

Organizatori



SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,
ARHITEKTURE I GEODEZIJE



Hrvatska komora
inženjera građevinarstva

WEBINAR

"SAVJETOVANJE 4: OBNOVA ZAGREBA NAKON POTRESA – ZAGREBU OD SPLITA"



Glavni pokrovitelj



**NELINEARNE NUMERIČKE SIMULACIJE I
EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA
STATIČKOG I DINAMIČKOG PONAŠANJA
ZIDANIH KONSTRUKCIJA**

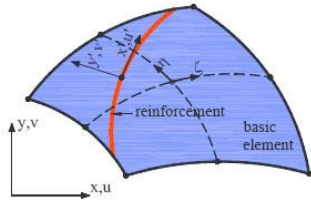
doc. dr. sc. Goran Baloević
doc. dr. sc. Nikola Grgić
Fakultet građevinarstva, arhitekture i
geodezije, Sveučilište u Splitu

Uvod - općenito

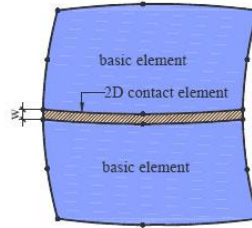
- Učestale konstrukcije u građevinskoj praksi



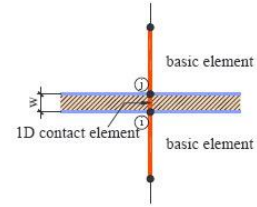
Numeričko modeliranje



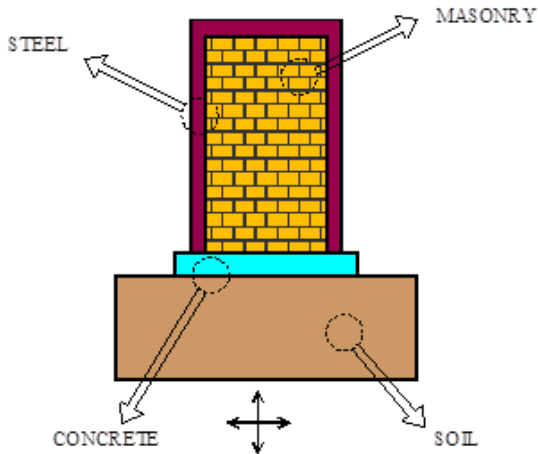
a) Basic 2D element



b) 2D contact element



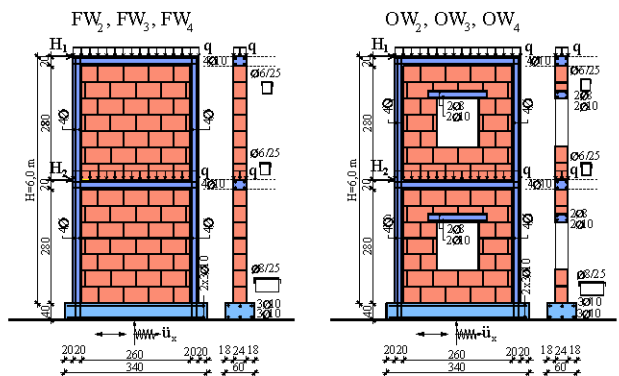
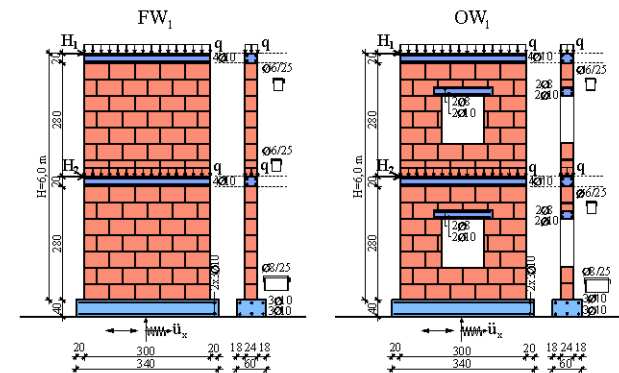
c) 1D contact element



Analiza	Opterećenje
Statička	<ul style="list-style-type: none"> Kratkotrajno Dugotrajno (reološki efekti)
Dinamička (potres, udar, eksplozija)	<ul style="list-style-type: none"> Ubrzanje podloge (potres) Sila u vremenu Početni pomaci, brzine i ubrzanja

Numeričke analize

- Parametarske analize



reinforcement of the vertical ring beam:

FW₂ ... Ø=10

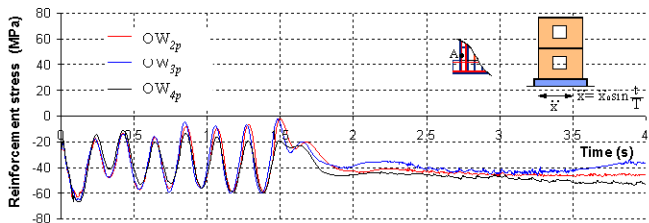
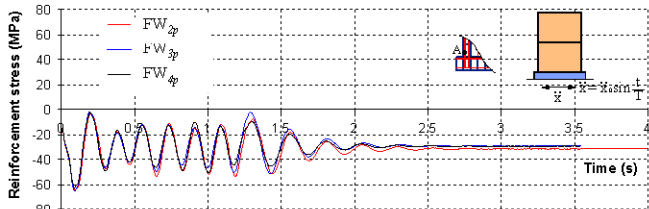
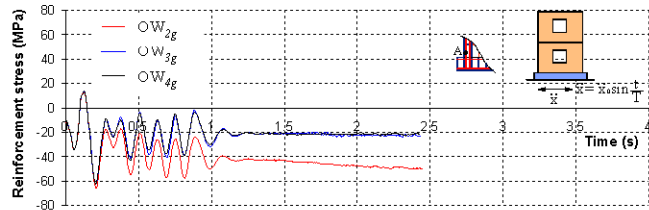
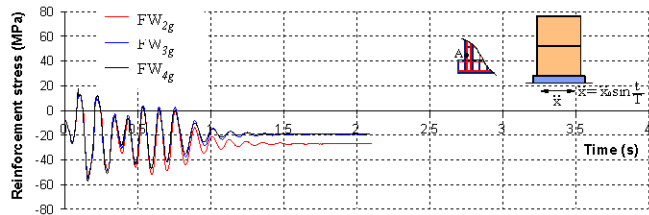
FW₃ ... Ø=12

FW₄ ... Ø=14

OW₂ ... Ø=10

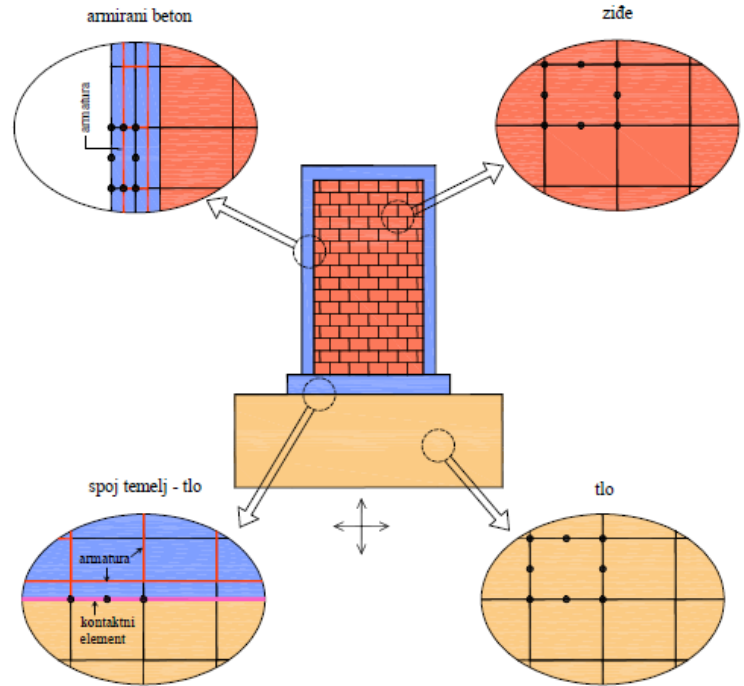
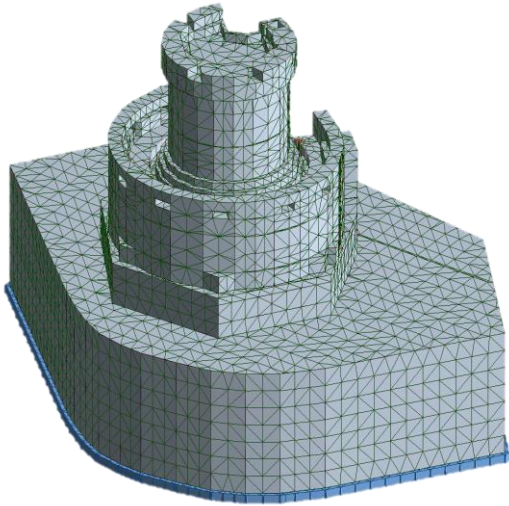
OW₃ ... Ø=12

