



HRVATSKA KOMORA INŽENJERA GRAĐEVINARSTVA
Dani ovlaštenih inženjera građevinarstva Opatija, 2011.

Pojačanje stropova i zidanih zidova starih građevina

Josip Galić

Branko Galić

Dr.sc. Josip Galić, dipl.ing.građ., Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
Branko Galić, dipl.ing.građ., Radionica statike d.o.o., Zagreb

SADRŽAJ PREDAVANJA

Prikaz učinkovitih pojačanja nosivih elemenata konstrukcije primijenjenih tijekom rekonstrukcija triju starih građevina:

**Vila Kallina
u Zagrebu**



**Ustavnog suda RH
u Zagrebu**



**Gradska vijećnica
u Ivanić Gradu.**



OPIS GRAĐEVINA

Vila Kallina u Zagrebu



- Građevina je sagrađena 1907 g. kao obiteljska rezidencija Gustava Kalline, zagrebačkog industrijalca i vlasnika tvornice "Kalline nasljednici -Prva hrvatska pečarska zadruga".
- Projektant izvornog projekta je arhitekt Vjekoslav Bastl.
- Građevina je uvrštena u 1. kategoriju vrednovanja zaštite Gradskog zavoda za zaštitu i obnovu
- Građevina godinama nije bila u uporabi niti je bila održavana.
- Rekonstrukcija i adaptacija su provedene za potrebe Veleposlanstva Republike Češke (sada Veleposlanstvo J. Koreje)
- Tlocrtne dimenzije građevine su 13,5 x 13,1 m i sastoji se od: suterena, prizemlja, kata i tavana – BRP = 670 m²
- Projektant je tvrtka Capital-Ing (arh. Svjetlana Horvat Jelić)
- Izvođač je tvrtka Stas d.o.o. iz Dugog Sela

OPIS GRAĐEVINA

Ustavni sud RH u Zagrebu



- Građevina se sastoji iz dvije međusobno povezane zgrade (palače) i jedne dvorišne zgrade.
- Sagrađena je 1867 g. - barunska obitelj Kušlan
- Projektant izvornog projekta je arhitekt Franjo Klein.
- Građevina je pod zaštitom – projekt i radove nadgledao Gradski zavod za zaštitu spomenika kulture
- Tlocrtne dimenzije građevine su 37,5 x 47,2 m i sastoji se od: podruma (dio objekta), prizemlja, dva kata i tavana – BRP = 3630 m²
- Projektant je tvrtka Capital-Ing (arh. Anđelka Đonlić)
- Izvođač je tvrtka Carin d.o.o. iz Zagreba

OPIS GRAĐEVINA

Gradska vijećnica u Ivanić Gradu



- Građevina je sagrađena u periodu od 1871 – 1889 g. kao zgrada komitetskog magistrata (javna građevina).
- Nije poznat arhitekt izvorne građevine.
- Građevina je preventivno zaštićeno kulturno dobro.
- Građevina je bila oštećena zbog neodržavanja, a tome je pridonio i dugi period izrade dokumentacije.
- Rekonstrukcija i adaptacija su provedene za javne potrebe Grada Ivanić-Grada (gradska uprava)
- Tlocrtne dimenzije građevine su 23,8 x 19,7 m (L – oblika)
Ima: prizemlje, kat i tavan – BRP = 1050 m²
- Projektant je tvrtka Capital-Ing (arh. Kristina Vujica)
- Izvođač je tvrtka Kapitel d.o.o. iz Ivanić Grada

OSNOVNE ZNAČAJKE POSTOJEĆE KONSTRUKCIJE GRAĐEVINA

1. KROVIŠTE

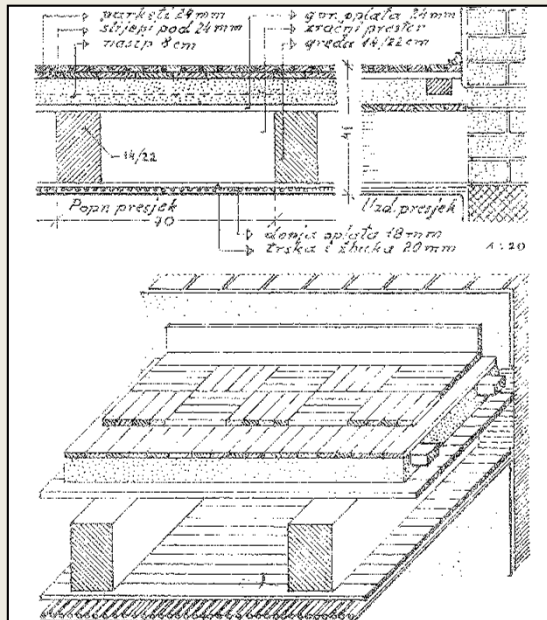
- **Pokrov** - dvostruki biber (gusto pokrivanje biberom)
- **Krovna konstrukcija** - raznolikog statičkog sustava: dvostruke i trostruke drvene visulje, drvene stolice, pajantno krovište s ukrutnim okvirima i veznim gredama, kuscima i dr.
 - Drvena građa je bila oštećena osim kod Vijećnice.



OSNOVNE ZNAČAJKE POSTOJEĆE KONSTRUKCIJE GRAĐEVINA

2. STROPOVI

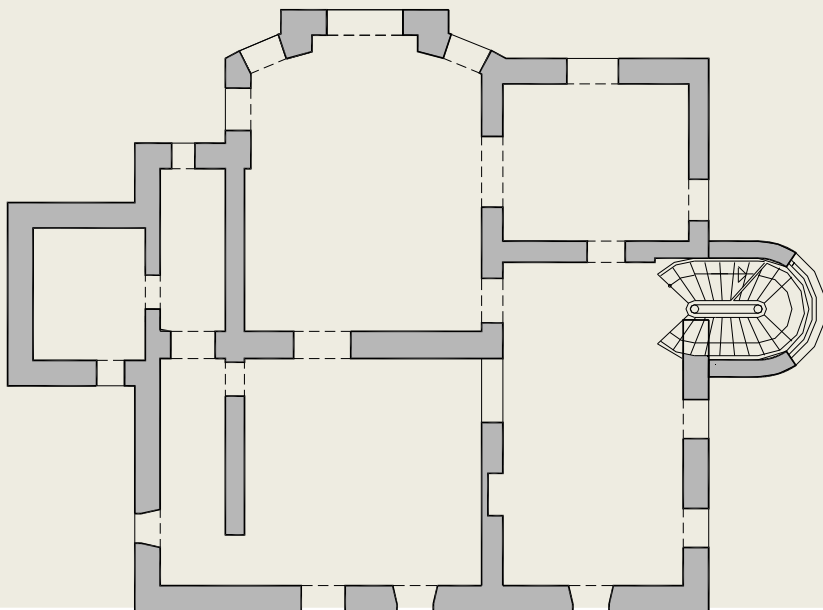
- **Drveni grednici (šuta)** - stropovi katova (i prizemlja) su drvene grede različitih presjeka (18/22 cm – 20/25 cm i sl.) raspona do $L = 6,1$ m sa šutom iznad ili između greda.
- **Opečni svodovi** – dio stropovi iznad prizemlja su opečni svodovi (bačvasti ili pruski) sa šutom iznad.



OSNOVNE ZNAČAJKE POSTOJEĆE KONSTRUKCIJE GRAĐEVINA

3. VERTIKALNI NOSIVI SUSTAV - ZIDOVI

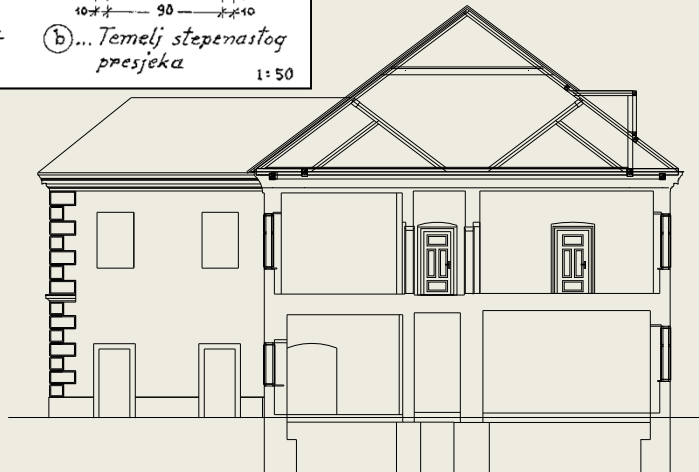
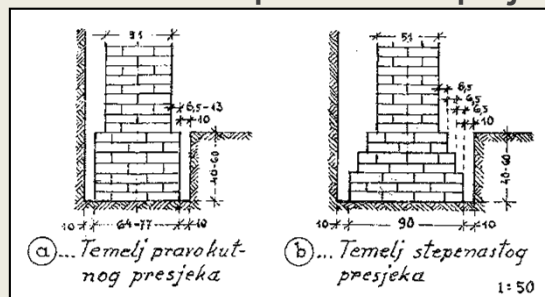
- **Zidani zidovi** – uobičajeni zidani zidovi iz pune opeke starog formata $\text{š/v/d} = 14/6,5/29$ cm i u vapnenom mortu. Zidovi su pravilnog rasporeda i rastera
- Zidovi su u dobrom stanju, debljine $t = 30, 45, 60$ i 75 cm
- Prisutni su opečni lukovi iznad otvora



OSNOVNE ZNAČAJKE POSTOJEĆE KONSTRUKCIJE GRAĐEVINA

4. TEMELJI

- **Zidani trakasti temelji** – su ispod nosivih zidova. Temelji su u pravilu za polovicu jednu do dvije duljine opeke širi od zida u prizemlju (podrumu).
- Temelji bili u dosta dobro stanju i s obzirom na nosivost tla, osim na Vijećnici, nisu bila potrebna pojačanja.



ZAHTJEVI U REKONSTRUKCIJI

- Dobiti građevinu i prostor koja udovoljava današnjim zahtjevima u pogledu funkcionalnosti i mehaničke otpornosti i stabilnosti.
- Pri tome potrebni je zadovoljiti slijedeće zahtjeve:
 1. Tavan se pretvara u poslovno potkrovlje – vezne grede, kosnici, visulje i ruke smetaju u prostoru. Potrebno izvesti novu glavnu konstrukciju krovišta.
 2. Suvremeni podovi s glazurom novim slojevima i novim pregradama – šutu je potrebno ukloniti, izvesti pojačanje stropa da ima veći krutost i nosivost.
 3. Potrebni su novi otvori u zidanim zidovima – izvesti nove nadvoje.
 4. TPZK – zadovoljiti bitne zahtjeve za građevinu – građevine imaju nedovoljnu seizmičku otpornost pa ih je potrebno pojačati.
 5. Zbog oštećenja potrebno je temelje pojačati – pojedini temelji zbog nedovoljne nosivosti tla ili povećanja opterećenja potrebno je proširiti.
- Uz sve navedene zahtjeve potrebno je odabrati projektna rješenja koja su ekonomična, jednostavna za izvesti i koja najmanje narušavaju postojeću strukturu građevine



PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA

1. KROVIŠTE

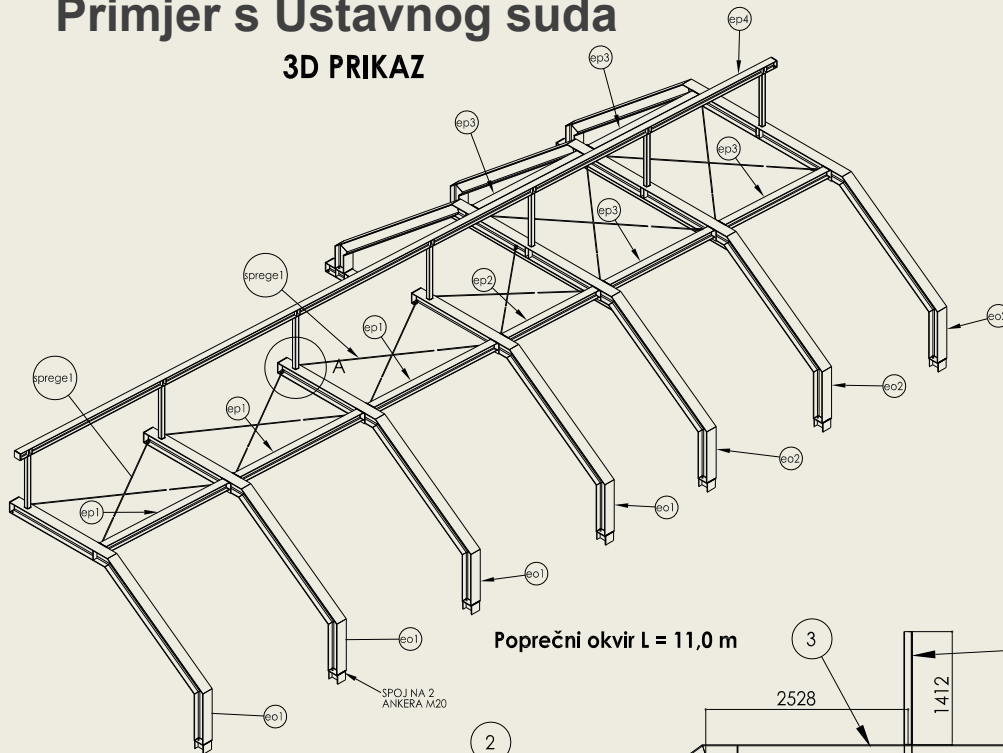
- Kod starog krovišta je skinut pokrov, letva i demontirane su visulje s veznim gredama.
- Zadržani su rogovi i podrožnice gdje su bile u dobrom stanju i gdje nije došlo do promjene u rasteru rogova zbog krovnih prozora i sl.
- U pravilu radi se o dosta masivnoj građi (listače - hrastovina) tako da rogovi zadovoljavaju nosivost novih opterećenja uslijed izvedbe daščane oplata, podgleda, termoizolacije i dr.
- Umjesto visulja, dvostrukih stolica, kosnika i dr. izvedeni su **čelični okviri sa ili bez zatega** u dnu (u novoj tlačnoj ploči poda tavana (potkrovlja).
- Okviri su jednostavni za izvedbu i montažu, a do raspona od 14 m se dobiju elegantni okviri (HEA 200) i slobodan prostor potkrovlja.



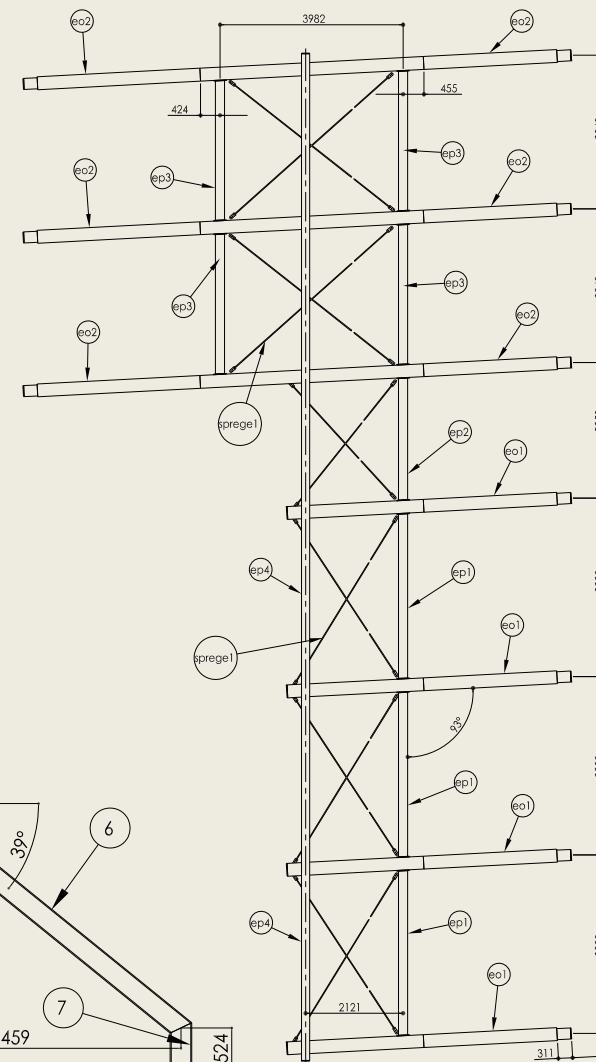
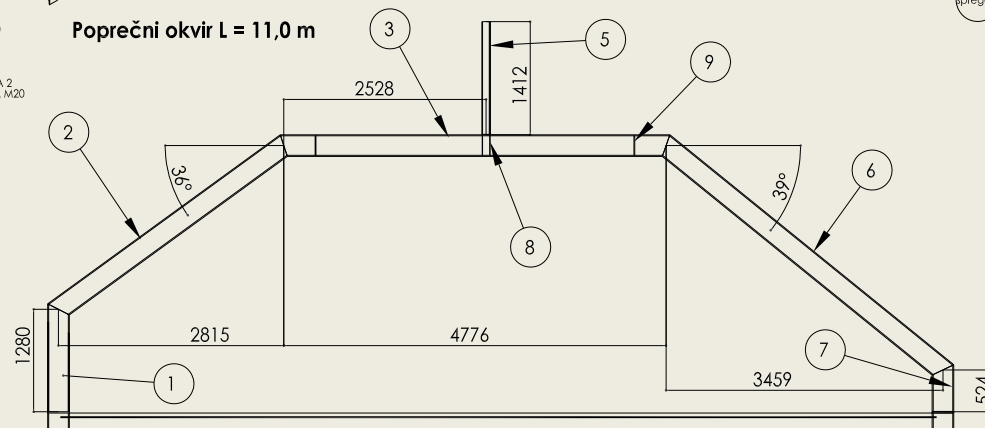
PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA

Primjer s Ustavnog suda

3D PRIKAZ



Poprečni okvir L = 11,0 m



PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA

Primjer s Ustavnog suda



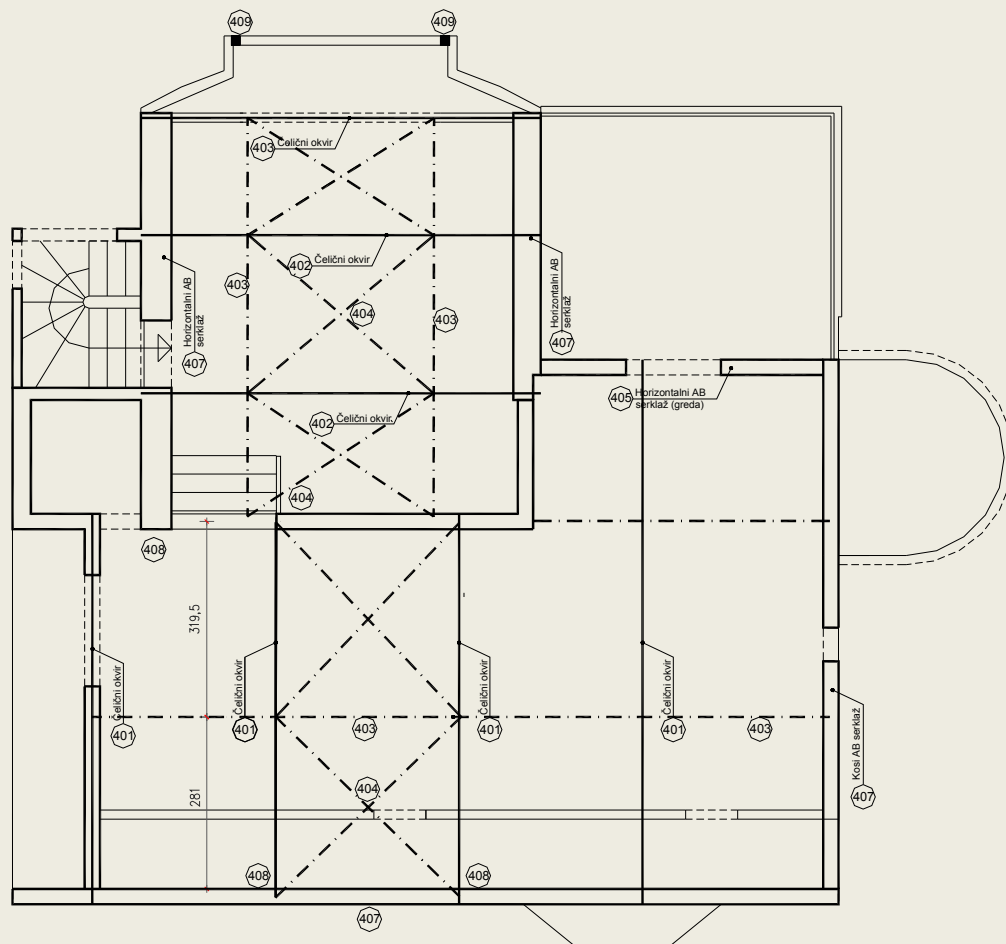
Dr.sc. Josip Galić, dipl.ing.građ.
Branko Galić, dipl.ing.građ.

Dani ovlaštenih inženjera građevinarstva – Opatija 2011. HKIG



PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA

Primjer s Vile Kalline



PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA

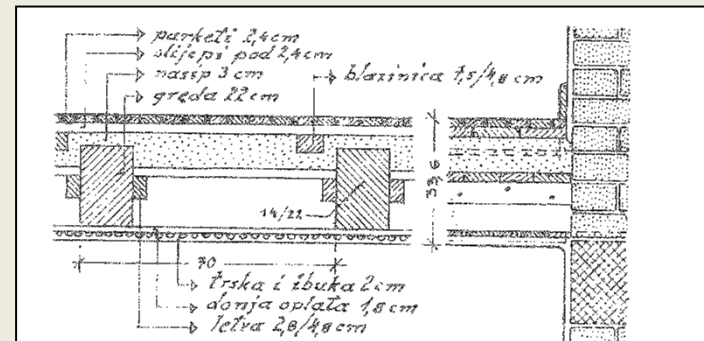
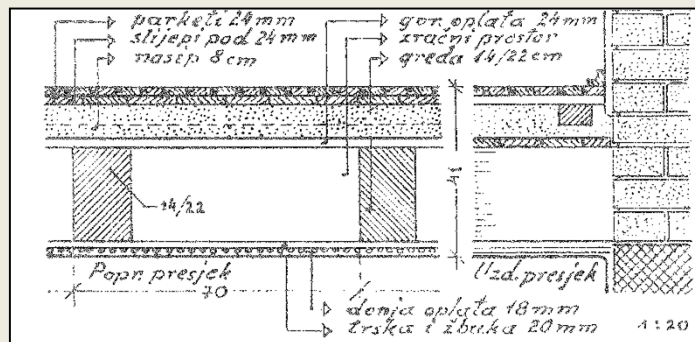
Primjer s Vile Kalline



- U tijeku je izrada projekta rekonstrukcije zgrade Bjelovarsko-Križevačke biskupije u Bjelovaru gdje smetaju vezne grede i kosnici na dijelu budućeg hodnika.
- U projektu se ubacuju okviri pored postojećih drvenih okvira. Drvena konstrukcija se u cijelosti zadržava samo se izrezuju oni dijelovi koji smetaju. Zaštitari sretni 😊.

PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA

2. DRVENI STROPOVI

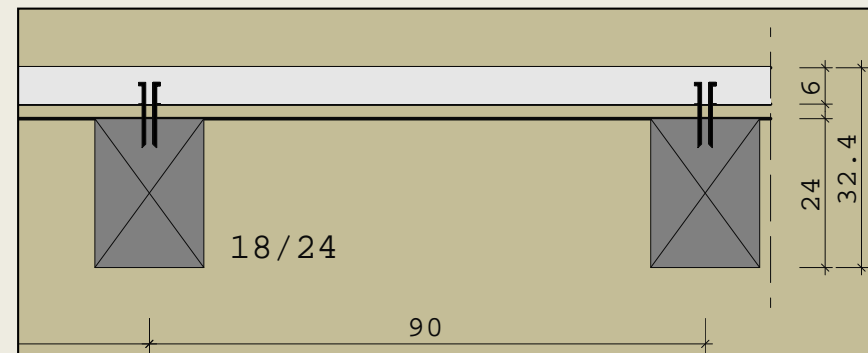
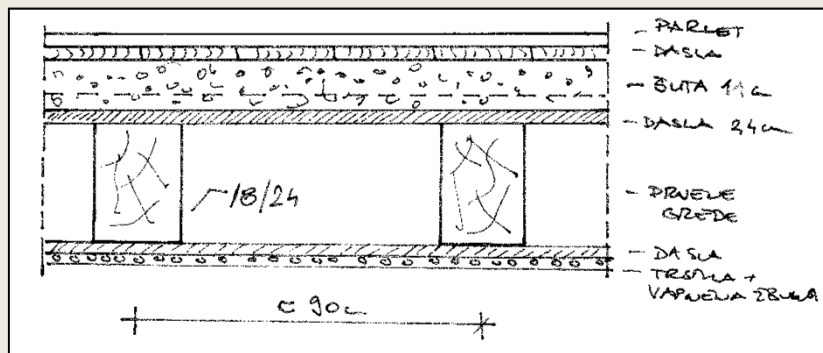


- S drvenih grednika su uklonjeni slojevi poda, šuta s drvenim mosnicama i podgled.
- Zadržane su drvene grede s daščanom oplatom po gredama ili između greda. Kod svih građevina drvene grede i oplata u dosta dobrom stanju.



PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA

- Izvedene su **spregnute ploče** (drvo+ beton) s tlačnom pločom $h = 6$ cm.
- Sprezanjem je znatno povećana nosivost i krutost postojećeg stropa dok povećanje težine je neznatno. Kad se uzme u obzir težina zidanih zidova povećanje ukupne težine građevine je zanemarivo.



Opterećenje postojećeg stropa sa slojevima

- Pod (parket 2,4 cm) - (0,024·6).....	= 0,15 kN/m ²
- Daščana oplata (2,4 cm) - (0,024·6).....	= 0,15 kN/m ²
- Težina šute (h = 10 cm) - (0,11·14).....	= 1,54 kN/m ²
- Težina daščane oplata (0,024·5).....	= 0,12 kN/m ²
- Težina drvenih greda.....	= 0,24 kN/m ²
- Podgled – daščana oplata s vapnenom žbukom.....	= 0,40 kN/m ²
g = 2,60 kN/m²	

Opterećenje spregnutog stropa sa slojevima

- Pod (parket 2 cm) - (0,02·6).....	= 0,12 kN/m ²
- Glazura (4 cm) - (0,04·24).....	= 0,96 kN/m ²
- Težina stiropora.....	= 0,02 kN/m ²
- Težina tlačne ploče (0,06·24).....	= 1,44 kN/m ²
- Težina daščane oplata (0,024·5).....	= 0,12 kN/m ²
- Težina drvenih greda.....	= 0,24 kN/m ²
- Podgled – jednostruki kranuf s podkonstrukcijom.....	= 0,15 kN/m ²
g = 3,05 kN/m²	

- Razlika u težini je oko $0,50 \text{ kN/m}^2 = 3,6\%$ povećanje ukupne težine građevine

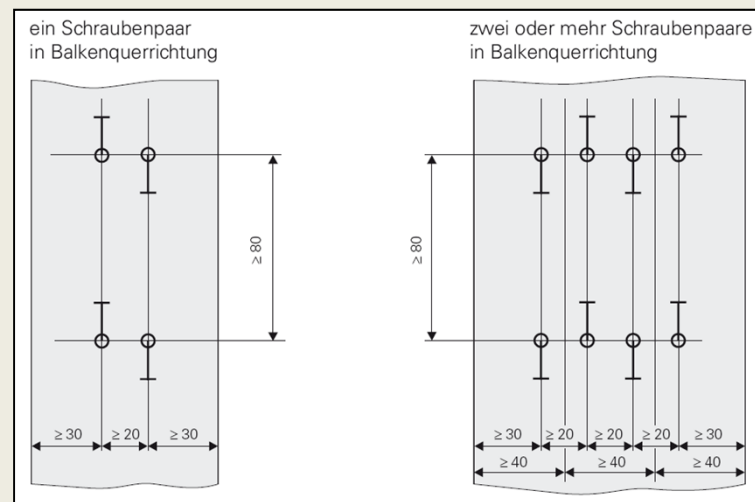
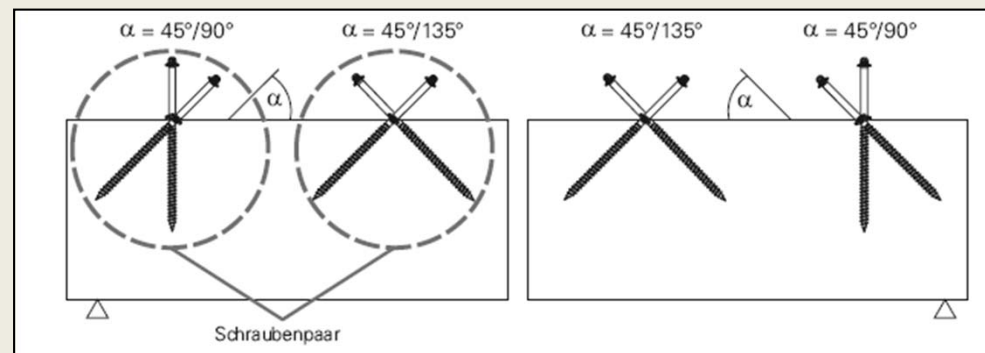
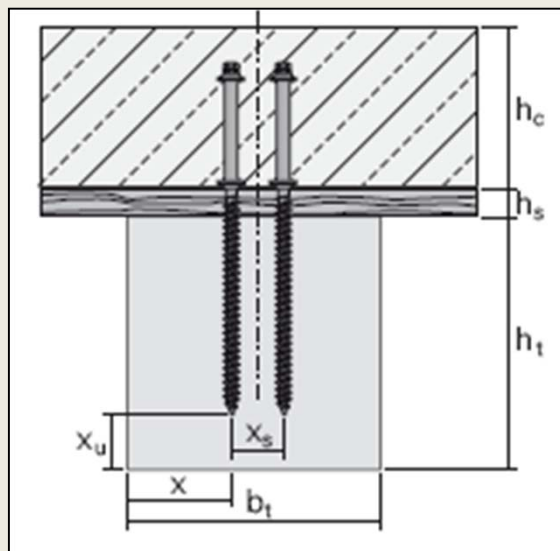
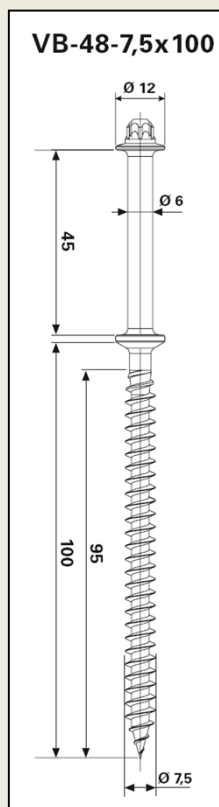
PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA

- Vlastita težina spregnute konstrukcije $L = 6,0$ m je: $g = 1,8 - 2,0$ kN/m²
- Težina Fert stropa je 2,80 kN/m² ; AB ploče $h = 16$ cm težina je 4,00 kN/m²
- Bijelog stropa je 1,30 kN/m², ali za raspon oko 6,0 m težina je 1,70 kN/m²
- Glavna prednost spregnutog stropa je što se ne zadire u nosivu konstrukciju zidova jer se ne demontiraju grede i nema potrebe za izradom novih ležišta za grede i sl.
- Tlačne ploče se izvode isključivo do zida. Nema potrebe za bilo kakvim usijecanjem u zidove, izrade niša i sl.
- Sprezanjem je znatno povećana nosivost i krutost postojećeg stropa i to na razini AB ploča
- Ušteda je velika u cijeni jer samo košta AB ploča s armaturom i sredstvo za sprezanje + ušteda na cijeni demontaže drvenih greda i izradi oslonaca
- Nedostatak je jedino nešto veća visina u odnosu na ostale stropove.

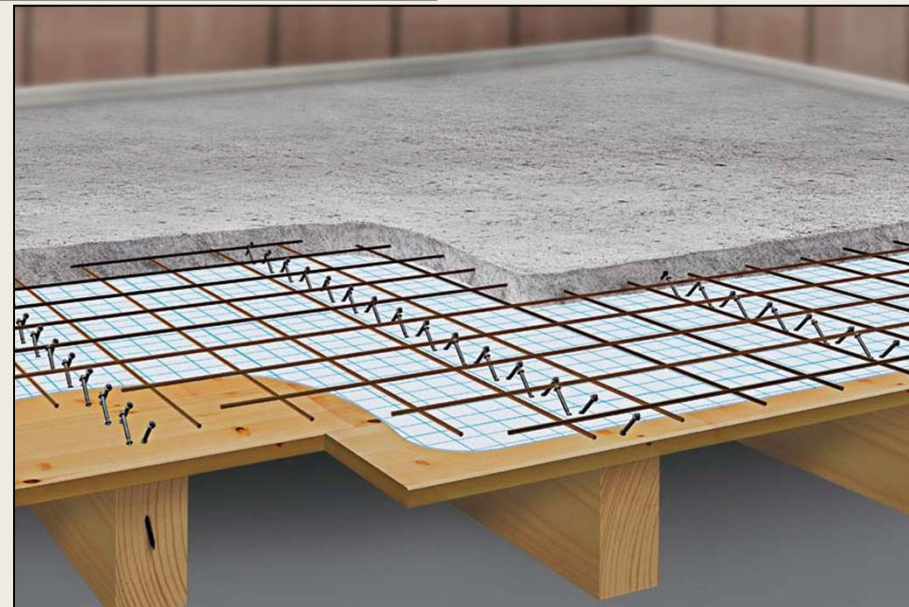
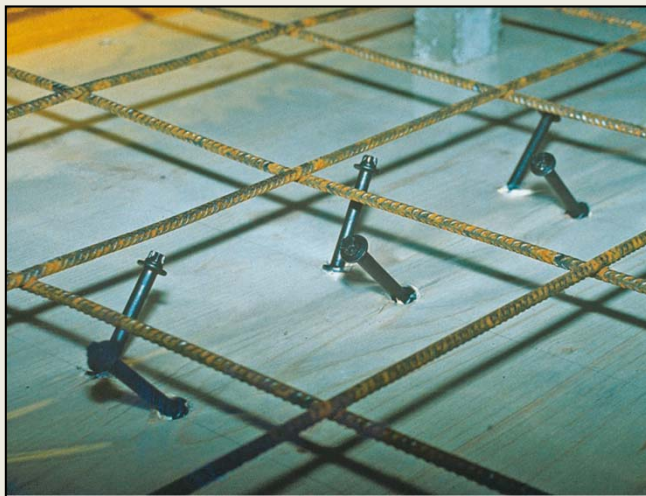
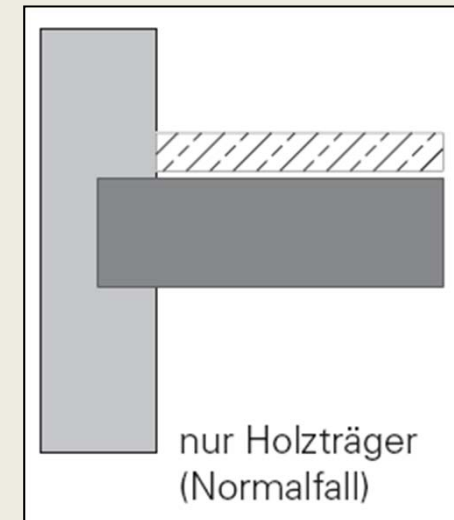


PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA

- Novost kod spregnutih stropova navedenih triju građevine su moždanici.
- Sprezanje je izvedeno **SFS vijcima za sprezanje VB-48-7,5x100** tvrtke SFS Intec GmbH FastetnigSystems, Heerbrug, Švicarske



PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA



PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA

Prednosti ovog sistema sprezanja:

1. Jednostavnost izvedbe

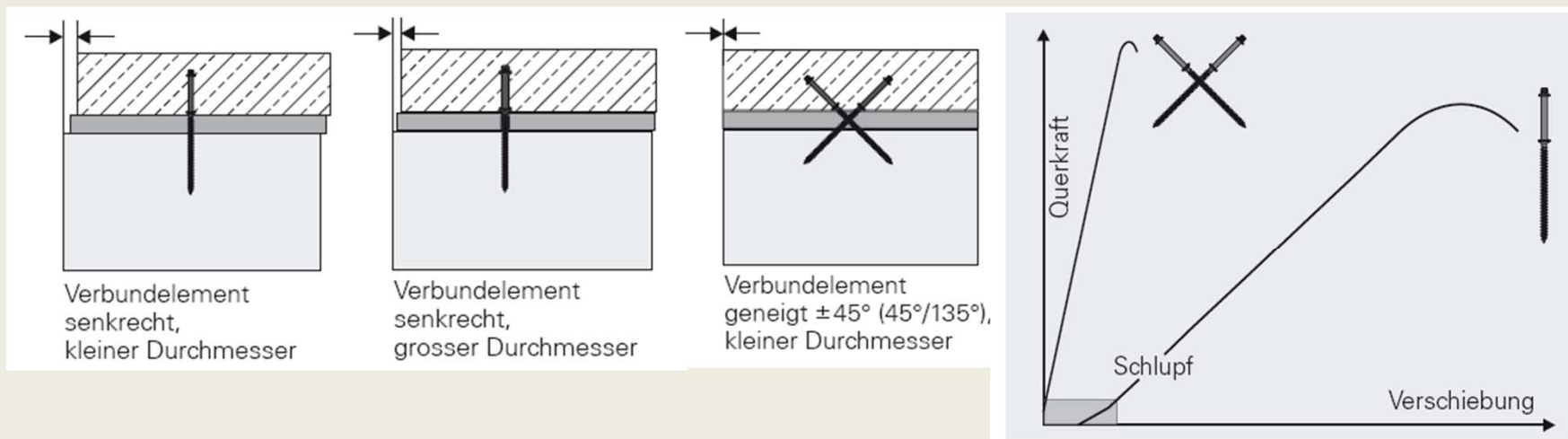
- Zbog svog oblika vijci se zavrću u drvo bez prethodnog bušenja rupe.
- Sprezanje (zavrtanje vijaka) se odvija kroz već postojeću daščanu oplatu.
- Postoje specijalni dodaci na bušilice tako da se rad mora odvijati u uspravnom položaju.
- Radnik može postaviti oko 150 vijaka po satu (ako su vijci na razmaku 15 cm to znači da jedan radnik za 7 radnih sati postavi vijke za oko 70 – 80 m² stropa).
- Jednostavna kontrola kvalitete izvedbe.

2. Mehanička svojstva

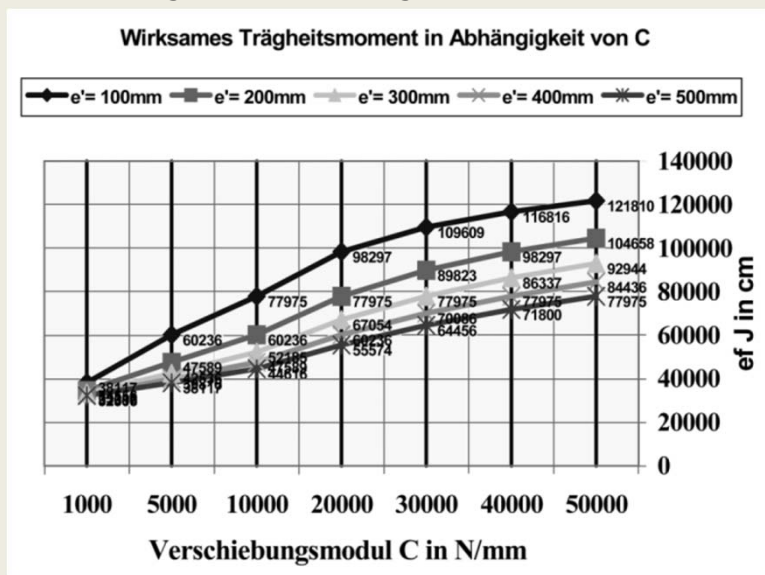
- Vijci zahvaljujući svom obliku i načinu postavljanja (pod kutom) imaju veliku nosivost s obzirom na promjer vijka i slične načine sprezanja.
- Ovim načinom sprezanja se postiže polukruto sprezanje zahvaljujući visoke vrijednosti modula klizanja za koje postoje točno određeni izrazi za proračun.
($EI_{ef}/EI_{id} = 0,8 - 0,9$ – dosta visoko sprezanje)



PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA



Koeffizient klizanja i efektivni moment tromosti



$$\gamma = \frac{1}{1 + k} \quad (1)$$

$$k = \frac{\pi^2 \cdot E_B \cdot A_B \cdot e'}{l^2 \cdot C}$$

$$efJ = n \cdot J_B + J_H + \gamma \cdot n \cdot A_B \cdot a_1^2 + A_H \cdot a_2^2$$

$$\text{mit } n = \frac{E_B}{E_H}$$

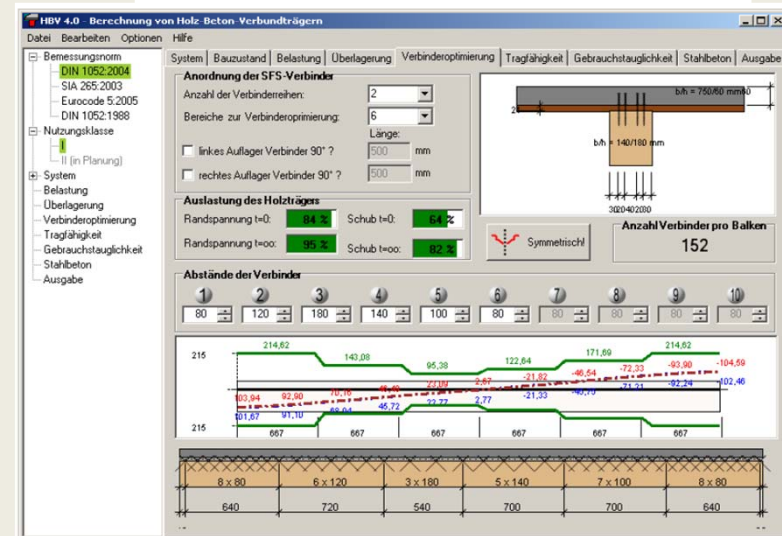


PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA

3. Podrška pri projektiranju – tablice + software

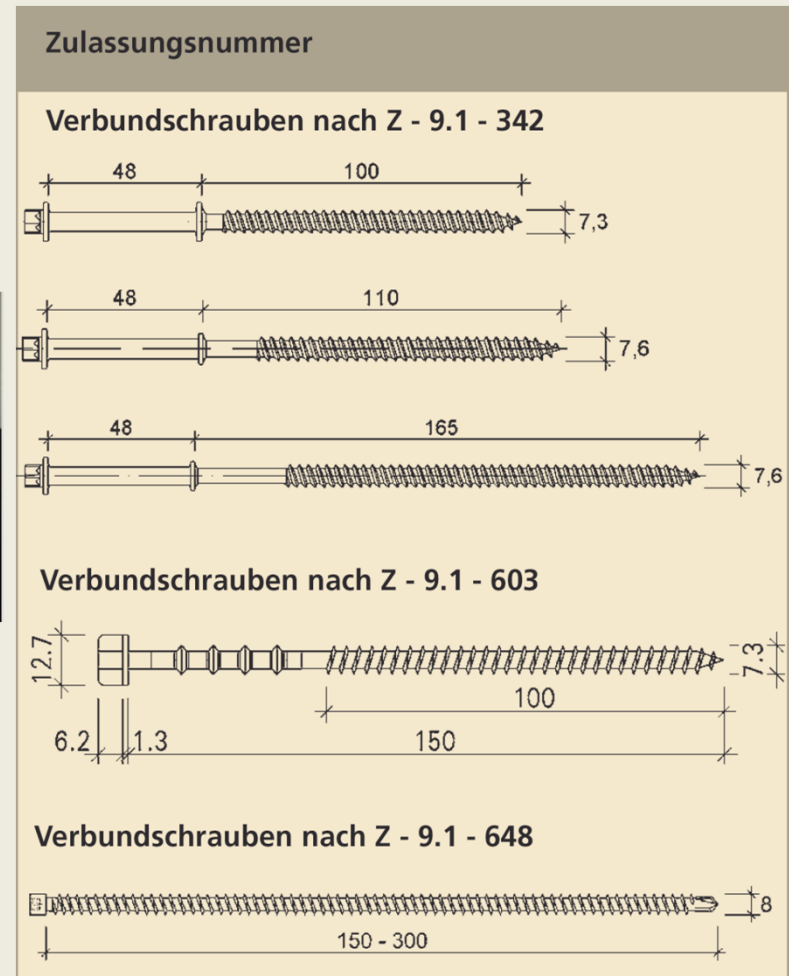
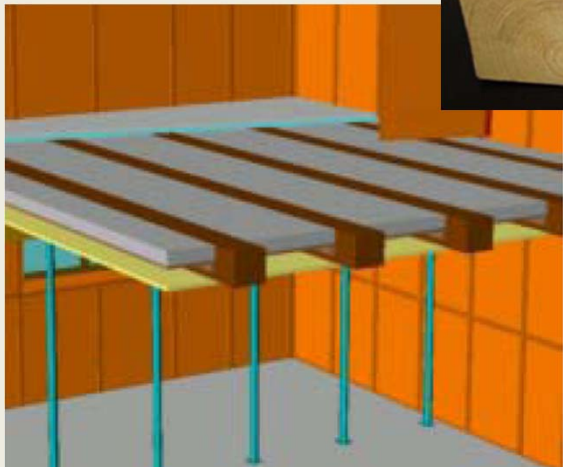
Anfangsverschiebungsmodul C pro Schraubenpaar in N/mm				
Typ	VB-48-7,5 x 100		VB-48-7,5 x 165	
Neigungswinkel	45°/90°	45°/135°	45°/90°	45°/135°
Formel	8 000 – 100 t _s	25 000 – 350 t _s	8 000 – 100 t _s	25 000 – 350 t _s
bei t _s	0	8 000	25 000	8 000
in mm	5	7 500	23 250	7 500
	10	7 000	21 500	7 000
	15	6 500	19 750	6 500
	20	6 000	18 000	6 000
	25	5 500	16 250	5 500
	30	–	–	5 000
	35	–	–	4 500
	40	–	–	4 000
	45	–	–	3 500
	50	–	–	3 000

