



Hrvatska komora  
inženjera građevinarstva



# OBNOVA GRADA ZAGREBA NAKON POTRESA zakonodavni i tehnički okvir

## VIŠESTAMBENA ZGRADA U ZAGREBU - POPRAVAK I POJAČANJE KONSTRUKCIJE NAKON POTRESA

mr.sc. Dragan Kovač , dipl.ing.građ.



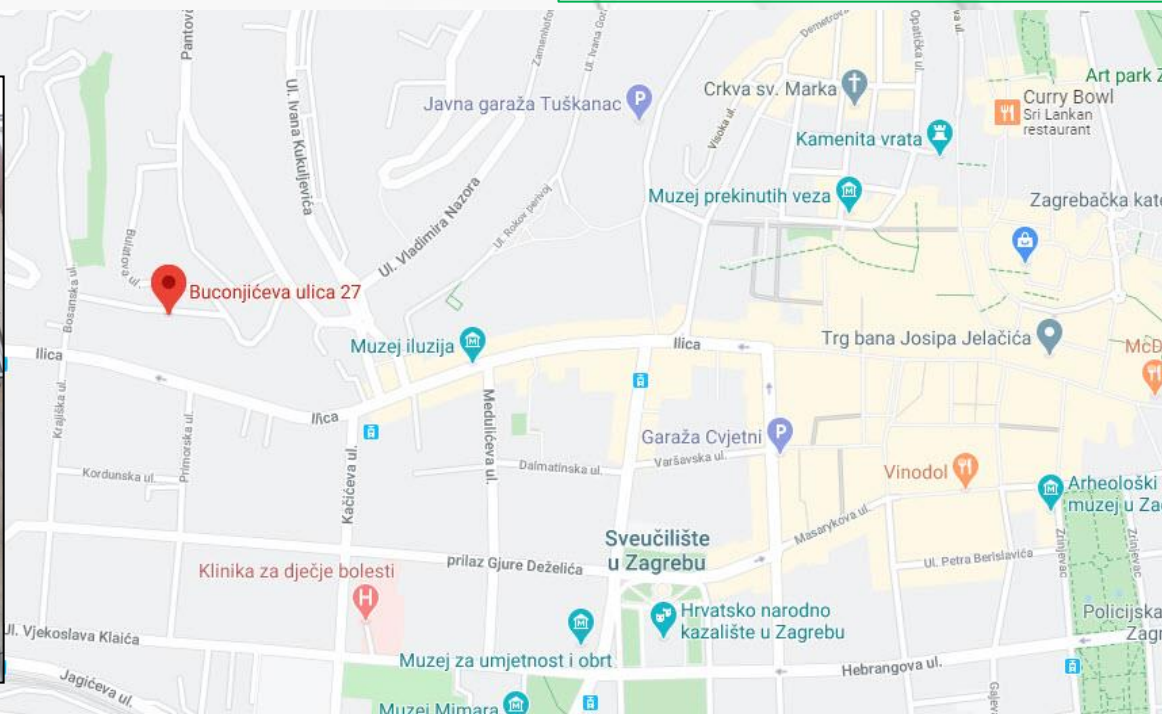
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAĐEVINSKI FAKULTET  
Kačićeva 26, Zagreb  
[www.grad.unizg.hr](http://www.grad.unizg.hr)

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

# Sudionici i lokacija

- Investitor – Suvlasnici višestambene zgrade ( formalno – Upravitelj zgrade )
- Projektanti i suradnici – CAPITAL ING d.o.o.
  - mr.sc. Dragan Kovač, dipl.ing.građ.
  - Katarina Konjevod, dipl.ing.građ.
  - Velimir Šilec , dipl.ing.građ.

Lokacija - Buconjićeva 27, Zagreb



Iznad Ilice  
blizu  
Trga bana  
Jelačića

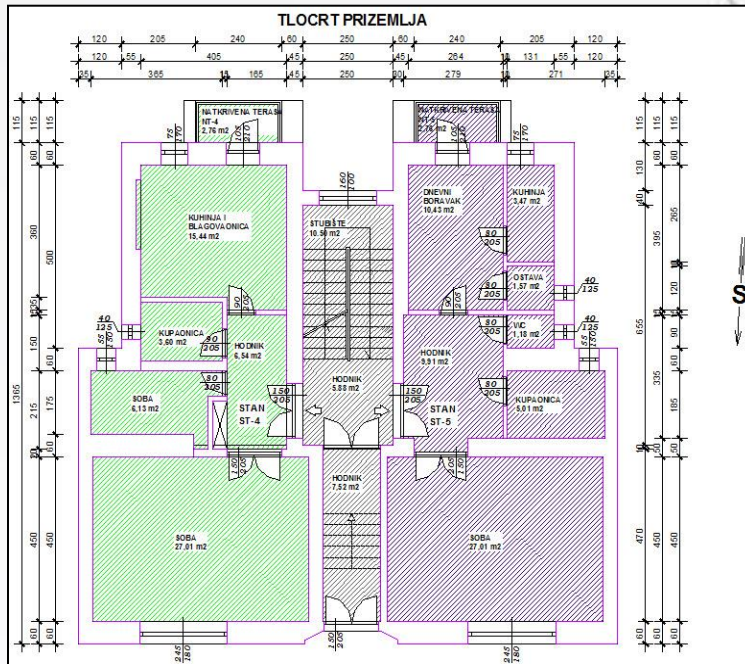


SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAĐEVINSKI FAKULTET  
Kačićeva 26, Zagreb  
[www.grad.unizg.hr](http://www.grad.unizg.hr)

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

# Osnovni podaci o višestambenoj zgradi

## Tipična donjogradska višestambena zgrada



- Tlocrtna izmjera 14 x 15 m, GBP = cca 1000 m<sup>2</sup>
- Podrum, prizemlje, 1.kat, 2 kat i potkrovlje
- U zoni zaštite – NIJE pojedinačno KD
- Građevine ugrađene – u bloku
- Stropovi – drveni grednici
- Zidovi od klasične opeke u vapnenom mortu ( loša seizmička otpornost )
- Zgrada je građena 1933.
- Najniži podrum, ukopani dijelovi prema tlu i stropovi podrumskih etaža su betonski
- Zgrada nema niti vertikalne niti horizontalne serklaže
- Temelji su zidani ( prošireni zidovi u tlu )

## Nosivi zidovi su fasadni plus :

- U x smjeru središnji zid
- U y smjeru stubišni zidovi – često neopterećeni

## Zabatni zidovi dvostruki ( ugrađene zgrade )

## U pravilu dosta tanji - OŠTEĆENJA





# Sadržaj glavnog projekta

- **A /TEKSTUALNI PRILOZI:**
  - **A.1. Izvadak o sudskoj registraciji poduzeća**
  - **A.2. Rješenje o imenovanju projektanta**
  - **A.3. Rješenje o upisu u Imenik HKIG**
  - **A.4. Rješenje Ministarstva kulture za dopuštenje za rad na kulturnim dobrima**
  - **A.5. Popis primijenjenih propisa**
  - **A.6. Popis normi korištenih za proračun konstrukcije**
  - **A.7. Uvjeti održavanja konstrukcije građevine**
- **B/TEHNIČKI OPIS**
  - **B.1. Lokacija i snimak postojećeg stanja**
  - **B.2. Prikaz oštećenja konstrukcije građevine**
  - **B.3. Postojeća dokumentacija i arhivska građa**
  - **B.4. Tehnički opis potresne sanacije**
- **C/POPRAVAK I POJAČANJE NOSIVE KONSTRUKCIJE**
  - **C.1. Analiza opterećenja na konstrukciju**
  - **C.2. Osnovni statički proračun**
  - **C.3. Tehnička rješenja popravka i pojačanje nosive konstrukcije**
- **D/PRORAČUNSKI , GRAFIČKI PRILOZI I TROŠKOVNIK**
  - **D.1. Statički proračun i dimenzioniranje ( model konstrukcije ) – prilozi**
  - **D.2. Zaključak**
  - **D.3. Grafički prilozi – nacrti pojačanja**
  - **D.4. Troškovnik radova**

# Zakonodavni okvir – do donošenja Zakona o obnovi

- **Zakon o gradnji ( NN 153/13, 20/17, 39/19)**
- **Pravilnik o održavanju ( NN 122/14, 98/19 )**
- **Tehnički propis za građevinske konstrukcije ( 17/17, 75/20 )**
- **Izmjena TPGK ( NN 75/20 ) – Razina 2 – Višestambena građevina**
- **Izvanredno održavanje – članak 2 Pravilnika - nakon izvanrednog događaja – potres**
- **Pravilnik o održavanju po definiciji je očuvanje i unapređenje temeljnih zahtjeva ( popravak i poboljšanje konstrukcije )**
- **U regulativi ne postoji niti sanacija niti adaptacija**
- **Naslov građevinskog projekta ( Statike ) – IZVANREDNO ODRŽAVANJE – POPRAVAK I POJAČANJE KONSTRUKCIJE ( razina obrade – Glavni projekt )**
- **TPGK – Članak 23 – Omogućava poboljšanje temeljnih zahtjeva**

**MGIPU - Uputa od 3.7.20.**

 REPUBLIKA HRVATSKA  
Ministarstvo graditeljstva  
i prostornoga uređenja

KLASA: 360-01/20-01/106  
URBROJ: 531-01-20-1  
Zagreb, 3. srpnja 2020.

**PREDMET:** Uputa o postojećim zakonskim mogućnostima pristupanja obnovljanju zgrada oštećenih u potresu nakon stupanja na snagu Tehničkog propisa o izmjenama i dopunama Tehničkog propisa o građevinskim konstrukcijama (NN 75/20)

Obnavljanje zgrade oštećene u potresu obuhvaća izvedbu građevinskih i drugih radova na postojećoj zgradi koji su Zakonom o gradnji („Narodne novine“ broj 153/13, 20/17, 39/19, 125/19; u daljnjem tekstu: ZOG) definirani kao:

- **obnavljanje oštećenih građevina (gradnja »replike« uništene i uklonjene zgrade ili njezina dijela)**
- **održavanje**
- **uklanjanje**
- **rekonstrukcija te**
- **gradnja potpuno nove zgrade koja se razlikuje od uklonjene.**

Za izvedbu navedenih radova i gradnju ZOG-om je načelno propisana obveza ishođenja građevinske dozvole.

Međutim, istim je Zakonom propisano i više iznimaka koje omogućavaju obnovu bez građevinske dozvole.

Najvažnija takva iznimka propisana je odredbama članaka 129. i 130. ZOG-a (obnavljanje oštećenih građevina), pri čemu treba uvažavati odredbe sada izmijenjenog i dopunjenog Tehničkog propisa za građevinske konstrukcije (vidjeti članak 24.a, stavak 4.). Prema navedenim odredbama ZOG-a, u slučaju oštećenja građevine djelovanjem prirodnih nepogoda, ratnih razaranja ili drugih razaranja, građevina se može, neovisno o stupnju oštećenja, vratiti u prvobitno stanje bez građevinske dozvole, u skladu s aktom na temelju kojeg je izgrađena, odnosno projektom postojećeg stanja građevine. U slučaju kada je riječ o građevini upisanoj u Registar kulturnih dobara Republike Hrvatske, potrebno je ishoditi dopuštenje prema posebnom zakonu.

Također, prema odredbama članka 153. ZOG-a, građevinska dozvola nije potrebna za **uklanjanje** građevine ili njezina dijela, ali je za to potrebno imati projekt uklanjanja građevine, osim za građevine i radove koje se grade, odnosno izvode bez građevinske dozvole. To ne isključuje obvezu da radove izvodi izvođač, tj. osoba registrirana za obavljanje poslova gradnje, obveza provedbe stručnog nadzora gradnje i obveza prijave početka gradnje.

