

Hrvatski centar za potresno inženjerstvo  
HCPI

Savjetovanje 7: Obnova Zagreba nakon potresa  
Zagrebu od Osijeka

# UTJECAJ OTVORA NA POTRESNU OTPORNOST ARMIRANOBETONSKIH OKVIRA S ISPUNSKIM ZIDEM

izv. prof. dr. sc. DAVORIN PENAVA, dipl. ing. građ.

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek

Osijek, 22. veljače 2021. g.



# SADRŽAJ

## Sažetak

### **I. Uvod**

- A. Opis problema
- B. Svrha, djelokrug i postupci
- C. Najznačajniji ishod

### **II. Priprema i provedba istraživanja**

- A. Opis upotrijebljenih materijala i opreme
- B. Objašnjenje postupka

### **III. Rezultati istraživanja**

- A. Opis postupka
- B. Opis rezultata

# SADRŽAJ

## **IV. Objašnjenje rezultata**

- A. Osnovna načela, uzročne veze i poopćenja
- B. Potvrdne činjenice
- C. Iznimke i oprečne teorije i njihova objašnjenja
- D. Usporedba rezultata s rezultatima drugih istraživača

## **Zaključak**

## **Bibliografija**

## **Zahvale**

# SAŽETAK

- **cilj:**

- uzimanje u obzir mogućnosti otvora različitih vrsta, veličina i razmještaja otvora u zidu te zida bez otvora
- objašnjenje utjecaja otvora uzimajući u obzir različita stanja oštećenja (neoštećeno, lagano oštećeno, teško oštećeno, ali uporabljivo, teško oštećeno, ali neuporabljivo i rušenje)

- **polazna pitanja:**

- kako u obzir uzeti svojstva otvora kod jednostavnog proračunskog modela prihvatljivog za praksu?
- u kojem slučaju postojanje ispunskog zida doprinosi potresnoj otpornosti okvira i daje korisne (pozitivne) učinke, a kada postaje ometajući element zbog kojega se povećava oštetljivost građevine?

# UVOD

## A. Opis problema

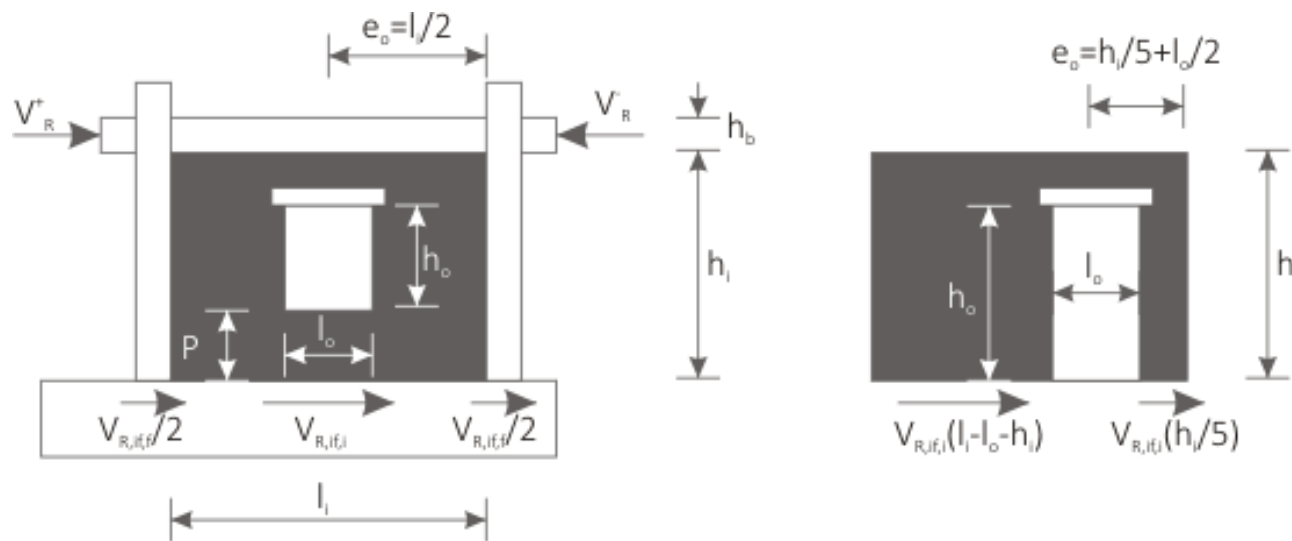
- zide se uobičajeno izvodi kao ispunsko zide armiranobetonskih okvirnih konstrukcija
- međudjelovanje okvira i zida potrebno je uzeti u obzir pri određivanju potresne otpornosti uzimajući u obzir različita stanja oštećenja
- **koliku vrijednost poprečne horizontalne (potresne) sile preuzima ispunsko zide, a koliku okvir?**



Oštećenja armiranobetonske okvirne konstrukcije s ispunskim zidom u Draču (Albanija) nakon potresa  $M_w=6,4$  koji se dogodio 26. 11. 2019. g. (uviđaj radne skupine American Concrete Institute (ACI) Technical Committee 133 Disaster Reconnaissance)

# UVOD

- **otvori:**
- vrsta sloma i potresna otpornost ispunskog zida s otvorima različita je u odnosu na zide bez otvora (zide s otvorima podložno je višestrukom načinu sloma)
- zbog mnogobrojnih mogućnosti vrsta, veličina i razmještaja otvora prikladnost (i pouzdanost) proračunskih makromodela je ograničena



# UVOD

## B. Svrha, djelokrug i postupci

- **svrha i djelokrug**: utvrditi vrijednost otpornosti na poprečnu silu u vlastitoj ravnini, posebno za okvir i posebno za ispunsko zide, uzimajući u obzir mogućnosti različitih vrsta, veličina i razmještaja otvora u zidu te zida bez otvora
- **postupci**: eksperimentalna istraživanja i studija osjetljivosti putem kalibriranih proračunskih mikromodela u računalnom programu **ATENA 2D Eng v. 5.6.1.0**

## C. Najznačajniji ishod

- **na koji način vrsta, veličina i razmještaj otvora utječu na projektne značajke okvira s ispunskim zidom u skladu s odredbama HRN EN 1998-1:2011 normi**





