

# Sanacija dijela palače Starog grada Zrinskih u Čakovcu

---

Novak, Jelena

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:203094>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-24**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





# Sveučilište Sjever

**Završni rad br. 019/GRD/2021**

## **Sanacija dijela palače Starog grada Zrinskih u Čakovcu**

**Jelena Novak, 0830/336D**

Varaždin, rujan 2021. godine





# Sveučilište Sjever

Odjel Graditeljstvo

Završni rad br. 019/GRD/2021

## Sanacija dijela palače Starog grada Zrinskih u Čakovcu

**Student**

Jelena Novak, 0830/336D

**Profesor**

doc.dr.sc. Matija Orešković dipl.ing.građ.

Varaždin, rujan 2021. godine



# Prijava diplomskog rada

## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za graditeljstvo		
STUDIJ	diplomski sveučilišni studij Graditeljstvo		
PRISTUPNIK	Jelena Novak	MATIČNI BROJ	0830/336D
DATUM	16.03.2021.	KOLEGIJ	Revitalizacije, konzervacije i restauracije građevina
HASLOV RADA	Sanacija dijela palače Starog grada Zrinskih u Čakovcu		

HASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Rehabilitation of a part of the palace of the Old Town Zrinski in Čakovec		
-----------------------------	---	--	--

MENTOR	dr.sc. Matija OREŠKOVIĆ	ZVANJE	docent
--------	-------------------------	--------	--------

ČLANOVI POVJERENSTVA	1.	doc.dr.sc. Danko MARKOVINOVIĆ
	2.	doc.dr.sc. Matija OREŠKOVIĆ
	3.	doc.dr.sc. Aleksej ANISKIN
	4.	prof.dr.sc. Božo SOLDO
	5.	

## Zadatak diplomskog rada

BROJ	019/GRD/2021
------	--------------

OPIS

U diplomskom radu je potrebno izraditi projekt obnove revitalizacije zgrade palače Starog grada Zrinskih u Čakovcu.

Palača pripada glavnom povijesnom stilu sjeverne Hrvatske, baroku, no uz obilježja baroka na palači su očuvani i elemente kasne gotike.

Ovim radom potrebno je prikazati problematike povijesnih zgrada, važnost očuvanja graditeljske baštine te važnost kontinuiranog održavanja konstrukcije i suradnje svih sudionika gradnje prilikom zahvata na povijesnim zgradama, posebice na zgradama pod zaštitom Konzervatorskih ureda. Proračun je potrebno napraviti na bazi 3d modeliranja i simulacije na potres. Tip i vrste obnove je potrebno prikazati grafički, nacrtima i detaljima. Također je potrebno prikazati sve vrste radova koji bi se radili na zgradi.

Diplomski rad mora biti rađen prema Uputama za izradu Diplomskog rada Sveučilišta Sjever.

ZADATAK URUČEN

23.04.2021.



*[Handwritten signature]*

## **Predgovor**

*Zahvaljujem svom mentoru, doc.dr.sc. Matija Orešković dipl.ing.građ. na mentorstvu i vođenju kroz proces pisanja ovog Završnog rada.*

*Hvala na strpljenju, podršci i razumijevanju svim kolegicama i kolegama sa Sveučilišta Sjever, kao i kolegicama i kolegama s posla.*

*Zahvalu dugujem i djelatnicima Muzeja Međimurja Čakovec, na suradnji i susretljivosti.*

*Najveća zahvala ide mojoj obitelji, roditeljima i bratu, koji su u teškim trenucima vjerovali u moj uspjeh i gurali me ka ostvarenju postavljenog cilja. Posebna zahvala dečku na bezuvjetnoj podršci i motivaciji.*

*Veliko hvala svima!*

*Jelena Novak*

## Sažetak

Gledano s kulturne, povijesne, turističke ili graditeljske strane jedno od najimpozantnijih obilježja Čakovca, središta Međimurske županije, je Palača Starog grada Zrinskih koja sa svojim zidinama i parkom Perivoj Zrinskih predstavlja simbol identiteta i tradicije Međimurske županije. Palača pripada glavnom povijesnom stilu sjeverne Hrvatske, baroku, no uz obilježja baroka na palači su očuvani i elemente kasne gotike. Kroz povijest palača je prošla razne prenamjene, rekonstrukcije, dogradnje, ratna razaranja, prirodne nepogode, a što je ostavilo trag na samoj konstrukciji. Danas je Palača spomenički kompleks nulte kategorije, te se u njoj nalazi Muzej Međimurja, s nekoliko odsjeka (arheološki, etnografski, kulturno-historijski, historijski, te likovna galerija) u kojima je sadržano ukupno više od 20.000 eksponata.

Ovim radom prikazan je dio problematike povijesnih zgrada, važnost očuvanja graditeljske baštine te važnost kontinuiranog održavanja konstrukcije i suradnje svih sudionika gradnje prilikom zahvata na povijesnim zgradama, posebice na zgradama pod zaštitom Konzervatorskih ureda.

*Ključne riječi: Palača Starog grada Zrinskih, sanacija, konzervacija, održavanje, graditeljska baština*

## **Abstract**

Viewed from the cultural, historical, tourist or architectural point of view, one of the most impressive features of Čakovec, the center of Međimurje County, is the Palace of the Old Town of Zrinski, which with its walls and park Zrinski Park is a symbol of identity and tradition of Međimurje County. The palace belongs to the main historical style of northern Croatia, the Baroque, but in addition to the Baroque features, the palace also preserves elements of late Gothic. Throughout history, the palace has undergone various conversions, reconstructions, additions, war destruction, natural disasters, which left a mark on the structure itself. Today, the Palace is a monumental complex of zero category, and it houses the Museum of Međimurje, with several departments (archaeological, ethnographic, cultural-historical, historical, and art gallery) which contains a total of more than 20,000 exhibits.

This paper presents a part of the issue of historic buildings, the importance of preserving the architectural heritage and the importance of continuous maintenance of construction and cooperation of all participants in the construction of historic buildings, especially buildings protected by the Conservation Offices.

*Key words: Palace of the Old Town of Zrinski, remediation, conservation, maintenance, architectural heritage*

## Popis korištenih kratica

<b>MMČ</b>	Muzej Međimurja Čakovec
<b>k.č.br.</b>	katstarska čestica broj
<b>k.o.</b>	katstarska općina
<b>ZK</b>	zemljišnoknjižni
<b>RH</b>	Republika Hrvatska
<b>T.D.</b>	Tehnički dnevnik
<b>A</b>	Površina poprečnog presjeka
<b>M</b>	Proračunski moment savijanja
<b>T</b>	Proračunska vrijednost poprečne sile
<b>W</b>	Proračunski moment otpora poprečnog presjeka
<b>I</b>	Proračunski moment tromosti poprečnog presjeka
<b>E<sub>čelik</sub></b>	Youngov modul elastičnosti čelika
<b>E<sub>drvo</sub></b>	Youngov modul elastičnosti drva
<b><math>\sigma</math></b>	Normalno naprezanje
<b><math>\sigma_{dop}</math></b>	Maksimalno dopušteno normalno naprezanje
<b><math>\tau</math></b>	Posmično naprezanje
<b><math>\tau_{dop}</math></b>	Maksimalno dopušteno posmično naprezanje
<b>q</b>	Korisno opterećenje
<b>f</b>	Deformacija (progib)
<b>f<sub>dop</sub></b>	Maksimalno dopuštena deformacija (progib)

# Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Opis postojećeg stanja.....	4
3.	Problematika zgrade.....	9
3.1.	Oštećenja vertikalnih dijelova nosive konstrukcije.....	9
3.1.1.	Vanjski zidovi .....	9
3.1.2.	Oštećenja vanjskih zidova palače Starog grada Zrinskih u Čakovcu .....	11
3.2.	Oštećenja horizontalnih dijelova nosive konstrukcije.....	14
3.2.1.	Drvena međukatna konstrukcija .....	14
3.2.2.	Urušavanje dijela stropa 2. kata palače Starog grada Zrinskih u Čakovcu.....	15
3.2.3.	Svod .....	20
3.2.4.	Oštećenja svoda 2. kata palače Starog grada Zrinskih u Čakovcu .....	23
3.3.	Oštećenja od vlage .....	27
3.3.1.	Problem vlage .....	27
3.3.2.	Oštećenja zidova palače Starog grada Zrinskih u Čakovcu nastala kao posljedica kapilarne vlage .....	29
4.	Proračun .....	31
4.1.	Općenito .....	31
4.2.	Vertikalni dijelovi nosive konstrukcije: VANJSKI ZIDOVI.....	34
4.3.	Horizontalni dijelovi nosive konstrukcije: DRVENI GREDNICI.....	38
4.4.	Horizontalni dijelovi nosive konstrukcije: ZIDANA KONSTRUKCIJA.....	52
4.5.	Rezultat proračuna i plan sanacije.....	57
5.	Sanacija.....	60
5.1.	Metode sanacije.....	62
5.1.1.	Statičko injektiranje .....	62
5.1.2.	Ugradnja ojačanja .....	64
5.1.3.	Ugradnja traka od karbonskih vlakana .....	66
5.2.	Sanacija oštećenja vertikalnih dijelova nosive konstrukcije .....	69
5.2.1.	Vanjski zidovi .....	69
5.3.	Sanacija oštećenja horizontalnih dijelova nosive konstrukcije .....	74
5.3.1.	Drvena međukatna konstrukcija .....	74
5.3.2.	Zidani svodovi .....	80
5.4.	Sanacija oštećenja od vlage.....	84
6.	Zaključak.....	90
7.	Literatura.....	92
8.	Popis slika .....	93
9.	Popis tablica .....	95



## 1. Uvod

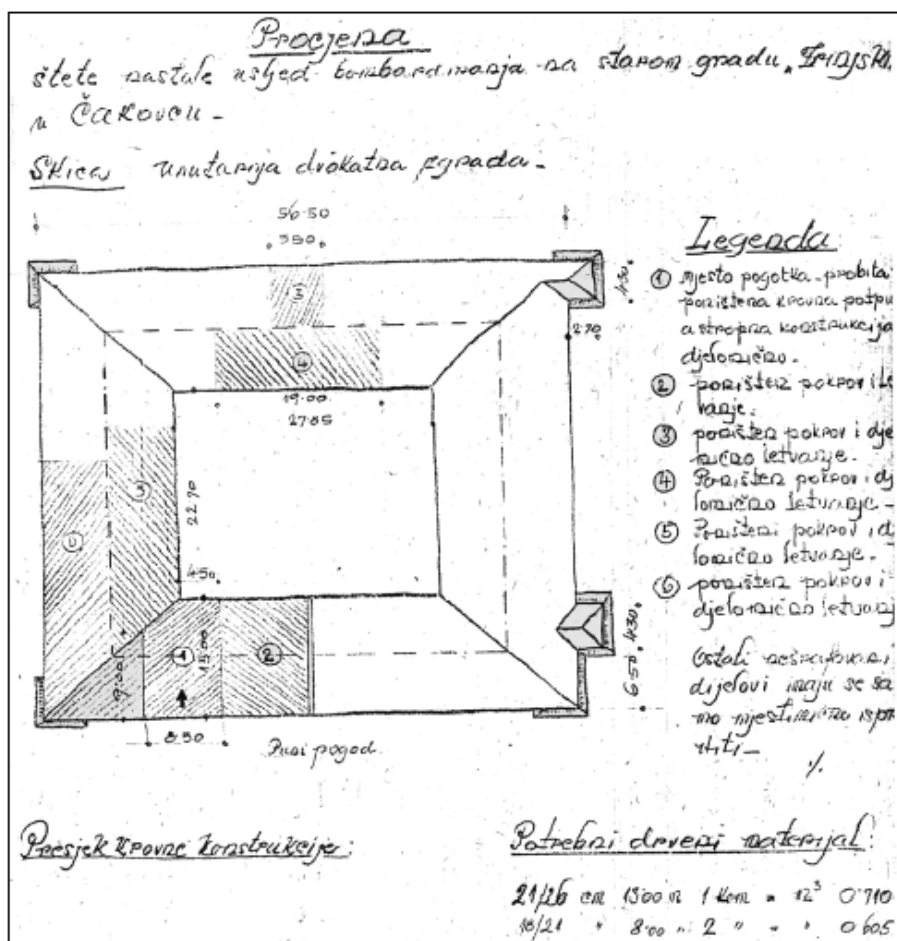
Grad Čakovec, čije ime potječe od grofa Dimitriusa Chakyja, središte je Međimurske županije. Jedan od značajnijih simbola grada je Palača Starog grada Zrinskih sa svojim zidinama i perivojem. Stari grad Čakovec, odnosno Stari grad Zrinskih, utvrđeni je plemićki dvorac, dijelom dobro očuvan i obnavljan, kulturno – povijesno valoriziran i kategoriziran. Prema ranijoj terminologiji nosio je epitet spomenika nulte kategorije, a po sada važećoj kategorizaciji od 19.11.2007. godine razvrstan je u kulturno dobro od nacionalnog značaja, klasificiran u profanu graditeljsku baštinu. U njemu je danas smješten stalni izložbeni postav Muzeja Međimurja. Sklop “Staroga grada” u Čakovcu čine četvrtasta palača s unutrašnjim dvorištem, vanjsko dvorište između palače i fortifikacijskog sustava s preostalim dijelovima zidina i bastiona, te ostaci prvoga pojasa jarka nekoć ispunjenog vodom. Cijeli kompleks Starog grada Zrinskih okružen je prostranom parkovnom arhitekturom Perivoja Zrinskih.

Od gradnje, pa do kraja Prvoga svjetskoga rata palača je bila u posjedu imućnih plemićkih obitelji (Ernušti, Zrinski, Althani, Festetići), te je imala razne namjene. Tako je u razdoblju od 1848. g. do 1861. g. na palači izvedeno niz konstruktivnih zahvata kako bi postala tvornica šećera (tvornica je bila u pogonu od 1868. do 1870. godine). Nakon propasti tvornice šećera 1870. godine u palači se izmjenjuju razni državni uredi i učiteljsko – obrazovno učilište, a od 1888. godine palača je tijekom duljeg razdoblja prazna. Nakon 1923. godine palača je u privatnom vlasništvu, te je ponovno rekonstruirana kako bi postala stambena zgrada za stanovanje 200 osoba. Potkraj Drugoga svjetskoga rata, prilikom bombardiranja Čakovca, stradala je i palača Staroga grada Zrinskih.

U nastavku je naveden citat iz znanstvenog članka: Srša Ivan, (2016). STARI GRAD ČAKOVEC (1791. – 1948.), Kaj, 49 (234) (1-2 (338-339)), str. 73.

*„Bomba je izravno pogodila istočni dio jugoistočnoga krila u krov nad stubištem, pri čemu je uništena krovna i djelomično stropna konstrukcija. Tom je prigodom oštećeno i stubište, što se djelomice vidi i na fotografijama toga dijela dvorišnoga pročelja. Osim šteta na krovu, bio je srušen i svod od opeka nad stubištem i stubišnim podestom II. Kata, a srušen je i dio stubišnog zida, popucale su stube prvoga tavanskoga kraka i strop drugoga kraka stubišta na I. kat. Također su bili oštećeni stropovi i nutarnji zidovi u prostorijama u blizini pogotka.“*





Slika 1.1 Skica iz 1945.godine

Narednih godina zgrada je kontinuirano u procesu obnove, stanari su iseljeni, a palača je preuređena u čakovečki muzej. Prilikom rekonstrukcije i obnove oko 1947. godine uočeno je da je teren oko same palače močvaran „ima i živog pijeska“, iz tog razloga je zgrada temeljena na pilotima i svodovima. U poslijeratnoj obnovi palače sudjelovao je Konzervatorski zavod iz Zagreba, te brojni arhitekti. 1955. godine Konzervatorski zavod Narodne Republike Hrvatske Stari grad proglasio je spomenikom kulture, te je palača stavljena pod zaštitu države. Danas je palača u vlasništvu Muzeja Međimurja, Čakovec.

Starost zgrade, dotrajalost, česte rekonstrukcije, narušavanje statičke stabilnosti, temeljenje na močvarnom tlu, mnoge dogradnje i rekonstrukcije, doveli su do stalne potrebe za sanacijama, popravcima, obnovama i održavanjem. Sanacija zgrade u građevinskom smislu predstavlja radove kojima se intervenira u konstrukciju zgrade, u popravak oštećenih ili dotrajalih elemenata, a kojima se ne utječe na oblik, vanjske gabarite, svrhu i vanjski izgled zgrade. Konzervacija obuhvaća provjeru stanja i dokumentiranje postojećeg stanja zgrade ili dijela zgrade koja predstavlja kulturnu baštinu, sve s ciljem obnove prilikom koje se zadržava izvorno stanje zgrade ili njezinog dijela.

Održavanje građevine je izvedba građevinskih i drugih radova na postojećoj građevini radi očuvanja temeljnih zahtjeva za građevinu tijekom njezina trajanja, kojima se ne mijenja usklađenost građevine s lokacijskim uvjetima u skladu s kojima je izgrađena.

Obzirom da je zgrada spomenik kulture izuzetno je važno da u svim zahvatima sudjeluju i Konzervatorski uredi, da sva projektirana rješenja usuglase projektant, nadležni konzervator, nadzorni inženjer i izvođač radova, te da se radovi izvode u skladu sa zakonima, propisima i uvjetima Konzervatorskog ureda. Isto dovodi do dugotrajnog i izazovnog procesa pisanja projekata, na kraju i zahtjevnog procesa provedbe projekta izvođenja radova. Prilikom pisanja ovog rada surađivala sam s djelatnicima Muzeja Međimurja, sa stalnim sudskim vještakom na području graditeljstva i glavnim nadzornim inženjerom, a koji su bili uključeni u obnovu i sanaciju Palače Starog grada Zrinskih.

Cilj ovog rada je staviti naglasak na očuvanje tradicijske kulture i gradnje, važnost održavanja starih građevina korištenjem novih, suvremenih graditeljskih metoda, bez ostavljanja štetnih posljedica na povijesne elemente građevine.



*Slika 1.2 Kompleks Starog grada Zrinskih*

## 2. Opis postojećeg stanja

Palača Staroga grada Zrinskih nalazi se u Čakovcu, na adresi Trg Republike 7, k.č.br. 2419, k.o. Čakovec, upisana u ZK uložak broj 2043 kao „Zgrada spomeničke baštine, muzej“.



REPUBLIKA HRVATSKA

Općinski sud u Čakovcu  
ZEMLJIŠNOKNJIŽNI ODJEL ČAKOVEC  
Stanje na dan: 22.02.2021. 23:56

Katastarska općina: 302813, ČAKOVEC

Broj zadnjeg dnevnika: Z-4263/2016  
Aktivne plombe:

NESLUŽBENA KOPIJA

Verificirani ZK uložak

Broj ZK uložka: 2043

### IZVADAK IZ ZEMLJIŠNE KNJIGE

#### A Posjedovnica PRVI ODJELJAK

Rbr.	Broj zemljišta (kat. čestice)	Oznaka zemljišta	Površina			Primjedba
			jutro	čhv	m2	
1.	13/1/A/1	TRG REPUBLIKE DVORIŠTE DVORIŠTE DVORIŠTE DVORIŠTE ZGRADA SPOMENIČKE BAŠTINE muzej, Čakovec, TRG REPUBLIKE 7			2405 28 12 27 820 1518	
2.	13/1/A/2	TRG REPUBLIKE DVORIŠTE ZGRADA SPOMENIČKE BAŠTINE muzej, Čakovec, TRG REPUBLIKE 7			2655 633 2022	
3.	13/1/A/3	TRG REPUBLIKE DVORIŠTE			8070 8070	
		UKUPNO:			13130	

#### DRUGI ODJELJAK

Rbr.	Sadržaj upisa	Primjedba
	Primljeno: 09.12.1955. Z-3971/55	
1.1	Na temelju pravomoćnog rješenja Konzervatorskog zavoda NRH u Zagrebu od 01.07.1955. broj 1230/55, zabilježuje se da je Stari grad sagrađen na čest. br. 13/1/a proglašen spomenikom kulture i da je stavljen pod zaštitu države.	

#### B Vlastovnica

Rbr.	Sadržaj upisa	Primjedba
1.	Vlasnički dio: 1/1 MUZEJ MEDIMURJA ČAKOVEC	

### IZVADAK IZ ZEMLJIŠNE KNJIGE

Katastarska općina: 302813, ČAKOVEC

Verificirani ZK uložak

Broj ZK uložka: 2043

#### C Teretovnica

Rbr.	Sadržaj upisa	Iznos	Primjedba
1.			
1.1	Primljeno: 09.12.1955. Z-3971/55 Na temelju pravomoćnog rješenja Konzervatorskog zavoda NRH u Zagrebu od 01.07.1955. broj 1230/55, zabilježuje se da je "Stari grad" sagrađen na čest. br. 13/1/a proglašen spomenikom kulture i da je stavljen pod zaštitu države.		

Slika 2.1 Izvadak iz zemljišne knjige



*Slika 2.2 Analizirana katastarska čestica*

Glavno pročelje zgrade okrenuto je prema sjeveroistoku, dok su dva krila okrenuta prema sjeverozapadu i jugoistoku. Dvorište dvorca ima oblik četverokuta, a u njemu se nalazi fontana koja se uglavnom ne koristi. Sama zgrada gledana od temelja ima 4 etaže. Palača je podignuta između 15. i 16. stoljeća. U doba obitelji Zrinskih (16. stoljeće) središnji dio utvrde preoblikovan je u renesansnu četverokutnu palaču s unutarnjim dvorištem i trjemovima, dok je palača, tada zvana „*Novi dvor*“, današnji oblik dobila oko 1743. godine, tijekom rekonstrukcije poslije raznog potresa (1738. godine), kojom je stari renesansni dvor pretvoren u monumentalnu baroknu palaču. Unutar palače nalazi se popločano unutrašnje dvorište iz kojeg se ulazi u zgradu na glavni, povišeni ulaz, ukrašen nizom arkada, te na nekoliko sporednih ulaza u prizemlju. Uz obilježja baroka na Palači su sačuvana i obilježja gotičke arhitekture.



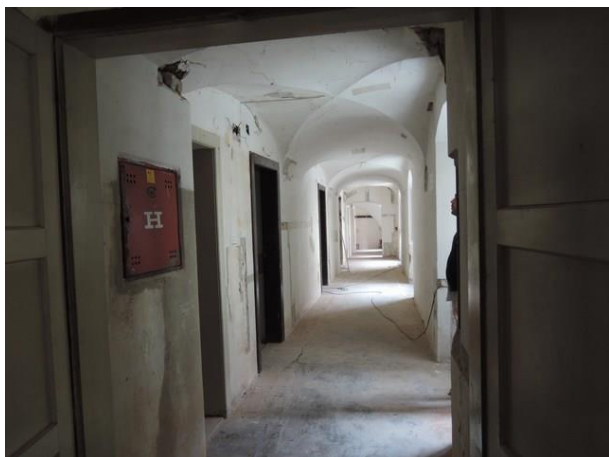
*Slika 2.3 Atrij Starog grada Zrinskih*



Nosiva konstrukcija zgrade se sastoji od uzdužnih nosivih zidova debljine od 70 do 280 cm, poprečnih nosivih zidova debljine 60 do 70 cm, svodova zidanih opekom u vapnenom mortu, drvenih greda u stropovima 1. i 2. kata, te drvenom krovnom konstrukcijom izvedenom kao kosa stolica. Prizemlje i međukat imaju svodove na cijelom tlocrtu, dok su u 1. i 2. katu svodovi izvedeni samo iznad hodnika.



*vanjski zid*



*križno-rebrasti svod*



*drveni grednik*



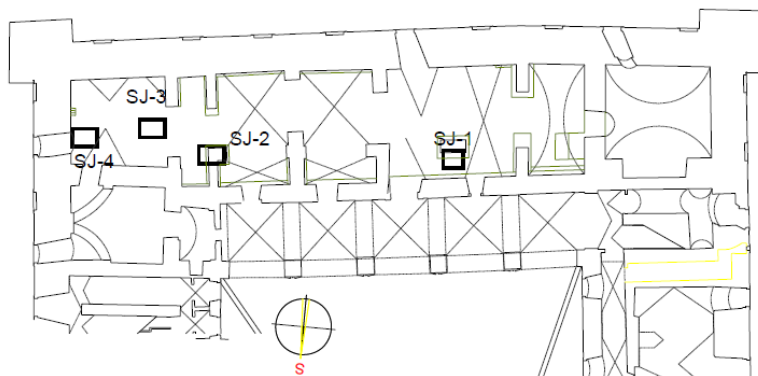
*krovište*

*Slika 2.4 Fotografije konstruktivnih elemenata zgrade*

Kombinacijom arheoloških i geotehničkih istražnih radova utvrđeno je da je temeljenje zidova izvedeno na različitim dubinama. Ugaoni dijelovi temeljeni su na oko 3,0 m ispod razine današnje razine poda, dok su ostali dijelovi zidova temeljeni znatno pliće na oko 1,5 m ispod današnje razine poda. Tlo je na dubini od 3,0 m muljeviti šljunak, znatno veće nosivosti od tla na dubini od 1,5 m koje je tresetasto (vlaknasto, močvarno tlo) i bitno manje nosivosti. *“Izvještaj o izvršenim geomehaničkim istražnim radovima na unutrašnjem jugoistočnom dijelu palače Stari grad Čakovec”* izradio je “GEO Varaždin”, Viša geotehnička škola Varaždin, u listopadu 1977. god. Rekonstrukcija pojedinih dijelova palače, kao i nadogradnja katova, u takvim uvjetima temeljenja, pridonijeli su nastanku značajnih diferencijalnih slijeganja tla pod novim opterećenjem i time do oštećenja zidova i svodova cjelokupne nosive konstrukcije. Horizontalne sile svodova prizemlja i međukata na oslabljenoj podlozi mogu dovesti da značajnih pomaka temelja što se, prenosi i na nosive zidove uzrokujući i njihova oštećenja. Isto tako, veliko opterećenje na svodovima prizemlja jugoistočnog krila za vrijeme deponiranja arhivske građe dodatno je pogoršalo stanje prethodno oštećenih svodova. Potresi koji su se događali na ovom području, bližem ili daljem od epicentra, 1738. godine u Međimurju i 1880. godine u Zagrebu, ako i nisu presudno oštećivali nosivu konstrukciju, pogoršavali su zatečeno stanje. Štetu na palači prouzročio je i potres iz prosinca 2020. godine. Nakon preliminarnog stručnog pregleda od strane stručne osobe ustanovljeno je da su sa sljemena krova jugoistočnog i jugozapadnog krila središnje Palače djelomično popadali sljemenski crijepovi od čega su nastale mjestimične rupe na vrhu krovšta, dok se na 1. i 2. katu sjeveroistočnog i sjeverozapadnog krila pojavio niz manjih i većih pukotina na stropovima i zidovima.

Prije desetak godina, a s ciljem uvida u tadašnje stanje konstrukcije, izvedeno je sondiranje Palače postavljanjem sonde u zidove, stropove i druge konstruktivne dijelove zgrade. Na temelju rezultata sondiranja izrađen je plan sanacije, koji se, zbog povećeg opsega radova, sastojao od više faza. U proces utvrđivanja stvarnog stanja konstrukcije uključen je i stalni sudski vještak koji je temeljem pregleda zatečenog stanja i rezultata sondiranja izradio vještački nalaz, te je u skladu sa navedenim zatraženo Mišljenje konzervatorskog ureda u Varaždinu. S obzirom na opsežnost radova sanacije, u ovom radu opisan je samo dio problematike cijele zgrade i to oštećenja vanjskih zidova, urušavanje dijela stropne konstrukcije drvenog grednika, pucanje zidanih svodova te problem vlage u nosivim dijelovima konstrukcije.

Temeljem „Mišljenja o temeljenju“ izrađenog od strane tvrtke Geoexpert GTB d.o.o. Zagreb dan je uvid o kvaliteti temeljnog tla i stanja temeljne konstrukcije. Izradi Mišljenja prethodilo je ispitivanje s ciljem utvrđivanja sastava i karakteristika temeljnog tla, određivanje računskih parametara čvrstoće, te provedba geostatičkih analiza nosivosti i slijeganja. U sklopu terenskih geomehaničkih istražnih radova izvedena je geomehanička prospekcija lokacije, te je izvršen pregled četiri sondažne jame iskopane u podrumu jugoistočnog krila Palače.



Slika 2.5 Tlocrt podruma - pozicije sondažnih jama

Mišljenjem je konstatirano slijedeće:

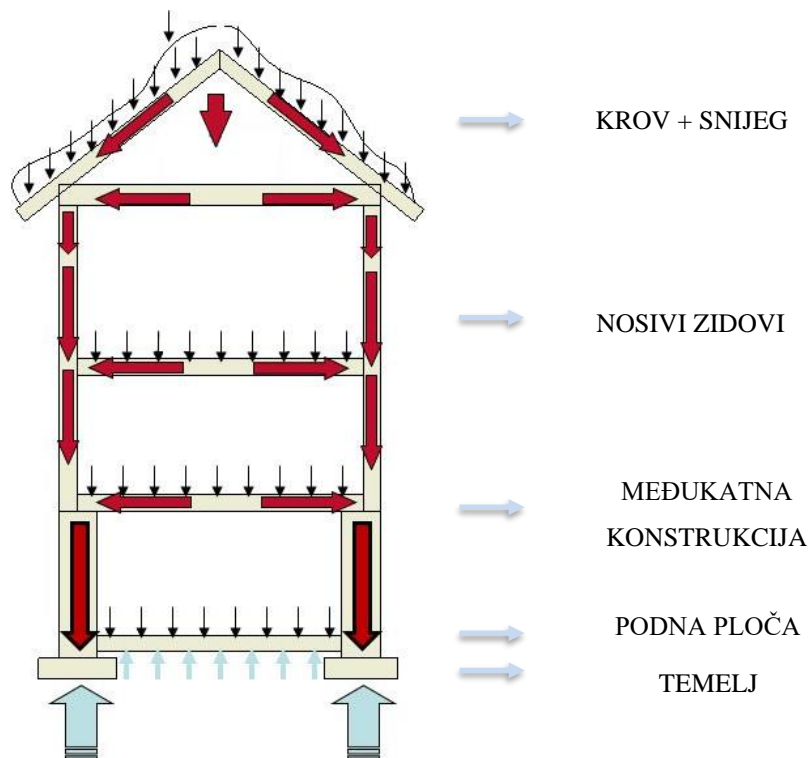
- Tlo unutar bedema uz istočni bastion sastoji se od površinskog heterogenog nasipa pružanja do 1,8 m, slijede slojevi praha, te su od dubine cca 162 mNM utvrđeni slojevi prekomjerno glinovitih šljunaka.
- Sadašnjim i ranijim (arheološkim) iskopima sondažnih jama utvrđeno je da su temelji pojedinih unutarnjih zidova na dubini od cca 0,3 do cca 1,2 m od kote nekadašnjeg poda podruma. Ranijim iskopavanjima uz vanjske zidove palače utvrđena je dubina temeljenja vanjskih zidova palače na dubini od cca 3 m od poda podruma.
- Unutarnji zidovi u pravilu su temeljeni na sloju prašiniastih glina do prahova, generalno teško gnječivog do kruto plastičnog konzistentnog stanja (sondažne jame SJ-1; Sj-2, SJ-3). Ovaj prašiniast materijal je riječni i barski sedimenti, sa povremeno znatnijim količinama treseta i organske truleži.
- Slojevi šljunka u podlozi u pravilu predstavljaju kvalitetno tlo. U doba dok je građen Stari grad, zbog visokih voda i močvarnog okoliša pojedini dijelovi objekta građeni su na zabijenim drvenim pilotima. Iskopom sondažne jame SJ-4 uz vanjski zid palače, ni do dubine od cca 1,5 m od poda nije utvrđeno dno temelja. Iskop je vršen u prašiniastim glinama, S obzirom na sve raspoložive dosadašnje podatke, vanjski zidovi palače temelje se duboko, u sloju šljunka u podlozi.
- Dio novih oštećenja posljedica je dodatnih slijeganja zbog truljenja organske komponente u temeljnom tlu (slojevi treseta) kao i zbog propadanja drvenih pilota.

### 3. Problematika zgrade

#### 3.1. Oštećenja vertikalnih dijelova nosive konstrukcije

##### 3.1.1. Vanjski zidovi

Zidovi su glavni vertikalni konstruktivni elementi u zgradama koji zatvaraju zgradu sa svih strana, te štite prostor od vanjskih ili drugih nepoželjnih utjecaja. Nosivi zidovi preuzimaju opterećenje drugih elemenata konstrukcije (stropnih ploča, krovova itd.) te ga prenose do temelja, dok nenosivi zidovi preuzimaju samo vlastito opterećenje i najčešće pregrađuju prostor.

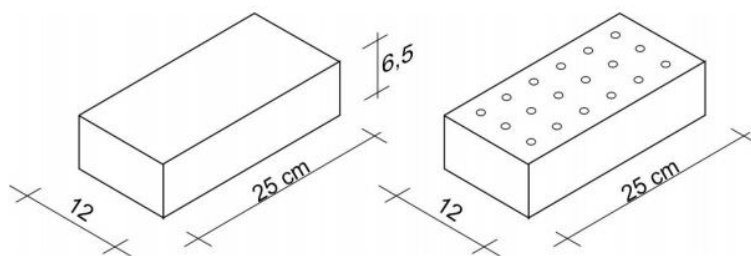


Slika 3.1 Prijenos sila od krova do temelja

Zidovi se izvode iz raznih materijala (drvo, kamen, gips-karton, beton..), no najučestaliji su zidovi od opeke. Zid od opeke nastaje slaganjem opeke po određenim pravilima i povezivanjem opeke mortom u cjelinu. Način slaganja opeke u zid po određenim pravilima zove se vez opeke. Opeka se, kao glavni građevni element za zidanje, proizvodi oblikovanjem, sušenjem i pečenjem smjese glinenoga materijala (obična ilovača ili druge slabije vrste gline), pijeska i vode. Pijesak se najčešće dodaje kako bi se spriječilo preveliko stezanje, iskrivljivanje i pucanje oblikovanih komada prilikom sušenja i pečenja. Prednosti opeke su njezina čvrstoća, jednostavno rukovanje i zidanje, prirodni materijal. Obzirom na oblik, dimenzije, izgled i svojstva razlikujemo mnogo vrsta opeke. Kod povijesnih zgrada koristila se puna opeka od gline.

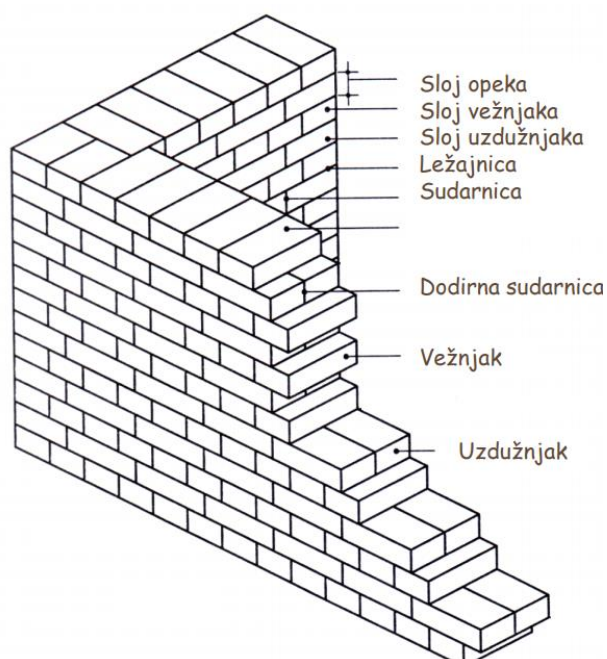


Opeka je prvi i najstariji umjetno proizvedeni materijal. Od povijesnih civilizacija do danas opeka je zadržala svoj pravokutni oblik, obzirom da isti omogućuje jednostavnu proizvodnju, rukovanje i zidanje. Klasična puna opeka od gline je dimenzija 25 cm x 12 cm x 6,5 cm, masa pune opeke iznosi 3,1 do 3,5 kg, a u 1 m<sup>3</sup> stanu 384 takve opeke. Klasična puna opeka od gline koristi se za zidanje nosivih i nenosivih, vanjskih i unutarnjih zidova koje je potrebno s obje strane završno obraditi žbukom ili drugim materijalima. Dimenzije, čvrstoća i marka (oznaka tlačne čvrstoće) opeke propisane su standardima.



Slika 3.2 Dimenzije klasične pune opeke od gline

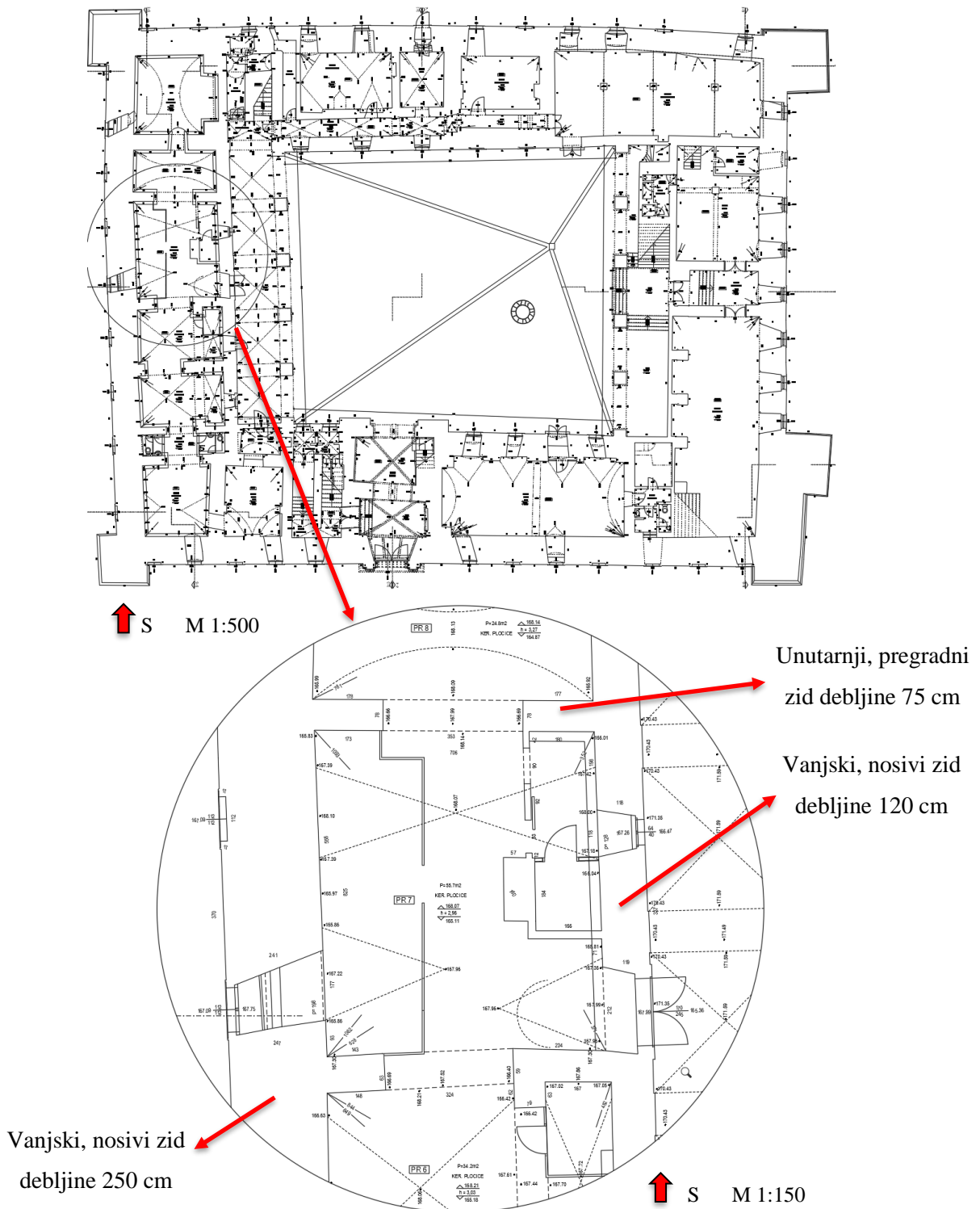
Zidovi od opeke zidaju se od komada opeke postavljenih horizontalno i povezanih mortom (smjesa veziva i agregata). Mort povezuje komade opeke u horizontalnom i vertikalnom smislu, te sprječava pomicanje komada opeke. Slojevi opeke u zidu moraju biti horizontalni, a u svakom sloju slažu se komadi s razmakom od 1 cm, razmak se naziva sudarnica, te se popunjava mortom. Komad opeke kojem se na licu zida vidi duža stranica naziva se uzdužnjak, a kojem se na licu vidi kraća stranica naziva se vežnjak.