Niz radova koji se izvode bez građevinske dozvole određen je Pravilnikom o jednostavnim i drugim građevinama i radovima („Narodne novine“, broj 112/17, 334/18, 36/19, 98/19 i 31/20) - održavanje, hitni popravci i nužni popravci. Od tih radova najzanimljiviji su oni koji se mogu izvoditi **bez građevinske dozvole**

# Projektni ciljevi – RAZINA 2



OBNOVA



Razina 1

Razina 2

Razina 3

Razina 4

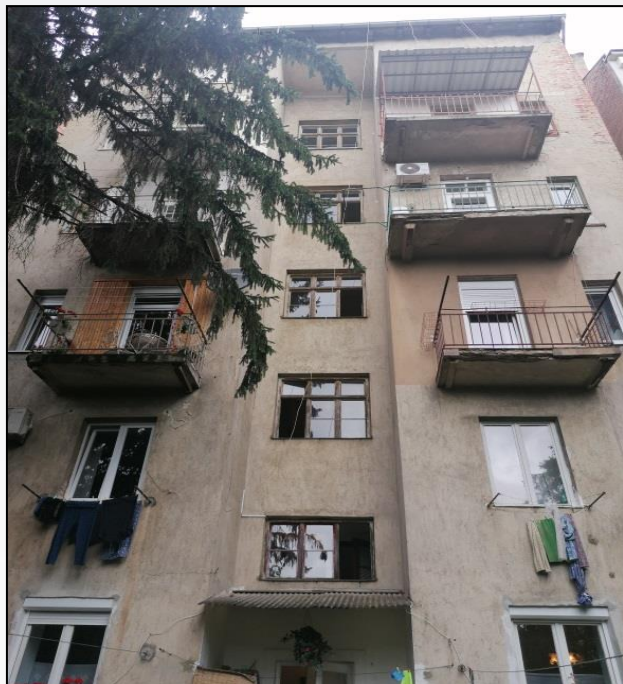
VEĆA OTPORNOST  
VEĆA INVESTICIJA

- Bitno je ne pogoršati druge temeljne zahtjeve ( požar )
- Ne mijenja se tehničko rješenje po kojem je građevina sagrađena ( nema promjene opterećenja, središta mase i krutosti, arhitekture, instalacija...)
- MGIPU – Višestambena zgrada, zajednička pričuva – Prijava gradilišta, bez posebnih uvjeta JP tijela , bez tehničkog pregleda i uporabne dozvole
- Bez barijera – Građevinski projekt + izvođač – samo uz prijavu gradilišta
- Cilj je 50% HRN EN 1998, bez bitnog zadiranja. U TPGK ostavljena mogućnost odstupanja - 1. Kulturno dobro 2. Nesrazmjer uloženo/dobiveno
- Bez iseljenja – razina adaptacije – cilj max 150 €/m<sup>2</sup>





# Prvi pregled građevine



UPORABLJIVO	
<input type="radio"/> U1	bez OGRANIČENJA
<input type="radio"/> U2	UPORABLJIVO s preporukom
PROVEDEN BRZI PREGLED	

PRIVREMENO NEUPORABLJIVO	
<input type="radio"/> PN1	potreban DETALJAN PREGLED
<input type="radio"/> PN2	potrebne mjere HITNE INTERVENCIJE
PROVEDEN BRZI PREGLED	

NEUPORABLJIVO	
<input type="radio"/> N1	zbog VANJSKIH UTJECAJA
<input type="radio"/> N2	zbog OŠTEĆENJA
PROVEDEN BRZI PREGLED	

Građevina klasificirana kao zelena – uporabljiva bez ograničenja



- Potreban i detaljan pregled konstrukcije
- Potrebno detaljno dokumentiranje svih oštećenja u svrhu trajnog dokumentiranja – uključivo zahtjevi za štete, sufinansiranja i sl.
- Predmetna građevina je izdržala predmetni potres bez značajnih oštećenja
- Obveza seizmološkog zavoda dati  $a_g$  ovog potresa



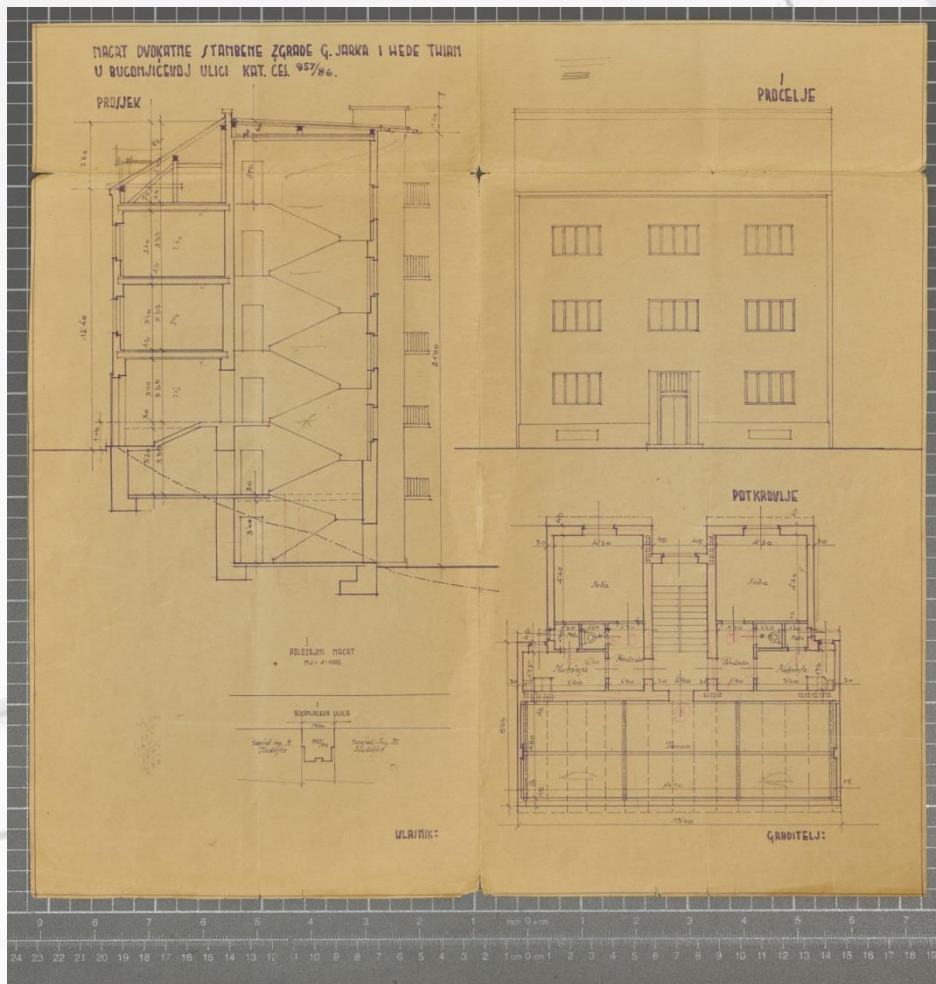
# Arhivski nacrti

Državni arhiv ne radi sa strankama

Poslati upit na :

[info@daz.hr](mailto:info@daz.hr)

- Arhivski nacrt je obvezna podloga za projektiranje
- Zatražiti od Državnog arhiva
- Daje jako puno informacija o konstrukciji
- Reducira vrijeme izrade snimka postojećeg stanja  
( precrtati arhivski nacrt – provesti kontrolno mjerenje)

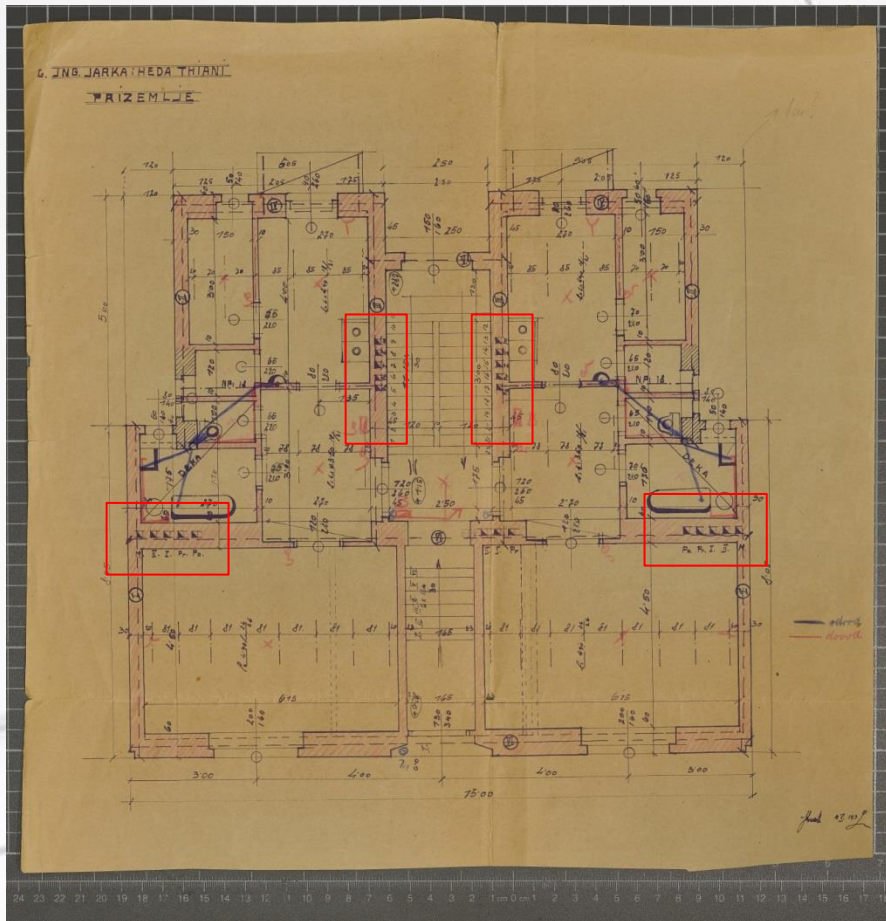


SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAĐEVINSKI FAKULTET  
Kačićeva 26, Zagreb  
[www.grad.unizg.hr](http://www.grad.unizg.hr)

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

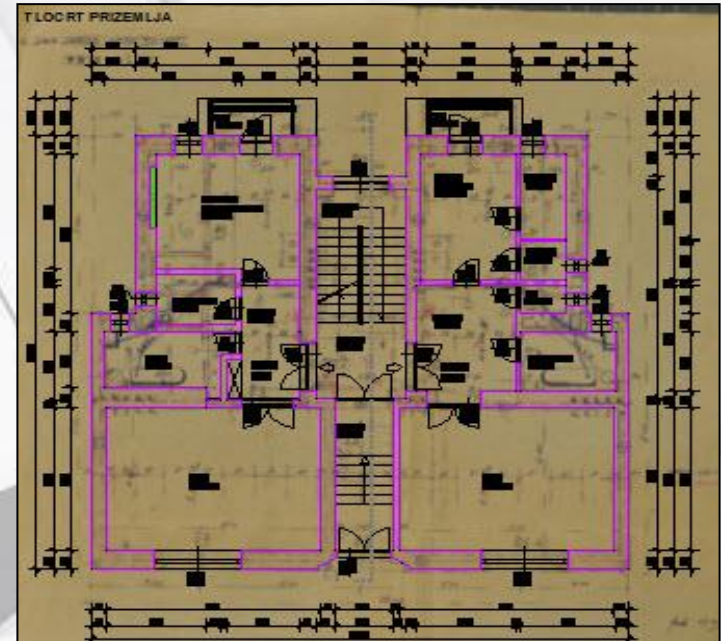
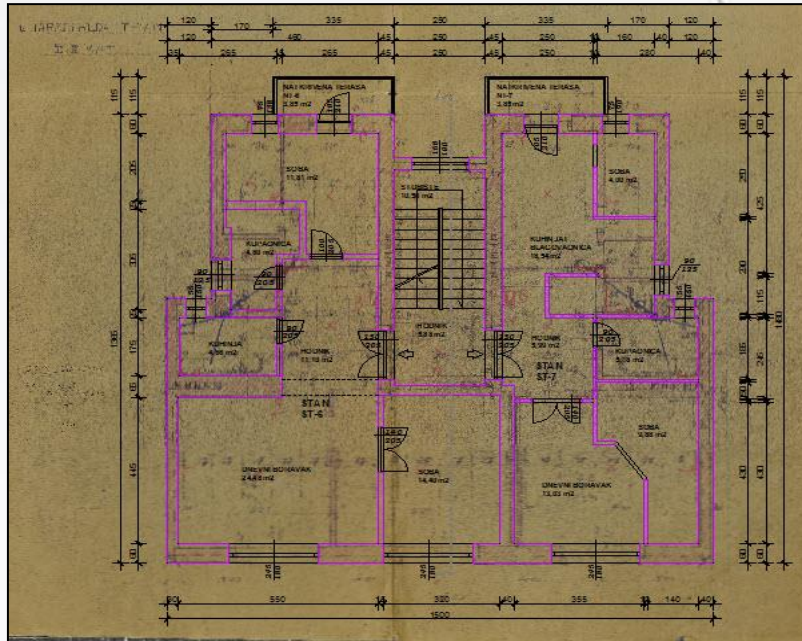


