

# Sanacijske metode i konstruktivna obnova kapele Svetog Klementa u Kelemenu

---

Siketić, Nenad

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:170202>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-04**

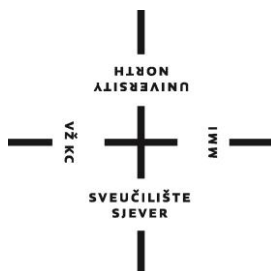


Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**



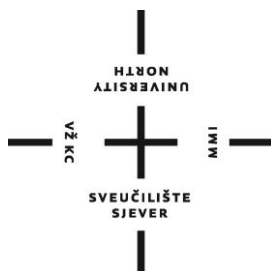
DIPLOMSKI RAD br. 108/GRD/2024

**Sanacijske metode i konstruktivna obnova**  
**kapele svetog Klementa**

Nenad Siketić, 3577/336

Varaždin, rujan 2024.

**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**  
**Studij Graditeljstvo**



DIPLOMSKI RAD br. 108/GRD/2024

**Sanacijske metode i konstruktivna obnova**  
**kapele svetog Klementa**

Student:

Nenad Siketić, 3577/336

Mentor:

izv.prof.doc.dr.sc. Matija Orešković

Varaždin, rujan 2024.



## Zahvala

Najveća zahvala mojem mentoru, izv.prof.doc.dr.sc. Matiji Oreškoviću na iskazanom povjerenju, interesu za ovaj diplomski rad, stručnoj pomoći i brojnim savjetima da napišem rad te na uloženom vremenu i trudu.

Također zahvaljujem i svim ostalim profesorima Odjela za graditeljstvo Sveučilišta Sjever na pomoći i savjetima tijekom mog studiranja.

Zahvaljujem i mojoj obitelji na pomoći i podršci tijekom mog obrazovanja.

## Sažetak

U ovom diplomskom radu prikazano je zatečeno stanje te prijedlozi konstruktivne sanacije sakralnog objekta kapele Svetog Klementa u Jalžabetu. Kapela je pravilno orijentirana, pravokutnoga tlocrta, s tornjem ispred glavnog ulaza i sakristijom prizidanom na južnoj strani. Svetište je kvadratno, nešto niže od broda, izvana utopljeno u zidnu masu. S obzirom da se kapela spominje od sredine 14. stoljeća i izgrađena je od kamenog materijala te opeke normalnog formata, veliku većinu njezinog oštećenja uzrokovali su prošlogodišnji potresi. Detaljnim pregledom, ocjenjivanjem konstruktivnih elemenata, procjenom stanja nosivosti, detekcijom nastalih deformacija objekta rađena je procjena uporabljivosti zgrade. Prema zatečenom stanju predmetna građevina spada u privremeno neuporabljivu građevinu te su potrebne mjere hitne intervencije PN2. Ne predstavlja opasnost za život i zdravlje ljudi te zadovoljava uvjete uporabe ali nema dostatnu seizmičku otpornost.

Na temelju svih zatečenih oštećenja, dana su rješenja sanacije koje se sastoje od kratkoročnih i dugoročnih mjera, odnosno trajne, tj. kompletne sanaciju.

Predmet ovog diplomskog rada su sanacijske metode i konstruktivna obnova objekta s vanjske strane, dok se unutrašnjost uređuje u drugoj fazi. Korišteni su posebni, suvremeni materijali koji su s financijskog gledišta znatno skuplji ali u većini slučajeva su brži, ekonomičniji, potpuniji te kvalitetniji. Objekt je u prvoj fazi obnove te su prikazani radovi izvođenja nakon kojeg će se stabilizirati nosivost te povećati seizmička otpornost građevine, ujedno i završiti estetski izgled svih pročelja te produljiti uporabni vijek trajanja za 100 godina.

Ključne riječi: sanacija, uporabljivost, građevina, oštećenja

## Summary

This thesis presents the current state and proposals for the constructive rehabilitation of the sacred building of the chapel of St. Clement in Jalžabet. The chapel is properly oriented, with a rectangular floor plan, with a tower in front of the main entrance and an attached sacristy on the south side. The sanctuary is square, a little lower than the nave, outside it is sunk into the wall mass. Given that the Chapel has been mentioned since the middle of the 14th century and was built of stone material and bricks of normal format, the vast majority of its damage was caused by last year's earthquakes. The usability of the building was assessed through a detailed inspection, evaluation of structural elements, assessment of load-bearing capacity, and detection of deformations of the building.

According to the found condition, the building in question belongs to the temporarily unusable building, and urgent intervention measures PN2 are required. It does not pose a threat to human life and health and meets the conditions of use, but does not have sufficient seismic resistance.

Based on all the damage found, rehabilitation solutions were given, consisting of short-term and long-term measures, or permanent, i.e. complete rehabilitation.

The subject of this diploma thesis is rehabilitation methods and constructive renovation of the building from the outside, while the interior is arranged in the second phase. Special, modern materials are used, which are significantly more expensive from a financial point of view, but in most cases they are faster, more economical, more complete and of better quality. The building is in the first stage of renovation, and the construction works are presented, after which the load-bearing capacity will be stabilized and the seismic resistance of the building will be increased, as well as the aesthetic appearance of all facades will be finished and the service life will be extended by 100 years.

Keywords: rehabilitation, usability, construction, damage

## Sadržaj

1. UVOD .....	1
2. OPĆENITO O POTRESNOM DJELOVANJU NA GRAĐEVINE.....	4
2.1. Tektonika područja.....	6
2.2. Potres na području Zagreba 22.3.2020.....	7
2.3. Seizmičke karakteristike obuhvaćenog područja .....	14
2.4. Projektiranje prema Eurocodu 8.....	15
3. PRIKAZ OŠTEĆENJA GRAĐEVINE – PROBLEMATIKA .....	18
3.1. Klasifikacija oštećenja.....	18
3.2. Prikaz presjeka i tlocrta predmetne građevine .....	33
4 . ANALIZA I OCJENA POSTOJEĆEG STANJA KONSTRUKCIJE .....	36
4.1. Pukotine na zidovima, lukovima i svodovima crkve .....	36
4.2. Elaborirana ocjena postojećeg stanja konstrukcije.....	37
4.3. Osnovna djelovanja i utjecaji na konstrukciju .....	38
4.3.1. Vertikalna djelovanja .....	38
4.3.2. Opterećenje snijegom.....	39
4.3.3. Opterećenje vjetrom .....	40
4.3.4. Opterećenje potresom.....	46
4.4. Proračunski modeli postojeće konstrukcije, podaci, proračun i rezultati.....	49
4.4.1. 3D model osnovne konstrukcije.....	53
4.4.2. Geometrija modela .....	57
4.5. Potrebne razine - hitne i dugoročne sanacije konstrukcije crkve .....	63
5. TEHNIČKO RJEŠENJE – SANACIJA.....	66
5.1. Sanacija oštećenih zidova i lukova kapele pomoću sprezanja čeličnim zatega .....	67
5.2. Postupak ojačanja zidova od opeke i kamena karbonskim vlaknima .....	71
5.3. Sanacija nosivih elemenata dubinskim injektiranjem .....	73
5.4. Povezivanje konstrukcije sidrima i zategama .....	74
5.5. Sanacija čeličnim anker pločama .....	78
5.6. Sanacija „čavljanjem“ umjesto sidrenja .....	79
5.7. Sanacija pukotina FRCM sustavom .....	81
5.8. Sanacija zamjenom morta u sljubnicama .....	82
5.9. Sanacija ponovnim zidanjem dijela zida.....	82
6. PRILOZI.....	84
8. LITERATURA.....	105



## Popis kratica

m <sup>2</sup>	oznaka za površinu, metar kvadratni
cm <sup>2</sup>	oznaka za površinu, centimetar kvadratni
mm	oznaka za duljinu, milimetar
cm	oznaka za duljinu, centimetar
m	oznaka za duljinu, metar
sec	oznaka za vrijeme, sekunda
HRN	Hrvatska norma
kg	kilogram
%	postotak
sv.	svetog
st.	stoljeće
d	holcen
l	les, pleistocen
km	kilometar
g	gram
%	postotak
ag	horizontalno ubrzanje
arg	gravitacijsko ubrzanje
Kt	faktor turbulencije
KNm	moment
Kn	kilonjutn
PN2	privremeno neuporabljivo

## Popis tablica

Tablica 1. Kategorizacija tla prema seizmičnosti (Eurocode 8, HRN EN 1998-1:2008 en)....	16
Tablica 2. Kategorizacija tla prema seizmičnosti (Eurocode 8, HRN EN 1998- 1:2008 en)...	46
Tablica 3. Razredba proračunskog uporabnog vijeka (prema hrn en 1990-1) .....	64

## Popis slika

Slika 1. Prikaz mikrolokacije predmetne katastarske čestice.....	1
Slika 2. Kapela svetog Klementa .....	2
Slika 3. Prikaz sjevernog pročelja .....	3
Slika 4. Osnovna geološka karta SFRJ Varaždin .....	4
Slika 5. Pregledna tektonska karta lista Varaždin .....	6
Slika 6. Histogram magnituda potresa koji prikazuje broj potresa po razredima magnituda ..	11
Slika 7. Magnitude potresa u vremenu do 5. travnja u 6: 24.....	12
Slika 8. Prikaz lokacije epicentra s oštećenjem.....	13
Slika 9. Seizmološki prikaz područja (isječak karte za povratni period od 475 godina) .....	14
Slika 10. Predmetna lokacija s horizontalnim vršnim ubrzanjima tla tipa A za povratna razdoblja od .....	15
Slika 11. Razine oštećenja koje su utvrđivane brzim pregledima.....	22
Slika 12. Južno pročelje- prikaz oštećenja pročelja .....	23
Slika 13. Prikaz oštećenja južnog pročelja .....	24
Slika 14. Prikaz oštećenja južnog pročelja .....	24
Slika 15. Prikaz oštećenja južnog pročelja .....	25
Slika 16. Prikaz oštećenja južnog pročelja .....	25
Slika 17. Zapadno pročelje- prikaz oštećenja pročelja.....	26
Slika 18. Prikaz oštećenja zapadnog pročelja .....	27
Slika 19. Prikaz oštećenja zapadnog pročelja .....	27
Slika 20. Prikaz oštećenja zapadnog pročelja .....	28
Slika 21. Sjeverno pročelje- prikaz oštećenja pročelja .....	29
Slika 22. Prikaz oštećenja sjevernog pročelja .....	30
Slika 23. Prikaz oštećenja sjevernog pročelja .....	30
Slika 24. Istočno pročelje- prikaz oštećenja pročelja .....	31
Slika 25. Prikaz oštećenja istočnog pročelja .....	32
Slika 26. Prikaz oštećenja istočnog pročelja .....	32
Slika 27. Prikaz oznaka tlocrta predmetne građevine .....	33