# PRIPREMA I PROVEDBA ISTRAŽIVANJA

## A. Opis upotrijebljenih materijala i opreme

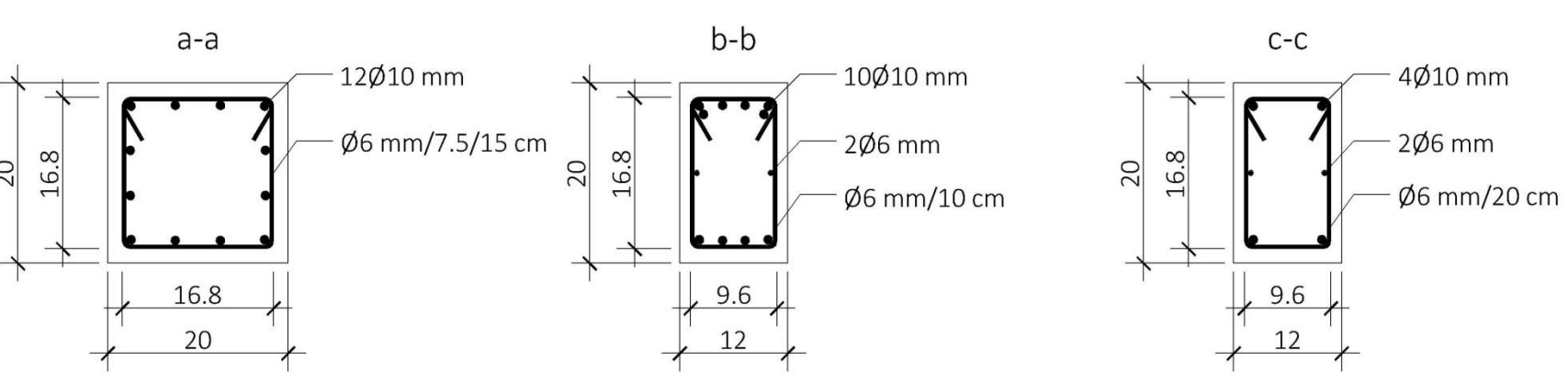
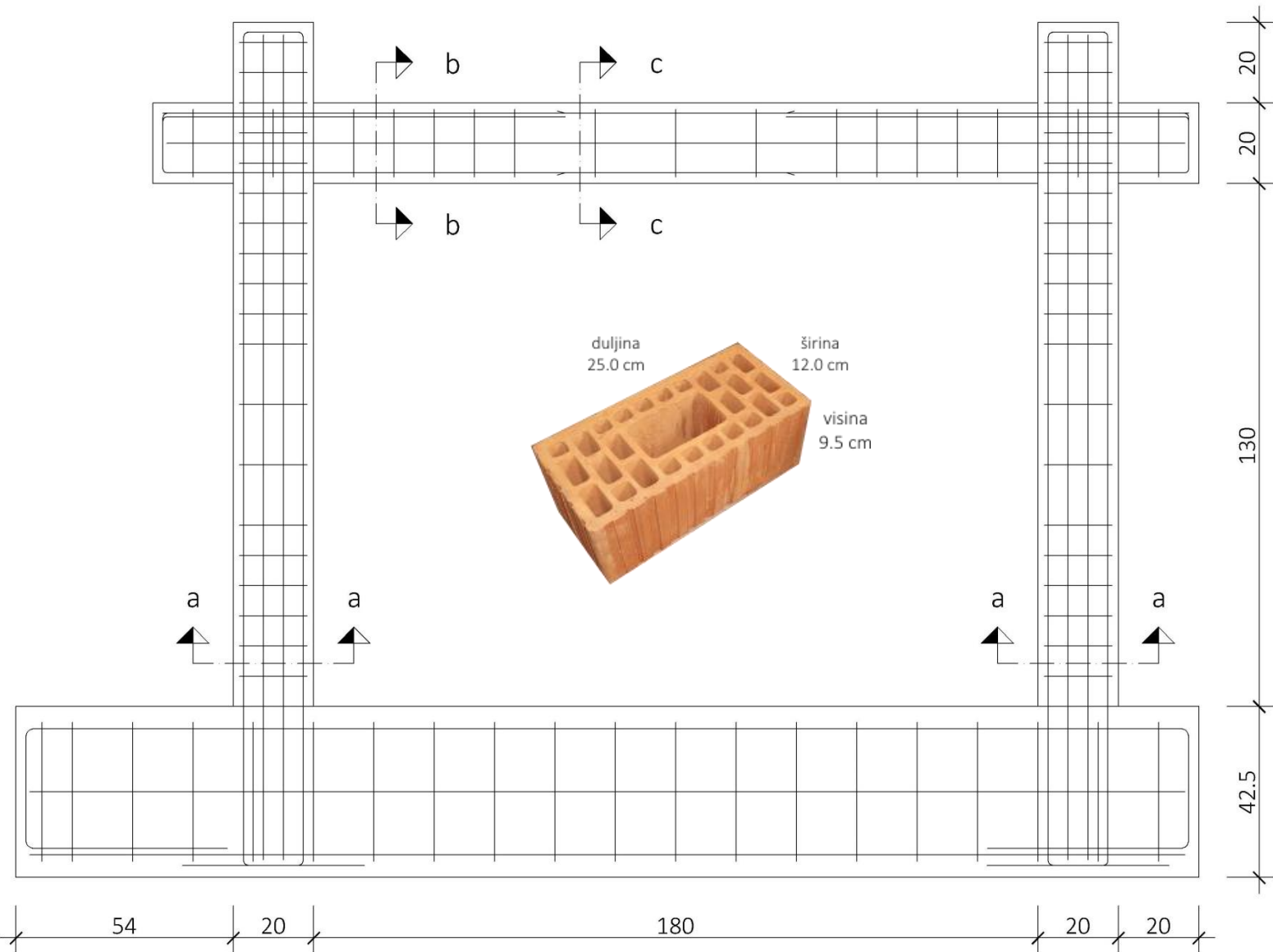
- eksperimentalna istraživanja na ukupno 10 modelskih konstrukcija ab okvira s ispunskim zidom u mjerilu 1:2,5 [**Penava, D. (2012) i Sigmund, V. & Penava, D. (2014)**]:
  - i. izmješteni ili neizmješteni prozorski ili vratni otvori u zidu s omjerom ploštine otvora i zida  $A_o/A_i$  približno **15 %**
  - ii. kao pod i., ali s izvedenim vertikalnim serklažima uz rub otvora
  - iii. okvir s ispunskim zidom bez otvora, ili bez zida



# PRIPREMA I PROVEDBA ISTRAŽIVANJA

- **ab okvir:**
  - predstavlja srednje polje prizemlja višepoljnog (širine 6 m, 5 m i 6 m) i višekatnog okvira (visina 3,7 i 2,5 m) zgrade
  - zgrada je projektirana u skladu s odredbama EC2 i EC8 normi za razred srednje duktilnosti (DCM)
- **ispunsko zide:**
  - opečni blok grupe 2 i
  - mort razreda M5 u skladu s preporukama za nosivo nearmirano zide prema odredbama EC6 i EC8 normi
- **ishod:** višestruk način sloma ispunskog zida u kojem se nalaze otvori pri 1-1,25 % katnog pomaka





