



Rekonstrukcija zidane konstrukcije OŠ Pavleka Miškine u Zagrebu

Dragan Kovač

SUDIONICI U PROJEKTU

- **Investitor:**

GRAD ZAGREB

Trg Stjepana Radića 1, Zagreb

- **Projektant konstrukcije :**

-mr.sc. Dragan Kovač , dipl.ing.građ.

Capital Ing d.o.o, Ksaverska cesta 6, Zagreb

- **Istražni radovi na konstrukciji:**

-dr.sc. Marijan Skazlić, dipl.ing.građ.

- **Projektant dubokog temeljenja postojećeg objekta**

-Tomislav Grošić, dipl.ing.građ.

Gmvo-projekt d.o.o., Ogrizovićeva 40b, Zagreb

- **Revidenti konstrukcije:**

-Milan Novković, dipl.ing.građ. (postojeći objekt)

Projektni biro Novković d.o.o., Palinovečka 19A, Zagreb

-dr.sc. Boris Androić, dipl.ing.građ. (krov dogradnje)

I.A. Projektiranje d.o.o., I. Barutanski breg 4, Zagreb

- **Revidenti temeljenja:**

-dr.sc. Krešo Ivandić, dipl.ing.građ. (dogradnja)

Geokod d.o.o., Našička 6., Varaždin

-dr.sc. Franjo Verić, dipl.ing.građ. (postojeći objekt)

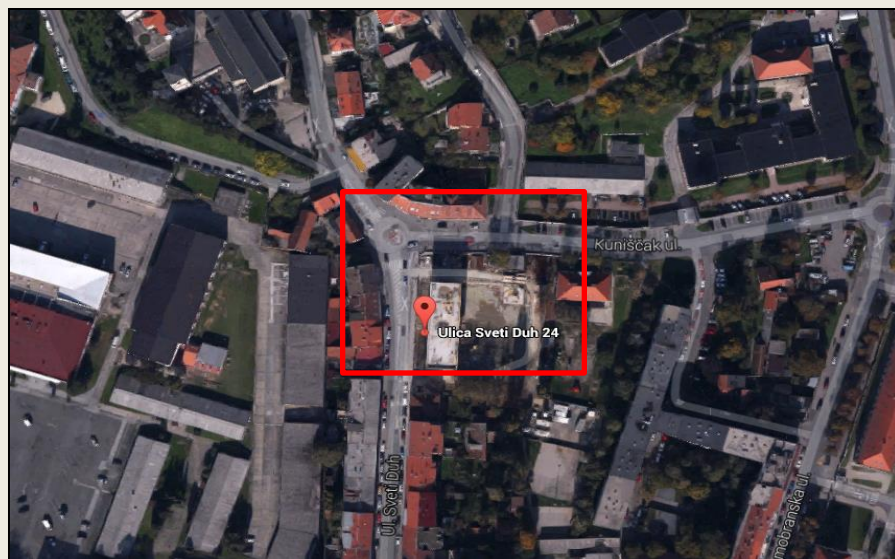
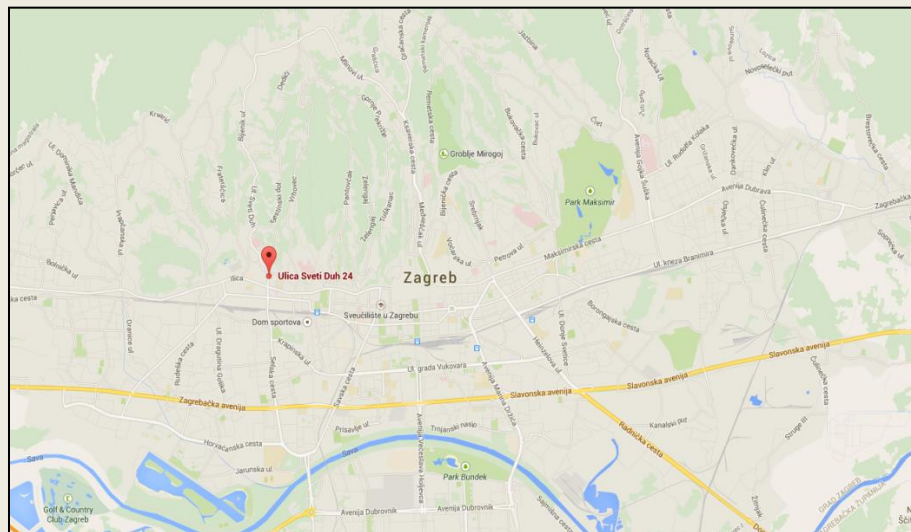
Geoekspert d.o.o., Brezovička cesta 21, Zagreb

- **Stručni nadzor:**

-Mladen Siketić, dipl.ing.građ.

Nering projekt d.o.o., Aleja Bologne 70, Zagreb

- **Izvođač:** HM – PATRIA d.o.o., Oboj 47, Zagreb



POVIJESNI OPIS GRAĐEVINE

- 1895. g. – sagrađena građevina
- Katnost građevine – prizemlje + 1. kat
- 1912. g. – dograđen 2. kat građevine
- 1925. g. – izvedene sjeverna i južna dogradnja
- Objekt je zaštićen kao kulturno dobro (ali ne pojedinačno već u zoni zaštite)



- 60-ih godina 20. stoljeća izvedeno produbljenje podruma
- U fazi projektiranja - nije bilo poznato
- Umjesto servisne podrumске etaže visine cca 1.5 - 2 m izvedena podrumска etaža pune visine – 3m
- Prema projektном zadatku 2013 i 2014. postojeća građevina je rekonstruirana te dograđena s novom dilatiranom ab konstrukcijom

TEHNIČKI OPIS DOGRADNJE GRAĐEVINE

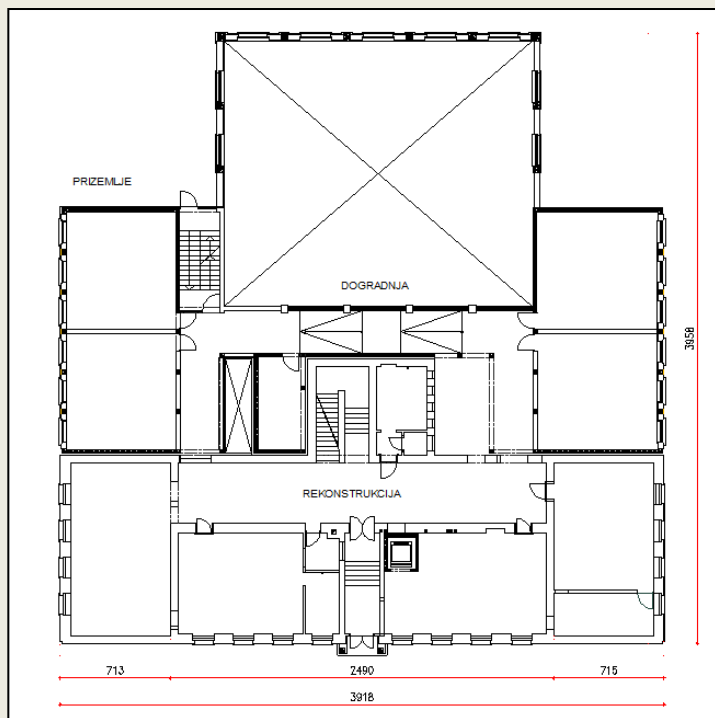
- Građevina se sastoji od podruma, prizemlja, 1. kata, 2. kata i potkrovlja

GBP_{postojeće} ≈ 2400 m²

GBP_{dogradnja} ≈ 2400 m²,

GBP_{ukupno} ≈ 4800 m²,

- Dogradnja je ab konstrukcija iste katnosti
- Krov dvorane dogradnje - čelična rešetkasta konstrukcija
- Temeljenje nove ab konstrukcije - CFA piloti dubine 18 metara

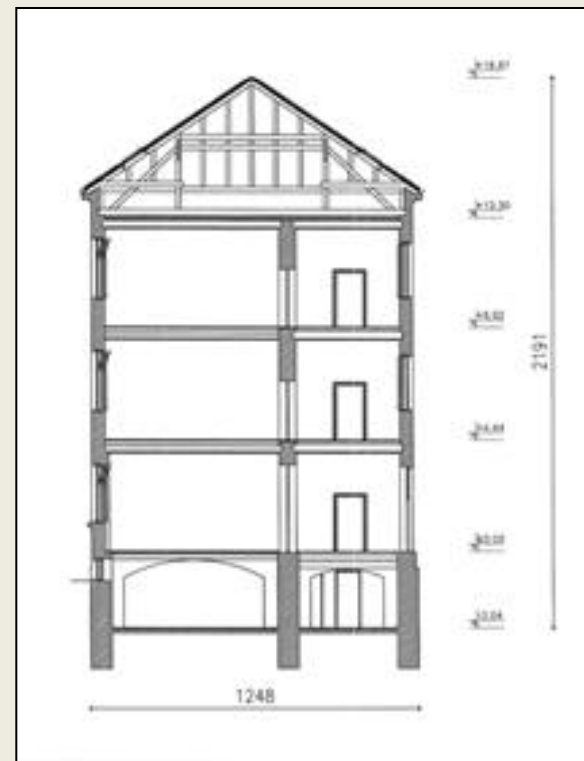


P objekta ≈ 4800 m²



TEHNIČKI OPIS POSTOJEĆE GRAĐEVINE

- Zidana konstrukcija katnosti podrum, prizemlje, 1. kat, 2. kat i potkrovlje. $GBP_{\text{postojeće}} \approx 2400 \text{ m}^2$
- Tlocrtne izmjere : 39.2 x 12.3 m . Ukupna visina 21.9 m.
- Zidė od pune opeke u vapnenom mortu
 $t = 50 - 85 \text{ cm}$
- Stropovi od drvenih grednika s ispunom od šute i daščanom oplatom. Strop podruma – lučni zidani svodovi s lukovima
- Temeljenje – zidani zidovi u istoj širini ukopani u tlo
- Krovšte – klasična dvostruka visulja



ZAHJEVI ZA GRAĐEVINU U REKONSTRUKCIJI

- Namjena građevine ostaje ista. Gabariti i visina građevine ostaju napromijenjeni
- Tavan je pretvoren u korisni prostor. Postojeće drveno krovište izvedeno sustavom visulje → dio elemenata smetao (vezne grede i kosnici) → projektirano je novo krovište
- Zamjena svih podova (zahtjevi fizike zgrade, požar) i pregrada. Adaptacija potpunog prostora s novom opremom i instalacijama
- Zadovoljiti bitan zahtjev mehaničke otpornosti i stabilnosti prema TPZK
- Nije bilo moguće koristiti članak 11 TPZK , tj. odredbu 10%, budući da je iz kronologije gradnje objekta jasno da se radi o višestrukoj rekonstrukciji



POTKROVLJE POSTOJEĆE NEKORISNO



POTKROVLJE NOVO – KORISNI PROSTOR

ZAHJEVI ZA GRAĐEVINU U REKONSTRUKCIJI

- **Postojeći objekt prije rekonstrukcije**



- Nisu uočena oštećenja na stropovima ili zidovima
- Nisu uočene nikave pukotine
- Rekonstrukcijom opterećenja nisu povećana
- Elaboratom o procjeni mehaničke otpornosti i stabilnosti postojeće građevine nije defininirana potreba ojačanja konstrukcije niti temeljnog tla

Članak 11.

... (3) Smatra se da rekonstrukcija odnosno adaptacija građevine nemaju bitan utjecaj na tehnička svojstva zidane konstrukcije ako su zatečena tehnička svojstva vezana za mehaničku otpornost i stabilnost zadovoljavajuća i ako se mijenjaju do uključivo 10% (npr. promjena mase građevine, promjena položaja središta masa ili središta krutosti, promjena računskih vrijednosti reznih sila u proračunskim presjecima i sl.).

(4) Odredba stavka 2. ovoga članka ne primjenjuje se:
– na višestruke rekonstrukcije odnosno adaptacije građevine kojima se mijenjaju zatečena tehnička svojstva zidane konstrukcije u cjelini odnosno njezinih pojedinih dijelova, koja svojstva su vezana za mehaničku otpornost i stabilnost građevine

– na rekonstrukciju odnosno adaptaciju građevine kojoj je zidana konstrukcija oštećena tako da postoji opasnost za život i zdravlje ljudi, okoliš, prirodu, druge građevine i stvari ili stabilnost tla na okolnom zemljištu.