Slika 28. Tlocrt prizemlja.....	34
Slika 29. Tlocrt pjevališta.....	35
Slika 30. Predmetna lokacija s horizontalnim vršnim ubrzanjima tla tipa A ( $a_{gR}$ ) za povratna razdoblja od $T_p = 95$ i $475$ godina ( <a href="http://seizkarta.gfz.hr/karta.php">http://seizkarta.gfz.hr/karta.php</a> ).....	46
Slika 31. 3D prikaz modela kapele svetog Klementa.....	52
Slika 32. Tlocetni prikaz etaže 1 .....	53
Slika 33. Tlocetni prikaz etaže 2.....	54
Slika 34. Tlocetni prikaz etaže 3.....	54
Slika 35. Tlocetni prikaz etaže 4.....	55
Slika 36. Tlocetni prikaz etaže 5.....	55
Slika 37. Tlocetni prikaz krovne etaže 2 .....	56
Slika 38. Tlocetni prikaz krovne etaže 4 .....	56
Slika 39. Tlocetni prikaz krovne etaže 6 .....	57
Slika 40. Prikaz tlocrta potkrovlja- sanacija zategama .....	68
Slika 41. Prikaz presjeka 1-1 i 2-2- sanacija zategama .....	69
Slika 42. Slika sidra zatega .....	70
Slika 43. Posmično/ vlačno i kombinirano tlačno/savojno ojačanje za nosive zidove .....	71
Slika 44. Ojačanje nosivog i/ili pregradnog zida od opeke, kamena ili tufa.....	72
Slika 45. Sidra od karbonskih vlakana i FRCM trake.....	73
Slika 46. Shematski prikaz injektiranja zidova od opeke (lijevo) te kamena (desno) .....	74
Slika 47. Mogući načini povezivanja nosivih zidova (a) Povezivanje međusobno okomitih zidova metalnim pločama (skobe) (b) Povezivanje međusobno okomitih zidova čeličnim sidrima ili zategama .....	75
Slika 48. Primjene zatega u sanaciji i popravku kamenih i zidanih zidova .....	76
Slika 49. Prikaz anker ploča .....	78
Slika 50. Prikaz sidrenja i anker ploča .....	78
Slika 51. Čavljanje .....	79
Slika 52. Sanacija nadvoja i lukova karbonskom užadi i staklenom mrežicom .....	80
Slika 53. Prednapregnute zatege .....	80
Slika 54. Sanacija pukotina i ojačanje pregradnih zidova može se izvesti primjenom sustava tankoslojne armirane žbuke koji se sastoji od mrežice iz FRCM sustava ili čelične rabitz mrežice (moguće i ČBR tanke mreže) u kombinaciji s dvokomponentnim mortom ojačanim vlaknima i visoke duktilnosti: 1. Postojeći pregradni zid 2. Postojeća žbuka 3. Dvokomponentni mort visoke duktilnosti 4. Mrežica (alkalnootporna od staklenih vlakna ili	

<i>čelična rabitz mrežica ili ČBR tankoprofilna mrežica) 5. Drugi sloj dvokomponentnog morta kao i pod 3) 6. Završni sloj.....</i>	81
Slika 55. Djelomična zamjena morta u sljubnicima zidova .....	82
Slika 56. Ponovno zidanje dijela zida .....	83

## 1. UVOD

Predmetna građevina – kapela svetog Klementa nalazi se na lokaciji Varaždinska 9, u naselju Kelemen na predmetnoj čestici broja 3566 i površine čestice prema izvratku iz zemljišnih knjiga od 1774 m<sup>2</sup>, katastarske općine Kelemen 331155. Predmetna čestica svojom sjevernom i zapadnom međom graniči s česticom broja 3565 koja je ujedno i put. Svojom istočnom međom graniči s česticom broja 3567 te svojom južnom međom graniči s česticom broja 2593, koja je ujedno i Varaždinska ulica. Prema Prostornom planu uređenja Općine Jalžabet – „Službeni vjesnik Varaždinske županije“ (broj 41/04, 9/06, 34/12, 45/16), predmetna čestica nalazi se unutar razvijenog i uređenog prostora površine naselja, u zoni izgrađenog i neizgrađenog dijela građevinskog područja. Kapela svetog Klementa tlocrtno je nepravilnog oblika, orijentirana zapad-istok, dok prema izvodu iz posjedovnog lista njezina tlocrtna površina iznosi 187 m<sup>2</sup>. Ostatak predmetne čestice upisan je u izvodu iz posjedovnog lista kao dvorište od 500 m<sup>2</sup> i voćnjak od 1087 m<sup>2</sup>.

Prema Registru kulturnih dobara Republike Hrvatske, predmetna građevina nalazi se u istom, crkva svetog Klementa. Crkva nosi status zaštićenog kulturnog dobra.



Slika 1. Prikaz mikrolokacije predmetne katastarske čestice

(izvor: <https://geoportal.dgu.hr/>)

Kapela sv. Klementa nalazi se u središtu naselja Kelemen, na maloj uzvisini uz cestu Varaždin – Jalžabet. Pravilno je orijentirana, pravokutnoga tlocrta, s tornjem ispred glavnog ulaza i sakristijom prizidanom na južnoj strani. Svetište je kvadratnog oblika, izvana utopljeno u zidnu masu. Kapela se spominje od sredine 14. st., a današnja je građevina očuvala osnovne gabarite i zide srednjovjekovne crkve. Barokizirana je u 18. st. kada dobiva barokni inventar.



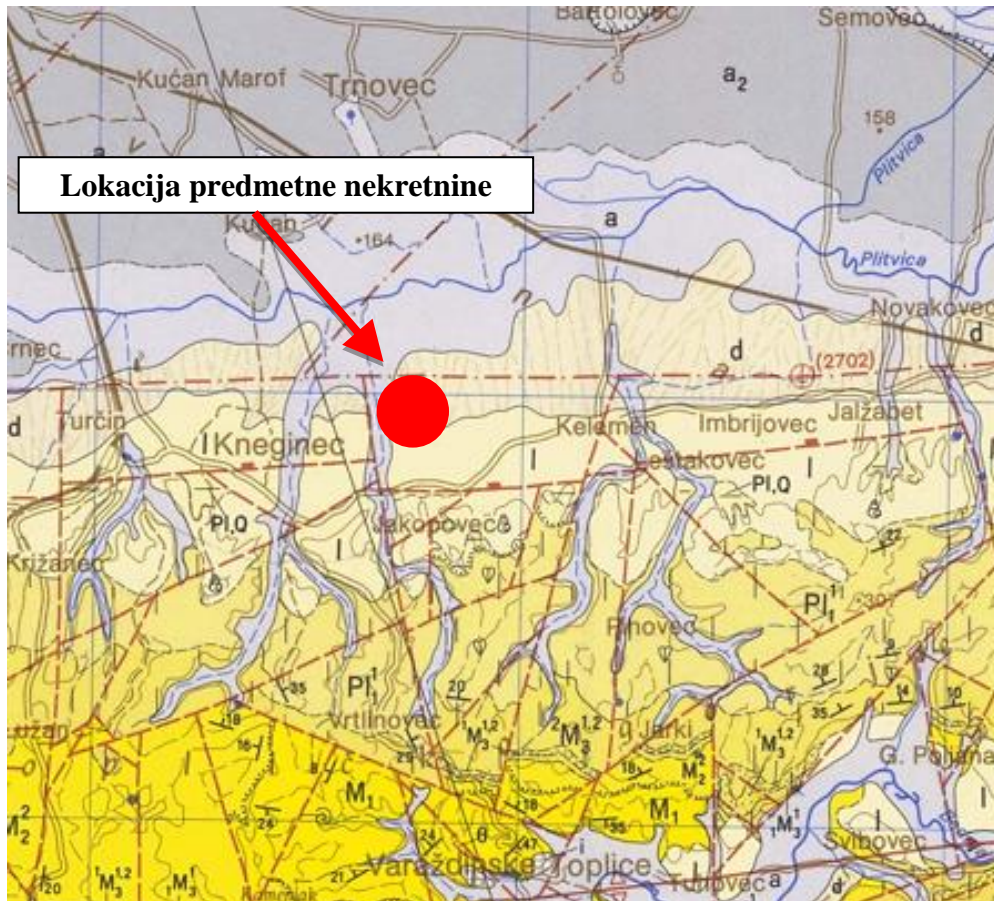
Slika 2. Kapela svetog Klementa



Slika 3. Prikaz sjevernog pročelja

## 2. OPĆENITO O POTRESNOM DJELOVANJU NA GRAĐEVINE

Pregledom Osnovne geološke karte promatranog područja (slika 4.), vidljivo je da se predmetna građevina nalazi na području geoloških struktura nastalih u doba holocena i pleistocena.



Slika 4. Osnovna geološka karta SFRJ Varaždin

(autori: A. Šimunić, M. Pikija, I. Hećimović Redakcija i izdanje Saveznog geološkog zavoda Beograd, 1982.)

d	Deluvij: siltovi, fragmenti stijena	I	Les: glinovito-pjeskoviti siltovi
---	-------------------------------------	---	-----------------------------------

**d** – Holocen, deluvij

**I** – Pleistocen, les

Promatrano područje ima geološku građu koja se sastoji od glinovito-pjeskovitih siltova i fragmenata stijena.

**HOLOCEN:** Deluvijalni sedimenti (d)



Deluvijalni sedimenti izdvojeni su na padinama blagih brežuljaka, a najveće pojave su u dolini Bednje i na južnom rubu Dravske potoline. Oni su nastali pretaložavanjem produkata trošenja matičnih stijena, a uglavnom se sastoje od fragmenata tih stijena u izmjeni sa siltom.

#### PLEISTOCEN: Les (I)

Naslage lesa rasprostranjene su na južnim padinama Kalnika, na sjevernim padinama Varaždinsko-Topličkog gorja te u Konjščinskoj i Lepoglavskoj sinklinali.

Les je eolski sediment taložen u gornjem pleistocenu, a leži diskordantno preko naslage različite starosti. To je stijena koju izgrađuju čestice veličine silta, pijeska i gline. Prema granulometriji, les je određen kao silt, pjeskoviti silt, glinoviti silt i pjeskovito-glinoviti silt. Boja mu je žuta do smeđa, a često je prošaran sivim glinovitim prugama. U njemu su ponegdje izlučene limonitne i vapnene konkrekcije („lesne lutke“).

Naslage lesa imaju ujednačen mineralni sastav. Glavni sastojak lake mineralne frakcije je kvarc koji čini prosječno 60%, a zatim čestice stijena do 25%, kalijski feldspati do 10% i muskovit. Količina teških minerala, u frakciji 0,06-0,2 mm, iznosi prosječno 3,5%, od čega 18% otpada na opake minerale. Među prozirnim teškim mineralima najčešći je epidot, a zatim slijede rutil, cirkon, turmalin, amfibol, granat, staurolit te apatit, disten i titanit.