Slika 3.3 Prikaz zida od opeke

### 3.1.2. Oštećenja vanjskih zidova palače Starog grada Zrinskih u Čakovcu

Nosivi zidovi Palače građeni su opekam u vapnenom mortu promjenjive debljine od 0,70 do 2,80 m. Raspon osi obodnih nosivih zidova prizemlja i polukata je od 8,50 m do 9,00 m. Raspon je povećan na cca 14,00 m u prvom i drugom katu, proširenjem južnog i sjevernog krila nad trijemom. Nosivi sistem obodnih zidova povezan je nizom poprečnih zidova debljine cca 0,60-0,70 m što je odredilo unutarnji raspored prostora.

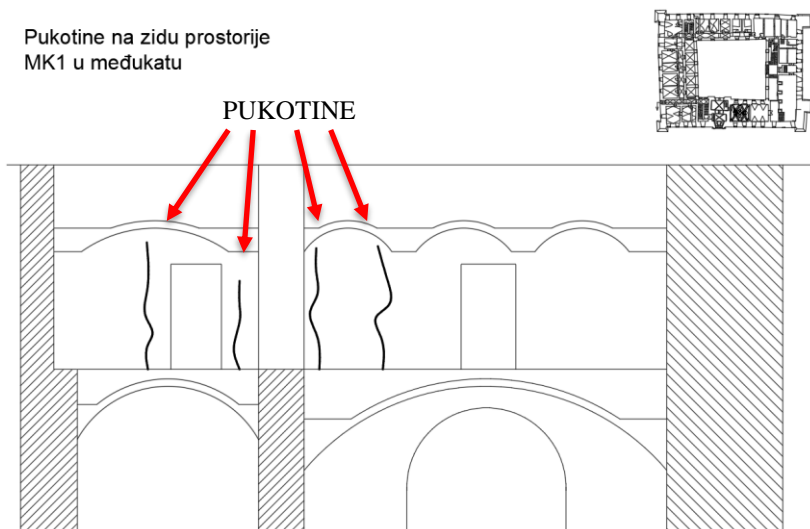


Slika 3.4 Tlocrt prizemlja s prikazom vanjskih zidova

Vanjski zidovi temeljeni su na dubini od cca 3 m od poda podruma. Oštećenja nosivih zidova najizraženija su u jugoistočnom i jugozapadnom krilu Palače. Oštećenja su vidljiva kao pukotine u zidovima, nastala od popuštanja temelja, pomicanja zidova ili odvajanja loše povezanih zidova. Dodatan nepovoljan učinak na zidove imaju i potresi koji su s godinama dodatno oštećivali nosivu konstrukciju, kao i arhivska građa koja je kroz duži vremenski period uzrokovala veliko opterećenje na nosivu konstrukciju. Značajna oštećenja zapadnog polja jugozapadnog krila posljedica su prevelikih progiba stropnih roštilja na koje su oslonjeni pregradni zidovi međukata, 1. i 2. kata, dok su oštećenja u dijelu jugoistočnog krila posljedica popuštanja zidova oslonjenih na svodove međukata, a na koje zidove se oslanjaju drveni grednici stropa 1. kata. Oštećenja zidova izražena su i u dijelu prizemlja. Prema povijesnim podacima poznato je da su stari, trošni svodovi međukata u prvoj polovini 18. stoljeća srušeni i zamijenjeni novima uz, na nekim mjestima podebljanje zidova dozidavanjem.



*Slika 3.5 Pukotine na zidovima međukata*



*Slika 3.6 Pukotine na zidu prostorije MK1 u međukatu*



*Slika 3.7 Fotodokumentacija zatečenog stanja zidova*

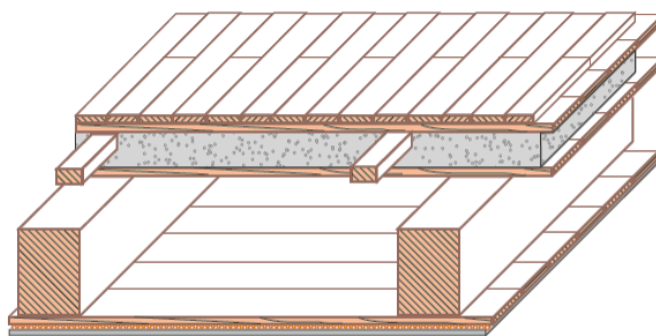
Pomaci zidova i pukotine istih vidljivi su i kod sjeveroistočnog krila Palače, ponajprije na gornjem rubu uzdužnih zidova 2. kata, također nastali zbog horizontalnih potisaka svodova i vertikalnog opterećenja, ali i djelovanja potresnog opterećenja. Posljedica je to dugotrajnih opterećenja i postupnog popuštanja zidova. Prekoračenja vlačne čvrstoće događaju se i u zidovima jugoistočnog krila koji nemaju vertikalni kontinuitet do tla, već se oslanjaju na svodove prizemlja. Oštećenja se pojavljuju u uglovima otvora u tim zidovima, radi se o vratima koja spajaju susjedne prostorije, ali i na intradosu tjemene zone svoda. Mjesta oštećenja na zidovima poklapaju se s mjestima prekoračenja vlačne čvrstoće materijala.

## 3.2. Oštećenja horizontalnih dijelova nosive konstrukcije

### 3.2.1. Drvena međukatna konstrukcija

Svaku vrstu drveta odlikuju druga svojstva, a kojima definiramo opseg upotrebe drvene građe. Za nosive konstruktivne elemente najvažnija su mehanička i fizička svojstva (npr. čvrstoća, dopuštena naprezanja, masa..), dok su za neopterećene dijelove (npr. drvene obloge) važnija estetska svojstva drveta (boja, sjaj, tekstura..).

Drveni grednici predstavljaju jedan od najstarijih i najmasovnijih oblika stropnih konstrukcija. Drvo je ekološki prihvatljiv materijal, dobro podnosi vlačna, tlačna i posmična naprezanja, sama izvedba je jednostavna i brza, međutim postoje određene mane drvenih stropnih konstrukcija. Opasnost od požara (drvo je lako zapaljiv materijal) i ograničeno trajanje (brzo propadanje u dodiru s vlagom, oštećivanje građe od strane nametnika) neke su od značajnijih mana drvenih stropnih konstrukcija. Zbog toga je potrebno upotrebljavati suhu i zdravu građu, te grede zaštititi od vlage i nametnika. Drveni se stropovi izrađuju od jelovih ili smrekovih, tesanih ili piljenih greda, platica ili dasaka. Drvenu stropnu konstrukciju nije preporučljivo izvoditi iznad podruma, prvenstveno radi vlažnosti, no ukoliko se konstrukcija izvodi iznad podruma, preporučljivo je koristiti građu od hrasta. Dimenzije drevnih greda, kao i razmak između istih definira se statičkim proračunom. U većini slučajeva drveni grednik je izveden kao konstruktivni sistem od drvenih, nosivih greda, koje su definiranog raspona, te su oslonjene na nosive zidove. Sa strane prostora drvene grede mogu biti vidljive, dok je češće izvedena žbuka, postavljena na trstiku. S gornje strane najčešće su na drvene grede postavljene drvene daske ili opeka (ili su grede vidljive). Između drvenih greda najčešće je nasipana šuta, dok može biti i zračni prostor, sve u svrhu toplinske i zvučne izolacije.



*(slojevi, odozdo prema gore: žbuka, trstika, daske, grede/zrak, daske, letve/šuta, daske, podna obloga)*

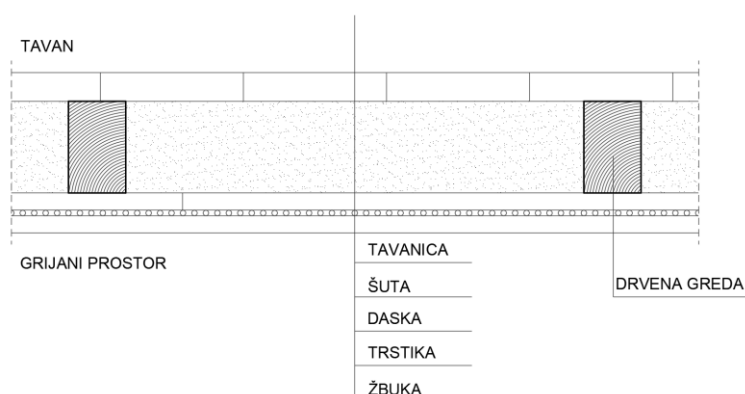
*Slika 3.8 Slojevi drvene nosive konstrukcije*



### 3.2.2. Urušavanje dijela stropa 2. kata palače Starog grada Zrinskih u Čakovcu

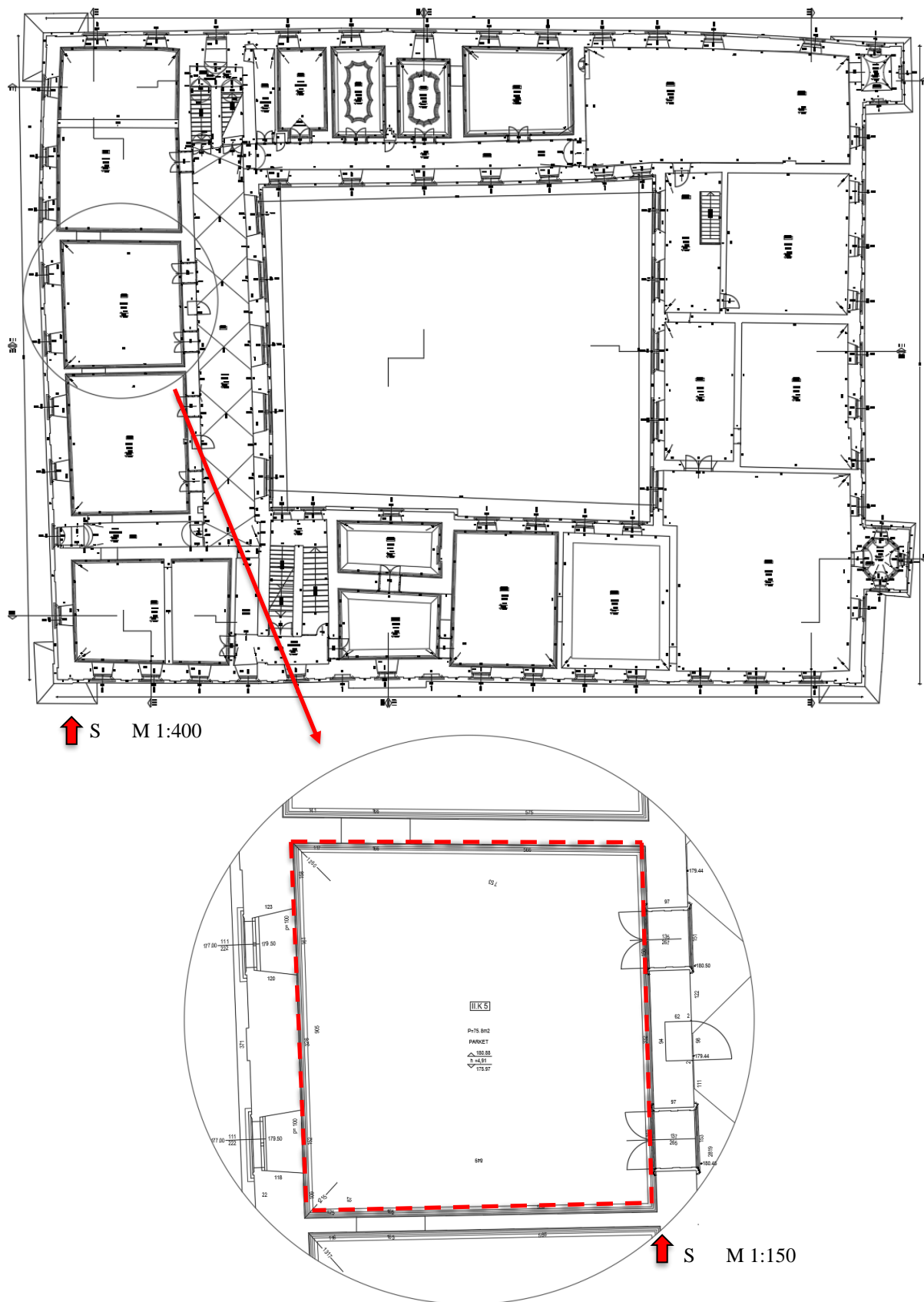
Jedan od mnogih problema Palače su oštećene međukatne konstrukcije, dok je u ovom poglavlju detaljnije analiziran samo manji dio međukatne konstrukcije - strop iznad prostorije 2. kata, oznake II.K 5 (tlocrt drugoga kata sjeveroistočnog krila palače Staroga grada Zrinskih, Čakovec) gdje je došlo do urušavanja dijela stropne konstrukcije. Prostorija u kojoj je nastao štetni događaj koristi se u izložbene svrhe. Iznad drugoga kata, nalazi se etaža potkrovlja - tavan.

Međukatna konstrukcija iznad prizemlja i međukata palače Staroga grada Zrinskih, te hodnika 1. i 2. kata izvedena je od zidanih svodova, dok je ostatak međukatne konstrukcije (prvenstveno iznad 1. i 2. kata) izveden od drvenih, nosivih greda. To dodatno ukazuje na različito vrijeme gradnje, obzirom da je prizemlje izgrađeno u renesansno doba, a katovi su naknadno dograđivani. Pregledom konstrukcije prije sanacije vidljivo je da je predmetna stropna konstrukcija drvene izvedbe, karakteristična za navedena vremenska razdoblja građenja, dogradnje i rekonstrukcije građevine. Pretpostavljeni slojevi stropne konstrukcije su: žbuka, trstica, daska, šuta, tavela + djelomično glina. Pretpostavka je da je ugrađena drvena građa hrasta II klase.

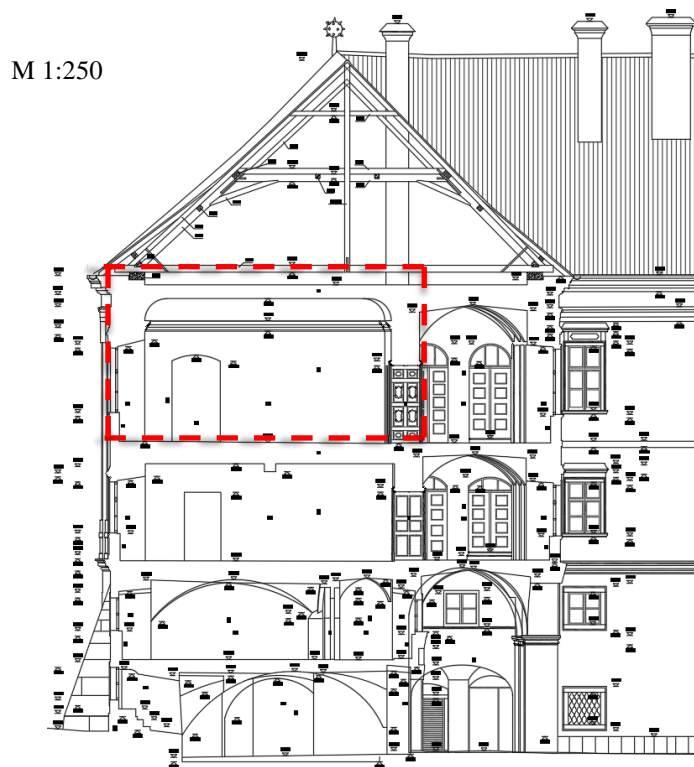


Slika 3.9 Međukatna konstrukcija drvenog grednika

U nastavku je kroz tlocrt i presjek konstrukcije prikazan položaj prostorije 2. kata, oznake II.K 5.



Slika 3.10 Analizirana prostorija oznake II.K 5. na drugom katu (tlocrt)



*Slika 3.11 Analizirana prostorija oznake II.K 5. na drugom katu (presjek)*

Nakon urušavanja dijela stropne konstrukcije obavljen je pregled od strane sudskog vještaka koji u svom nalazu navodi: „*Pregledom podgleda stropne konstrukcije u prostoriji drugoga kata oznake II.K 5 te poda - hodne površine na potkrovlju - tavanu građevine potrebno je prostor osigurati od daljnjeg urušavanja (poduprijeti strop s vertikalnim osloncima što bliže nosivim zidovima) i omogućiti sigurno kretanje po podu tavana. Pregledom je učen progib stropa, koji nije ravnomjeran (od 4-5 do 12 cm), te je izrazitiji prema pročelju vanjskog zida, a što je uočljivo i promatranjem poda na tavanu.*“

Uvidom u arhivu Muzeja Međimurja Čakovec utvrđeno je da je 1970. godine obnovljeno krovništvo nakon dotrajalosti i oštećenja drvene građe, te je zamijenjen pokrov, crijepom. Prije obnove krov je prokišnjavao, a to procurivanje kroz duže vremensko razdoblje negativno je utjecalo i na stropnu konstrukciju, što je rezultiralo vlaženjem poprilično debelog sloja stropa. Nakon završetka obnove krovništva, vjerojatno nije izvršena nikakva provjera stanja ni sanacija stropne konstrukcije, već je vlaga ostala "zarobljena" u stropu. Može se pretpostaviti da je kroz nepoznato vremensko razdoblje "močenja" stropa (višegodišnje) i proteklih 50 godina od obnove krovništva, zarobljena vlaga vrlo negativno djelovala na drvenu građu: grednik i daske, što je dovelo do zamora materijala i gubljenje nosivih karakteristika teške stropne konstrukcije (vlastita težina od 5,00 do 5,60 kN/m<sup>2</sup> + korisno opterećenje od 0,75 kN/m<sup>2</sup>). Nakon skidanja dijelova stropa vidljiva je "propala" drvena građa, trošna i trula do mjere mrvljenja u ruci bez naprezanja.





*Slika 3.12 Fotodokumentacija zatečenog stanja stropa*

Zaključno mišljenje sudskog vještaka preuzeto iz: *Nalaz i mišljenje vještaka - Građevinsko stanje dijela palače Staroga grada nakon urušavanja stropa u prostoriji II.K:*

*„... zaključujem da je uzrok nastanka štetnog događaja – urušavanja stropne konstrukcije iznad prostorije likovne postave na drugome katu palače Staroga grada u Čakovcu, oznake II.K 5, njezina dotrajalost. Starost, razne i mnogobrojne intervencije na građevini i djelovanje atmosferilija (procurivanje krovišta) kroz nepoznata vremenska razdoblja su elementi koji općenito vrlo negativno djeluju na postojanost i nosivost građiva i sustava opisane stropne konstrukcije...“*

Urušavanje drvene stropne konstrukcije zavedeno je i u građevinski dnevnik. Sukladno Pravilniku o uvjetima i načinu vođenja građevnog dnevnika (NN 52/99 i 75/99), građevni dnevnik vodi se tijekom gradnje za cijelu građevinu od dana početka pripremnih radova do dana završetka gradnje. Prema članku 8. Pravilnika glavni nadzorni, odnosno nadzorni inženjer upisom u dnevnik može i odobriti ili zabraniti nastavak radova te odobrava tj. određuje način otklanjanja utvrđenih neusklađenosti ukoliko iste postoje.

Urušavanje stropne konstrukcije upisano je u građevinski dnevnik od strane glavnog nadzornog inženjera, koji navodi: „Pregled otvorenih sondi na mjestima oslanjanja drvenih stropnih greda na zidane nosive zidove u stropu 2. kata. Utvrđeno je veliko oštećenje drvenih greda na osloncima nastalo truljenjem drvene građe. Oštećenje greda proteže se  $\approx 1,0$  m od zida. Kako je truljenje zahvatilo cijeli presjek greda postoji mogućnost pucanja greda na tim mjestima zbog čega je utvrđeno podupiranje po cijeloj visini zida. Zbog stanja drvenih greda potrebno je obustaviti posjete u prostorijama drugog kata kojima je oštećena podna konstrukcija.“

<b>GRAĐEVNI DNEVNIK</b>	Znak <b>11 GRADNJE 4</b>	Naziv i sjedište izvođača <b>GOBIJA POLJANA 37</b>	List <b>43</b>		
			Nadnevak upha <b>14 12 2010</b>		
Naziv građevine / dijela građevine / radova <b>MUR I TRESTIJA OTOVARE</b>		Vremenski uvjeti	Temperatura zraka °C	Vodostaj m	Temperatura građe °C
Stručna osposobljenost i tehnička opremljenost izvođača					
Struktura zaposlenika i strojeva na radu	Zaposlenici		Strojevi		
Broj					
Upis i potpis osobe koja vodi građevni dnevnik					
<p>PREGLED OTVORENIH SONDI NA MJESTIMA OSLANJANJA DRVENIH STROPNIH GREDA NA ZIDANE NOSIVE ZIDOVE U STROPU 2. KATA. UTVRĐENO JE VELIKO OŠTEĆENJE DRVENIH GREDA NA OSLONCIMA NASTALO TRULJENJEM DRVENE GRAĐE. OŠTEĆENJE GREDA PROTEŽE SE <math>\approx 1,0</math> m OD ZIDA. KAKO JE TRULJENJE ZAHVATILO CIJELI PRESJEK GREDA POSTOJI MOGUĆNOST PUCANJA GREDA NA TIM MJESTIMA ZBOG ČEGA JE UTVRĐENO PODUPIRANJE PO CIJELOJ VISINI ZIDA. ZBOG STANJA DRVENIH GREDA POTREBNO JE OBUSTAVITI POSJETE U PROSTORIJAMA DRUGOG KATA KOJIMA JE OŠTEĆENA PODNA KONSTRUKCIJA.</p> <p style="text-align: right;">Aram</p>					
Upis i potpis nadzornog inženjera i drugih osoba					
Odgovorna osoba koja vodi gradnju <b>14.12.2010</b> nadnevak i potpis			Glavni / Nadzorni inženjer <b>19.12.2010</b> nadnevak i potpis		

100

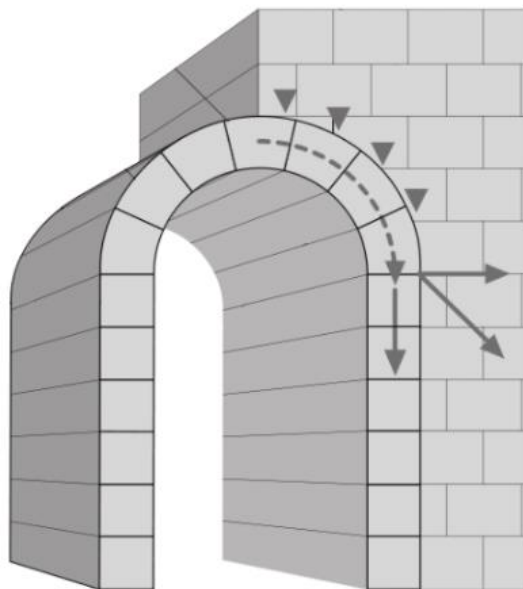
GRAĐITELJA POLJANA

03/02/2011 18:04 FAX 0422203147

Slika 3.13 Izvod iz građevnog dnevnika

### 3.2.3. Svod

Svodovi su zidane konstrukcije građene od malih elemenata, opeke, klesanog ili lomljenog kamena ili sličnog materijala, koji su vezivnim sredstvom, mortom, povezani u strukturalni element zakrivljenih ploha, kojim se natkrivaju prostori. Zidane su konstrukcije specifične po svojem mehaničkom ponašanju, koje se bitno razlikuje od ponašanja konstrukcija od čelika ili armiranog betona. Tlačna čvrstoća elemenata zidanih konstrukcija je znatna, dok je njihova vlačna čvrstoća mnogo manja. Čvrstoća vezivnih materijala zidanih konstrukcija je mala, posebno vlačna čvrstoća koja je u usporedbi s tlačnom čvrstoćom osnovnog materijala (opeke, kamena) vrlo mala. Kod starijih konstrukcija, u kojima je vezivno sredstvo (mort) uslijed povijesti opterećenja najčešće puno pukotina, njegova je vlačna čvrstoća vrlo mala - praktički zanemariva te je stoga zidana konstrukcija kao cjelina neotporna na vlačna naprezanja. Iz tog razloga zidane konstrukcije su prikladnije za vertikalne elemente, opterećene na tlak (zidovi, stubovi i stupovi), ali su nepovoljne za horizontalne nosive elemente, npr. za stropove. Stoga je kroz povijest razvijen tip konstrukcija od kamena i opeke: luk i svod - zidana konstrukcija građena od malih elemenata, koja može premostiti i velike rasponne zahvaljujući svojem obliku - ponajprije svojoj zakrivljenosti. Zidani svod svojim je oblikom prilagođen mogućnostima materijala i tijeku sila u konstrukciji, tako da se u zidanom svodu javljaju uglavnom tlačna naprezanja (naprezanja koja takav konstruktivni sklop može preuzeti).



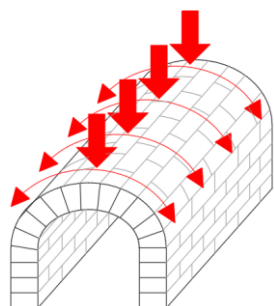
*Slika 3.14 Prijenos opterećenja kod svoda*



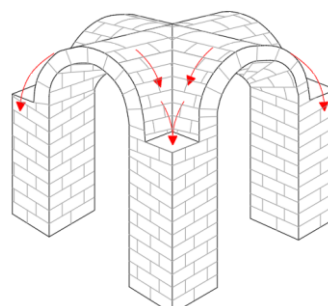
Za gotovo sve klasične, zidane konstrukcije vrijedi da dobro podnose tlačna naprezanja, no javlja se neotpornost na vlačna naprezanja. Isti problem javlja se i kod zidanih svodova. Zbog specifičnog načina prijenosa opterećenja, zidani svod opterećuje svoju vertikalnu konstrukciju vertikalnim i horizontalnim silama. Obzirom da su i vertikalni dijelovi svodova povijesnih nosivih konstrukcija bile zidane konstrukcije, neotporne na vlačna naprezanja, horizontalno opterećivanje svodova oduvijek je predstavljalo izazov. Svod ima uporište na višem položaju u konstrukciji, time je moment rotacije veći, te se znatno povećava opasnost od pomaka elemenata konstrukcije, opasnost od prevrtanja i u konačnici sloma svoda. Preuzimanje horizontalnih sila svoda bila je jedna od ključnih tema gotičke arhitekture, koja je težila presvođenju visokih prostora velikih raspona. Tijek sila u svodu, kao i način na koji svod opterećuje vertikalnu konstrukciju, ovisi o tipu svoda, njegovom geometrijskom obliku i zakrivljenosti. S ciljem postizanja što povoljnijeg oblika svoda, graditelji su tijekom povijesti razvili mnoštvo raznolikih oblika svoda, koji se mogu podijeliti na nekoliko osnovnih tipova:

- a) bačvasti svod – longitudinalni tip svoda,
- b) križni svod - nastaje geometrijskim presijecanjem plašteva longitudinalnih svodova,
- c) kupola – centralna forma svoda, nad centralnim tlocrtom (kružnim, ovalnim ili poligonalnim),

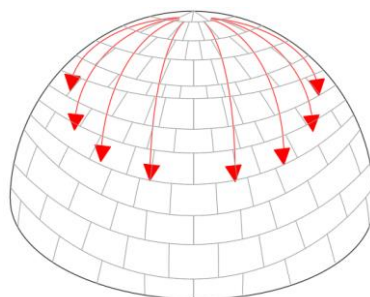
te svaki od tipova na različiti način obavlja prijenos opterećenja (distribucija sila na slici 3.15. označena je crvenim strelicama). Oblik svoda ima veliki utjecaj na pojavu manjeg ili većeg momenta savijanja, o čemu ovisi pojava vlačnih naprezanja, nepovoljnih za zidane konstrukcije.



bačvasti svod



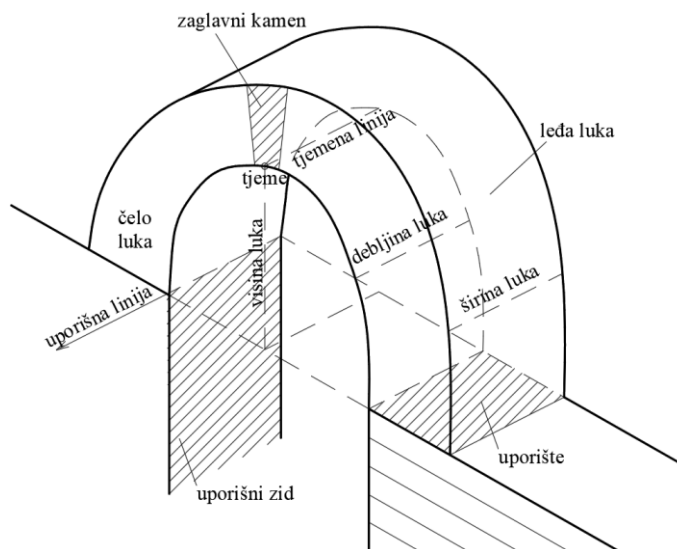
križni svod



kupola

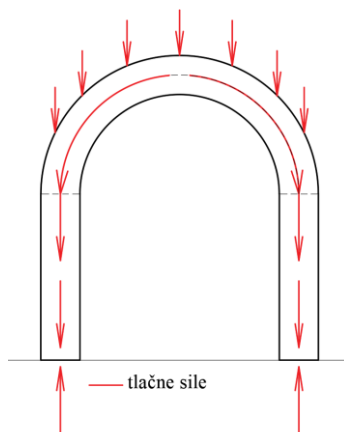
Slika 3.15 Tipovi svoda

Svod je konstruktivni element koji zatvara gornju granicu unutarnjeg prostora zaobljenim ploham, te se oslanja na okolne zidove, stupove ili lukove. Ovisno o prijenosu opterećenja imamo nekoliko vrsta svodova, od kojih su najčešći bačvasti, križni svod i kupola. Osnovna zadaća luka, odnosno svoda jest prijenos opterećenja na zidove ili stupove, koji opterećenje dalje prenose na temelje. Zidani lukovi stabilnost postižu samo kada se prijenos opterećenja odvija na pravilan način.



Slika 3.16 Dijelovi luka

Primarno opterećenje luka je vlastita težina koja uzrokuje pojavu tlačnoga naprezanja u luku koje treba provesti lukom do temelja. Tlačno se naprezanje prenosi tlačnim silama koje su rezultante naprezanja na dodirnim ploham između dva zidana bloka. Luk je zapravo zakrivljena greda konveksnoga oblika, te je u pravilu luk tlačno opterećen. Opterećenje na gredi uzrokuje pojavu momenta savijanja, a u samoj gredi se javljaju tlačna i vlačna zona. Formiranjem luka u njemu nastaje tlačna sila kojom se ostvaruje prijenos vanjskog vertikalnog opterećenja. Na osloncima luka se javljaju horizontalne i vertikalne reakcije, dok su momenti savijanja kod luka znatno manji.

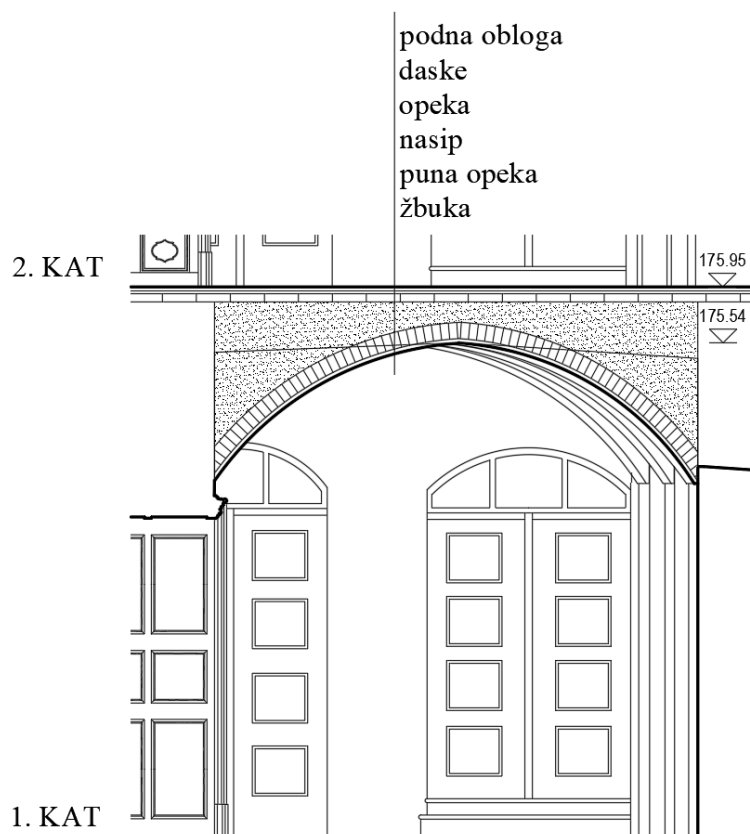


Slika 3.17 Prijenos sila kod lukova

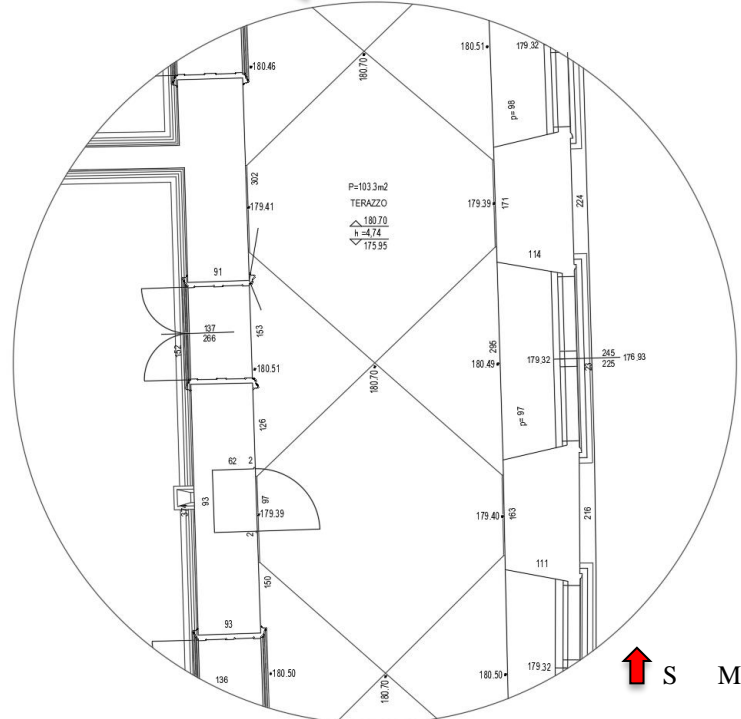
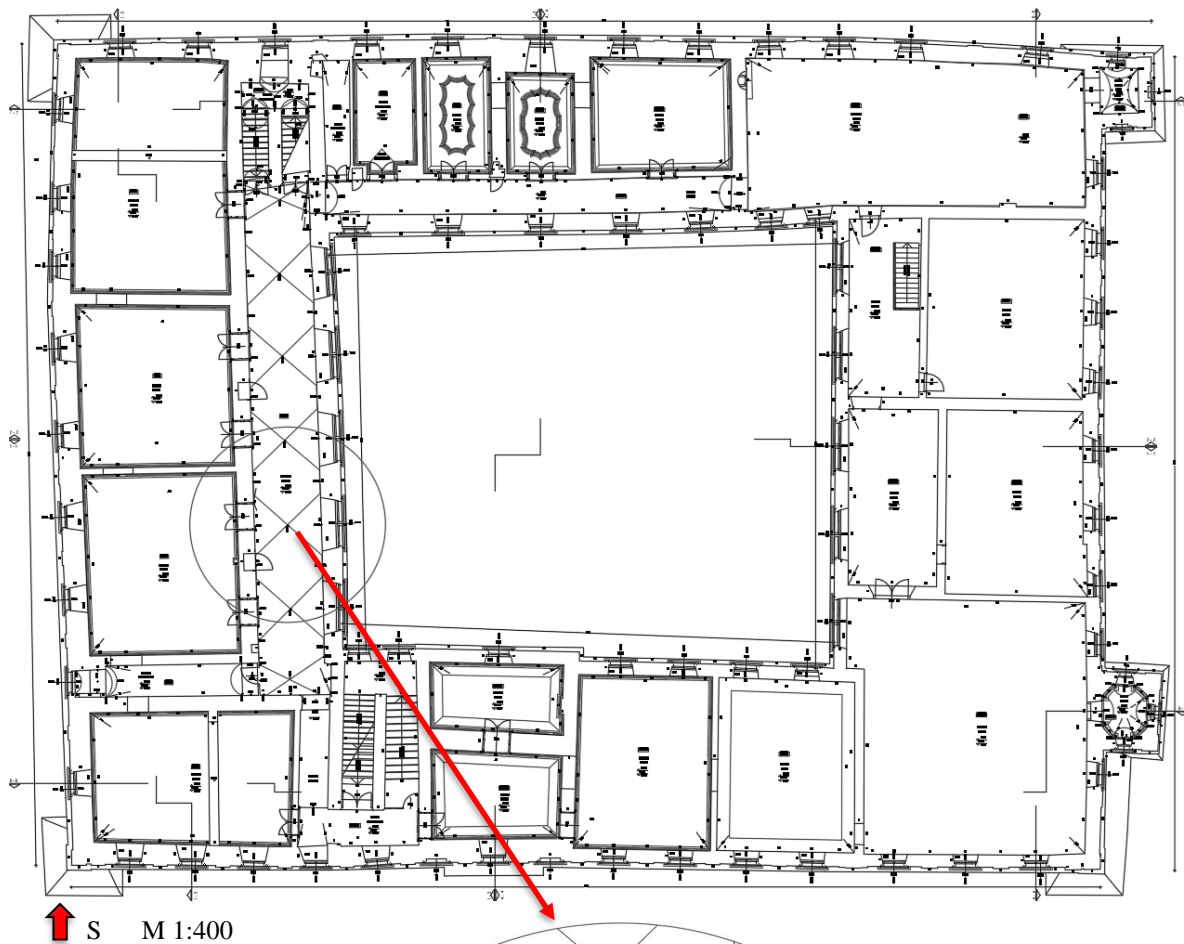
### 3.2.4. Oštećenja svoda 2. kata palače Starog grada Zrinskih u Čakovcu

Međukatna konstrukcija iznad prizemlja i međukata Palače, te hodnika 1. i 2. kata izvedena je od svodova, zidanih opekom u vapnenom mortu. U ovom dijelu detaljnije je analiziran manji dio međukatne konstrukcije – zidani svod iznad hodnika 2. kata. U nastavku (slika 3.19.) je kroz tlocrt i presjek konstrukcije prikazan položaj hodnika 2. kata. Zidani svodovi tlocrtno su označeni sa dvije prekržišene linije, sjecište tih linija predstavlja najvišu točku svoda. Iznad drugoga kata, nalazi se etaža potkrovlja - tavan.