Charakteristischer Wert T _k der Schubtragfähigkeit pro Schraubenpaar in N				
Typ	VB-48-7,5 x 100		VB-48-7,5 x 165	
Neigungswinkel	45°/90°	45°/135°	45°/90°	45°/135°
Formel	12 000 – 100 t _s	16 600 – 200 t _s	min (12 800; 17 200 – 100 t _s)	min (18 100; 25 100 – 200 t _s)
bei t _s	0	12 000	16 600	12 800
in mm	5	11 500	15 600	12 800
	10	11 000	14 600	12 800
	15	10 500	13 600	12 800
	20	10 000	12 600	12 800
	25	9 500	11 600	12 800
	30	–	–	12 800
	35	–	–	12 800
	40	–	–	12 800
	45	–	–	12 700
	50	–	–	12 200



PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA

- Već postoje i drugi proizvođači sa sličnim rješenjima i potpunom podrškom
- Postoje i varijante s tlačnom pločom između greda – horiz. sprezanje



Sve to rezultira 40% jeftinijim rješenjem i izvedbom od bilo kojeg drugog načina izvedbe

PRIMIENJENI POSTUPCI POJAČANJA

Primjeri s izvedenih rekonstrukcija



PRIMIENJENI POSTUPCI POJAČANJA

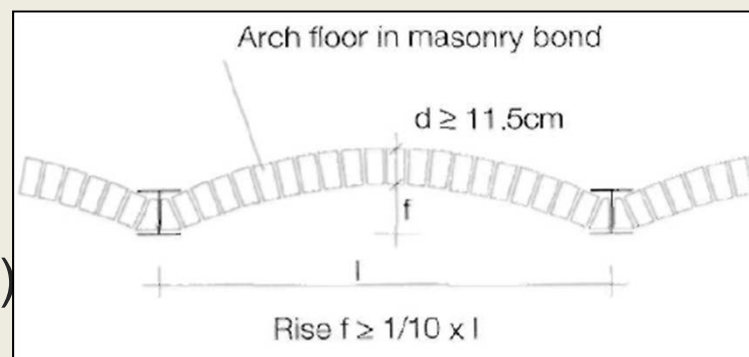
Primjeri s izvedenih rekonstrukcija



PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA

3. OPEČNI SVODOVI - PRUSKI STROP

- Sa stropova su uklonjeni slojevi poda, šuta s drvenim mosnicama i podgled.
- Zadržani su čelični čelični profili (I 140) s opečnim svodovima između.



PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA

- Izveden je **spregnuti strop** (čelik + beton) s tlačnom pločom $h = 4$ cm i oko 13 cm na mjestu profila.
- Sprezanje je valjkastim moždanicima 16/80 mm na razmaku 15/20 cm.
- Novi strop ima znatno veću nosivost i krutost. Jednostavna izvedba.
- Povećanje opterećenja je zanemarivo. Razlika u težini između šute i AB tlačne ploče promjenjive debljine.

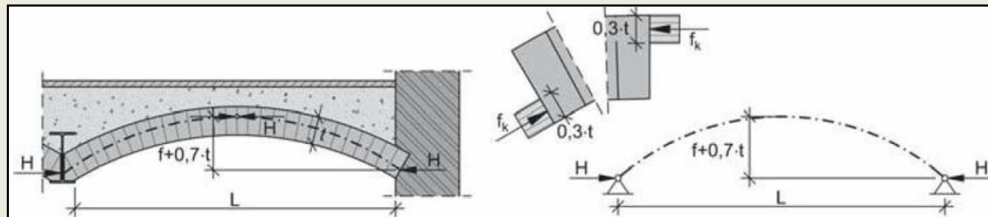


PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA



PRIMIENJENI POSTUPCI POJAČANJA

4. KONTROLA NOSIVOSTI OPEČNIH SVODOVA



Gleichlast

$$\frac{L^2}{8 \cdot (f + 0,7 \cdot t)} \cdot q \cdot \gamma_s \leq 0,3 \cdot t \cdot \frac{f_k}{\gamma_M} \quad (050.2-03)$$

mittige Einzelkraft

$$\frac{L}{4 \cdot (f + 0,7 \cdot t)} \cdot P \cdot \gamma_s \leq 0,3 \cdot t \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$$

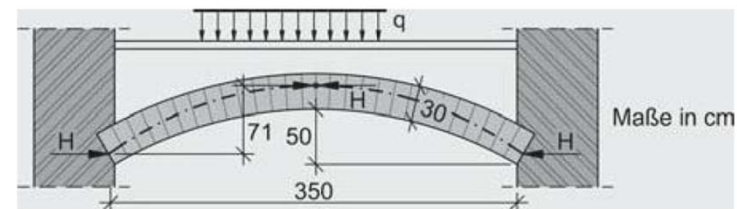
γ_M	Teilsicherheitsbeiwert für Baustoffeigenschaften	[-]
γ_s	Teilsicherheitsbeiwert für Einwirkungen (im Mittel 1,40)	[-]
q	Gleichlast	
P	mittige Einzelkraft	

$$f_k = 0,80 \cdot k \cdot f_b^a \cdot f_m^b$$

$$k = 0,60 \quad a = 0,65 \quad b = 0,25$$

Mörteldruckfestigkeit f_m [N/mm ²]	1,00	2,79
	1,50	3,09
	2,00	3,32

$$f_b = 15 \text{ N/mm}^2, f_m = 1,5 \text{ N/mm}^2 \rightarrow f_k = 3,09 \text{ N/mm}^2 \quad \gamma_M = 2,50 \quad q \cdot \gamma_s = 51,6 \text{ kN/m}^2$$

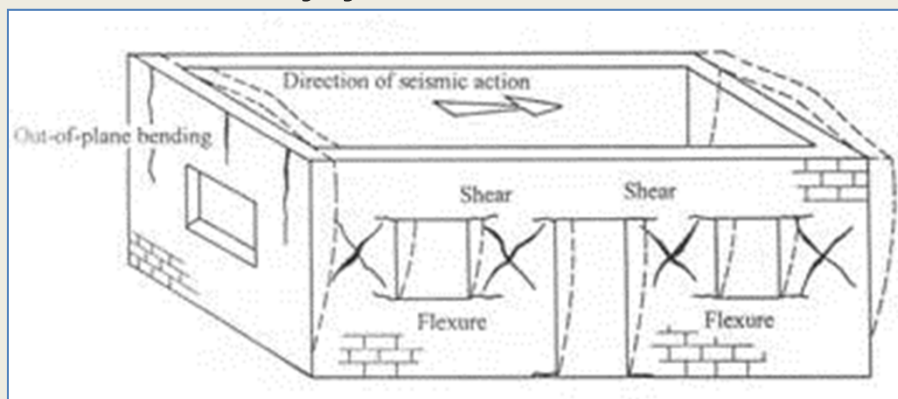


Aufbau: Gewölbe	30,0 cm	→	0,30 · 18 = 5,40 kN/m ²
Beschüttung	30,0 cm	→	0,30 · 15 = 4,50 kN/m ²
Fußbodenaufbau		→	2,00 kN/m ²
Summe Eigengewicht		→	~12,00 kN/m ²
ständige Lasten	12,00 · 1,35	→	16,20 kN/m ²
Nutzlasten	(51,6-16,2)/1,50	→	23,60 kN/m²

PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA

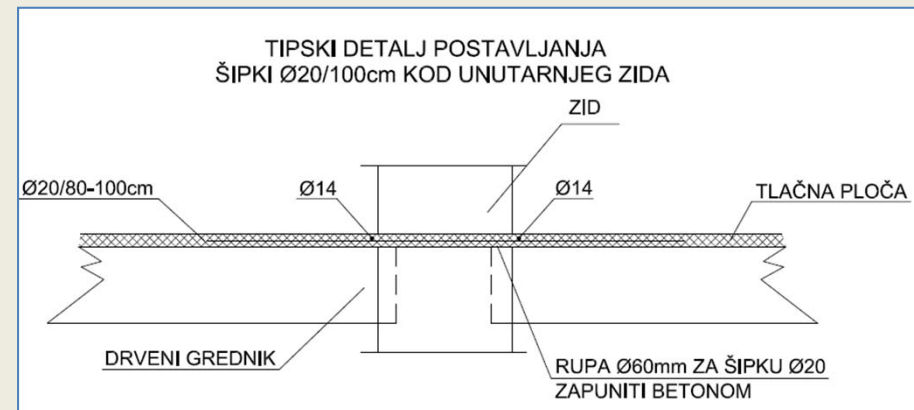
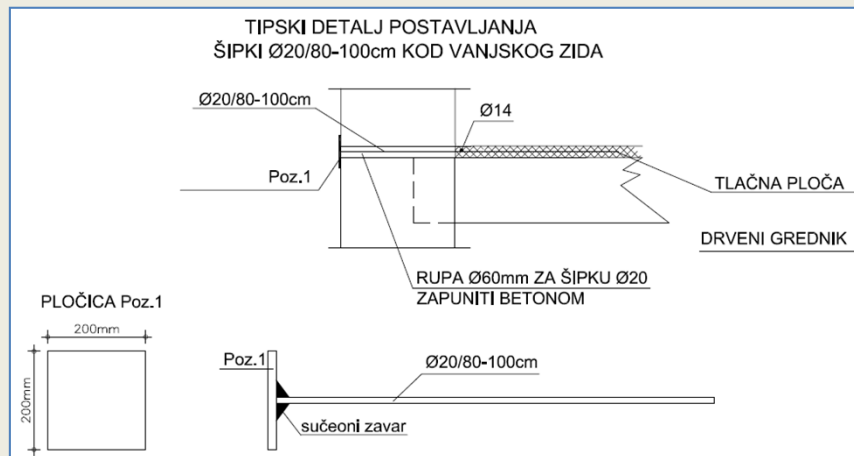
5. POVEZIVANJE STROPOVA I ZIDOVA

- Kako bi se povećala seizmička otpornost građevina potrebno je osigurati kvalitetnu vezu između međukatne konstrukcije i zidanih zidova.
- Cilj veze je bočno pridržati zidove i osigurati prijenos seizmičkih sila s međukatne konstrukcije zidove.
- Nalijeganje drvenih grednika na zidove nije dostatno, posebno kada međukatna konstrukcija nije kruta u svojoj ravnini.