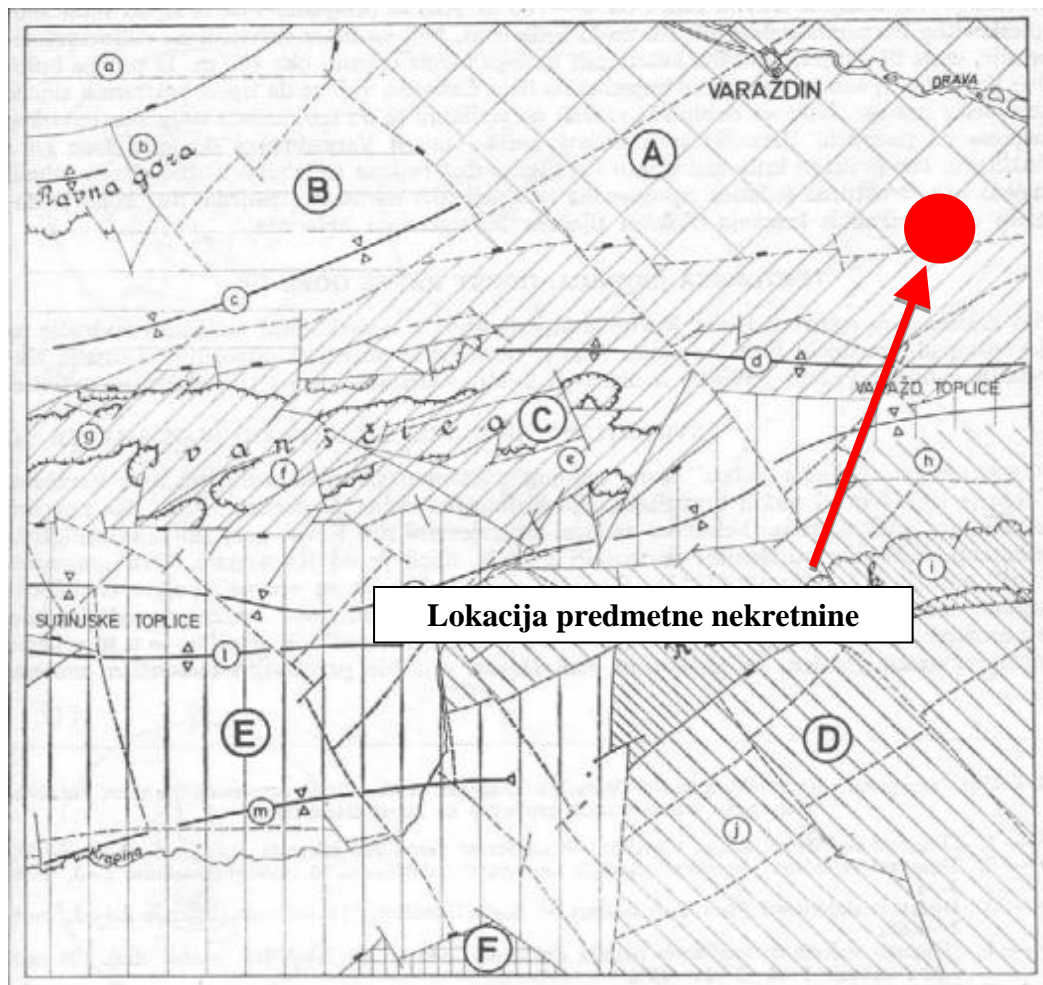
U lesu je nađena brojna fauna kopnenih mekušaca. Najčešće se pojavljuju sljedeće vrste: *Pupilla muscorum*, *P. loessica*, *Trichia hispida*, *Succinea oblonga*, *Vertigo arctica*, *Vitrea cristaina*, *Cochicopa mbrica*, *Vaitonia pulchella* i *V. temilabris*, koje su karakteristične za hladnu klimu. Na nekoliko mjesta su nađeni i *Lymnaea truncatula* i *Pisidium cascrtanum*, koji ukazuju na taloženje lesa u vodenoj sredini.

Sa sjeverne strane Varaždinsko-Topličkog gorja, ispod debelih naslaga lesa, pojavljuju se krupnozrnati šljunci čija starost nije definirana. Valutice su dobro zaobljene, veličina im je 5-7 cm, a izgrađene su uglavnom od visokometamorfnihi stijena. Sastav valutica vrlo je sličan šljuncima iz dravskog aluviona, pa se može pretpostaviti da su i oni dijelom pleistocenske starosti. Prilikom snimanja lista Koprivnica, zapaženo je da se unutar dva lesna nivoa pojavljuje šljunak i pijesak koji odgovaraju interstadijalu i predstavljaju ekvivalent „fosilne zemlje“.

Pretpostavlja se da je ukupna debljina pleistocenskih naslaga do 150 m. Debljina lesa, koji se nalazi na površini i čija je starost gornji virm, je do 30 m.

## 2.1. Tektonika područja

List Varaždin obuhvaća jedno od tektonski najkompliciranijih područja u sjevernoj Hrvatskoj. Postoje mišljenja brojnih autora o geotektonskoj rajonizaciji terena.



Slika 5. Pregledna tektonska karta lista Varaždin

- A.** Tektonska jedinica: Dravska potolina. Strukturna jedinica: Varaždinska depresija,  
**B.** Tektonska jedinica: Horst Ravne gore, **a.** Strukturna jedinica: Strukturni blok Haloze, **b.** Strukturna jedinica: Antiforma Ravne gore, **c.** Strukturna jedinica: Lepoglavska sinklinala, **C.** Tektonska jedinica: Horst Ivanšćice, **d.** Strukturna jedinica: Antiklinala Varaždinske toplice-Margečan, **e.** Strukturna jedinica: Navlaka Čevo, **f.** Strukturna jedinica: Navlaka Ivanšćice, **g.** Strukturna jedinica: Navlaka Skalovke, **D.** Tektonska jedinica: Horst Kalničkog gorja, **h.** Srstrukturna jedinica: Antiforma Ljubelja, **i.** Strukturna jedinica: Navlaka Kalnika, **j.** Strukturna jedinica: Strukturni blok kalničkog prigorja, **E.** Tektonska jedinica: Sinklinorij hrvatskog zagorja, **k.**

Strukturna jedinica: Sinklinala Lobor-Zaježda-Ključ, **I.** Strukturna jedinica:  
Antiklinara Strugač-Budinščina, **m.** Strukturna jedinica: Konjščinska sinklinala, **F.**  
Tektonska jedinica: Horst Medvednice

Tektonska jedinica: Dravska potolina (A)

Strukturna jedinica: Varaždinska depresija

Dravska potolina predstavlja izduženo područje, uglavnom dinarskog smjera pružanja (sjeverozapad-jugoistok). Njen manji dio, koji ima alpski smjer (istok-zapad) nalazi se na listu Varaždin. To područje je već D. Gorjanović-Kramberger (1902.) nazvao Varaždinska depresija. Od ostalih jedinica odvojena je vrlo izraženim normalnim rasjedima smjera istok-zapad (Jalžabet-Tužno) i sjeverozapad-jugoistok (Tužno-Gornje Ladanje). Varaždinska depresija spuštana je tijekom kvartara i ispunjena aluvijalnim dravskim sedimentima. Prema K. Urumoviću (1971.) debljina aluvija varira od 80-100 m. Ako se pretpostavi da se ispod šljunčano-pjeskovitog horizonta nalaze pleistocenski sedimenti, koji su inače razvijeni na rubovima depresije, onda bi ukupna debljina kvartarnih naslaga mogla iznositi oko 150 m. Iz profila bušotine Varaždin-1, kao i većeg broja bušotina na listu Čakovec, vidi se da ispod kvartarnih slijede neogenske naslage. Njihove debljine i razvoji ne razlikuju se od sedimenata istog stratigrafskog raspona na području Varaždinsko-topličkog gorja. One u Varaždinskoj depresiji čine kosu sinklinalu, čije je južno krilo rasjednuto i spuštano duž rasjeda Jalžabet-Tužno. Osim rubnih rasjeda ova strukturna jedinica ispresjecana je s nekoliko normalnih rasjeda, duž kojih je dolazilo do vertikalnih kretanja blokova tijekom pleistocena i holocena.

## 2.2. Potres na području Zagreba, 22.3.2020.

Prvi, početni i po ljestvici najjači potres u Zagrebu dogodio se 22. ožujka 2020. u 6:24 sati. Epicentar potresa nalazio se 7 kilometra sjeverno od središta Zagreba (Markuševac), na dubini 10 km. Na temelju analize smjera i amplitude prvog pomaka P-vala očitanih sa 144 seizmograma zabilježenih u Hrvatskoj i diljem Europe, izračunati je žarišni mehanizam najjačeg potresa koji se dogodio 22. ožujka 2020. u 6 sati i 24 minute. Time su određena dva rasjeda na kojima se potres mogao dogoditi, kao i način na koji su se rasjedna krila micala jedno u odnosu na drugo. Podaci ukazuju na to da se potres dogodio na reverznom rasjedu čija rasjedna ploha pada pod kutem od 45° ili prema sjeveru-sjeverozapadu ili prema jugu-jugoistoku.

U 7:01 sati uslijedio je još jedan potres jačine 5,0 stupnjeva po Richteru. Epicentar je bio 10 kilometara sjeverno od Zagreba, odnosno dva kilometra jugoistočno od Kašine na dubini od deset kilometara.

Treće jače podrhtavanje tla zabilježeno je u 7:41 sati, jačine 3,7 po Richteru. Epicentar je zabilježen na dubini od dva kilometara. Vrlo vjerojatno je ovaj potres prouzročio većinu nastale štete na predmetnoj zgradi, odnosno štetu nastalu prvim potresom pojačao i produbio. Naime, iako je ovaj treći potres bio slabije magnitude od prva dva, njegov epicentar se nalazio puno bliže od prva dva (8 km bliže, odnosno samo na dubini od 2 km) te je time prijenos potresne energije na površinu bio jači.

Podaci o potresima nastalim 22.iii.2020. (<https://www.emsc-csem.org/Earthquake/europe/>)

### 06:24 h

- ➔ Magnitude **Mw 5.4**
- ➔ Region **CROATIA**
- ➔ Date time **2020-03-22 05:24:02.8 UTC**
- ➔ Location **45.87 N ; 16.02 E**
- ➔ Depth **10 km**
- ➔ Distances 7 km NE of Zagreb, Croatia / pop: 699,000 / local time: 06:24:02.8 2020-03-22  
5 km S of Kašina, Croatia / pop: 1,500 / local time: 06:24:02.8 2020-03-22

### 07:01 h

- ➔ Magnitude **mb 5.0**
- ➔ Region **CROATIA**
- ➔ Date time **2020-03-22 06:01:20.5 UTC**
- ➔ Location **45.87 N ; 16.00 E**
- ➔ Depth **10 km**
- ➔ Distances 6 km N of Zagreb, Croatia / pop: 699,000 / local time: 07:01:20.5 2020-03-22  
5 km S of Kašina, Croatia / pop: 1,500 / local time: 07:01:20.5 2020-03-22

### 07:41 h

- ➔ Magnitude **ML 3.7**
- ➔ Region **CROATIA**
- ➔ Date time **2020-03-22 06:41:05.6 UTC**
- ➔ Location **45.89 N ; 16.02 E**
- ➔ Depth **2 km**
- ➔ Distances 9 km N of Zagreb, Croatia / pop: 699,000 / local time: 07:41:05.6 2020-03-22  
3 km SE of Kašina, Croatia / pop: 1,500 / local time: 07:41:05.6 2020-03-22

### 09:04 h

- ➔ Magnitude **ML 3.1**
- ➔ Region **CROATIA**
- ➔ Date time **2020-03-22 08:04:01.5 UTC**
- ➔ Location **45.87 N ; 15.98 E**
- ➔ Depth **7 km**
- ➔ Distances 6 km N of Zagreb, Croatia / pop: 699,000 / local time: 09:04:01.5 2020-03-22  
5 km S of Kašina, Croatia / pop: 1,500 / local time: 09:04:01.5 2020-03-22

### 09:10 h

- ➔ Magnitude **ML 3.0**
- ➔ Region **CROATIA**
- ➔ Date time **2020-03-22 08:10:26.9 UTC**
- ➔ Location **45.87 N ; 15.95 E**
- ➔ Depth **2 km**
- ➔ Distances 7 km N of Zagreb, Croatia / pop: 699,000 / local time: 09:10:26.9 2020-03-22  
6 km SW of Kašina, Croatia / pop: 1,500 / local time: 09:10:26.9 2020-03-22

## 10:11 h

- ➔ Magnitude **ML 3.3**
- ➔ Region **CROATIA**
- ➔ Date time **2020-03-22 09:11:57.0 UTC**
- ➔ Location **45.87 N ; 16.05 E**
- ➔ Depth **4 km**
- ➔ Distances 8 km NE of Zagreb, Croatia / pop: 699,000 / local time: 10:11:57.0 2020-03-22  
6 km SE of Kašina, Croatia / pop: 1,500 / local time: 10:11:57.0 2020-03-22