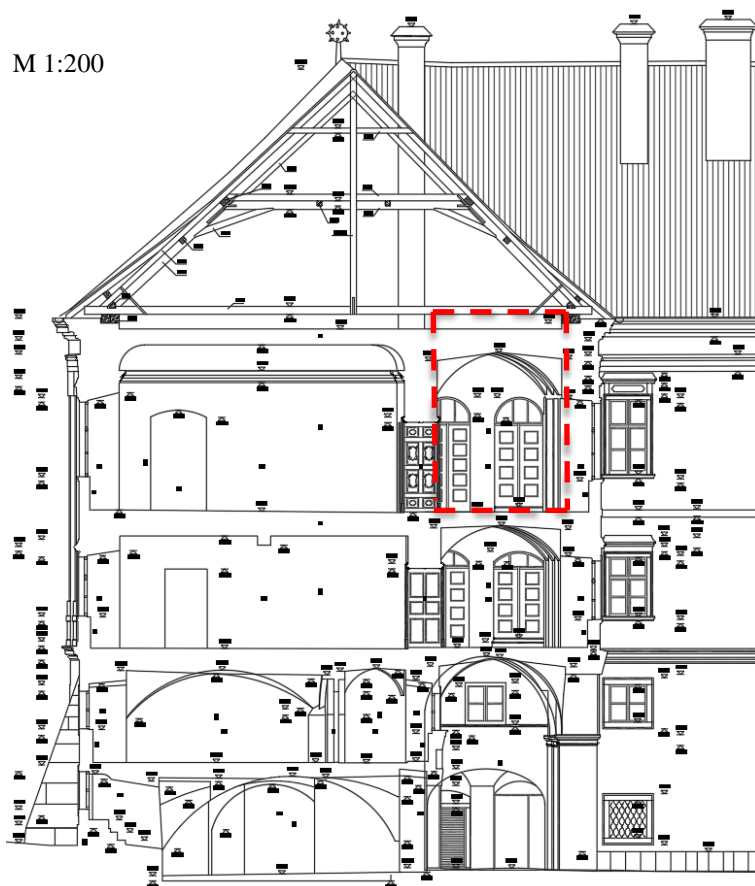
Postojeća međukatna konstrukcija prizemlja, te hodnika 1. i 2. kata izvedena je od zidanih svodova. Karakterističan presjek konstrukcije sastoji se od luka zidanog opekom u vapnenom mortu, na koji je nasipan sloj najčešće zemljanog materijala, koji služi kao izolacija. Sa strane niže etaže svod je završno ožbukano, dok je sa strane više etaže izvedena podna obloga (parket), izvedena na drvenu podkonstrukciju.



Slika 3.18 Međukatna konstrukcija zidanog svoda



Slika 3.19 Analizirana prostorija hodnika na drugom katu (tlocrt)



*Slika 3.20 Analizirana prostorija hodnika na drugom katu (presjek)*

Rekonstrukcija pojedinih dijelova palače, kao i nadogradnja katova, pridonijeli su nastanku značajnih diferencijalnih slijeganja tla pod novim opterećenjem i time do oštećenja zidova i svodova cjelokupne nosive konstrukcije. Horizontalne sile svodova prizemlja i međukata na oslabljenoj podlozi (temeljenje na močvarnom tlu) dovode da značajnih pomaka temelja što se, prenosi i na nosive zidove uzrokujući i njihova oštećenja. Isto tako, veliko opterećenje na svodovima prizemlja jugoistočnog krila za vrijeme deponiranja arhivske građe dodatno je pogoršalo stanje prethodno oštećenih svodova. Oštećenja svodova i zidova u prizemlju istog su uzroka. Doprinos oštećenjima svakako je i u ovom slučaju u slijeganju temelja nosivih zidova. Prema povijesnim podacima poznato je da su stari, trošni svodovi međukata u prvoj polovini 18. stoljeća srušeni i zamijenjeni novima uz, na nekim mjestima podebljanje zidova dozidavanjem. Isto se dogodilo i sa svodovima prizemlja.





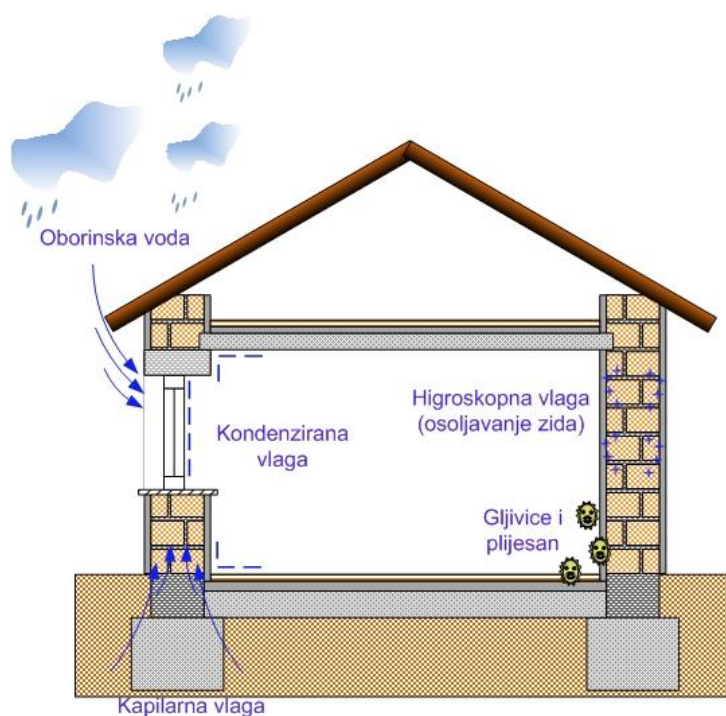
*Slika 3.21 Fotodokumentacija zatečenog stanja svodova*

### 3.3. Oštećenja od vlage

#### 3.3.1. Problem vlage

Pojam vlaga označava prisutnost vode u nekom prostoru (zgrada, dio zgrade..) ili u nekom sredstvu (zrak i sl.). U većini slučajeva vlaga je nevidljiva, no njezini učinci svakako su vidljivi i mogu značajno oštetiti građevinu i njezinu konstrukciju. Osnovni oblici vlage koji se javljaju u zgradama su:

- 1) podzemna voda - ona je najagresivnija, najviše ugrožava ukopane dijelove građevine, stoga je bitno da je tu izolacija dobro izvedena jer je gotovo nemoguće izvesti naknadnu sanaciju, te se javljaju veliki troškovi kod otklanjanja štete,
- 2) procjedna voda - javlja se prilikom naglih i obilnih oborina koje oštećuju zidove, prvenstveno zidove podrumskih prostorija,
- 3) kapilarna vlaga - problem pri kojem se vlaga iz tla podiže sistemom kapilara unutar građevinskog materijala u podove i zidove građevina građenih na nasutom tlu. Takva vlaga ima mogućnost podizanja od 50-ak centimetara do maksimalna 2,50 metra (ovisno o materijalu za građenje i koncentraciji vlage), najčešće se javlja kod starijih objekata,
- 4) higroskopna vlaga - soli iz vode ostaju u zidovima kad voda nestane i privlače vlagu iz zraka,
- 5) kondenzirana vlaga - javlja se u zgradama koje nisu dovoljno prozračivane, te kod zgrada koje nisu dobro izolirane.



Slika 3.22 Vrste vlage

Kapilarna vlaga u zidovima obuhvaća vlagu koja u zid dolazi u obliku tekuće vode, te se takva voda kapilarama transportira kroz zid, od temelja do visine od cca 2 metra. Pošto je osnovni građevinski materijal (cigla, kamen, mort, beton...) u većoj ili manjoj mjeri porozan, kroz mikrokapilare koje postoje u strukturi materijala podiže se vlaga iz tla i postupno se uspinje prema gore. Voda se kroz zid kreće prema porama materijala te ukoliko je kapilarna sila veća od sile teže, dolazi do oštećenja koja se pojavljuju iznad mjesta ulaska vode. Krećući se kroz zid voda se penje, te svojim kretanjem stvara dodatno elektromagnetsko polje u zidu, što pojačava kapilarno djelovanje. Takva vrsta vlage često se javlja kod stariji građevina, nastalih u vrijeme kada graditelji nisu bili upoznati s vodonepropusnim materijalima ili kod građevina bez hidroizolacije, odnosno s loše izvedenom hidroizolacijom. Kapilarna vlaga može se pojaviti i u novijim objektima, ukoliko je hidroizolacija loše izvedena ili oštećena prilikom ugradnje.

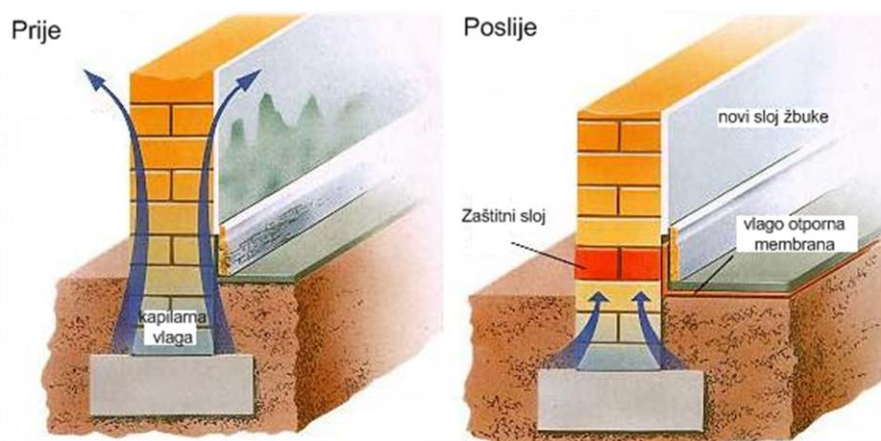
Pojava vlage u zidovima manifestira se kao:

- pojava štetnih soli,
- otpadanje žbuke sa zidova,
- neugodan miris vlage,
- nastajanje po zdravlje štetnih gljivica plijesni te
- izrazito hladne površine.

Važno je da se sanaciji oštećenja od vlage pristupi u nekoliko koraka koju uključuju:

- saniranje uzroka štete,
- uklanjanje štete te
- prevenciju od budućih oštećenja.

Isušivanje zidova ili učestalo bojanje zidova ne rješava problem vlage.



Slika 3.23 Primjer sanacije zida od kapilarne vlage



### 3.3.2. Oštećenja zidova palače Starog grada Zrinskih u Čakovcu nastala kao posljedica kapilarne vlage

Razdoblje gradnje Palače predstavljalo je nesigurna vremena, a palača je prvenstveno služila kao utvrda. Palaču su gotovo sa svake strane okruživale močvare koje su imale zadaću otežati pristup napadačima. Palača Zrinskih smještena je na močvarnom terenu, a okružuje ju pet bastiona. Četiri bastiona građena su od kamena ili pečene cigle, dok je peti od klesanog četverokutnog kamena. S jedne strane, one prema tadašnjem selu - današnjem gradu, kompleks je mostom povezan s čvrstim tlom. Cijeli kompleks okružen je dvostrukim jednostavnim opkopom, ispunjenim vodom, sve sa svrhom što bolje zaštite. Potok Trnava opskrbljivao je jezero vodom, a tek nakon što je preusmjeren njegov tok počinje povlačenje vode.



*Slika 3.24 Jezero oko Palače Starog grada Zrinskih*

Palača Starog grada Zrinskih današnji oblik poprimila je u 15./16. stoljeću. Razdoblje u kojem je građena, kasnije i dograđivana, karakterizira gradnja od klasične glinene opeke. U tom razdoblju gradnje graditelji nisu bili upoznati s vodonepropusnim materijalima, odnosno u zgrade se nije ugrađivala hidroizolacija. Zidovi i temelji zgrade kompletno su izvedeni od opeke, a obzirom je Palača izvedena na močvarnom području, ne čudi i konstantna pojava vlage u zidovima koja se od temelja diže u prostorije prizemlja. Temelji su većim dijelom godine (osim u ljetnom razdoblju) pod utjecajem podzemne vode.



*Slika 3.25 Fotodokumentacija oštećenja od vlage*

Kao što je vidljivo na fotodokumentaciji utjecaj vode je toliko značajan da je došlo do razaranja građevinskog materijala, opeke. Pojava vlage na zgradi Palače manifestira se kroz ljuštenje zidova, odnosno opadanje žbuke, površina zida je hladna na dodir te se u podrumskim prostorima osjeća neugodan miris vlage. Prema mjerenjima vlaga se kapilarno diže po zidovima ukopanih dijelova zgrade do maksimalne visine od 2,00 m.

## 4. Proračun

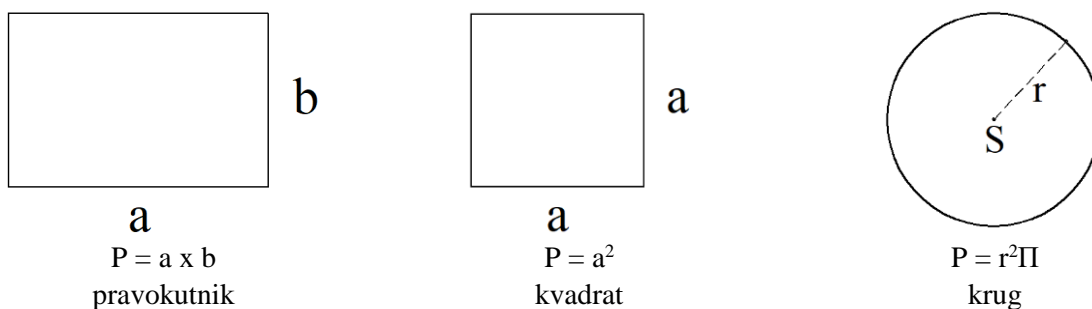
### 4.1. Općenito

Statički proračun rađen je kao dio „*Glavnog projekta rekonstrukcije nosive konstrukcije dijela palače*“ izrađenog od strane tvrtke LOKOŠEK PROJEKT d.o.o. za projektiranje, consulting i usluge, Zagreb, T.D. 2/06, od prosinca 2006. godine. U sklopu projekta rađen je trodimenzionalni model palače definiran na temelju arhitektonskog snimka palače. Trodimenzionalni model palače izrađen je od strane tvrtke “Omega Engineering” d.o.o. iz Dubrovnika, prema tadašnjoj konfiguraciji nosive konstrukcije, koristeći se uz to podacima iz “*Izvještaja o rezultatima konzervatorsko-restauratorskih istraživanja žbukanih i obojenih slojeva na trima razinama (prizemlju, međukatu i katu) u jugoistočnom i jugozapadnom krilu palače u kompleksu Staroga grada u Čakovcu*”, kojega je izradio Hrvatski restauratorski zavod, knjiga 1. i 2., voditelj radova Ivan Srša, prof. Unatoč opsežnim konzervatorsko - restauratorskim i arheološkim istraživanjima u modelu se nije moglo u potpunosti simulirati sve veze između pojedinih, međusobno spojenih dijelova, jer je tek nekoliko sondi utvrdilo stvarni način njihovog povezivanja. Mnogobrojne dogradnje, adaptacije i druge promjene koje su se stoljećima događale na palači, nemoguće je u cijelosti utvrditi i ugraditi u model.

Na trodimenzionalnom modelu provedena je analiza ponašanja zidane konstrukcije pod djelovanjem vertikalnog i horizontalnog opterećenja. Analiza drvenih stropnih konstrukcija prizemlja, međukata, 1. i 2. kata provedena je na parcijalnim modelima jednopoljnih i kontinuiranih greda te grednih roštilja, ovisno o načinu izvedbe pojedinih stropova. Stropne konstrukcije proračunate su na djelovanje propisanog opterećenja za sve slojeve poda, te s pokretnim opterećenjem od  $2,0 \text{ kN/m}^2$ , za pod 2. kata i  $0,75 \text{ kN/m}^2$ , za pod potkrovlja. Provjeravani su karakteristični modeli za obje stropne konstrukcije (drvenu i zidanu stropnu konstrukciju). Horizontalne i vertikalne reakcije na zidove hodnika postavljene su kao opterećenja obodnih, rubnih zidova hodnika na mjestima peta svodova. Vertikalna opterećenja svodova od nasipa šute, podnih slojeva i pokretnog opterećenja modelirana su kao volumeni oslonjeni na svodne plohe ispod njih, na koje se prenose samo vertikalna opterećenja. Opterećenja drvenih grednika stropova 1. i 2. kata kod vertikalnih opterećenja postavljena su na zidove. Podne sonde nisu pokazale postojanje zatega, pa se u modelu postojećeg stanja one nisu ni ugrađivale.

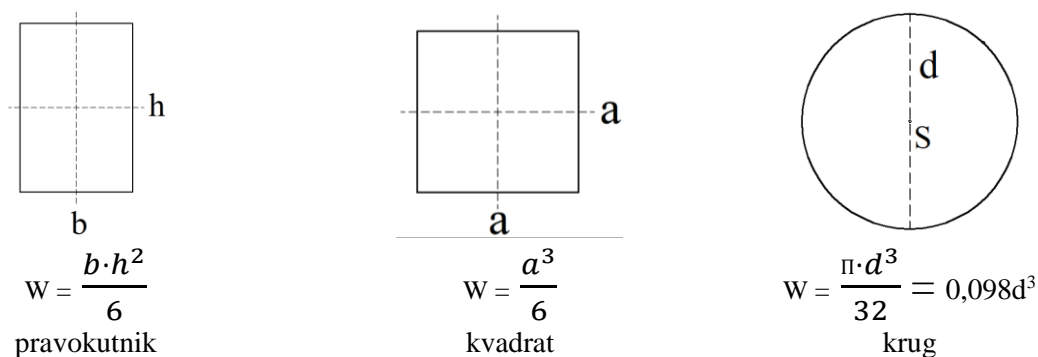
Za proračun su nam potrebni slijedeći podaci:

- Površina poprečnog presjeka – A [m<sup>2</sup>]



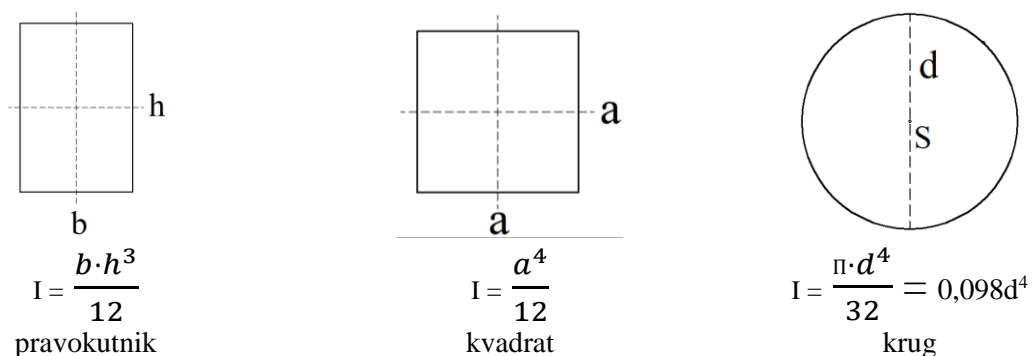
Tablica 4.1 Formula za izračun površine poprečnog presjeka karakterističnih elemenata

- Moment otpora – W [m<sup>3</sup>]



Tablica 4.2 Formula za izračun momenta otpora karakterističnih elemenata

- Moment tromosti – I [m<sup>4</sup>]



Tablica 4.3 Formula za izračun momenta tromosti karakterističnih elemenata

Prilikom izračuna graničnog stanja deformacija potrebno je dokazati da je deformacija (progib) izazvana vanjskim djelovanjem manja od granične, dok je kao graničan, odnosno maksimalno dozvoljeni progib definiran kao L/300 (granični dozvoljeni progib za stropne konstrukcije).



Konstrukcija	$v_g$	$v_{2g}$
krovovi	L/200	L/300
pristupačni krovovi za drugu namjenu osim održavanja	L/250	L/300
stropovi	L/250	L/300
stropovi/krovovi sa žbukom ili drugim krhkim završnim slojevima ili nesavitljivim pregradama	L/250	L/250
stropovi koje podupiru stupovi (osim ako je progib uzet u obzir u sklopu proračuna za granično stanje nosivosti)	L/400	L/500
kada $v_g$ može narušiti izgled zgrade	L/250	-

Tablica 4.4 Granični dozvoljeni progib

Dopuštena naprezanja definirana su zakonskom regulativom.

OSNOVNI DOPUŠTENI NAPONI $\sigma$ [N/cm <sup>2</sup> ]		Monolitno drvo W=18%					Lepljeno lamelirano drvo W=15%			
VRSTE NAPREZANJA	Oznaka	Četinari (evropski)			Hrast Bukva		Četinari		Hrast Bukva	
		Klasa			Klasa		Klasa		Klasa	
		I	II	III	I	II	I	II	I	II
1. SAVIJANJE	$\sigma_{md}$	1300	1000	700	1400	1200	1400	1100	1620	1370
2. ZATEZANJE	$\sigma_{tjd}$	1050	850	0	1150	1000	1050	850	1800	1080
3. PRITISAK	$\sigma_{cjd}$	1100	850	600	1200	1000	1100	850	1500	1200
4. PRITISAK UPRAVNO NA VLAKNA	$\sigma_{e1d}$	200 250*	200 250*	300 250*	300 400*	300 400*	200 250*	200 250*	490	430
5. SMICANJE	$\tau_{e1d}$	90	90	90	120	120	90	90	150	150
6. SMICANJE OD T SILA	$\tau_{m1d}$	90	90	90	120	120	120	120	130	110
7. PRESECANJE VLAKANA	$\tau_{1d}$	350	300	250	400	350	350	300	250	400

Tablica 4.5 Dopuštena naprezanja za drvo

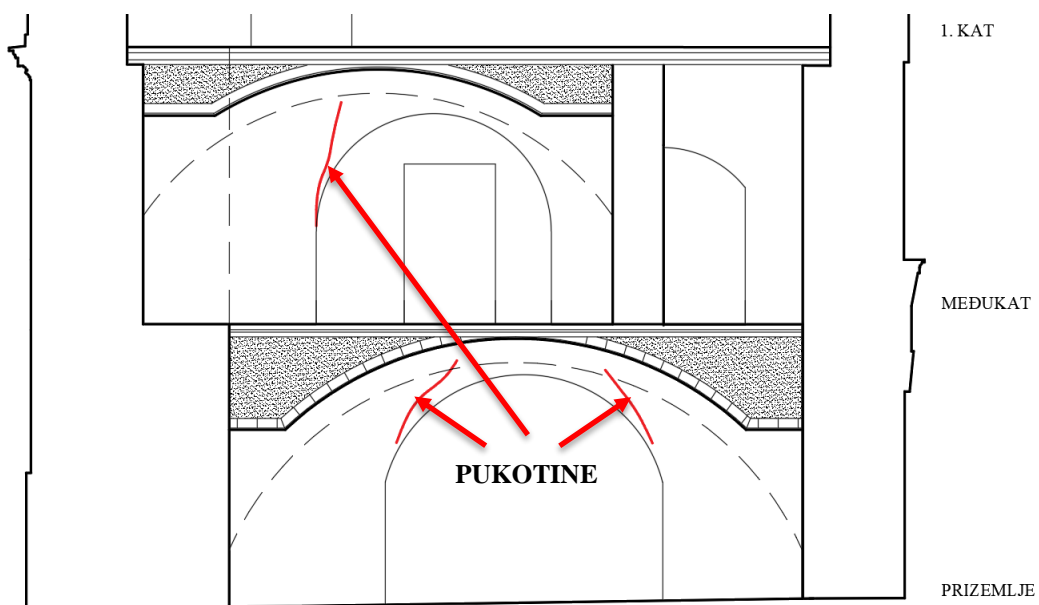
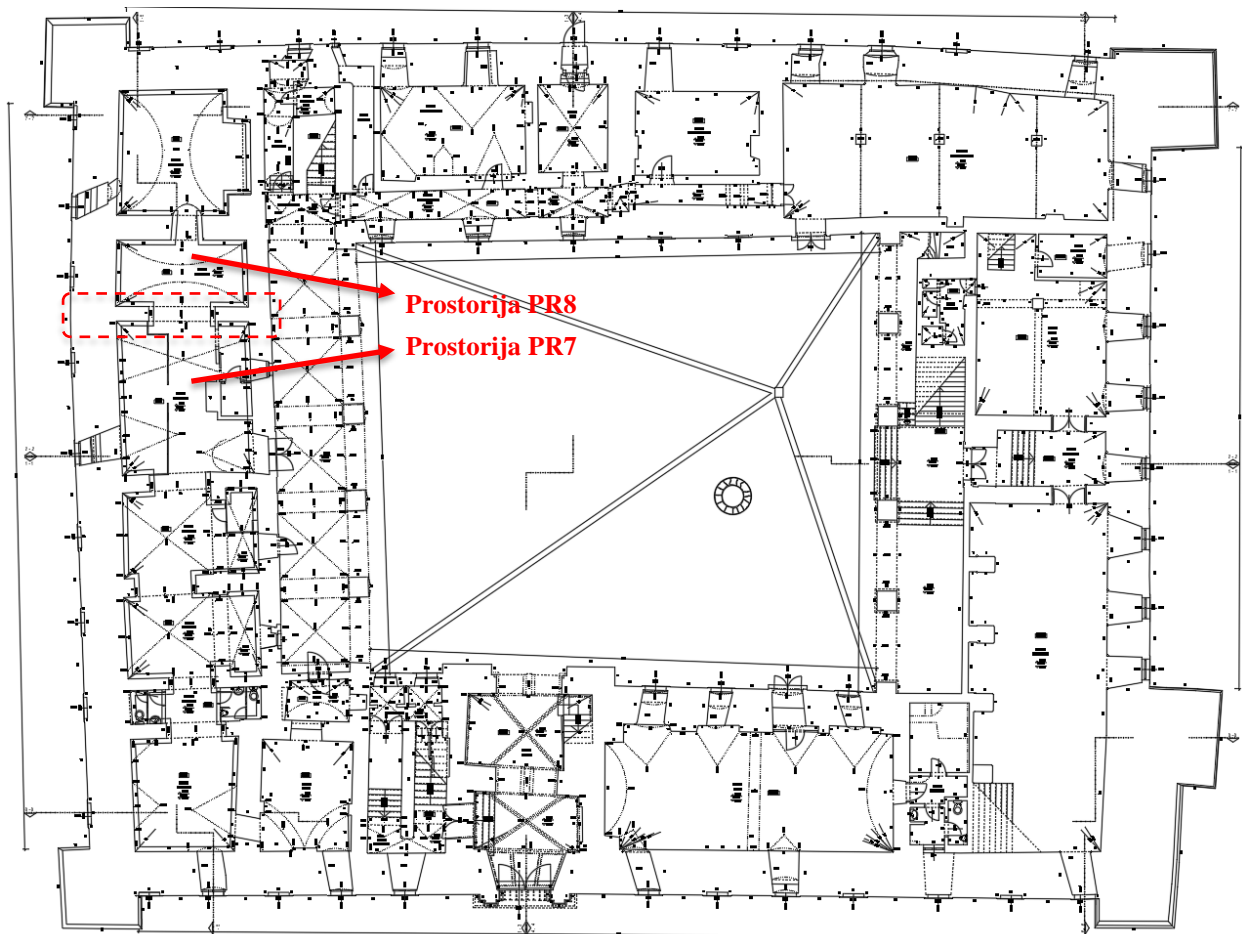
Čelični limovi koji se ugrađuju kao ojačanja za drvene grede su iz čelika S235 za koji dopušteno naprezanje iznosi  $\sigma_{dop} = 160 \text{ MPa} = 160 \text{ N/mm}^2$ .

$$\sigma_{dop} = \frac{\text{granica razvlačenja}}{\text{faktor sigurnosti}} = \frac{240 \text{ N/mm}^2}{1,5} = 160 \text{ N/mm}^2$$



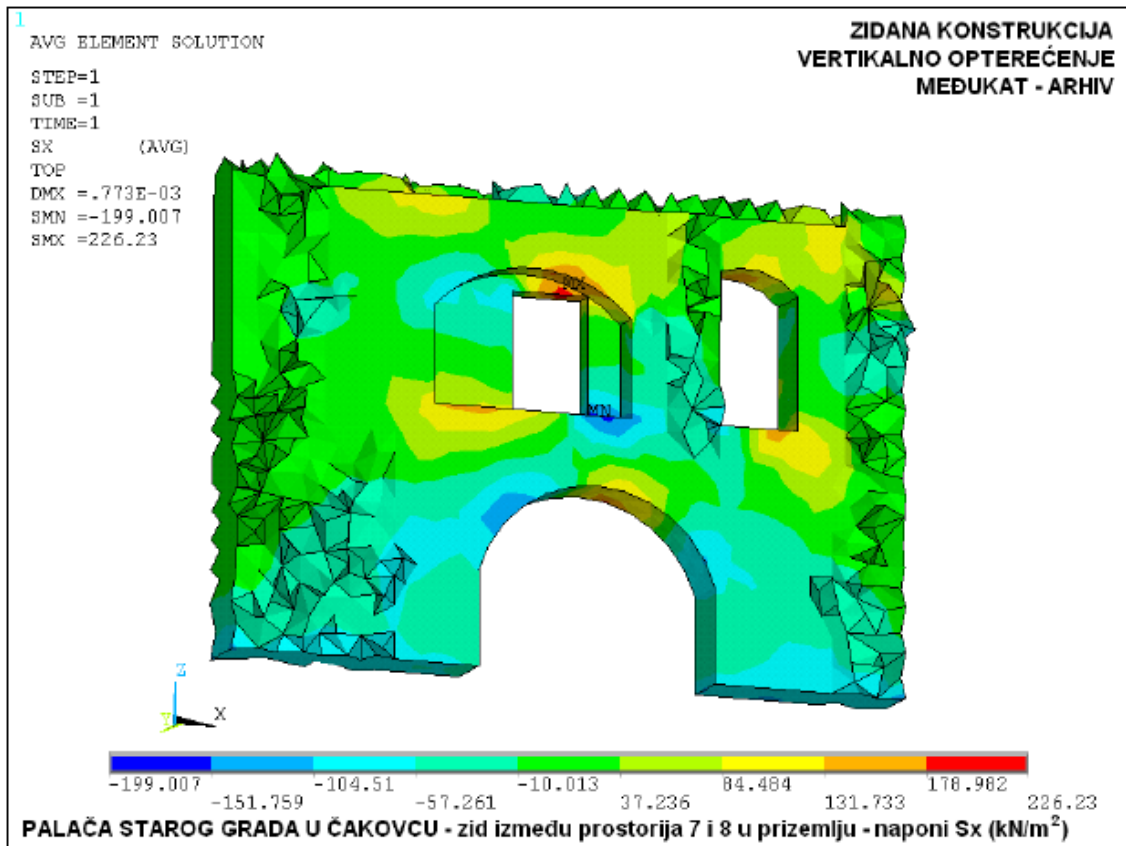
## 4.2. Vertikalni dijelovi nosive konstrukcije: VANJSKI ZIDOVI

Kroz proračun je analizirani pregradni zid između prostorija PR7 i PR8 u prizemlju Palače.

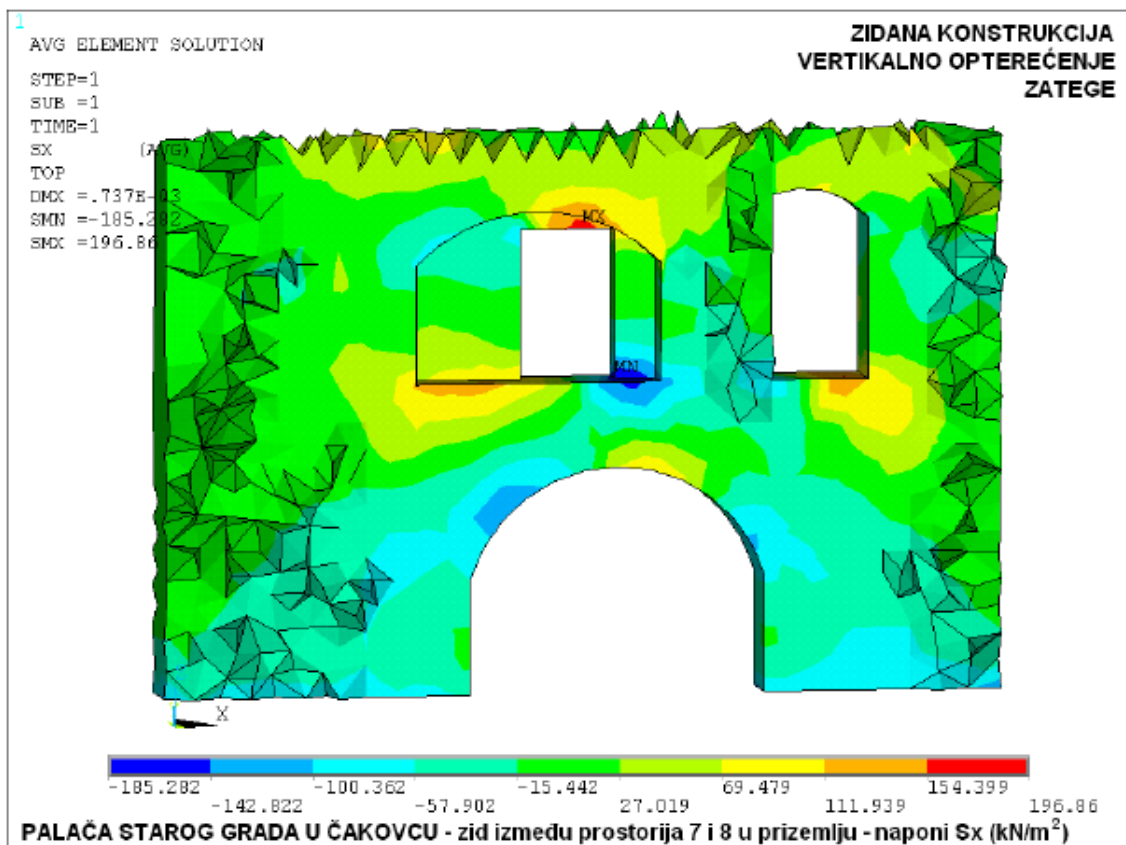


Slika 4.1 Pukotine na pregradnom zidu između prostorija PR7 i PR8 u prizemlju

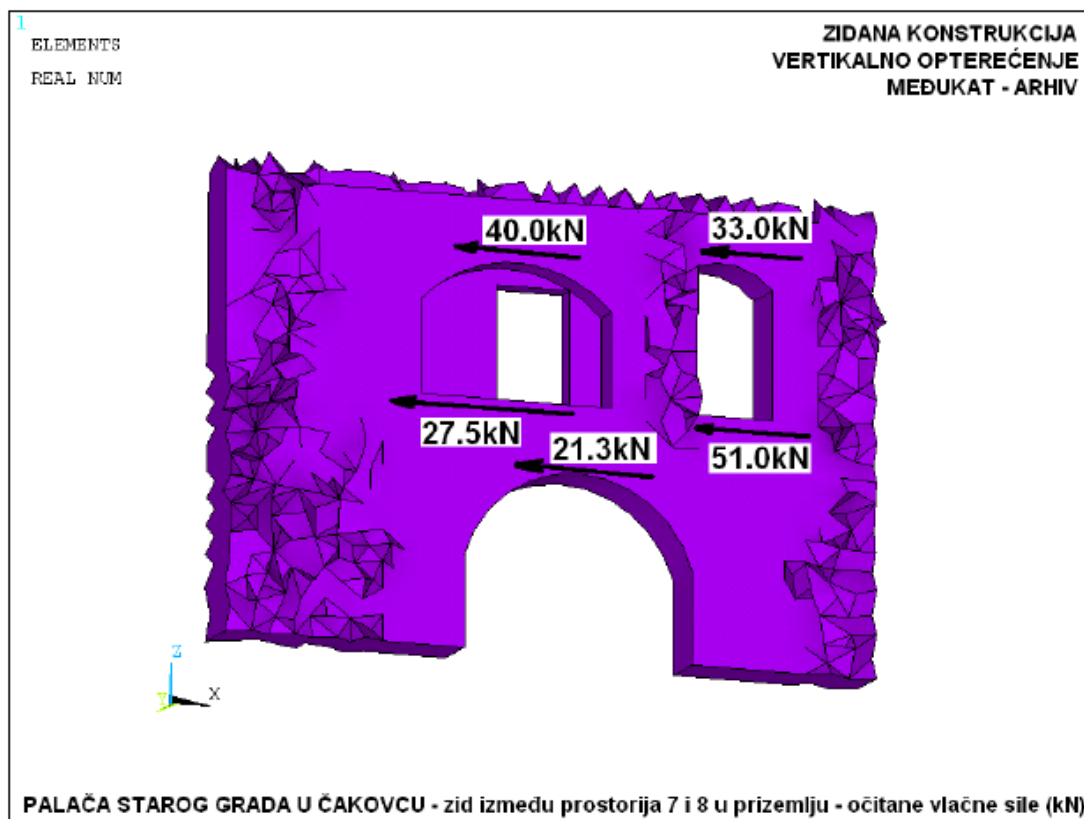
### Postojeće stanje:



### Novi model sa zategama:



Vlačni naponi u modelu ojačanom zategama na kritičnim mjestima  smanjeni su za 15% u odnosu na model postojećeg stanja.



Na mjestima prekoračenja dozvoljenih naprezanja predviđa se ugraditi karbonska traka.

Karakteristike karbonske trake:

debljina trake,  $d = 0,245 \text{ mm}$

širina trake,  $h = 100 \text{ mm}$

nosiva površina trake,  $A = 24,5 \text{ mm}^2$

nosivost trake:

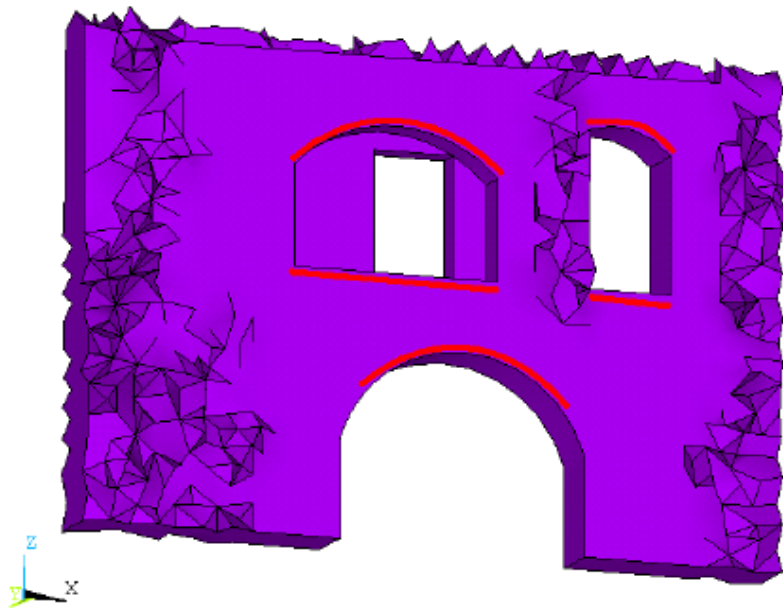
$$R = 4900 \text{ N/mm}^2 \times 24,5 \text{ mm}^2 = 120\,050 \text{ N} = 120,05 \text{ kN}$$


dopušteno opterećenje (uz koeficijent sigurnosti 1,5 do 3 = 2,25)

$$R_{dop} = \frac{120,05}{2,25} = 53,40 \text{ kN}$$

1  
ELEMENTS  
REAL NUM

ZIDANA KONSTRUKCIJA



 ojačanje karbonskim trakama

PALAČA STAROG GRADA U ČAKOVCU - zid između prostorija 7 i 8 u prizemlju

### 4.3. Horizontalni dijelovi nosive konstrukcije: DRVENI GREDNICI

#### Analiza za vertikalno opterećenje

Za vertikalno opterećenje napravljena je analiza postojećeg stanja podnih konstrukcija.