# Arhivski nacrti



- U prvoj fazi se vrše popravci i pojačanja dimnjaka, krovova i zabata
- Važno - Na arhivskim nacrtima su ucrtani dimnjaci
- Na ovom je ucrtan raster drvenih grednika
- Moguće ocijeniti vrstu konstrukcije, slojeve itd.
- Stropne konstrukcije u pravilu drveni grednici ( trstika, žbuka, šuta , pod )
- Svodovi u pravilu bačvasti i pruski svod ( čelični profili )
- Stubišta ( betonska/kamena ) na čelični traverzama
- Krovišta – jednostruke ili dvostruke visulje

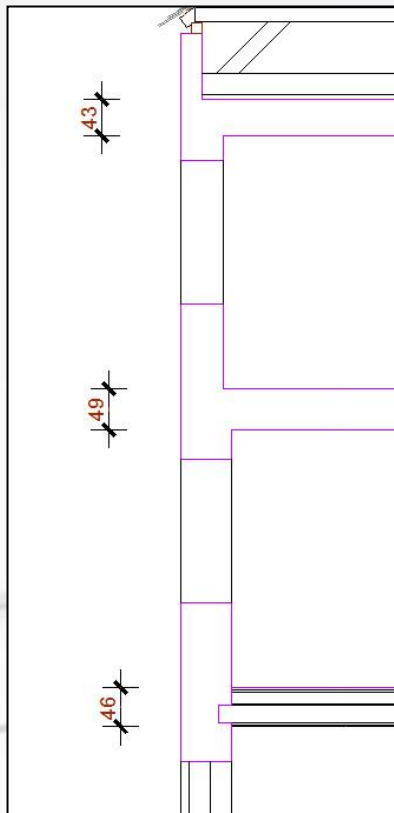
# Preklop digitalnih nacрта - podloga



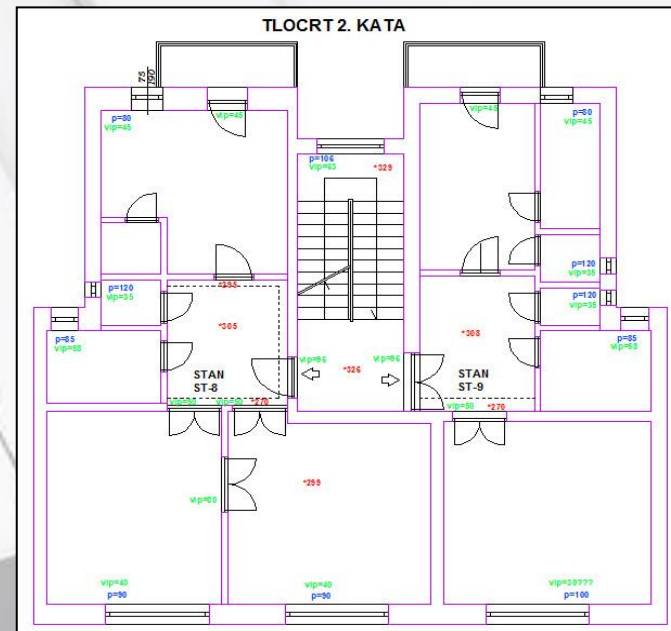
- Utvrđuje se nosiva konstrukcija - preklop podloga arhiva/dwg snimak post.stanja
- Utvrđuje se da li su vršene višestruke rekonstrukcija – članak 24 TPGK
- Pravilnost konstrukcije ( tlocrtno i visinski )
- Utvrđuje se da li su uklanjani nosivi zidovi u etažama ( umjesto nosivog zida – čelični profili ) – ozbiljan seizmički nedostatak – prizemlje ( lokali )



# Istražni radovi i ispitivanja



- Pod parket ..... 2.0 cm
- Daska ..... 2.5 cm
- Šuta .....14 cm
- Daska ..... 2.5 cm
- Grednici ..... 20 cm
- Daska ..... 2.5 cm
- Trstika ..... 1.0 cm
- Žbuka ..... 1.5 cm
- Ukupno : 46 cm



- Istražni radovi ( istraživanje, dokumentiranje, projektiranje ) – ne obuhvaća samo ispitivanje konstrukcije
- Odrediti visine etaža – prognoza nosivih stropnih konstrukcija
- Odrediti parapete i grede - za model konstrukcije
- Slojevi podova – potrebni za opterećenje
- Iznimno bitno – vrijeme gradnje – očekivani elementi i sklopovi



# Istražni radovi i ispitivanja

## ■ Seizmika - Najbitnije ispitivanje – posmična nosivost zida



Slika 24. Priprema ispitivanja posmične čvrstoće zida na mjestu J-2



Slika 25. Priprema ispitivanja posmične čvrstoće zida na mjestu J-1



Slika 29. Priprema ispitivanja posmične čvrstoće zida na mjestu S-8



Slika 4. Prikaz ispitnog mjesta oznake S5



Slika 5. Prikaz ispitnog mjesta oznake S5

Na ovom mjestu provelo se mjerenje posmične čvrstoće zida.



Slika 24. Izmjera zida i sastav (ispitivanje i posmične čvrstoće zida)

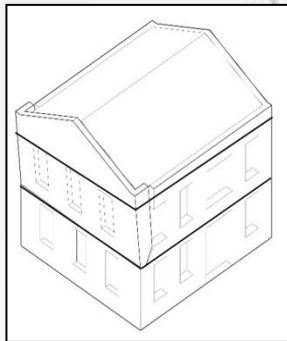
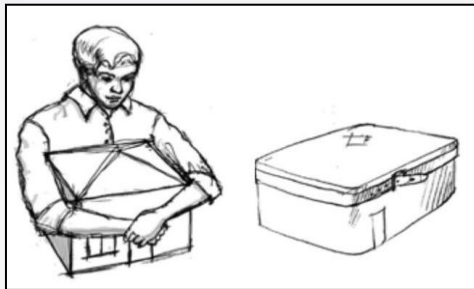


Slika 20. Izmjera zida i sastav (ispitivanje i posmične čvrstoće zida)



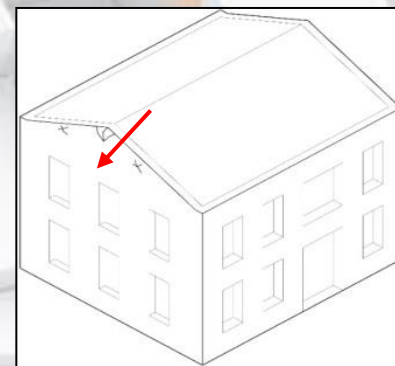
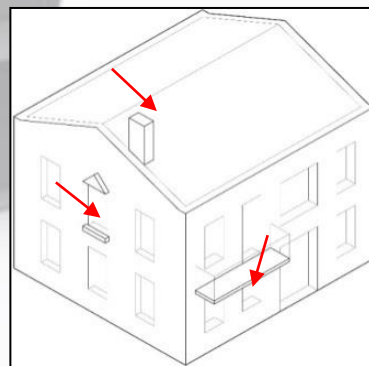
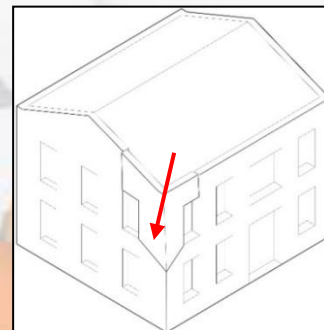
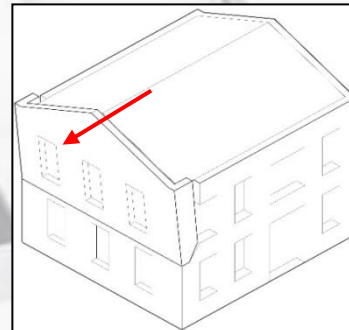
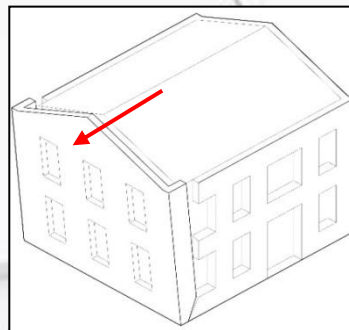
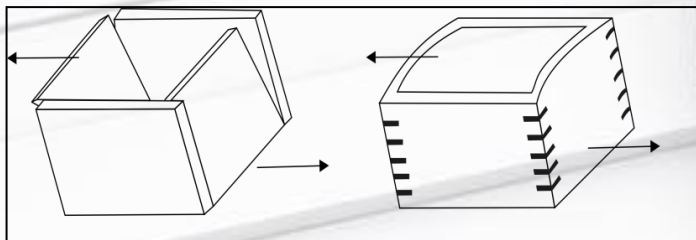
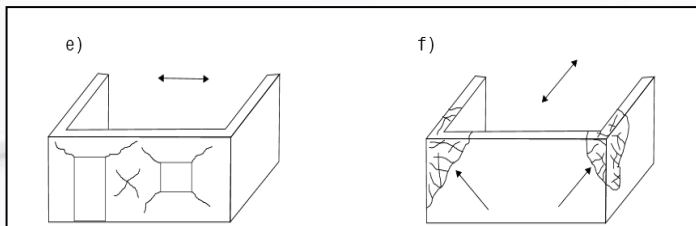
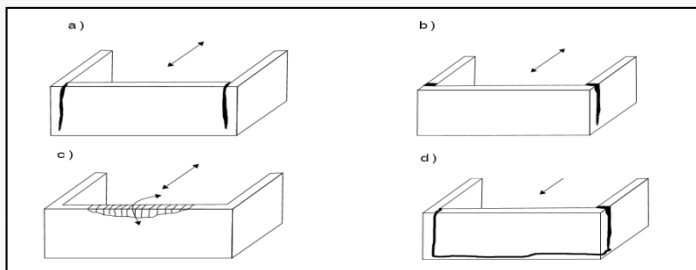
Slika 6. Prikaz maksimalne posmične sile (kN)

# Projektni ciljevi



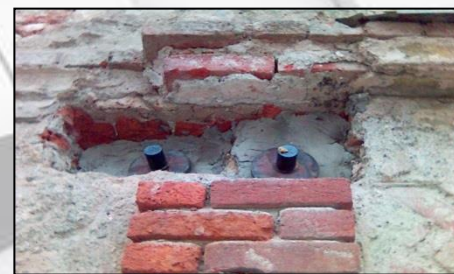
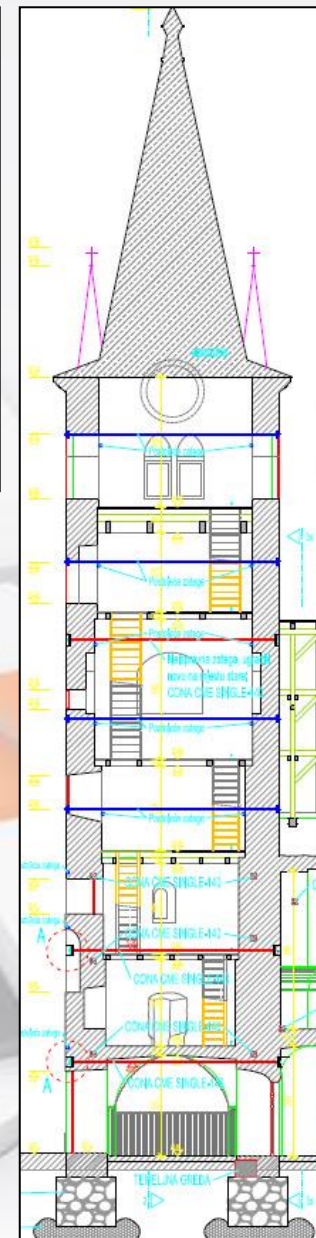
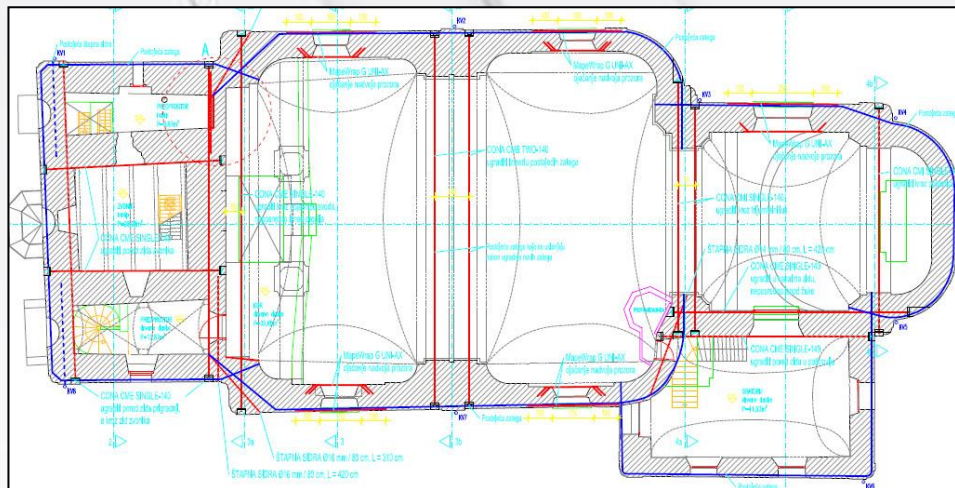
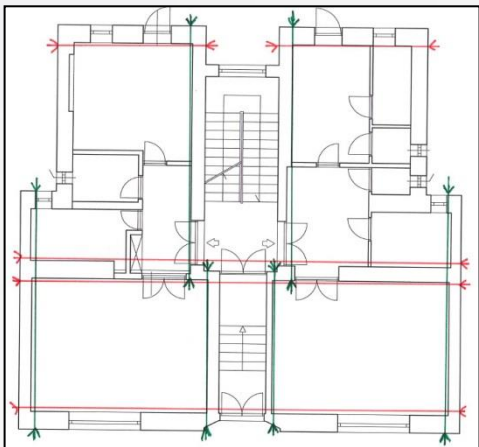
- Popraviti sva oštećenja
- Povezati nosive elemente
- – UVJET POTRESNE OBNOVE ZA SVE ZGRADE
- Horizontalno krute „šajbe „ u stropovima
- Pojačanjem povećati nosivost zidova