Ista formulacija – TPČK, TPKD, TPKS , osim TPBK

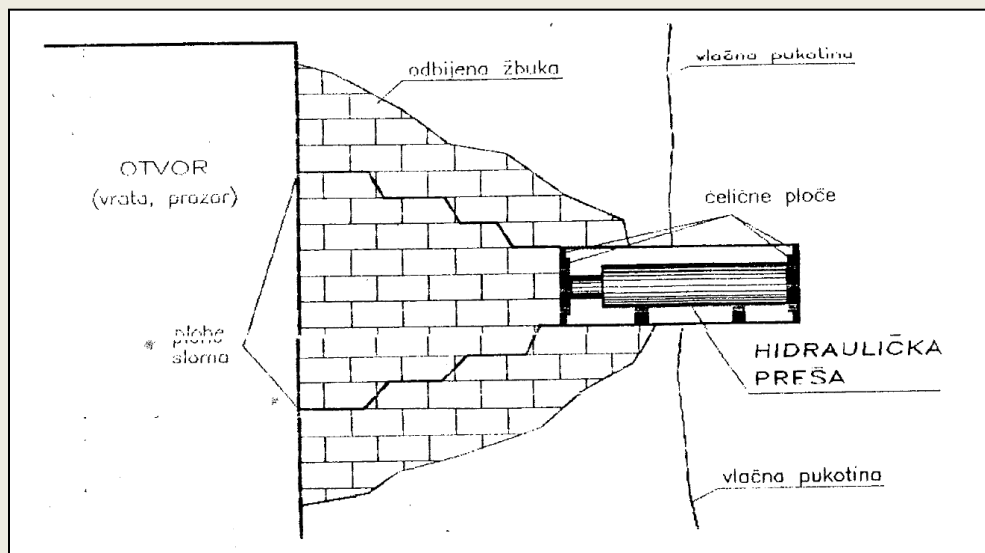
PRETHODNI ISTRAŽNI RADOVI NA KONSTRUKCIJI GRAĐEVINE

- **Proveden dio istražnih radova**
 - **Pregled krovišta i stanja drvenih elemenata**
 - **Otvoranje stropova radi utvrđivanja slojeva te izmjera i rastera grednika**
 - **Istražna sonda u podrumu (bušenje) radi utvrđivanja dubine temeljenja**
 - **Vizualni pregled svih nosivih elemenata radi utvrđivanja postojanja pukotina**
- **Iz arhive investitora preuzet elaborat o provedenom ispitivanju ziđa (Prizma d.o.o.)**
- **Prije izrade glavnog projekta Investitor je naručio i osigurao izradu elaborata o procjeni mehaničke otpornosti i stabilnosti postojeće građevine (Anicet d.o.o.)**
- **Elaboratom utvrđeno da postojeća konstrukcija zadovoljava te da nisu potrebna ojačanja**
- **Istražne radnje većeg opsega nisu bile moguće (objekt u stalnoj funkciji – škola)**
- **Nije postojala projektna dokumentacija postojeće građevine niti su evidentirane dodatne rekonstrukcije tijekom dugog vremena uporabe (cca 115 godina)**
- **Da su dodatne rekonstrukcije izvođene utvrđeno je tek tijekom izvedbe radova**
- **Kod rekonstrukcije ovakvih građevina neophodna je provedba što širih istražnih radova**
- **Istražne radnje (program ispitivanja mora određivati projektant konstrukcije)**
- **Prije faze projektiranja kada se ove radnje provode niti projektant u potpunosti ne zna što mu je potrebno jer u tom trenutku nije u fazi izrade i razrade glavnog projekta**
- **Nužan je intenzivan projektantski nadzor tijekom izvedbe radova (dopuna projektnih rješenja)**



PRETHODNI ISTRAŽNI RADOVI NA KONSTRUKCIJI GRAĐEVINE

- Istražni radovi – ispitivanje zida izvela tvrtka Prizma d.o.o. 1991. g.
- U elaboratu dokaz nosivosti zida proveden je sukladno Pravilniku o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima (Sl. List 31/81, 49/82, 29/83 i 21/88 – članci 107 – 110)
- Staro zide - velika nosivost na vertikalno opterećenje, nosivost često nedostatna na horizontalno opterećenje - potres
- Vlačna čvrstoća zida ovisi o : kvaliteti zidanja, ispunjenosti sljubnica i čvrstoći morta



Prema HRN EN 1996-1-1 nosivost zida na horizontalnu seizmičku silu se određuje na temelju posmične čvrstoće (f_{vk})

$$\sigma_{ng} = \sqrt{\frac{\sigma_0^2}{4} + \left(1.5 \cdot \frac{H_g}{P_\tau}\right)^2} - \frac{\sigma_0}{2}$$

$$\sigma_{ng} - \text{granično vlačno naprezanje}, \tau_0 = \frac{H_g}{P_\tau}$$

σ_0 – prosječno vertikalno naprezanje
 H_g – sila pri kojoj nastaje slom zida
 P_τ – površina smicanja

$$\tau_{og} = \sigma_{ng} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{\sigma_{ng}}}$$

τ_{og} – granično posmično naprezanje u zidu

PRETHODNI ISTRAŽNI RADOVI NA KONSTRUKCIJI GRAĐEVINE

ISPITNO MJESTO	EKSPERIMENTALNI PODACI					METODA DOP. NAPONA			METODA GRAN. STANJA			NAPOMENA
	G (kN)	Hg (kN)	Pr (m ²)	Pr (m ²)	σ _o (kPa)	σ _{ng} (kPa)	P _o (l)	σ _{ndop} (kPa)	σ _{og} (kPa)	Pr (l)	σ _{odop} (kPa)	
Z-1	49	127	0.39	0.59	126	266	2.0	133	322	1.5	215	Računato sa 1.5 plohom sloma
Z-2	76	84	0.25	0.38	304	212	2.0	106	331	1.5	220	Računato sa 1.5 plohom sloma

**VAŽNO ZA PROCJENU
OTPORNOSTI NA POTRES TE ZA
PROCJENU OPSEGA I NAČINA
OJAČANJA**



Rezultati ispitivanja i proračun iz 1991.g. (Prizma d.o.o.)
pokazuju da zide zadovoljava Pravilnik o tehničkim normativima
za gradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima

Naprezanja u zidu su manja od dopuštenih

Karakteristično posmično naprezanje iznosi
220 kPa tj. 0.022 kN/cm² (visoka vrijednost)

Navedeno odgovara zidanom zidu od bloke opeke grupe 2a u
mortu M5 :

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0.4 \sigma_d, \sigma_d = 0.015 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{vk0} = 0.02 \text{ kN/cm}^2, f_{vk} = 0.026 \text{ kN/cm}^2$$

Zbog samo dva ispitna mjesta $\rightarrow \gamma_m = 1.5$

Za ovakovo zide procjena vlačne čvrstoće po literaturi je
0.009 kN/cm²

Vrsta zide: zidni elementi i mort	Tlačna čvrstoća (N/mm ²)	Vlačna čvrstoća (N/mm ²)	Modul elastičnosti (N/mm ²)	Modul posmika (N/mm ²)
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
Keramzitni 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

Aničić D., Zemljotresno inženjerstvo, 1990



PRETHODNI ISTRAŽNI RADOVI NA KONSTRUKCIJI GRAĐEVINE

Obzirom na stogodišnju starost centralnog dijela objekta i stanje njegovih i kvalitetu konstruktivnih elemenata, te činjenicu da njegova adaptacija neće bitno promijeniti veličinu sila koje djeluju na kontaktu temelj - tlo, nije bilo neophodno provoditi analize nosivosti i slijeganja tog dijela objekta.

Na osnovi rezultata geotehničkih istražnih radova i geostatičkih analiza, te ispitivanja čvrstoće zida, provedenih za potrebe projektiranja i temeljenja objekta ADAPTACIJA I NADOGRADNJA O.S. "PAVLEK MIŠKINA" u Zagrebu može se utvrditi da je temeljno tlo geotehnički podobno za izgradnju, uz uvažavanje navoda iz ovog elaborata.

**ZAKLJUČAK
ELABORATA
PRIZMA d.o.o
1991. g.**

- Na temelju istražnih radova projektirana su ojačanja građevine
- Prikazati će se ojačanja na tri konstruktivna elementa – iz glavnog projekta
 - Temeljima građevine
 - Zidu građevine
 - Stropovima građevine

Te rješenja ojačanja istih elemenata iz dopune glavnog projekta – zbog izmjena i dopuna glavnog projekta tijekom izvedbe



SEIZMIČKI PRORAČUN PREMA GLAVNOM PROJEKTU

- Ukupna ploština stropa jedne etaže: 483 m^2 , $q_{sd} = 15.1 \text{ kN/m}^2$
- Masa građevine : $G = 29.300 \text{ kN}$
- Faktor ponašanja : 1.5 – zidano neomeđeno ziđe
- Seizmička sila (HRN ENV 1998), kategorija tla C:
- $S_d(T) = 0.2 \cdot 0.9 \cdot 2.5 \cdot 1 / 1.5 = 0.3$ (30 % mase građevine)
- Seizmička sila za svaki smjer iznosi
 $P_x = P_y = 0.3 \cdot 29.300 = 8.790 \text{ kN}$
- Ploština zidova u etaži : $A_x = 49.9 \text{ m}^2$, $A_y = 33.8 \text{ m}^2$
- Karakteristična posmična čvrstoća ziđa : $f_{vk} = 0.0215 \text{ kN/cm}^2$ (iz elaborata)
- Nosivost ziđa na horizontalnu silu : $V_{Rd} = 93 \text{ kN/m}^1$ zida.
- Proračunon utvrđene prosječne i maksimalne vrijednosti poprečne sile :
- $V_{Sd} = (P_x / A_x) \cdot d \cdot 100$, $V_{Sdmax} = 115 \text{ kN/m}^1 > 93 \text{ kN/m}^1$, nosivost prekoračena
- $V_{Sd} = (P_y / A_y) \cdot d \cdot 100$, $V_{Sdmax} = 130 \text{ kN/m}^1 > 93 \text{ kN/m}^1$, nosivost prekoračena
- Zidovi nemaju potrebnu nosivost - potrebno ojačanje ziđa na seizmička djelovanja
- Glavnim projektom je predviđeno ojačanje zidova ovijanjem cijelog presjeka zida GFRP trakama na tri visine po etaži (trake širine 30 cm) – u prizemlju i 1. katu
- U analizi opterećenja (zbog nepoznavanja građevine) ojačanog ziđa GFRP trakama faktor ponašanja od 1.5 nije povećavan



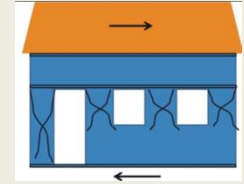
SEIZMIČKI PRORAČUN PREMA GLAVNOM PROJEKTU

- Primjer izračuna ojačanja GFRP-om za jedan zid :
- Ukupna nosivost зида на posmičnu silu :

$$V_{Rd} = V_{M,Rd} + V_{Rd2}$$

$$V_{Rd2} = \frac{0,7}{\gamma_f} \cdot \rho_f \cdot E_f \cdot \varepsilon_{fe} \cdot l \cdot t \quad \text{nosivost GFRP traka}$$

- γ_f – 1.2 , faktor sigurnosti materijala za ojačanje
- ρ_f – odnos ploština traka/zидe – “koeficijent armiranja”
- E_f – modul elastičnosti traka, $E_f = 80.000 \text{ N/mm}^2$
- ε_{fe} – relativna deformacija GFRP traka , $\varepsilon_{fe} = 0.3\%$
- l i t – duljina i debljina zida
- $\rho_f = 0.003$
- f_k – karakteristična tlačna čvrstoća зида
- $V_{Rd} = 0.7/1.2 \cdot 0.003 \cdot 8000 \cdot 0.003 \cdot 100 \cdot 50 = 120 \text{ kN}$
- $f_{vd} = f_{vk} / \gamma_m + V_{rd2} / t \cdot l = 0.0215/1.5 + 210/50 \cdot 100$
- $f_{vd} = 0.0143 + 0.042 = 0.056 \text{ kN/cm}^2$
- $f_{vdmax} = 0.3 \cdot f_k / \gamma_m = 0.3 \cdot 0.2 / 1.5 = 0.04 \text{ kN/cm}^2$
- **$V_{Rd} = 0.04 \cdot 50 \cdot 100 = 200 \text{ kN} > 130 \text{ kN}$ (za $q = 1.5$)**
- **Povećanje nosivosti 2.15 puta**



GFRP TRAKE :

MAPEWRAP UNI-AX 300/30



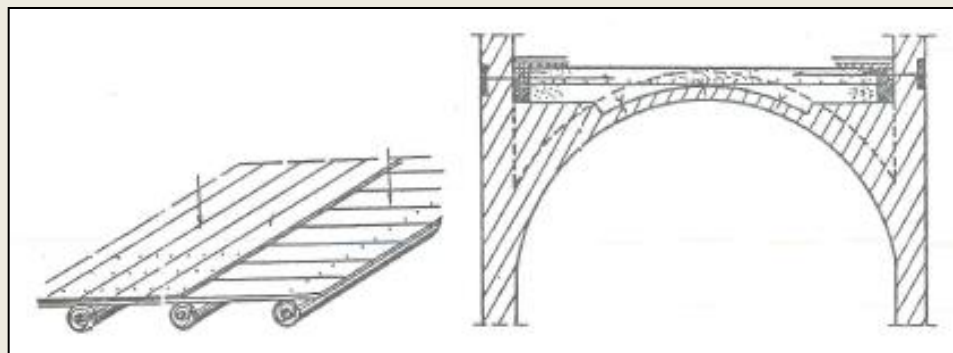
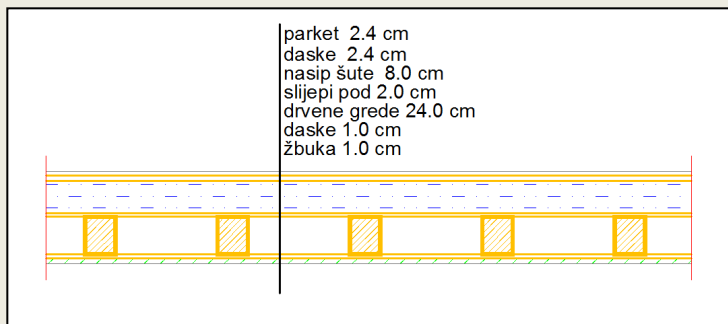
**Vertikalno naprezanje malog iznosa
Slom nastaje klizanjem (posmikom)**



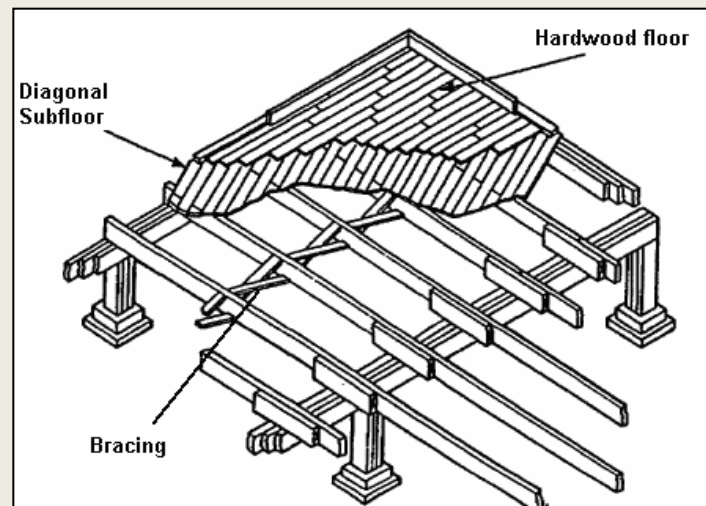
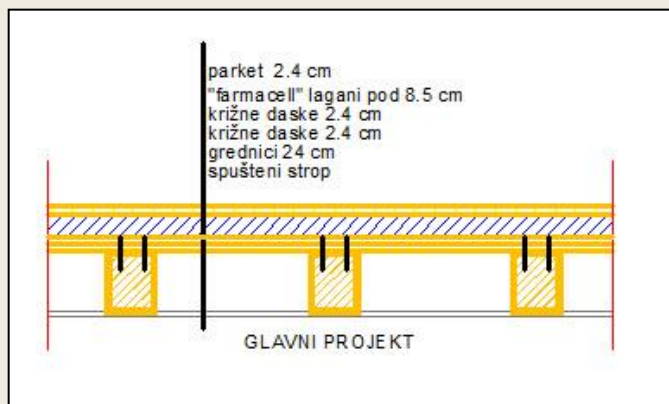
PROJEKTIRANA RJEŠENJA OJAČANJA KONSTRUKCIJE