Podne konstrukcije - opterećenje

pretpostavljeni slojevi stropne konstrukcije 2. kat :

1. Tavele 4 – 5 cm	0,80 kN/m <sup>2</sup>
2. Šuta 10 cm	1,40 kN/m <sup>2</sup>
3. Daske 2 cm	0,20 kN/m <sup>2</sup>
4. Daske + žbuka	0,40 kN/m <sup>2</sup>
5. Korisno opterećenje	0,75 kN/m <sup>2</sup>
<hr/>	
Ukupno:	3,55 kN/m <sup>2</sup>

pretpostavljeni slojevi stropne konstrukcije 1. kata, međukata i prizemlja :

1. Parket	0,20 kN/m <sup>2</sup>
2. Daske	0,20 kN/m <sup>2</sup>
3. Šuta	1,40 kN/m <sup>2</sup>
4. Daske	0,20 kN/m <sup>2</sup>
5. Žbuka	0,40 kN/m <sup>2</sup>
6. Korisno opterećenje	2,00 kN/m <sup>2</sup>
<hr/>	
Ukupno:	4,40 kN/m <sup>2</sup>

Sva građa pretpostavljena je kvalitete:

- hrast II klase, za koji maksimalno dopuštena \*naprezanja iznose:

$$\sigma_{\text{dop}} = 1200 \text{ N/cm}^2$$

$$\tau_{\text{dop}} = 120 \text{ N/cm}^2$$

\* Vrijednosti maksimalno dopuštenih naprezanja preuzete iz *Tablice 4.5. Dopuštena naprezanja za drvo.*

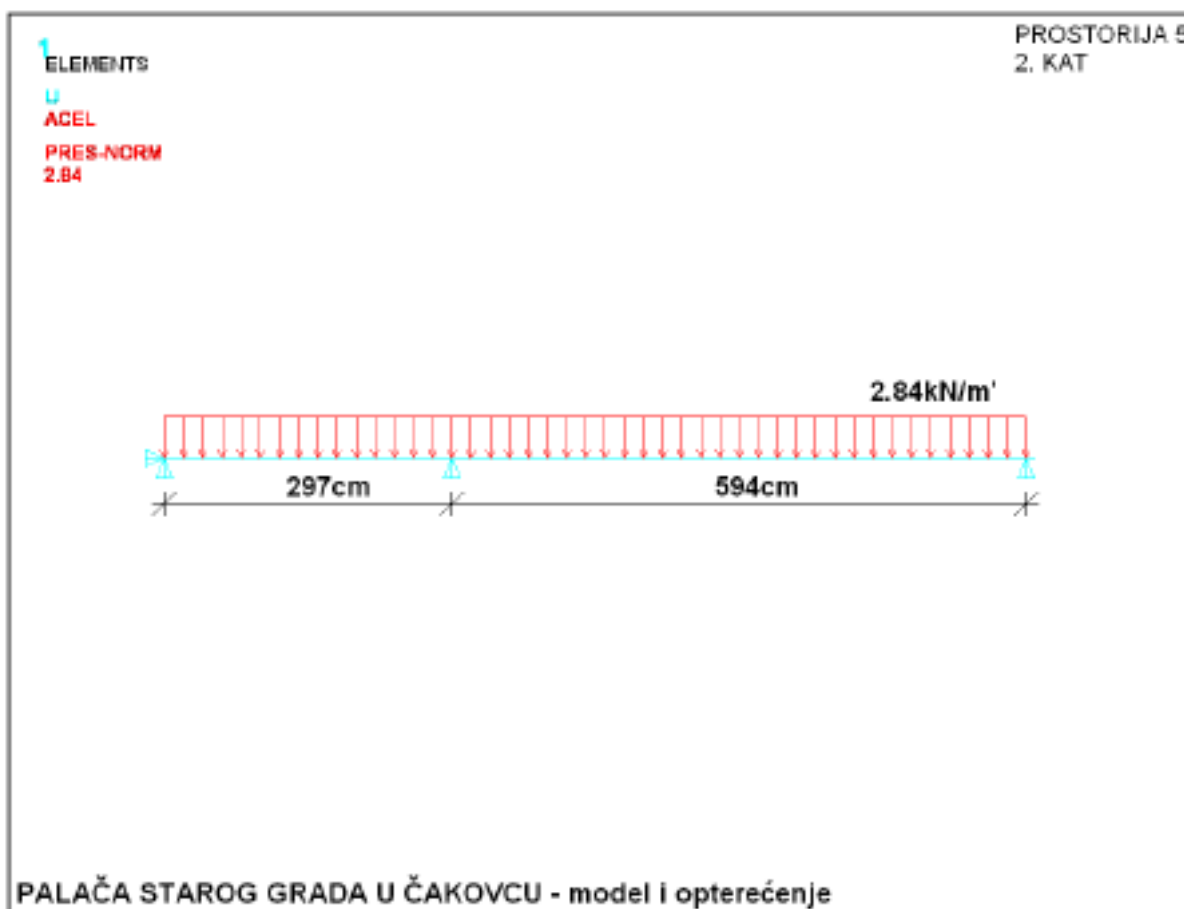
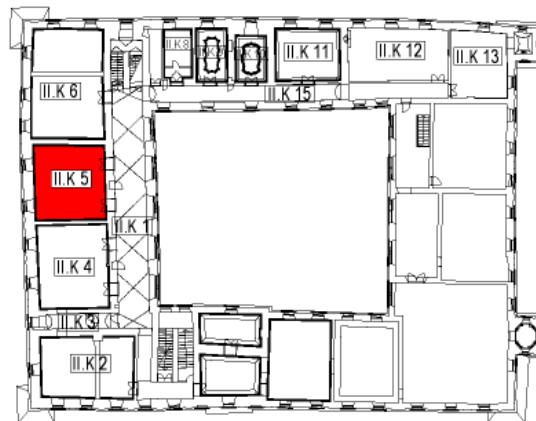
## Strop 2. kata – PROSTORIJA II K 5

- stropna konstrukcija s drvenim gredama dimenzija 20/26 cm postavljenim na razmaku od 80 cm

$$A = 20 \times 26 = 520 \text{ cm}^2$$

$$W = \frac{20 \times 26^2}{6} = 2.253,3 \text{ cm}^3$$

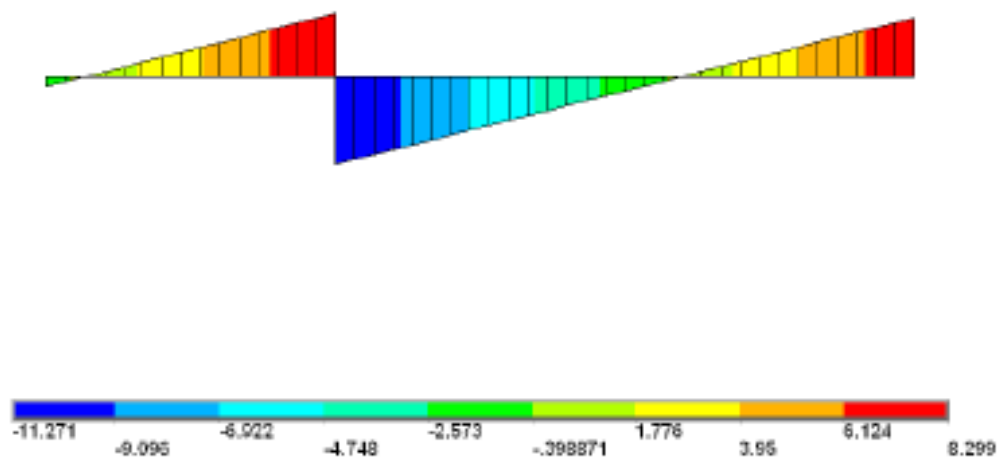
$$q = 3,55 \times 0,8 = 2,84 \text{ kN/m'}$$



1  
LINE STRESS

PROSTORIJA 5  
2. KAT

STEP=1  
SUB =1  
TIME=1  
FZ FZJ  
MIN=-11.271  
ELEM=16  
MAX=8.299  
ELEM=15

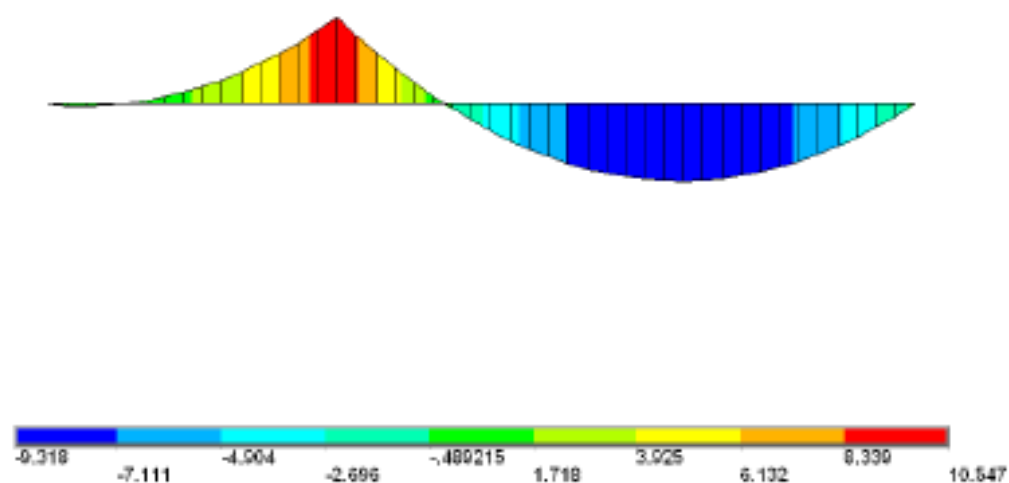


PALAČA STAROG GRADA U ČAKOVCU - poprečne sile  $F_z$  (kN)

1  
LINE STRESS

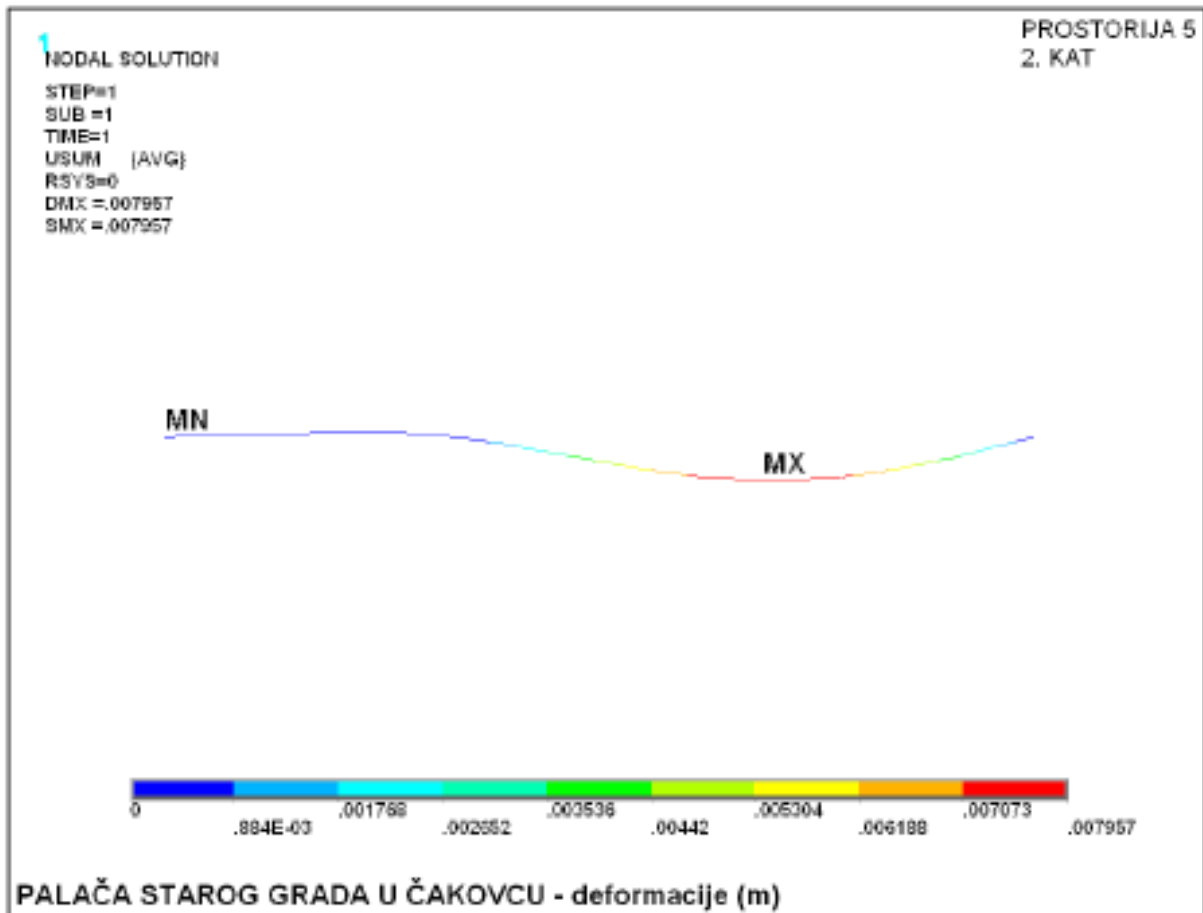
PROSTORIJA 5  
2. KAT

STEP=1  
SUB =1  
TIME=1  
MYI MYJ  
MIN=-9.318  
ELEM=33  
MAX=10.547  
ELEM=16



PALAČA STAROG GRADA U ČAKOVCU - momenti savijanja  $M_y$  (kNm)





$$f = 0,80 \text{ cm} < f_{\text{dop}} = \frac{l}{300} = \frac{594}{300} = 1,98 \text{ cm}$$

$$M = 10,547 \text{ kNm} = 1.054.700 \text{ Ncm}$$

$$T = 11,271 \text{ kN} = 11.271 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{1054700 \text{ Ncm}}{2253,3 \text{ cm}^3} = 468,1 \text{ N/cm}^2 < \sigma_{\text{dop}}$$

ZADOVOLJAVA

$$\tau = \frac{1,5 \times T}{A} = \frac{1,5 \times 11271 \text{ N}}{520 \text{ cm}^2} = 32,5 \text{ N/cm}^2 < \tau_{\text{dop}}$$

ZADOVOLJAVA

## Strop 1. kata – PROSTORIJA I K 9

- stropna konstrukcija s drvenim gredama dimenzija 20/24 cm postavljenim na razmaku od 72 cm i poprečnom gredom dimenzija 38/30 cm

grede 20/24 cm

$$A = 20 \times 24 = 480 \text{ cm}^2$$

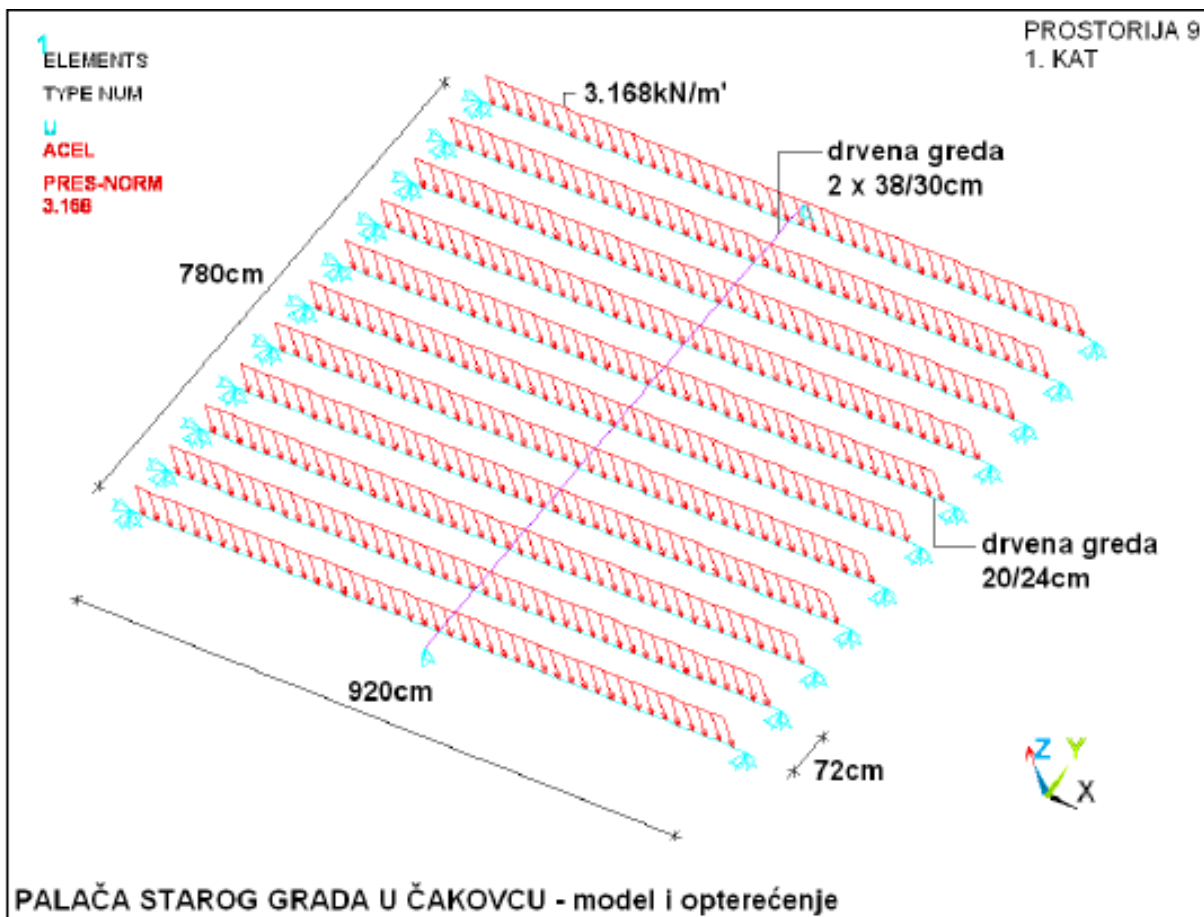
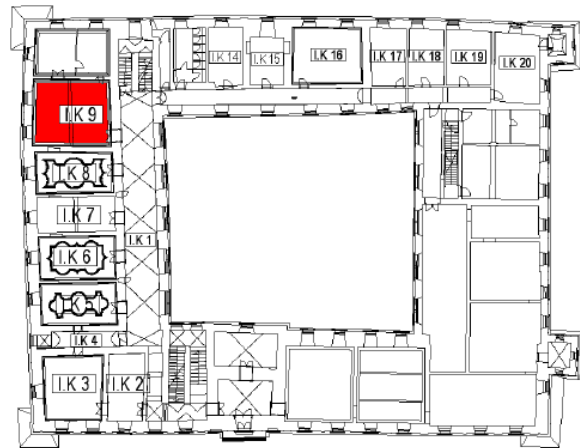
$$W = \frac{20 \times 24^2}{6} = 1.920 \text{ cm}^3$$

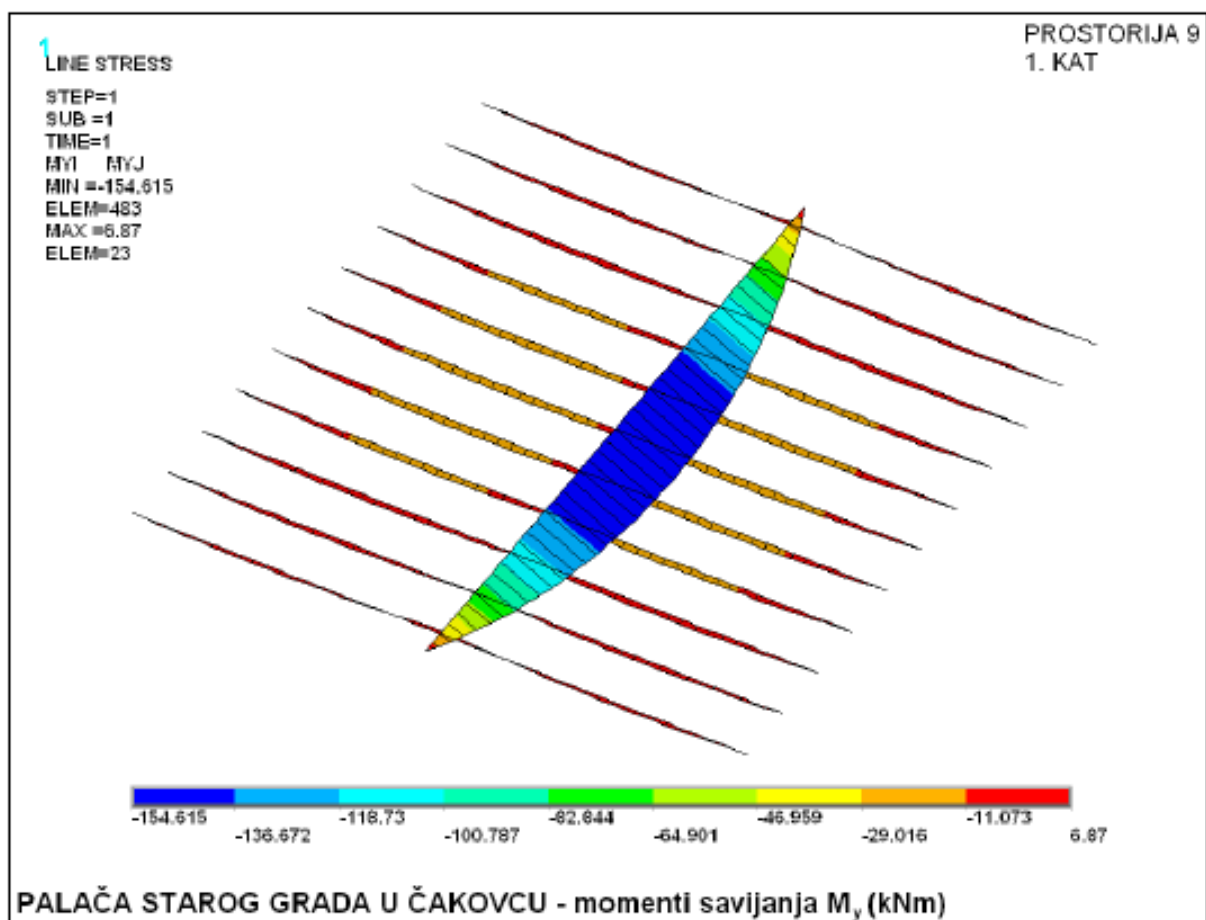
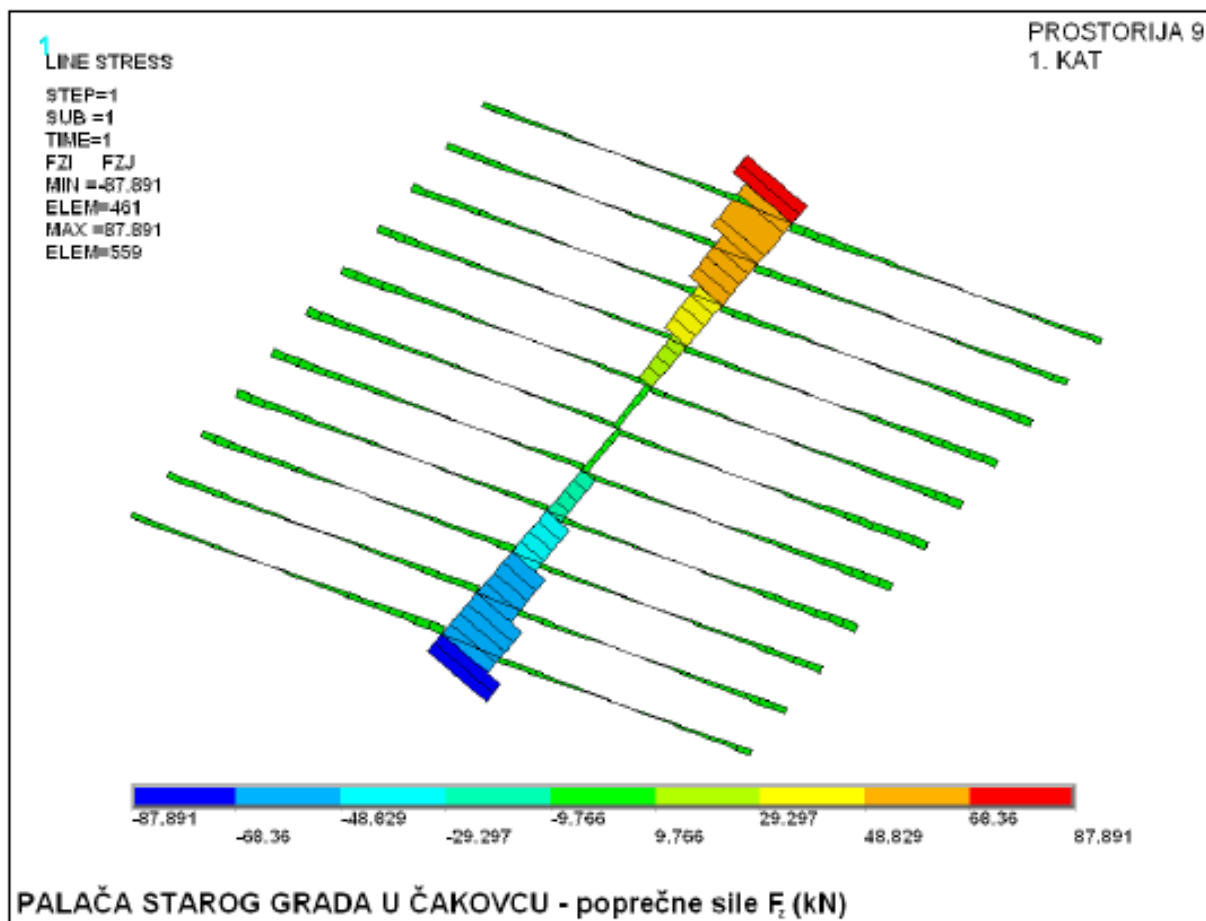
grede 2x38/30 cm

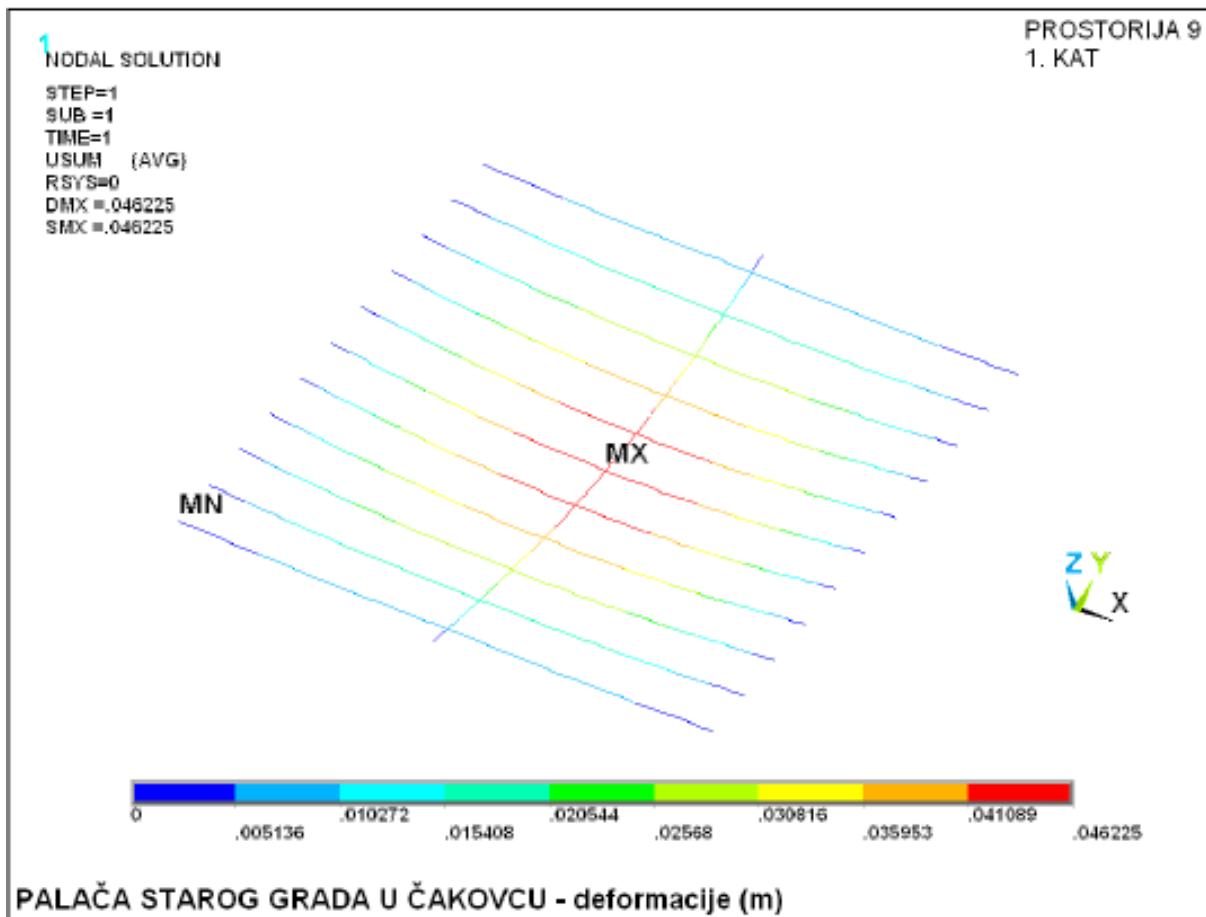
$$A = 2 \times 38 \times 30 = 2.280 \text{ cm}^2$$

$$W = 2 \times \frac{38 \times 30^2}{6} = 11.400 \text{ cm}^3$$

$$q = 4,40 \times 0,72 = 3,168 \text{ kN/m'}$$







$$f = 4,62 \text{ cm} < f_{\text{dop}} = \frac{l}{300} = \frac{780}{300} = 2,60 \text{ cm}$$

greda 20/24 cm

$$M = 14,657 \text{ kNm} = 1.465.700 \text{ Ncm}$$

$$T = 9,524 \text{ kN} = 9.524 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{1465700}{1920} = 763,4 \text{ N/cm}^2 < \sigma_{\text{dop}}$$

ZADOVOLJAVA

$$\tau = \frac{1,5 \times T}{A} = \frac{1,5 \times 9524}{480} = 29,8 \text{ N/cm}^2 < \tau_{\text{dop}}$$

ZADOVOLJAVA

greda 2x30/38 cm

$$M = 154,615 \text{ kNm} = 15.461.500 \text{ Ncm}$$

$$T = 87,891 \text{ kN} = 87.891 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{15461500}{11400} = 1.356,3 \text{ N/cm}^2 > \sigma_{\text{dop}}$$

NE ZADOVOLJAVA

$$\tau = \frac{1,5 \times T}{A} = \frac{1,5 \times 87891}{2280} = 57,8 \text{ N/cm}^2 < \tau_{\text{dop}}$$

ZADOVOLJAVA

## Strop prizemlja – PROSTORIJA PR14

- međukatna konstrukcija s drvenim gredama dimenzija 16/26 cm postavljenim na razmaku od 75,6 cm i poprečnom drvenom gredom dimenzija 2x26/20 cm

$$A = 16 \times 26 = 416 \text{ cm}^2$$

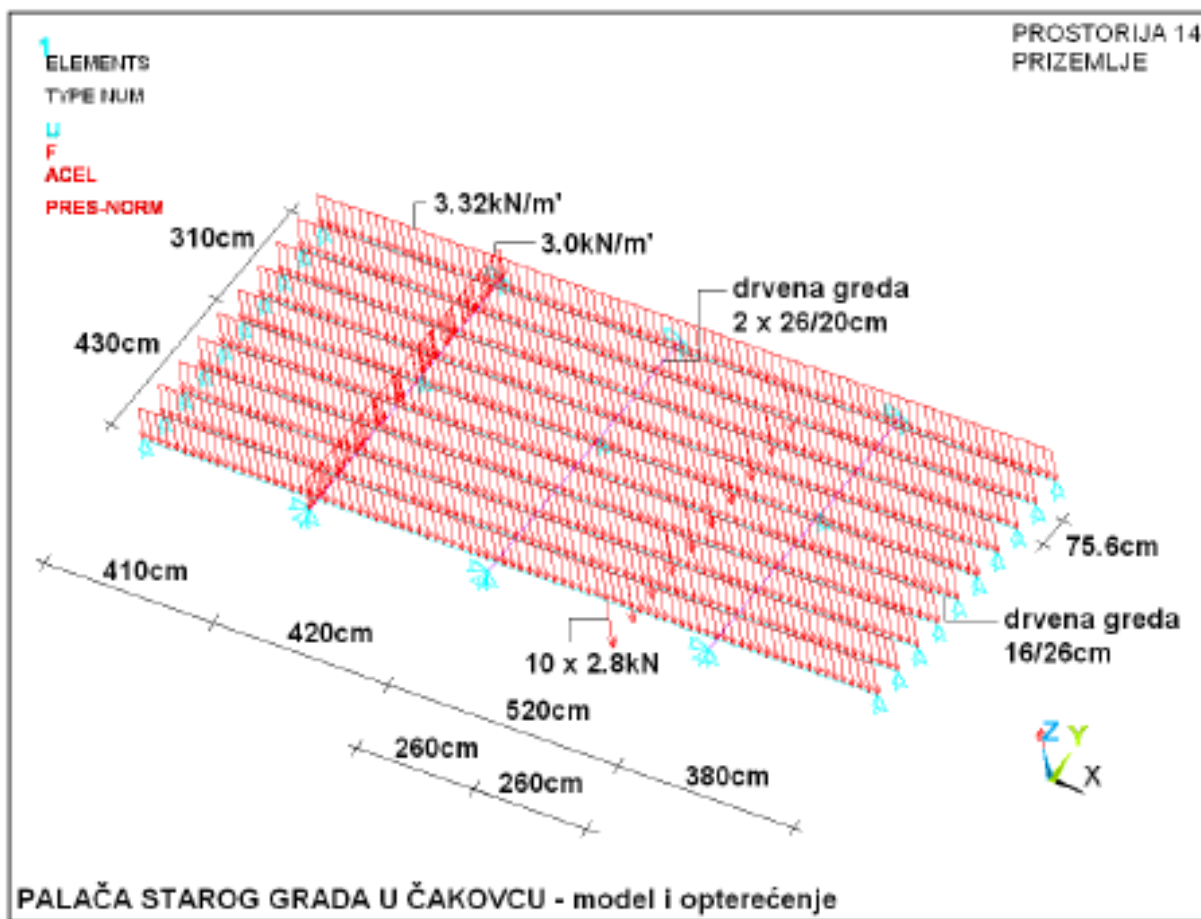
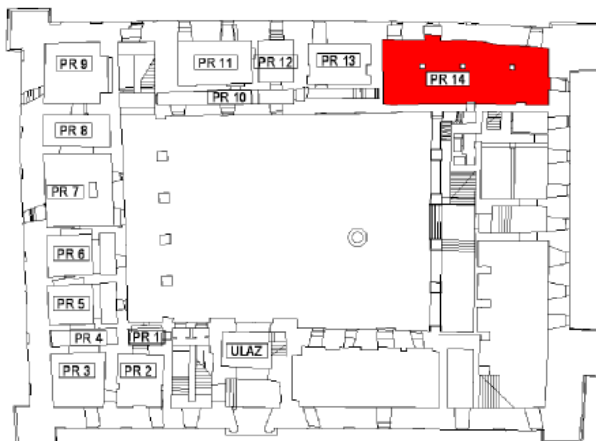
$$W = \frac{16 \times 26^2}{6} = 1.802,70 \text{ cm}^3$$

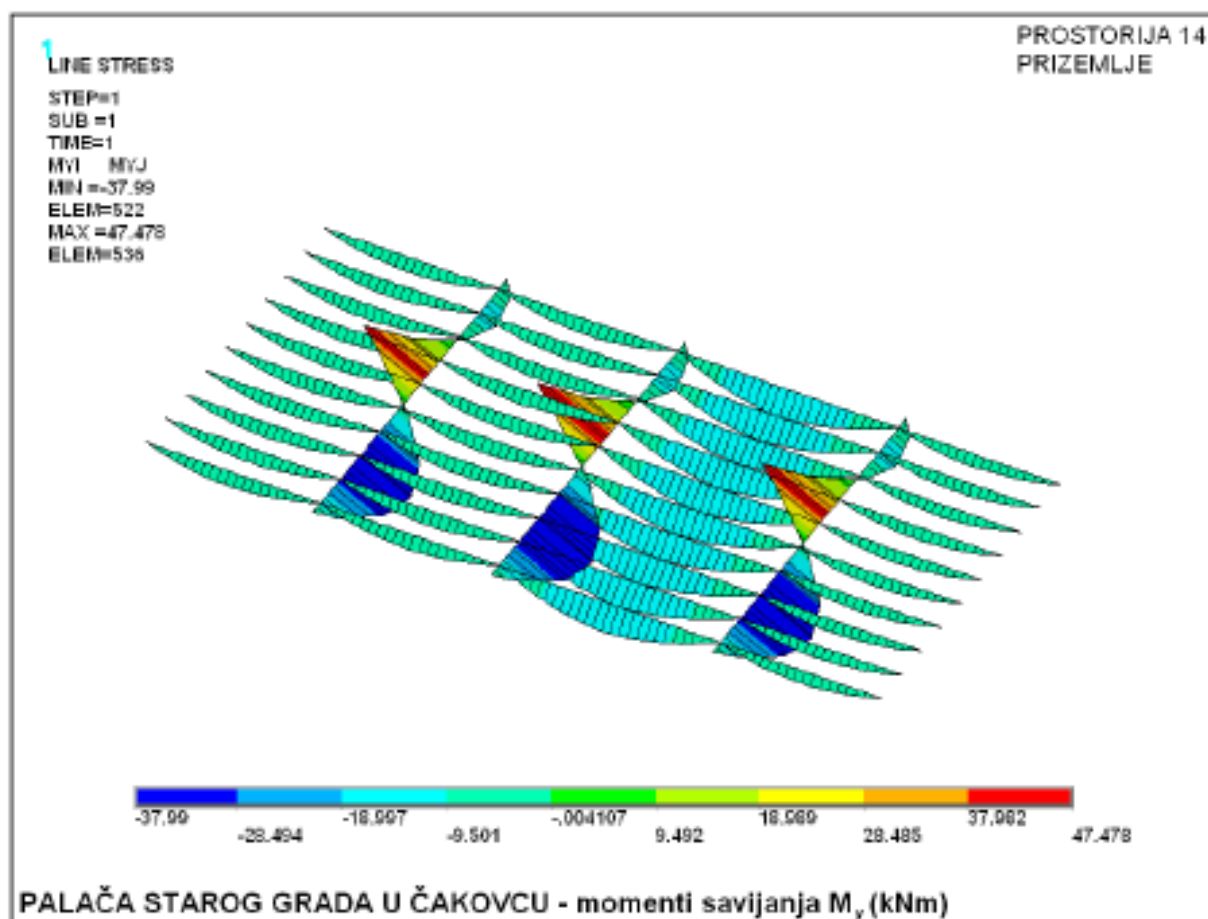
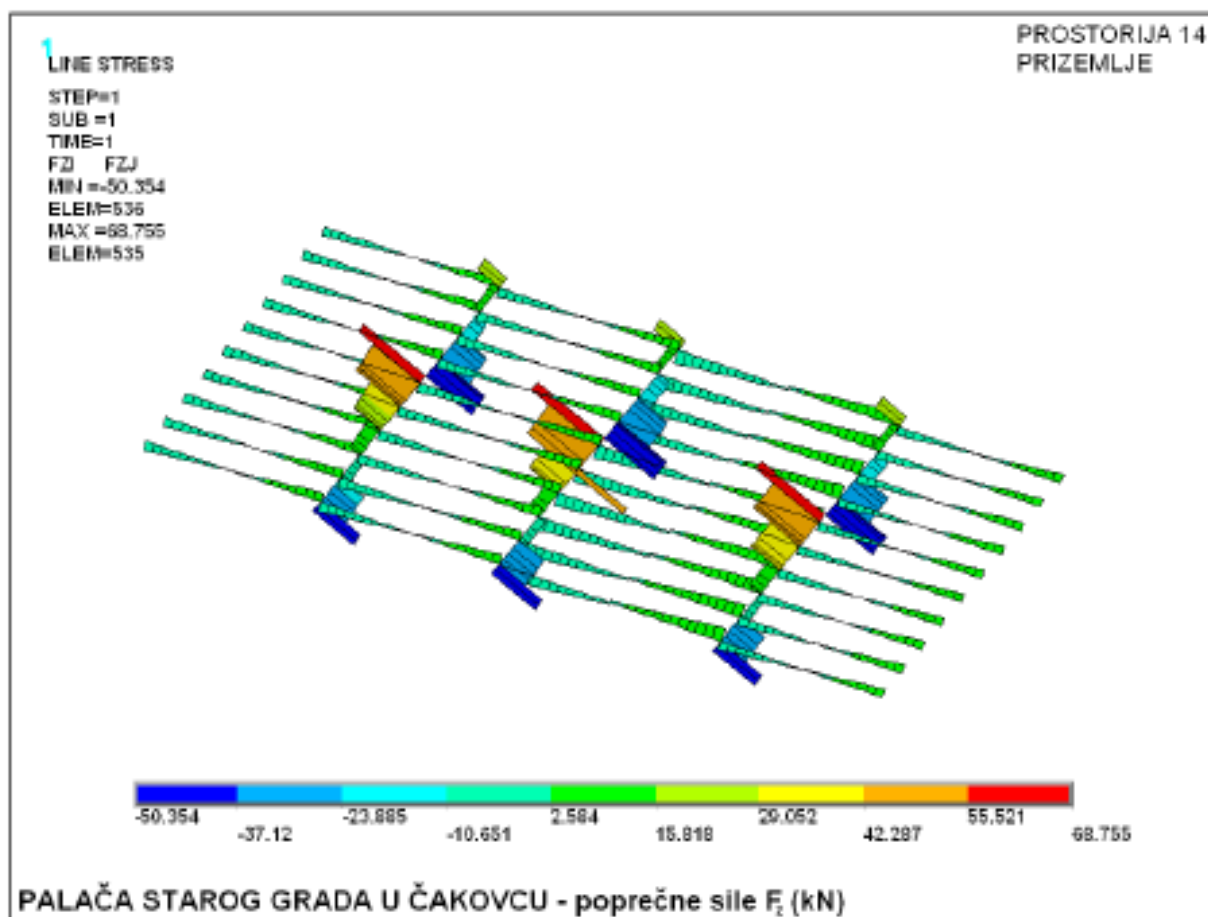
- drvena greda dimenzija 2 x 26/20 cm