OW₄ ... Ø=14



Numeričko modeliranje

- Nelinearni efekti
- Proračunski aspekti
- Ulazni parametri



KALIBRACIJA MODELA

Program ispitivanja

Eksperimentalna ispitivanja:

- 1) Omeđeni zidani zid
- 2) Čelični okviri sa zidanom ispunom
- 3) Betonski okviri sa zidanom ispunom



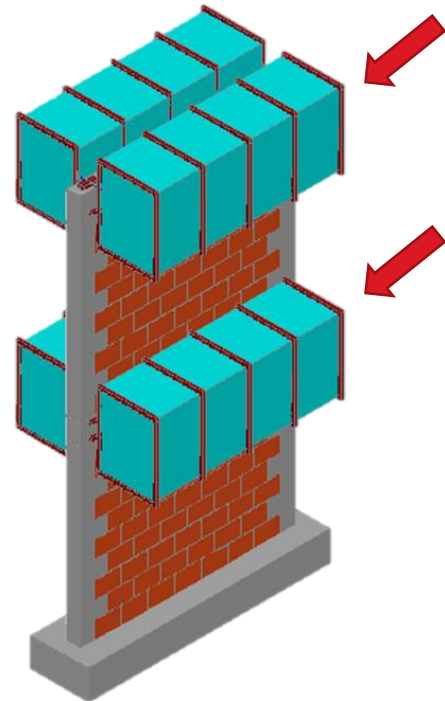
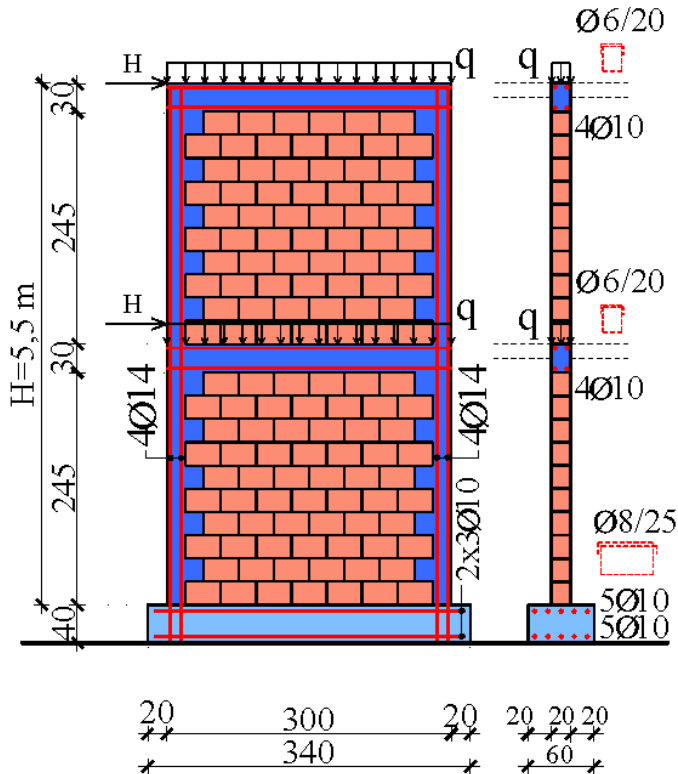
Laboratorij za potresna ispitivanja
Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije
Sveučilište u Splitu



Seismic Testing Center

1. Omeđeni zidani zid

Mjerilo 1:1 (realne dimenzije)

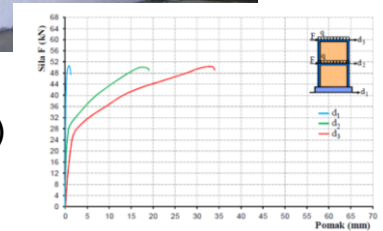


Model zida

1. Omeđeni zidani zid



- Usporedba s analitičkim modelima (inženjerski proračun)
- Verifikacija numeričkih modela



2. Čelični okviri sa zidanom ispunom

Kruti okvir
(SF)

Bez žbuke
(SF-1)

Nearmirana
žbuka
(SF-2)

Armirana
žbuka
(SF-3)

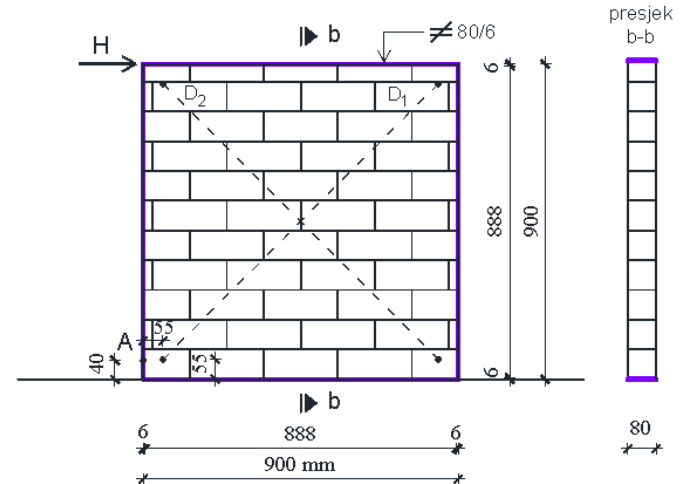
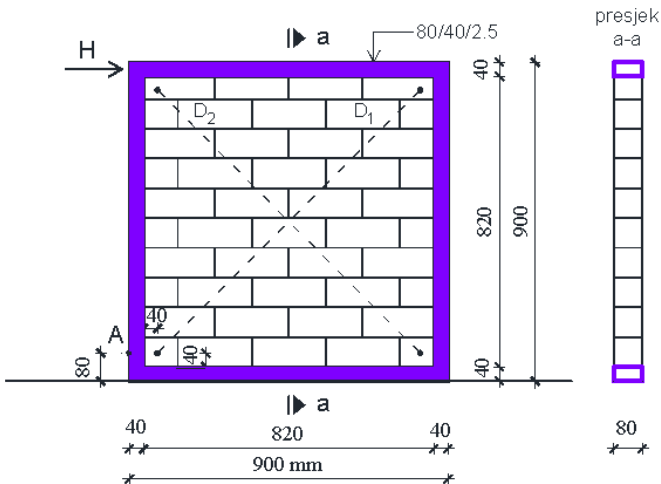
Meki okvir
(WF)

Bez žbuke
(WF-1)

Nearmirana
žbuka
(WF-2)