- Zahtjevi – nepovećanje mase i brzina izvedbe
- Križno postavljene daske u dva reda
- Daske spregnute s drvenim grednicima vijcima za sprezanje
- Prvi red dasaka se čavla u grednik, 2 red dasaka se spreže vijcima
- Kod izvedbe križnih dasaka nije potrebno podupiranje stropova pri izvedbi

POSTOJEĆI STROP



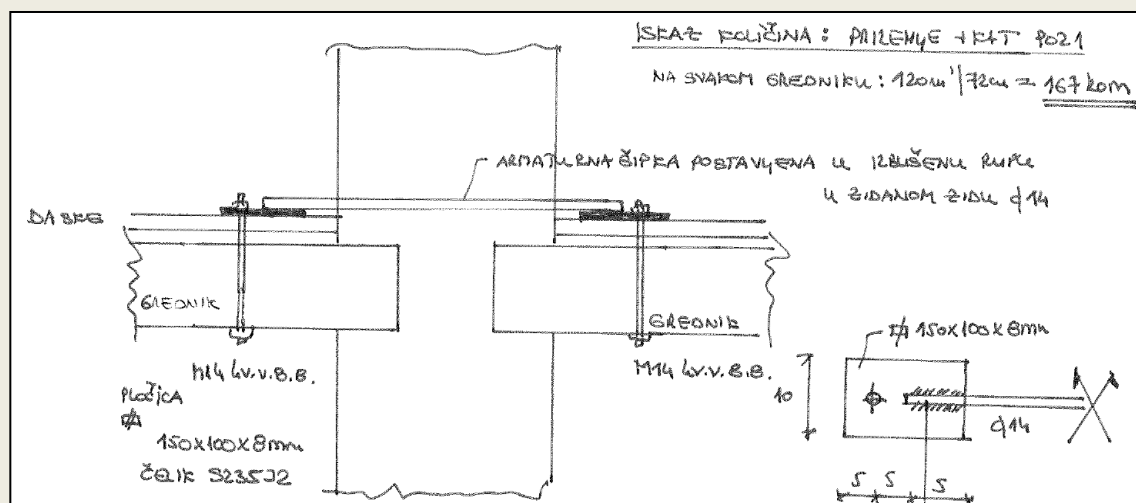
PROJEKTIRANI STROP



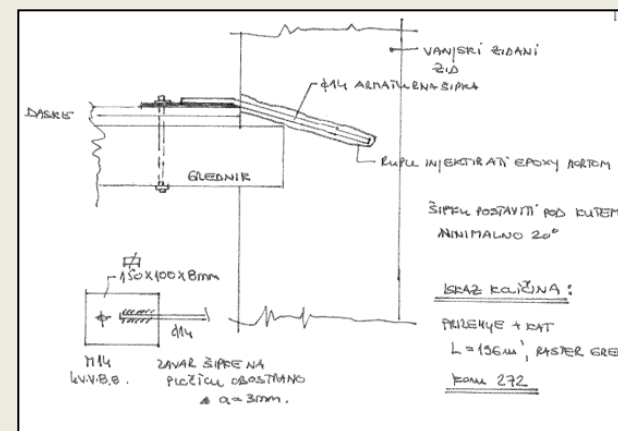
PROJEKTIRANA RJEŠENJA OJAČANJA KONSTRUKCIJE

- Odabran pod tipa “ farmacell “ – suhi estrih
- U usporedbi s cementnom glazurom : lakši i brža izvedba
- Tlačna ploča se izvodi do zidova-u protivnom- oštećenja ziđa (od npr.šlicanja ili sl.)
- Tlačna drvena ploča je povezana kroz nosive zidove
- U zidovima izbušiti rupe, postaviti armaturne šipke, šipke povezati s grednicima
- Građevina se horizontalno ukružuje što je važno za osiguranje seizmičke otpornosti
- Seizmičke sile se ravnomjernije prenose na ziđe

DETALJ POVEZIVANJA KROZ UNUTARNJE ZIDOVE



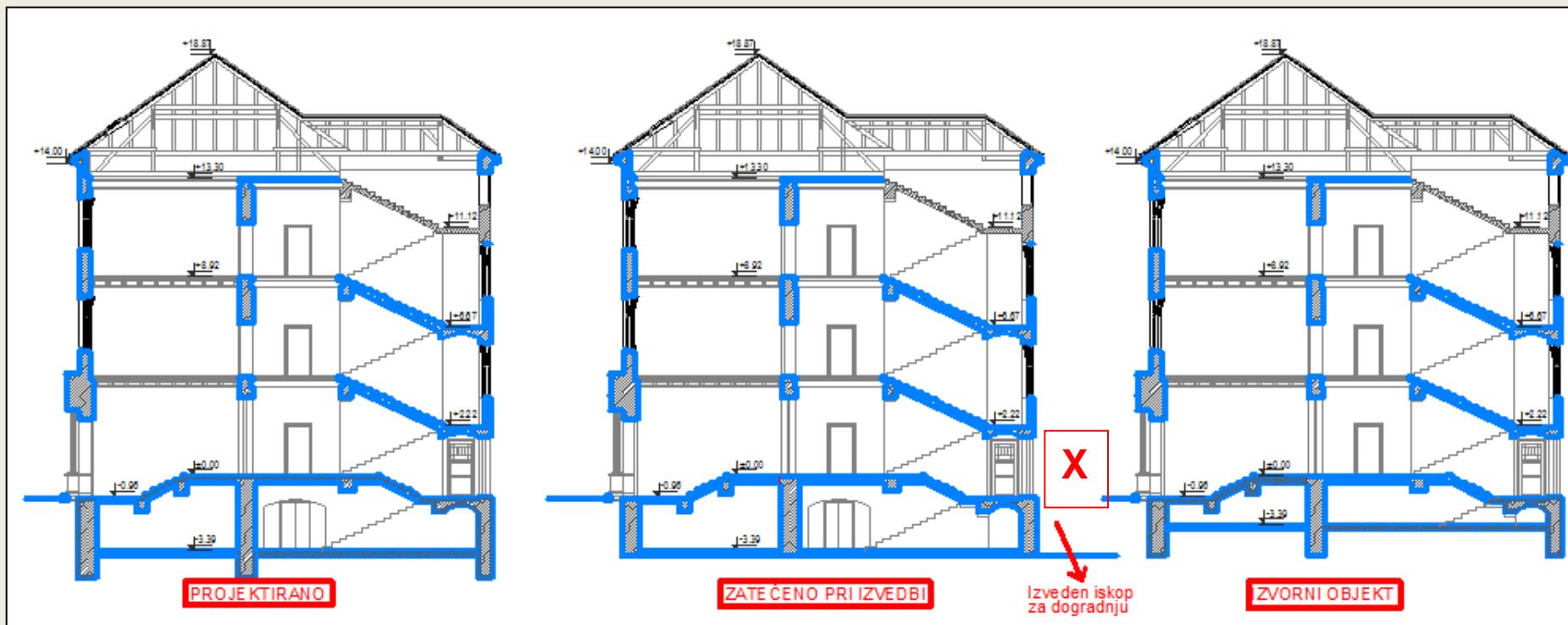
DETALJ POVEZIVANJA S VANJSKIM ZIDOM



Rješenja promijenjena (dopunjena u izvedbi)

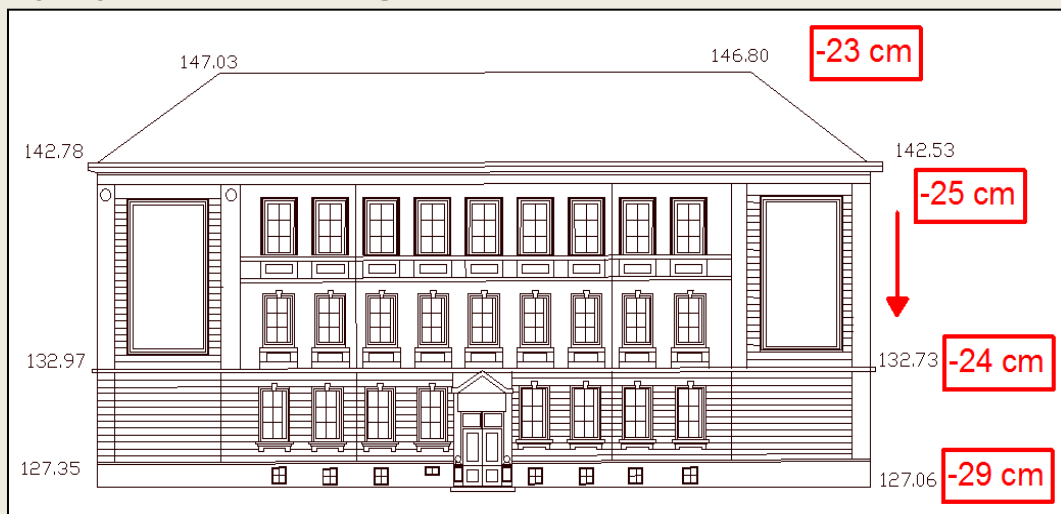
POČETAK GRADNJE – IZNENADNA SLIJEGANJA I PUKOTINE

- U nekoj od prethodnih rekonstrukcija (detalji nepoznati) produbljen podrum. Građevina izvorno - podrumaska tehnička etaža (informacija naknadno dobivena od djelatnika škole)
- Na početku izvedbe radova dolazi do značajnog trenutnog slijeganja južnog dijela građevine od 6-8 cm te istočnog dograđenog krila i više. Zapadni ulaz se podignuo 2-3 cm
- Trenutno slijeganje pruzročeno uklanjanjem krovišta
- Dodatni razlozi : Izveden dio iskopa za dogradnju – iskopan temelj postojećeg objekta
- Započeta izvedba podebetoniranih temeljnih traka na nekoliko pozicija – oslabljenje



POČETAK GRADNJE – IZNENADNA SLIJEGANJA I PUKOTINE

- Provedba hitnih mjera za sprječavanje daljnjeg slijeganja (ZOG)
- Zabijeni čelični profili u zonama slijeganja građevine
- Naručeno geodetsko praćenje eventulanog daljnjeg slijeganja
- Nakon trenutnog došlo je i do naknadnog slijeganja (neznatno). Nakon nekoliko dana bez daljnjeg povećanja
- Geodetskim praćenjem uočeno da je objekt već ranije pretrpio slijeganja, i to značajna (više od 20 cm)
- Visinska razlika građevine jug – sjever i do 30 cm, Diferencijalno = 6 cm
- Pri slijegavanju građevina se “ ovjesila “ za stropove etaža
- Geodetski projekti se ne rade za rekonstrukcije postojećih građevina
- Razmatrana je i mogućnost uklanjanja kompletne građevine



POČETAK GRADNJE – IZNENADNA SLIJEGANJA I PUKOTINE

- Uslijed slijegavanja objekt je pretrpio značajne pukotine
- Zbog značajnih slijeganja i oštećenja istočna dogradnja je potpuno uklonjena
- Izvršeni su dodatni geotehnički istražni radovi



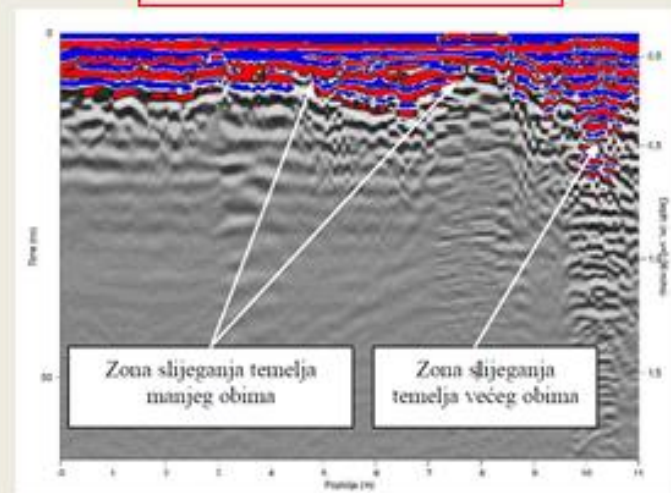
Istočna dogradnja - uklonjeno



GEORADARSKI PROFIL

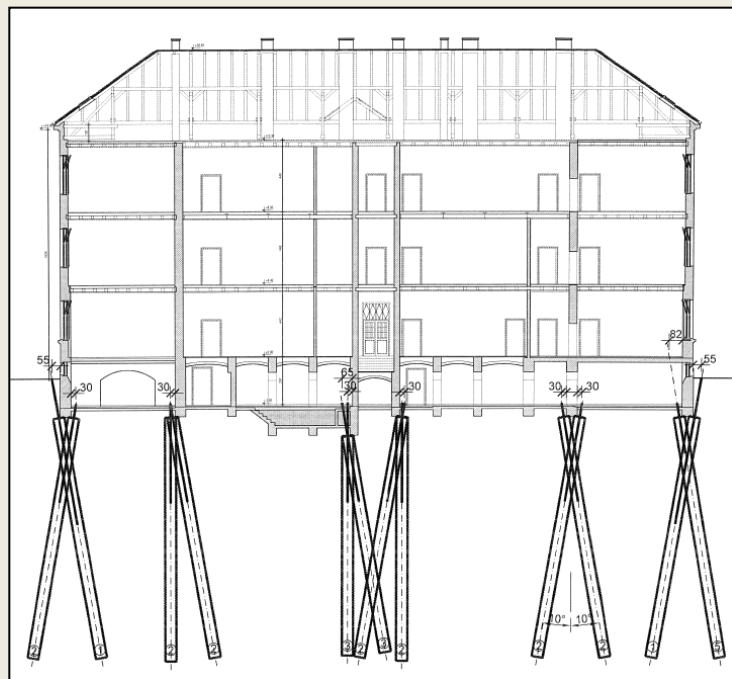


- Dodatni geotehnički istražni radovi
- Tvrtnka Geos d.o.o. Rovinj



DUBOKO TEMELJENJE GRAĐEVINE MLAZNO INJEKTIRANIM STUPNJACIMA

- Na temelju provedenih dodatnih istražnih radnji s novim ulaznim podacima utvrđena nužnost izvedbe ojačanja temeljnog tla mlazno injektiranim stupnjacima
- Stupnjaci ispod svih nosivih zidova – dubine 15-18 metara, ukupno 156 kom
- Zadržano projektno rješenje podbetoniranih temeljnih traka s ab podnom pločom
- Koordinirano projektiranje temeljenja (projektant konstrukcije – projektant dubokog temeljenja) – opterećenja i krutost podloge
- Jet – grouting – ojačanje temeljne osnove, tla ispod građevine