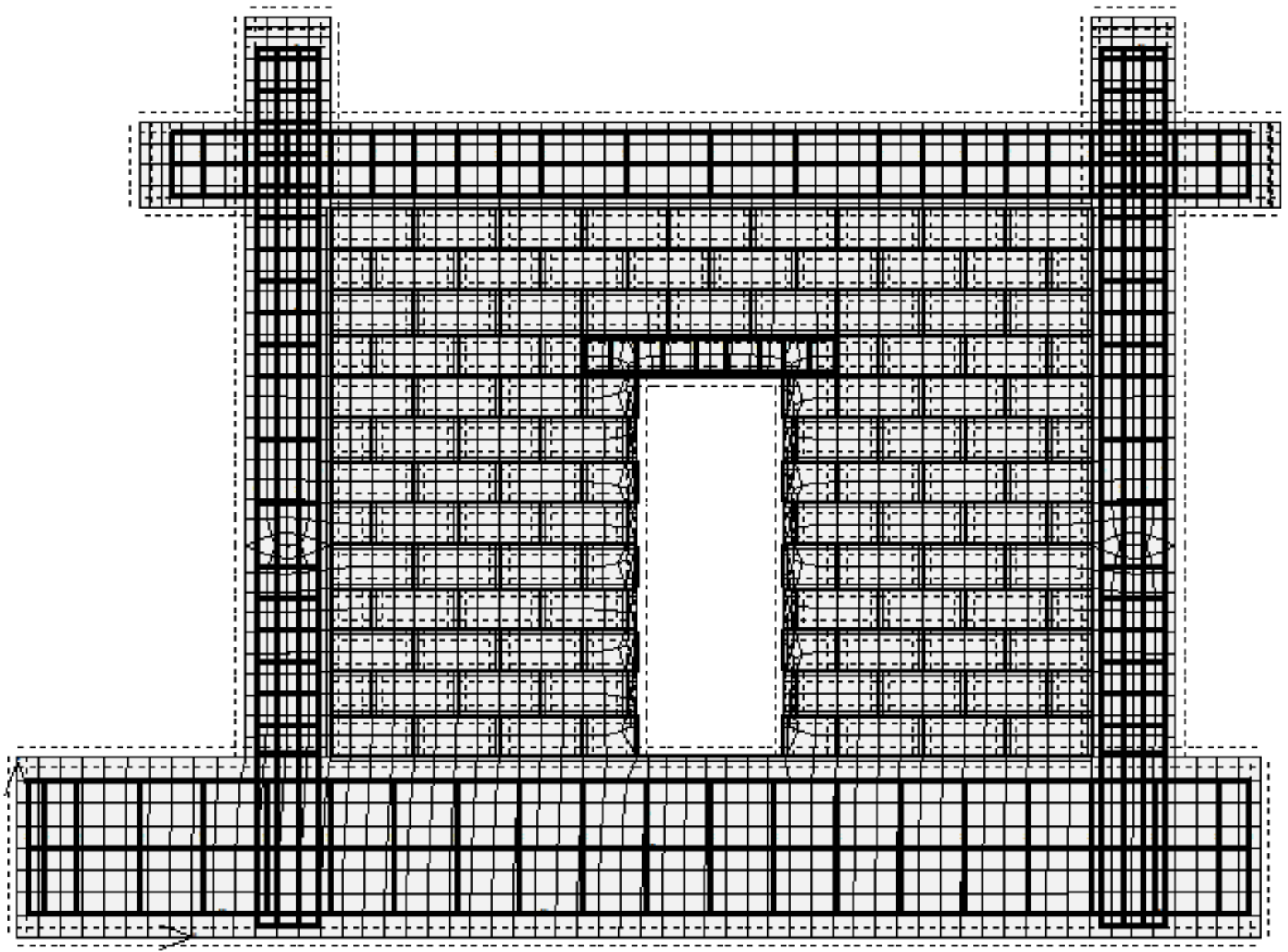


# PRIPREMA I PROVEDBA ISTRAŽIVANJA

## B. Objašnjenje postupka

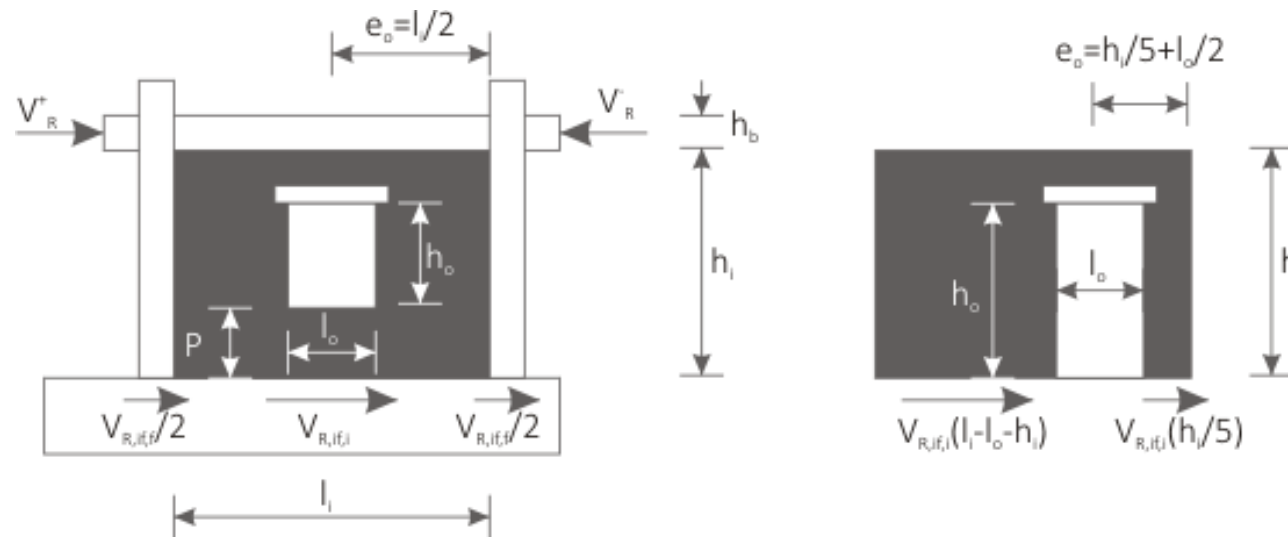
- proračunski mikromodel razvijen u računalnom programu **ATENA 2D Eng v. 5.6.1.0** i kalibriran prema eksperimentima [**Penava, D., Sigmund, V. & Kožar, I., 2016**]
- uzimajući u obzir neujednačenost svojstava zida, betona, utjecaj izvedbe i druge nesigurnosti, ostvarena je podudarnost s eksperimentima s odstupanjem **< 10 %** (krutost, vrsta sloma)
- na kalibriranom modelu je primijenjen nelinearni statički postupak s kontrolom pomaka do  **$d_r = h_i + h_b / 2 = 2 \%$**  (granično stanje nosivosti ab okvira)





# PRIPREMA I PROVEDBA ISTRAŽIVANJA

- **studija osjetljivosti:** prozorski ili vratni otvori različitih veličina i razmještaja (izmješten ili neizmješten)
- očitavanje unutarnje poprečne sile u ravnini stope ab stupova (plastični zglob) odvojeno za ab stupove i zide pri različitim stanjima oštećenja



# PRIPREMA I PROVEDBA ISTRAŽIVANJA

- veličina otvora:

- mala  $A_o / A_i \times 100 < 7,5 \%$  (zanemariv utjecaj!)
- srednja  $7,5 \% \leq A_o / A_i \times 100 \leq 15\%$
- velika  $A_o / A_i \times 100 > 15\%$

- odabrani su srednji i veći otvori prema zidarskim mjerama za otvore [Neufert, E. & Neufert, P., 2019]