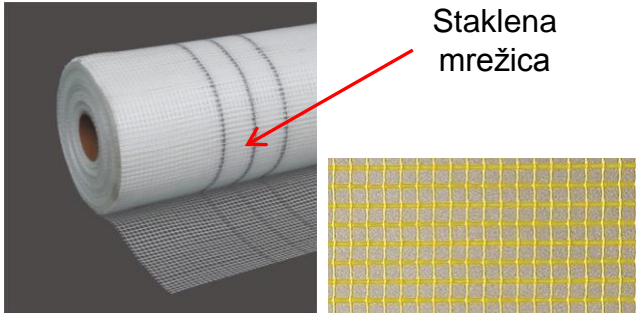
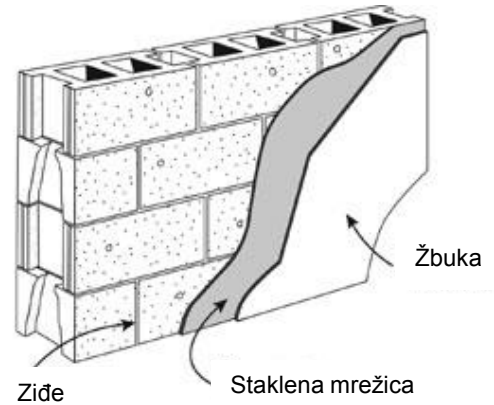
Armirana
žbuka
(WF-3)

Mjerilo 1:3



2. Čelični okviri sa zidanom ispunom

➤ Ojačanje zida



Porobetonski blok



Uzorak prije ispitivanja

- konstantno vertikalno $p = 5 \text{ kN/m}^1$
- monotono rastuća horizontalna sila H



Vizualizacija

Uzorak: SF-1

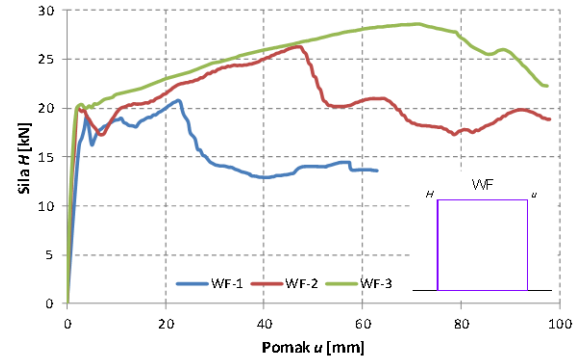
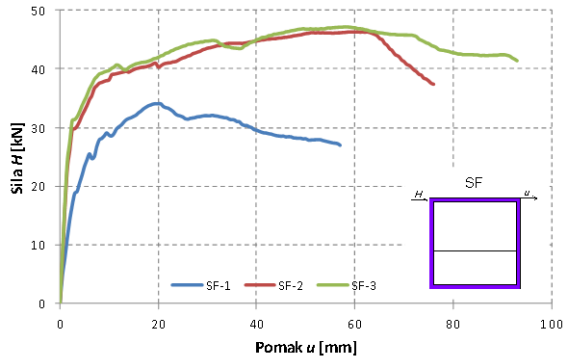


Uzorak: WF-1

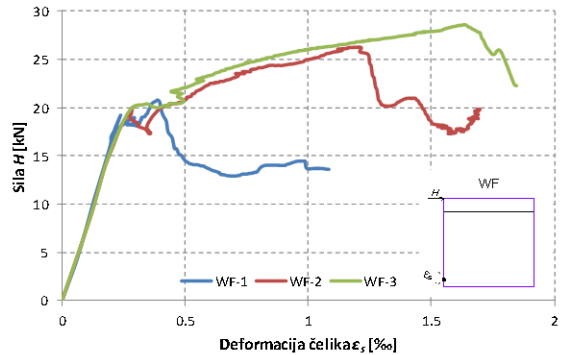
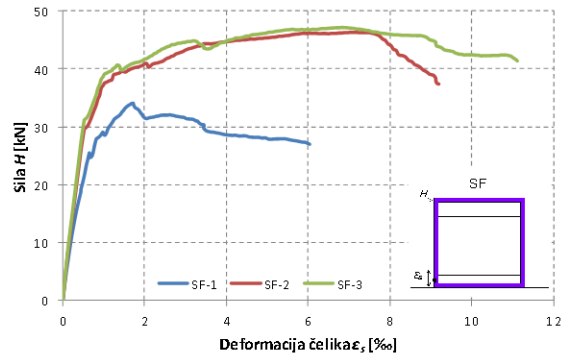


Rezultati

Veza sila (H) - pomak (u)



Veza sila (H) - deformacija (ϵ_s)

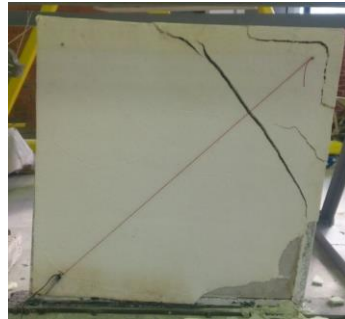


Konačno stanje pukotina i deformacija

Kruti okviri



SF-1



SF-2

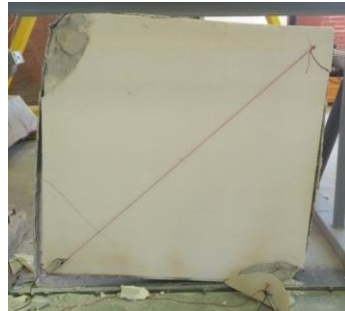


SF-3

Meki okviri



WF-1



WF-2



WF-3

Bez žbuke

Nearmirana žbuka

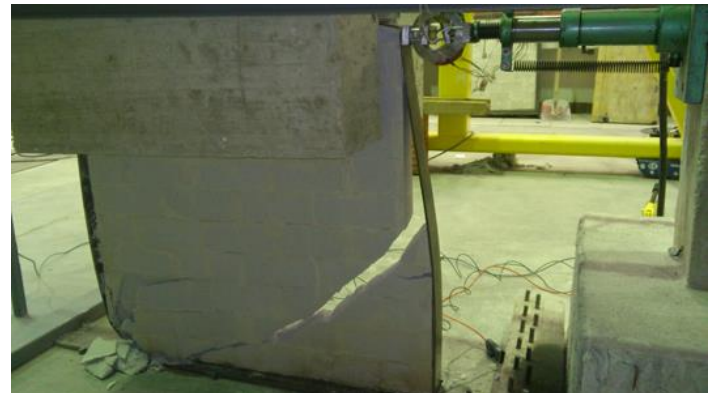
Armirana žbuka

Konačno stanje pukotina i deformacija



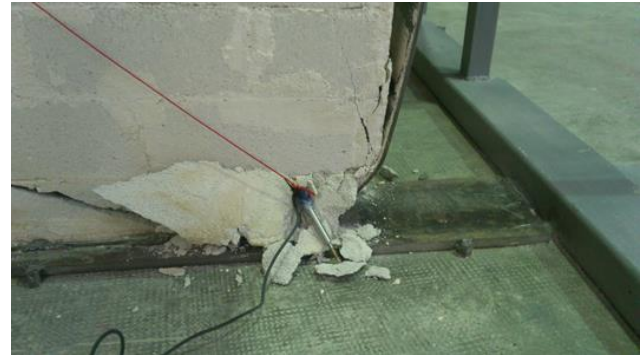
- Pojava dijagonalne pukotine

- Lokalno savijanje stupa na mjestu djelovanja sile



Konačno stanje pukotina i deformacija

- Drobljenje ispune u uglovima tlačne dijagonale
- Lokalno savijanje stupa



- Odizanje ispune
- Odvajanje ispune od okvira



Zaključak

- **Žbuka može značajno doprinijeti čvrstoći i nosivosti ziđa** (→okvira sa zidanom ispunom)
- Intezitet relativnog doprinosa žbuke **ovisi o nekoliko faktora**: debljini i kvaliteti žbuke, debljini i kvaliteti ziđa, krutosti okvira, odnosu krutosti okvira/ziđa, itd.
- Armirana žbuka povećava **duktilnost ziđa i smanjuje širinu pukotina** u njemu
- Ojačanje postojećih i novih zidanih konstrukcija pomoću armirane žbuke može predstavljati **racionalno, efektivno i jednostavno** rješenje
- Može se očekivati da bi žbuka armirana s čvršćom mrežom i s većim postotkom armiranja doprinijela nosivosti i duktilnosti ziđa