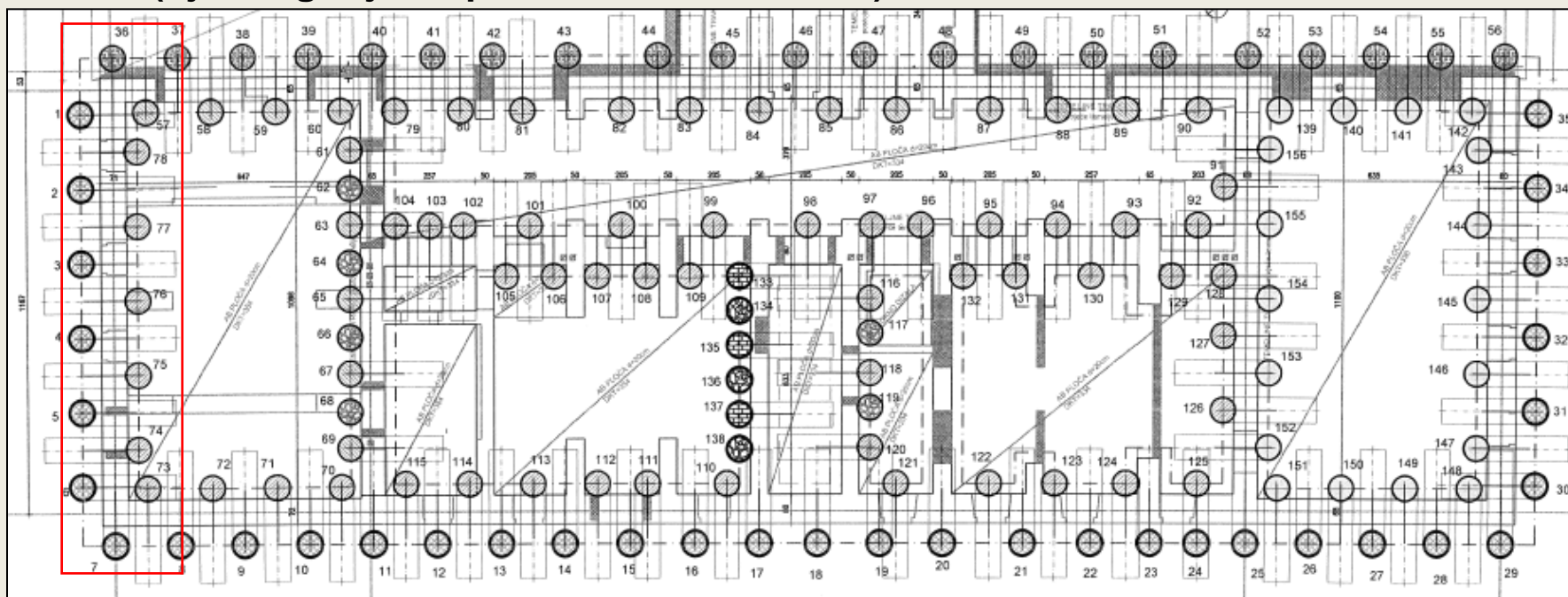
JET GROUTING



Pokusno testiranje stupnjaka

DUBOKO TEMELJENJE POSTOJEĆE GRAĐEVINE MLAZNO INJEKTIRANIM STUPNJACIMA

- Južni dio građevine koji je pretrpio najveće slijeganje nije otkopavan
- Nije izvođeno podbetoniranje traka u tom dijelu
- Ispod ziđa izveden betonski temelj – višestruke rekonstrukcije
- Stupnjaci su promjera 70-80 cm
- Ojačano temeljno tlo ne može umanjiti seizmičku silu (tj. kategoriju tla prema HRN EN 1998-1)

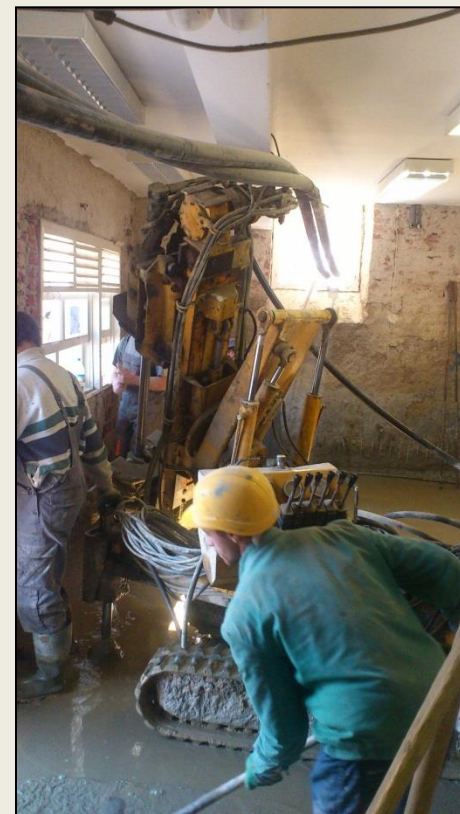


DUBOKO TEMELJENJE GRAĐEVINE MLAZNO INJEKTIRANIM STUPNJACIMA

- Slike izvedbe



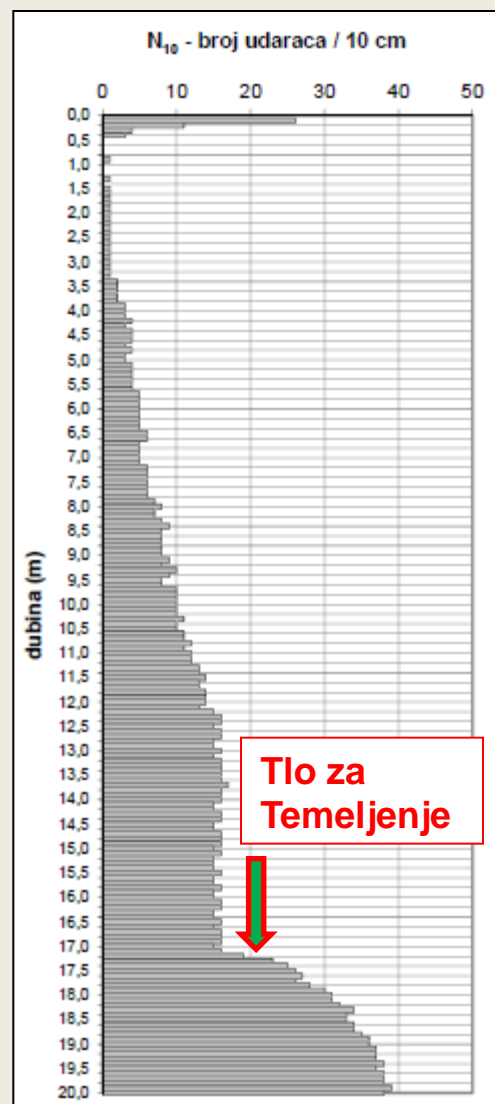
- Stupnjaci ispod unutarnjih zidova izvedeni manjim strojem iz podruma objekta



TEMELJENJE – PODBETONIRANE TRAKE S PODNOM PLOČOM

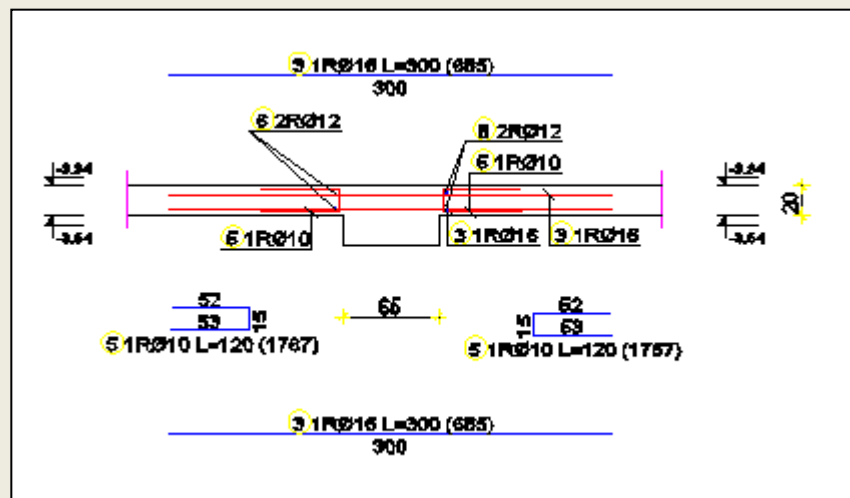
- Ispod svih nosivih zidova izvedene su podbetonirane temeljne trake visine 40 cm
- Dodane dodatne temeljne trake i izvan nosivih zidova te u cijelom tlocrtu podruma podna ploče – bolje povezivanje i ukrućenje u zoni temeljenja (naglavnica pilota)
- Duljine segmenata traka ovisne su o tehnologiji izvedbe – odabrano 150 cm uz zavarivanje armature
- Odabir duljine segmenata – kraće povoljne radi stabilnosti i oštećenja ziđa koji je privremeno potkopan – dulje povoljnije s aspekta dinamike i troška izvedbe, zbog manje količine zavarivanja

DPH (TUS) – DIN 4094



TEMELJENJE – PODBETONIRANE TRAKE S PODNOM PLOČOM

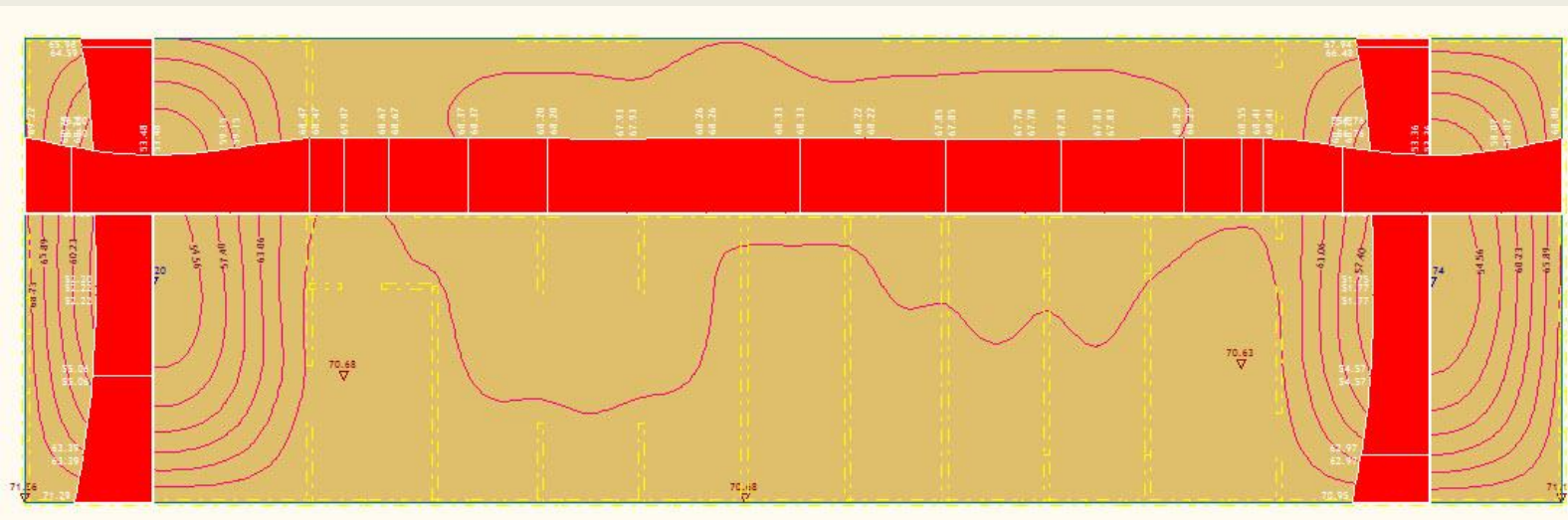
- Potrebno je izvršiti provjeru dimenzioniranje na poprečnu silu na spoju podne ploče i podbetoniranih traka
- Podbetonirane trake i ploča – bolje ukrućenje građevine – ujednačenje slijeganja