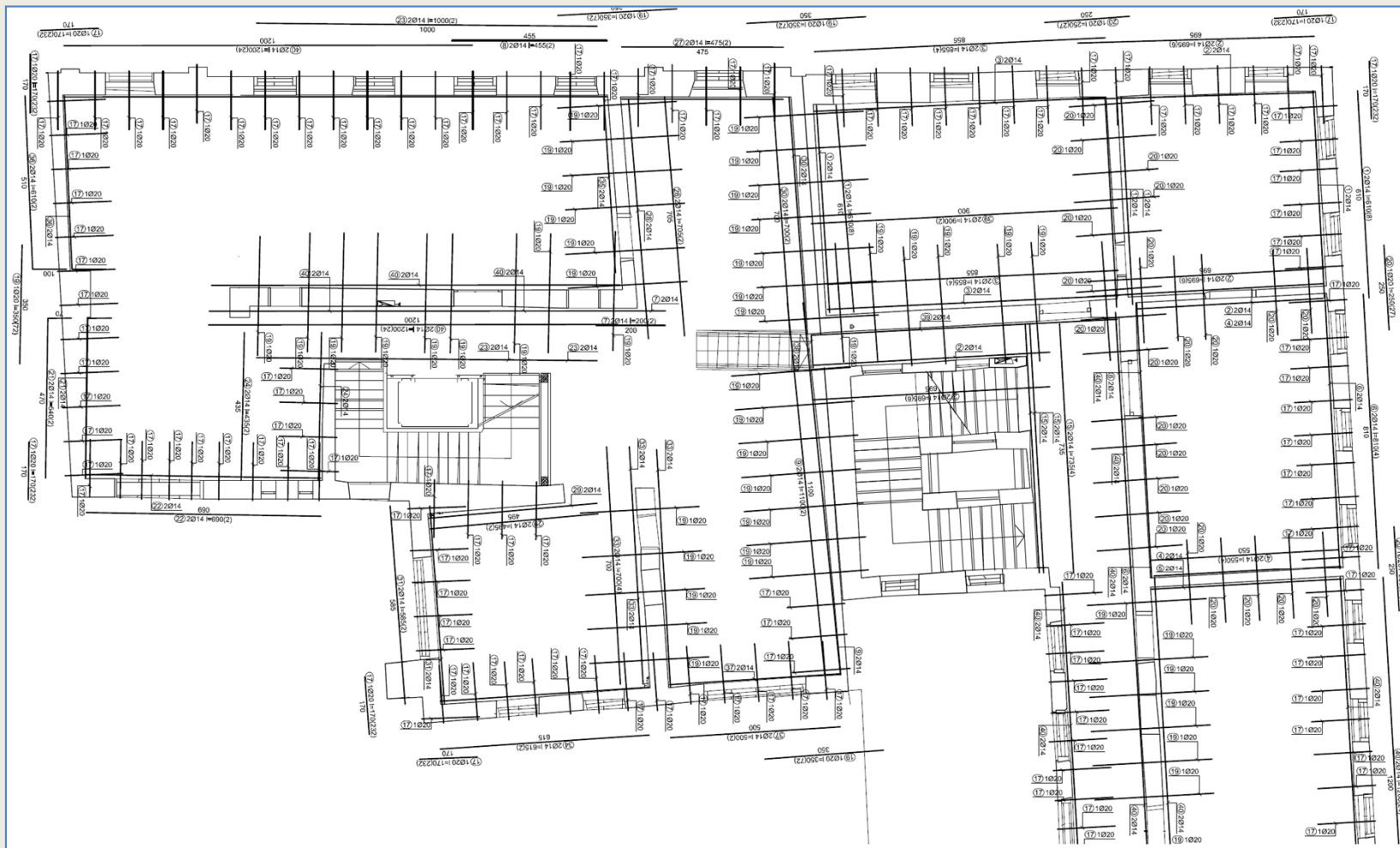
PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA

- U izvedenim projektima povezivanje je ostvareno s čeličnim šipkama $\text{Ø}20/80\text{-}100\text{ cm}$ (B500B) koje imaju navarene čelične pločice # $200\times 10(15)\times 200\text{ mm}$ koje dolaze na vanjsku fasadu.
- Za izvedbu su u zidovima strojno probušene rupe promjera $\text{Ø}60$ ili su štemane rupe maksimalne dimenzija $6,5\times 14\text{ cm}$ (opeka).
- Kroz rupe su provučene šipke, a rupe su kasnije zapunjene betonom.
- Na ovaj način osim bušenja rupa (zapunjenih betonom), zidovi nisu oslabljivani s horizontalnim nišama, zupčastim usijecanjem i dr.



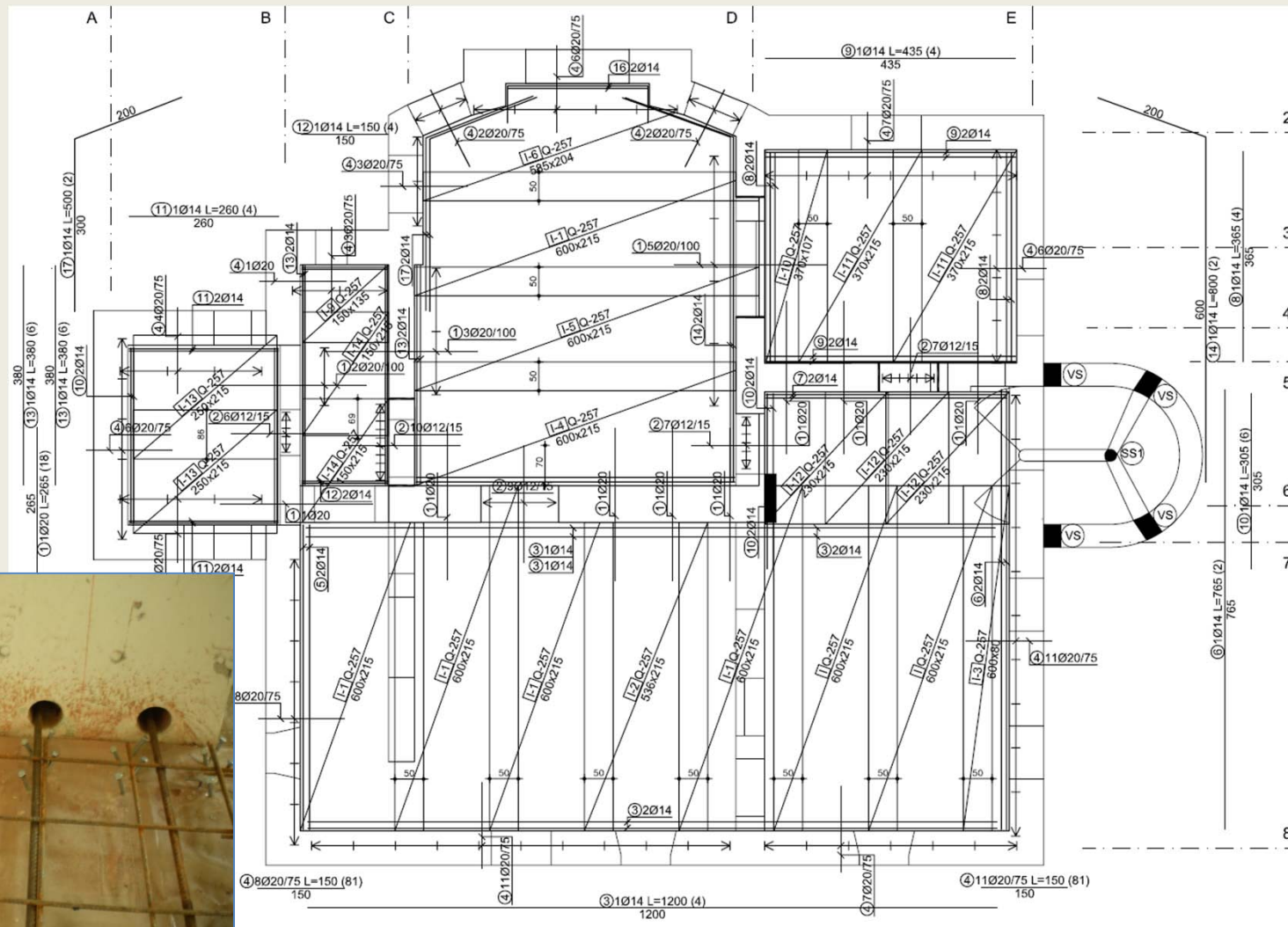
PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA

Prikaz veznih šipki u tlocrtu građevine



PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA

Vezne šipke + armatura tlačnih



PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA

Fotografije s izvedenih građevina



PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA

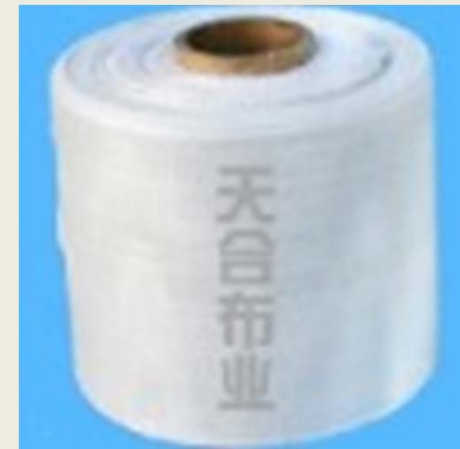
6. POJAČANJE ZIDOVA

- Sve zgrade imaju masivne neomeđene zidove zidane iz pune opeke starog (austrijskog) formata zidane u vapnenom mortu.
- Zidovi su bili u dosta dobrom stanju osim kod vijećnice gdje je jedan zid imao vertikalne pukotine zbog slijeganja temelja.
- Nisu provedeni istražni radovi nego su karakteristike procijenjene na temelju ispitivanja sličnih građevina.
- U analizi usvojene proračunske vrijednosti gradiva:
 $f_b = 10,0 \text{ MPa}$, $f_m = 2,0 \text{ MPa}$, $f_{vko} = 0,1 \text{ MPa}$, kvaliteta zidanja i opeke B-II
- Zidovi zbog masivnih dimenzija imaju potrebnu nosivost na vertikalno opterećenje, pogotovo nakon osiguranja bočne pridržanosti u razini stropova.
- Problem su prisutna oštećenja (Vijećnica) i nedovoljna seizmička otpornost – IX seizmička zona, neomeđeno ziđe (mala duktilnost)



PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA

- Pojačanje i popravak pojedinih zidanih zidova je napravljeno primjenom tkanine od jednosmjerno orjentiranih staklenih (ugličnih) vlakana koja se postavlja na zidove epoxy ljepljom - FRP (Fiber Reinforced Polymer)
- Tkanina i epoxy ljepljivo – MAPEI i SIKA
- Razlozi primjene tkanine od staklenih vlakana:
 - Tkanina od staklenih vlakana je bitno jeftiniji proizvod u odnosu na druge FRP proizvode;
 - Izvedba je dosta jednostavna i brza jer se radi o površinskom lijepljenju izrazito lagane tkanine;
 - Nisu potrebne specijalizirani izvođači – može izvesti svaki izvođač;
 - Ne zauzima prostor. Korisna površina građevine se ne mijenja;
 - Ne dolazi do povećanja težine građevine – s temeljima nema problema;
 - Primjena rezultira povećanjem nosivosti i duktilnosti zidova.