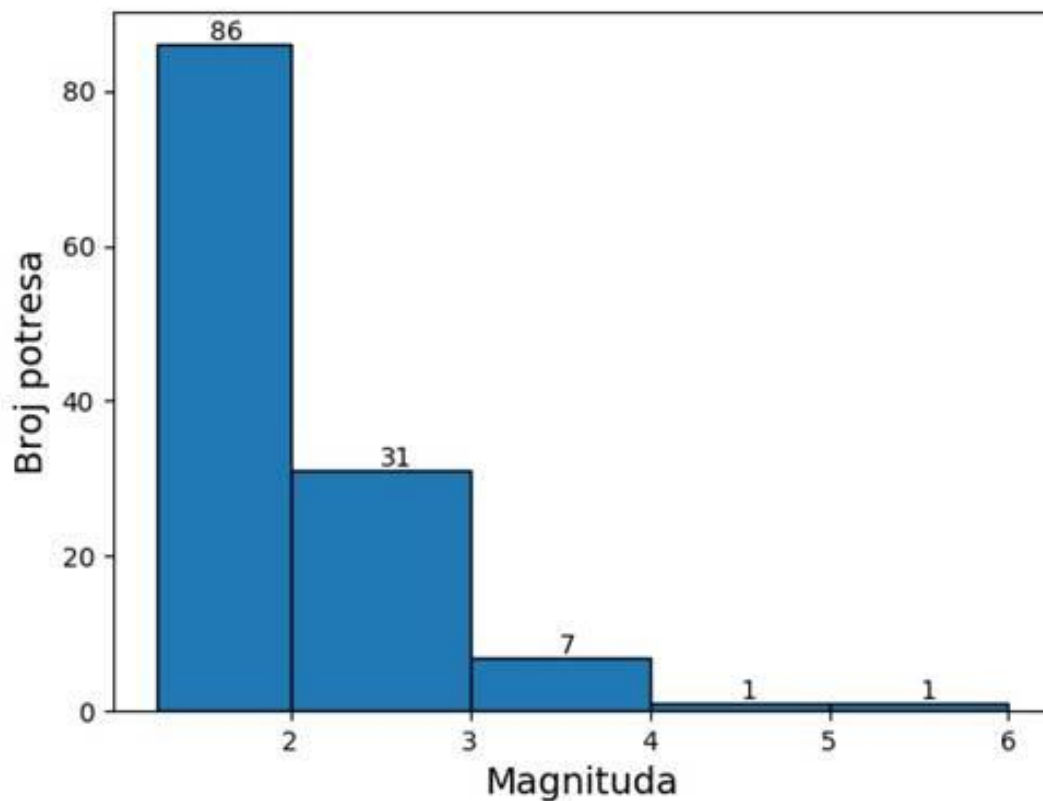
## 16:15 h

- ➔ Magnitude **ML 2.8**
- ➔ Region **CROATIA**
- ➔ Date time **2020-03-22 15:15:13.3 UTC**
- ➔ Location **45.78 N ; 15.99 E**
- ➔ Depth **2 km**
- ➔ Distances 4 km S of Zagreb, Croatia / pop: 699,000 / local time: 16:15:13.3 2020-03-22  
3 km N of Malarm, Croatia / pop: 5,000 / local time: 16:15:13.3 2020-03-22

## 18:00 h

- ➔ Magnitude **ML 2.9**
- ➔ Region **CROATIA**
- ➔ Date time **2020-03-22 18:00:20.5 UTC**
- ➔ Location **45.83 N ; 15.98 E**
- ➔ Depth **2 km**
- ➔ Distances

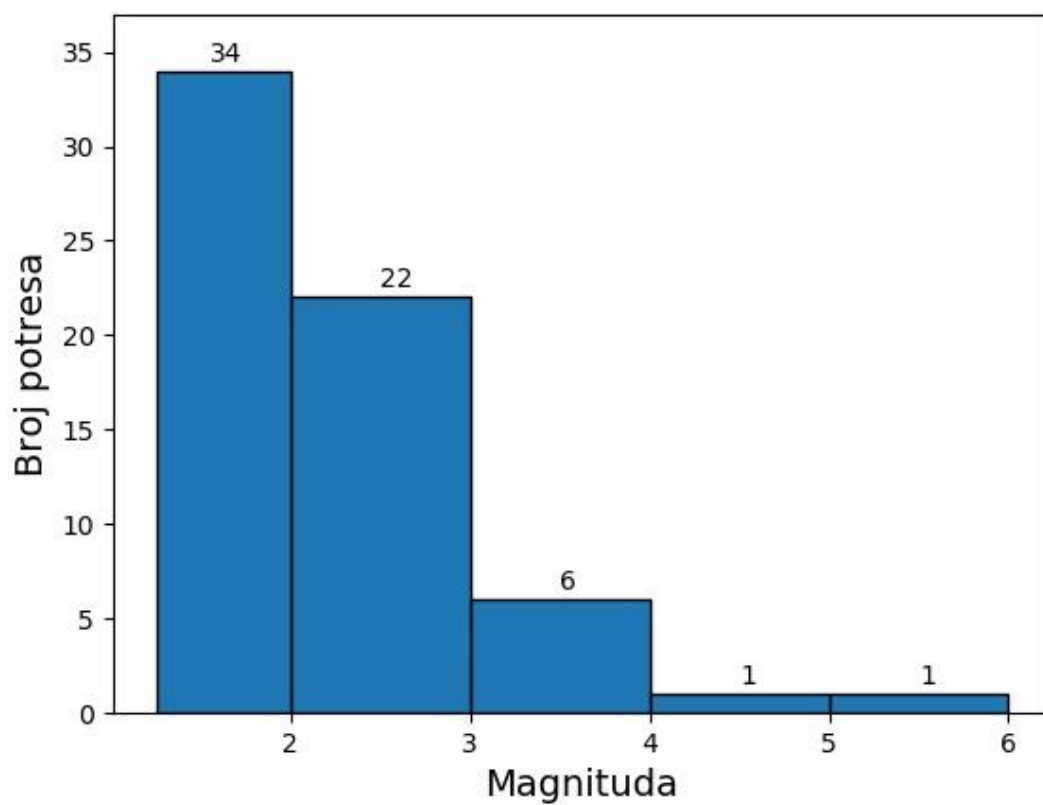
Seizmološka služba pri Geofizičkom odsjeku PMF-a u prva dva tjedna nakon glavnog potresa (do 5. travnja u 6:24) locirala je 125 naknadnih potresa magnitude veće ili jednake 1.3, od kojih se najsnažniji, magnitude 5.0, dogodio isto jutro u sedam sati i jednu minutu. Sedam potresa imalo je magnitudu između 3.0 i 4.0, 31 potres bio je magnitude od 2.0 do 3.0, a najveći broj lociranih potresa (njih 86) bilo je magnitude veće od 1.3 i manje od 2.0 (slika 6.).



Slika 6. Histogram magnituda potresa koji prikazuje broj potresa po razredima magnituda  
(prvi razred magnituda kreće od 1.3)

Do 26. ožujka u 16 sati locirano je ukupno 107 potresa (slika 6.), nakon čega se njihova učestalost smanjila. Svi potresi magnituda većih od 3 dogodili su se u to vrijeme. Dva potresa magnitude 3.0 dogodila su se 22. ožujka u 6:32 i 6:35 (između dva najjača potresa), potres magnitude 3.4 dogodio se isti dan u 7:41, a taj dan dogodila su se još dva potresa magnitude 3.0, u 9:04 te 10:11. Preostali potresi magnitude veće od 3 dogodili su se 23.3. u 11:12 te 24.3. u 20:53.

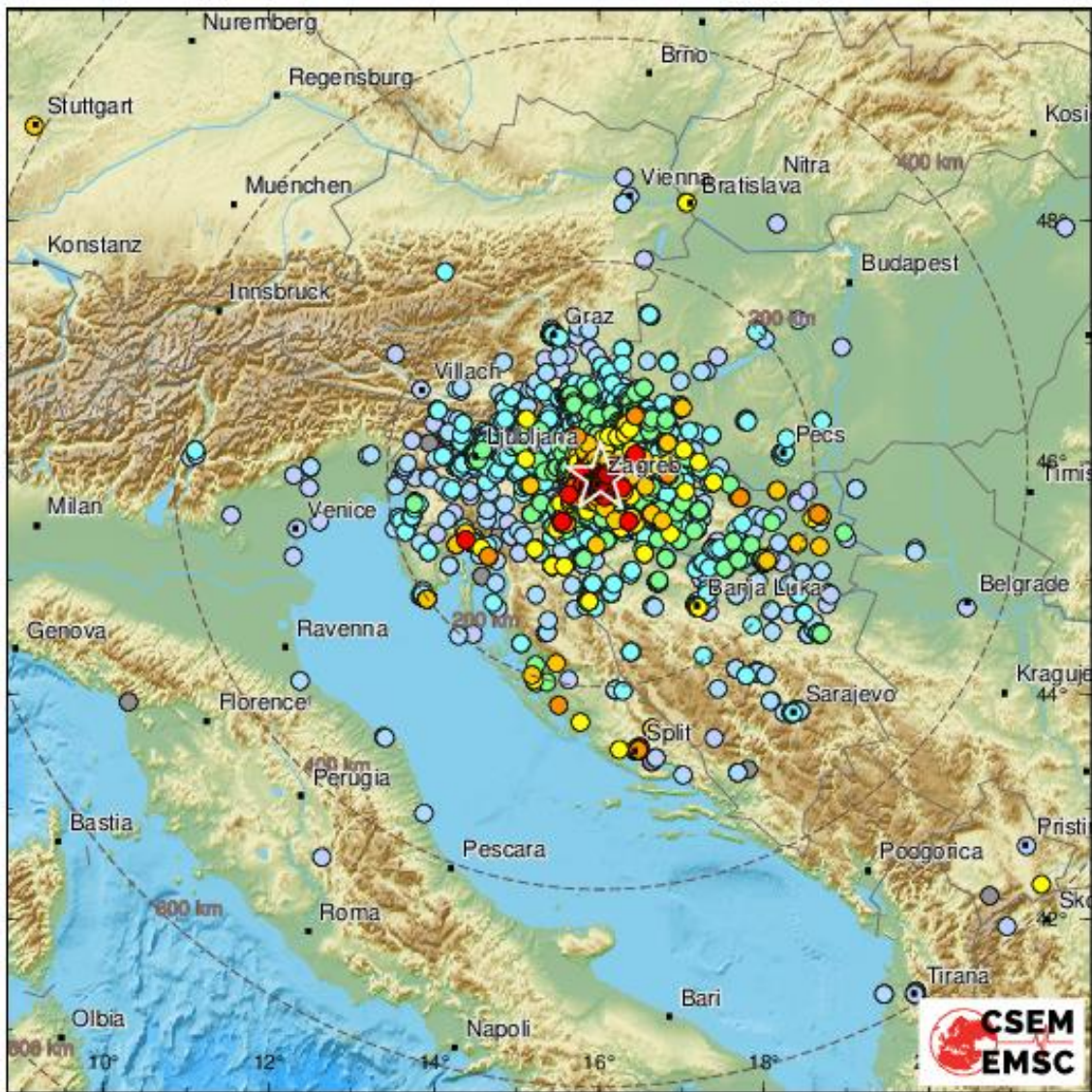
Svi do sada locirani potresi magnitude veće ili jednake 1.3 prikazani su na slici 7.