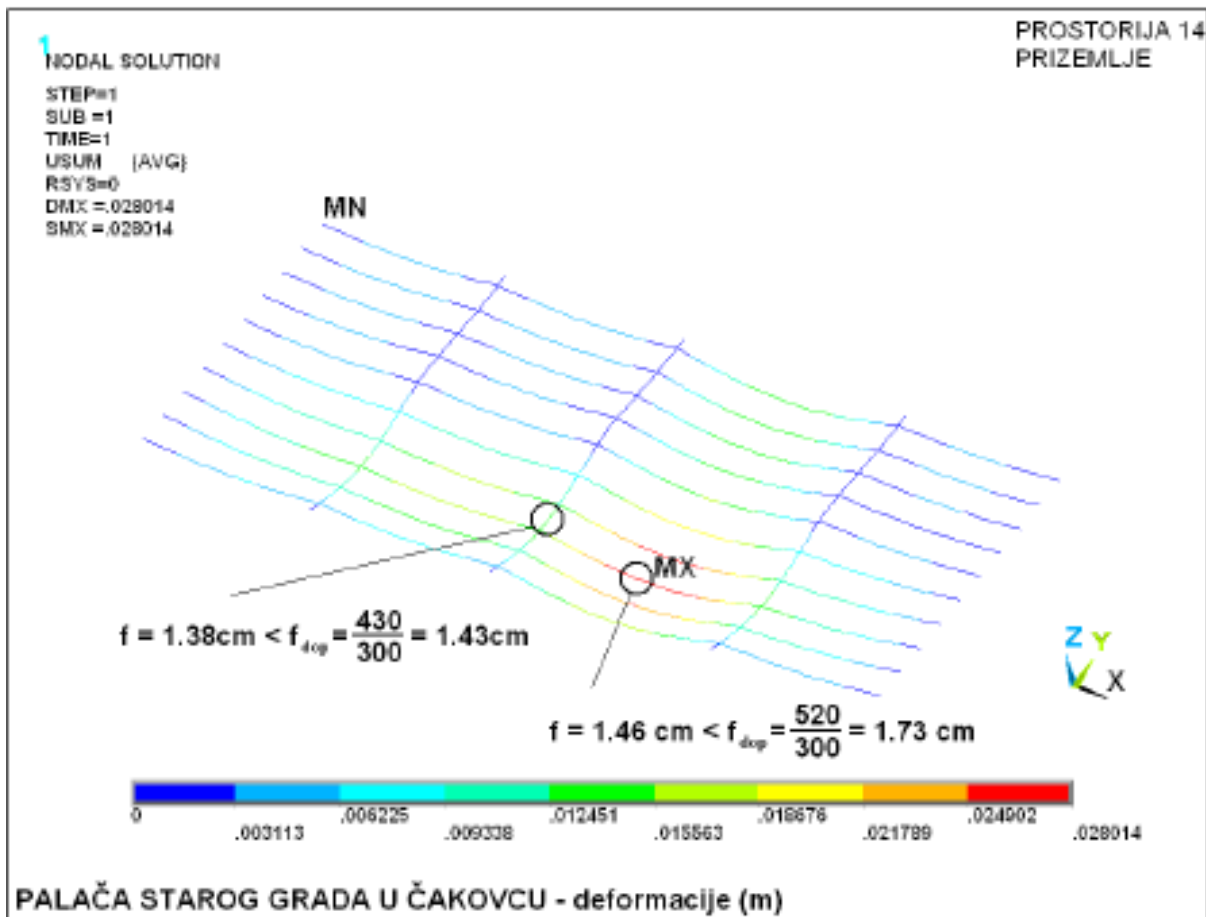
$$A = 2 \times 26 \times 20 = 1.040 \text{ cm}^2$$

$$W = 2 \times \frac{26 \times 20^2}{6} = 3.466,70 \text{ cm}^3$$

$$q = 4,40 \times 0,756 = 3,32 \text{ kN/m'}$$







$$f = 1,38 \text{ cm} < f_{dop} = \frac{l}{300} = \frac{430}{300} = 1,43 \text{ cm}$$

$$f = 1,46 \text{ cm} < f_{dop} = \frac{l}{300} = \frac{520}{300} = 1,73 \text{ cm}$$

greda 16/26 cm

$$M = 15,827 \text{ kNm} = 1.582.700 \text{ Ncm}$$

$$T = 10,775 \text{ kN} = 10.775 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{1582700}{1802,7} = 878,00 \text{ N/cm}^2 < \sigma_{dop}$$

ZADOVOLJAVA

$$\tau = \frac{1.5 \times T}{A} = \frac{1.5 \times 10775}{416} = 38,90 \text{ N/cm}^2 < \tau_{dop}$$

ZADOVOLJAVA

greda 2 x 26/20 cm

$$M = 47,478 \text{ kNm} = 4.747.800 \text{ Ncm}$$

$$T = 68,755 \text{ kN} = 68.755 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{4747800}{3466,7} = 1.369,50 \text{ N/cm}^2 > \sigma_{dop}$$

NE ZADOVOLJAVA

$$\tau = \frac{1.5 \times T}{A} = \frac{1.5 \times 68755}{1040} = 99,20 \text{ N/cm}^2 < \tau_{dop}$$

ZADOVOLJAVA



## Ojačanje stropnih konstrukcija

Obzirom je proračunom utvrđeno da stropna konstrukcija 1. kata na dijelu prekoračuje dopuštene granice naprezanja predviđa se ojačanje drvenih greda 2x38/30 cm s čeličnim limovima 2x20/400 mm u stropu 1. kata, prostorija 9.

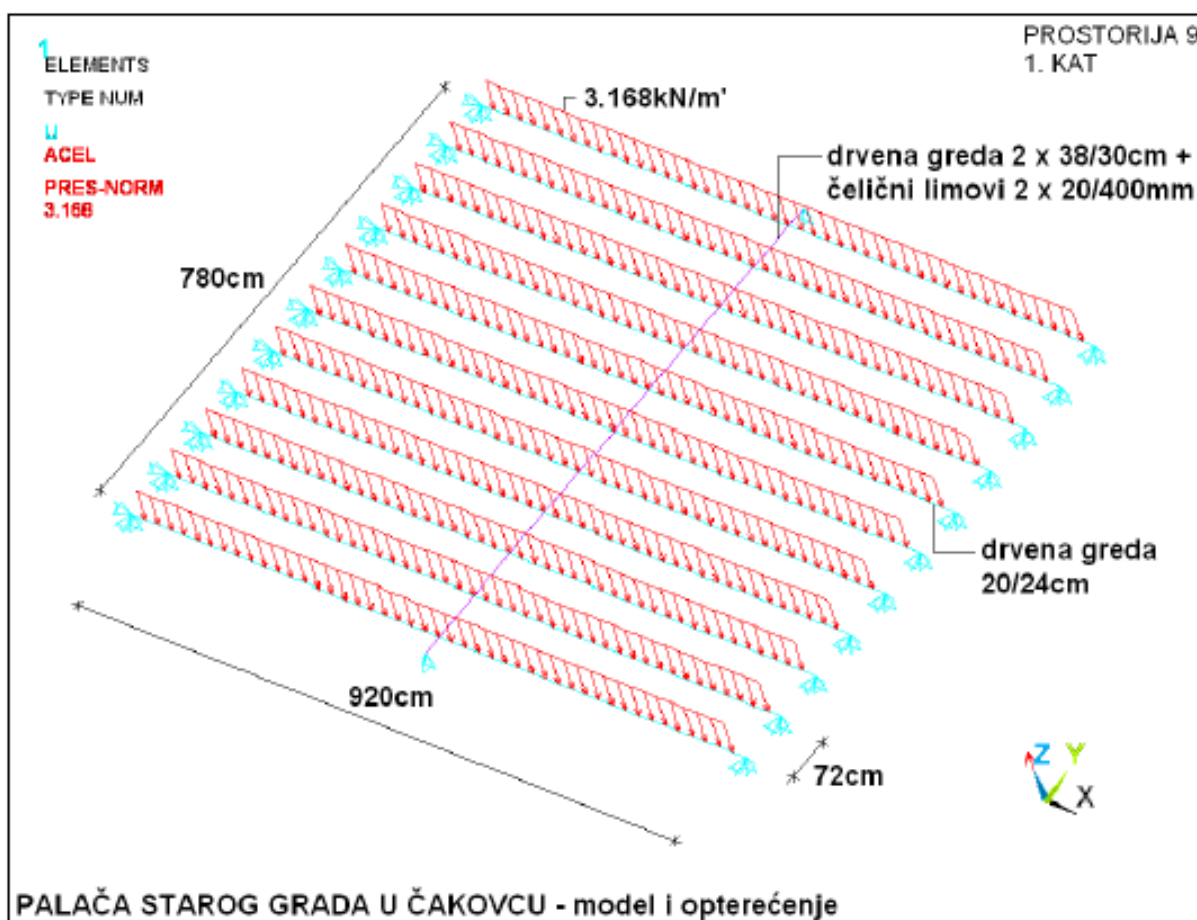
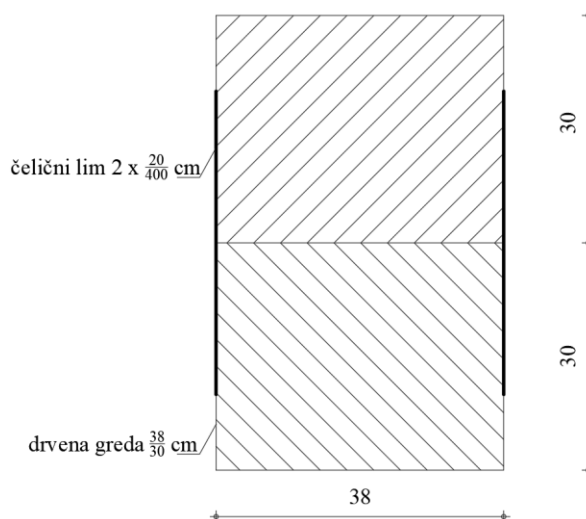
### Strop 1. kata – PROSTORIJA I K 9

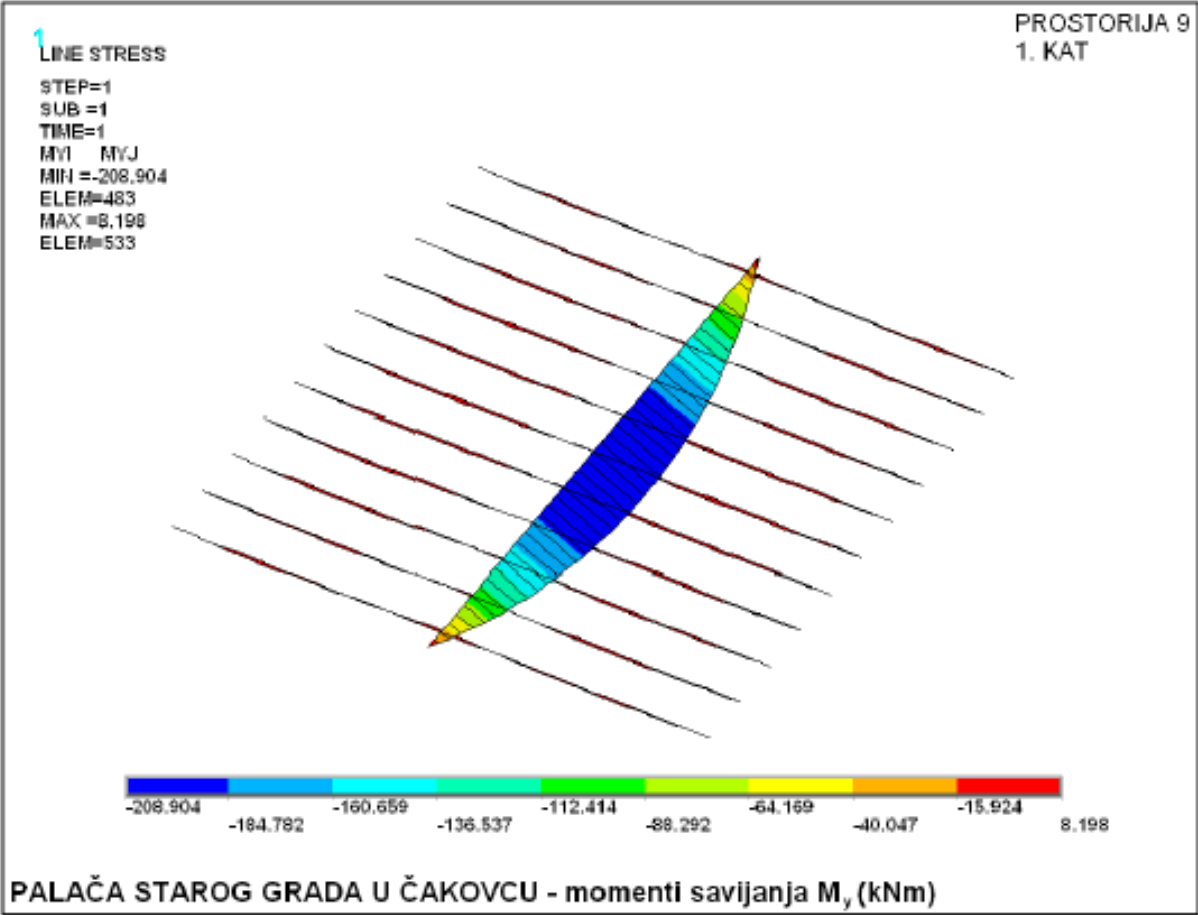
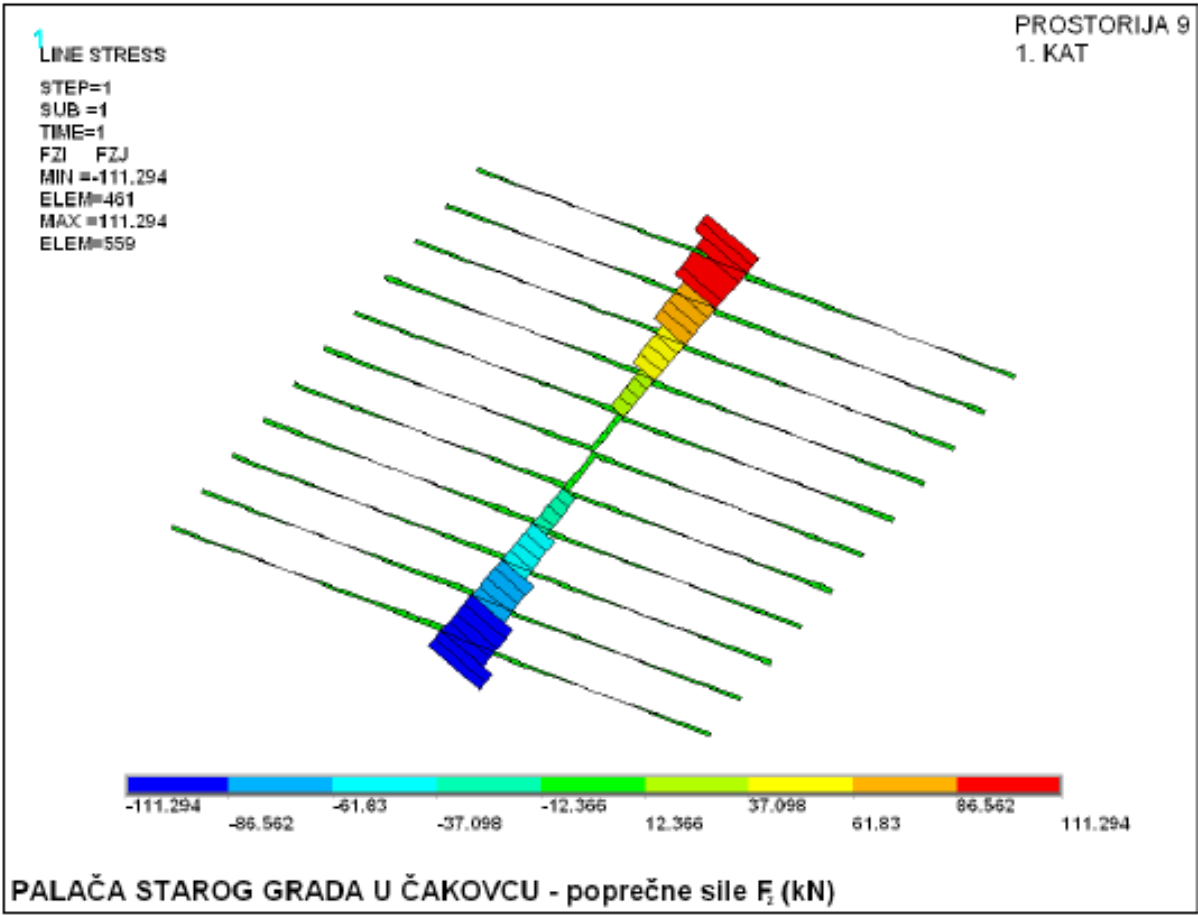
- stropna konstrukcija s drvenim gredama dimenzija 20/24 cm postavjenim na razmaku od 72 cm i poprečnom gredom

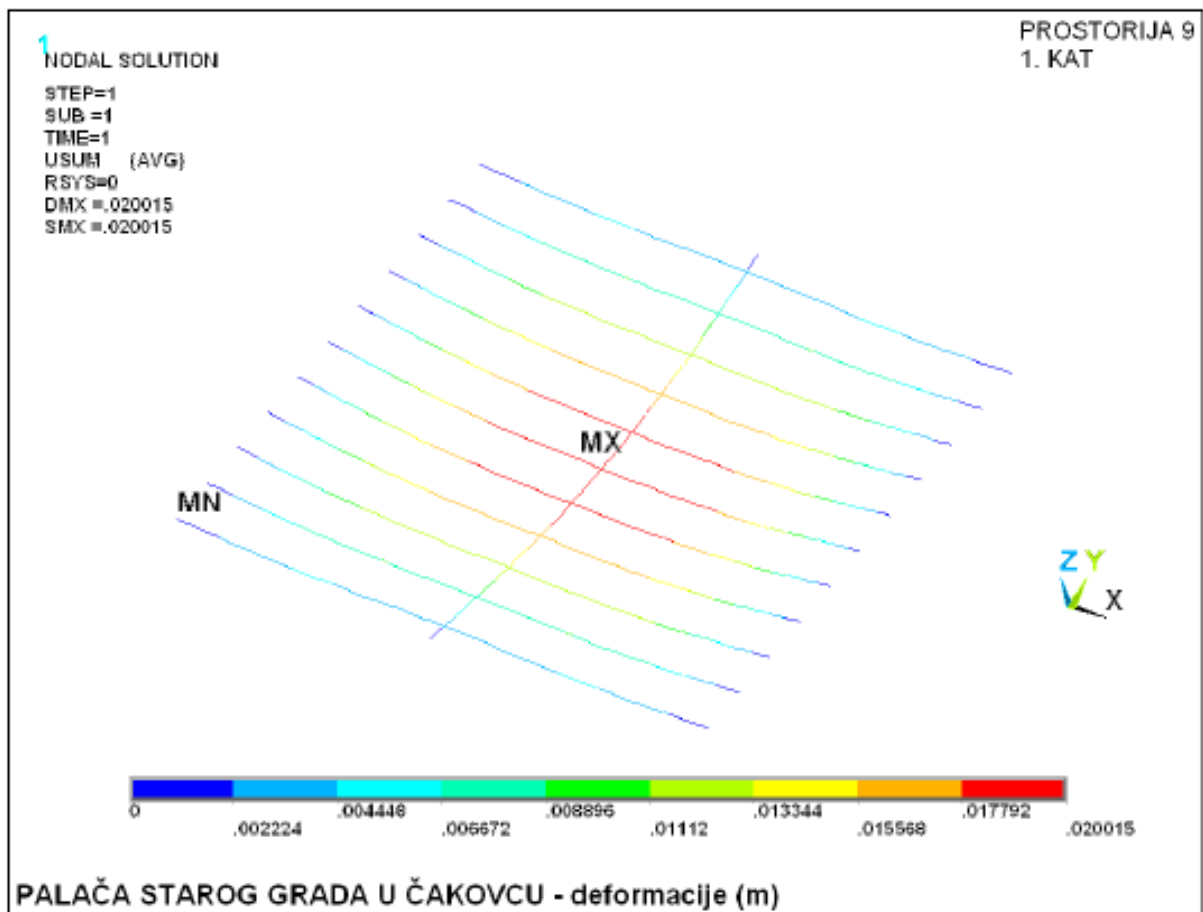
$$A = 20 \times 24 = 480 \text{ cm}^2$$

$$W = \frac{20 \times 24^2}{6} = 1.920 \text{ cm}^3$$

- greda 2x38/30 cm + čelični limovi 2x20/400 mm







greda 20/24 cm

$$M = 8,698 \text{ kNm} = 869.800 \text{ Ncm}$$

$$T = 9,813 \text{ kN} = 9.813 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{869800}{1920} = 453 \text{ N/cm}^2 < \sigma_{\text{dop}}$$

ZADOVOLJAVA

$$\tau = \frac{1.5 \times T}{A} = \frac{1.5 \times 9813}{480} = 30,7 \text{ N/cm}^2 < \tau_{\text{dop}}$$

ZADOVOLJAVA

drvene grede 2x38/30 cm + čelični lim 2x20/400 mm

$$M = 208,904 \text{ kNm} = 20.890.400 \text{ Ncm}$$

$$T = 111,294 \text{ kN} = 111.294 \text{ N}$$

$$A_{\text{drvo}} = 2 \times 38 \times 30 = 2.280 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{čelik}} = 2 \times 2 \times 40 = 160 \text{ cm}^2$$

$$I_{\text{drvo}} = \frac{38 \times 30^3}{12} \times 2 = 171.000 \text{ cm}^4$$

$$I_{\text{čelik}} = \frac{2 \times 40^3}{12} \times 2 = 21.333,3 \text{ cm}^4$$

$$W_{\text{drvo}} = \frac{38 \times 30^2}{6} \times 2 = 11.400 \text{ cm}^3$$

$$W_{\text{čelik}} = \frac{2 \times 40^2}{6} \times 2 = 1.066,7 \text{ cm}^3$$

$$\frac{E_{\text{čelik}}}{E_{\text{drvo}}} = \frac{2,1 \times 10^7 \text{ N/cm}^2}{1,25 \times 10^6 \text{ N/cm}^2} = 16,8$$

$$k = \frac{E_{\text{čelik}}}{E_{\text{drvo}}} \times \frac{I_{\text{čelik}}}{I_{\text{drvo}}} = 16,8 \times \frac{21.333,3}{171.000} = 2,096$$

$$U_{\text{drvo}} = \frac{1}{1+k} \times 100\% = 32,3\%$$

$$U_{\text{čelik}} = \frac{k}{1+k} \times 100\% = 67,7\%$$

$$M_{\text{drvo}} = 20.890.400 \times 32,3\% = 6.747.600 \text{ Ncm}$$

$$M_{\text{čelik}} = 20.890.400 \times 67,7\% = 14.142.800 \text{ Ncm}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq \sigma_{\text{dop}}$$

$$\sigma_{\text{dop}}^{\text{drvo}} = 1.200 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{dop}}^{\text{čelik}} = 160 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma^{\text{drvo}} = \frac{6.747.600}{11.400} = 591,9 \text{ N/cm}^2 < \sigma_{\text{dop}}^{\text{drvo}}$$

ZADOVOLJAVA

$$\sigma^{\text{čelik}} = \frac{14.142.800}{1.066,7} = 13.258 \text{ N/cm}^2 = 132,58 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{\text{dop}}^{\text{čelik}}$$

ZADOVOLJAVA

$$T_{\text{drvo}} = 111.294 \times 32,3\% = 35.948 \text{ N}$$

$$T_{\text{čelik}} = 111.294 \times 67,7\% = 75.346 \text{ N}$$

$$\tau = \frac{1,5 \times T}{A} \leq \tau_{\text{dop}}$$

$$\tau_{\text{dop}}^{\text{drvo}} = 120 \text{ N/cm}^2$$

$$\tau_{\text{dop}}^{\text{čelik}} = 93,50 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau^{\text{drvo}} = \frac{1,5 \times 35.948}{2.280} = 23,7 \text{ N/cm}^2 < \tau_{\text{dop}}^{\text{drvo}}$$

ZADOVOLJAVA

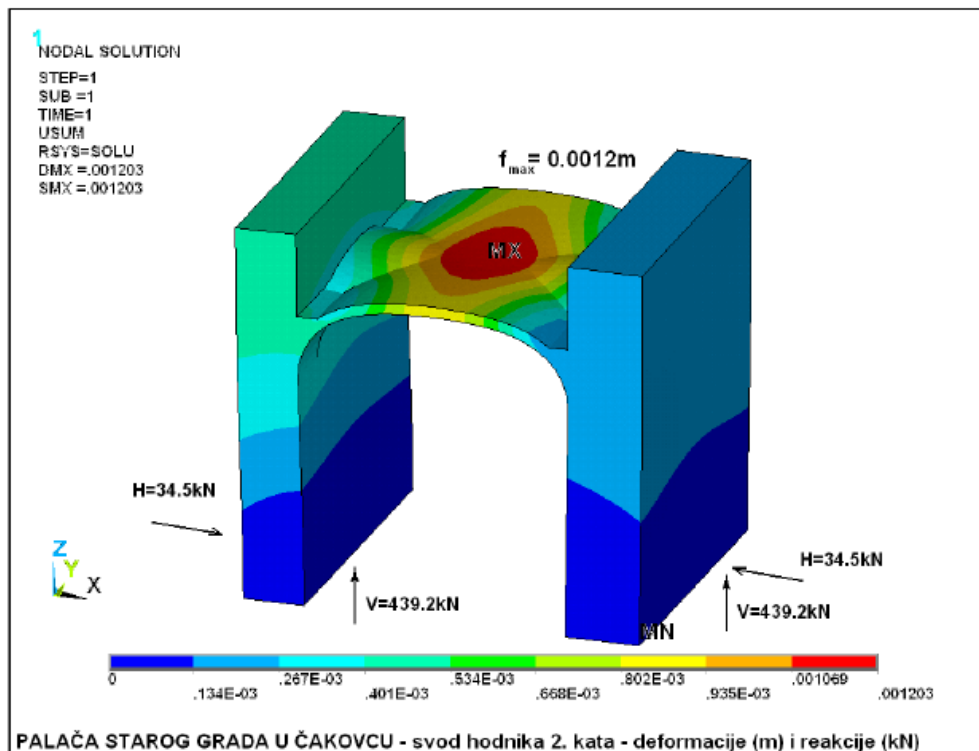
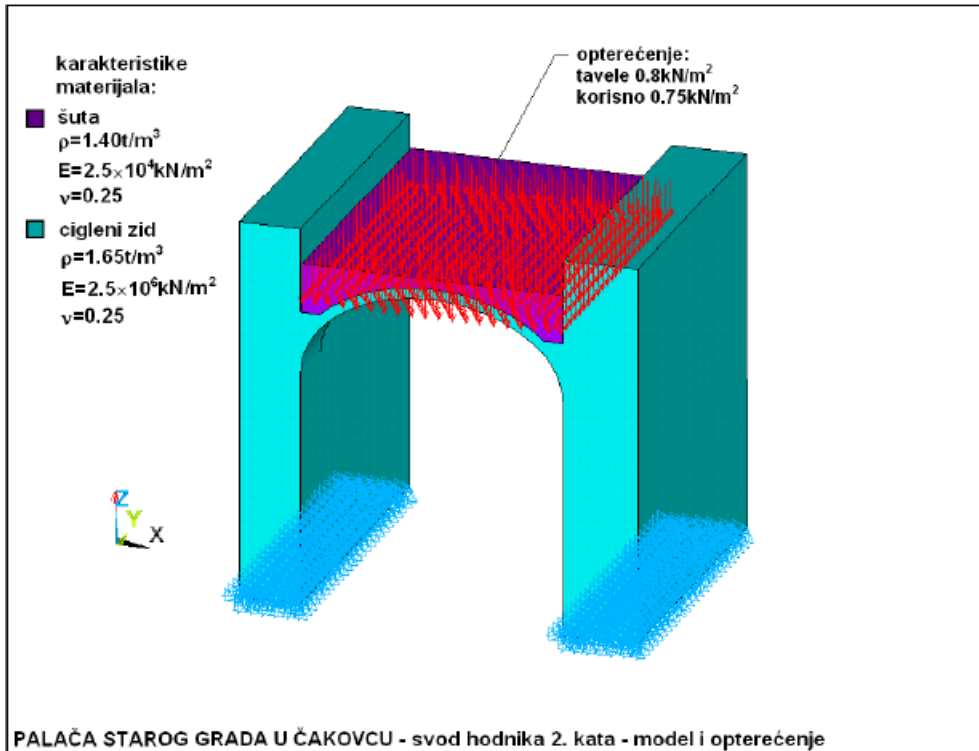
$$\tau^{\text{čelik}} = \frac{1,5 \times 75.346}{160} = 706,37 \text{ N/cm}^2 = 7,06 \text{ N/mm}^2 < \tau_{\text{dop}}^{\text{čelik}}$$

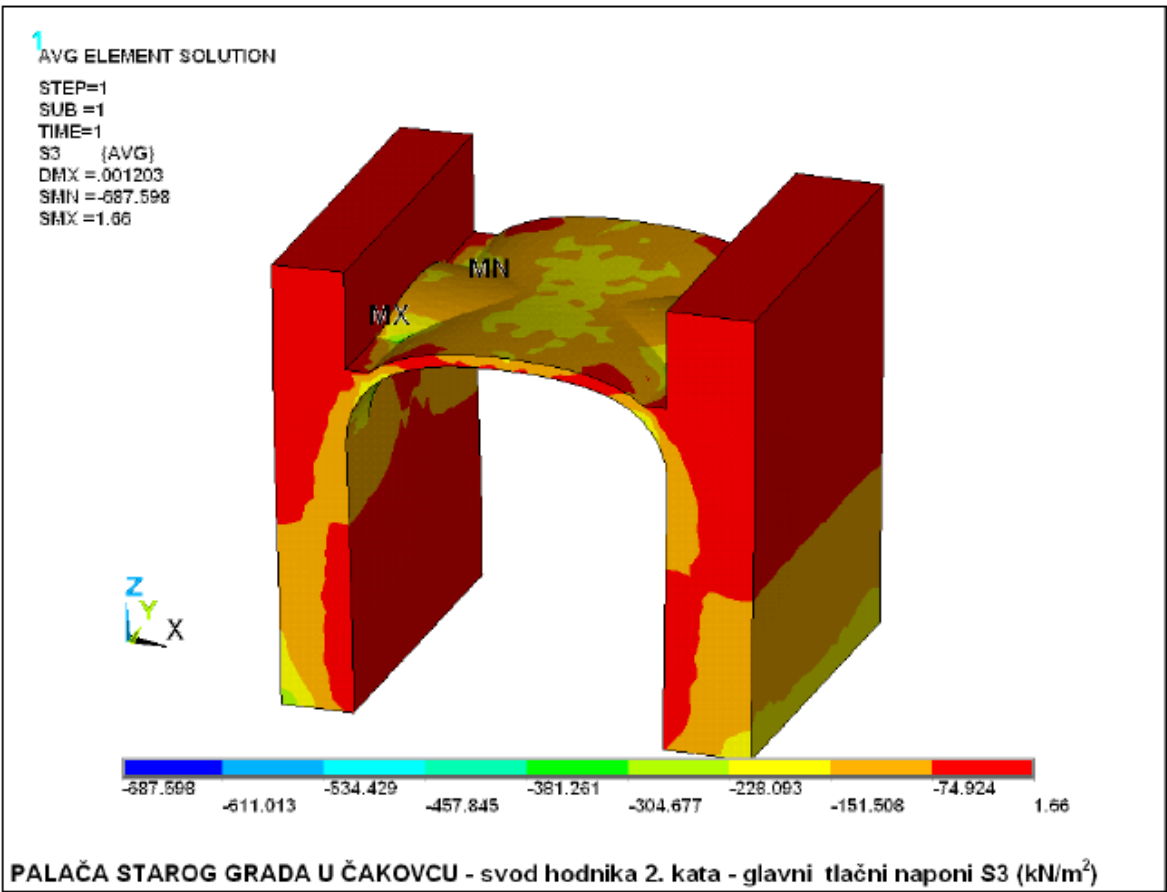
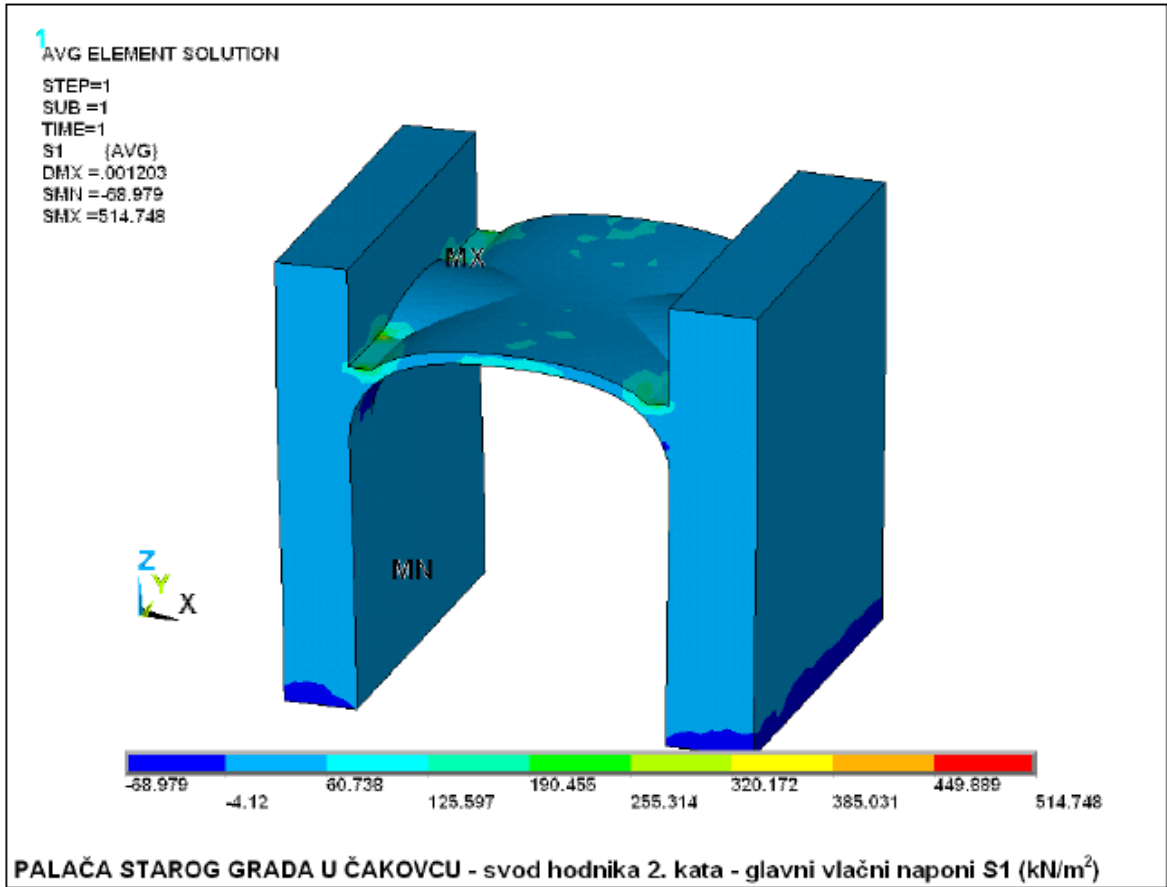
ZADOVOLJAVA

#### 4.4. Horizontalni dijelovi nosive konstrukcije: ZIDANA KONSTRUKCIJA

Analiza svoda u hodniku 2. kata

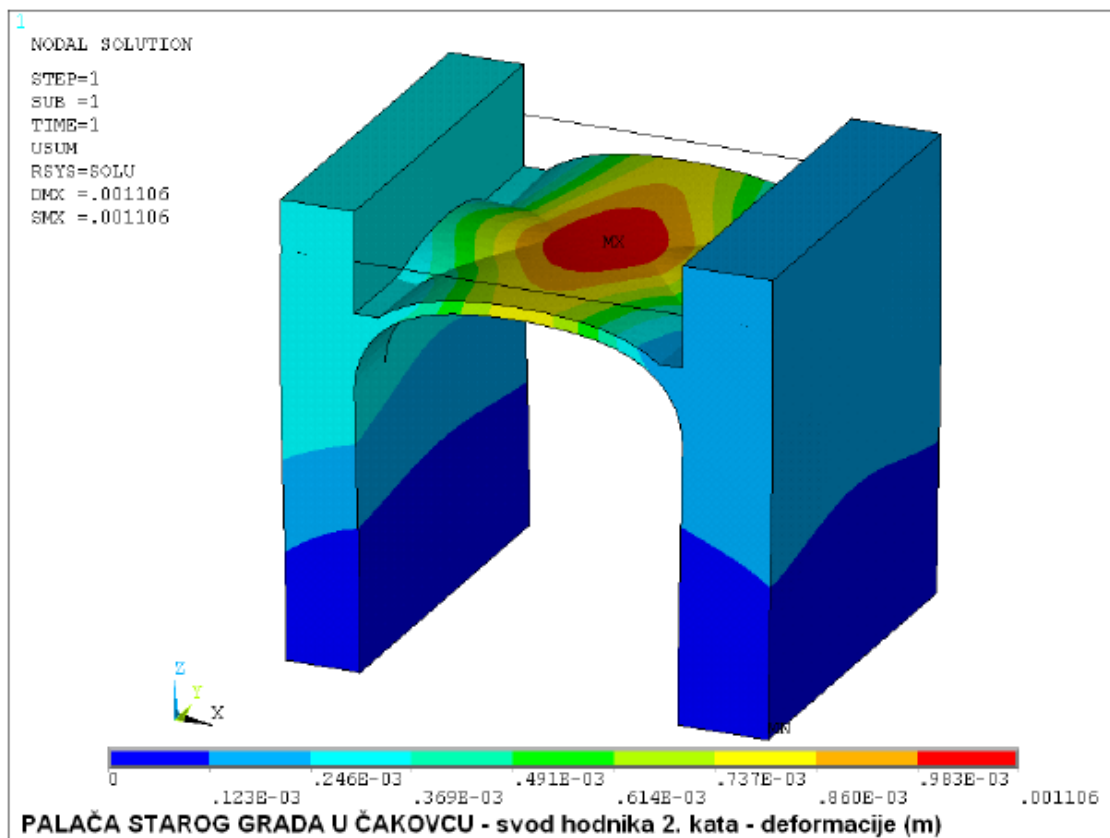
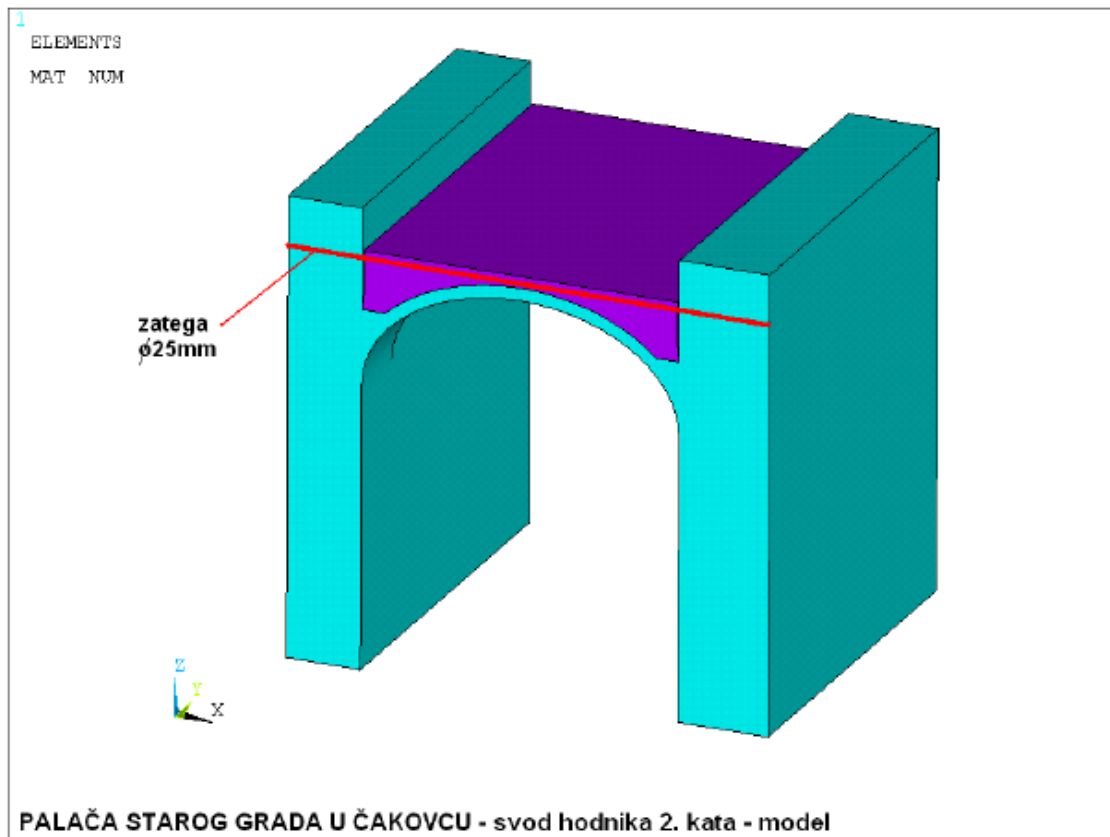
- Postojeće stanje