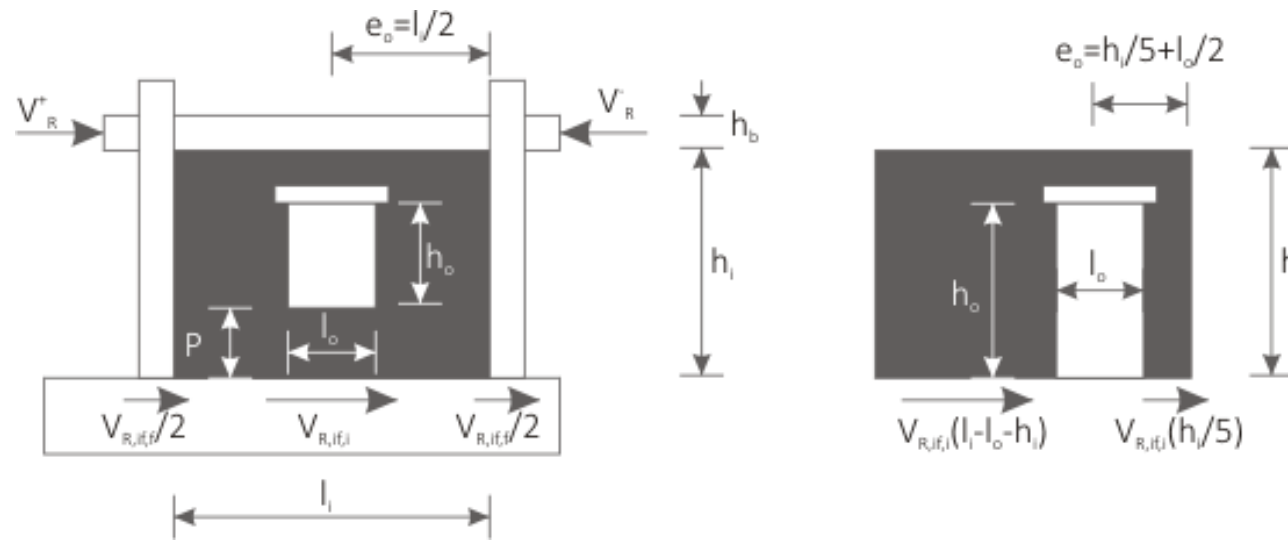




# PRIPREMA I PROVEDBA ISTRAŽIVANJA

## ■ razmještaj otvora u ispunskom zidu:

- neizmješten  $e_o = l_i/2$
  - izmješten  $e_o = h_i/5 + l_o/2$
- u slučaju izmještenog otvora model je proračunat odvojeno za slučaj opterećivanja s lijeva na desno (pozitivno) i s desna na lijevo (negativno)



# PRIPREMA I PROVEDBA ISTRAŽIVANJA

- odabrani katni pomaci odgovaraju jednom od stanja oštećenja ispunskog zida (EMS-98 ljestvica):
  - 1: neoštećeno (neznatno oštećeno)  $d_r = 0,00 \%$
  - 2: lagano oštećeno  $d_r = 0,10 \%$
  - 3: teško oštećeno, ali uporabljivo  $d_r = 0,25 - 0,30 \%$
  - 4: teško oštećeno, ali neuporabljivo  $d_r = 0,50 - 0,75 \%$
  - 5: rušenje  $d_r = 1,00 - 1,25 \%$