Uzorak prije ispitivanja



- Vertikalno opterećenje $G = 30 \text{ kN}$

Vizualizacija

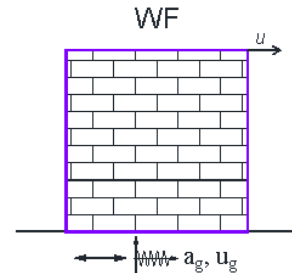
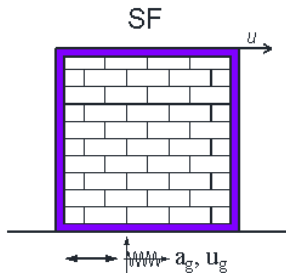
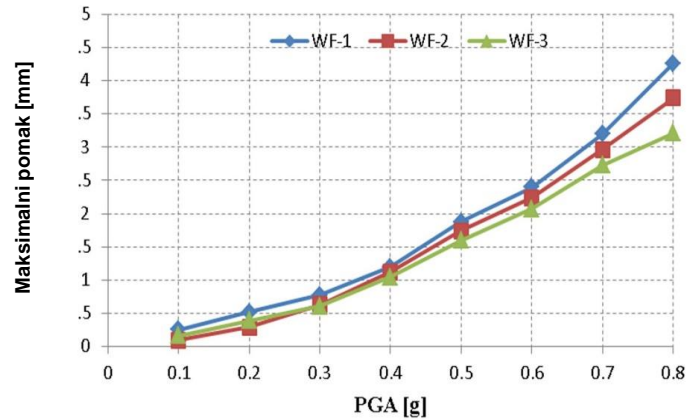
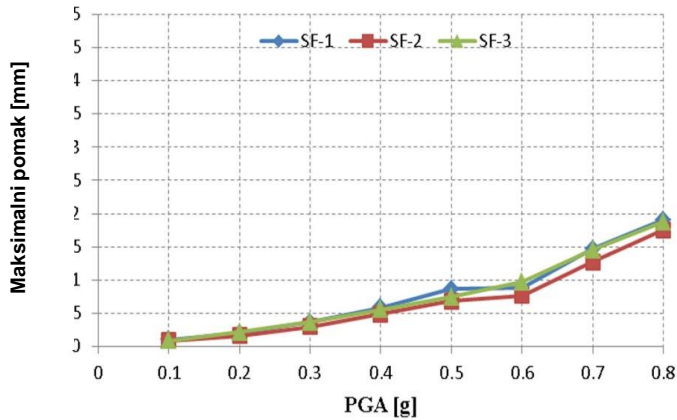
Uzorak: SF-1
Pobuda: Petrovac
PGA: 0.3 g



Maksimalne vrijednosti

Horizontalni pomak vrha okvira (u)

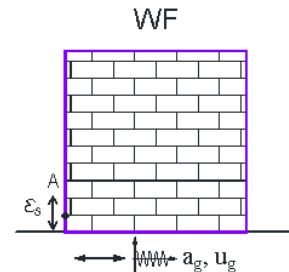
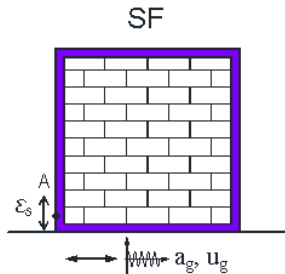
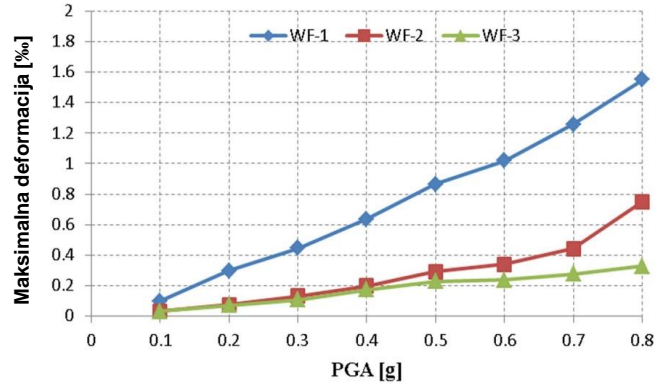
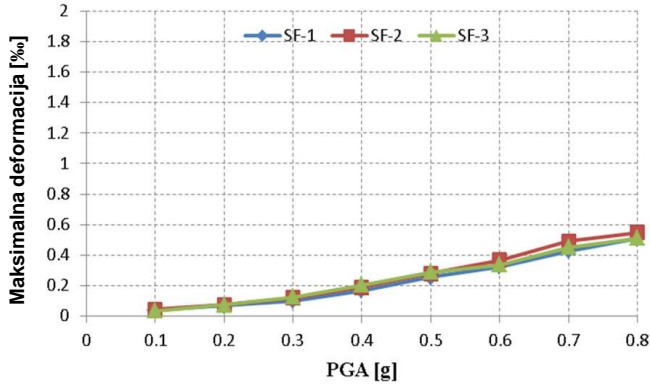
Umjetni akceleroگرام AA1



Maksimalne vrijednosti

Deformacija čelika pri dnu stupa u točki A (ϵ_s)

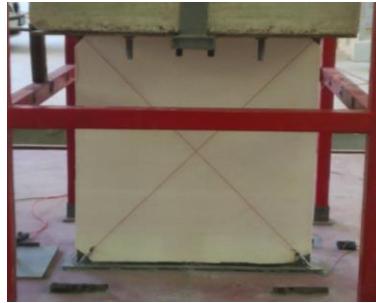
Umjetni akceleroگرام AA1



Konačno stanje deformacija i pukotina



SF-1



SF-2



SF-3



WF-1



WF-2



WF-3

Napomena:

- Odvajanje ispune od okvira
- Pukotine u zidu i drobljenje ispune – okviri bez žbuke (SF-1 i WF-1)

Konačno stanje deformacija i pukotina

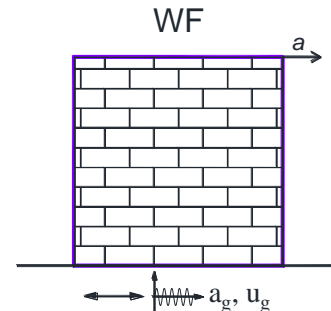
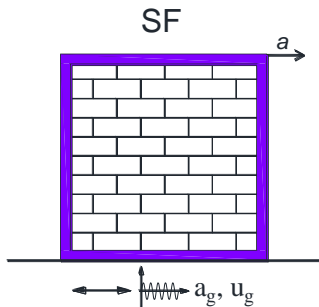
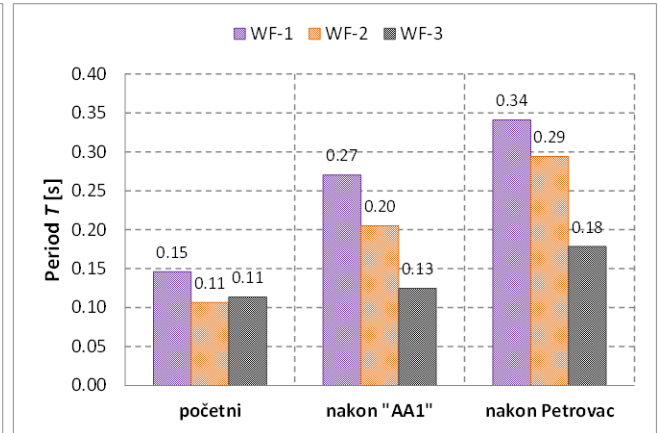
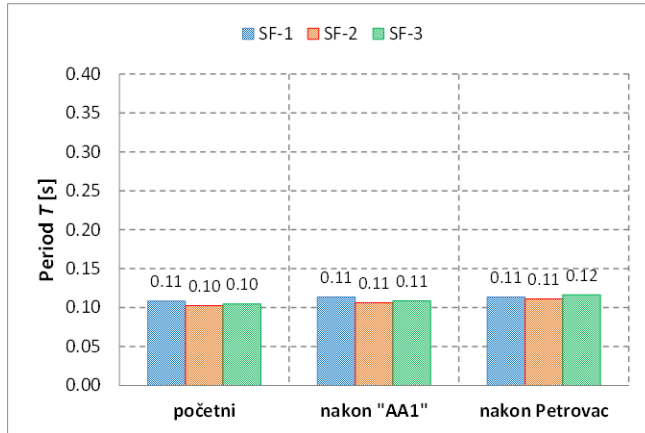