Slika 7. Magnitude potresa u vremenu do 5.travnja u 6: 24

Visina stupića označava lokalnu magnitudu



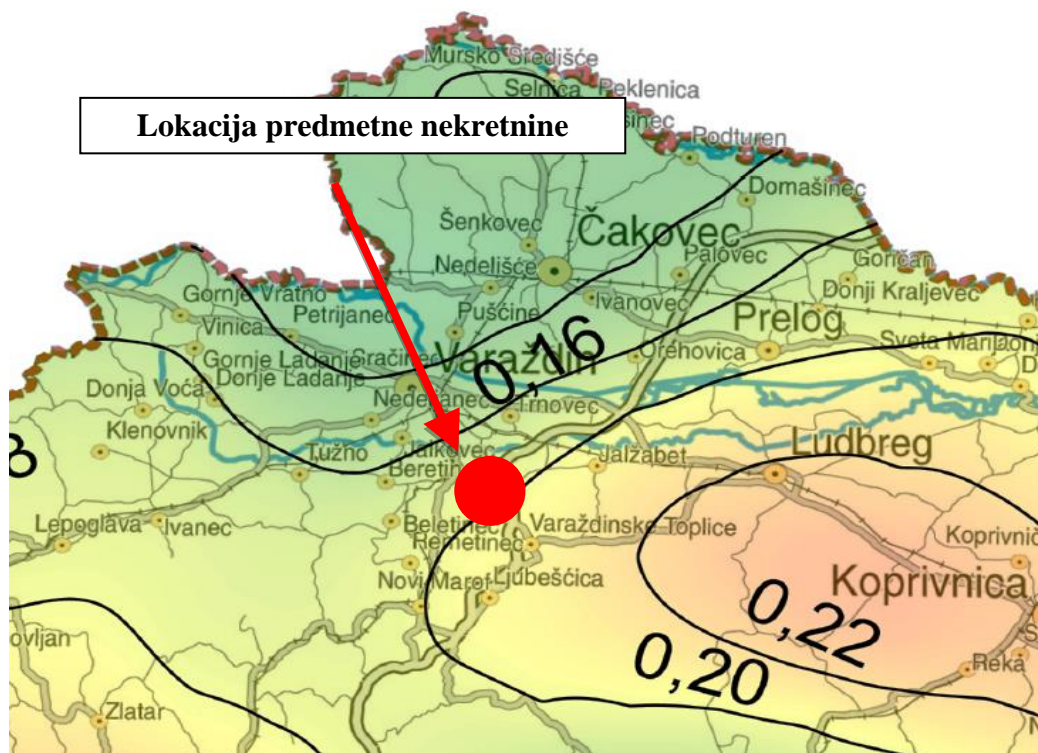


Slika 8. Prikaz lokacije epicentra s oštećenjem

(izvor: <https://www.emsc-csem.org/Earthquake/europe/>)

### 2.3. Seizmičke karakteristike obuhvaćenog područja

Podaci o seizmičnosti šireg područja nalaze se u "Seizmološkoj karti Republike Hrvatske" (slika 9.). Ta je karta izrađena za različite povratne periode, a stupnjevi seizmičnosti pojedinih područja izraženi su stupnjevima MCS ljestvice.

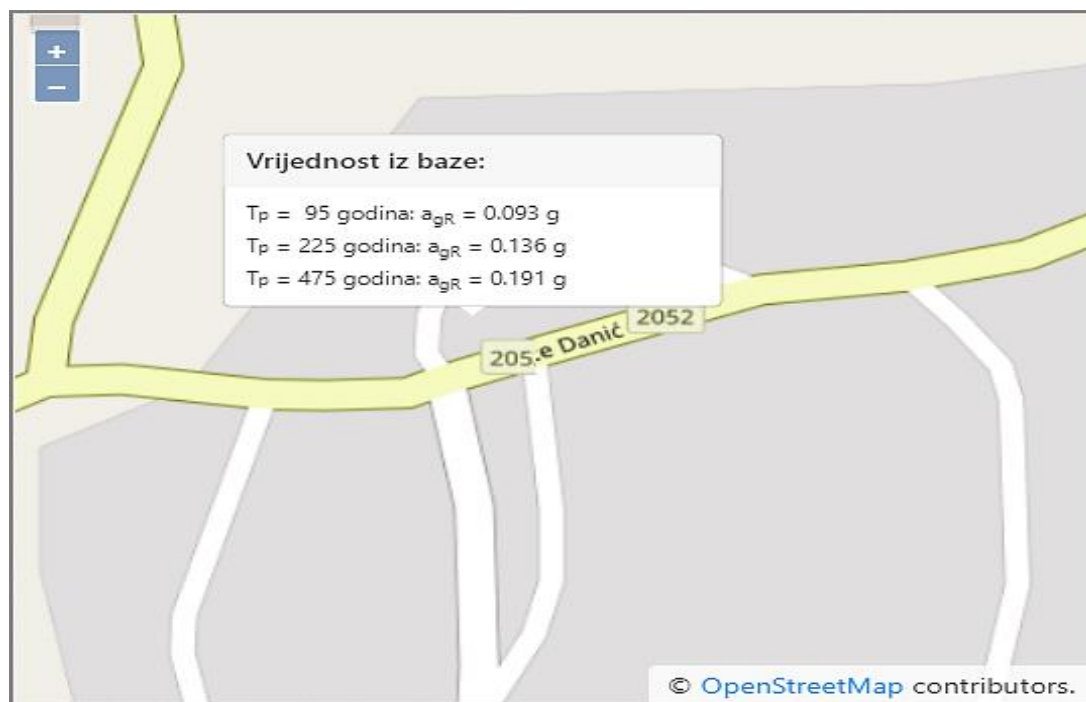


Slika 9. Seizmološki prikaz područja (isječak karte za povratni period od 475 godina)

Prema karti seizmičnosti, za područje na kojem se nalazi istraživana lokacija, osnovni stupanj seizmičnosti za 500-godišnji povratni period je 7° prema MCS ljestvici (HRN EN 1998-2, NAD, tablica NAD.1).

Detaljno očitavanje iznosa horizontalnih vršnih ubrzanja tla tipa A ( $a_{gR}$ ) za povratna razdoblja od  $T_p = 95$  i 475 godina izraženih u jedinicama gravitacijskog ubrzanja ( $1g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ) (<http://seizkarta.gfz.hr/karta.php>) daje nam uvid u iznos gravitacijskog ubrzanja za predmetnu lokaciju koje za povratno razdoblje od  $T_p = 475$  god. iznosi  $a_{gR} = 0,191g$ . Na temelju tih vrijednosti moguće je (a kod današnjeg projektiranja nužno potrebno) izračunati vršno ubrzanje za tip tla na kojem se građevina nalazi te nakon toga izračunati koliki doprinos

to ubrzanje ima na pojavu horizontalne sile kao opterećenja na konstrukciju, a posljedično tome i na pojave momenata.



Slika 10. Predmetna lokacija s horizontalnim vršnim ubrzanjima tla tipa A za povratna razdoblja od

$T_p = 95$  i  $475$  godina (<http://seizkarta.gfz.hr/karta.php>)

## 2.4. Projektiranje prema Eurocodu 8

Prema Eurocodu 8 svaka zemlja je podijeljena na seizmičke zone ovisno o tektonskim svojstvima. Ovisno o seizmičkoj zoni definirana je vrijednost maksimalnog ubrzanja „ $a_g$ “ u stjenovitom ili drugom tlu. Potresno djelovanje određuje se preko proračunskog ubrzanja „ $a_g$ “, koje odgovara povratnom periodu od 500 godina. Utjecaj potresnog djelovanja koji se odnosi na tlo, općenito se uzima u obzir razmatranjem razreda tla. Tlo je podijeljeno u pet osnovnih razreda (A, B, C, D i E) te ovi razredi imaju i podrazrede. Tlo na predmetnoj lokaciji nalazi se u razredu tla „A“, a koji označava slojeve deluvijalnih sedimenata i lesa. Prema karti potresnih područja Republike Hrvatske, koja je sastavni dio Nacionalnog dodatka za niz normi HRN EN 1998-1:2011/NA:2011, Eurocod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija - 1.dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade, određeno je vršno ubrzanje za tip tla „A“, a za istražni prostor iznosi:  $a_{gR} = 0,191 \cdot g$  [m/s] (povratni period 475 godina).

Tablica 1. Kategorizacija tla prema seizmičnosti (Eurocode 8, HRN EN 1998-1:2008 en)

Tip tla	Opis geotehničkog profila tla	$v_{s,30}$ [m/s]	$N_{SPT}$ [n/30cm ]	$C_u$ [kPa]
A	Stijena ili druga geološka formacija uključujući najmanje 5 m slabijeg materijala na površini.	>800	–	–
B	Nanosi vrlo zbijenoga pijeska, šljunka ili vrlo krute gline debljine najmanje nekoliko desetaka metara, sa svojstvom postupnoga povećanja mehaničkih svojstava s dubinom.	360 800	– > 50	> 250
C	Debeli nanosi srednje zbijenoga pijeska, šljunka ili srednje krute gline debljine od nekoliko desetaka do više stotina metara.	180 360	– 15 - 50	70 - 250
D	Nanosi slabo do srednje koherentni (sa ili bez mekih koherentnih slojeva) ili s predominantno mekim do srednje krutim koherentnim tlama.	< 180	< 15	< 70
E	Profili koji sadrže površinski sloj koji karakterizira brzina $v_s$ tzv. tipove tla C i D i debljine od 5 m do 20 m, a ispod njih je kruti materijal s brzinom većom od $v_s$ 800 m/s	–	–	–
S1	Nanosi koji sadrže najmanje 10 m debeli sloj mekane gline s visoko plastičnim indeksom ( $I_p > 40$ ) i visokim sadržajem vode	< 100	–	10 - 20
S2	Nanosi likvefakcijski osjetljivog tla pijeska i gline ili bilo koji tip tla koji nije opisan od A do E i pod S1	–	–	–

$v_{s,30}$  - srednja vrijednost brzine (L) poprečnih površinskih valova

$N_{spt}$  - standardni penetracijski test (broj udaraca);  $C_u$  - posmična čvrstoća tla

Tip tla	S	T <sub>P</sub> (s)	T <sub>C</sub> (s)	T <sub>D</sub> (s)
A	1,00	0,15	0,4	2,0
B	1,20	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,40	0,15	0,5	2,0

-horizontalna komponenta sile:  $F_H = 0,5 \cdot \alpha \cdot S \cdot W = 0,5 \cdot 0,191g \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cong 0,115g$

- vertikalna komponenta sile:  $F_V = 0,5F_H = 0,5 \cdot 0,12g \cong 0,06g$

Iz gornjeg izraza možemo zaključiti koliki je doprinos horizontalnog ubrzanja tla na pojavu horizontalne sile koja djeluje na građevinu. Drugim riječima, sama vertikalna sila na zid se povećava za 50% horizontalne sile koja je uzrokovana potresom. Ta dodatna vertikalna sila predstavlja novo opterećenje na temelj i temeljno tlo dok „nova“ horizontalna sila predstavlja sasvim novo opterećenje na kompletni nosivi sustav zgrade koji još dodatno uzrokuje i momente u konstrukciji koji se najviše okarakteriziraju na samim temeljima i vertikalnim nosivim sustavima (ako oni postoje).

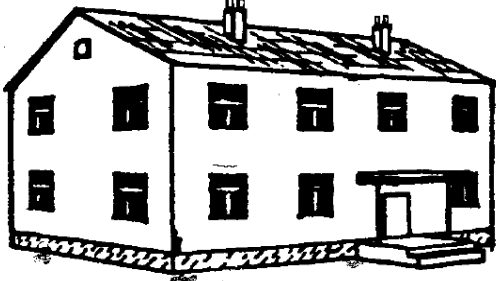
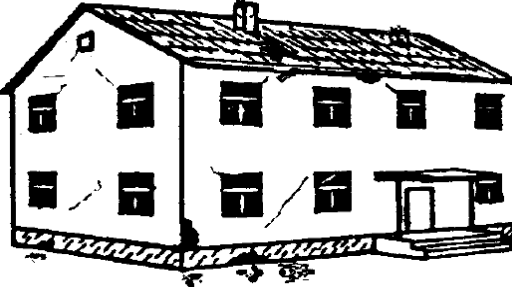
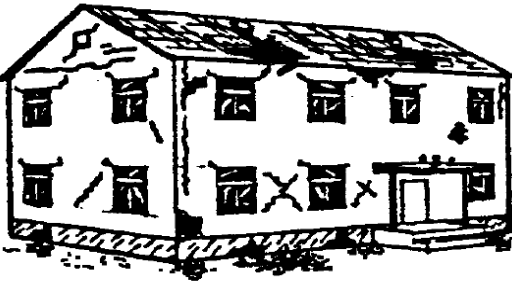

### 3. PRIKAZ OŠTEĆENJA GRAĐEVINE – PROBLEMATIKA

#### 3.1. Klasifikacija oštećenja

Način na koji se zgrada deformira pri potresnom opterećenju ovisi o vrsti zgrade. Za opću kategorizaciju možemo zgrade grupirati u osnovne dvije skupine: zidane zgrade (konstrukcije) te armirano-betonske konstrukcije (zgrade). Jasno je da je većina zgrada konstruirana kombinacijom ab konstrukcije i zidanih elemenata, ali u tom smislu pravilna ab konstrukcija (ab okvir) na sebe preuzima potresno djelovanje, odnosno potresnu otpornost (horizontalne sile).