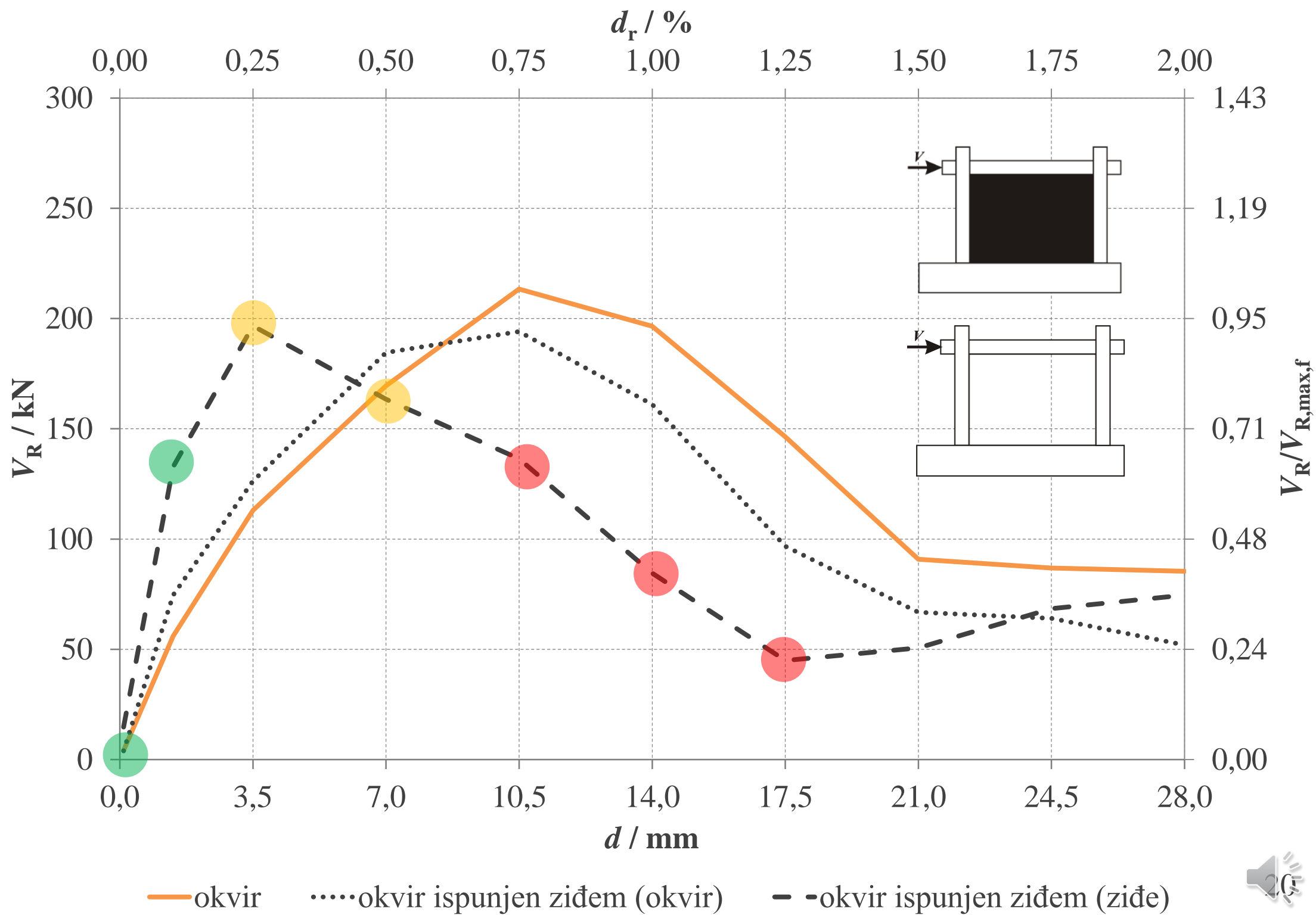
# REZULTATI ISTRAŽIVANJA

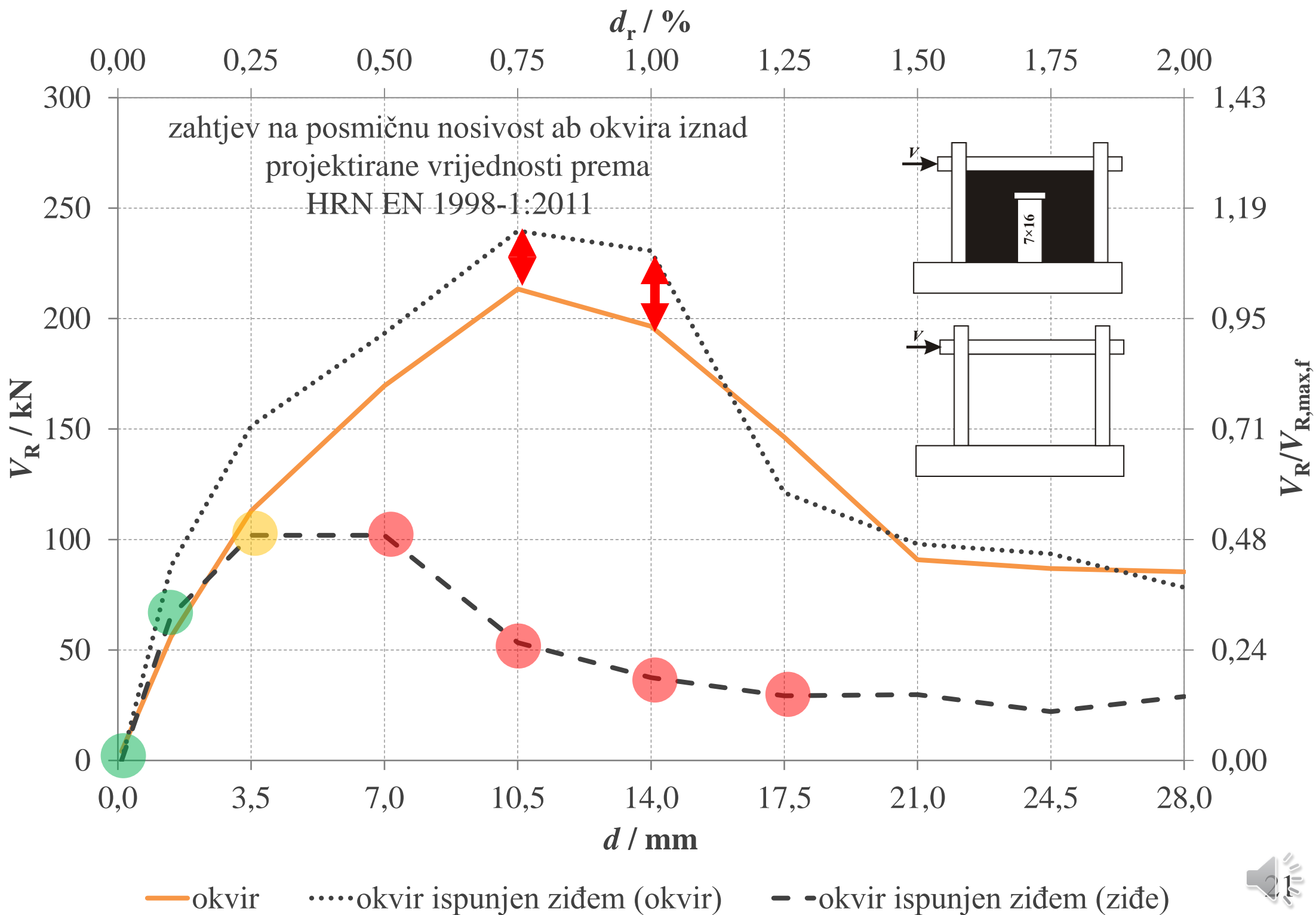
## A. Opis postupka

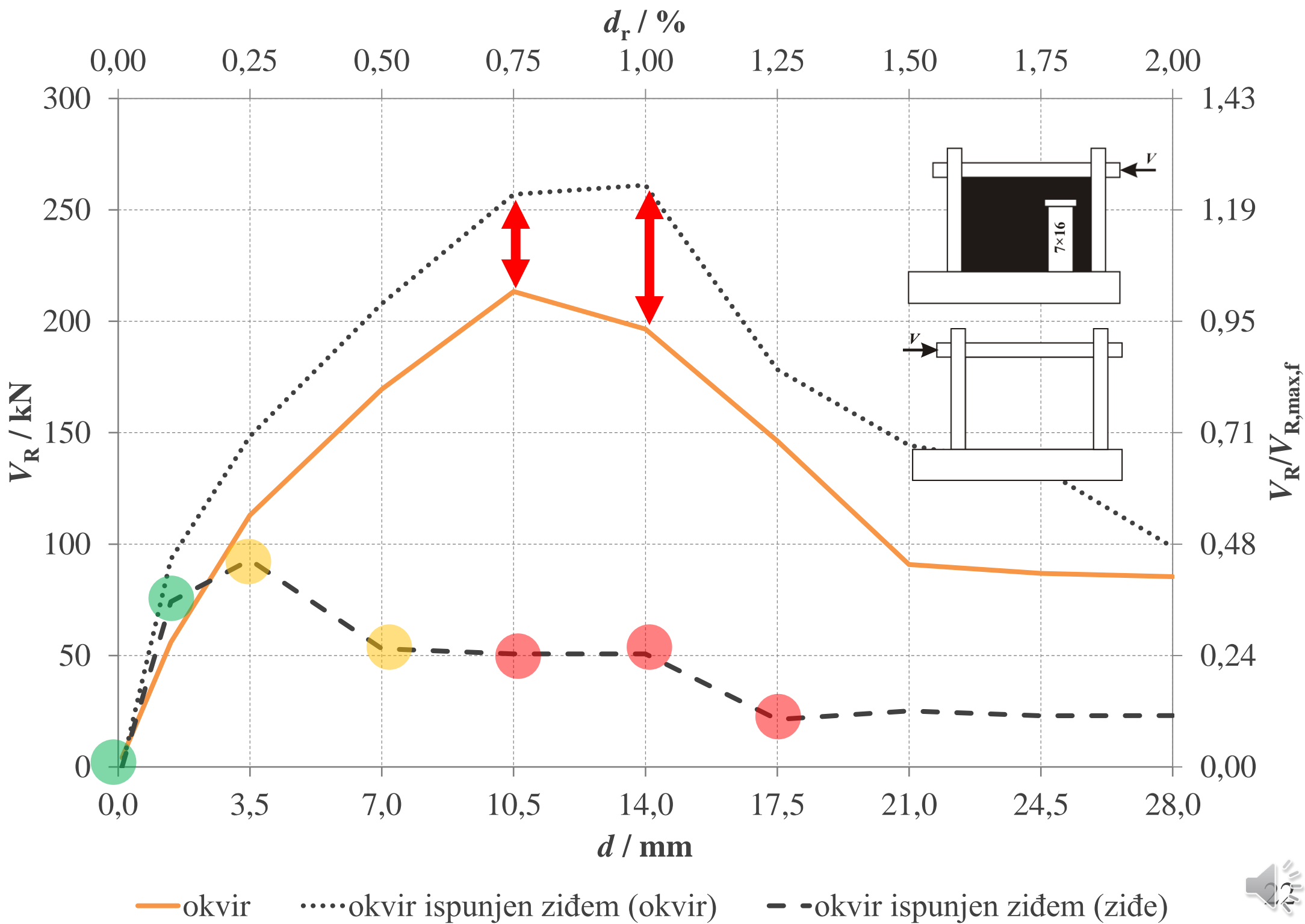
- usporedba unutarnjih seizmičkih poprečnih sila koje preuzimaju stupovi okvira ( $V_{R,if,f}$ ) i ispunsko zide ( $V_{R,if,i}$ ) na mjestu očekivanog nastanka plastičnog zgloba na stupovima okvira pri odabranom katnom pomaku ( $d_r$ )
- otpornost pojedinačnog elementa izražena je putem normne veličine  $V_{R,if,f} / V_{R,max,f}$  ili  $V_{R,if,i} / V_{R,max,f}$ , gdje je  $V_{R,max,f}$  otpornost okvira bez ispunskog zida