Konačno stanje deformacija i pukotina



Svojstvene vrijednosti

PRVI PERIODI SUSTAVA



Zaključak

Utjecaj krutosti okvira

- **Kruti okviri imaju manje pomake** nego meki okviri, što **smanjuje deformacije ispune i sprječava njezino oštećenje.**
- Kruti okviri generiraju veće seizmičke (inercijalne) sile, ali i posjeduju veću mehaničku otpornost.
- Meki okviri imaju veće pomake nego kruti okviri. Ovo rezultira većim deformacijama ispune, tj. njezinim mogućim oštećenjem i većim odvajanjem (pukotinom) na spoju s okvirom.

Utjecaj krutosti ispune

- Krutost ziđa doprinosi sveukupnoj krutosti okvira s ispunom. Kruća ispuna povećava inercijalne sile, ali ima i veću mehaničku otpornost od meke ispune.

Zaključak

Utjecaj žbuke

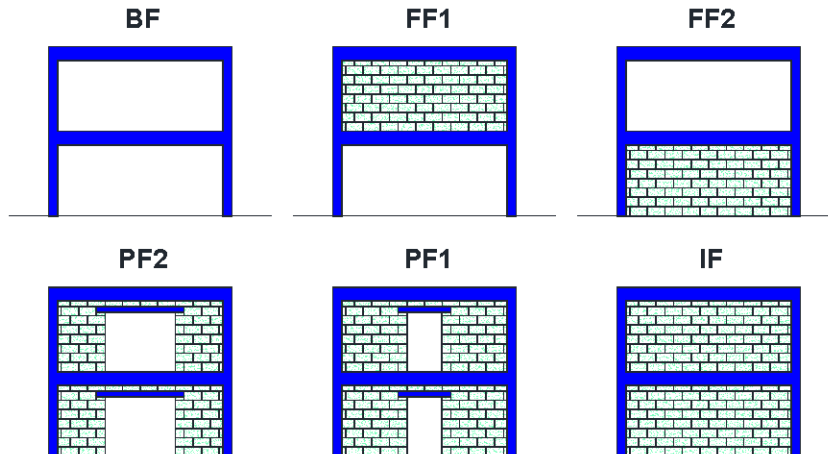
- **Žbuka može značajno doprinijeti čvrstoći i nosivosti ziđa**, a samim time čvrstoći i nosivosti okvira sa zidanom ispunom.
- U provedenim ispitivanjima, **ziđe s obostranom žbukom** osiguralo je veću otpornost i manju deformabilnost sustava nego neožbukano ziđe, te **smanjilo zone pukotina u njemu**.
- Intenzitet doprinosa žbuke ovisi o: debljini i kvaliteti žbuke, debljini i kvaliteti ziđa, krutosti okvira, odnosu krutosti okvira i ispune, itd.

Utjecaj armaturne mreže u žbuci

- **Armirana žbuka povećava duktilnost ziđa i smanjuje širinu pukotina u njemu**.
- U provedenim ispitivanjima, doprinos usvojene staklene mreže unutar žbuke nije bio očit za ispitane uzorke
- Može se očekivati da bi žbuka armirana s mrežom veće površine poprečnog presjeka značajno povećala nosivost i duktilnost ziđa, odnosno okvira sa zidanom ispunom.

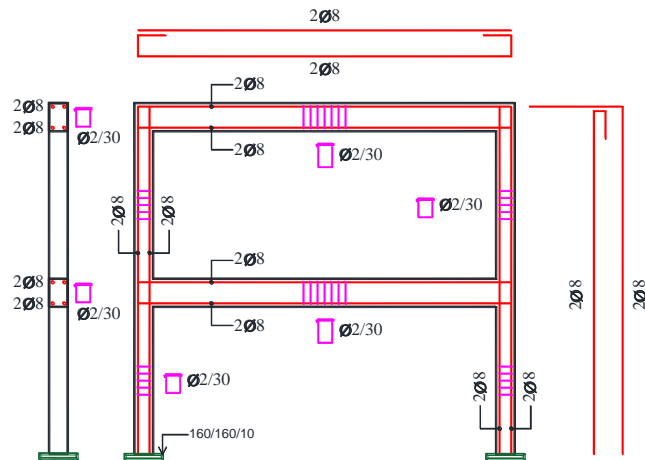
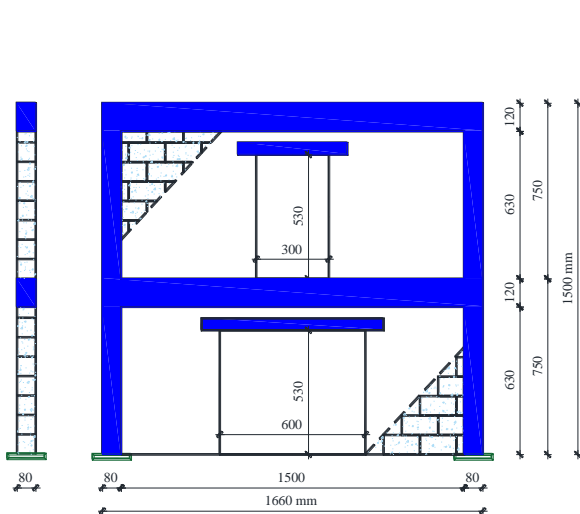
3. Armiranobetonski okviri sa zidanom ispunom

- okvir bez ispune (BF)
- okvir s fleksibilnim prizemljem (FF1)
- okvir s fleksibilnim katom (FF2)
- okvir s manjim otvorom u ispuni na obje etaže (PF1)
- okvir s većim otvorom u ispuni na obje etaže (PF2)
- potpuno ispunjeni okvir (IF)



3. Armiranobetonski okviri sa zidanom ispunom

GEOMETRIJA I ARMATURA ISPITNIH UZORAKA

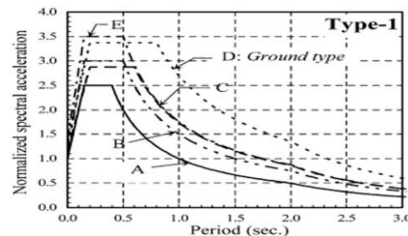


Mjerilo: 1/4

Broj uzoraka: 6

Prototip okvira → proračun prema EN 1998:

Tip 1
Tip tla A



3. Armiranobetonski okviri sa zidanom ispunom

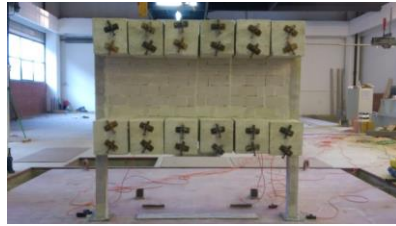
- Vertikalno opterećenje (konstantno $p = 3 \text{ kN/m}^2$)