Nastala te detektirana oštećenja formirat ćemo u 5 razreda prema tablicama u nastavku. Pri tom treba imati u vidu da je predmetna zgrada građena pretežito od zidanih elemenata te je u tom smislu i potrebno klasificirati strukturalna i nestrukturalna oštećenja.

## KLASIFIKACIJA OŠTEĆENJA ZIDANIH ZGRADA

I.		<p><b>RAZRED 1.: Zanemarivo do lagano oštećenje (nema strukturnih oštećenja, lagana nestrukturna oštećenja)</b></p> <p>Vrlo tanke pukotine u pojedinim zidovima. Pad samo malih komada žbuke. Pad labavog kamenja s gornjih dijelova zgrada u vrlo malo slučajeva.</p> <p><b>Korištenje objekta: <i>Bez ograničenja</i></b></p>
II.		<p><b>RAZRED 2.: Umjerena oštećenja (lagana strukturna oštećenja, umjerena nestrukturna oštećenja)</b></p> <p>Pukotine u mnogim zidovima. Pad prilično velikih komada žbuke. Djelomično rušenje dimnjaka.</p> <p><b>Korištenje objekta: <i>Ograničeno korištenje</i></b></p>
III.		<p><b>RAZRED 3.: Znatna do velika oštećenja (umjerena strukturna oštećenja, velika nestrukturna oštećenja)</b></p> <p>Velike i ekstenzivne pukotine u većini zidova. Odvajanje crjepova na krovu. Pucanja dimnjaka na ravni krova. Lomovi pojedinih nestrukturnih elemenata (pregrade, zabatni zidovi).</p> <p><b>Korištenje objekta: <i>Privremeno korištenje</i></b></p>
IV.		<p><b>RAZRED 4.: Vrlo velika oštećenja (velika strukturna oštećenja, vrlo velika nestrukturna oštećenja)</b></p> <p>Ozbiljna oštećenja zidova. Djelomična strukturna oštećenja krovova i podova.</p> <p><b>Korištenje objekta: <i>Ne koristiti</i></b></p>

V.



#### RAZRED 5.: Rušenje

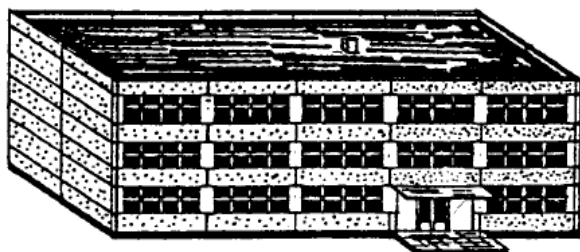
(vrlo velika strukturna oštećenja)

Totalno ili gotovo potpuno urušavanje.

Korištenje objekta: *Ne koristiti*

### KLASIFIKACIJA OŠTEĆENJA ARMIRANOBETONSKIH ZGRADA

I.



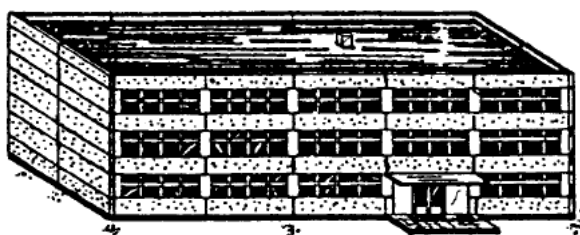
#### RAZRED 1.: Zanemarivo do lagano oštećenje

(nema strukturnih oštećenja, lagana nestrukturna oštećenja)

Tanke pukotine na žbuci preko nosača ili zidova u podnožju.

Tanke pukotine na pregradama i ispunama.

II.



#### RAZRED 2.: Umjereni oštećenja

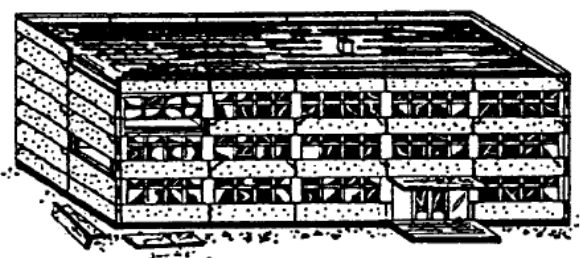
(lagana strukturna oštećenja, umjereni nestrukturna oštećenja)

Pukotine u stupovima i gredama nosivog okvira te u konstruktivnim zidovima.

Pukotine na pregradnim zidovima.

Opadanja krhkih obloga i žbuke.

III.



#### RAZRED 3.: Znatna do velika oštećenja

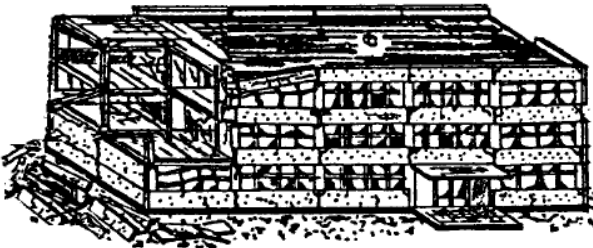

(umjereni strukturni oštećenja, veliki nestrukturni oštećenja)

Pukotine na stupovima i spojevima stupova i greda, u podnožju nosivog okvira te na spojevima zidova; lomljenje zaštitnog sloja betona.

Izvijanje armaturnih šipki.

Velike pukotine na pregradnim i popunjavajućim zidovima; lom pojedinih ispuna.



<b>IV.</b>		<p><b>RAZRED 4.: Vrlo velika oštećenja</b> (velika strukturna oštećenja, vrlo velika nestrukturna oštećenja)</p> <p>Velike pukotine u strukturnim elementima praćene gubitkom tlačne nosivosti betona i pucanjem armaturnih šipki; gubitak spoja kod armature grede.</p> <p>Naginjanje (deformacija) stupova; rušenje nekoliko stupova ili jednog gornjeg kata.</p>
<b>V.</b>		<p><b>RAZRED 5.: Rušenje</b> (vrlo velika strukturna oštećenja)</p> <p>Urušavanje prizemlja ili dijelova (npr. krila) zgrada.</p>

Imajući u vidu sve gore navedeno, detektirana ćemo oštećenja svrstati u sljedeće razrede:

### **D1 LAGANO OŠTEĆENJE**

Ovaj stupanj oštećenja ne utječe značajno na nosivost konstrukcije i ne ugrožava sigurnost stanara zbog pada nestrukturnih elemenata ili predmeta. Oštećenja se smatraju laganim čak i kada se pad predmeta može hitro izbjeći.

### **D2-D3 SREDNJE-TEŠKO OŠTEĆENJE**

Ovaj stupanj oštećenja mogao bi značajno promijeniti nosivost konstrukcije bez približavanja granici djelomičnog urušavanja osnovnih strukturnih komponenti konstrukcije/zgrade.

### **D4-D5 VRLO VELIKA OŠTEĆENJA**

Ovaj stupanj oštećenja značajno mijenja i narušava nosivu sposobnost konstrukcije dovodeći je do granice djelomičnog ili potpunog urušavanja osnovnih strukturalnih komponenti. Ovu razinu karakteriziraju oštećenja veća od prethodnih, uključujući i potpuna urušavanja/urušavanje.

Procjena uporabljivosti zgrade rađena je na temelju detaljnog pregleda zgrade, pregleda i ocjenjivanja konstruktivnih elemenata, procjene stanja nosivosti konstruktivnih elemenata, procjene i detekcije nastalih deformacija (pomaka, progiba, pukotina) te sveopće specifikacije oštećenja i zgrade prema stupnjevima oštećenja. Definicija promatrane razine

štete vrlo je relevantna i temelji se na europskoj makro seizmičkoj skali EMS98 (Europska makro seizmička skala), koja je osnova za procjenu seizmičkog intenziteta u europskim zemljama, a koristi se i u velikom broju zemalja izvan Europe. EMS-98 je prva ljestvica seizmičkog intenziteta namijenjena poticanju suradnje između građevinskih inženjera i seizmologa, umjesto samo za seizmološko korištenje. Dolazi s detaljnim priručnikom koji uključuje smjernice, ilustracije te aplikativne primjere. U tom smislu, osnovnu razdiobu ljestvice potresa možemo podijeliti u 12 osnovnih razreda.

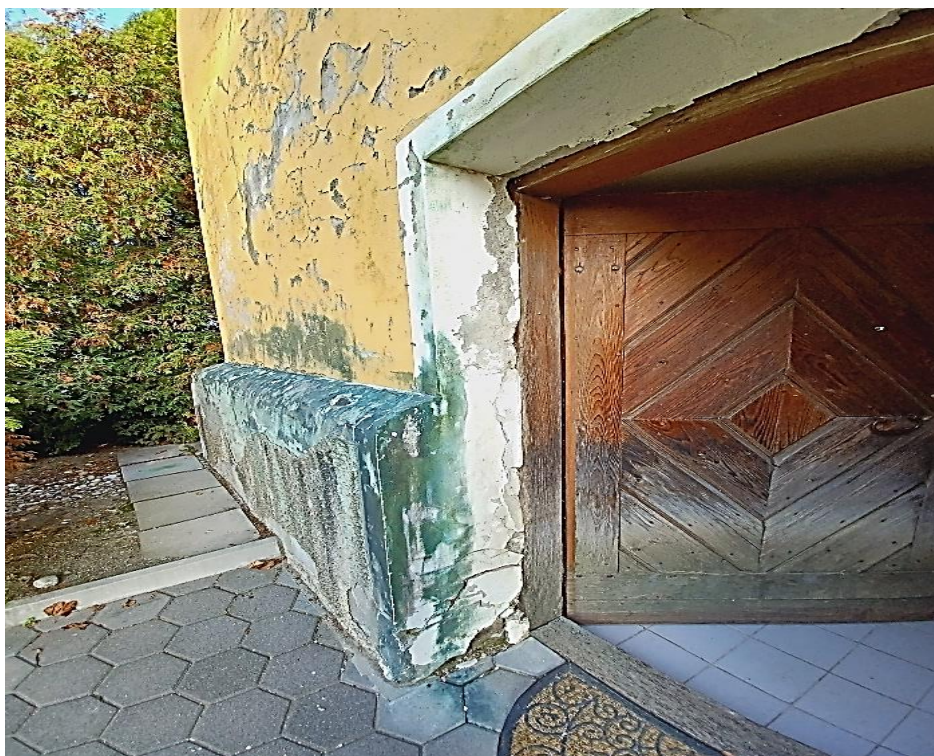
Predmetna građevina prema zatečenim oštećenjima konstrukcije, spada u privremeno neuporabljivu građevinu, potrebne mjere hitne intervencije (PN2). Trenutno joj ne prijete opasnost za život i zdravlje ljudi. Ista zadovoljava uvjete uporabe osim što nema dostatnu seizmičku otpornost. Oštećena građevina pogodna je za obnovu razine 2, razred 3.