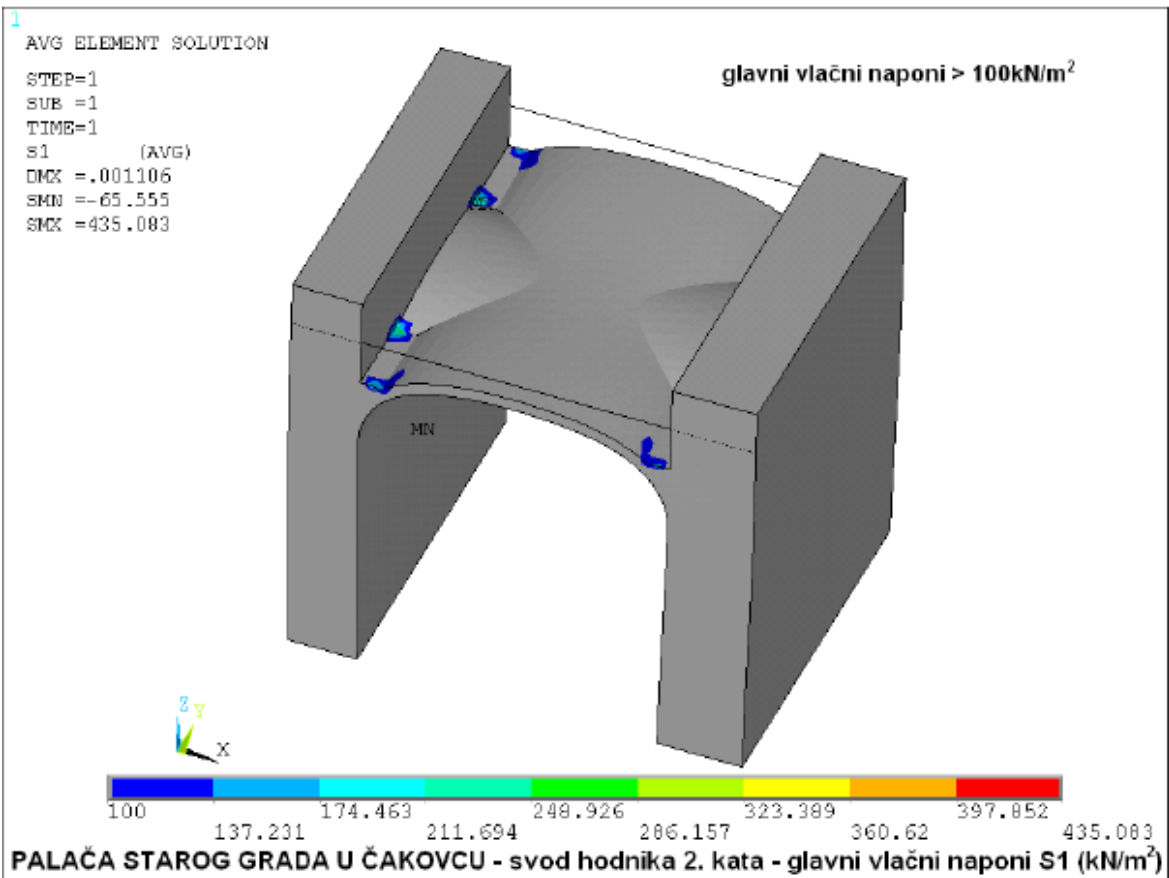
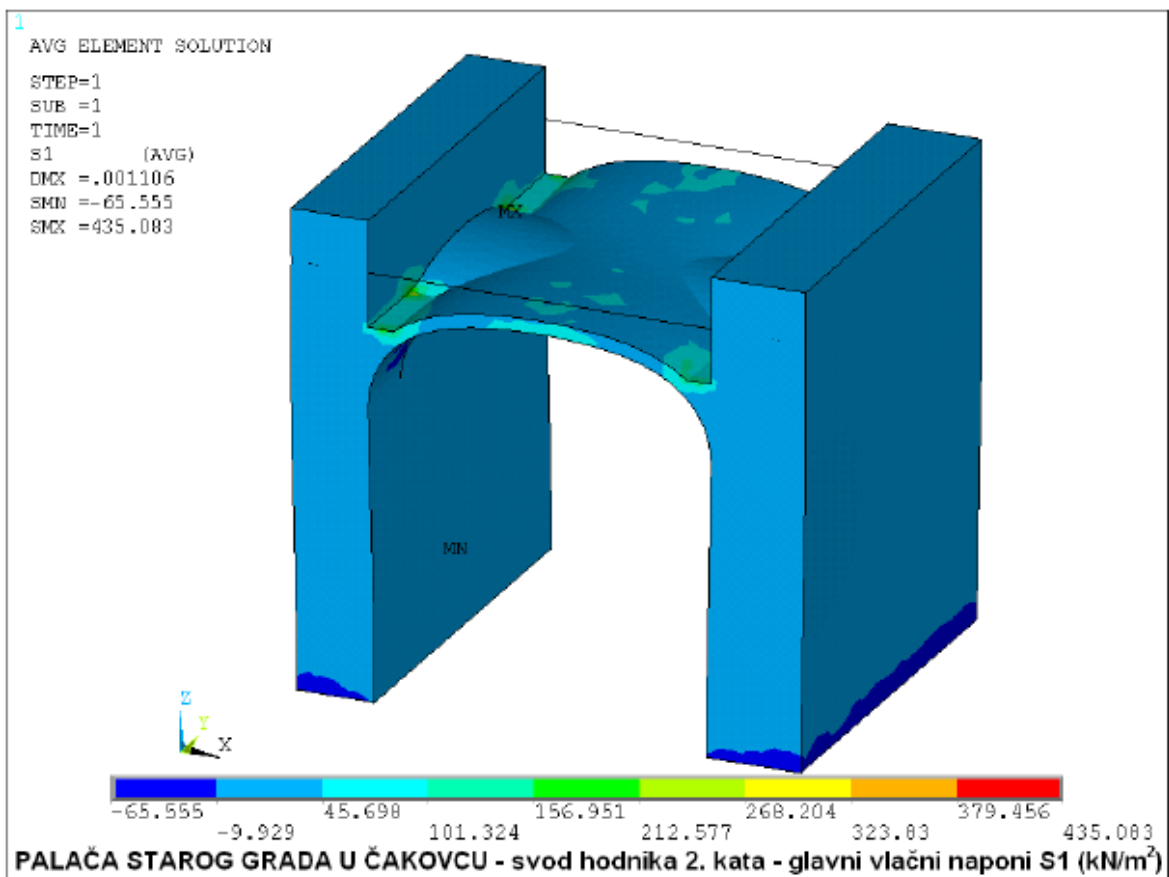


## Ojačanje svodova hodnika

- Prikaz svoda hodnika sa zategama





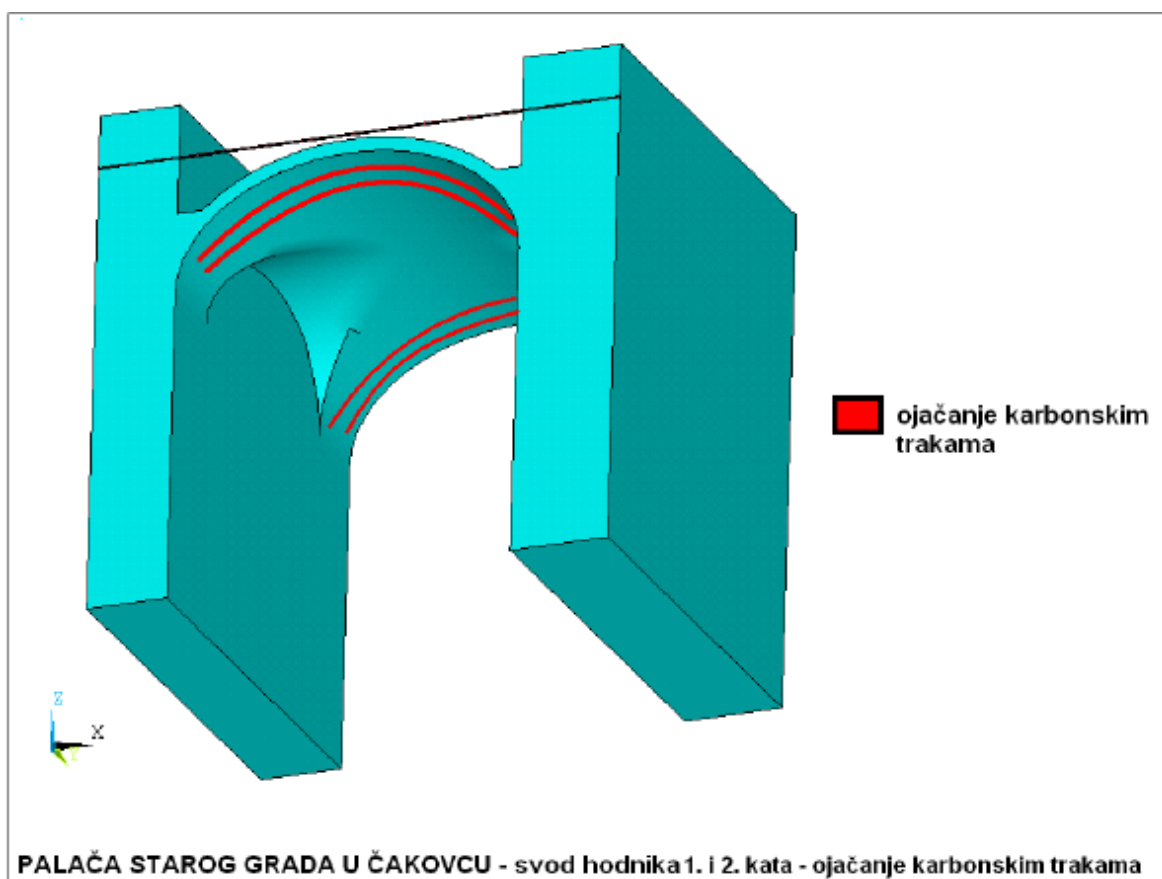


Horizontalne i vertikalne reakcije	
Horizontalna reakcija, H =	34,5 kN
Vertikalna reakcija, V =	439,2 kN

Deformacije i naprezanja	Bez zatega	Nakon ugradnje zatega Ø25 mm
Glavni vlačni napon, $S_1 =$	<b>514,748</b> kN/m <sup>2</sup>	<b>435,083</b> kN/m <sup>2</sup>
Glavni tlačni napon, $S_3 =$	- 687,598 kN/m <sup>2</sup>	- 687,598 kN/m <sup>2</sup>
Maksimalni progib, $f_{max} =$	0,001203 m	0,001106 m

Tablica 4.6 Prikaz naprezanja i deformacija

Ugradnja zatega u modelu svoda hodnika, vlačna naprezanja na intradosu (unutarnja linija luka) svoda smanjuje ispod dopuštene granice, no obzirom na otvorene uzdužne pukotine u tjemenoj zoni svoda obavezno je izvesti poprečno ojačanje karbonskim trakama.

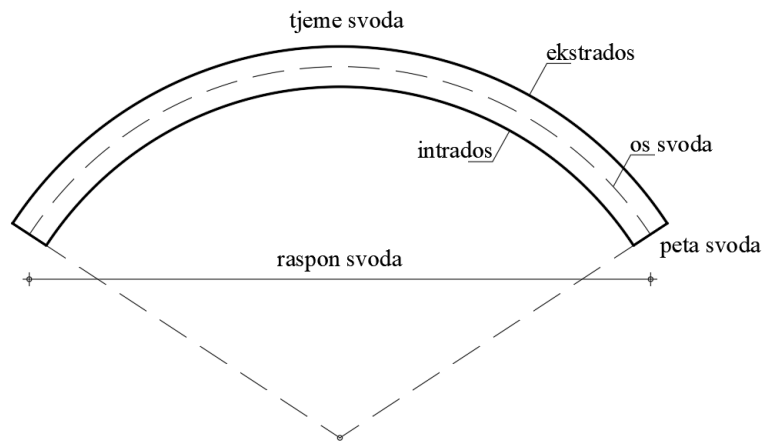


## 4.5. Rezultat proračuna i plan sanacije

Analizom postojećeg stanja provedenom na trodimenzionalnom modelu ustanovljena su slaba mjesta sveukupne nosive konstrukcije. Temeljem analize postojećeg stanja potrebno je izraditi projekt sanacije nosive konstrukcije koji prvenstveno mora obuhvatiti uklanjanje uzroka nastalih oštećenja. Za sve radove i upotrijebljene građevne proizvode trebaju se primijeniti hrvatske norme i tehnički propisi. Izvođenje svih radova mora odgovarati pravilima građevinske struke i pravilima dobre tehničke prakse u svim elementima koji nisu posebno propisani. Izvođenje radova odvija se po prikazima iz tehničke dokumentacije, a ako neki dijelovi nisu dovoljno opisani određuju se upisom u građevinski dnevnik nadležnih osoba, projektanta, nadzornog inženjera ili konzervatora. Za veće izmjene ili odstupanja od tehničke dokumentacije izvođač mora dobiti suglasnost svih nadležnih osoba. Kako je građevina kulturno dobro ona podliježe i posebnom režimu prilikom izvođenja radova na njenoj obnovi. Zbog toga o svim fazama izvođenja radova moraju biti obaviješteni projektanti i nadležni konzervatorski odjel.

Prema Zakonu o zaštiti i očuvanju kulturnih dobara (NN 69/99, 151/03, 157/03, 100/04, 87/09, 88/10, 61/11, 25/12, 136/12, 157/13, 152/14, 98/15, 44/17, 90/18, 32/20, 62/20), radnje koje bi mogle prouzročiti promjene na kulturnom dobru, odnosno koje bi mogle narušiti cjelovitost kulturnoga dobra, mogu se poduzimati uz prethodno odobrenje nadležnog tijela. Kao navedene radnje smatraju se osobito: konzerviranje, restauriranje, premještanje kulturnoga dobra i drugi slični radovi, kao i rekonstrukcija, sanacija i adaptacija kulturnoga dobra. Sve radnje na kulturnom dobru, a za koje nije ishođeno potrebno odobrenje, kažnjive su.

Analizom postojećeg stanja utvrđeno je da svodovi hodnika 1. i 2. kata na pojedinačnim modelima pokazuju karakteristična oštećenja na mjestima uklještenja svoda u uzdužne zidove s gornje strane i u tjemenu svoda s donje strane. Radi se o formiranju zglobova na mjestima prekoračenja vlačne čvrstoće materijala. Najveća prekoračenja vlačne čvrstoće pojavljuju se na petama i tjemenu svoda.



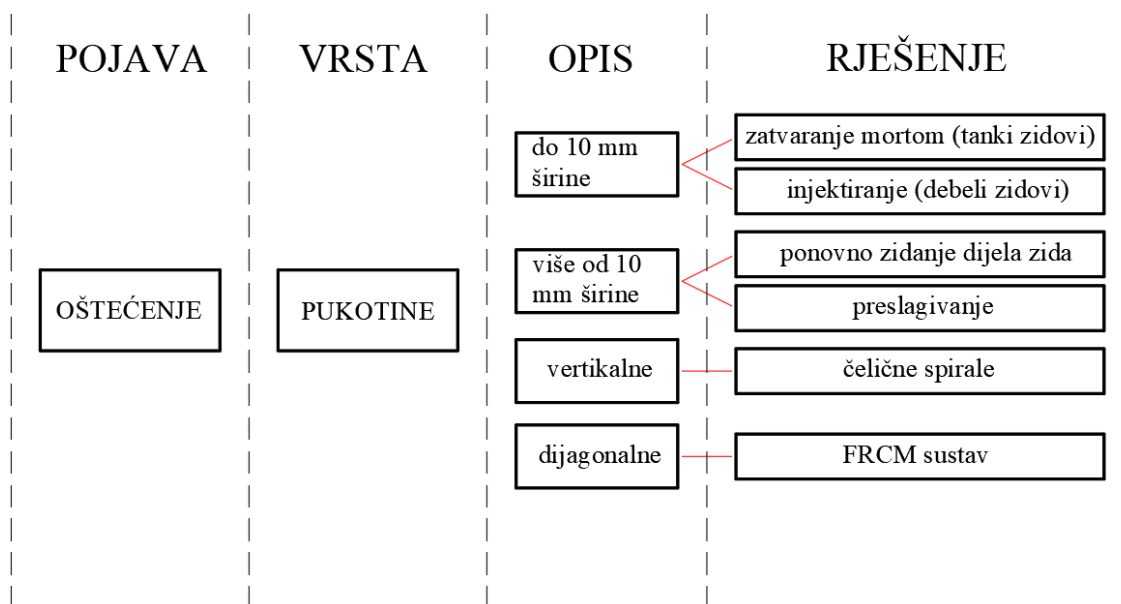
*Slika 4.2 Osnovni dijelovi luka*

Zidani svodovi moraju dobiti ojačanja na mjestima pukotina, odnosno, na mjestima prekoračenja vlačne čvrstoće. Potrebno je najprije sanirati pukotinu čišćenjem raspucanog i olabavljenog materijala. Nakon toga pukotinu treba očistiti ispuhivanjem komprimiranim zrakom i navlažiti je prije injektiranja injekcijske smjese. Za injektiranje se preporuča smjesa prirodnog hidrauličkog vapna. Za ojačanje vlačne zone svodnih ploha i ploha pojasnica predviđaju se karbonske trake koje se lijepe na prethodno pripremljenu podlogu. Ona mora biti potpuno čista od svih prljavština, ulja i sličnih onečišćenja. Na plohu se nanosi tanki sloj reparaturnog morta preko kojega se nanosi prvi sloj epoksidnog ljepila. Nakon postave tkanine preko prvog sloja ljepila, nanosi se pokrovni sloj epoksidnog ljepila u koji se dodaje kvarcni pijesak. Na taj način ojačava se vlačni dio poprečnog presjeka svoda uz prethodno saniranje pukotine. Rad s ovim materijalima mora izvoditi ovlaštenu izvođač poštujući u potpunosti detaljne upute proizvođača. U razini svih stropnih konstrukcija predlaže se ugradnja horizontalnih zatega od karbonske tkanine, uz način izvedbe već opisan za ojačanje svodova. Zatege se postavljaju u svim poljima omeđenim nosivim zidovima.

Drvene stropne konstrukcije za predviđena opterećenja samo na nekoliko mjesta prekoračuju granicu dopuštenog naprezanja i dopuštenog progiba. Kod drvenih međukatnih konstrukcija potrebno je njihovim detaljnim pregledom utvrditi pravo stanje drvenih greda, jer osim mehaničkih karakteristika za daljnju upotrebu treba utvrditi i stanje same drvene građe. Drvene stropne konstrukcije sanacijom dobivaju drvena ili čelična bočna ojačanja koja osim naprezanja i progibe drže unutar dopuštenih granica. Na dijelu popuštanja nosive, stropne konstrukcije, postojeće dotrajale drvene grede potrebno je zamijeniti novima. Nove drvene grede materijalom, dimenzijama i načinom izvedbe moraju odgovarati zatečenom stanju.

Pukotine u zidovima, koje su posljedica horizontalnog pritiska svodova, kao i vertikalnog opterećenja od međukatne konstrukcije i arhivske građe, u sve su lošijem stanju i zbog potresa koji su u bližoj i daljnjoj prošlosti dodatno oštetili nosivu konstrukciju. Tako se kod zidova javlja postupno popuštanje, te im je potrebna sanacija.

Pukotine u zidovima potrebno je sanirati lijepljenjem karbonskih traka, te sidrenjem. Pukotine u zidovima i lučnim nadvojima prije lijepljenja karbonskih ojačanja i postave križnih sidra treba sanirati. Puknute ili olabavljene komade opeke treba zamijeniti novima, pukotinu očistiti od raspucanog morta i ponovo fugirati. Mort za fugiranje treba pripremiti od bijelog cementa, gašenog i odležanog vapna i agregata max veličine zrna da 2 mm. Omjer smjese neka je 1:3:9. Mort se utiskuje u pukotine do njenog potpunog popunjavanja. Karbonske trake postavljaju se na prethodno pripremljenu podlogu koja mora biti potpuno čista od svih prljavština, ulja i sličnih onečišćenja. Na plohu se nanosi tanki sloj reparaturnog morta preko kojega se nanosi prvi sloj epoksidnog ljepila. Nakon postave tkanine preko prvog sloja ljepila, nanosi se pokrovni sloj epoksidnog ljepila u kojega se dodaje kvarcni pijesak. Rad s ovim materijalima mora izvoditi ovlaštenu izvođač poštujući u potpunosti detaljne upute proizvođača.



Slika 4.3 Sanacija pukotina

## 5. Sanacija

Mnogobrojna oštećenja nosive konstrukcije, pukotine u zidovima i svodovima prizemlja i međukata, kao i oštećenja ravnih stropova od drvenih grednika u 1. i 2. katu, ukazuju na loše stanje postojeće konstrukcije. Uzrok lošeg stanja pronalazimo dijelom u popuštanju temelja, dijelom u velikom opterećenju nosivih konstrukcija, te u opterećenju svodova pregradnim zidovima bez kontinuiteta u donjim katovima, međukatu i prizemlju, gdje su se zbog velikog opterećenja pojavile i velike horizontalne sile. Nedavnim potresima, prilikom potresnog opterećenja, pogoršalo se stanje nekih postojećih oštećenja.

Obzirom da zgrada datira iz 14./15. stoljeća, te je klasificirana kao kulturno dobro, svi radovi moraju biti izvedeni u skladu sa Glavnim projektom, a korišteni materijali i alati ne bi trebali narušiti postojeće stanje, već se približiti izvornom stanju i izgledu konstrukcije. Temeljem Glavnog projekta i Mišljenja sudskog vještaka za građevinu, za potrebe sanacije zatraženo je mišljenje Konzervatorskog odjela u Varaždinu, u kojem je navedeno:

*„Kako je stručno mišljenje koje donosi dostavljeni elaborat da je do urušenja dijela stropne konstrukcije II. kata došlo zbog dotrajalosti, odnosno raznih intervencija na građevini i djelovanjem atmosferilija (procurivanje krovišta), potrebno je izvršiti pregled čitave stropne konstrukcije II. Kata palače Starog grada u Čakovcu, kako bi se dobila slika njezinog stvarnog stanja, te kako bi se sukladno tome izradio projekt sanacije iste. Projekt bi trebao uključivati čitavu stropnu konstrukciju II. Kata, odnosno kompletnu sanaciju, ako se za tim ukaže potreba (ne samo urušeni dio), kako ne bi došlo do daljnjih urušenja ili oštećivanja, koja bi mogla imati i posljedice na posjetitelje Muzeja ako se tamo zateknu, jer je II. Kat palače sastavni dio stalnog postava Muzeja Međimurja Čakovec.*

*Predmetna građevina prema Zakonu o zaštiti i očuvanju kulturnih dobara (NN 69/99, 151/03, 157/03, 87/09) zaštićena je kao pojedinačno kulturno dobro, te je upisana u Registra kulturnih dobara Republike Hrvatske na Listu kulturnih dobara nacionalnog značenja red.br. 23. Sukladno svemu navedenom, temeljem ovih uvjeta nije moguće započeti s radovima, nego je ovom Odjelu, potrebno dostaviti elaborat sanacije stropne konstrukcije II. Kata palače Starog grada u Čakovcu, kako bi mogli izdati prethodno odobrenje. Napominjemo da za bilo kakve druge intervencije i zahvate na građevini koji nisu obuhvaćeni ovim mišljenjem, a kojima bi se zadiralo u njenu postojeću konstrukciju, oblikovanje ili spomenički integritet, treba ponovo zatražiti mišljenje ove Uprave. Tijekom projektiranja i razrade tehničke dokumentacije treba i dalje surađivati sa stručnom službom ovog Odjela.,,*





REPUBLIKA HRVATSKA  
 MINISTARSTVO KULTURE  
 UPRAVA ZA ZAŠTITU KULTURNE BAŠTINE  
 KONZERVATORSKI ODJEL U VARAŽDINU

KLASA:612-08/10-05/0432  
 URBROJ:532-04-11/7-10-2

Muzej Međimurja Čakovec  
 Trg Republike 5  
 40000 Čakovec ✓

**Predmet: Čakovec, Stari grad, urušenje stropa na II. katu palače (prostorija II.K 23)  
 -konzervatorski uvjeti**

Ovaj Odjel zaprimio je „Nalaz i mišljenje vještaka o građevinskom stanju dijela palače Starog grada u Čakovcu nakon urušavanja stropa u prostoriji II.K 23“, koje je izradila tvrtka Međimurje-investa d.o.o., Ruđera Boškovića 16 iz Čakovca. Nakon uvida u dostavljenu dokumentaciju i stanje na terenu stručna služba ovog Odjela daje slijedeće mišljenje:

Kako je stručno mišljenje koje donosi dostavljeni elaborat da je do urušenja dijela stropne konstrukcije II. kata došlo zbog dotrajalosti, odnosno starosti, raznih intervencija i djelovanjem atmosferilija (procurijevanje krovišta), potrebno je izvršiti pregled čitave stropne konstrukcije II. kata palače Starog grada u Čakovcu, kako bi se dobila slika njezinog stvarnog stanja, te kako bi se sukladno tome izradio projekt sanacije iste. Projekt bi trebao uključivati čitavu stropnu konstrukciju II. kata, odnosno kompletnu sanaciju, ako se za tim ukaže potreba (ne samo urušeni dio), kako ne bi došlo do daljnjih urušenja ili oštećivanja, koja bi mogla imati i posljedice na posjetitelje Muzeja ako se tamo zateknu, jer je II. kat palače sastavni dio stalnog postava Muzeja Međimurja Čakovec.

Predmetna građevina prema Zakonu o zaštiti i očuvanju kulturnih dobara (NN 69/99, 151/03, 157/03, 87/09) zaštićena je kao pojedinačno kulturno dobro, te je upisana u Registar kulturnih dobara Republike Hrvatske na Listu kulturnih dobara nacionalnog značenja red.br 23. Sukladno svemu navedenom, **temeljem ovih uvjeta nije moguće započeti s radovima**, nego je ovom Odjelu, potrebno dostaviti elaborat sanacije stropne konstrukcije II. kata palače Starog grada u Čakovcu, kako bi mogli izdati **prethodno odobrenje**. Napominjemo da za bilo kakve druge intervencije i zahvate na građevini koji nisu obuhvaćeni ovim mišljenjem, a kojima bi se zadiralo u njenu postojeću konstrukciju, oblikovanje ili spomenički integritet, treba ponovno zatražiti mišljenje ove Uprave. Tijekom projektiranja i razrade tehničke dokumentacije treba i dalje surađivati sa stručnom službom ovog Odjela.

Dostavlja se:

1. Pismohrana, ovdje
2. Dokumentacija, ovdje

Po ovlasti ministra  
 Pročelnik



Ivana Gundulića 2 - 42000 Varaždin - www.min-kulture.hr

*Slika 5.1 Mišljenje Konzervatorskog odjela u Varaždinu*

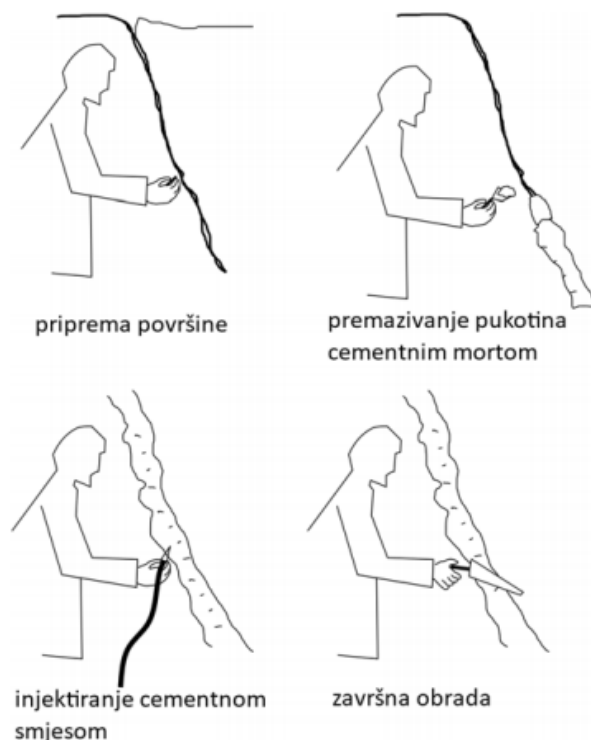
## 5.1. Metode sanacije

### 5.1.1. Statičko injektiranje

Injektiranje je postupak popunjavanja praznina u konstrukcijskim elementima, kojim statički ojačavamo strukturu elementa, sprječavamo kapilarno dizanje vlage i postizemo vodonepropusnost konstrukcije. Injektiranje se izvodi pomoću injekcijske mase, a masu odabiremo ovisno o vrsti konstrukcije, ovisno o oštećenju i željenom rezultatu. Injekcijskoj masi mogu se dodavati aditivi za bubrenje, dodaci protiv dizanja kapilarne vlage, pucolani, bijeli cement i sl. Za injektiranje betonske konstrukcije, te za sanaciju manjih oštećenja betonske konstrukcije često se koriste mase od epoksidne smole, dok se kod ozbiljnijih oštećenja zidanih ili betonskih konstrukcija najčešće koriste injekcijske mase na bazi poliuretana. Injekcijskom masom na bazi poliuretana postizemo i vodonepropusnost građevinskih konstrukcija. Cementnom injekcijskom masom učvršćujemo zidove od kamena i mješovite zidove od kamena i opeke.

Cilj injektiranja je ojačavanje dijela konstrukcije, postizanje prvobitne čvrstoće i cjelovitosti elementa. Injektiranje pukotina i odabir materijala za sanaciju pukotina ovisi o tipu i materijalu zida, te o širini pukotina. Uske pukotine (širine do 0,5 mm) injektiraju se epoksidnim injekcijskim mortom. Šire pukotine (širine 0,5 mm do 10,00 mm) injektiraju se mortom odgovarajućeg omjera vapna, cementa, pijeska. Pukotine širine veće od 10,00 mm često se saniraju prezidavanjem dijela zida ili ekspanzijskom injekcijskom masom uz dodatke za pojačanje.

Postupak injektiranja zidanih zidova provodi se na način da se prvo zid očisti od žbuke i prašine, i to u širini 50 cm sa svake strane pukotine. Zatim se uzduž pukotine na razmacima 30 – 50 cm buše rupe u koje se postavljaju cjevčice promjera 12,00 mm. Dubinu rupe, promjer i broj rupa definira stručna osoba, ovisno o postojećem stanju konstrukcije, opsegu oštećenja i podacima o sondiranju, ukoliko je isto provedeno. Cjevčice se učvrste mortom, te se pukotine zatvore mortom po cijeloj dužini pukotine. Cjevčice se očiste vodom i ispušu zrakom nakon čega slijedi injektiranje. Pritisak injektiranja prilagođava se u odnosu na čvrstoću poda i konstrukcije (uglavnom s tlakom od 0,03 N/mm<sup>2</sup>), a količina injekcijske mase u odnosu na volumen rupa i šupljina u konstrukciji. Injektiranje se vrši odozdo pukotine prema gore.



*Slika 5.2 Prikaz injektiranja zida*

Važno je za napomenuti da, ukoliko se injektiranje primjenjuje kod starih građevina, injekcijska masa trebala bi biti anorganska smjesa, slična vapnenom mortu, sve radi kompatibilnosti s ostatkom konstrukcije.

Ovisno o načinu injektiranja injekcijske mase injektiranje dijelimo na:

- injektiranje pod tlakom,
- gravitacijsko,
- vakuumsko injektiranje.

Injektiranje pod tlakom je najčešći oblik injektiranja, te se najviše primjenjuje. Injekcijska masa u prethodno izbušenu rupu ulazi pod tlakom. Tlak pod kojim se masa injektira definira ovlaštena osoba.

Gravitacijsko injektiranje je ono kod kojeg injekcijska masa u prethodno izbušenu rupu ulazi gravitacijom, najčešće bez tlaka ili uz mali tlak. Ova vrsta injektiranja se uglavnom koristi kod jako oštećenih konstrukcija.

Vakuusko injektiranje se koristi kod manjih intervencija, odnosno uglavnom kod manjih pukotina. Kod ovog tipa injektiranja injekcijska masa mora biti izrazito tekuća.

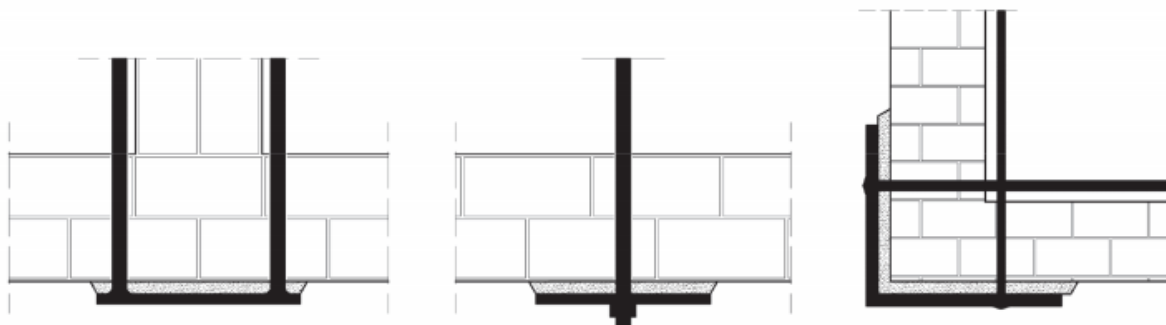
### 5.1.2. Ugradnja ojačanja

Jedan od načina ojačavanja nosivih dijelova konstrukcije je ugradnja horizontalnih zatega, odnosno sidara. Na taj način cilj je osigurati cjelovitost konstrukcije i spriječiti razdvajanje dijelova konstrukcije. Čelične zatege imaju nekoliko primjena kod ojačanja starih zidanih zgrada. One mogu spriječiti ili umanjiti vjerojatnost otkazivanja sustava izvan ravnine, njima se povećava kompaktnost konstrukcije, te se mogu koristiti i kod lukova za preuzimanje horizontalnih sila.



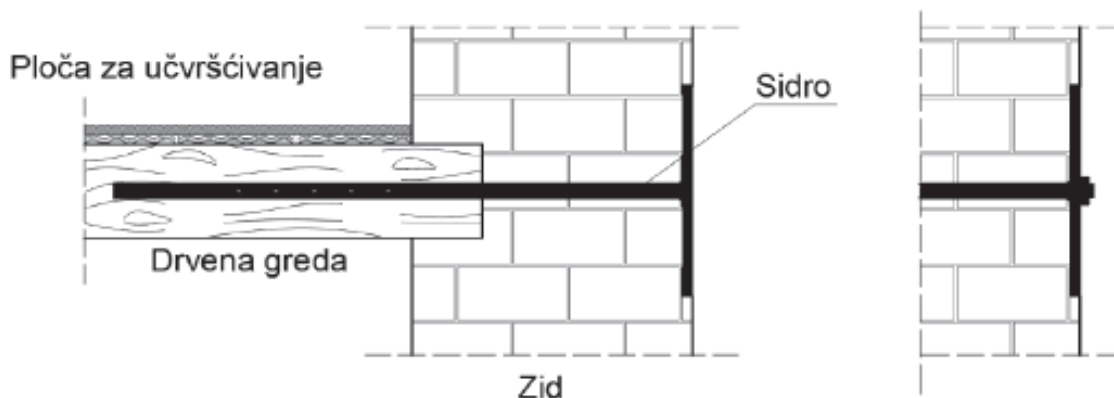
*Slika 5.3 Sidrenje zida i nadvoja*

Kod sidrenja starih zgrada sidra trebaju biti od nehrđajućeg ili pocinčanog čelika, kako bi izbjegli koroziju, obzirom su sidra u kontaktu s mortom. Zbog načina spajanja sidara na strukturni sloj zida, razlikujemo sidra za postavljanje u spojeve i sidra koja se ubacuju u ili pričvršćuju u nosivi zid. Čelična sidra koja ugrađujemo u nosivi dio konstrukcije ugrađujemo do dubine od oko 5 cm. Sidra se postavljaju u vodoravnoj ravnini ili sa blagim nagibom prema vanjskom sloju, što omogućuje odljev vode.



*Slika 5.4 Povezivanje zidova zategama i/ili sidrima*

Osim za učvršćenje zidova zatege koristimo i za stabilizaciju stropnih konstrukcija. Kod stropova položaj zatege trebao bi biti u tlačnoj liniji elementa koji osigurava krutost (najčešće drvena greda, višeslojna daščana oplata ili armiranobetonska ploča). Pomicanje od osi tlačne linije dopušteno je radi jednostavnije i lakše ugradnje zatega.



*Slika 5.5 Povezivanje sidrom zida i drvenog grednika*

Sidrene ploče mogu se izvesti na različite načine, a najčešće se odabiru rješenja u kojima dijelovi zatega na mjestu spoja sa sidrenom pločom nisu masivni i ne smetaju izvedbi fasade, kako bi ostali sakriveni. Čelične šipke se provlače kroz nosive zidove u visini stropova, a sidrenje je ostvareno na vanjskoj strani zida preko čelične sidrene pločice. Potrebno je ugraditi sidrenu pločicu dovoljne širine i visine, te osigurati dovoljnu silu u zatezi. Zatege se postavljaju i u krovnoj konstrukciji te kod lukova i svodova radi osiguranja od otkazivanja zidova i za slučaj uobičajenog opterećenja te potresa.