Uzorci prije ispitivanja



BF



FF1



FF2



PF2



PF1



IF

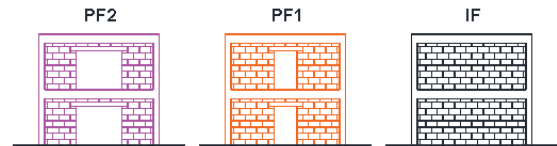
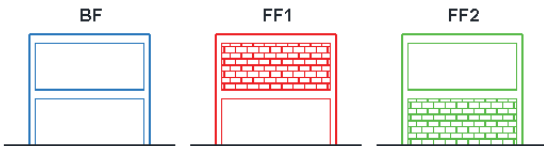
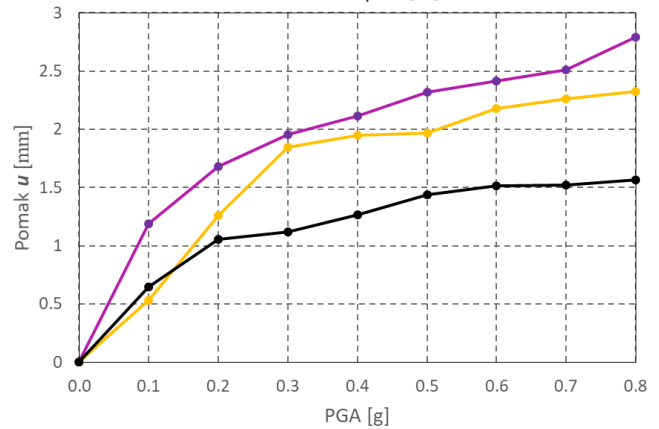
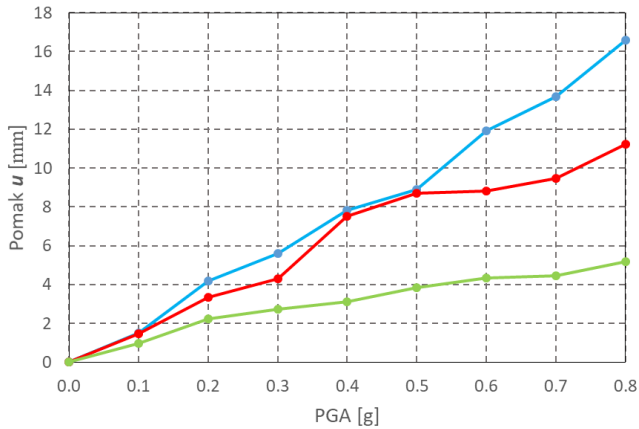
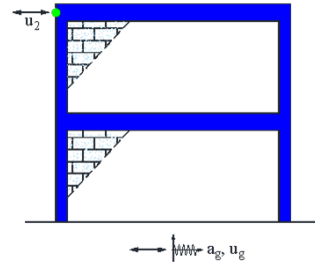
Vizualizacija

Uzorak: BF
Pobuda: AA1
PGA: 0.8 g



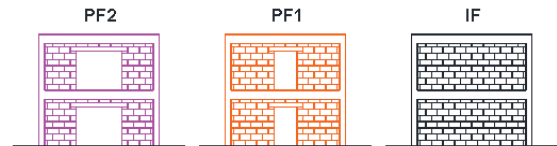
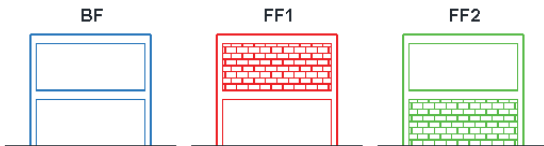
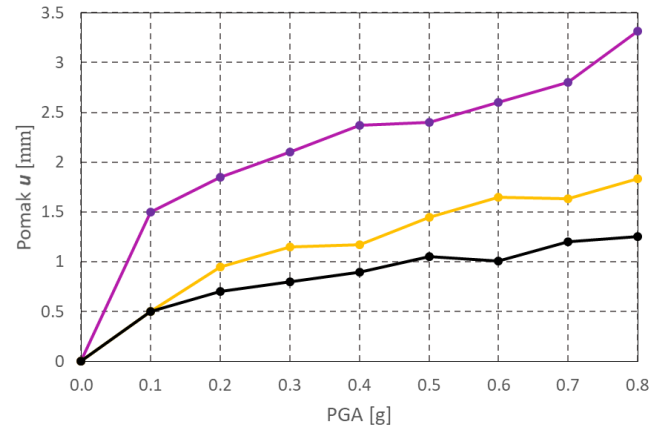
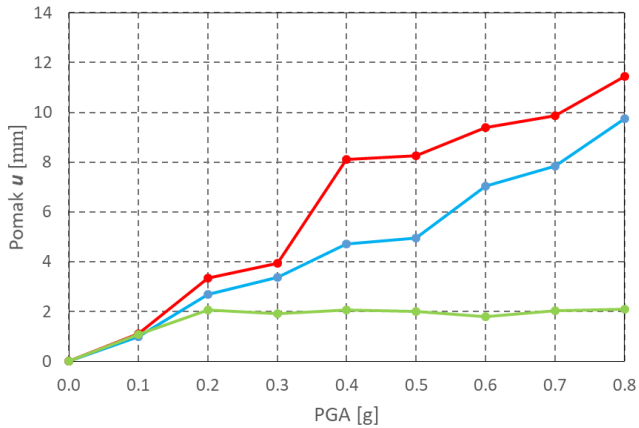
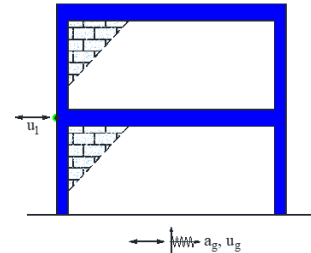
Rezultati

Horizontalni pomak vrha gornje etaže okvira (u_2)



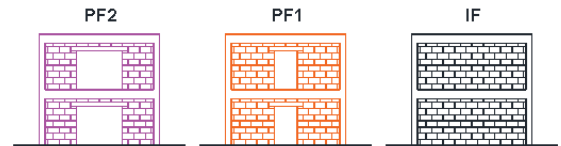
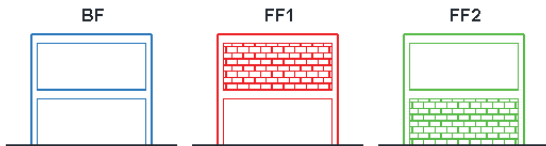
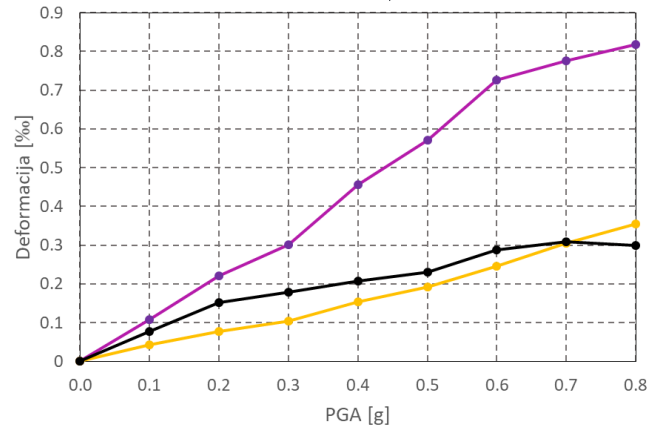
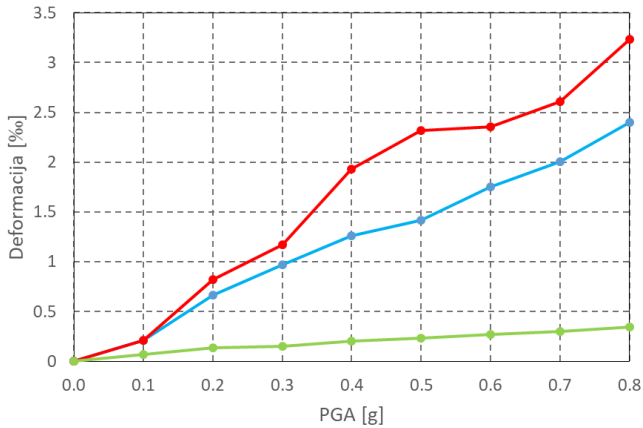
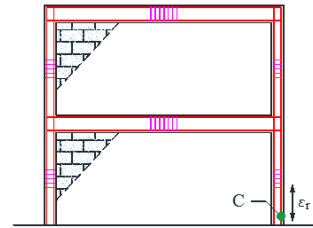
Rezultati