Slika 11. Razine oštećenja koje su utvrđivane brzim pregledima



Slika 12. Južno pročelje- prikaz oštećenja pročelja



Slika 13. Prikaz oštećenja južnog pročelja



Slika 14. Prikaz oštećenja južnog pročelja



Slika 15. Prikaz oštećenja južnog pročelja



Slika 16. Prikaz oštećenja južnog pročelja



Slika 17. Zapadno pročelje- prikaz oštećenja pročelja



Slika 18. Prikaz oštećenja zapadnog pročelja



Slika 19. Prikaz oštećenja zapadnog pročelja



Slika 20. Prikaz oštećenja zapadnog pročelja





Slika 21. Sjeverno pročelje- prikaz oštećenja pročelja



Slika 22. Prikaz oštećenja sjevernog pročelja



Slika 23. Prikaz oštećenja sjevernog pročelja



Slika 24. Istočno pročelje- prikaz oštećenja pročelja

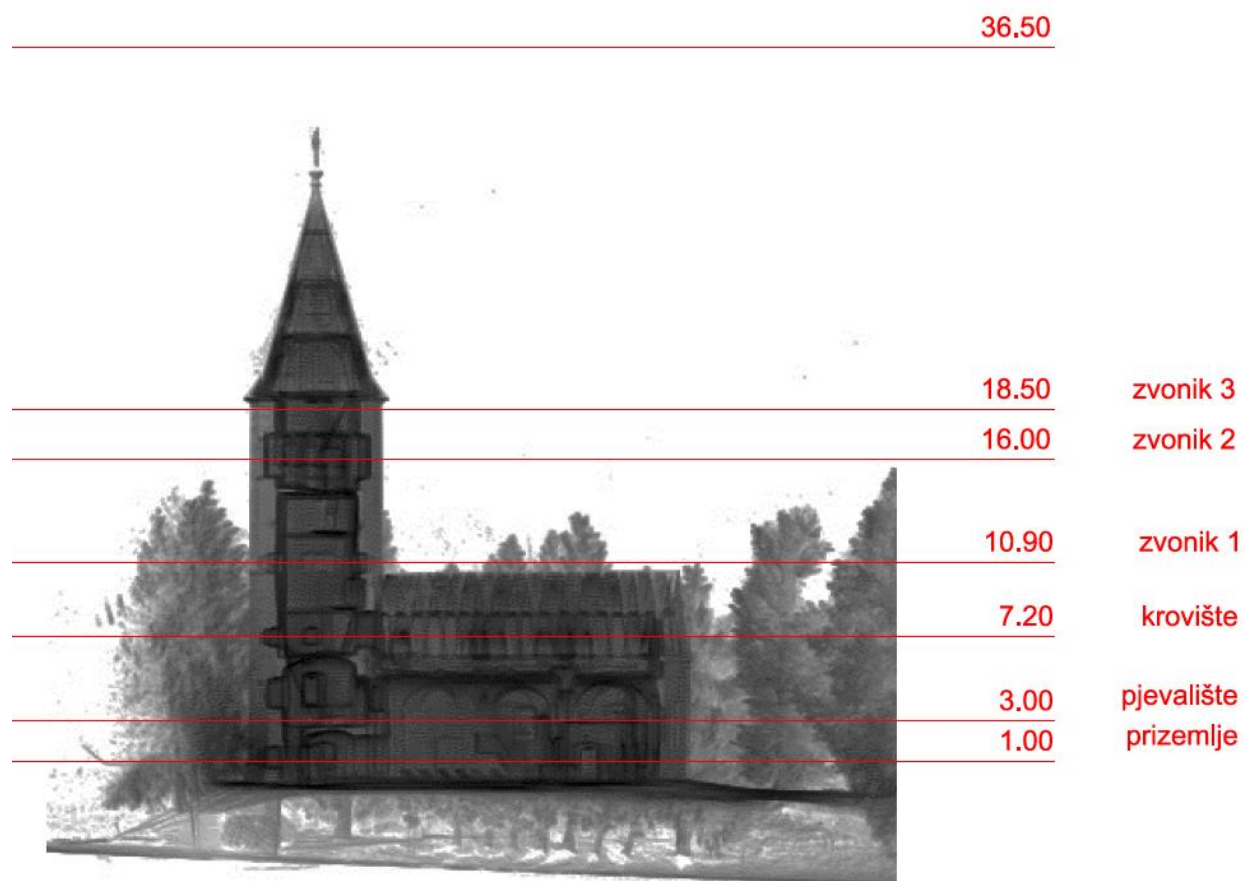


Slika 25. Prikaz oštećenja istočnog pročelja



Slika 26. Prikaz oštećenja istočnog pročelja

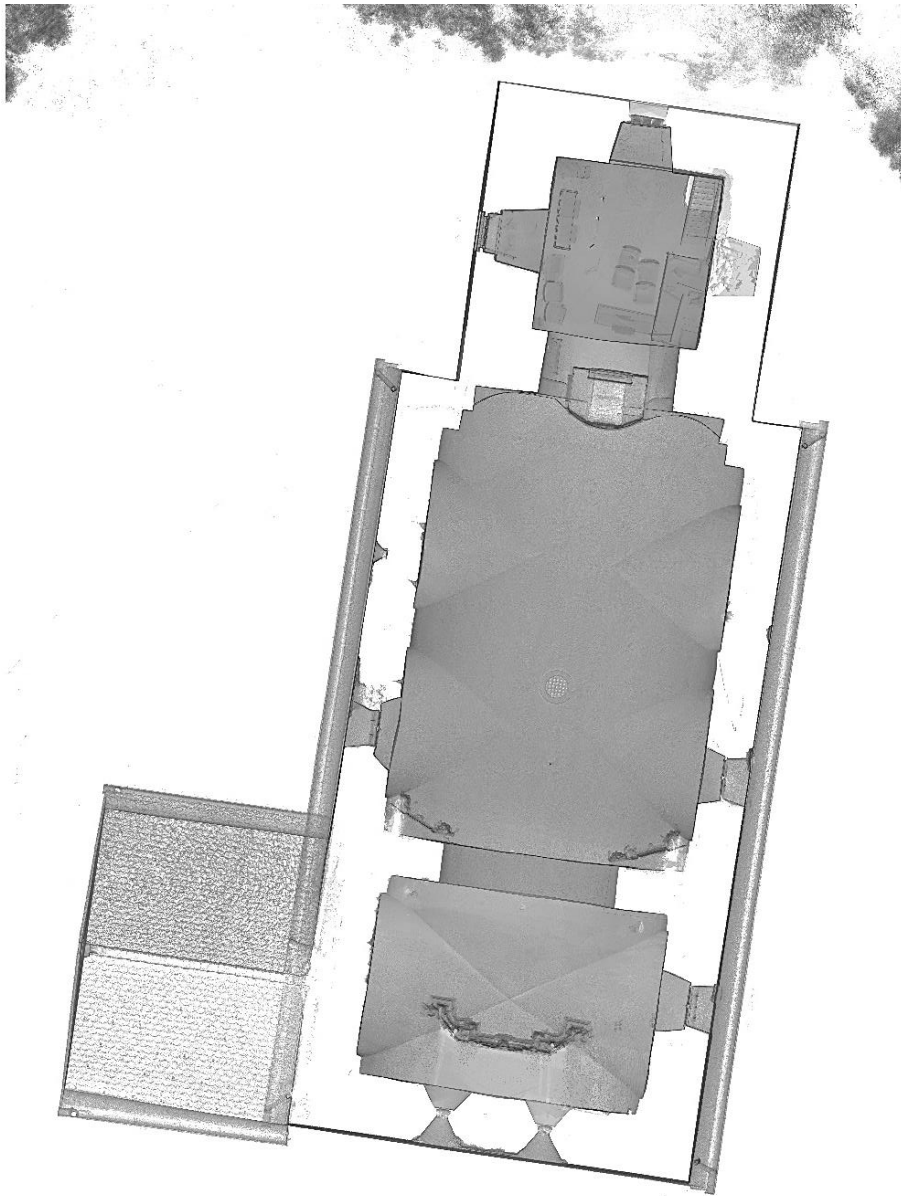
### 3.2. Prikaz presjeka i tlocrta predmetne građevine



Slika 27. Prikaz oznaka tlocrta predmetne građevine



Slika 28. Tlocrt prizemlja



Slika 29. Tlocrt pjevališta

## 4 . ANALIZA I OCJENA POSTOJEĆEG STANJA KONSTRUKCIJE

### 4.1. Pukotine na zidovima, lukovima i svodovima crkve

Naprijed prikazana konstruktivna oštećenja u prvom redu se odnose na vidljive pukotine izvana i iznutra, a iznutra još i dodatno otpadanje dijelova žbuke na mjestima većih oštećenja. Deformacije (pomaci od početno izvedenog stanja), koje sigurno postoje, nisu toliko izražene i vidljive da bi se njih moglo uzimati u razmatranja i kontrole stabilnosti elemenata konstrukcije, budući da ne znamo početni oblik tih elemenata. Svodovi nisu bitno deformirani niti u cjelini niti na bilo kojim dijelovima lokalno. Zidani lukovi u pravilu imaju pukotine u pogledima tjemena. Nagibi zidova nisu mjereni, budući da je zgrada skenirana i iscertana s tolikom preciznošću, da će se sadašnja vertikalnost i budući eventualni otkloni od nje u svakom trenutku iz ovako dobivenih podataka moći rekonstruirati i iz toga proračunati utjecaji novih deformacija. Sada se takva analiza ne može napraviti zbog nepoznavanja početnih zakrivljenosti ili nagnutosti zidova.

Drugi jasan uzrok i vidljiva grupa oštećenja zidova jesu pukotine na mjestima spojeva zidova različito starih dijelova građevine. To je općenito razumljivo za mjesta prigradnje, a ovdje su ta mjesta dodatno potencirana kao pukotine po cijeloj visini spojeva i uslijed utjecaja temeljenja plitkim slojevima tla te nedavnim potresima. Takve pukotine vidljive su skoro po cijeloj visini na spojevima zidova i spojevima zidova i stropova.

Krovišta crkve nisu oštećena i nemaju dotrajale elemente. Zbog svega toga u ovom projektu nisu prikazana neka lokalna oštećenja na konstrukciji krovišta te nisu rađeni istražni radovi na pronalaženju, eventualno u zidovima skrivenih ili testiranju jesu li povijesno ugrađene zatege u punoj svojoj funkciji.

Radovi ojačanja i parcijalnog saniranja elemenata krovišta ovdje su uvršteni u mjere dugoročne sanacije konstrukcije, kada će se kod otvaranja konstrukcija (radni otvori u pokrovu, pomoćne i radne skele u potkrovlju ili prostorima zvonika) odmah na početku obaviti i istražni radovi na otkrivanju eventualnih povijesnih zatega u zidovima i lukovima u prostorima potkrovlja.



## 4.2. Elaborirana ocjena postojećeg stanja konstrukcije

Proveden je detaljni vizualni pregled te djelomično i opsežni istražni radovi cjelokupne konstrukcije koju je potrebno sanirati. Zbog starosti građevine i činjenice da su zadnji veliki radovi na njenoj rekonstrukciji bili pred više od stoljeća, ne postoji nikakva dokumentacija o njenim prijašnjim fazama izgradnje ili izmjenama u gabaritima i rasporedu.

Zaključak ocjene postojećeg stanja je sljedeći:

Oštećenja predmetne građevine koja su dokumentirana u Građevinskom elaboratu postojećeg stanja, okarakterizirana su kao tipovi oštećenja razreda II. Umjerena oštećenja (lagana strukturalna oštećenja, umjerena ne-strukturalna oštećenja), koja podrazumijevaju pukotine zidovima i lukovima, djelomično i na svodovima, pukotine na pregradnim zidovima, padanje krhkih obloga i žbuke.