TEMELJENJE – PODBETONIRANE TRAKE S PODNOM PLOČOM

- Opterećenje na tlo i slijeganje bez ojačanja – dubokog temeljenja

OPTEREĆENJE NA TLO



$\sigma_{\max} = 75 \text{ kN/m}^2$

SLIJEGANJE

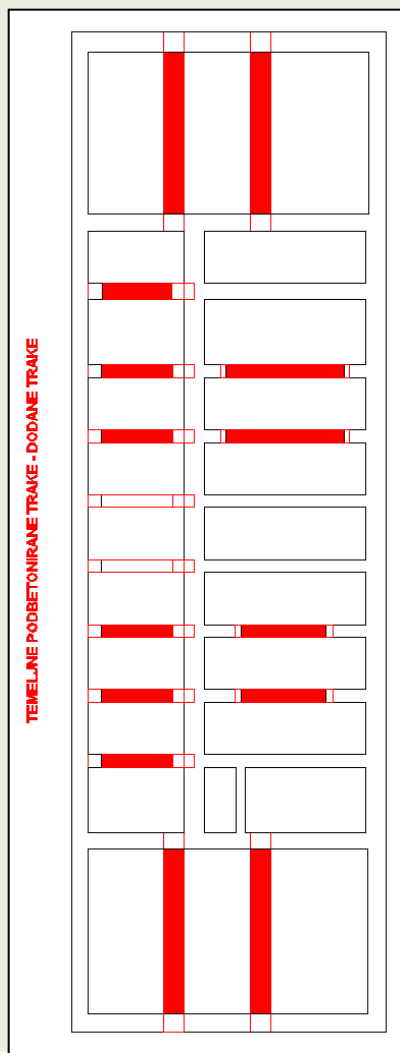


$S_{\max} = 8.4 \text{ cm}$

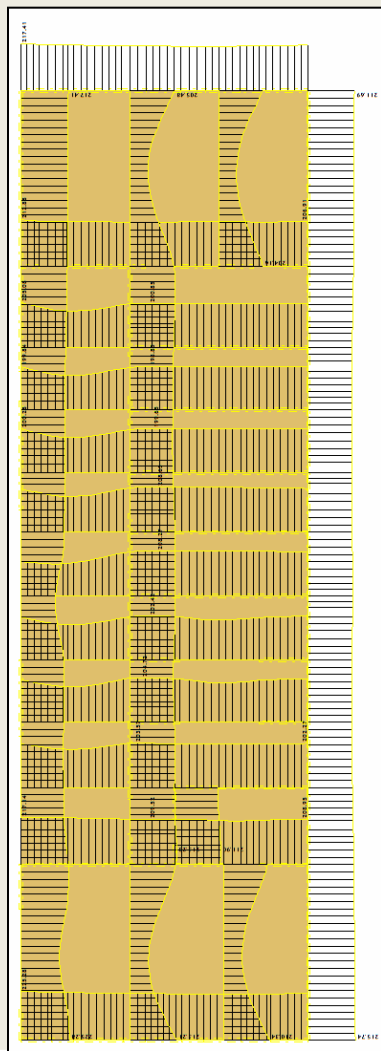


TEMELJENJE – PODBETONIRANE TRAKE S PODNOM PLOČOM

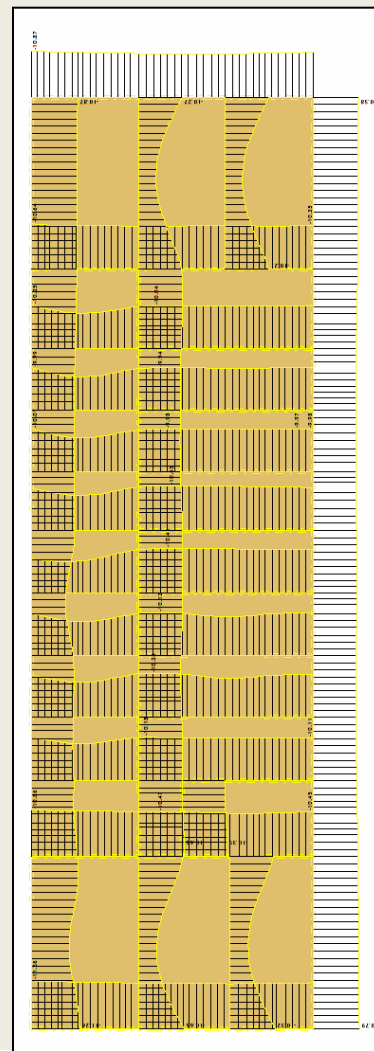
- Opterećenje na tlo i slijeganje – duboko temeljenje, dodatne trake i podna ploča – smanjena su i diferencijalna slijeganja



OPTEREĆENJE NA TLO



SLIJEKANJE

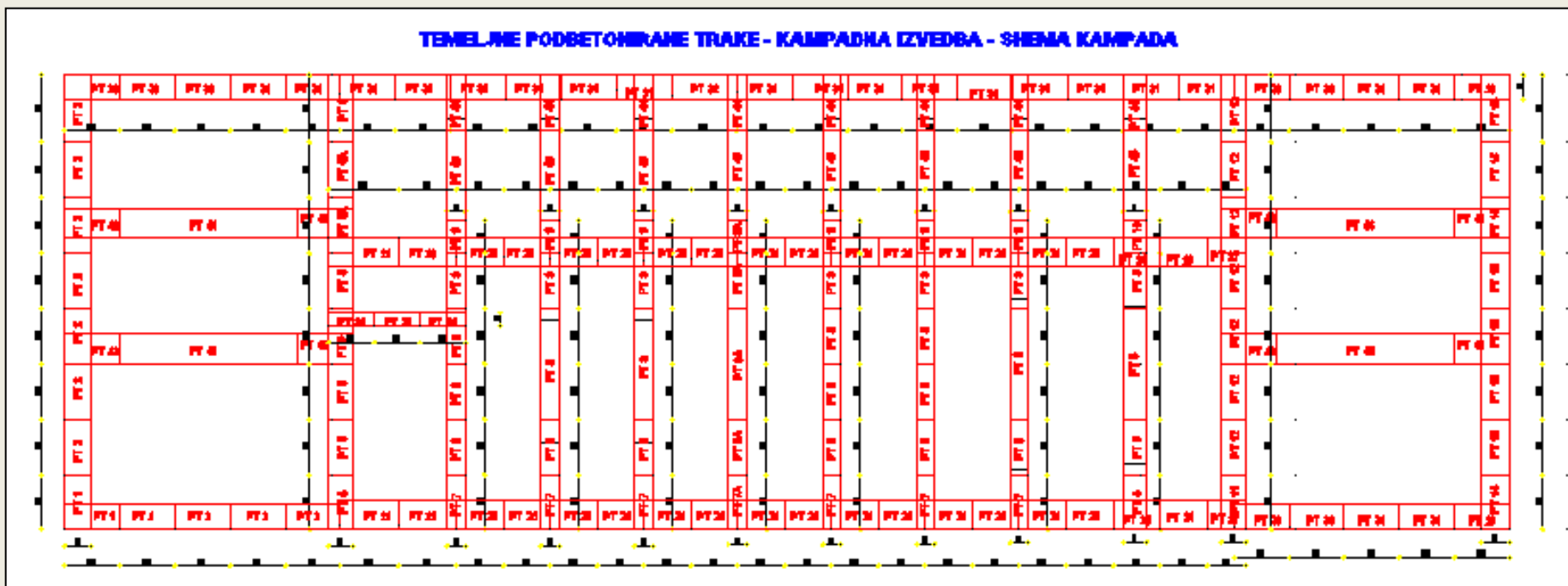


$S_{\max} = 1.31 \text{ cm}$

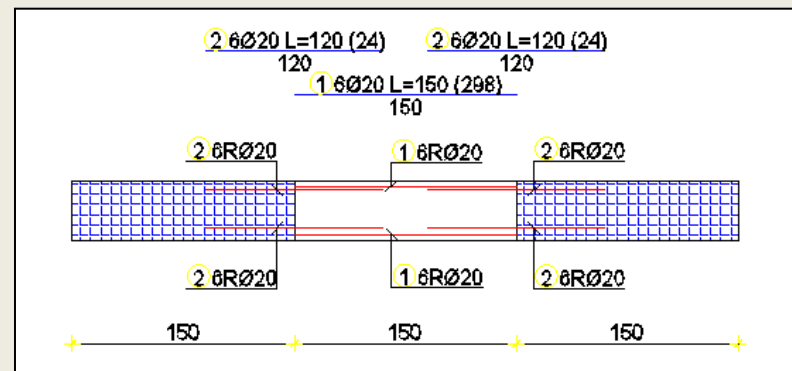
$\sigma_{\max} = 262 \text{ kN/m}^2$

TEMELJENJE – PODBETONIRANE TRAKE S PODNOM PLOČOM

- Shema pozicija podbetoniranih temeljnih traka



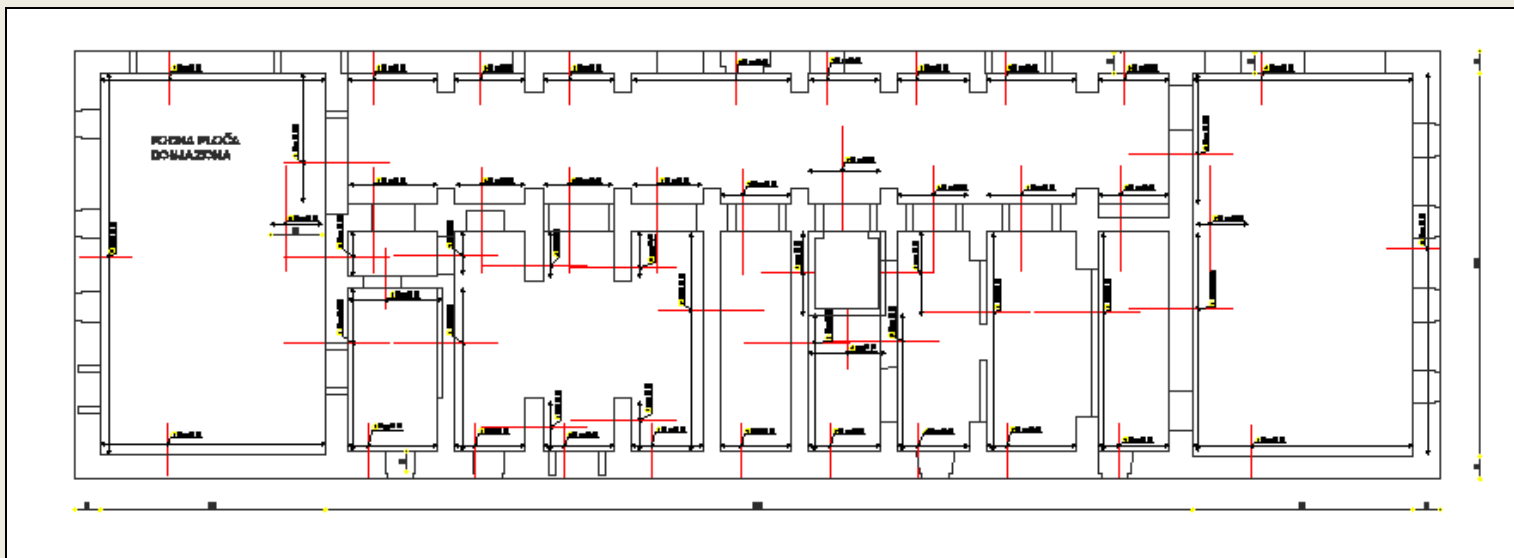
- Veliki broj šipki za zavarivanje - u mekom tlu moguće ubušiti šipke u tlo susjedne kampade i nastaviti armaturu preklapanjem
- Kampade izvođene sukcesivno: Uvjet - dvije ispod istog zida > odmak min. 7 dana



TEMELJENJE – PODBETONIRANE TRAKE S PODNOM PLOČOM

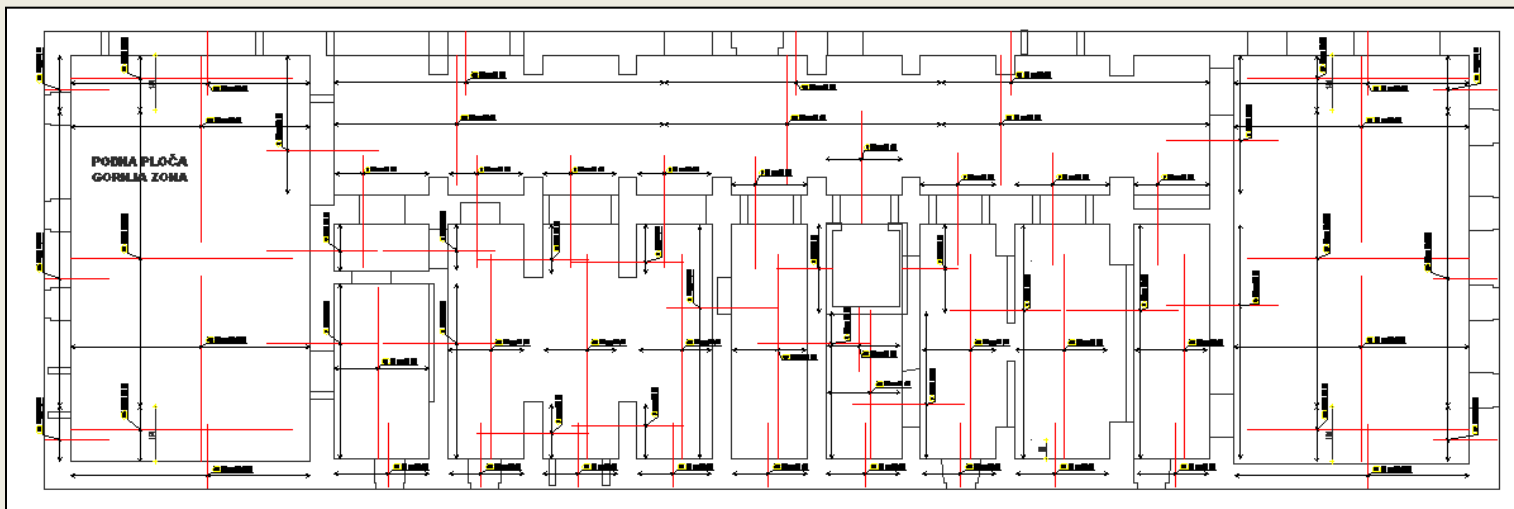
- Armaturni nacrt temeljne ploče – ojačanja u donjoj i gornjoj zoni

OJAČANJA
DONJA ZONA



Donja zona ispod nosivih zidova

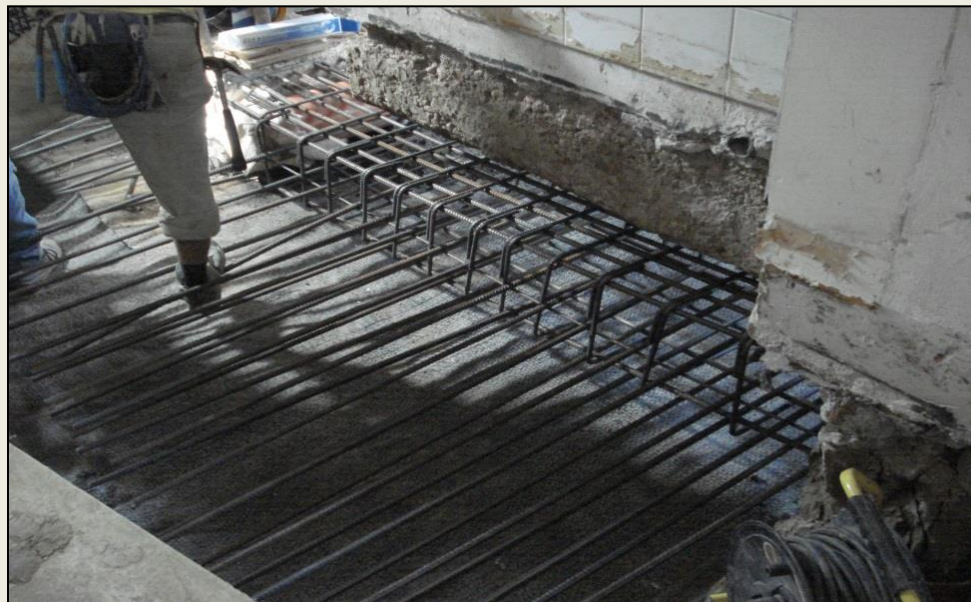
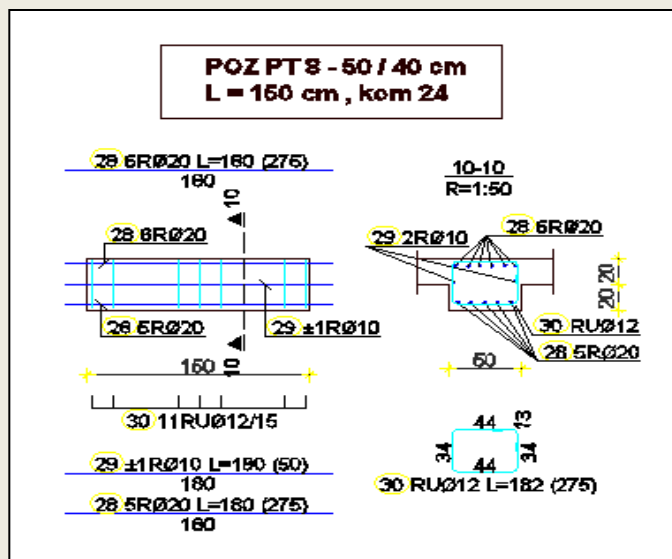
OJAČANJA
GORNJA ZONA