Horizontalni pomak vrha donje etaže okvira (u_1)



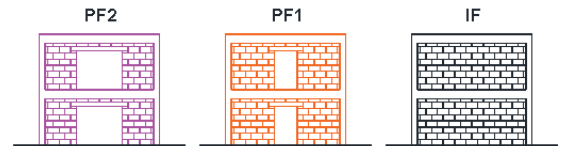
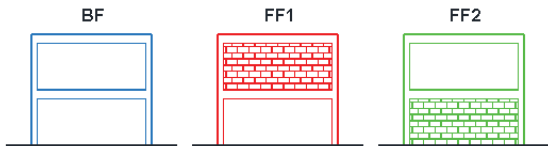
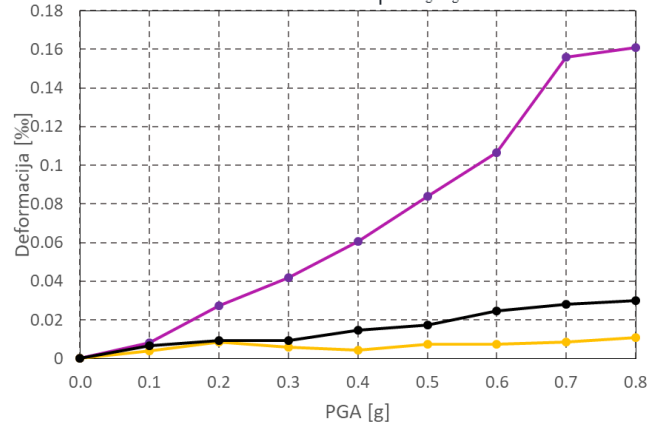
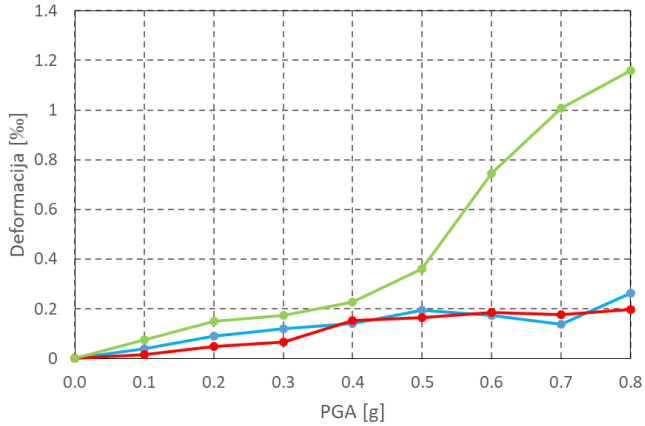
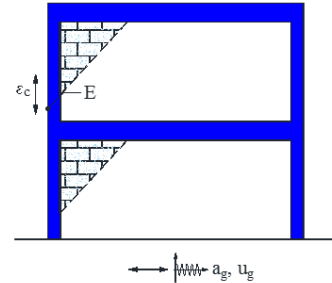
Rezultati

Deformacija armature pri dnu stupa donje etaže okvira (točka C)

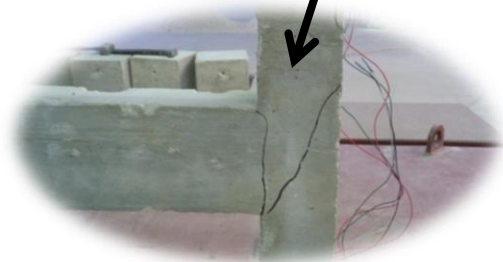
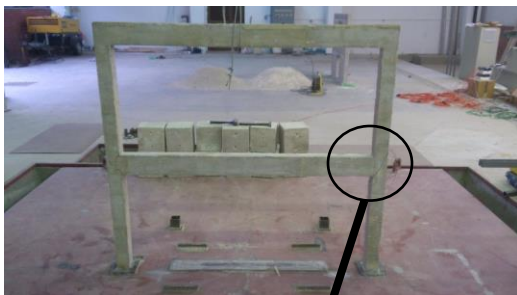


Rezultati

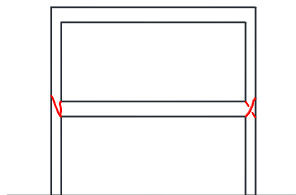
Deformacija betona pri dnu stupa gornje etaže okvira (točka E)



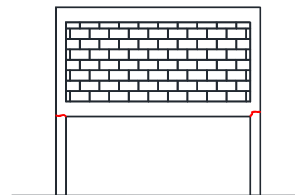
Konačno stanje pukotina i deformacija



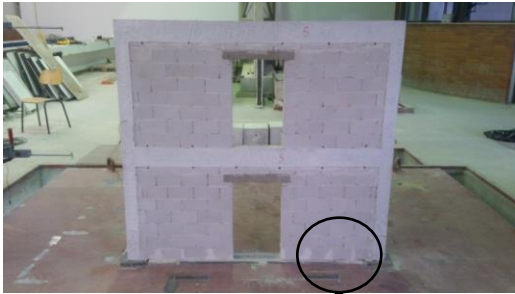
BF



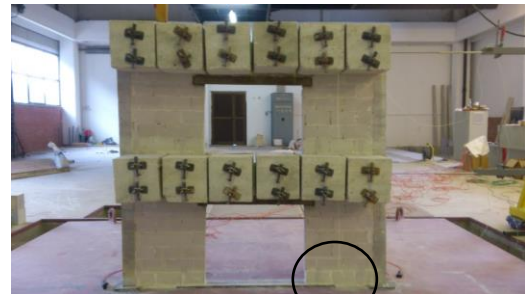
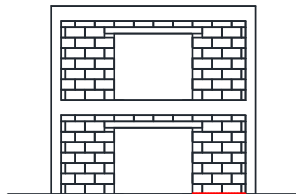
FF1



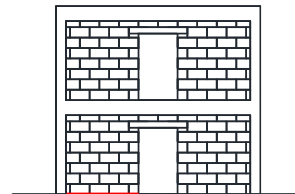
Konačno stanje pukotina i deformacija



PF2

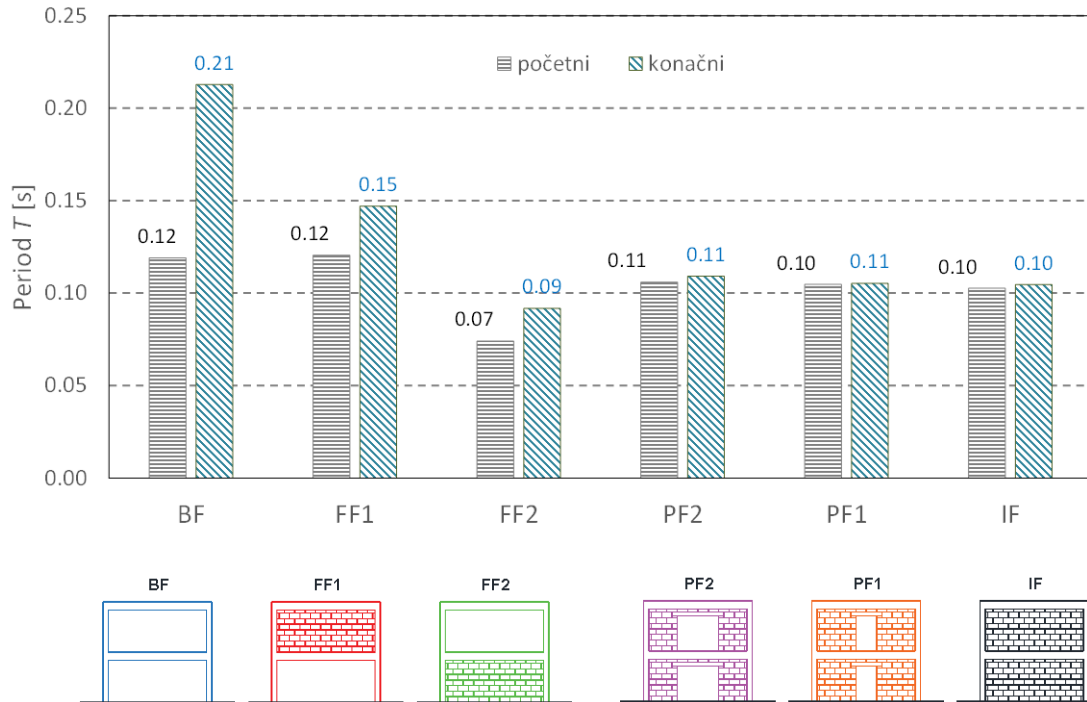


PF1



Svojevne vrijednosti

PRVI PERIODI SUSTAVA



Zaključak

Utjecaj ispune na svim etažama

- Kod okvira s ispunom na svim etažama postiže se **povoljnije naponsko-deformacijsko stanje sustava** u odnosu na okvir bez ispune. Može se očekivati da će takva konstrukcija imati manje pomake i deformacije (naprezanja) u okviru i ispuni pri potresu.