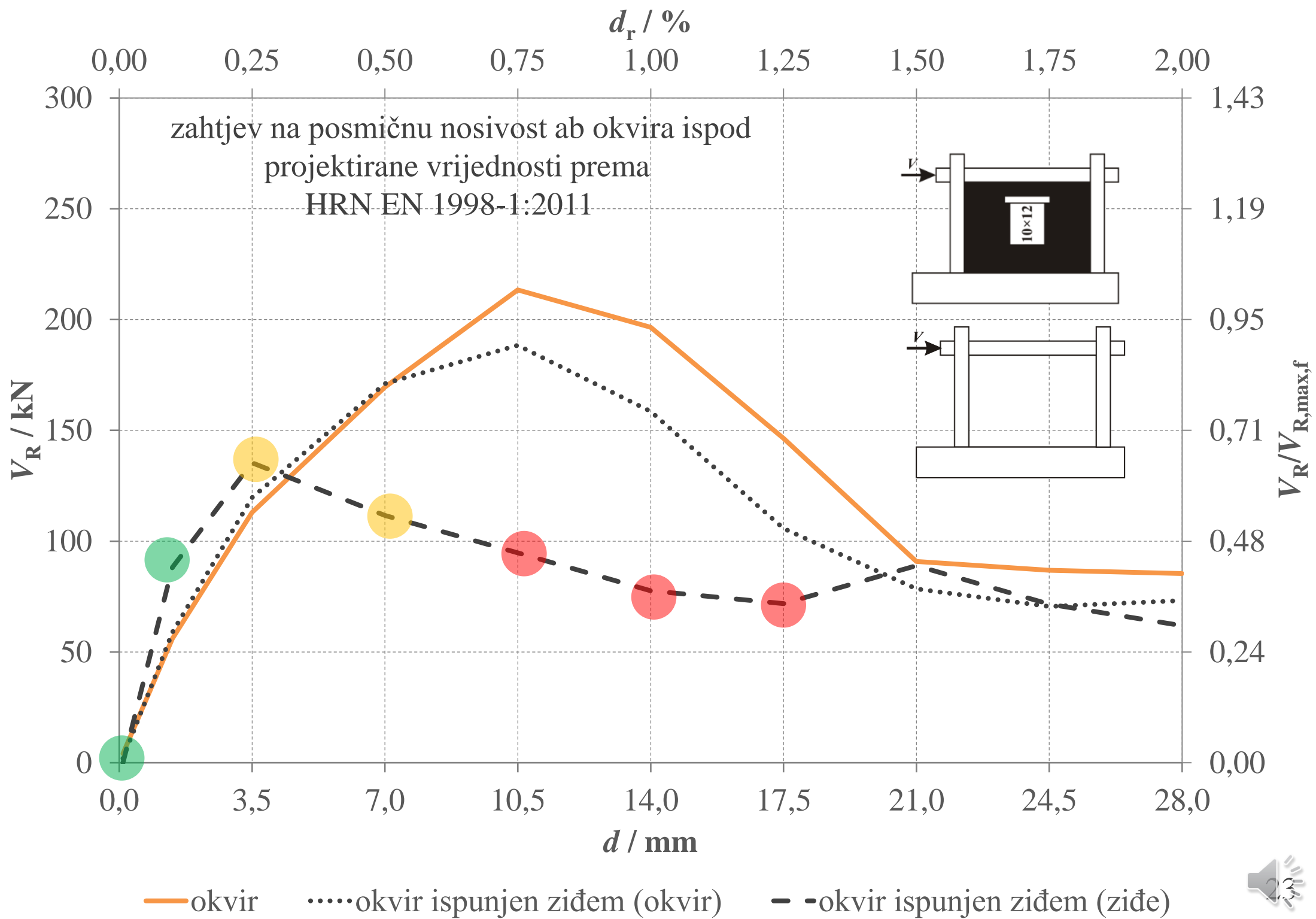
## B. Opis rezultata ...