## Otkazivanje van ravnine i gubitak stabilnosti





# Projektni ciljevi



- Povezati nosive elemente - UVJET POTRESNE OBNOVE ZA SVE ZGRADE
- Minimum – povezati nasuprotne zidove fleksibilnim „sajlama” - zetege



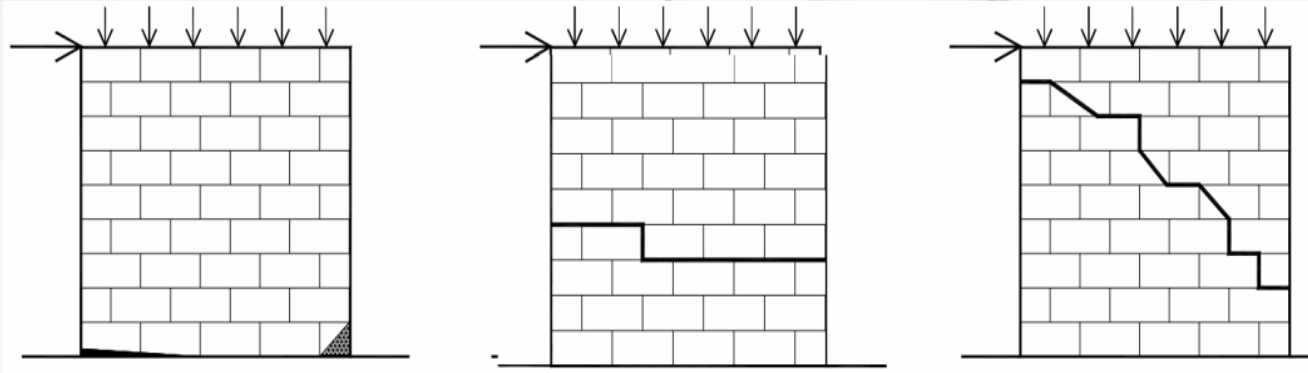
# Projektni ciljevi – uvjeti za provedivost obnove

- Početna otpornost konstrukcije je različita od objekta do objekta
- Moguće su i situacije ( iznimno loša startna otpornost ) da je od početne otpornosti do dosezanja 50% potrebno dodavati nosive elemente – REKONSTRUKCIJA U RAZINI 2
- Moguće su i situacije ( niža katnost uz puno zidova u dva smjera ) kada konstrukcija u startu ima 50% otpornosti prema EN 1998 – Uvjet - povezivanje elemenata i kruti stropovi
- Ovisno o zatečenoj otpornosti ( npr. 23% ) ovisi opseg ( količina ) radova za ciljanih 50%
- Potres je otvorio panodrinu kutiju– višegdodišnje neodržavanje zgrada
- Cilj je uz minimizirane obrtničke zahvate polučiti maksimalne učinke pojačanja ( donjogradske zgrade – privatno vlasništvo ) – bez iseljenja i bez grubih građ. radova
- Rezultat statičkog proračuna je omjer postignutog u odnosu na EN 1998 ( Razina 2 = 50% ). To je preteča seizmičkog certifikata ( iskaznice )
- Očekuje se povećanje vrijednosti nekretnina koje su pojačane i koje imaju bolji seizmički certifikat
- Javni objekti za veće okupljenje ljudi su po konceptu, opsegu zahvata, visini investicije proceduri dozvola, i svemu ostalom potpuno drugačiji od privatnih višestambenih zgrada - RAZINA 3 SU REKONSTRUKCIJE ( uvjet osim statike – zadovoljenje i drugih TZ )

# Nakon povezivanja -pojačanje

Pojačanje nosivosti zidova u ravnini – mehanizni sloma

OTPORNOST ELEMENTA  
NA EKCENTRIČNI TLAK



Vlačno popuštanje (lijevo) i  
tlačno drobljenje pete zida  
(desno) - savijanje

Posmični slom  
klizanjem

Vlačni slom (posmični)-  
dijagonalni slom

Primjer - velika vrijednost tlačne sile  
ili veliko savijanje

Primjer – mala vrijednost tlačne sile

Najčešći oblik sloma

$$f_{v,k} = f_{vk,0} + 0.4 \cdot \sigma_d$$

Prema HRN EN nosivost zida na  
horizontalnu seizmičku silu se određuje  
na temelju posmične čvrstoće ( $f_{vk}$ )

Posmična čvrstoća  
zida

Osnovna posmična  
čvrstoća

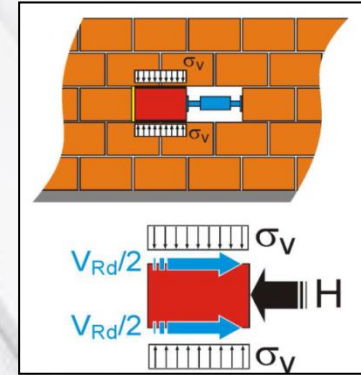
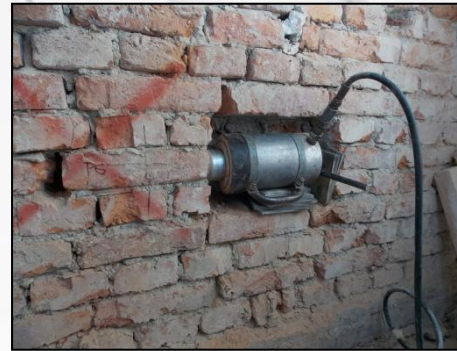
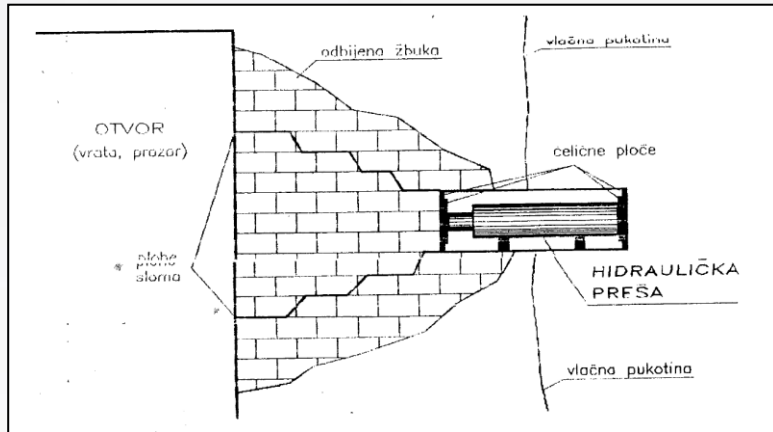
Doprinos vertikalnog  
opterećenja



# Posmična čvrstoća zida

Posmičnu čvrstoću je moguće odrediti ispitivanjem

$$f_{v,k} = f_{v,k,0} + 0.4 \cdot \sigma_d$$



## EUROCODE

Zidni element	Mort	$f_{v,k}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Granična vrijednost $f_{v,k}$ (N/mm <sup>2</sup> )		
Glineni zidni elementi Grupe 1	M10 do M20,	0.3	Manja od	1.4	
	M2,5 do M9				1.2
	M1 do M2				1.2
Zidni elementi Grupe 1 koji nisu glineni, ili nisu od prirodnog kamena	M10 do M20,	0.2	tlačne	1.2	
	M2,5 do M9				1.5
	M1 do M2				1.2
Grupa 1, zidni elementi od prirodnog kamena	M2,5 do M9	0.15	čvrstoće	1.4	
	M1 do M2				1.0
	M1 do M2				1.0
Grupa 2a, glineni zidni elementi	M10 do M20,	0.3	(vidjeti	1.4	
	M2,5 do M9				napomenu)
	M1 do M2				
Grupa 2a zidni element koji nisu glineni i glineni elementi Grupe 2b	M10 do M20,	0.2	1.2		
	M2,5 do M9			1.0	
	M1 do M2				1.0
Grupa 3 glineni zidni elementi	M10 do M20,	0.3	Bez drugih ograničenja osim onih danih uz izraz (3.7)		
	M2,5 do M9				
	M1 do M2				0.1

Vrsta zida: zidni elementi i mort	Tlačna čvrstoća (N/mm <sup>2</sup> )	Vlačna čvrstoća (N/mm <sup>2</sup> )	Modul elastičnosti (N/mm <sup>2</sup> )	Modul posmička (N/mm <sup>2</sup> )
Dvoslojni kameni zid u blatnom vapnenom mortu	0.3	0.02	200	65
Kamen u vapnenom mortu	0.5	0.08	1000	90
Miješani, kamen i opeka u vapnenom mortu	0.9	0.08	1000	90
Opeka u vapnenom mortu	2.0	0.09	800	50
Puna opeka MO10 i mort MM 0.5	2.0	0.04	250	40
Puna opeka MO15 i mort MM 2.5	2.5	0.18	800	200
Laki keramički blok MO 7.5, i mort MM 2.5	5.0	0.30	4500	500
Modularni blok MO 15, i mort MM 2.5	2.5	0.12	5000	300
Modularni blok MO 15, i mort MM 5	3.0	0.18	5000	300
Keramizirni blok MO 7.5, i mort MM 5	3.5	0.27	5000	500
Betonski blok MO 7.5, i mort MM 5	4.0	0.27	6000	600
Puna opeka – stari zid, MO 10, MM1.0	2.0	0.09	800	50

Postoje rezultati ranijih istraživanja – Aničić D. – Zemljotresno inženjerstvo 1990.