*Slika 5.6 Detalj spoja zatege i zida*



### 5.1.3. Ugradnja traka od karbonskih vlakana

Karbonske lamele najčešće dolaze u obliku „traka“ koje se uglavnom od proizvođača isporučuju u kolutima i režu na duljine prema zahtjevu projekta. Lamele se lijepe na sam element bez posebne pripreme, te se uglavnom lijepe izrazito čvrstim ljepilima najčešće iz područja dvokomponentnih epoksidnih smola. Karbon ima izuzetne karakteristike na području vlačne čvrstoće, te je važno trake zalijepiti s adekvatnim ljepilom kako na samom spoju ne bi došlo do zamora materijala ili konačno sloma. Lamele su dovoljno savitljive da se mogu ugrađivati i u lučne konstrukcije tj. lukove kod raznog vrsta ziđa do određenih promjera. Sukladno navedenom, nosivi element, u ovom slučaju lamele i spojni materijal (npr. epoksidno ljepilo) moraju osigurati zadanu čvrstoću definiranu projektom jer se moraju nakon vezanja ponašati gotovo kao monolitni sklop. Lamele se mogu preklapati poput rešetke ili križati međusobno ovisno o statičkom proračunu. Za svaki ugrađeni dio kod takve vrste ojačanja radi se proračun i dimenzioniranje te ne postoje dva istovjetna projekta. Ova vrsta pristupa ojačanju konstrukcije koristi se u pravilu kod objekata gdje je potreban minimalno invazivan pristup i očuvanje originalnoga izgleda, a prednost je i što se lamele i vlakna mogu prekidati i nastavljati prema zahtjevu.



*Slika 5.7 Prikaz karbonske trake*

Vlakna su ojačavajuća komponenta, a smola redistribuira sile uzrokovane vanjskim utjecajem. Sam materijal je čvrst, krut, otporan na koroziju, lagan i predstavlja trajno rješenje. Prije ugradnje obavezno je izraditi statički proračun izrađen od strane ovlaštene osobe, dok i izvođači radova moraju imati tražene kompetencije za izvođenje radova.



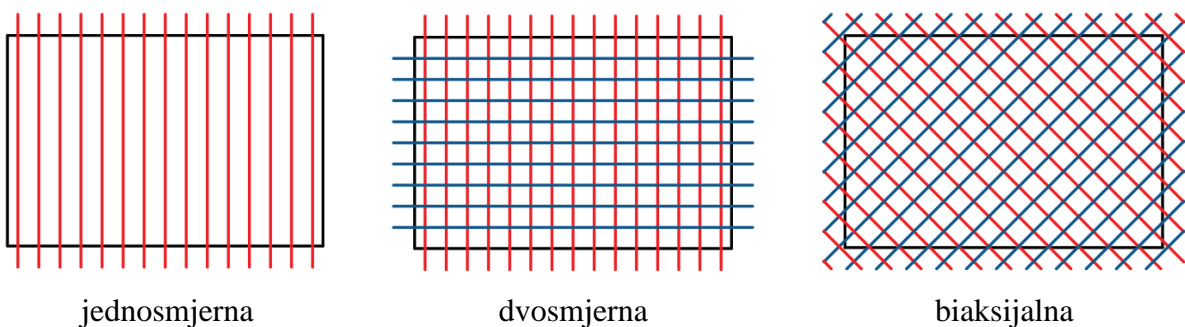
Karbonska vlakna se proizvode oksidacijom, karbonizacijom i grafitizacijom na visokim temperaturama sirovih materijala s visokim sadržajem karbona, kao što su katranska smola, celuloza ili poliakrilnitril. Varijacijom temperature od 2600 °C do 3000 °C tokom procesa grafitizacije mogu se dobiti vlakna velike čvrstoće ili vlakna visokog modula elastičnosti. Materijal se dobiva kroz dva različita procesa: prvi oblikuje vlakna i smolu u tvornici pod visokim tlakom i vrućim izvlačenjem (nastaju jednosmjerne lamele, 1 mm debljine), drugi proces koristi karbonska vlakna tkana kao trake ili platna, vlakna nisu impregnirana sa smolom, stoga su suha, što omogućava proizvodnju kompozitnog materijala na mjestu ugradnje. Karbonska vlakna imaju visoke mehaničke karakteristike u pravcu vlakana i znatno niže u poprečnom pravcu (anizotropno ponašanje). Osnovne prednosti karbonskih vlakana su odnos između čvrstoće i težine, odlična trajnost i dobra deformabilna svojstva. Glavni ograničavajući faktor za primjenu karbonskih vlakana je njihova cijena.

Karbonska vlakna imaju nekoliko iznimnih karakteristika kao što su:

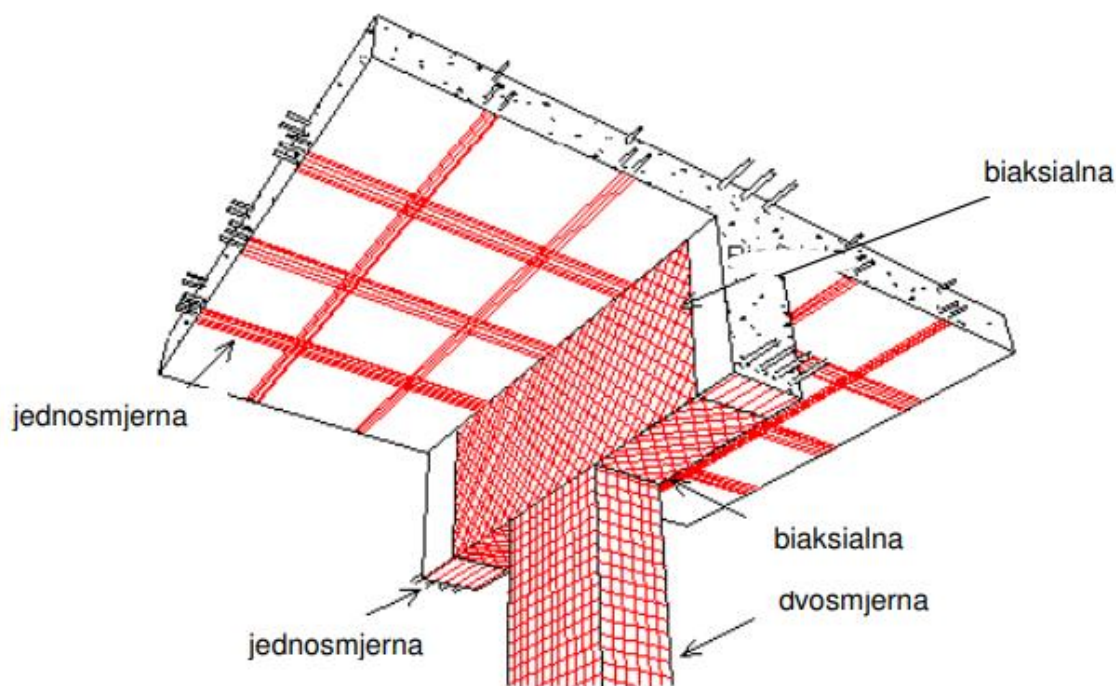
- a) izvrsno ponašanje pri seizmičkim djelovanjima,
- b) iznimno malen zamor materijala,
- c) izvrsna kemijska otpornost na otapala i kiseline,
- d) elastično linearno ponašanje do loma.

Vlakna dijelimo na:

- a) jednosmjerna – vlakna u jednom smjeru,
- b) dvosmjerna – vlakna u horizontalnom i vertikalnom smjeru, pod kutom od 90°,
- c) biaksijalna – vlakna postavljena pod kutom od 45°.



Slika 5.8 Karbonska vlakna



*Slika 5.9 Primjena karbonskih vlakana*

Karbonske trake postavljaju se na prethodno pripremljenu podlogu koja mora biti potpuno čista od svih prljavština, ulja i sličnih onečišćenja. Ukoliko postoje pukotine potrebno ih je sanirati prije postavljanja trake. Na plohu se nanosi tanki sloj reparaturnog morta preko kojega se nanosi prvi sloj epoksidnog ljepila. Nakon postave tkanine preko prvog sloja ljepila, nanosi se pokrovni sloj epoksidnog ljepila u kojega se dodaje kvarcni pijesak. Rad s ovim materijalima mora izvoditi ovlaštenu izvođača poštujući u potpunosti detaljne upute proizvođača.

Prema trenutnim istraživanjima karbonska vlakna ne pokazuju nikakvo smanjenje mehaničkih svojstava preko perioda od 50 godina, dok se smola, tj. epoxy sistemi koriste preko 40 godina. Na zidanim konstrukcijama ovakvi kompozitni materijali se koriste za spajanje oštećenih objekata ili dijelova, za krpanje slomljenih krajeva, smanjenje uvjeta nakošenosti, apsorpciju vlačnih napona statičkog ili dinamičkog porijekla na svodovima, lukovima i kupolama, povećanje otpora horizontalnom stresu. Na drvenim konstrukcijama ovakvi kompozitni materijali se koriste za povećanje nosivosti i za zadržavanje deformacija u prihvatljivim granicama.

## 5.2. Sanacija oštećenja vertikalnih dijelova nosive konstrukcije

### 5.2.1. Vanjski zidovi

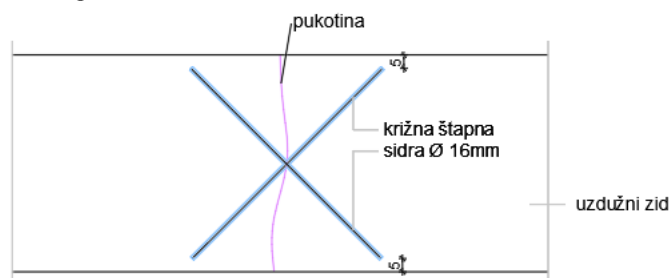
Oštećenja vanjskih zidova saniraju se injektiranjem ili ugradnjom karbonskih traka. Injektiranje zidova od opeke izvodi se na mjestima otvorenih pukotina, injekcijskom smjesom od hidrauličkog vapna, uz prethodni dogovor projektanta, nadležnog konzervatora, nadzornog inženjera i izvođača. Priprema za injektiranje je uklanjanje žbuke. Obzirom na prethodno izvedene konzervatorske istražne radove svi radovi na žbukama moraju se izvesti uz prethodni dogovor s nadležnim konzervatorom. Postojeće pukotine vidljive s obje strane zida potrebno je sanirati. Najprije se uklanja postojeća žbuka sa zidova, i potvrđuje da su sve vidljive pukotine konstruktivne. Sve šupljine i pukotine potrebno je navlažiti vodom te zapuniti produžnim mortom. Preko zida (obostrano) postaviti armaturnu mrežu. Povezati je sa zidovima trnovima postavljenim na razmacima ~ 45 cm u oba smjera. Za postavljanje trnova buše se rupe u zidu dubine 15 cm promjera  $\varnothing 12$  mm, pod kutom cca  $5^\circ$  od horizontale radi lakšeg injektiranja nakon postavljanja trnova. Preko cijele površine zida nanijeti cementni mort u debljini dostatnoj kako bi se prekrili svi čelični elementi (3-4 cm). Obzirom da se za završno žbukanje koristi vapnena žbuka, svi dijelovi čeličnog ojačanja zida (mreže, trnovi) moraju biti prekriveni cementni mortom, kako bi se spriječila nepovoljna kemijska reakcija čelika i vapna.



*Slika 5.10 Sanacija vanjskih zidova*

Veće pukotine osim injektiranja ojačavaju se ugradnjom križnih štapnih sidra. Ona se izvode od rebraste armature RA – 400/500  $\varnothing$  16 i  $\varnothing$  18 mm. Ugrađuju se u prethodno izbušene rupe. Povezivanje nosivih zidova nastalih u različito vrijeme bez međusobnog povezivanja zidarskim vezom, izvodi se ugradnjom štapnih sidra od RA- 400/500. Sidra se ugrađuju u prethodno izbušene rupe u zidu. Štapna sidra se postavljaju duž pukotine na razmaku koji odgovara debljini zida. Po dvije rupe buše se pod kutom od 45° prema plohi zida, tako da se križaju u sredini zida, odnosno pukotine. Rupe se buše do dubine koja seže cca 5 cm od nasuprotne plohe zida. Postavljanje štapnih sidra u rupe mora biti pomoću osigurača središnjeg položaja šipki, što je važno radi njihove zaštite ali i boljeg povezivanja s okolnim zidom. Nakon postave sidra rupe se injektiraju injekcijskom smjesom.

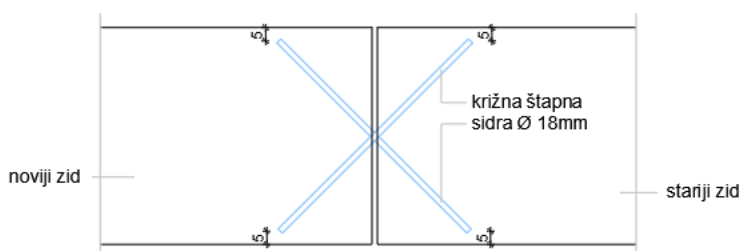
### Detalj križnih sidra $\varnothing$ 16mm



#### Napomena:

Prije ugradnje ukrižanih štapnih sidra pukotinu treba očistiti od raspucalih i olabavljenih komada opeke i morta. Očišćenu sljubnicu treba ispuniti mortom omjera smjese 1:3:9 uz ugradnju opečnih komada odgovarajuće dimenzije. Nakon toga ugrađuju se ukrižana štapna sidra  $\varnothing$ 16mm od RA-400/500. Rupe u zidu buše se krunom  $\varnothing$ 30mm. Ugrađuju se tako da se na mjestu sljubnica križaju pod kutem od 90°, što znači da su nagnuta pod kutem od 45° prema plohi zida. Razmak sidra je ~50cm. Ova sidra se postavljaju u prizemlju i međukatu. Nakon postave čeličnih profila uz osiguranje središnjeg položaja u rupi, sve se injektira injekcijskom smjesom "Masterflow 928".

### Detalj križnih sidra $\varnothing$ 18mm

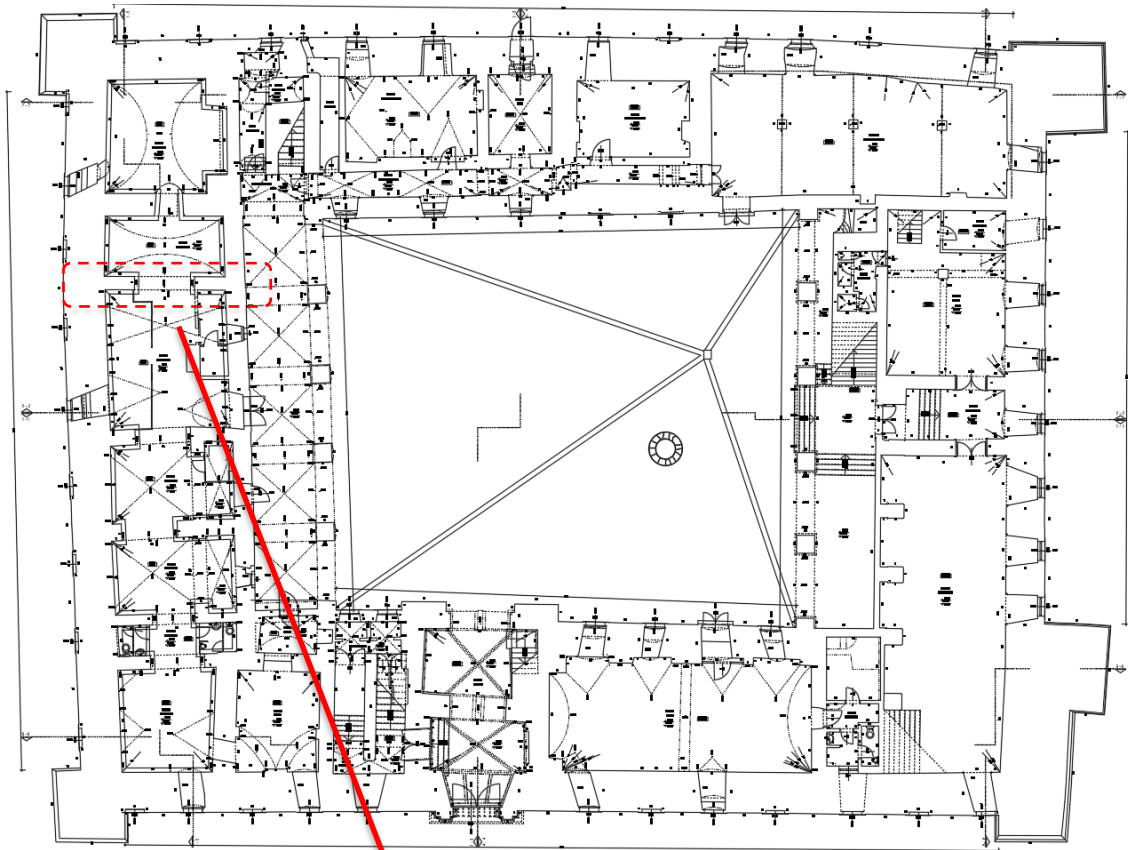


#### Napomena:

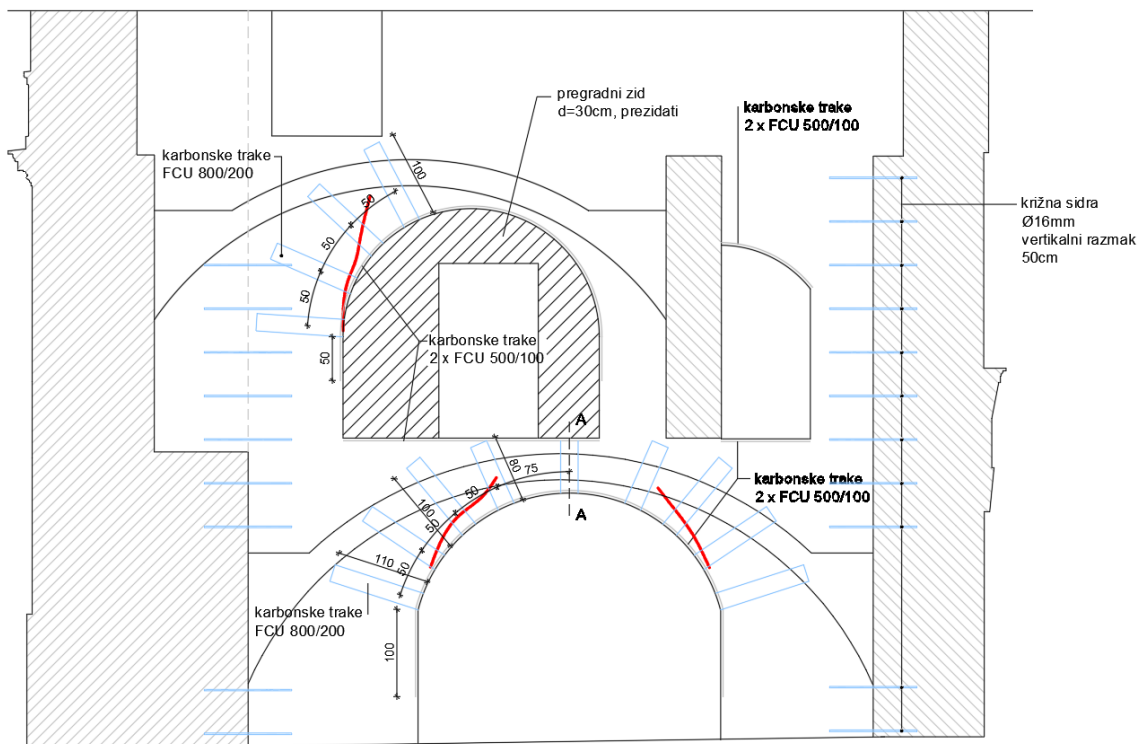
Prije ugradnje ukrižanih štapnih sidra otvorenu sljubnicu između zidova treba očistiti od raspucalih i olabavljenih komada opeke i morta. Isto tako treba ukloniti sloj žbuke prethodne faze. Tako očišćenu sljubnicu treba ispuniti mortom omjera smjese 1:3:9 uz ugradnju opečnih komada odgovarajuće dimenzije. Nakon toga ugrađuju se ukrižana štapna sidra  $\varnothing$ 22mm od RA-400/500. Rupe u zidu buše se krunom  $\varnothing$ 36mm. Ugrađuju se tako da se na mjestu sljubnica križaju pod kutem od 90°, što znači da su nagnuta pod kutem od 45° prema plohi zida. Razmak ukrižanih štapnih sidra jednak je debljini zida (maksimalno 1metar). Ova sidra se postavljaju na cijeloj visini vanjskih zidova (16m). Nakon postave čeličnih profila uz osiguranje središnjeg položaja u rupi, sve se injektira injekcijskom smjesom "Masterflow 928". Točna lokacija križnih štapnih sidra odredit će se nakon što se na licu mjesta sondiranjem pronađu spojne sljubnice dvaju zidova. Uključen sav potrebni materijal i rad, kao i radna skela.

Slika 5.11 Ugradnja sidara

Ojačanje otvora u zidovima izvodi se postavom karbonskih traka odgovarajućeg poprečnog presjeka, na prethodno pripremljenu podlogu uz odgovarajuće sidrenje u uglovima.



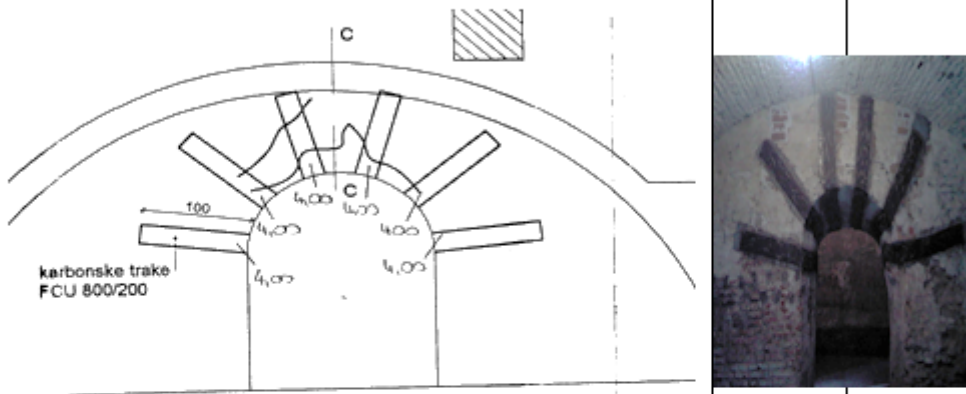

Ojačanje zida između prostorija 7 i 8 u prizemlju



Slika 5.12 Tlocrt i presjek međukata s planom postavljanja karbonskih traka i sidara



Ojačanje zidova karbonskim trakama izvodi se lijepljenjem traka na očišćenu površinu. Sve pukotine saniraju se prije lijepljenja traka, na način da se zapune injekcijskom masom. Sanacija zidova zavedena je u građevinsku knjigu.

GRAĐEVINA: MUZEJ MEĐIMURJA ČAKOVEC					
OPIS RADOVA : Ojačanje karbonskim trakama. Prije postavljanja karbonskih traka potrebno je sanirati pukotine čišćenjem raspucalog i olabavljenog materijala. Nakon toga pukotinu treba očistiti ispuhivanjem komprimiranim zrakom i navlažiti je prije injektiranja injekcione smjese. Za injektiranje se preporuča smjesa s prirodnim hidrauličkim vapnom Calx Romana.					
Redni broj predračuna	Jedinica mjere	Količina po predračunu	Jedinična cijena	Izvršena količina radova	
				mjesečno	ukupno
3.1	m'	50,00 ; 300,00	64,99 ; 620,00		
PRIJENOS : FCU 800/200 315,50 m' FCU 800/200 m'				315,50	
<b>OJAČANJE ZIDA IZMEĐU PROSTORIJA PRIZEMLJA PR8-PR9</b>					
					
smjer x FCU 800/200 6 x 4,00 m' = <b>24,00 m'</b>					
UKUPNO : FCU 800/200 24,00 m' ojačanje zida PR8-PR9 FCU 800/200 m'				24,00	
PRENOSI SE : FCU 800/200 339,50 m'					
ZA IZVOĐAČA:		NAD. INŽENJER:			

Slika 5.13 Izvod iz građevinske knjige





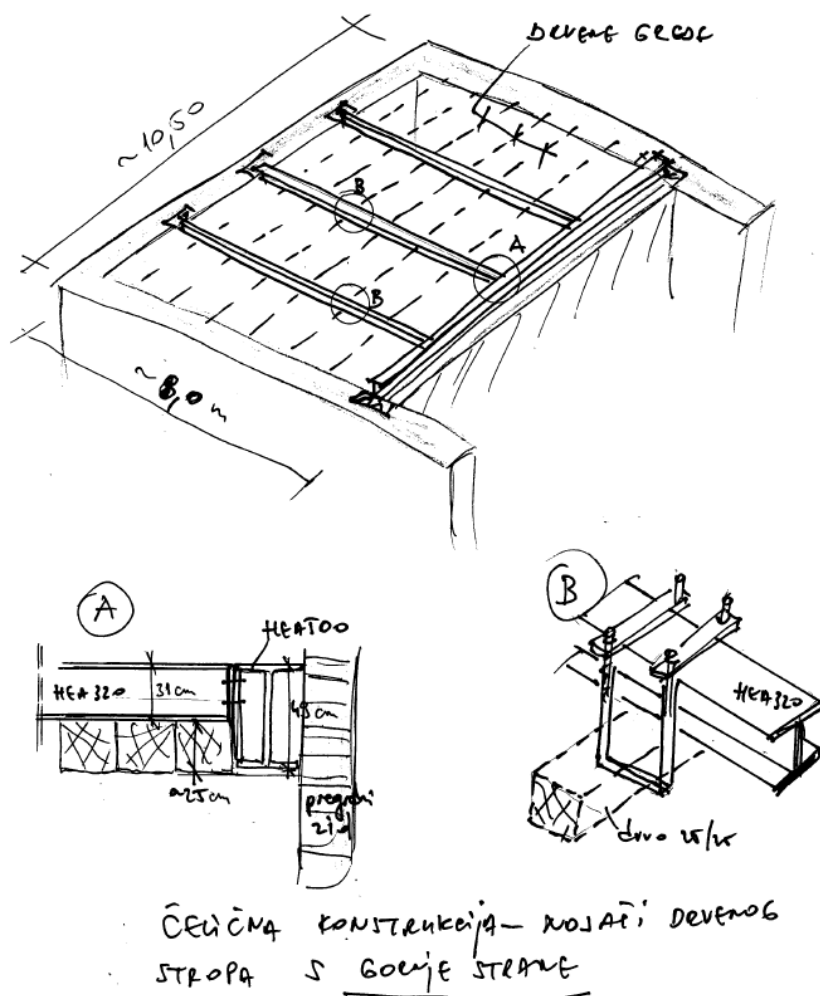
*Slika 5.14 Ugradnja karbonskih traka na zidove*

### **5.3. Sanacija oštećenja horizontalnih dijelova nosive konstrukcije**

#### **5.3.1. Drvena međukatna konstrukcija**

Kod povijesnih zgrada najčešći tip stropne konstrukcije su drvene grede, koje su tokom vremena izgubile na funkcionalnosti. Materijali korišteni pri izgradnji starih zgrada, bili su prilagođeni projektiranju i mogućnostima tog doba. Nosivu konstrukciju većine povijesnih zgrada čine masivne drvene grede različitih dimenzija poprečnog presjeka, postavljene na zadanom rasponu. Najčešće se grede izvode na istom međusobnom osnom razmaku. Stropnu konstrukciju zatim čine daske, te nasip od šute koji predstavlja zvučnu i toplinsku izolaciju. U nasip su položene drvene gredice na koje se izvodi novi red dasaka, koji predstavlja podlogu za završnu podnu oblogu. Donja površina greda zatvorena je na način da su zadovoljeni kriteriji funkcionalnosti, higijene i estetike. Konstrukciju podgleda stropa najčešće čini trstika pričvršćena odozdo na drvene grede, koja služi kao podloga i pomaže boljem prijanjanju žbuke.

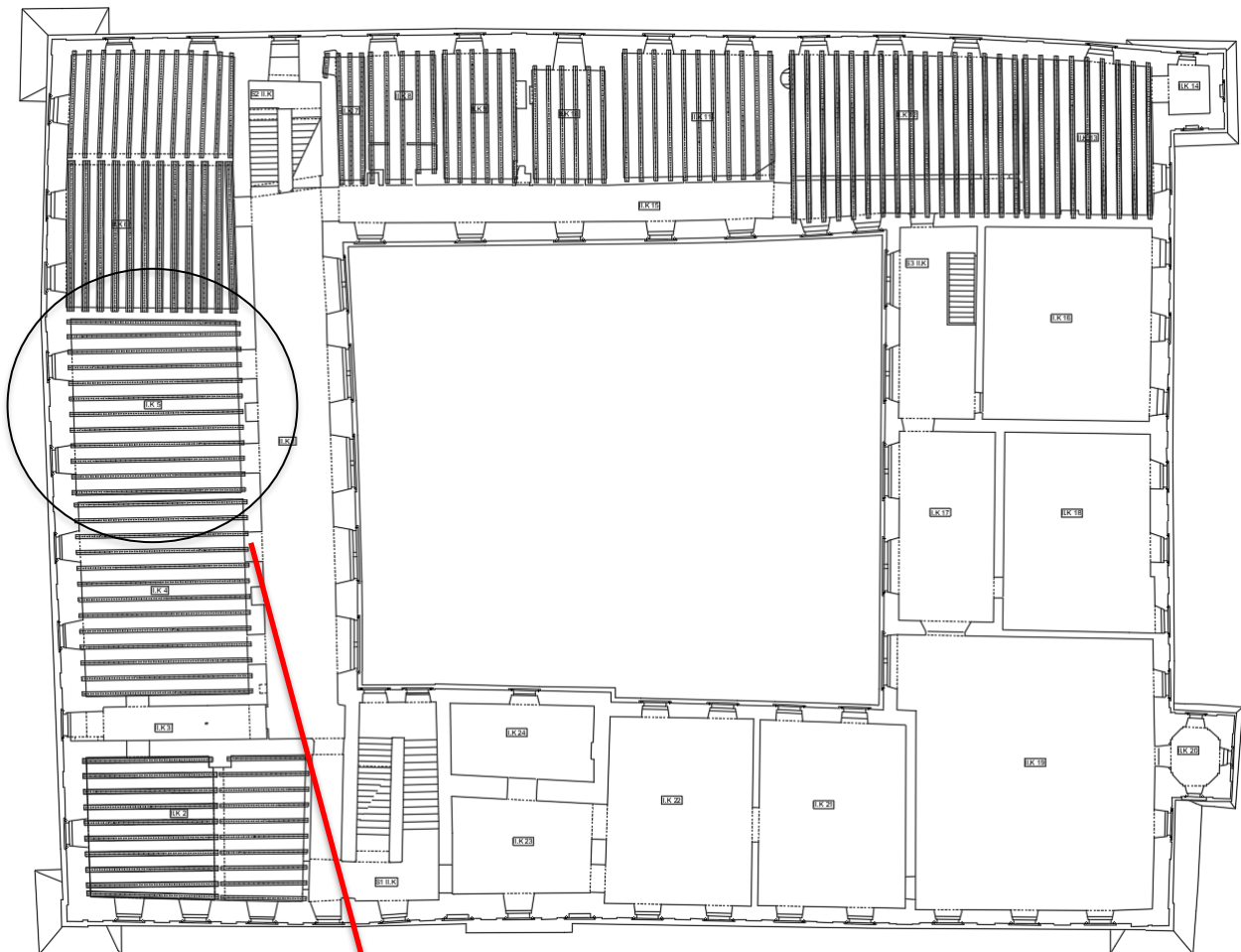
Temeljem očitovanja nadzornog inženjera, vezanom uz drvenu stropnu konstrukciju, prije bilo kakvih drugih sanacijskih radova, potrebno je izvesti zamjenu oštećenih, trulih i dotrajalih drvenih greda s kvalitetnim gredama II klase, dimenzija kao postojeće, te osigurati njihovo međusobno povezivanje i čvrste ležajeve za pravilno i sigurno nalijeganje greda na nosive zidove. Kako bi se utvrdilo građevinsko stanje slojeva drvenog grednika potrebno je, prije sanacije, ukloniti sve slojeve iznad drvenoga grednika (tavele + glina/ilovača, šuta, daske), koji su vlastite težine od 5,00 do 5,60 kN/m<sup>2</sup> + korisno opterećenje od 0,75 kN/m<sup>2</sup>. Radove je potrebno izvoditi pažljivo, isključivo ručnim i lakim pomagalicama, bez uzrokovanja vibracija i korištenja strojeva, vodeći računa o sigurnosti konstrukcije, a sve uz stalan stručni nadzor. Kako bi se utvrdilo stvarno stanje greda na osloncima kao i stanje samih ležišta na mjestu oslanjanja greda (nosivi zidovi), potrebno je izvesti radove sondiranja slojeva konstrukcije.



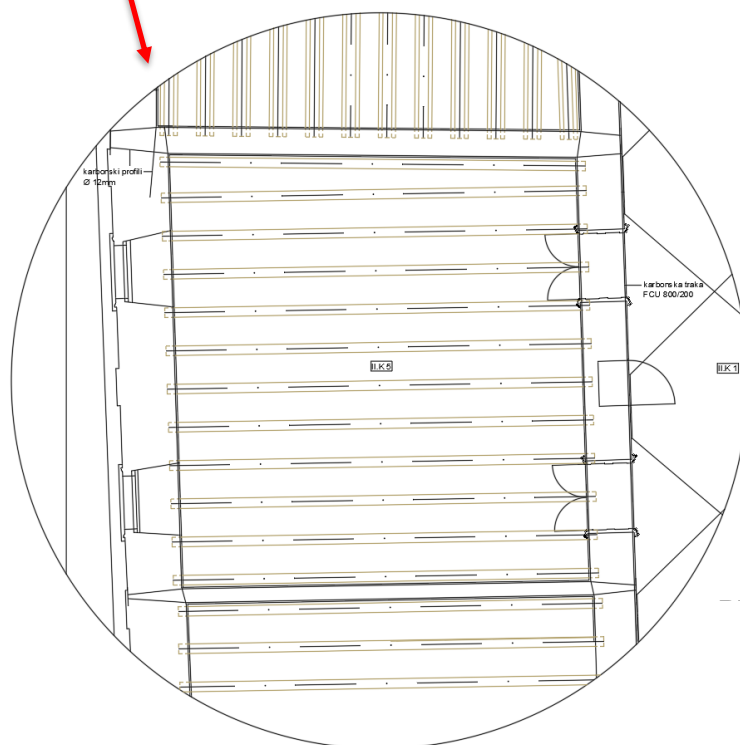
Slika 5.15 Skica potencijalnog rješenja izrađena od glavnog nadzornog inženjera

Oštećene drvene grede mijenjaju se gredama istih dimenzija poprečnog presjeka, te se postavljaju na istom rasponu. Drvene grede koje se izvode su od punog drva, kvalitete u skladu s glavnim projektom i prema dogovoru s nadležnim konzervatorima, projektantom i nadzornim inženjerom. Rubove greda koji idu u zid potrebno je zaštititi premazom od vlage. Izvedba mora odgovarati pravilima građevinske struke. Drvene grede bočno su ojačane čeličnim zategama. Postojeća međukatna konstrukcija drvenog stropa sastojala se od žbuke, trstike, dasaka, šute i tavela. Kako bi zadržali postojeću strukturu stropa sa strane grijanog prostora izvedena je završna obrada žbukom, izvedena na novo izvedenu trstiku. S tavanačke strane izvode se drvene daske, radi prohodnosti, ali i radi dodatnog približavanja izvornom stanju.

Kako je građevina kulturno dobro ona podliježe i posebnim zahtjevima prilikom izvođenja radova na njenoj obnovi. Zbog toga o svim fazama izvođenja radova moraju biti obaviješteni projektanti i nadležni konzervatorski odjel.