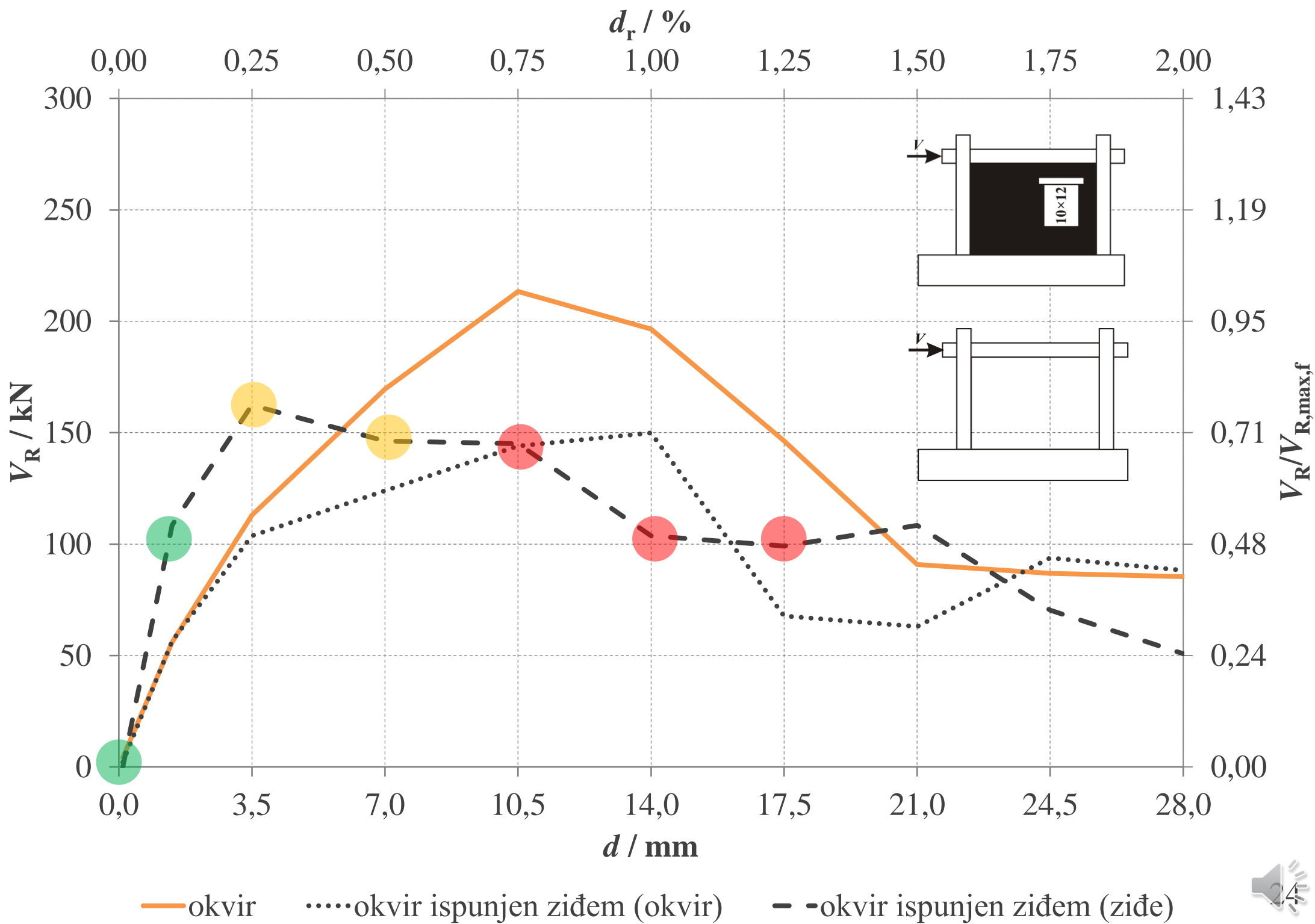














# OBJAŠNJENJE REZULTATA

## A. Osnovna načela, uzročne veze i poopćenja

- **posmična nosivost:**
- pojedinačnih (konstrukcijskih) elemenata okvira ispunjenog zidom u kojem se ne nalaze otvori približno jednaka otpornosti okvira bez ispunskog zida
- konstrukcijskog elementa ispunskog zida ovisi o vrsti, veličini i razmještaju otvora i umanjuje se povećanjem odnosa ploštine otvora i ploštine ispunskog zida  $A_o / A_i$
- stupova armiranobetonskog okvira ne ovisi o vrsti, veličini i razmještaju otvora

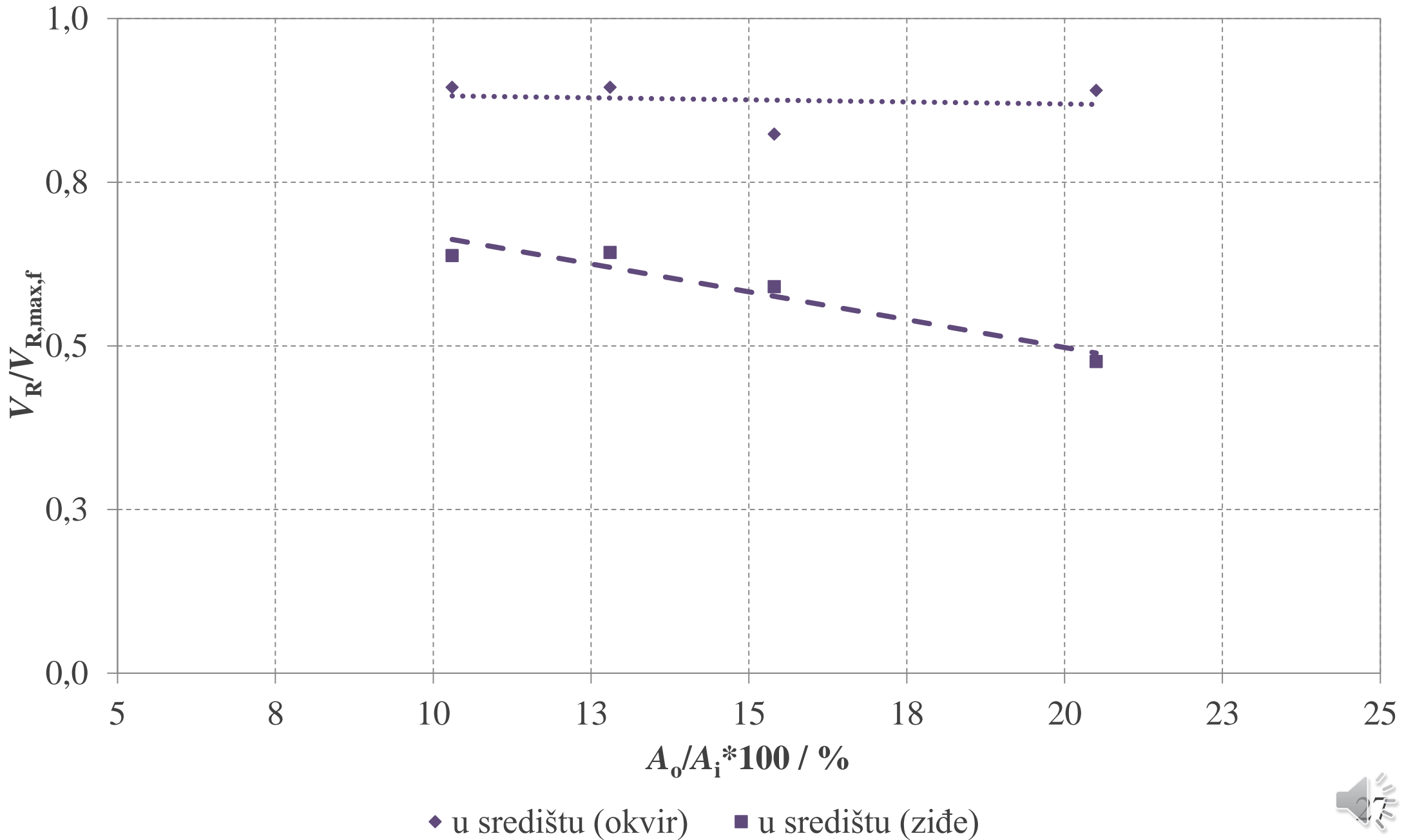


# OBJAŠNJENJE REZULTATA

- **posmična nosivost u slučaju prozorskog otvora:**
- u sredini i s otklonom (negativno) okvir preuzima više poprečne sile od ispunskog zida
- s otklonom (pozitivno) okvir preuzima manje poprečne sile od ispunskog zida



Otpornost na poprečnu silu pojedinačnih konstrukcijskih elemenata okvira ispunjenog zidom s otvorom za prozor ( $V_R/V_{R,max,f}$ ) u odnosu na omjer ploštine otvora i ploštine ispunskog zida ( $A_o/A_i*100$ )



# OBJAŠNJENJE REZULTATA

- **u slučaju otvora za vrata:**
- otpornost na potresnu poprečnu silu koju preuzima okvir viša je od otpornosti okvira bez ispunskog zida
- u slučaju izmještenog otvora zahtjevi za okvir su veći u odnosu na slučaj kada je otvor smješten u sredini