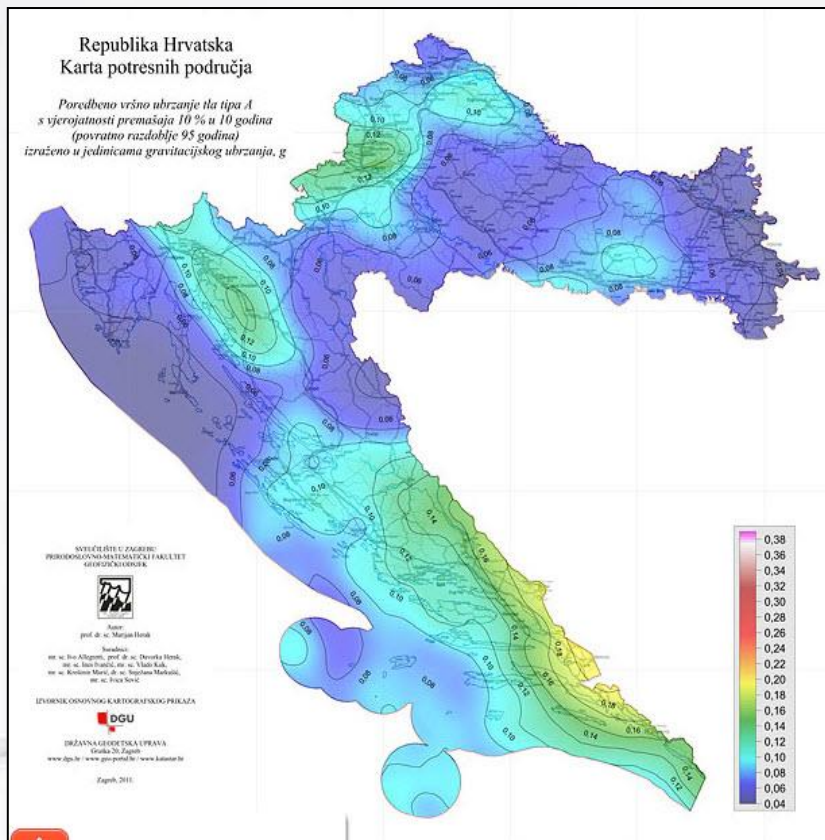
Preporuka prema EN  $f_{v,k,0} = 0.1$  MPa

Prema HRN EN 1998-3 Rezultate ispitivanja umanjiti faktorom povjerenja





# Parametri za proračun



- Razina 2 – 10% premašaja u 10 godina
  - $T=95$  godina ( povratni period )
  - $a_g ( T=95 \text{ godina} ) = \text{cca } 50\% a_g ( T=475 \text{ godina} )$
  - $a_g = 0.13 \text{ g}$  ( za  $T=475$  god  $a_g = 0.26 \text{ g}$  )

- Modul elastičnosti prema HRN EN 1996
  - $E = 1000 \times f_k$
  - Prema preporukama i HRN EN 1996  
 $f_k = 2 \text{ MPa} \rightarrow E = 2000 \text{ MPa}$
  - Proračun se provodi na raspucalim presjecima  
- ekvivalent  $\rightarrow 0.5 \rightarrow E = 1000 \text{ MPa}$
  - Za konstrukcije pravilne po visini  
(EN 1998 – 4.2.3.3.) i za niže periode  
osciliranja moguće koristiti metodu  
ekvivalentnog statičkog opterećenja  
Direktna  $\rightarrow$  Jednostavna  $\rightarrow$  Sljediva

Ubrzanje – Zagreb DG  
 $a_g = 0.13 \text{ g}$  ( T95 god )

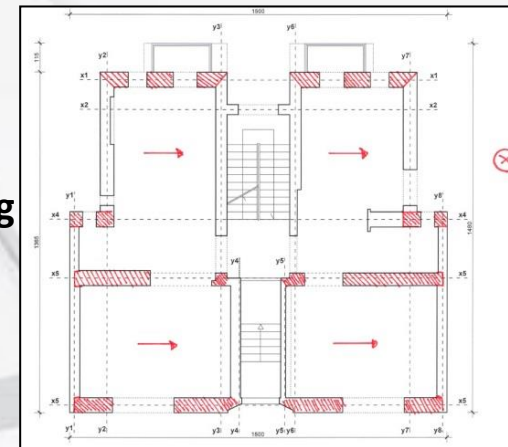
Faktor ponašanja : 1.5  
Razred važnosti:  $\gamma = 1.0$

Tlo kategorije C  $\rightarrow S = 1.15$   
 $T_B = 0.2 \text{ s}, T_C = 0.6 \text{ s}, T_D = 2.0 \text{ s}$

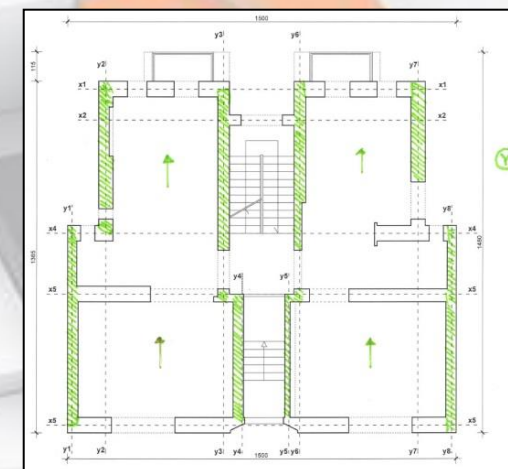
# Gruba seizmička analiza – ploština ziđa

- Ukupna ploština stropa jedne etaže:  $188 \text{ m}^2$ ,  $q_{Ed} = 15 \text{ kN/m}^2$  (iskustvena procjena)
- Masa građevine – 4 i pol etaže :  $M = 4.5 \times 188 \times 15 = 12.690 \text{ kN}$
- Seizmička sila ( HRN EN 1998 ), kategorija tla C, faktor ponašanja 1.5 :
- $S_d(T) = 0.26 \cdot 1.15 \cdot 2.5 \cdot 1 / 1.5 = 0.50$  (50 % mase građevine ) za  $T = 475 \text{ g}$
- Seizmička sila za svaki smjer iznosi :  $S_x = S_y = 0.50 \cdot 12.690 = 6324 \text{ kN}$
- Ploština zidova prizemlja:  $A_x = 16.51 \text{ m}^2$  ( 8.8 % ploštine etaže )  
 $A_y = 18.78 \text{ m}^2$  ( 10% ploštine etaže)
- Prosječno naprezanje :  $\sigma_x = 6324 / 161.500 = 0.38 \text{ MPa}$ ,  $\sigma_y = 6324 / 187780 = 0.34 \text{ MPa}$ ,
- Karakteristična osnovna posmična čvrstoća ziđa :  $f_{vk,0} = 0.1 \text{ MPa}$
- Prosječno vertikalno naprezanje  $\sigma_d = 0.4 \text{ MPa}$
- Računska posmična čvrstoća ( otpornost ) :
- $f_{v,d} = ( 0.1 + 0.4 \cdot 0.4 ) / 1.5 = 0.17 \text{ MPa}$
- Omjer  $\underline{\psi}_x = 0.17 / 0.38 = 44.7 \%$  - postotak u odnosu na računsko djelovanje prema HRN EN 1998 za 475 god
- Omjer  $\underline{\psi}_y = 0.17 / 0.34 = 49 \%$  - postotak u odnosu na računsko djelovanje prema HRN EN 1998 za 475 god

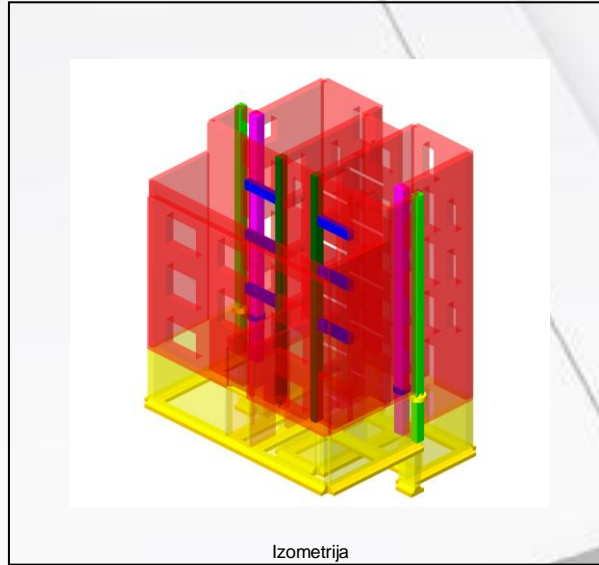
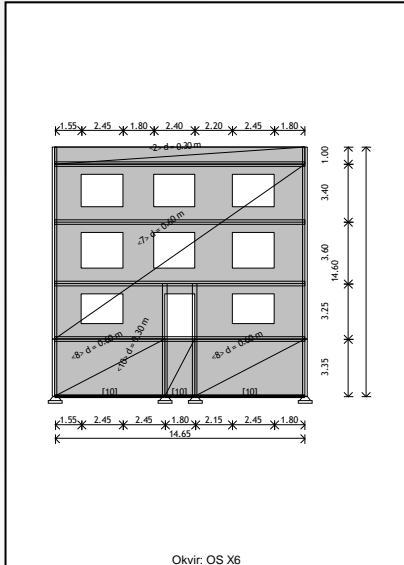
## X-SMJER



## Y-SMJER

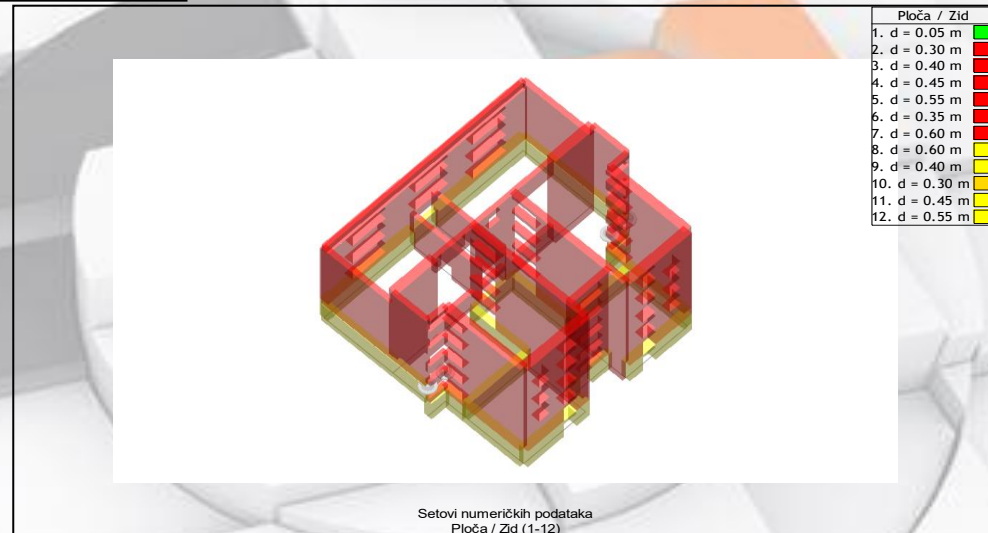


# Modeliranje i proračun



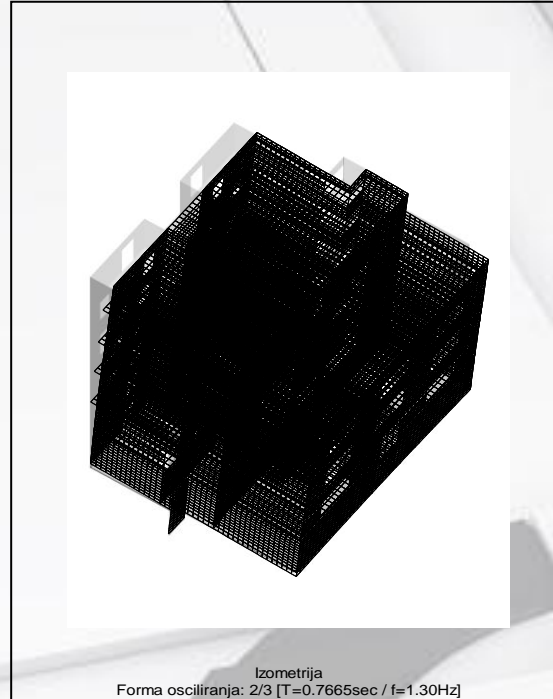
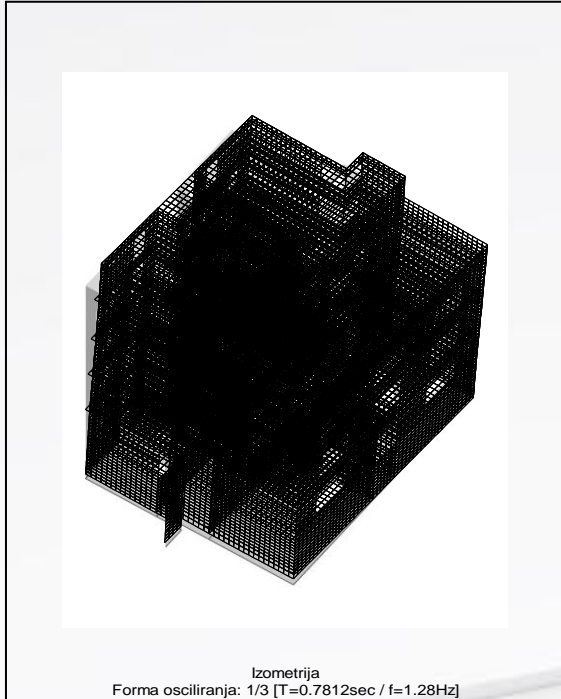
- 3D model – Tower – Lineano elastična analiza – bočne sile ( ekvivalentna statika )
- Moguće nelinearne analize
- Metoda postupnog guranja - Pushover analiza
- HRN EN dozvoljava preraspodjelu 25%
- Krajnje granično stanje - otkazivanje prvog zida – srednja vrijednost otpornosti – pushover analiza
- Bitna procjena projektanta