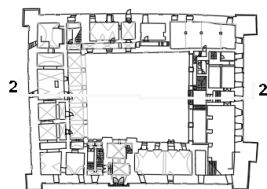


PROSTORIJA II K5 - 2. KAT

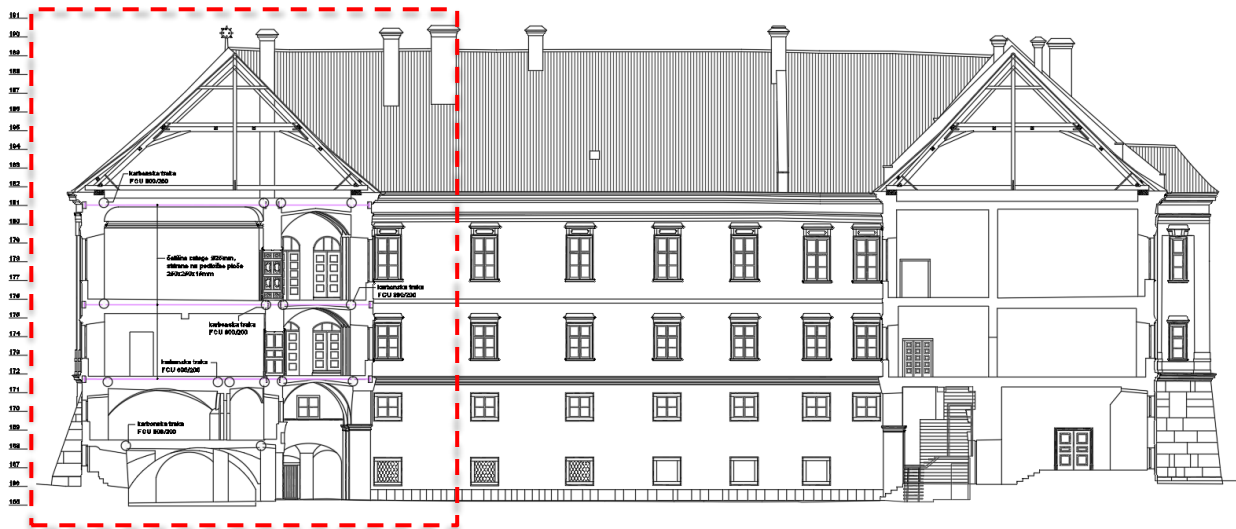


PROSTORIJA II K 5 – drvene grede 20/26 cm s razmakom greda od 80 cm

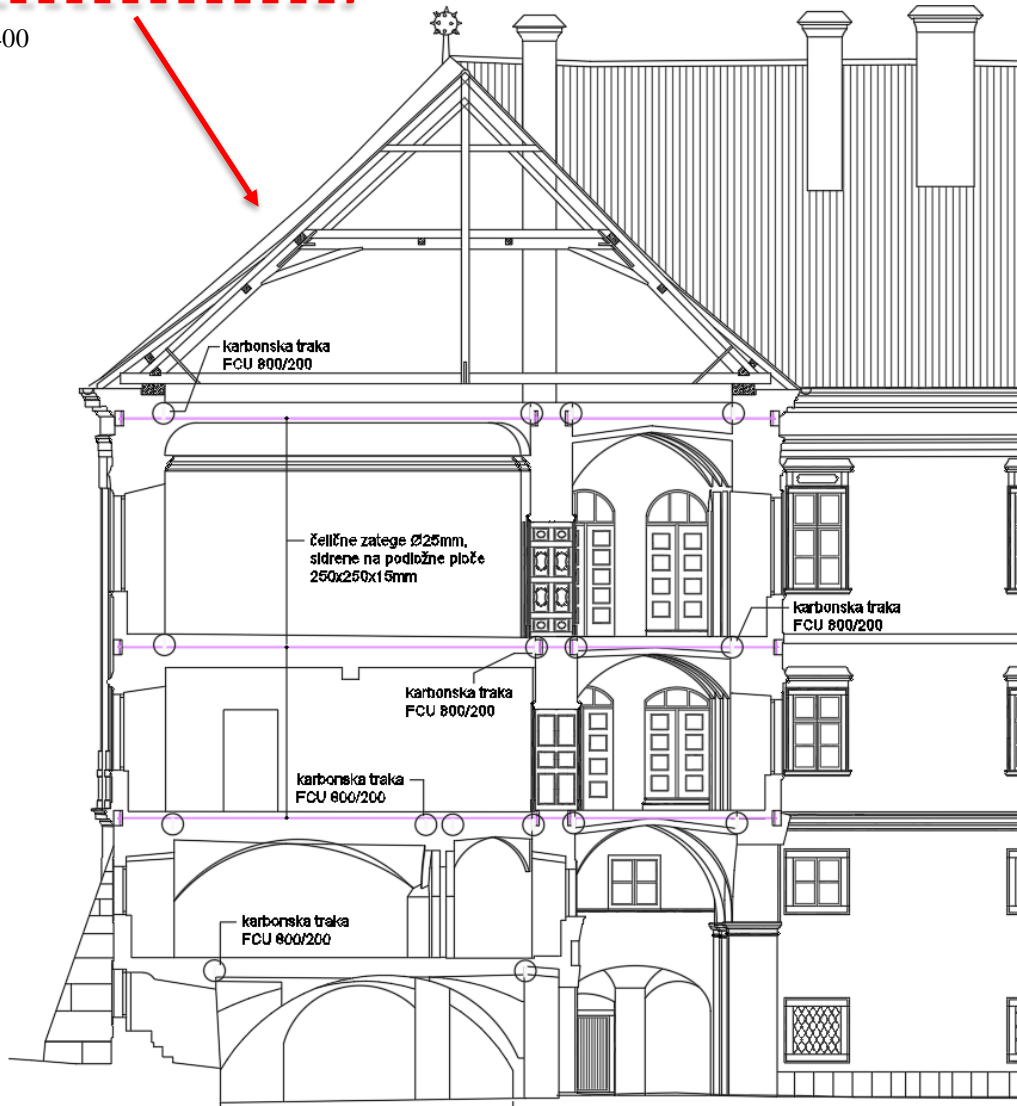
Slika 5.16 Položaj novih drvenih greda



PRESJEK 2-2



M 1:400

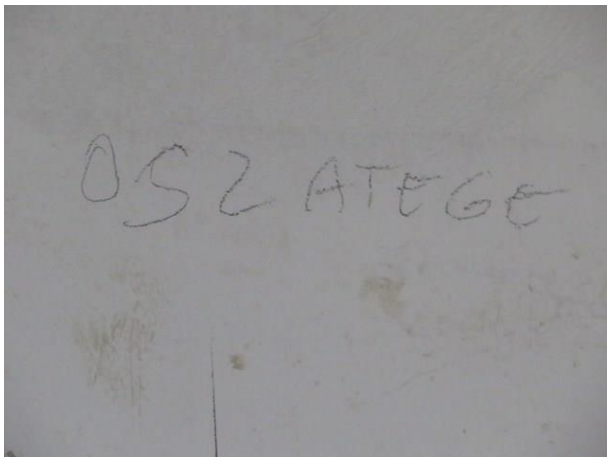


M 1:150

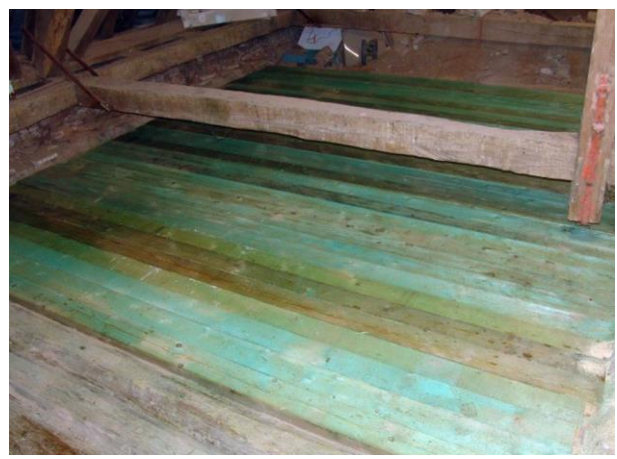
Slika 5.17 Plan postavljanja horizontalnih zatega



Sanacija stropa izvodila se na način da je prvo postavljena zaštitna i radna skela, te su demontirani postojeći slojevi međukatne konstrukcije (žbuka, trstika, daske, drvene grede, šuta). Skidanje žbuke izvodi se uz prethodno odobrenje nadležnog konzervatora. Sav otpadni materijal odveden je na gradski deponij. Po demontaži postojećih slojeva izvedena je priprema za postavljanje novih drvenih greda. Sva površina je očišćena, te su izrađena ležišta za drvene stropne grede. Ležišta se izrađuju štemanjem, pažljivo, ručno, bez uporabe alata koji uzrokuju vibracije. Drvene i čelične grede ugrađivane su prema glavnom projektu, u koordinaciji glavnog nadzornog inženjera, nadležnog konzervatora, glavnog projektanta i izvođača radova. Grede su dodatno ojačane zategama. Pogled stropa obijen je daskama na stropne grede, daske su obložene trstikom, a strop je ožbukovan vapnenom žbukom. Prema konzervatorskim uvjetima potrebno je zadržati postojeće profilacije u žbuci. U podu tavana izvedene su OSB ploče, vijcima pričvršćene na daske, izvedene na stropne grede.





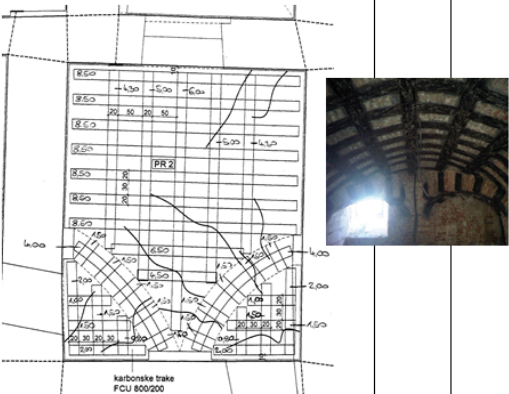
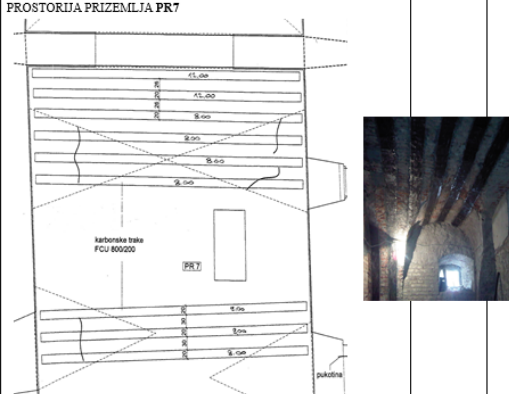


*Slika 5.18 Fotodokumentacija rekonstruirane drvene međukatne konstrukcije*

### 5.3.2. Zidani svodovi

Temeljem prethodnih analiza i proračuna definirana je potreba za statičkim ojačanjima nosivih dijelova konstrukcija. „Glavnim projektom rekonstrukcije nosive konstrukcije dijela palače“ izrađenim od strane tvrtke LOKOŠEK PROJEKT d.o.o. za projektiranje, consulting i usluge, Zagreb, T.D. 2/06, od prosinca 2006. godine, određeno je da se statička ojačanja dijelova konstrukcije (nosivih zidova, stupova i drugih dijelova koji se odnose na mehaničku stabilnost i nosivost) izvode uz minimalno invazivne postupke, pomoću karbonskih lamela, tzv. karbonskih vlakana.

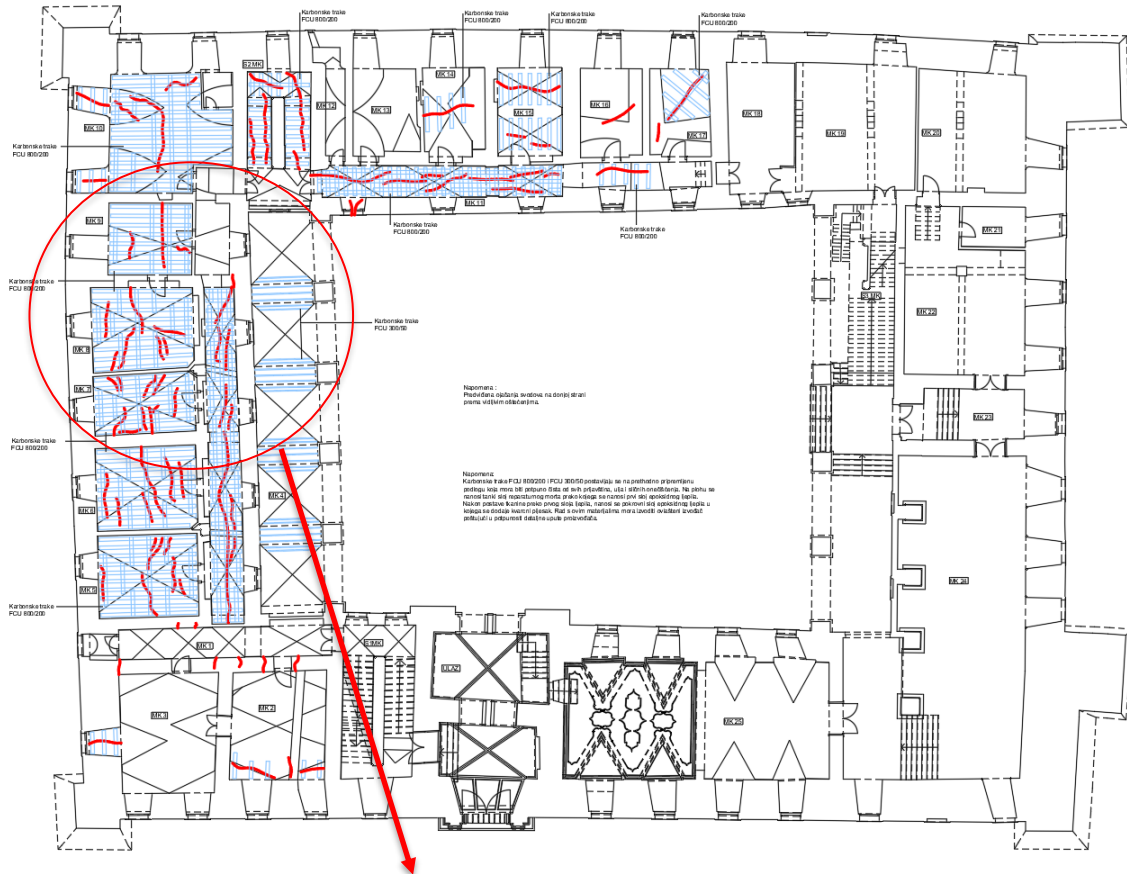
Svodovi su ojačani karbonskim trakama s donje i gornje strane svodova. Prije početka sanacije postavljanjem karbonskih traka, važno je mjerenjem na licu mjesta ustanoviti stvarnu dužinu pukotina koje se saniraju. Pukotine su najprije sanirane čišćenjem raspucalog i olabavljenog materijala. Nakon toga pukotine su očišćene ispuhivanjem komprimiranim zrakom i navlažiti je prije injektiranja injekcijske smjese. Za injektiranje se preporuča smjesa s prirodnim hidrauličkim vapnom Calx Romana. Kod injektiranja koristiti smjesu s prirodnim hidrauličkim vapnom.

GRAĐEVINA: MUZEJ MEDIMURJA ČAKOVEC					
OPIS RADOVA: Ojačanje svodova karbonskim trakama s donje i gornje strane svodova. Prije postavljanja karbonskih traka potrebno je sanirati pukotine čišćenjem raspucalog i olabavljenog materijala. Nakon toga pukotinu treba očistiti ispuhivanjem komprimiranim zrakom i navlažiti je prije injektiranja injekcijske smjese. Za injektiranje se preporuča smjesa s prirodnim hidrauličkim vapnom Calx Romana.					
Redni broj predracuna	Jedinica mjere	Količina po predracunu	Jedinična cijena	Izvršena količina radova	
				mjesečno	ukupno
3.1	m'	50,00 ; 300,00	64,99 ; 620,00		
<b>PROSTORIJA PRIZEMLJA PR2</b> 					
smjer x FCU 800/200 $(7 \times 8,50 \text{ m}') + 6,50 \text{ m}' + 4,50 \text{ m}' + (2 \times 5 \times 1,50 \text{ m}') + (2 \times 1,00 \text{ m}') + (2 \times 1,50 \text{ m}') + (2 \times 2,00 \text{ m}') = 94,50 \text{ m}'$					
smjer v FCU 800/200 $(2 \times 4,30 \text{ m}') + (2 \times 5,00 \text{ m}') + 6,00 \text{ m}' + (2 \times 4,00 \text{ m}') + (2 \times 2,00 \text{ m}') + (2 \times 1,50 \text{ m}') + (2 \times 0,80 \text{ m}') = 41,20 \text{ m}'$					
UKUPNO : FCU 800/200 135,70 m' FCU 800/200 PR.2 m' 135,70					
PRENOSI SE : FCU 800/200 135,70 m'					
ZA IZVOĐAČA:			NAD. INŽENJER:		
<b>PRIJENOS: FCU 800/200 135,70 m'</b>					
<b>PROSTORIJA PRIZEMLJA PR7</b> 					
smjer x FCU 800/200 $(5 \times 8,00 \text{ m}') + (2 \times 9,00 \text{ m}') + (2 \times 12,00 \text{ m}') = 82,00 \text{ m}'$					
UKUPNO : FCU 800/200 82,00 m' FCU 800/200 PR.7 m' 82,00 PRENOSI SE : FCU 800/200 237,70 m'					
ZA IZVOĐAČA:			NAD. INŽENJER:		

Slika 5.19 Upis u građevinsku knjigu stavaka sanacije zidanih svodova



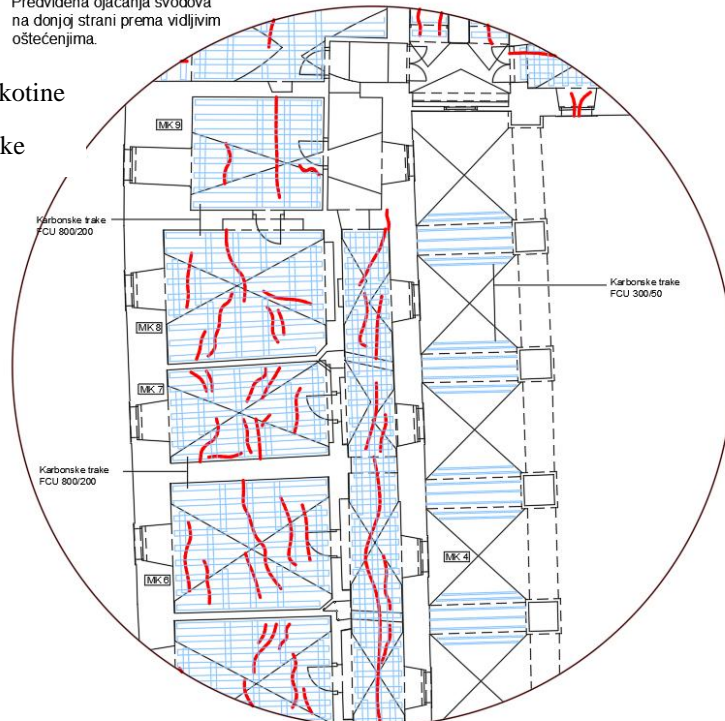
OJAČANJE DONJE PLOHE SVODOVA A KARBONSKIM TRAKAMA - SVODOVI MEĐUKATA



OJAČANJE DONJE PLOHE SVODOVA KARBONSKIM TRAKAMA

Napomena:  
Predviđena ojačanja svodova na donjoj strani prema vidljivim oštećenjima.

- pukotine
- trake



Napomena:  
Karbonske trake FCU 800/200 i FCU 300/50 postavljaju se na prethodno pripremljenu podlogu koja mora biti potpuno čista od svih prijavština, ulja i sličnih onečišćenja. Na plohu se nanosi tanki sloj reparaturnog morta preko kojega se nanosi prvi sloj epoksidnog ljepila. Nakon postave tkanine preko prvog sloja ljepila, nanosi se pokrovni sloj epoksidnog ljepila u kojega se dodaje kvarcni pijesak. Rad s ovim materijalima mora izvoditi ovlaštenu izvođača poštujući u potpunosti detaljne upute proizvođača.

Slika 5.20 Primjer sheme postavljanja karbonskih traka

Prije postavljanja karbonskih traka pukotine se saniraju. Pukotine je potrebno očistiti od raspucalog i olabavljenog materijala, potrebno je čišćenje ispuhivanjem komprimiranim zrakom i površinsko zasićivanje pukotine vodom. U pukotinama se buše rupe za injektiranje. Pukotine se saniraju injektiranjem bezcementnom injekcijskom smjesom. Nakon saniranja pukotina postavljaju se karbonske trake. Karbonske trake postavljaju se na prethodno pripremljenu podlogu koja mora biti potpuno čista od svih prljavština, ulja i sličnih onečišćenja. Na plohu se nanosi tanki sloj reparaturnog morta preko kojega se nanosi prvi sloj epoksidnog ljepila. Nakon postave tkanine preko prvog sloja ljepila, nanosi se pokrovni sloj epoksidnog ljepila u kojega se dodaje kvarcni pijesak. Rad s ovim materijalima mora izvoditi ovlaštenu izvođača poštujući u potpunosti detaljne upute proizvođača. Nakon izrade ojačanja karbonskim trakama svodovi se žbukaju vapnenom žbukom i boje.



*Slika 5.21 Ugrađivana karbonska traka*

Sanacija oštećenja nosive konstrukcije izvodi se na dijelu horizontalnih nadvoja i svodova, lijepljenjem karbonskih lamela, čime se postiže veza cjelokupne konstrukcije i osiguranje horizontalne raspodjele sila s krovne konstrukcije na vertikalne nosive elemente (zidove i stupove). Karbonske lamele karakterizira visoka postojanost, velika otpornost na vlak i visoki modul elastičnosti te visoki stupanj otpornosti na koroziju i atmosferske uvjete, što ih čini izuzetno pogodnim za primjenu na tehnološki zahtjevnim objektima te pri povećanim statičkim i dinamičkim opterećenjima konstrukcija.





*Slika 5.22 Prikaz ugrađivanja karbonskih traka*

## 5.4. Sanacija oštećenja od vlage

Eliminiranje vlage u zidovima podrumskih ili prizemnih dijelova konstrukcije je nužno i neophodno kod svih zgrada s problemom vlage. Rješavanje problema vlage potrebno je uključiti u projektnu dokumentaciju, kako bi se osiguralo dugotrajno i kvalitetno rješenje. Najučinkovitiji način sanacije kapilarne vlage je injektiranje zidova adekvatnom injekcijskom masom. Najčešće se u svrhu zaštite od vlage koriste smjese od smole koja sprječava kapilarno penjanje vlage po zidovima. Smola se ubrizgava ručno ili automatski u posebno postavljene rupe u mortu. Osim toga, smolom se zatvaraju i postojeće rupe u zidovima. Injektiramo s ciljem da postignemo horizontalnu barijeru kapilarnog uzdizanja vlage, stvorimo zaštitnu zavjesu iza temelja zida, osiguramo trajnu izolaciju pukotina i konstrukcijsko ojačanje. Injektiranje se najčešće izvodi pod visokim ili niskom tlakom. Metoda injektiranja odabire se ovisno o vrsti oštećenja i stupnju oštećenosti. Materijal za injektiranje svojim djelovanjem zatvara pore i postiže da postanu vodonepropusne. Kod svih sanacija, tako i sanacije od vlage cilj je postojeću, oštećenu i oslabljenu konstrukciju vratiti u prvobitno stanje, te joj na taj način vratiti stabilnost i osigurati nesmetano korištenje.

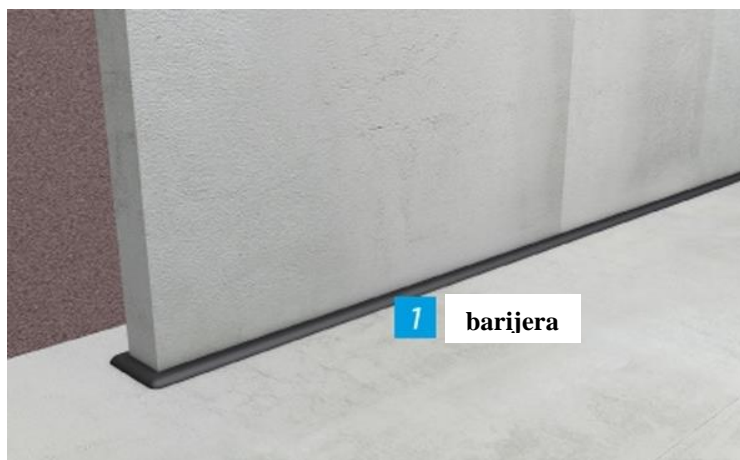
Proces sanacije sastoji se od:

- inspekcijskog pregleda građevine,
- utvrđivanja postojećeg stanja konstrukcije,
- izrade prijedloga rješenja,
- injektiranja sredstvima za sprječavanje širenja kapilarne vlage,
- isušivanja zidova paropropusnim žbukama,
- uklanjanja dotrajale žbuke,
- izrade sanacijskih vapnenih fasada.

Nakon inspekcijskog pregleda građevine koji obuhvaća: utvrđivanje vrste konstrukcije, debljine zidova, čvrstoće, statike, pojave pukotina i šupljina te mjerenje stupnja vlage, slijedi izrada prijedloga rješenja sanacije. Rješenja se vrlo često moraju prilagoditi zakonitostima objekta, fizikalnim svojstvima, dostupnosti te po potrebi mišljenjima i odobrenjima konzervatorskih ureda. Važan kriterij uspješnog saniranja kapilarne vlage je, osim kvalitetnih i provjerenih proizvoda i sustava, stručna izvedba ovlaštenih izvođača radova. Ovlašteni izvođači posjeduju adekvatne strojeve i opremu za izvedbu te polaze edukacije.

Načini prekida kapilarne vlage u zidanim konstrukcijama:

1. Postavljanje horizontalne barijere ispod zidova (rezanjem konstrukcije)



Slika 5.23 Horizontalna barijera ispod zidova

2. Postavljanje horizontalne barijere injektiranjem bez tlaka



Slika 5.24 Injektiranje bez tlaka

3. Postavljanje horizontalne barijere injektiranjem pod pritiskom



Slika 5.25 Injektiranje pod tlakom



#### 4. Sanacija zidova sanacijskom žbukom



Slika 5.26 Sanacijska žbuka

Prije sanacije potrebno je odraditi prethodne radnje, odnosno pripremiti podlogu. Priprema podloge izvodi se mehaničkim postupcima uklanjanja odnosno otucanja nezdravih, bolesnih i labavih slojeva zidova sve do zdrave i čvrste podloge. Minimalna visina uklanjanja starih slojeva je 80 cm od zone injektiranja. Nakon uklanjanja nezdravih i oštećenih dijelova slijedi građevinsko zatvaranje dijelova konstrukcije i popunjavanje spojnica (fuga) cementnim mortovima (vodoodbojni, aditivima oplemenjen mort) te izravnavanje površine istim, s ciljem površinske stabilizacije konstrukcije. Ukoliko konstrukcija ima pukotine i šupljine, iste je potrebno sanirati prije ostalih radova. Sanacija se izvodi injektiranjem. Injektiranje se provodi posebnim strojevima za injektiranje cementnih suspenzija i preko specijalnih injektora namijenjenih za cementne suspenzije. Prije injektiranja potrebno je odrediti način i metodu injektiranja. Za injektiranje se izrađuju rupe u konstrukciji, pod kutom od 0-30°, u promjeru od 12 do 20 mm i dubini 5 cm manjoj od debljine zida. Ova bušenja ne utječu na stabilnost objekta. U rupe se postavljaju injektori preko kojih se strojno, pod niskim tlakom, ubrizgava injekcijska masa. Masa ispunjava kapilare, horizontalno se širi, stvara membranu oko dijelova konstrukcije, formirajući horizontalnu barijeru za prekid kapilarnog toka vlage. Injektiranje se odvija u jednom redu i jednostrano za zidove debljine do 60 cm dok se za veće debljine pristupa dvostranom injektiranjem. Rupe, odnosno bušotine zatvaraju se mortom, te se na zid nanosi sloj impregnacije s ciljem umanjenja prodora štetnih soli. Kod problema s vlagom u zidovima nije dovoljno samo prekinuti uzgon vlage, potrebno je zaštititi konstrukciju i od zaostale vlage u zidovima. Taj problem rješava se izvedbom hidroizolacije i paropropusne, sanacijske žbuke.

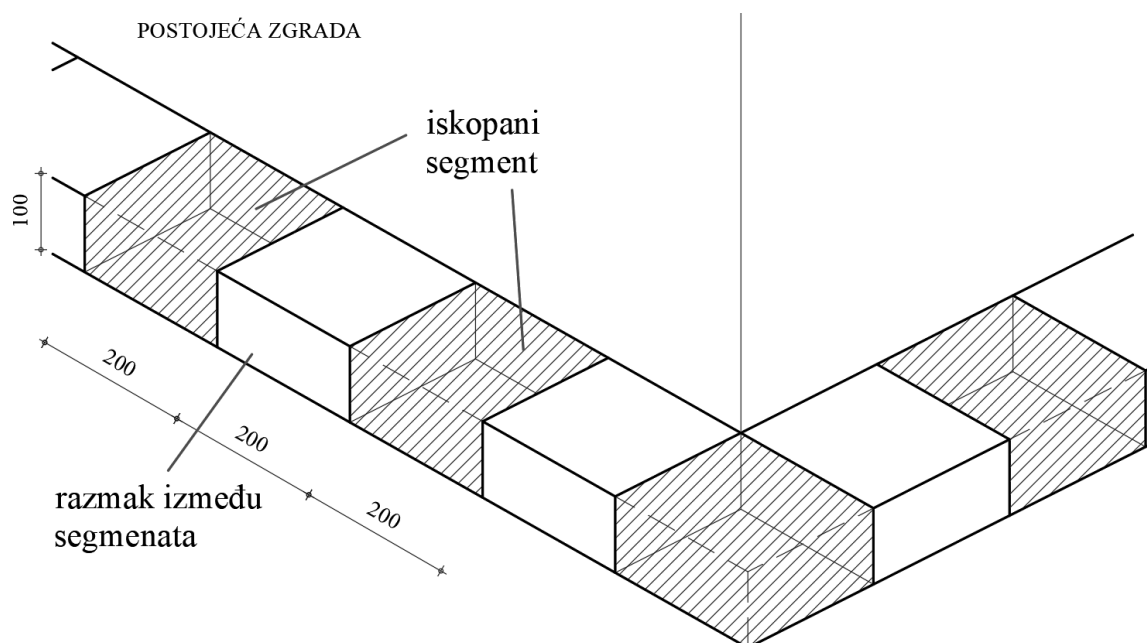
Sustav sanacijskih žbuka obuhvaća premošćivač, temeljnu žbuku i finu zaglađujuću masu. Sanacijske žbuke su vapneno-cementne s visokim udjelom zračnih pora ( $> 25\%$ ), paropropusne, visoke moći upijanja ( $< 0,3 \text{ kg/m}^2$ ), koeficijenta otpora difuzije vodene pare ( $\mu < 12$ ). Nanose se strojno ili ručno. Kako se štetne soli higroskopski kreću prema površini, na površini se događa kemijski proces pretvaranja topivih štetnih soli u teško topive, koje neće doprijeti u površinski sloj žbuke (tzv. zona uskladištenja štetnih soli), zaostala vlaga isparava, zbog čega je važno da žbuke budu visoko paropropusne. Radi učinkovitosti sustava i završni sloj, boja, mora biti paropropusan.



*Slika 5.27 Sanacija oštećenja od vlage*

Uz radove na prekidu kapilarne vlage, sanacija od vlage izvodila se i ugradnjom drenažnog sustava. Drenaža je instalacija kojom se pomoću sustava cijevi i kanala oko građevine odvode podzemne vode i procjedne vode iz tla. Svrha drenaže je zaštititi ukopane dijelove građevine od negativnog djelovanja vode. Drenažni sustav se uobičajeno sastoji od drenažnog kanala (rova), drenažnih cijevi, drenažnih okana, nasipa riječnog šljunka ili kamenog drobljenca te geotekstila. Drenažni rov se iskopa s vanjske strane temelja, a dubina ovisi o projektiranoj donjoj koti temelja. Dno iskopa izvodi se uz projektirani nagib za slobodno otjecanje vode, te se na dnu betonira podloga od laganog betona s poprečnim padom betona prema drenažnoj cijevi i utorom za njezinu ugradnju. Promjer drenažne cijevi ovisi o predviđenoj količini vode, a odabir drenažne cijevi ovisi o površini koja se drenira. Na obode i dno kanala postavlja se geotekstil, te se njime omataju drenažne cijevi. Funkcija geotekstila je sprečavanje ulaska nečistoća i mulja u cijev, što bi moglo dovesti do začepljenja. Radi lakšeg održavanja i kontroliranja sustava izvode se revizijska okna, najčešće se izvode na točkama loma drenažnog sustava.

Drenažni sustav Palače izveden je uz južni dio palače, te je izveden kako bi se regulirale oborinske vode i zaštitili temelji i zid od natapanja vlagom. Iskop uz temelje građevine izveden je po kampadama, odnosno po segmentima od 2 m, kako ne bi došlo do konstruktivnog oštećenja građevine. Kampada je segment, odnosno dio rova, čijim iskopom se smanjuje mogućnost klizanja ili oštećenja konstrukcije. Najčešće se iskop vrši kopanjem svake druge kampade.



Slika 5.28 Iskop u kampadama

Tijekom radova vršen je i arheološki nadzor te su detektirani dodatni piramidalni ugaoni potporni zidovi od cigli dozidani uz temelje, a koji su nastali sredinom 18. st., u vrijeme vladavine grofova Althan, kada su i vanjski ugaoni podupirači dozidani na palaču.





*Slika 5.29 Izvođenje drenažnog sustava*

## 6. Zaključak

Proces od projektiranja zahvata do izvođenja radova je izuzetno zahtjevan, iziskuje planiranje, mnoštvo dokumentacije i ponajprije koordiniranost raznih struka. Ukoliko se radi o zgradi koja predstavlja zaštićeno kulturno dobro i / ili se nalazi unutar zone kulturno – povijesne cjeline proces postaje još kompleksniji. Projekti obnove, održavanja, rekonstrukcije ili sanacije takvih zgrada regulirani su posebnim propisima definiranim zakonskom regulativom, a svi zahvati moraju biti odobreni od strane nadležne institucije.

Kao kulturno dobro od nacionalnog značenja, te kao simbol identiteta i tradicije Međimurja ističe se Čakovečki Stari grad Zrinskih. Prvi put spominjan u 13. stoljeću kao kula, dvorac sa svojim kulama, zvonikom, palačom, zidinama i perivojem predstavlja skladnu arhitektonsku cjelinu i simbolizira jedan od najvrjednijih i najočuvanijih kulturno-povijesnih spomenika prošlosti međimurskog kraja. Starost zgrade, prirodne nepogode, ratna razaranja, mnoge prenamjene i rekonstrukcije oslabile su snažnu konstrukciju same zgrade, temeljene na močvarnom tlu, što dodatno pogoršava stanje konstrukcije. Zbog navedenog zgrada je u kontinuiranom procesu obnove i sanacije kojima se održava zadovoljavajuće stanje zgrade i njezine nosive konstrukcije. Prilikom zahvata na konstrukciji uključene su sve struke s ciljem zadržavanja izvornog stanja zgrade, uz korištenje suvremenih graditeljskih metoda. Kroz rad su opisani zahvati zamjene dotrajalih drvenih greda nosive stropne konstrukcije, te sanacija oštećenih zidanih svodova, kao i sanacija oštećenja na zidovima te sanacija oštećenja od vlage. Svi radovi slijedili su glavni projekt, u skladu su s Uvjetima Konzervatorskog ureda, te su se izvodili prema pravilima struke i minimalno invazivnim zahvatima na okolnu konstrukciju.

Zbog očuvanja tradicije i povijesti važno je voditi stalnu brigu o zgradama koje predstavljaju graditeljsku ostavštinu. Unatoč složenom i dugotrajnom procesu, rezultat je održavana zgrada na čvrstim temeljima spremna kroz stoljeća prenositi povijest na nove generacije.

*U Čakovcu, 10.09.2021.*

*Jelena Novak*



IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Jelena Novak (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Samacija djela Pakoć Starog grad Zrinjskih u Čakovcu (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Jelena Novak  
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Jelena Novak (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Samacija djela Pakoć Starog grad Zrinjskih u Čakovcu (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Jelena Novak  
(vlastoručni potpis)



## 7. Literatura

- [1] Đ. Peulić: Konstruktivni elementi zgrada (prvi i drugi dio), CROATIANKNJIGA, Zagreb 2002.
- [2] Galić J., Vukić H., Andrić D., Stepinac L.: Tehnike popravka i ojačanja zidanih zgrada, Sveučilište u Zagrebu, Arhitektonski fakultet Zagreb, 2020.
- [3] Galić J., Galić B. : Pojačanje stropnih i zidanih zidova starih građevina, Dani ovlaštenih inženjera građevinarstva, Opatija 2011.
- [4] I. Srša : Stari grad Čakovec (1791. – 1948.), KAJ, XLIX, Zagreb 1-2 (2016) str. 61-79
- [5] E. Lokošek : Glavni projekt rekonstrukcije nosive konstrukcije dijela palače T.D. 2/06, Zagreb, prosinac 2006.
- [6] B. Nadilo : Čakovečka utvrda i negdašnje utvrde uz rijeku Muru, Građevinar br. 56, 2004., str. 309. – 317.
- [7] I. Mudrić: Statička ojačanja dijelova konstrukcije karbonskim lamelama i vlaknima
- [8] D. Matotek: Izvješće nadzornog inženjera, Čakovec, ožujak 2013. godine
- [9] I. Puđa: Teorije zidanih lukova, Diplomski rad, Zagreb, rujan 2016. g.
- [10] M. Lubina: Prilog analizi utjecaja duljine karbonske trake na ponašanje armirano betonske grede, Diplomski rad, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split, ožujak 2016. g.
- [11] J. Novak: Sanacija oštećenja konstrukcija nastalih kao posljedica poplava, Završni rad, Sveučilište u Varaždinu, Varaždin, srpanj 2013. g.
- [12] Mapei: Protupotresna ojačanja konstrukcija – brošura
- [13] Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatska komora inženjera građevinarstva: Urgentni program potresne obnove, Zagreb, svibanj 2020.

Internet izvori:

- [14] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Stari\\_grad\\_%C4%8Cakovec](https://hr.wikipedia.org/wiki/Stari_grad_%C4%8Cakovec)
- [15] <https://geoportal.dgu.hr/>
- [16] <https://oss.uredjenazemlja.hr/public/cadServices.jsp?action=dkpViewerPublic>

## 8. Popis slika

Slika 1.1 Skica iz 1945.godine .....	2
Slika 1.2 Kompleks Starog grada Zrinskih.....	3
Slika 2.1 Izvadak iz zemljišne knjige .....	4
Slika 2.2 Analizirana katastarska čestica.....	5
Slika 2.3 Atrij Starog grada Zrinskih.....	5
Slika 2.4 Fotografije konstruktivnih elemenata zgrade .....	6
Slika 2.5 Tlocrt podruma - pozicije sondažnih jama .....	8
Slika 3.1 Prijenos sila od krova do temelja .....	9
Slika 3.2 Dimenzije klasične pune opeke od gline .....	10
Slika 3.3 Prikaz zida od opeke.....	10
Slika 3.4 Tlocrt prizemlja s prikazom vanjskih zidova .....	11
Slika 3.5 Pukotine na zidovima međukata.....	12
Slika 3.6 Pukotine na zidu prostorije MK1 u međukatu.....	12
Slika 3.7 Fotodokumentacija zatečenog stanja zidova .....	13
Slika 3.8 Slojevi drvene nosive konstrukcije.....	14
Slika 3.9 Međukatna konstrukcija drvenog grednika .....	15
Slika 3.10 Analizirana prostorija oznake II.K 5. na drugom katu (tlocrt) .....	16
Slika 3.11 Analizirana prostorija oznake II.K 5. na drugom katu (presjek).....	17
Slika 3.12 Fotodokumentacija zatečenog stanja stropa .....	18
Slika 3.13 Izvod iz građevnog dnevnika .....	19
Slika 3.14 Prijenos opterećenja kod svoda .....	20
Slika 3.15 Tipovi svoda.....	21
Slika 3.16 Dijelovi luka.....	22
Slika 3.17 Prijenos sila kod lukova .....	22
Slika 3.18 Međukatna konstrukcija zidanog svoda .....	23
Slika 3.19 Analizirana prostorija hodnika na drugom katu (tlocrt) .....	24
Slika 3.20 Analizirana prostorija hodnika na drugom katu (presjek).....	25
Slika 3.21 Fotodokumentacija zatečenog stanja svodova .....	26
Slika 3.22 Vrste vlage.....	27
Slika 3.23 Primjer sanacije zida od kapilarne vlage .....	28
Slika 3.24 Jezero oko Palače Starog grada Zrinskih .....	29
Slika 3.25 Fotodokumentacija oštećenja od vlage.....	30
Slika 4.1 Pukotine na pregradnom zidu između prostorija PR7 i PR8 u prizemlju .....	34

Slika 4.2 Osnovni dijelovi luka .....	58
Slika 4.3 Sanacija pukotina .....	59
Slika 5.1 Mišljenje Konzervatorskog odjela u Varaždinu .....	61
Slika 5.2 Prikaz injektiranja zida .....	63
Slika 5.3 Sidrenje zida i nadvoja .....	64
Slika 5.4 Povezivanje zidova zategama i/ili sidrima .....	64
Slika 5.5 Povezivanje sidrom zida i drvenog grednika .....	65
Slika 5.6 Detalj spoja zatege i zida .....	65
Slika 5.7 Prikaz karbonske trake .....	66
Slika 5.8 Karbonska vlakna .....	67
Slika 5.9 Primjena karbonskih vlakana .....	68
Slika 5.10 Sanacija vanjskih zidova .....	69
Slika 5.11 Ugradnja sidara .....	70
Slika 5.12 Tlocrt i presjek međukata s planom postavljanja karbonskih traka i sidara .....	71
Slika 5.13 Izvod iz građevinske knjige .....	72
Slika 5.14 Ugradnja karbonskih traka na zidove .....	73
Slika 5.15 Skica potencijalnog rješenja izrađena od glavnog nadzornog inženjera .....	75
Slika 5.16 Položaj novih drvenih greda .....	76
Slika 5.17 Plan postavljanja horizontalnih zatega .....	77
Slika 5.18 Fotodokumentacija rekonstruirane drvene međukatne konstrukcije .....	79
Slika 5.19 Upis u građevinsku knjigu stavaka sanacije zidanih svodova .....	80
Slika 5.20 Primjer sheme postavljanja karbonskih traka .....	81
Slika 5.21 Ugrađivana karbonska traka .....	82
Slika 5.22 Prikaz ugrađivanja karbonskih traka .....	83
Slika 5.23 Horizontalna barijera ispod zidova .....	85
Slika 5.24 Injektiranje bez tlaka .....	85
Slika 5.25 Injektiranje pod tlakom .....	85
Slika 5.26 Sanacijska žbuka .....	86
Slika 5.27 Sanacija oštećenja od vlage .....	87
Slika 5.28 Iskop u kampadama .....	88
Slika 5.29 Izvođenje drenažnog sustava .....	89

## 9. Popis tablica

Tablica 4.1 Formula za izračun površine poprečnog presjeka karakterističnih elemenata .....	32
Tablica 4.2 Formula za izračun momenta otpora karakterističnih elemenata .....	32
Tablica 4.3 Formula za izračun momenta tromosti karakterističnih elemenata .....	32
Tablica 4.4 Granični dozvoljeni progib .....	33
Tablica 4.5 Dopuštena naprezanja za drvo .....	33
Tablica 4.6 Prikaz naprezanja i deformacija .....	56