Gornja zona – u poljima

TEMELJENJE – PODBETONIRANE TRAKE S PODNOM PLOČOM

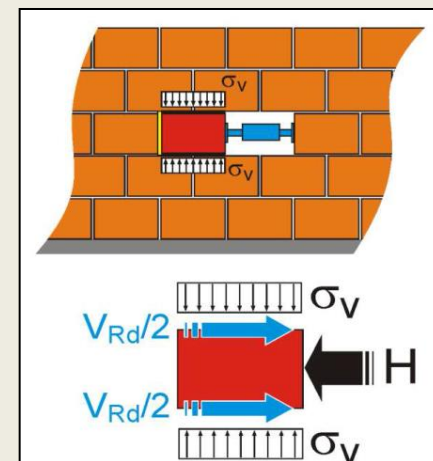
- Kampadna izvedba



OJAČANJE ZIDA NA SEIZMIČKA DJELOVANJA–TORKRETNE OBLOGE

- Izvedeni dodatni istražni radovi
- Preliminarnim proračunom je utvrđeno da zbog loših svojstava zida ojačanje GFRP trakama nije dostatno (mogućnost ojačanja je limitirana sa f_{vdmax})
- Ispitivanje čvrstoće zida (Geoexpert IGM d.o.o)

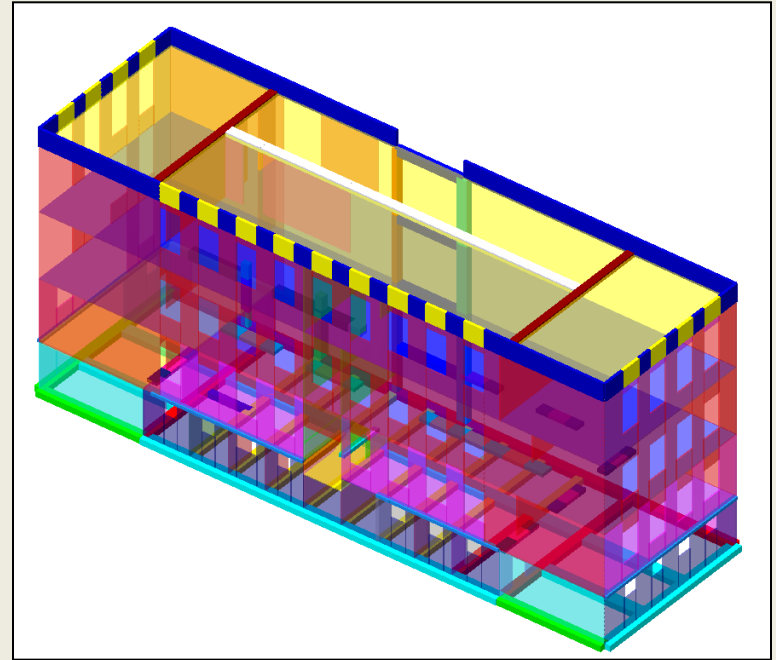
Ispitno mjesto	Sila (kN)	Posmična čvrstoća morta τ_m [N/mm ²]
BK-0310134-1	24,0	0,36
BK-0310134-3	26,4	0,39
BK-0310134-5	42,0	0,74
BK-0310134-7	30,0	0,45
BK-0310134-9	15,6	0,23
BK-0310134-11	1,2	0,02



- Posmična čvrstoća zida : 0.002 – 0.074 kN/cm²
- Znatno osipanje rezultata
- Nosivost 1 m¹ zida :
- $V_{rd, min} = 13 \text{ kN}$
- $V_{rd, max} = 481 \text{ kN}$
- $f_{vd} = \eta / \gamma_m \cdot f_{sr} \cdot (1 - k_n \cdot 0.3)$

OJAČANJE ZIDA NA SEIZMIČKA DJELOVANJA – TORKRETNE OBLOGE

- Relativno mali broj ispitnih mjesta uz veliko osipanje rezultata
- Kod adekvatnog (većeg) broja ispitivanja računsku vrijednost čvrstoće odabrati statističkom obradom podataka
- U ovom slučaju 6 ispitnih mjesta – uzeti najnižu vrijednost ili srednju uz $\gamma_m = 1.5$
- Vrijednost ispitane čvrstoće je identična ispitivanju provedenom 1991. g. - Prizma d.o.o.
- Računska posmična čvrstoća zida bi bila $f_{vd} = 0.015 \text{ kN/cm}^2$, $V_{Rd} = 93 \text{ kN/m}^1$
- Ispitivanja su provedena na “ zdravim ” neraspucalim dijelovima zida te navedena vrijednost nije uzeta kao mjerodavna za proračun
- Članak 16. Zakona o gradnji - za objekte registrirane kao kulturno dobro ili u zoni zaštićenoj kao cjelina - moguće je umanjeње proračunske seizmičke sile na način izuzeća od ispunjenja temeljnog zahtjeva, uz prethodno mišljenje konzervatorskog odjela



Prema literaturi za mehanička svojstva starog postojećeg zida (opeka u vapnenom mortu) :

Opeka u vapnenom mortu :

Tlačna čvrstoća : **2 MPa**

Vlačna čvrstoća : **0.1 MPa**

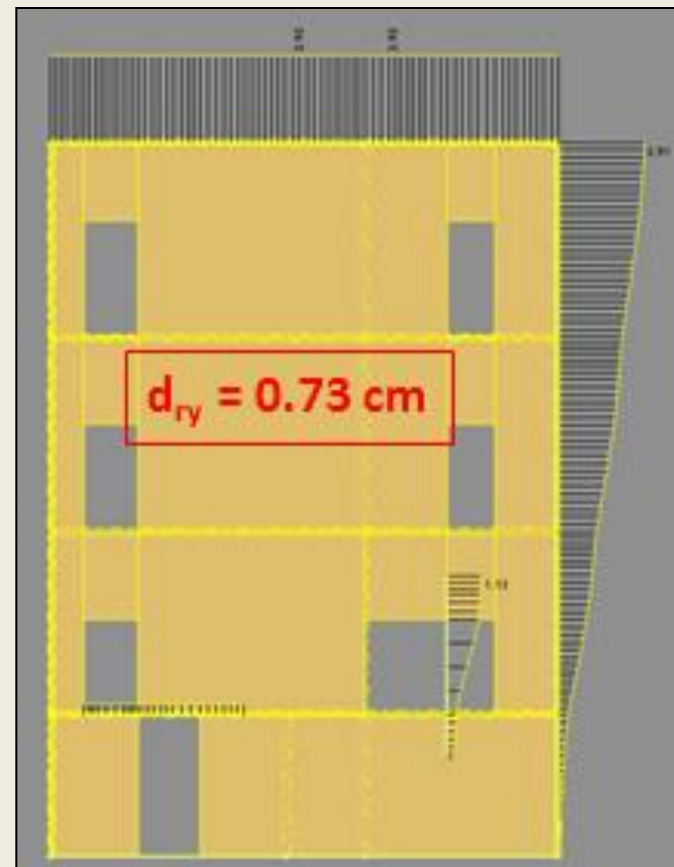
Modul elastičnosti : **800 MPa**

Modul posmika : **50 MPa**

OJAČANJE ZIDA NA SEIZMIČKA DJELOVANJA – TORKRETNE OBLOGE

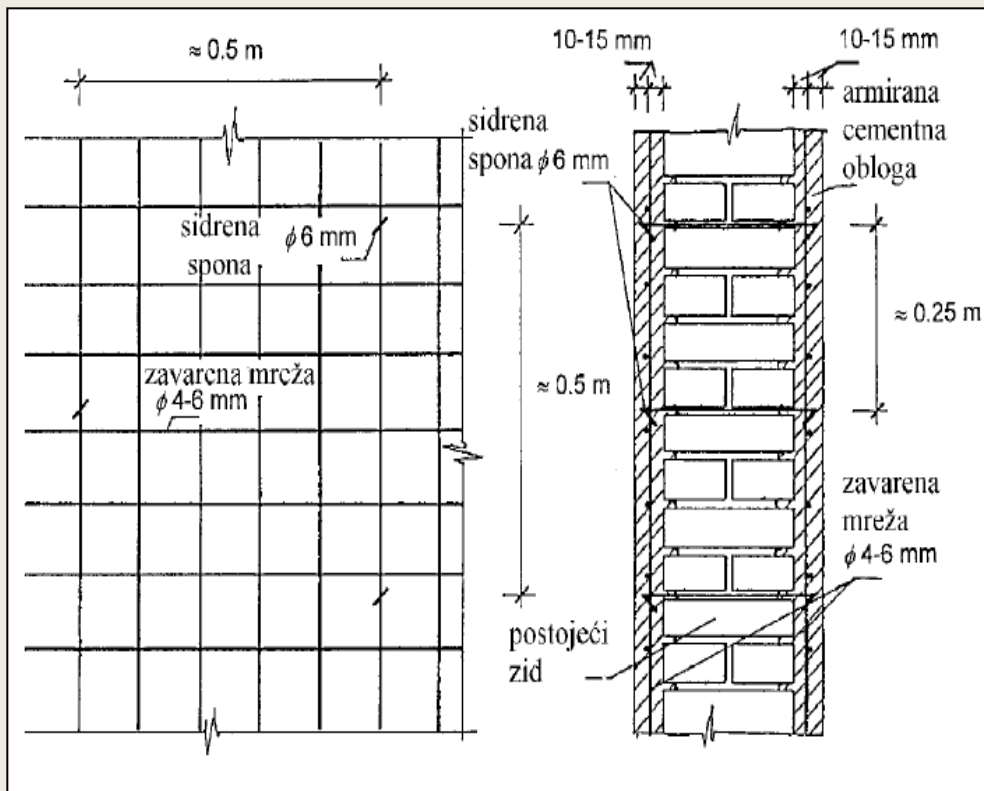
- Odabrano rješenje ojačanja građevine izvedbom ab torkretnih obloga na svim nosivim zidovima građevine – značajno povećanje nosivosti na horizontalna djelovanja - potres
- Torkretne obloge povećavaju masu građevine. U ovom slučaju primjena moguća radi provedbe ojačanja temelja
- Projektiranjem ojačanja zidane konstrukcije faktor ponašanja je povećan sa $q = 1.5 \rightarrow 2.5$
- Smanjenje seizmičke sile $\rightarrow 40\%$
- Proračunom je dokazana potrebna razina ojačanja konstrukcije ali izvedbom je umanjen korisni prostor, što je stvorilo poteškoće u podrumskim prostorijama
- Na unutarnjim zidovima obostrane obloge debljine 5 + 5 cm, na vanjskim jednostrana obloga debljine 10 cm. Beton C 30/37.
- Savijanja neznatna, pomak 0.73 cm \rightarrow “ posmična kuća “

Raspored seizmičkih sila po visini objekta (Potres_X)		
Nivo	Z [m]	S [kN]
strop_2_kat	13.00	2555.2
strop_1_kat	8.50	1701.2
strop_prizemlje	4.00	1082.4
strop_podrum	-0.20	391.08
strop_podrum_ulaz	-1.10	132.46
temeljenje	-3.50	0.00
	$\Sigma =$	5862.3



OJAČANJE ZIDA NA SEIZMIČKA DJELOVANJA – TORKRETNE OBLOGE

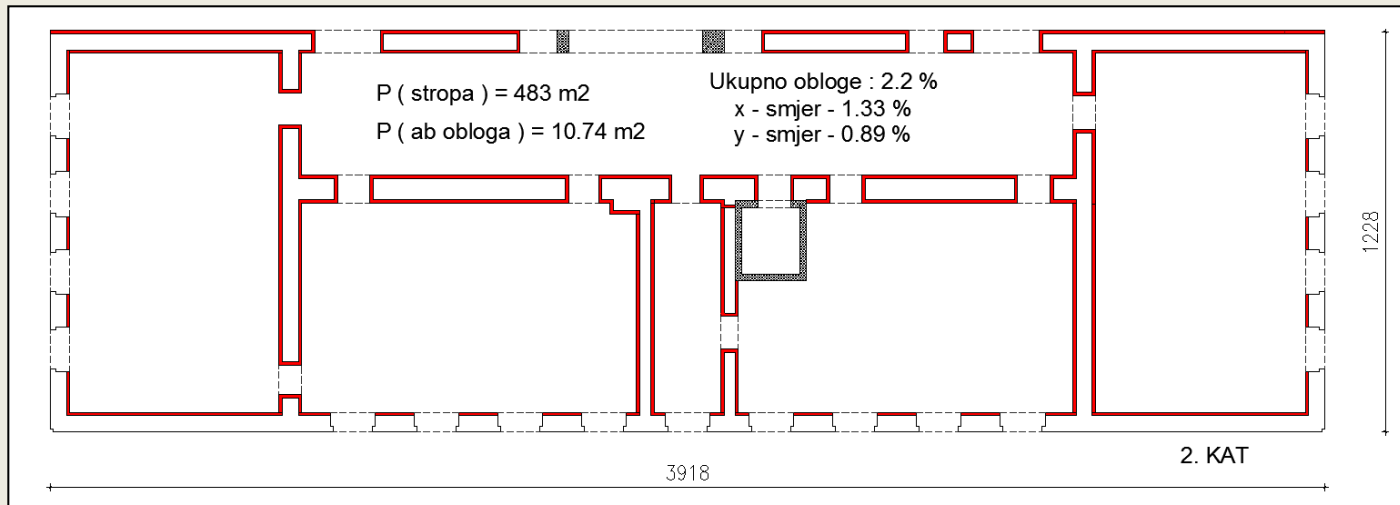
- Konstrukcija je modelirana prostorno sa unosom realnih krutosti elemenata (zida)
- Prvi i drugi ton osciliranja $T_1 = 0.18$ s $T_2 = 0.14$ s – translacija x i y smjer
- Prvi i drugi ton osciliranja (bez ojačanja konstrukcije) $T_1 = 0.47$ s $T_2 = 0.38$ s
- Sukladno HRN EN 1998-1 - konstrukciju nepravilnu u tlocrtu, pravilnu po visini za manje iznose perioda osciliranja - moguće koristiti proračun ekvivalentnim statičkim opterećenjem