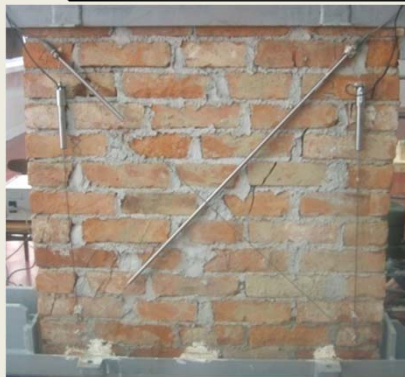
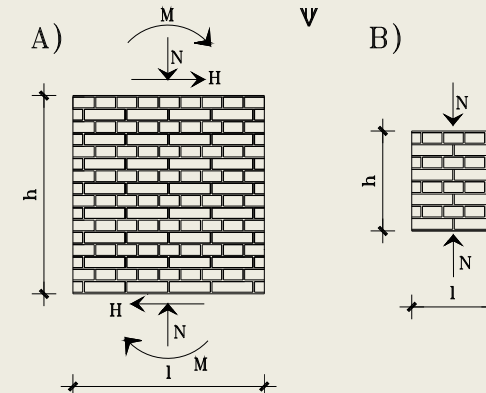
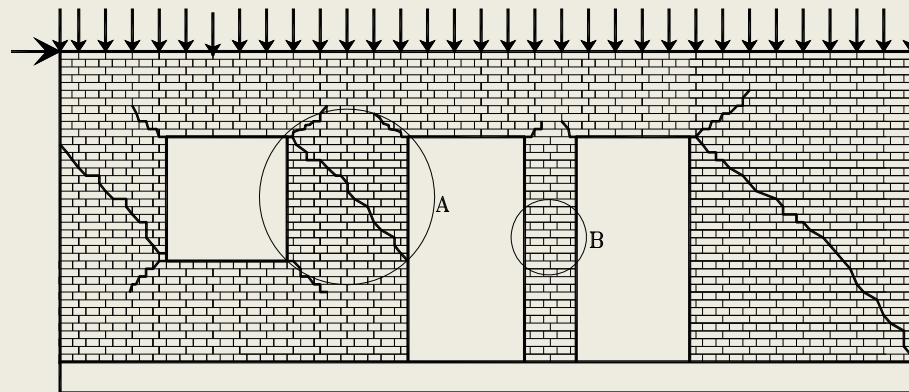


PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA



- U svijetu i Hrvatskoj su provedena brojna ispitivanja zidanih zidova pojačanih FRP proizvodima.
- Rezultat ispitivanja je povećanje duktilnosti i posmične i savojne nosivosti zida.
- U zagrebu 2005 g. provedena ispitivanja ponašanja armiranih i pojačanih međuprozorskih zidova te zidanih stupova ovijenih tkaninom od staklenih vlakana.

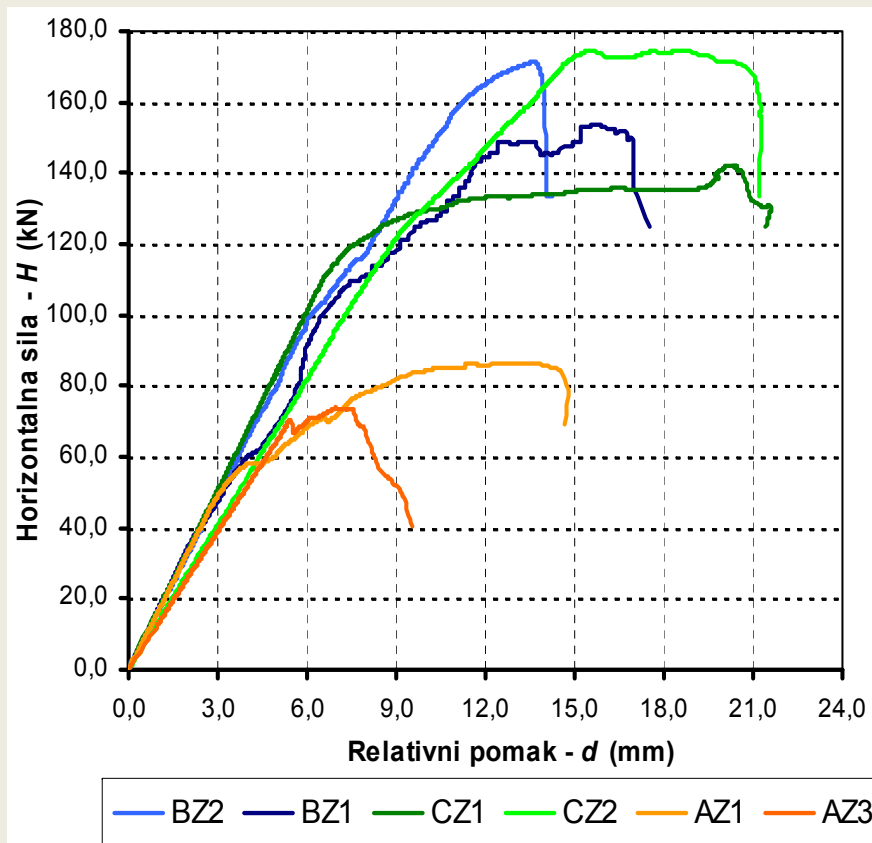
PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA



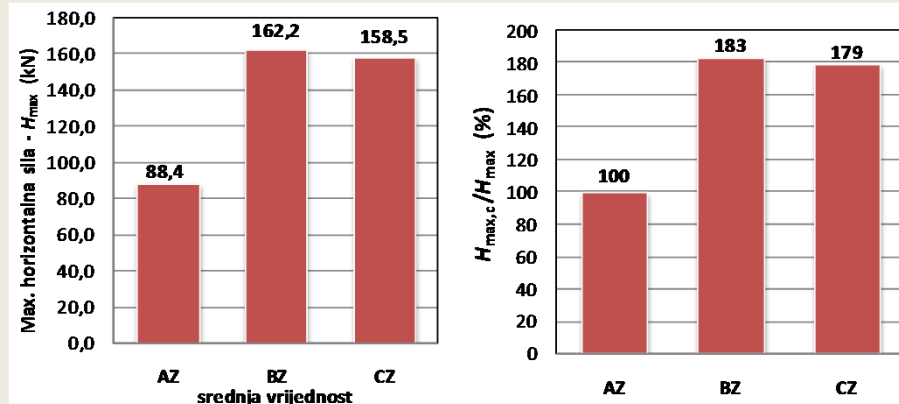
PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA

Rezultati ispitivanja

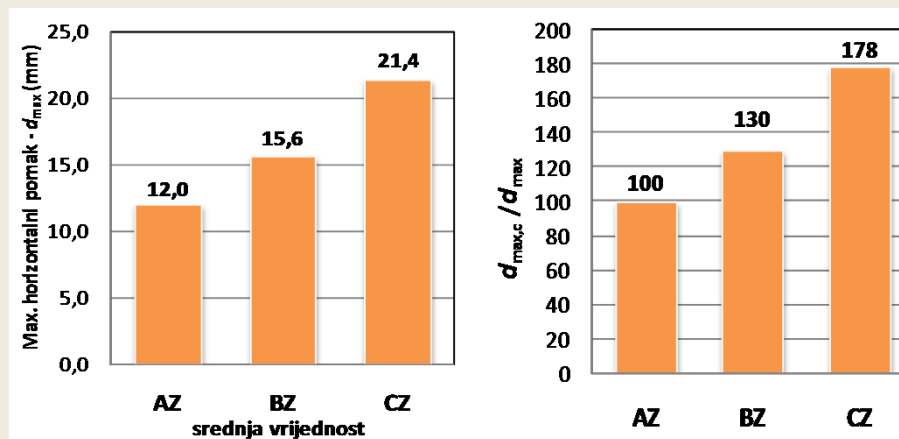
Dijagrami "H - d"



Nosivost zidova na horizontalno opterećenje

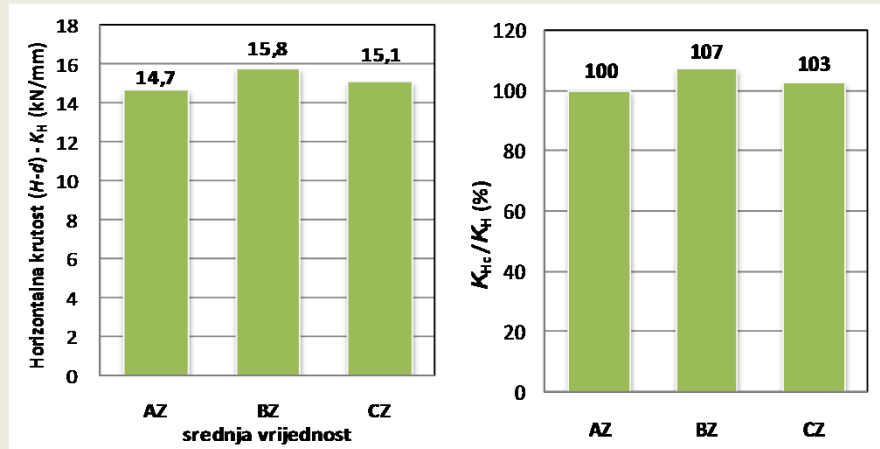


Maksimalni rel. horizontalni pomak rubova zida

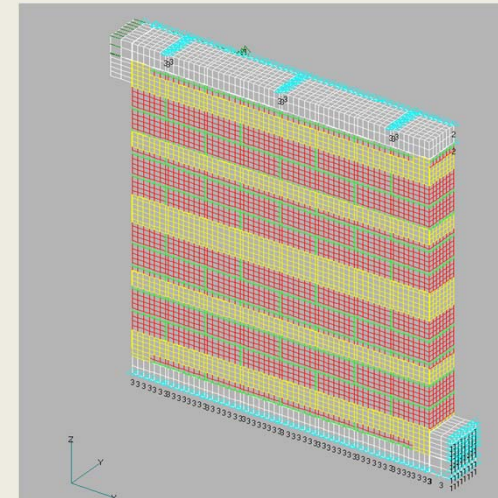


PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA

Usporedba krutosti – nema promijene



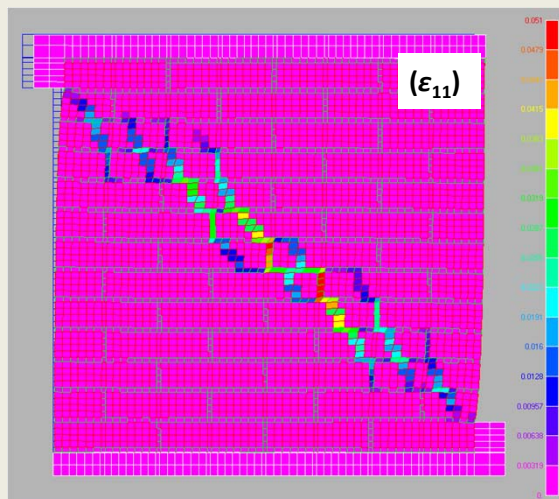
NUMERIČKA ANALIZA



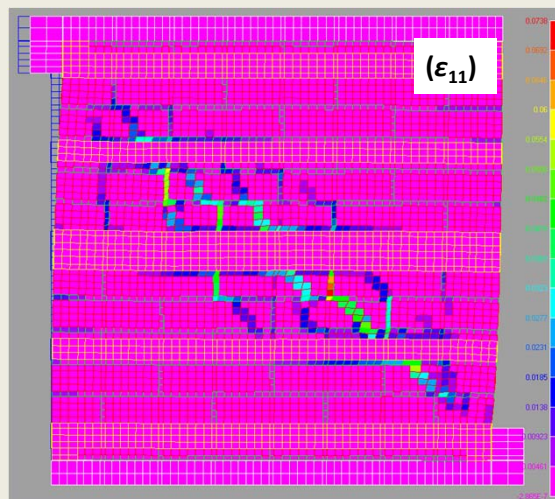
- Numerička analiza tj. teorijska simulacija u ovom radu provedena je u programu *MASA 3*.
- Program omogućuje trodimenzijsku nelinearnu numeričku analizu elemenata konstrukcije iz kvazikrhkog materijala, opisanog mikroravninskim modelom.
- Program koristi klasične konačne elemente formulirane u okviru mehanike lokalnog kontinuuma pri čemu su oštećenja tretirana u okviru koncepta razmazanih pukotina (*smearred crack approach*).

PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA

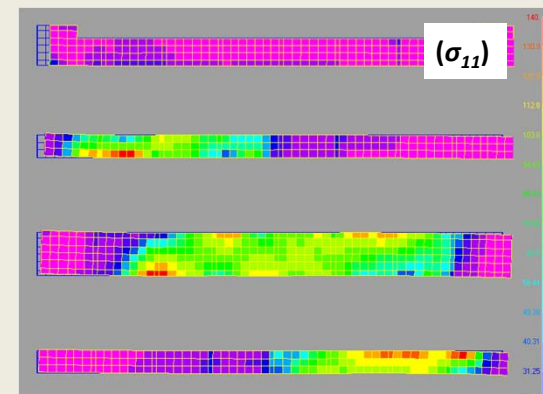
Nepojačani zid



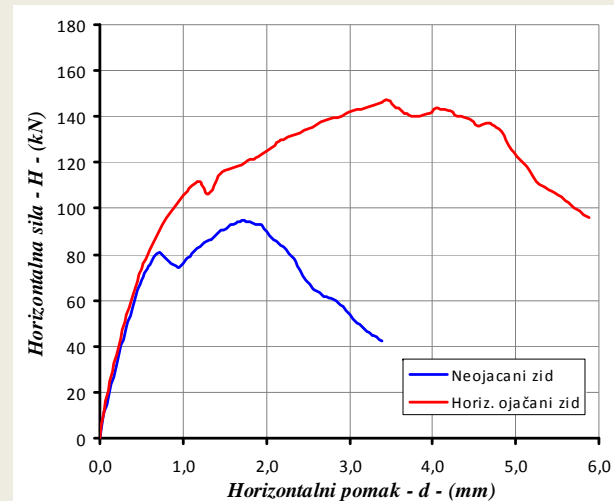
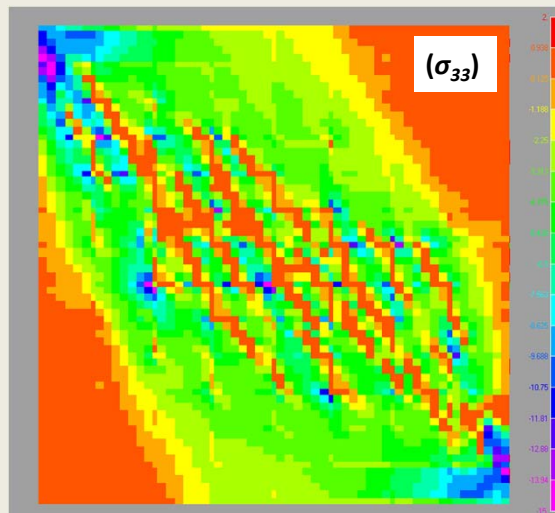
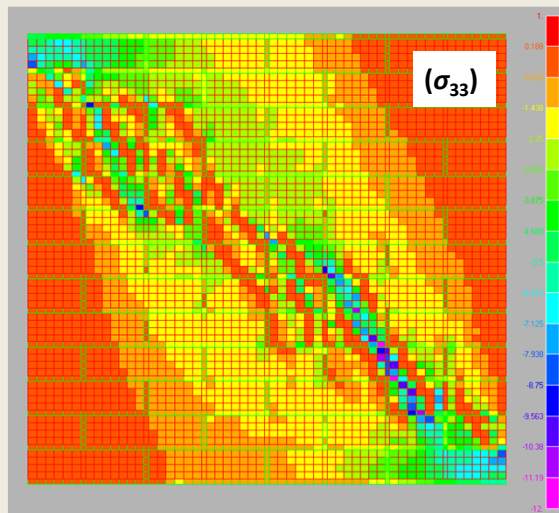
Pojačani zid



Horizontalne trake



$\sigma_f = 103,8 \text{ MPa}$ - 13% vlačne čvrstoće FRP ojačanja.

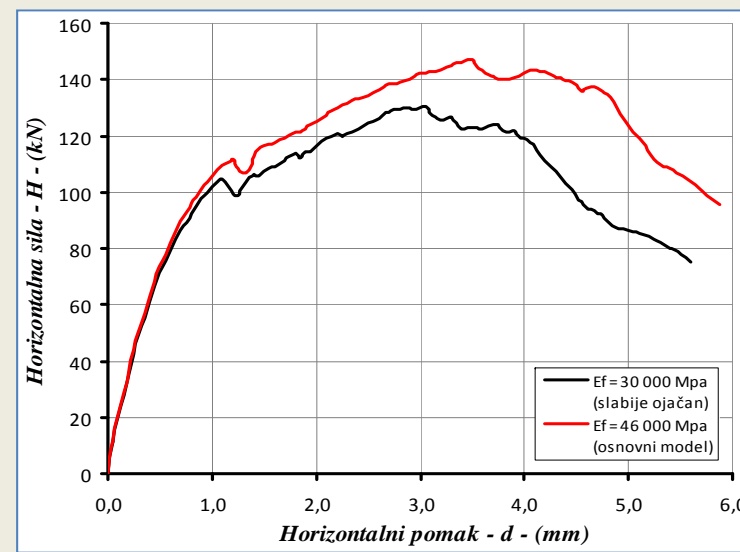


PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA

- Provedena je analiza sa smanjenim modulom elastičnosti traka za 50%.
 $E_f = 46\ 000\ \text{MPa} \rightarrow E_f = 30\ 000\ \text{MPa}$.

Smanjenje nosivosti 11,3%

- Slom je rezultat prevelikog oštećenja zida u srednjem dijelu tlačne dijagonale uslijed velikog broja pukotina.
- Ponašanje je slično ponašanju armiranog zida – daje veće povećanje nosivosti



PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA

Zaključci za proračunsku analizu

- Sve navedeno omogućuje proračunsku analizu pojačanih zidova FRP-om istu kao i armiranih zidova.
- Može se primijeniti povećanje faktora ponašanja $q = 1,5 \rightarrow 2,5$ što rezultira smanjenjem seizmičke sile na 60% seizmičke sile za nepojačani zid.
- Povećanje nosivosti u iznosu od 40 - 50% se postiže uz minimalnu postotak pojačanja konstrukcije.
- Ako se svi zidovi pojačavaju može se postići efektivno proračunsko povećanje nosivosti od 2,5 puta.
- Moguće je pojedinačno povećanje nosivosti zidova koji ne prolaze kao nepojačani budući da pojačanjem zida se ne mijenja krutost zida i ne dolazi do preraspodjele seizmičke sile na postojeće zidove.



PRIMIENJENI POSTUPCI POJAČANJA

Preporuka za proračun posmične otpornosti

- Za praktičnu primjenu može se primijeniti prijedlog Triantafilloua

$$V_{Rd} = V_{M,Rd} + V_{Rd2} = \frac{f_{vk} t d}{\gamma_M} + V_{Rd2} \leq \frac{0,3 f_k t d}{\gamma_M} \quad V_{Rd2} = \frac{0,7}{\gamma_f} \rho_f E_f \varepsilon_{fe} l t$$

$$\frac{V_{Rd}}{f_k l t} = \frac{0,8}{\gamma_M} \min \left(\frac{f_{vk0}}{f_k} + 0,4 \frac{N_{Sd}}{f_k l t}; \frac{f_{vk,max}}{f_k} \right) + \frac{0,7}{\gamma_M} \omega_h \frac{\varepsilon_{fe}}{\varepsilon_{Mu}} \leq \frac{0,25}{\gamma_M}$$

Efektivna relativna deformacija ojačanja pri slomu zida

$$\varepsilon_{fe} = 0,0119 - 0,0205(\rho_h E_f) + 0,0104(\rho_h E_f)^2 \quad \text{za } 0 \leq \rho_h E_f \leq 1,0 \text{ GPa}$$

$$\varepsilon_{fe} = 0,00245 - 0,00065(\rho_h E_f) \quad \text{za } \rho_h E_f > 1,0 \text{ GPa}$$

Prema provedenim analizama model rešetke (tlačno vlačne dijagonale) nije realan i ne preporučuje se njegova primjena.



PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA

Načini postavljanja traka primijenjen kod spomenutih rekonstrukcija

1. Gradska vijećnica

- seizmičko pojačanje zidova nije bilo potrebno,
- sanirale se samo pukotine u jednom zidu,
- pukotine se injektirale i dodatno pojačale trakama tkanine okomito na pukotine.

2. Vila Kallina i Ustavni sud

- seizmičko pojačanje pojedinih zidova,
- Kod svih zidova se na krajevima i na mjestu uglova postavile vertikalne trake širine $b = 30$ (60) cm,
- Na kutovima se postavile horizontalne trake kako bi se spriječilo odvajanje zidova na mjestu uglova.
- Kritični zidovi se pojačali horizontalnim lijepljenjem traka po visini.



PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA

Prikaz pojačanja na zidovima – Gradska vijećnica



PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA

Prikaz pojačanja na zidovi – Vila Kallina



PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA

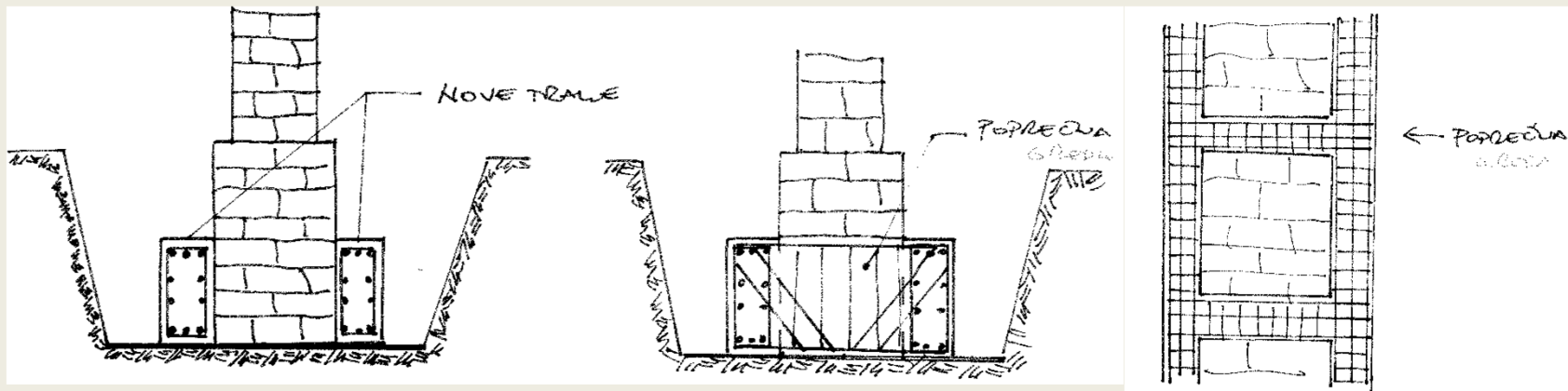
Nadvoji na mjestu novih otvora i zazidavanje postojećih otvora



PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA

7. POJAČANJE TEMELJA

- Samo na Gradskoj vijećnici ispod jednog zida je bilo potrebno pojačanje temelja – tlo je bilo slabe nosivosti,
- Kod ostalih nije trebalo pojačanje jer povećanje težine građevina nakon rekonstrukcije je do 5%, a temeljno tlo je bilo dostatne nosivosti.
- Pojačanje se izvelo s dvije trake uz postojeći temelj koje su povezane poprečnim gredama.



PRIMIJENJENI POSTUPCI POJAČANJA



ZAHVALJUJEMO

SVIM SURADNICIMA I TVRTKAMA KOJE SU SUDJELOVALE U
REALIZACIJI NAVEDENIH PROJEKATA

ZAHVALJUJEM SVIMA VAMA NA POZORNOSTI