- Osnovna pretpostavka → Kruti stropovi
- Važni su ulazni proračunski parametri
- Modeliranje – bliže geotehničkom projektiranju ( sve zadano i podosta nepoznato )
- Određivanje konačne globalne razine otpornosti → Bitna procjena i iskustvo projektanta
- Projekti su pod obvezom kontrole projekta – REVIZIJA ( > 800 m<sup>2</sup> )





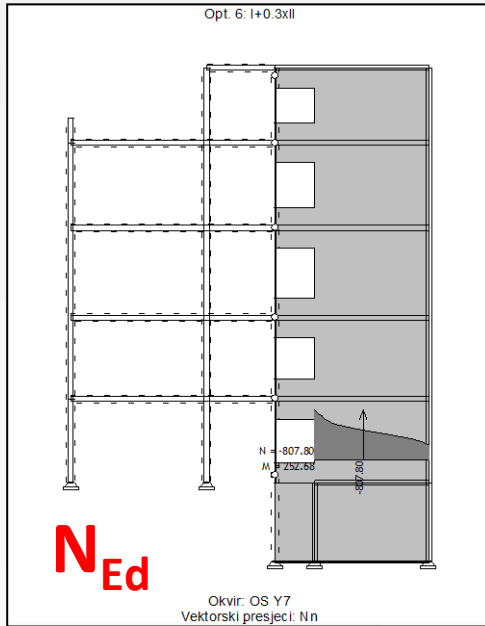
# Modeliranje



- Prvi i drugi ton translatorni
- $T_1$  ( x-smjer ) = 0.78 s ( period je velik zbog relativno male krutosti )
- $T_2$  ( y-smjer ) = 0.77 s
- Tonovi ekvivalentni odnosu ploština zida u x i y smjeru
- Metoda Ekvivalentne statike – Seizmička sila ne ovisi o krutosti niti o periodu osciliranja

- „Posmična kuća”
- Ne može primiti savijanje
- Dominantni translacijski tonovi osciliranja
- Prva dva tona translacija X i Y
- Proračun iterativni  
( prvo na 100% EN pa ovisno o razini na npr. 50%)
- Problem zida u vlaku  
( kod proračuna na punu silu)
- Za veće periode (silazna grana spektra ) proračun multimodalnom analizom može smanjiti horizontalnu silu

# Dimenzioniranje zida

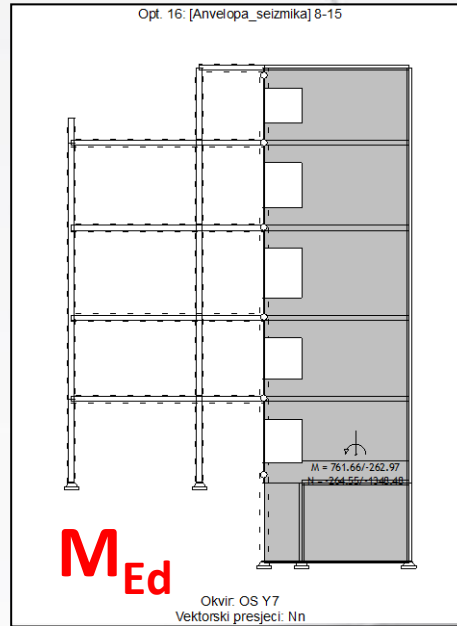


Vertikalna tlačna sila za osnovnu kombinaciju

$$f_{vk} = f_{vk,0} + 0,4 \sigma_d$$

Posmična čvrstoća

$$V_{Rd} = (1/\gamma_m) \cdot f_{vk} \cdot L_c \cdot d$$

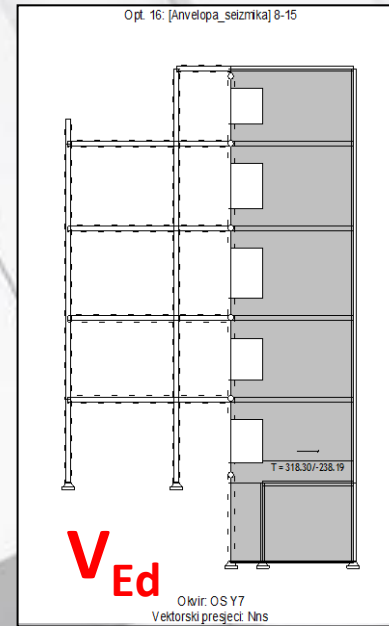


Moment savijanja  
Seizmička kombinacija

$$\sigma_d = N_{Ed} / (L_c \cdot d)$$

Vertikalno naprezanje

$$V_{Ed} < V_{Rd}$$



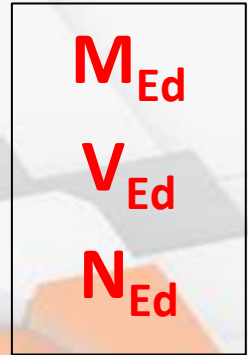
Horizontalna posmična sila  
Seizmička kombinacija

$$L_c = 3 \cdot [L/2 - (M_{Ed} / N_{Ed,min})] \leq L$$

Tlačna duljina neomeđenog zida  
(zide bez ab serklaža)

Računska nosivost zida

Iz Tower modela:  
Djelovanja na zid u  
Ravnini :



# Dimenzioniranje ziđa

OTPORNOST ZIĐA NA HORIZONTALNU POSMIČNU SILU - X SMJER											
$f_{vk,0}$	0,1	N/mm <sup>2</sup>	(za sve zidove isto)	$\gamma_M$	1,5	za seizmiku	MORT ZA ZIDANJE - vapno				
KONTROLNI PRORAČUN ZIĐA NA HORIZONTALNU SILU											
$f_{vk} = f_{vk,0} + 0,4 \cdot \sigma_d$				Posmična čvrstoća ziđa			$\sigma_d = N_{Ed} / (L_c \cdot d)$		Vertikalno naprezanje ziđa		
$V_{Rd} = (1/\gamma_M) \cdot f_{vk} \cdot L_c \cdot d$				Posmična otpornost ziđa			$L_c = 3 \cdot [L/2 - (M_{Ed}/N_{Ed, min})] \leq L$		Tlačna duljina ziđa		
ZID	$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed}$ [kNm]	$V_{Ed}$ [kN]	L [cm]	d [cm]	$L_c$ [cm]	$\sigma_d$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$f_{vk}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$V_{Rd}$ [kN]	$V_{Rd}/V_{Ed,50\%EN98}$	$V_{Rd}/V_{Ed,100\%EN98}$
OS X1-1	474,0	310,0	<b>194,0</b>	265	60	201,3	0,0392	0,0257	<b>206,9</b>	106,66%	53,33%
OS X1-2	212,0	59,0	<b>54,0</b>	95	60	59,0	0,0599	0,0340	<b>80,1</b>	148,40%	74,20%
OS X2-1	148,0	20,0	<b>80,0</b>	65	40	57,0	0,0650	0,0360	<b>54,7</b>	68,32%	34,16%
OS X2-2	433,0	100,0	<b>243,0</b>	295	40	295,0	0,0367	0,0247	<b>194,1</b>	79,89%	39,95%
OS X5-1	564,0	497,0	<b>146,0</b>	300	60	185,6	0,0506	0,0303	<b>224,7</b>	153,87%	76,94%
OS X5-2	875,0	790,0	<b>385,0</b>	585	45	585,0	0,0332	0,0233	<b>408,8</b>	106,19%	53,10%
OS X6-1	259,0	140,0	<b>163,0</b>	155	60	70,3	0,0614	0,0345	<b>97,2</b>	59,63%	29,82%
OS X6-2	332,0	314,0	<b>386,0</b>	245	60	83,8	0,0661	0,0364	<b>122,0</b>	31,62%	15,81%
Srednja vrijednost nosivosti - postignuti omjer u odnosu na 50% EN 1998 iznosi - X-SMJER :										<b>94,32%</b>	
Srednja vrijednost nosivosti - postignuti omjer u odnosu na EN 1998 iznosi - X-SMJER :										<b>47,16%</b>	

## Rezultati : X - SMJER

1. Okvirna gruba analiza prema ploštini ziđa : Nosivost  $X_{smjer} = 44.7 \%$
2. 3D model Tower bez uzimanja u obzir  $M_{Ed}$  kod dimenzioniranja : Nosivost  $X_{smjer} = 48.4 \%$
3. 3D model Tower (  $L_c$  – tlačna duljina za neomeđeno ziđe ) : Nosivost  $X_{smjer} = 47.2 \%$
4. Analiza otpornosti nakon nakon pojačanja ziđa FRCM sustavom : Nosivost  $X_{smjer} = 54.4 \%$

-RELATIVNO VISOKE OTPORNOSTI REZULTAT SU RELATIVNO VELIKE PLOŠTINE ZIĐA ZA SVAKI SMJER ( 10% TLOCRTA)  
 -POŽELJNO JE PROVESTI VEĆI BROJ PRORAČUNSKIH PRESJEKA ILI KAO MJERODAVNO UZETI OMJER  $\Sigma V_{Rd} / \Sigma V_{Ed}$





# Dimenzioniranje zida

## OTPORNOST ZIDA NA HORIZONTALNU POSMIČNU SILU - Y SMJER

$f_{vk,0}$	0,1	N/mm <sup>2</sup>	(za sve zidove isto)	$\gamma_M$	1,5	za seizmiku	MORT ZA ZIDANJE - vapno				
KONTROLNI PRORAČUN ZIDA NA HORIZONTALNU SILU											
$f_{vk} = f_{vk,0} + 0,4 \cdot \sigma_d$			Posmična čvrstoća zida			$\sigma_d = N_{Ed} / (L_c \cdot d)$		Vertikalno naprezanje zida			
$V_{Rd} = (1/\gamma_M) \cdot f_{vk} \cdot L_c \cdot d$			Posmična otpornost zida			$L_c = 3 \cdot [L/2 - (M_{Ed}/N_{Ed, min})] \leq L$			Tlačna duljina zida		
ZID	$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed}$ [kNm]	$V_{Ed}$ [kN]	L [cm]	d [cm]	$L_c$ [cm]	$\sigma_d$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$f_{vk}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$V_{Rd}$ [kN]	$V_{Rd}/V_{Ed, 50\%EN98}$	$V_{Rd}/V_{Ed, 100\%EN98}$
OS Y1	789,0	1095,0	466,0	745	35	701,2	0,0322	0,0229	374,0	80,26%	40,13%
OS Y2	804,0	765,0	320,0	415	55	337,1	0,0434	0,0273	338,0	105,62%	52,81%
OS Y3	1278,0	2092,0	244,0	625	45	446,4	0,0636	0,0354	474,7	194,56%	97,28%
OS Y4	253,0	125,0	115,0	200	30	151,8	0,0556	0,0322	97,8	85,06%	42,53%
OS Y5	253,0	107,0	109,0	200	30	173,1	0,0487	0,0295	102,1	93,66%	46,83%
OS Y6	1297,0	2065,0	266,0	625	45	459,9	0,0627	0,0351	483,8	181,89%	90,94%
OS Y7	808,0	762,0	318,0	415	55	339,6	0,0433	0,0273	340,0	106,91%	53,46%
OS Y8	779,0	1090,0	460,0	745	35	697,7	0,0319	0,0228	370,5	80,55%	40,28%
Srednja vrijednost nosivosti - postignuti omjer u odnosu na 50% EN 1998 iznosi - Y-SMJER :										116,06%	
Srednja vrijednost nosivosti - postignuti omjer u odnosu na EN 1998 iznosi - Y-SMJER :										58,03%	