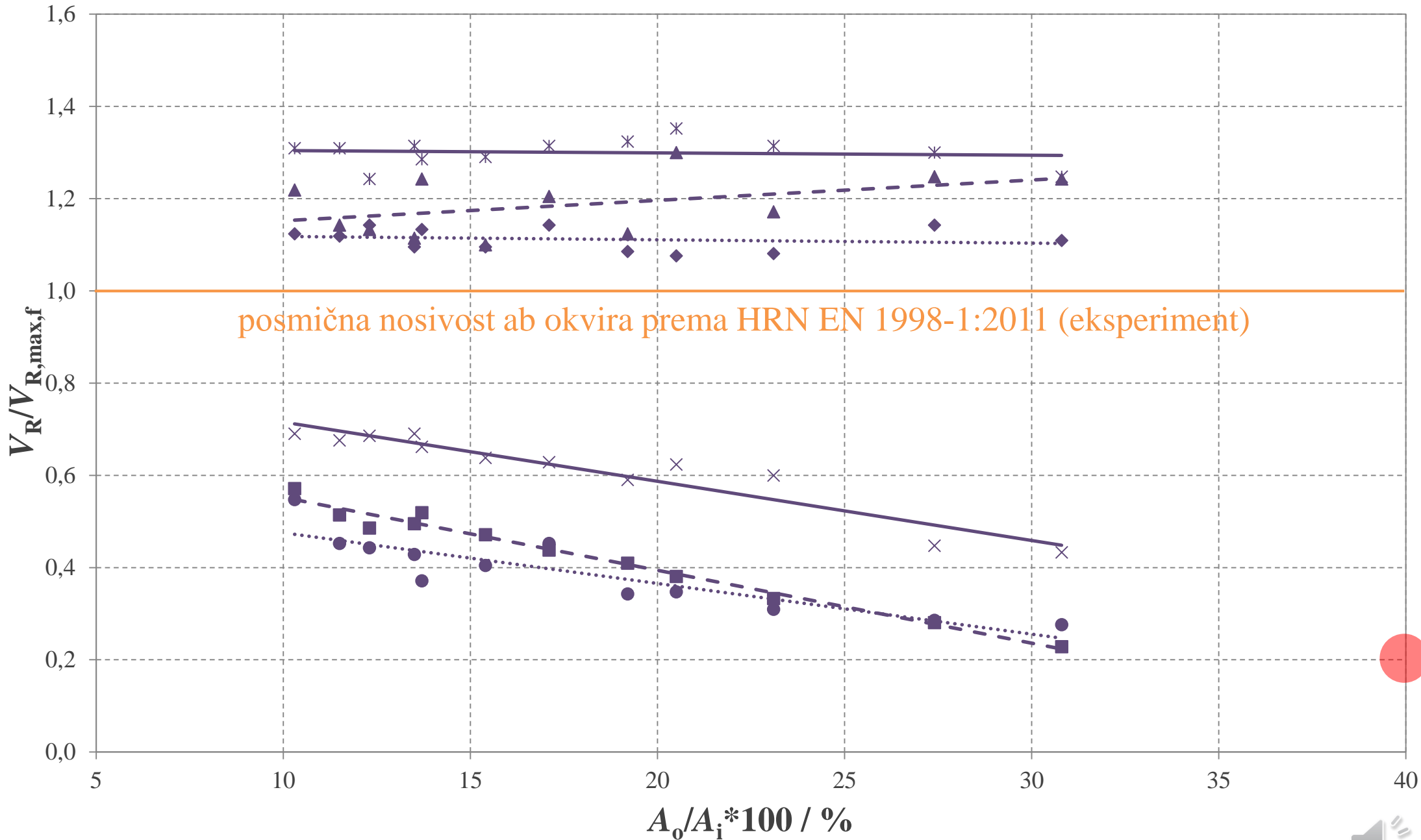
**B. Potvrdne činjenice ...**

**C. Iznimke i oprečne teorije i njihova objašnjenja ...**

**D. Usporedba rezultata s rezultatima drugih istraživača ...**



Otpornost na potresnu poprečnu silu pojedinačnih (konstrukcijskih) elemenata okvira ispunjenog zidom s otvorom za vrata ( $V_R/V_{R,max,f}$ ) u odnosu na omjer ploštine otvora i ploštine ispunskog zida ( $A_o/A_i*100$ )



◆ u središtu (okvir)    ■ u središtu (zide)    ▲ s otklonom pozitivno (okvir)    × s otklonom pozitivno (zide)    ✖ s otklonom negativno (okvir)    ● s otklonom negativno (zide)



# ZAKLJUČAK

- **općenito:**
- vrsta, veličina i razmještaj otvora utječu na projektne značajke okvira ispunjenih zidom (posmična nosivost)
- poprečna silu u okviru, u slučaju okvira ispunjenog zidom s otvorima za vrata, prekoračuje vrijednost posmične nosivosti okvira bez ispunskog zida (projektirana vrijednost)
- pri projektiranju potresne otpornosti okvira **podcijenjeni** su stoga zahtjevi za posmičnu nosivost (negativan utjecaj ispunskog zida)



# ZAKLJUČAK

- u slučaju otvora za prozor preuzeta otpornost na potresnu poprečnu silu okvira ispunjenog zidom (samo okvira) manja je od otpornosti okvira bez ispunskog zida (pozitivan utjecaj ispunskog zida)
- **daljnji rad:**
- utjecaj vertikalnih ab serklaža uz rubove otvora u ispunskom zidu

# BIBLIOGRAFIJA

- Penava, D., 2012. Utjecaj otvora na seizmički odgovor armiranobetonskih okvira sa zidanim ispunom. Doktorska disertacija. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek, Croatia. Voditelj: Vladimir Sigmund
- Sigmund, V. & Penava, D., 2014. Influence of openings, with and without confinement, on cyclic response of infilled R-C frames - An experimental study. *Journal of Earthquake Engineering*, 18(1), pp.113–146.
- Penava, D., Sigmund, V. & Kožar, I., 2016. Validation of a simplified micromodel for analysis of infilled RC frames exposed to cyclic lateral loads. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 14(10), pp.1–26.
- **Penava, D., Sarhosis, V., Kožar, I. & Guljaš, I., 2018. Contribution of RC columns and masonry wall to the shear resistance of masonry infilled RC frames containing different in size window and door openings. *Engineering Structures* (u postupku objave)**





# ZAHVALE

- Istraživački projekt: **Seizmički proračun okvirnih konstrukcija s ispunom** (proj. br.: 149-1492966-1536); Ministarstvo znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske
- Istraživački projekt: **Uokvireno zide - kompozitni nosivi sustav kod armirano-betonskih zgrada** (proj. br.: HRZZ-IP-2013-11-3013); Hrvatska zaklada za znanost
- Istraživački bilateralni projekt: **Procjena oštećenja armiranobetonskih okvirnih konstrukcija ispunjenih zidom uslijed potresnog 3D djelovanja**; Ministarstvo znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske
- American Concrete Institute (ACI) Technical Committee 133 Disaster Reconnaissance



DAAD



# KRAJ

Hvala Vam na Vašoj pažnji!