Utjecaj fleksibilnosti u prizemlju

- Okviri s fleksibilnim prizemljem pokazuju **nepovoljnije ponašanje pri potresu**. Naime, krući nosivi sustavi na gornjim etažama generiraju i veće inercijalne sile, koje se moraju prenijeti na fleksibilne nosive sustave u prizemlju.
- Ovo rezultira njihovom smanjenom potresnom otpornošću, te većim pomacima i deformacijama sustava.
- **Takve konstrukcije u pravilu izbjegavati!**
- **Pri proračunu seizmičkih sila - uključiti ispunu** na gornjim etažama korištenjem vršnih vrijednosti očekivanih parametara njene krutosti, dok se mehanička otpornost ispune treba provjeriti korištenjem nižih vrijednosti njene očekivane čvrstoće.

Zaključak

Utjecaj fleksibilnosti na katu

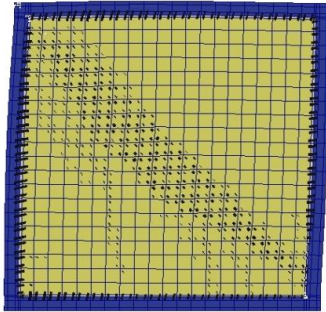
- Okviri s fleksibilnom etažom pokazuju nešto povoljnije ponašanje od okvira s fleksibilnim prizemljem.
- Ispuna u prizemlju ukrućuje konstrukciju pri dnu, što rezultira manjim pomacima i deformacijama na donjoj etaži. Međutim, **na etažama gdje nema ispune povećavaju se pomaci i deformacije** u okviru i armaturi.

Utjecaj otvora

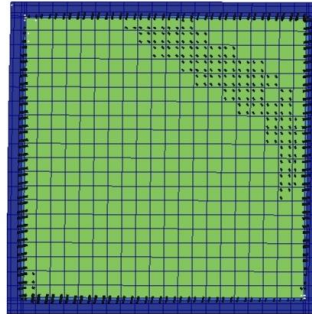
- Otvori u ispuni smanjuju njezinu krutost, a samim time krutost i nosivost okvira sa zidanom ispunom. Može se očekivati da će takva konstrukcija imati veće pomake i deformacije pri potresu.
- **Povećanje veličine otvora u ispuni povećava** pomake i **deformacije** okvira s ispunom, te **smanjuje njegovu mehaničku otpornost**.

Verifikacija numeričkog modela

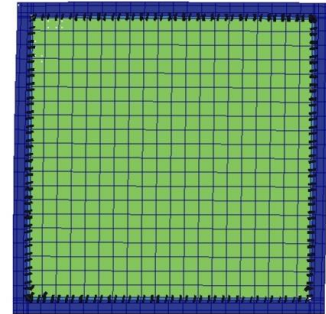
Usporedba: numerički i eksperimentalni rezultati



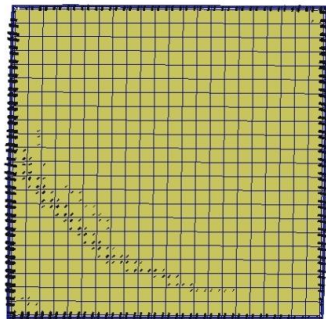
SF-1



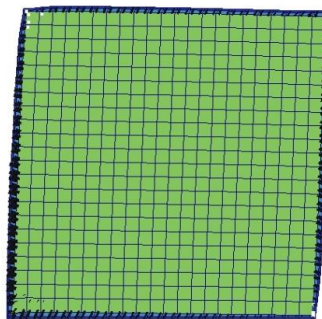
SF-2



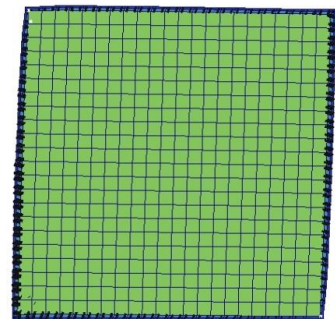
SF-3



WF-1



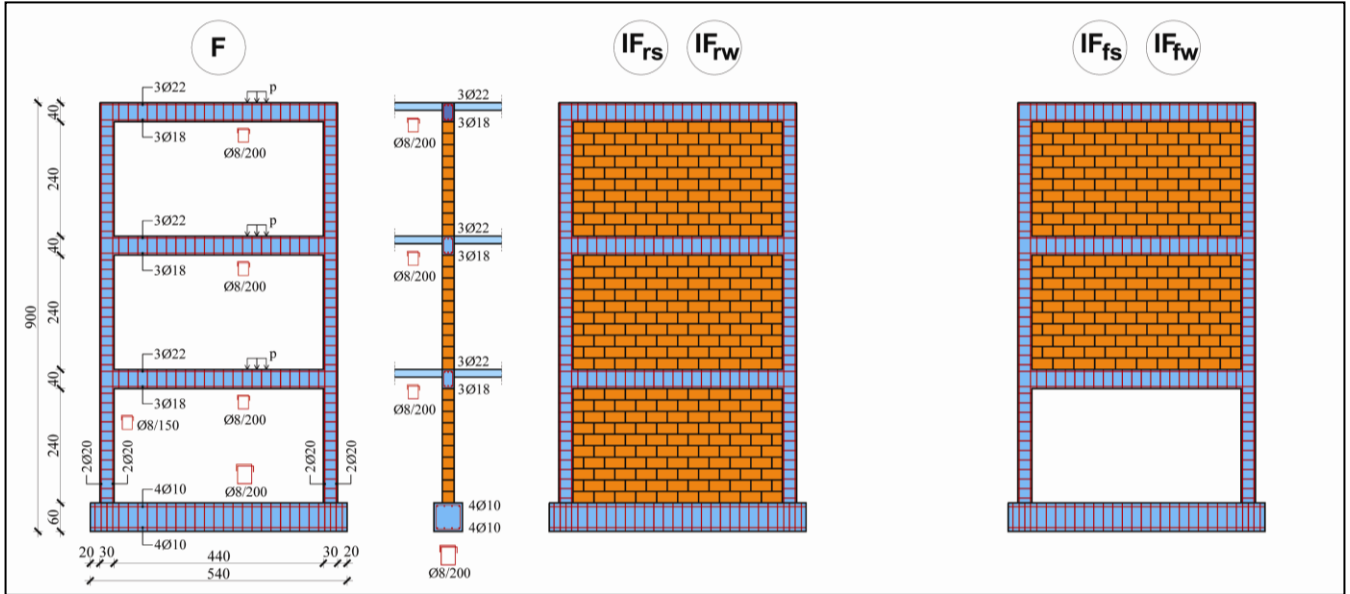
WF-2



WF-3

Praktične analize

- Primjena numeričkog modela za analizu realnih konstrukcija



HVALA NA
PAŽNJI!