## Rezultati : Y – SMJER

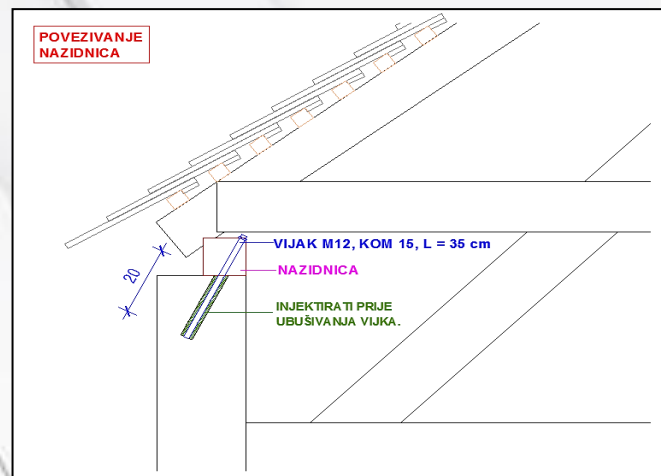
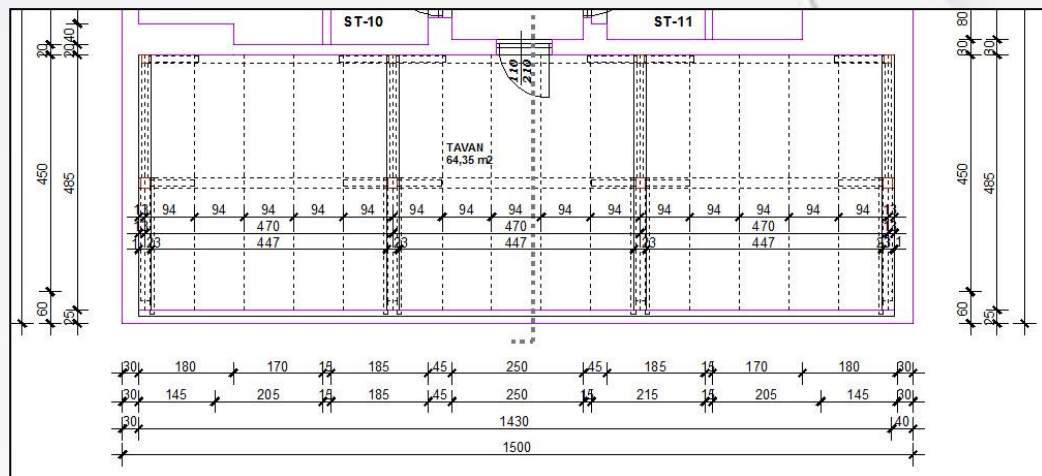
1. Okvirna seizmička analiza prema ploštini zida : Nosivost  $Y_{smjer} = 50 \%$
2. 3D model Tower bez uzimanja u obzir  $M_{Ed}$  kod dimenzioniranja : Nosivost  $Y_{smjer} = 55 \%$
3. 3D model Tower (  $L_c$  – tlačna duljina za neomeđeno zide ) : Nosivost  $Y_{smjer} = 58 \%$
4. Analiza otpornosti nakon proračuna nakon pojačanja zida FRCM sustavom : Nosivost  $Y_{smjer} = 58 \%$

-RELATIVNO VISOKE OTPORNOSTI REZULTAT SU RELATIVNO VELIKE PLOŠTINE ZIDA ZA SVAKI SMJER ( 10% TLOCRTA)

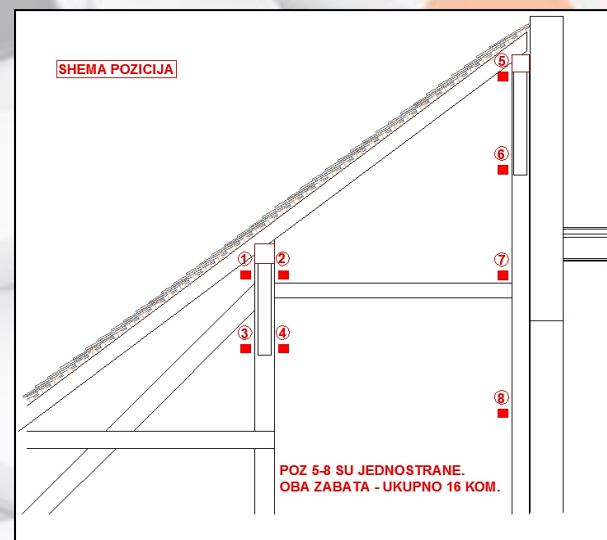
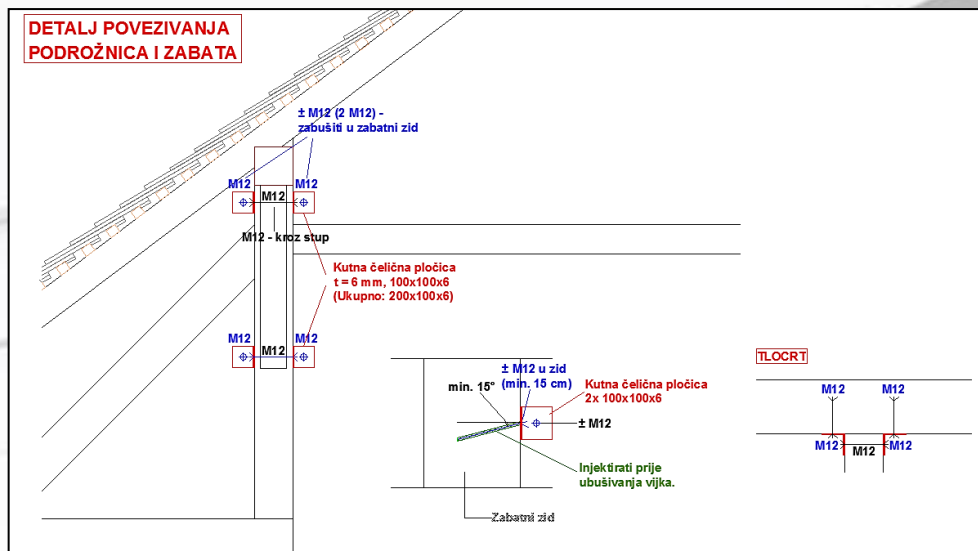
-POŽELJNO JE PROVESTI VEĆI BROJ PRORAČUNSKIH PRESJEKA ILI KAO MJERODAVNO UZETI OMJER  $\Sigma V_{Rd} / \Sigma V_{Ed}$



# Detalji – povezivanje elemenata krova

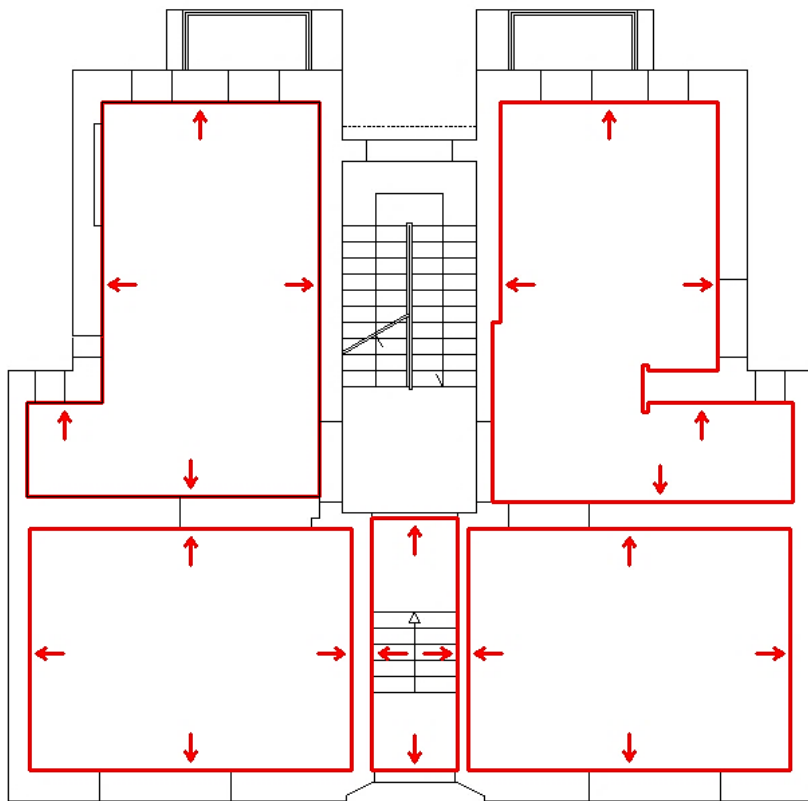


## Osiguranje stabilnosti zabatnih zidova potkrovlja

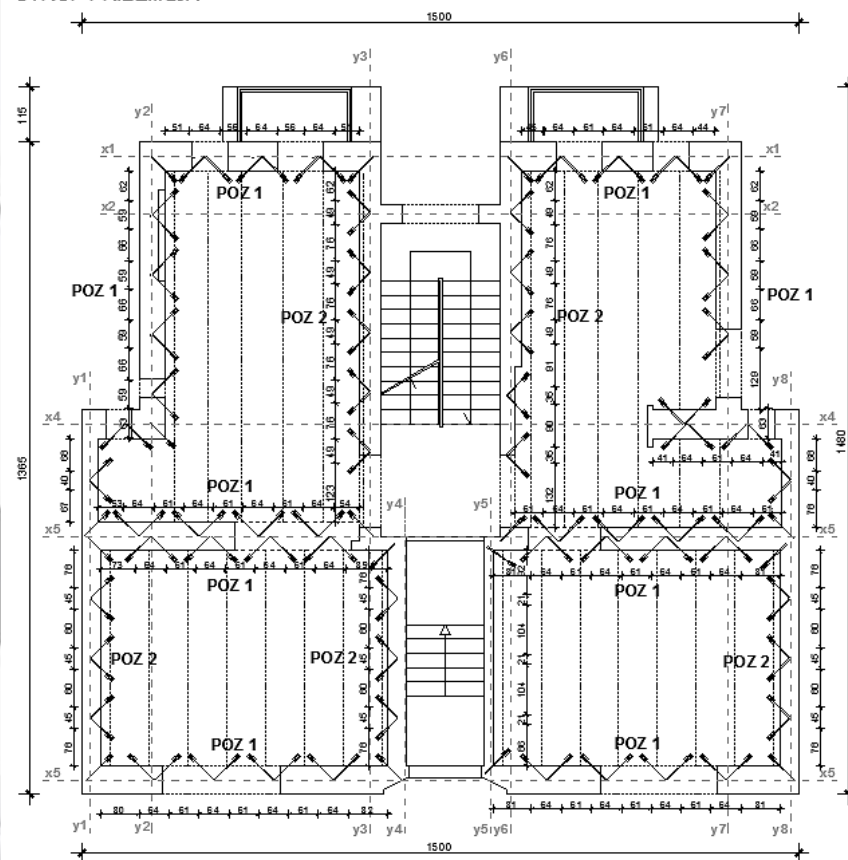


# Kruti horizontalni strop i povezivane sa zidovima

STROP PRIZEMLJA - POVEZIVANJE STROPOVA I ZIDOVA



STROP PRIZEMLJA

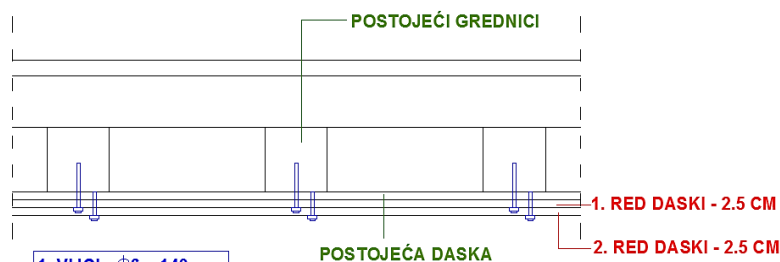


- Kruta horizontalan dijafragma – uvjet statičkog proračuna – egzistiranje modela
- Tlačna drvena ploča s donje strane = 2 x 24 mm ( postojeće daske zadržati )
- Gusto povezivanje sa zidovima – ubušeni sidreni armaturni ankeri



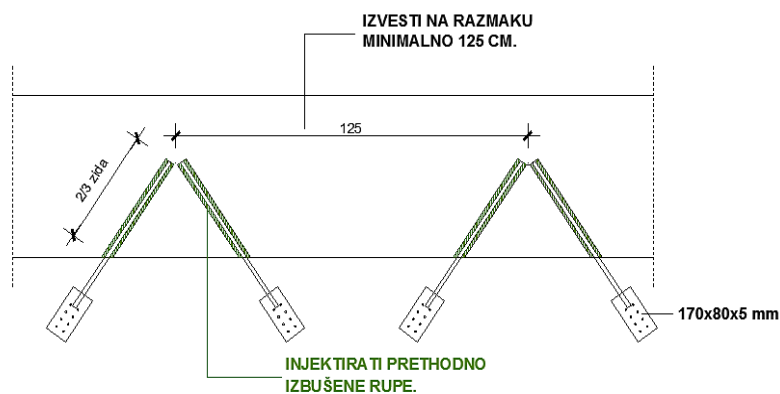
# Kruti horizontalni strop i povezivane sa zidovima