- Kod raspucalog zida potrebno je provesti ojačanje injektiranjem nastalih pukotina. Navedeno se može izostaviti ukoliko se zide ojačava obostranim ab torkretnim oblogama

OJAČANJE ZIDA NA SEIZMIČKA DJELOVANJA – TORKRETNE OBLOGE

- Granična nosiva sila potresa : $V_{Rd} = A_{sh} \cdot f_{y,d}$



Prosječno :

$$V_{Sd} = 5860/4.5 \cdot 10^4$$

$$V_{Sd} = 0.13 \cdot 10 \cdot 100 \cdot 1.5$$

$$V_{Sd} = \mathbf{195 \text{ kN/m}^1}$$

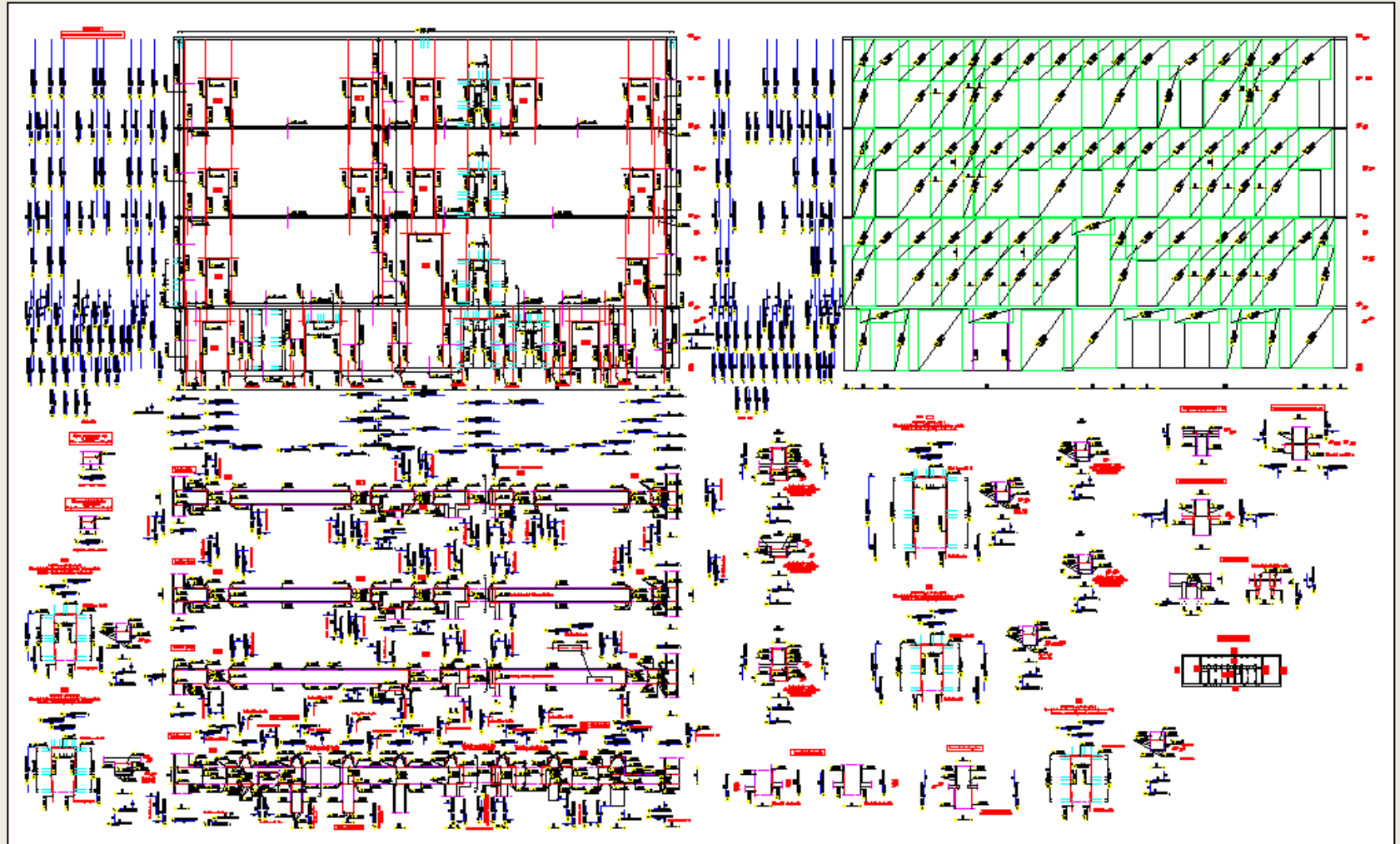
$$V_{Rd} = 0.9 \cdot 2.57 \cdot 43.47 \cdot 2$$

$$V_{Rd} = \mathbf{201 \text{ kN/m}^1}$$

- Postignut znatno veći učinak u usporedbi s ojačanjem GFRP trakama
- U izračunatoj nosivosti V_{Rd} nije nosivost betona i vertikalne armature, niti nosivost zida

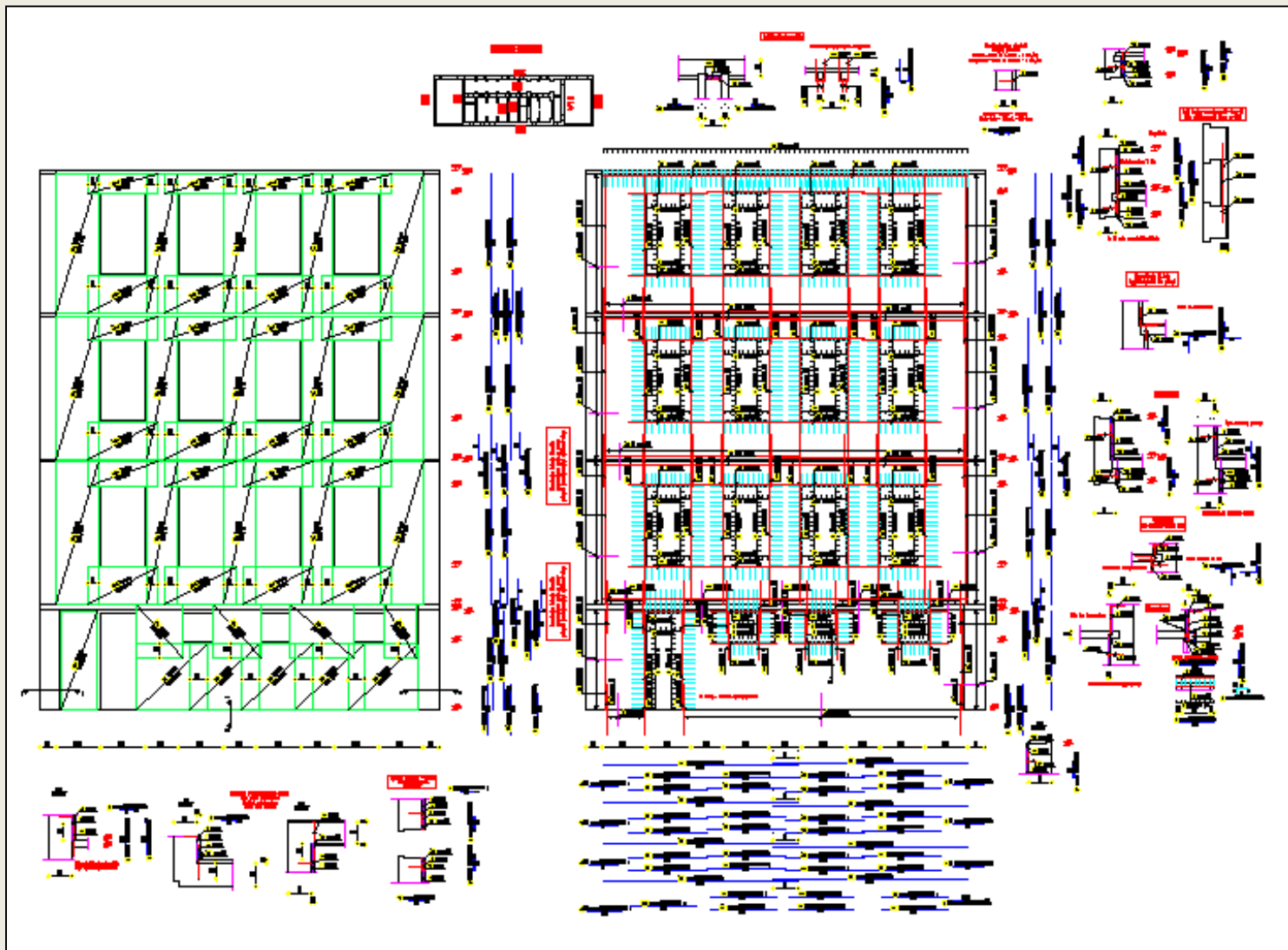


OJAČANJE ZIDA NA SEIZMIČKA DJELOVANJA – TORKRETNE OBLOGE



- Izrada nacrtu armature ojačanja zida je izuzetno zahtjevna
- Osim mreža dodatno po plohi zida horizontalne i vertikalne šipke oko otvora
- Potrebni armaturni nastavci kroz stropove

OJAČANJE ZIDA NA SEIZMIČKA DJELOVANJA – TORKRETNE OBLOGE

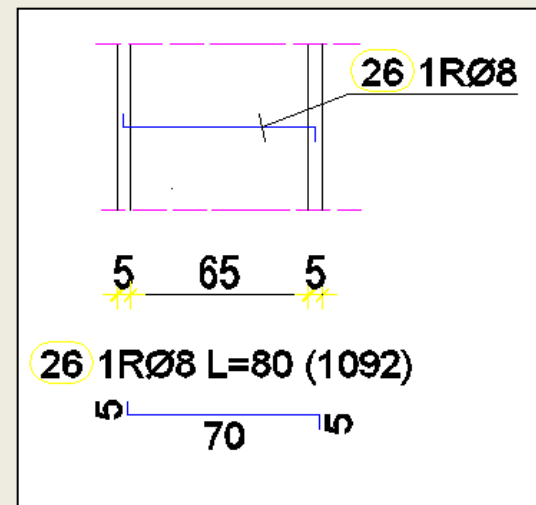
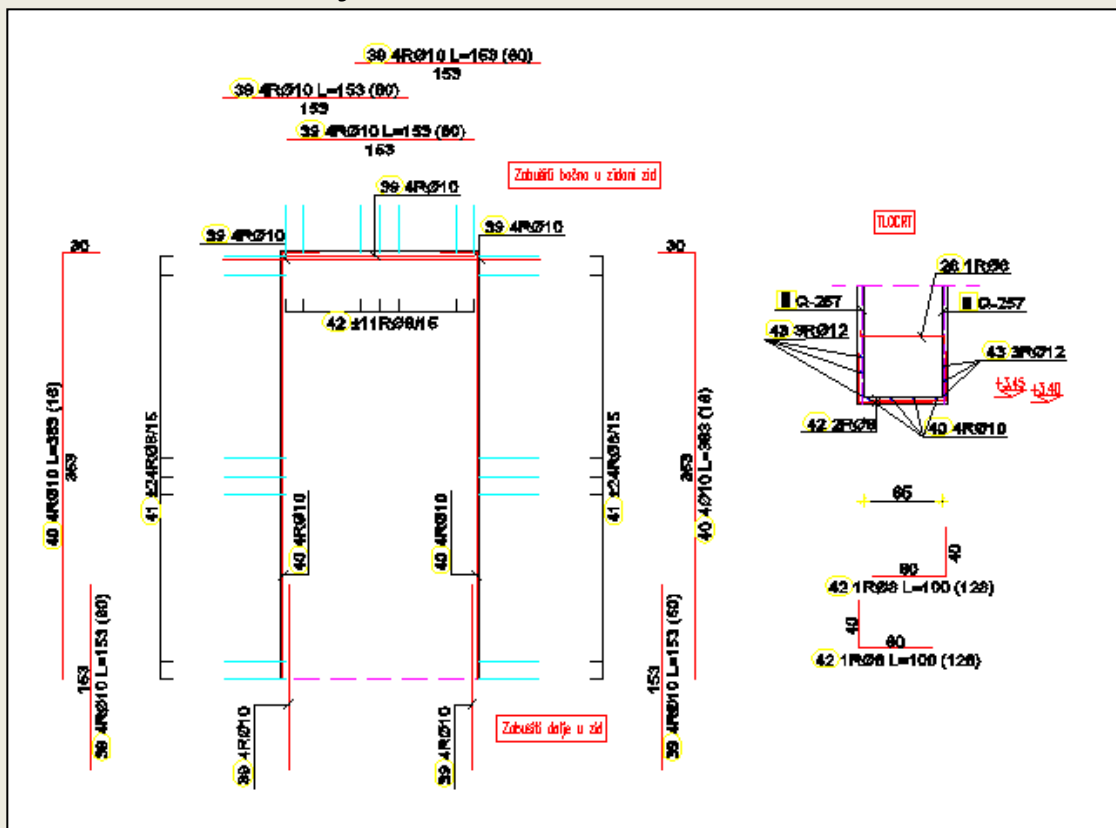
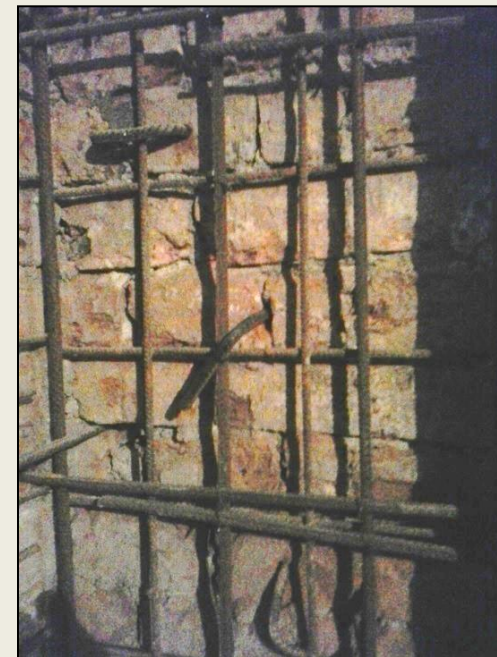