## IZVEDBA TLAČNIH DRVENIH PLOČA U STROPU



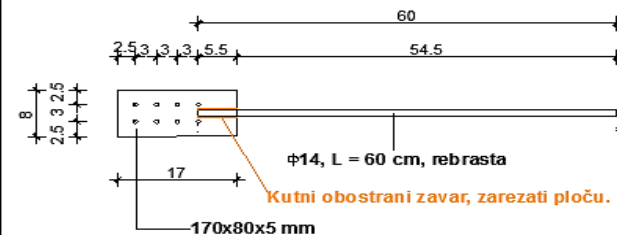
**NAPOMENA:**  
SPOJ SVAKE DASKE I  
GREDNIKA SPOJITI S 2 VIJKA

## DETALJ POVEZIVANJA STROPA SA ZIDOVIMA



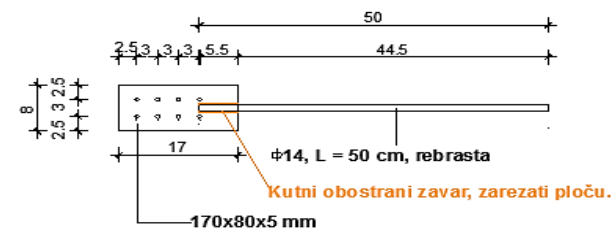
## POZ 1

VIJCI ZA DRVO: 8 KOM x  $\Phi 6 \times 70$



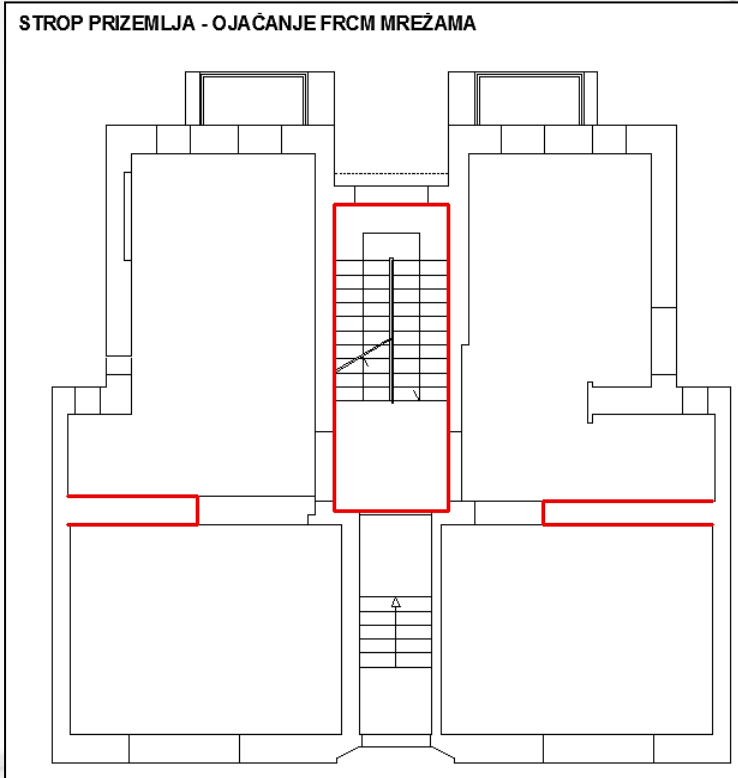
## POZ 2

VIJCI ZA DRVO: 8 KOM x  $\Phi 6 \times 70$

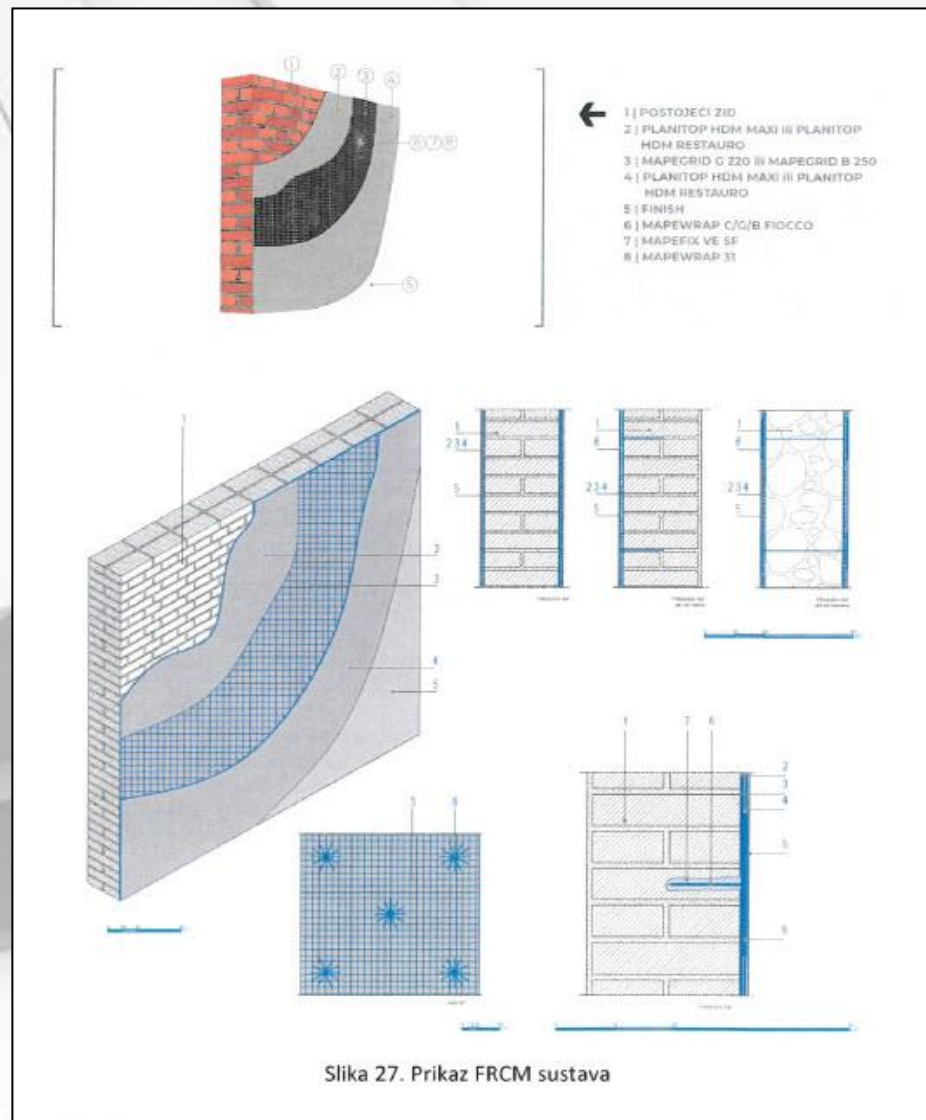


- Daske povezane vijcima s postojećim grednicima
- Armaturene šipke 14 mm s čeličnim pločicama
- Relativno gusto povezivanje
- Anker sidra injektirati – zabušiti u 2/3 zida
- Bušiti pod kutem od cca 15°

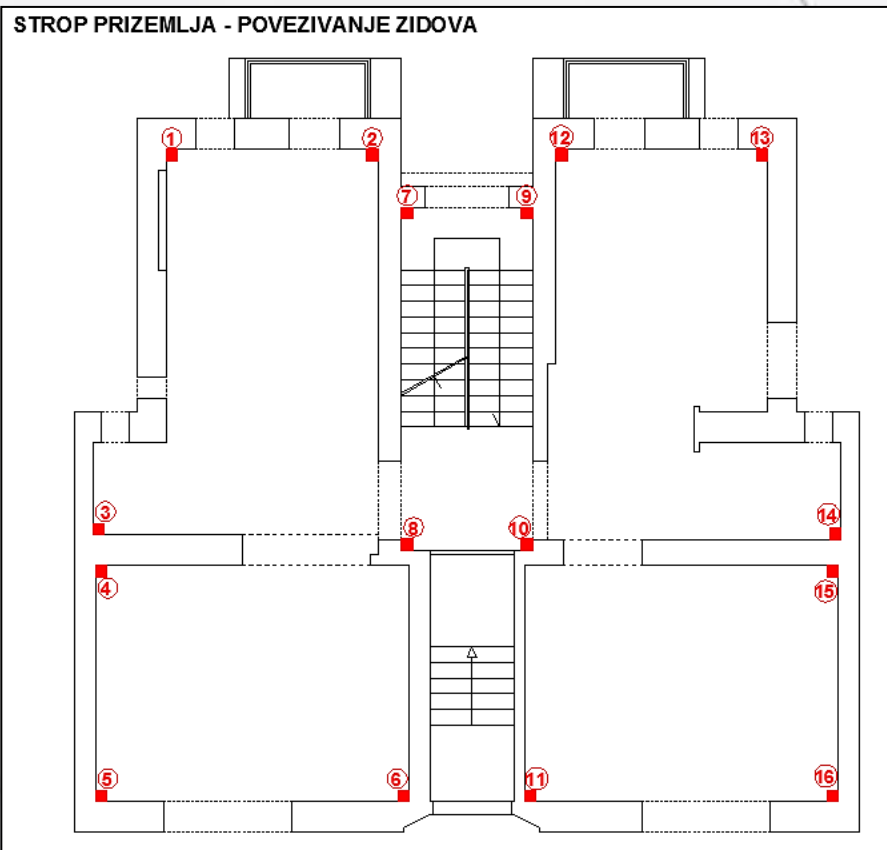
# Pojačanje nosivosti zida u ravnini



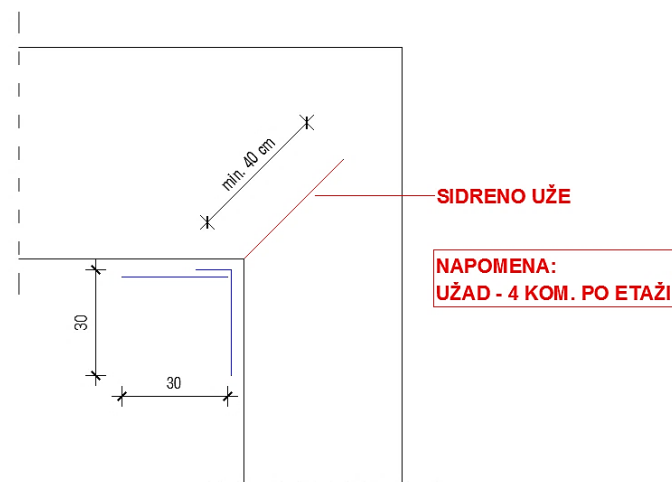
- Nakon povezivanja konstrukcije - pojačanje
- Pojačanje zida sustavom - FRCM mreže
- Postići efekt ovijanja zida
- Povezati obostrane obloge vezom kroz zid
- Moguće povećanje nosivosti ali ograničeno



# Povezivanje okomitih zidova



DETALJ POVEZIVANJA ZIDOVA - PRIZEMLJE



- Uočene pokutine na spoju okomitih zidova
- Omogućava bolje zajedničko djelovanje
- Box efekt
- Potresno djelovanje je često u naravi stvari koso
- Korisna metoda pojačanja s obzirom na optimalni trošak izvedbe ( nije učestala )



# Pojačanje nosivosti zida u ravnini



Izrazi za proračun pojačanja

$$V_{t,f} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot n_f \cdot t_{vf} \cdot l_f \cdot \alpha_t \cdot \varepsilon_{fd} \cdot E_f$$

$$\gamma_{Rd} = 2$$

$$\alpha_t = 1,5$$

$$\alpha = 1$$

$$\eta = 0,90$$

$$\varepsilon_{fd} = \eta \cdot \frac{\varepsilon_{lim,conv}^{(\alpha)}}{\gamma_m} = 0,9 \cdot \frac{\alpha \cdot \sigma_u / E_f}{1,5}$$

$$t_{vf} = 0,035 \text{ mm}$$

$$\sigma_u = 1000 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{fd} = 900 / E_f$$



**A ) Pojačanje zida sustavom FRCM mreže**

**B ) Sidrena užad**

**Jednostrana pojačanja i sidrenja završetka pojačanja – efekt ovijanja**

**PROJEKT MORA SADRŽAVATI TROŠKOVNIK**



Hrvatska komora  
inženjera građevinarstva



# ZAHVALJUJEM NA POZORNOSTI



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAĐEVINSKI FAKULTET  
Kačićeva 26, Zagreb  
[www.grad.unizg.hr](http://www.grad.unizg.hr)

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