-Sheme pozicija armaturnih ojačanja = shemi polaganja GFRP traka

-Ranije je minimalna armatura torkretne obloge bila definirana Pravilnikom o sanacijama (1985)

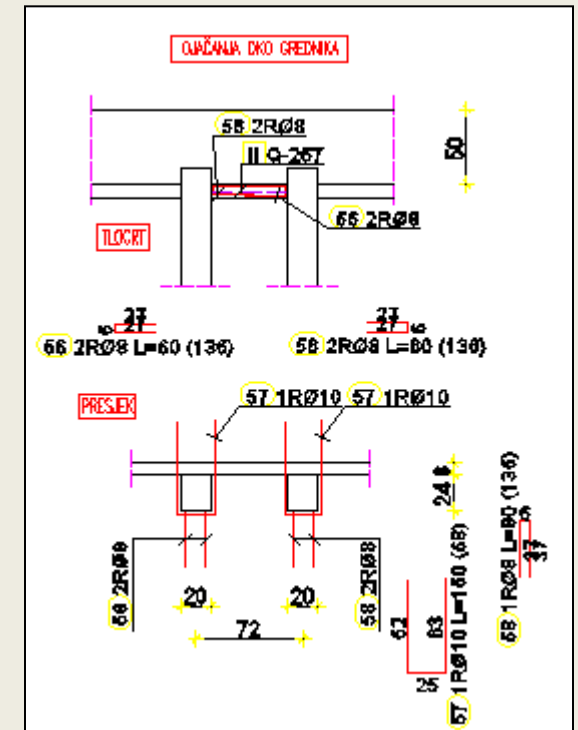
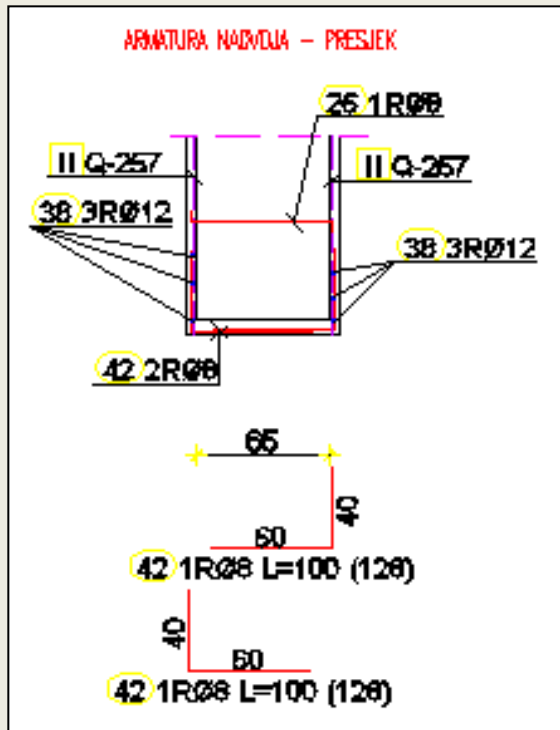
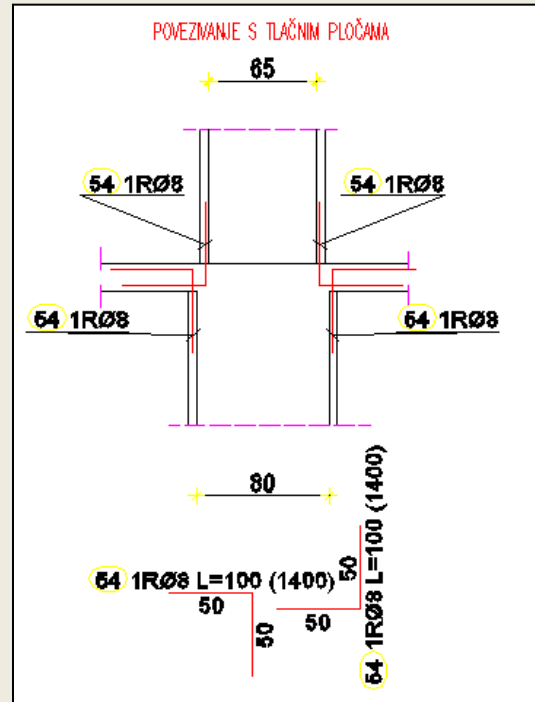
OJAČANJE ZIDA NA SEIZMIČKA DJELOVANJA – TORKRETNE OBLOGE

- Potrebno povezivanje ab obloga šipkama probušenim kroz zidane zidove – 4 do 6 kom /m². U protivnom u potresu može doći do odvajanja ab obloga od ziđa
- Ojačanja oko otvora po principu armaturnog ovijanja
- Izvedba armaturnih čepova (“ korpi “) nepovoljna zašto što se izvedbom oštećuje ziđe



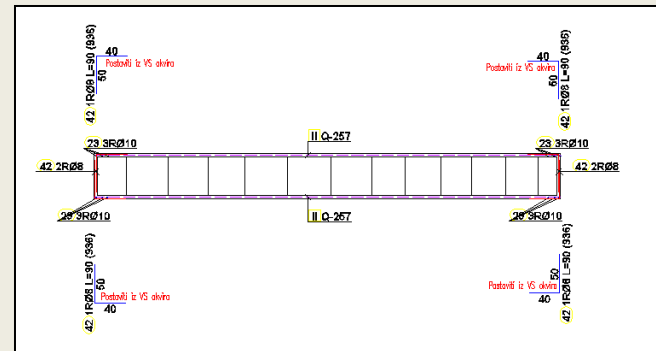
OJAČANJE ZIDA NA SEIZMIČKA DJELOVANJA – TORKRETNE OBLOGE

- Detalj ojačanja oko otvora
- Dodatno povezivanje torkretnih obloga s tlačnim ab pločama
- Ojačanja oko postojećih stropnih grednika



OJAČANJE ZIDA NA SEIZMIČKA DJELOVANJA – TORKRETNE OBLOGE

- Slike izvedbe tokretnih ojačanja

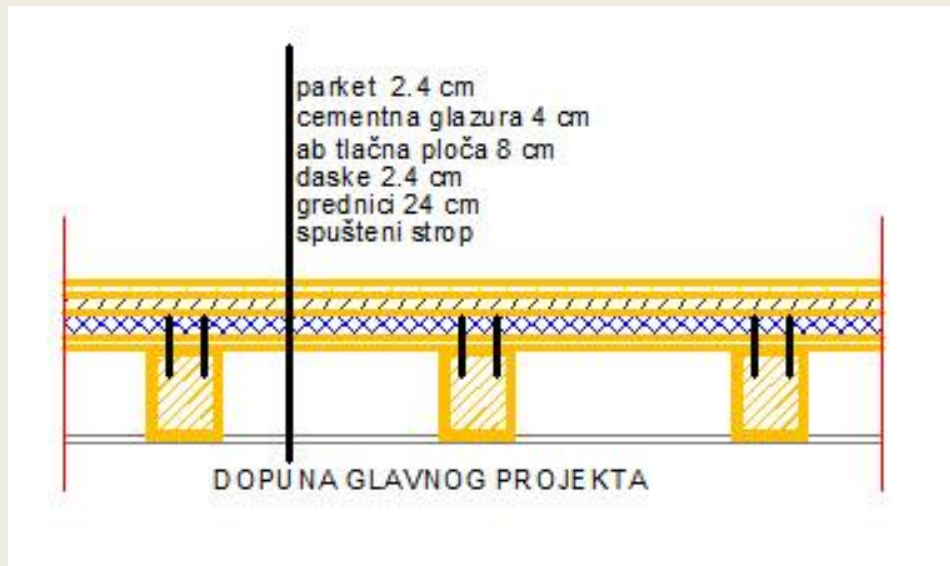


- **Utrošak armature po m2 GBP objekta može doseći i 25 kg/m2. Za 2500 m2 količina iznosi 62.500 kg armature**
- **Utrošak samo za ojačanje zida (bez ojačanja temelja i stropova) = 45.200 kg (18 kg/m2)**



OJAČANJE STROPOVA OD DRVENIH GREDNIKA

- Dopunjeno prvotno projektno rješenje, dinamika izvedbe više nije zahtjev
- Zide ojačano torktetnim ab oblogama pa su i tlačne ploče projektirane kao armiranobetonske (drvo / beton – miješanje sustava)
- Izvedba ab tlačne ploče umjesto spregnutih dasaka - 10 % veća masa građevine, a time i seizmičke sile – nema više uvjeta nepovećanja mase:
 - projektirano duboko temeljenje i ojačanja zida s novim opterećenjima
- Krutost ab ploče je znatno veća od drvene (3 puta)
- Građevina se horizontalno bolje ukrućuje što je važno za osiguranje seizmičke otpornosti
- Seizmičke sile se ravnomjernije prenose na zide



OJAČANJE STROPOVA OD DRVENIH GREDNIKA

- Proveden je dokaz nosivosti stropova (grednika) na požarno djelovanje (tražena otpornost R 60)
- Postojeći grednici ojačani izvedbom ab tlačne ploče h=8 cm
- Ploča je s grednicima spregnuta SFS vijcima
- Nužno je podupiranje stropa pri betoniranju



BEZ PODUPIRANJA :

FAZA 1 – vl.težina → $\sigma_s = 7.13$ MPa, $f = 3.27$ cm

FAZA 2 – dod.stalno + korisno → $\sigma_s = 5.69$ MPa, $f = 1.52$ cm

FAZA 1 + FAZA 2 :

$\sigma_s = 12.82$ MPa, $f = 4.79$ cm → prekoračeno ($f_{dop} = 2.72$ cm)

Ne može se analizirati progib samo za fazu izvedbe – potrebna analiza fazne izvedbe uz zbrajanje progiba

UZ PODUPIRANJE :

Kompletno opterećenje djeluje na spregnutom presjeku

$\sigma_s = 8.2$ MPa, $f = 2.2$ cm → zadovoljeno

HRN EN 1992-1-2

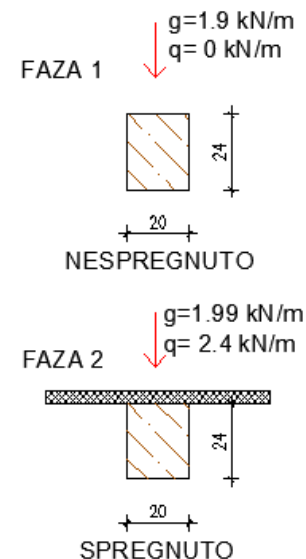
Standard fire resistance	Minimum dimensions (mm)			
	slab thickness h_s (mm)	axis-distance a		
		one way	two way:	
1	2	3	$l_x/l_y \leq 1.5$	$1.5 < l_x/l_y \leq 2$
REI 30	60	10*	10*	10*
REI 60	80	20	10*	15*
REI 90	100	30	15*	20
REI 120	120	40	20	25
REI 160	150	55	30	40
REI 240	175	65	40	50

l_x and l_y are the spans of a two-way slab (two directions at right angles) where l_y is the longer span.

For prestressed slabs the increase of axis distance according to 5.2(5) should be noted.

The axis distance a in Column 4 and 5 for two way slabs relate to slabs supported at all four edges. Otherwise, they should be treated as one-way spanning slab.

* Normally the cover required by EN 1992-1-1 will control.

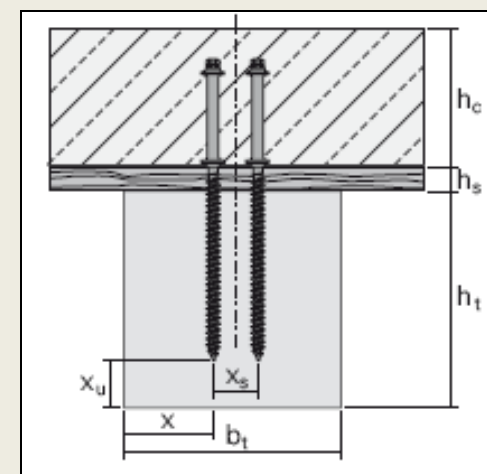
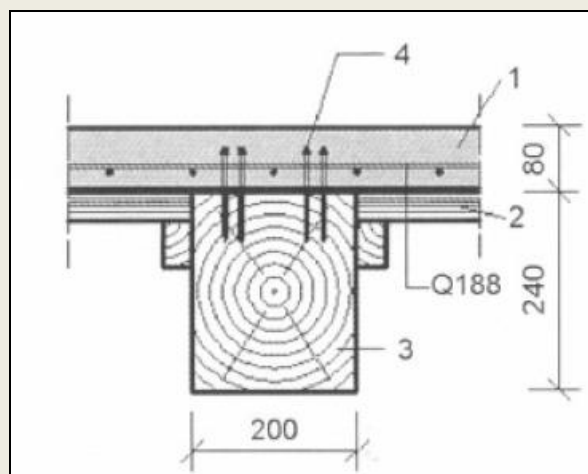


OJAČANJE STROPOVA OD DRVENIH GREDNIKA

- Tlačne ploče – armaturno povezane sa torkretnim oblogama zidova
- Iz ovog razloga nisu povezivane bušenjem kroz zidove
- Dio grednika koji je istrunuo ili je bio oštećen zamijenjen je novima istih izmjera
- Tlačne ab ploče – ukrućenje – bolja preraspodjela seizmičkih sila na zidove



- Između drvenog grednika i ab ploče postaviti PE foliju ili daske izvesti preko grednika – truljenje drva uslijed vlage iz betona



OJAČANJE STROPOVA OD ČELIČNIH PROFILA

- Strop 1. kata – kod otvaranja konstrukcije uočeno da se radi o stropu s čeličnim IPN profilima, i to IPN 320 u poljima i IPN 240 uz zidove na rasteru od 260 cm
- Sekundarna konstrukcija – drveni grednici postavljeni poprečno na donji pojas čeličnog IPN profila
- Izvršene dodatne istražne radnje – određivanje vlačne čvrstoće čelika (putem tvrdoće)



- Vlačne čvrstoće nosača dobivene ispitivanjem : 378 – 408 MPa
- Navedena čvrstoća odgovara dašnjem standardnom građevinskom čeliku S 235

OJAČANJE STROPOVA OD ČELIČNIH PROFILA

- Čelični nosači su zadržani. Na gornji pojas su zavareni valjkasti moždanici s glavom te je izvedena ab spregnuta ploča debljine 12 cm.



- Debljina ploče je veća radi većeg rastera čeličnih nosača (260 cm)

SLIKE IZGRAĐENE GRAĐEVINE



ZAHVALJUJEM NA POZORNOSTI