Na zidovima i svodovima skoro svih bitnih dijelova crkve vidljiva su oštećenja od prijašnjih utjecaja na njenu konstrukciju.

Druga danas postojeća bitna oštećenja su pukotine i mreže pukotina u lukovima i svodovima te pretežno pri vrhovima zidova, ali negdje i po cijeloj visini spojeva zidova. Više je mogućih početnih i naknadnih uzroka njihova nastanka i današnje njihove veličine i rasprostranjenosti. Očito su one postojale i prije prošlogodišnjih potresa. Tijekom i nakon prošlogodišnjih potresa u Zagrebu i na Banovini oscilacije konstrukcije su te osnovne pukotine i oštećenja još povećali i umnožili. U jednogodišnjim mjerenjima eventualnih širenja tih pukotina nisu dobiveni rezultati da su one aktivne, ali je to prekratko razdoblje praćenja njihovog ponašanja te je samo njihovo postojanje latentna opasnost u budućim potresima. Proračunske analize postojećeg stanja konstrukcije također ne mogu dati egzaktni odgovor o točnom uzroku/cima ovih oštećenja, bez poznatih početnih uvjeta iz prošlosti ili dugogodišnjih promatranjima stanja i propagiranja oštećenja.

Analiza i klasifikacija elemenata na kojima su opažena oštećenja (pretežno pukotine na zidu) daju ipak bližu sliku o tome što su mogući glavni uzroci tih dugoročnih pukotina. Tako je vidljivo (iz prikazanih tlocrta s vanjskim i unutarnjim oštećenjima) sljedeće:

- najveći broj koncentracija i veličina pukotina zabilježen je na spojevima zidova i međukatne konstrukcije

- na svodovima je zabilježeno relativno malo pukotina
- dio njih je zbog svoje izrazite orijentacije u jednom od glavnih smjerova crkve smješten u prethodna oštećenja (uzdužna ili poprečna), a samo 3 do 5 mogu se smatrati oštećenjima neuzrokovanim uzdužnim ili poprečnim pomicanjem i širenjem zidova i svodova

Iz ove analize slijedi zaključak o vjerojatnom uzroku dugoročnog nastanka tih pukotina:

Veći dio pukotina nastao je od nejednolikog slijeganja. Većina oštećenja je u uzdužnom smjeru, u kojem nema vidljivih zatega, a pregledom objekta vidljivo je da na bitnim mjestima nisu ugrađene. Dakle potrebne su zatege na uzdužnim zidovima ili sličan oblik ukrućenja, a koji bi dovoljno ukrutio i spojio zidove na mjestima otklona. Jedno je ipak sigurno, sve te veće pukotine ili veće mreže pukotina na ziđu bilo svodova i lukova, bilo zidova potrebno je u prvom redu zatvoriti injektiranjem ili sličnim metodama ojačanja osnovne strukture materijala tih elemenata konstrukcije te osigurati od mogućeg rastezanja zategama u smjerovima u kojima ih sada nema u konstrukciji.

### 4.3. Osnovna djelovanja i utjecaji na konstrukciju

U nastavku su proračunata uporabna opterećenja na zgradu crkve:

- vertikalna opterećenja
- opterećenje snijegom
- opterećenje vjetrom
- potresno opterećenje

#### 4.3.1. Vertikalna djelovanja

U prostorni proračunski model konstrukcije definirana su i zadana slijedeća vertikalna opterećenja:

OPT.1.g :

- Gravitacijska opterećenja od vlastite težine konstruktivnih elemenata automatski se zadaju u proračunskom modelu, ovisno zadanim uvjetima geometrije i vrste materijala
  - Prostorna težina punog zidanog ziđa svodova i zidova 18 kN/m<sup>3</sup>
  - Prostorna težina (pretežno) kamenog ziđa temelja 22 kN/m<sup>3</sup>

- **Težine slojeva i podova** na plohe krovova 0,70 kN/m<sup>2</sup>  
tlocrtne površine

na svodove (kata) 0,50 kN/m<sup>2</sup>  
na svodove poda 2,50 kN/m<sup>2</sup>

OPT.2.p :

- **pokretna opterećenja** na svodove (kata) 0,50 kN/m<sup>2</sup>

OPT.3.s :

- **snijeg** na plohe svih krovova 0,80 kN/m<sup>2</sup>  
(0,55 kN/m<sup>2</sup> po kosoj plohi)

#### 4.3.2. Opterećenje snijegom

Eurocode 1 (EC1) Actions na structures, Snow load , EN1991-1-3:2003

Karakteristična vrijednost snježnog opterećenja na tlo:

$$S_k = (0.642x^2 + 0.009) \times [1 + (200/728)^2] = 1.391 \text{ kN/m}^2$$

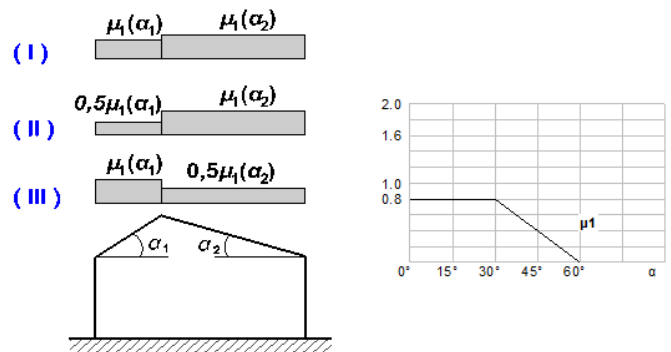
Opterećenje snijega na krov (EC1 EN1991-1-3:2003 §5)

Kut nagiba krovišta:  $\alpha_1 = 45.000^\circ$

Kut nagiba krovišta:  $\alpha_2 = 45.000^\circ$

Izloženost koef. :  $C_e = 1.000$  (EC1-1-3 §5.2(7)

Thermal koef. :  $C_t = 1.000$  (EC1-1-3 §5.2(8))



Oblik koef. s,  $\alpha_1 = 45.00^\circ$ ,  $\alpha_2 = 45.00^\circ$ ,  $i_1(\alpha_1) = 0.400$ ,  $i_1(\alpha_2) = 0.400$

$$S(\alpha_1) = \mu_1(\alpha_1) \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k = 0.400 \times 1.000 \times 1.000 \times 1.391 = 0.556 \text{ kN/m}^2$$

$$S(\alpha_2) = \mu_1(\alpha_2) \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k = 0.400 \times 1.000 \times 1.000 \times 1.391 = 0.556 \text{ kN/m}^2$$

Opterećenje snijegom

Slučaj opterećenja (I) ,  $S(\text{Lijevo}) = S(\alpha_1) = 0.556 \text{ kN/m}^2$ ,  $S(\text{Desno}) = S(\alpha_2) = 0.556 \text{ kN/m}^2$

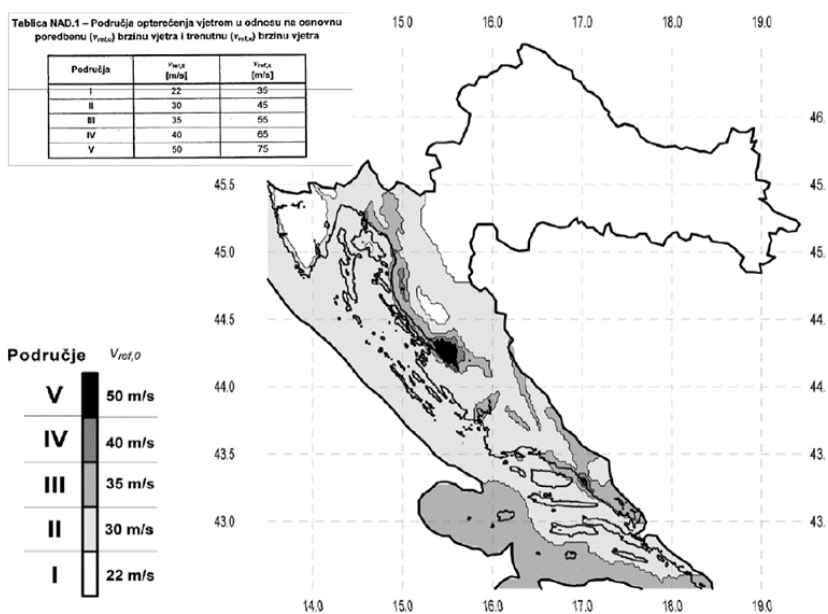
Slučaj opterećenja (II) ,  $S(\text{Lijevo}) = 0.5 \times S(\alpha_1) = 0.278 \text{ kN/m}^2$ ,  $S(\text{Desno}) = S(\alpha_2) = 0.556 \text{ kN/m}^2$

Slučaj opterećenja (III) ,  $S(\text{Lijevo}) = S(\alpha_1) = 0.556 \text{ kN/m}^2$ ,  $S(\text{Desno}) = 0.5 \times S(\alpha_2) = 0.275 \text{ kN/m}^2$

### 4.3.3. Opterećenje vjetrom

Poredbene brzine vjetra obzirom na zonu

Područje	I.	II.	III.	IV.	V.
m/s	22	30	35	40	50



Eurocode 1 (EC1) Actions na structures, Vjetar actions , EN1991-1-4:2005

Dvostrešno krovšte

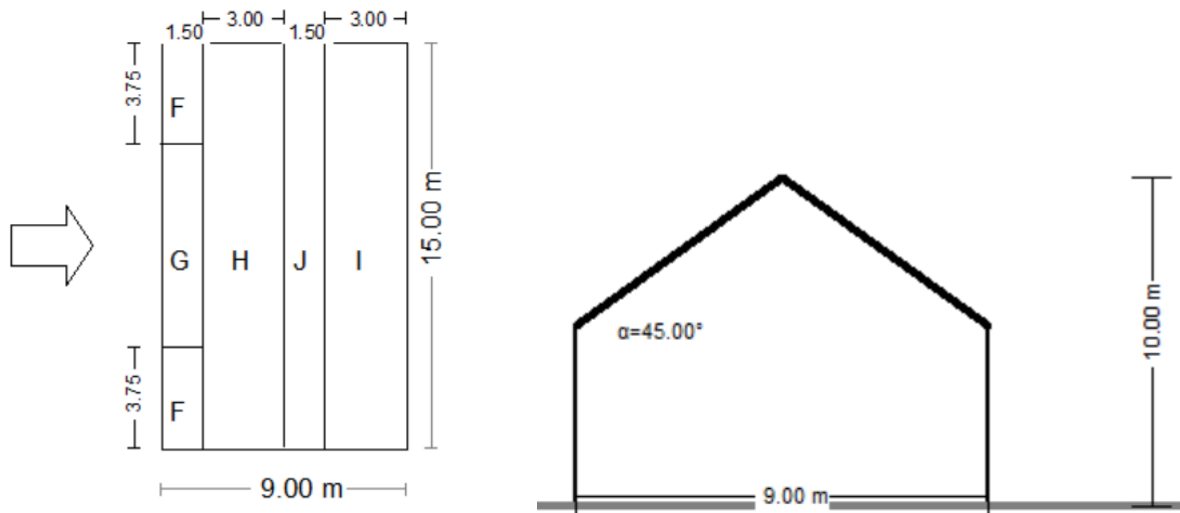
Zgrada visina  $h= 10.0$  m

Zgrada duljina:  $b= 15.00$  m

Zgrada širina  $d= 9.00$  m

Nagib krova  $\alpha_1= 45.00$  °

Nagib krova  $\alpha_2= 45.00$  °



Referentna brzina

$v_{bo}=22.00$  m/s, Italy UNI EN, Zone: 1

$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{bo} = 22.00$  m/s

Teren kategorija : III

Hrapavost factor  $C_r(z)$

Teren kategorija:III,  $z=10.000$ m,  $z_0=0.300$ m,  $z_{min}=5$ m,  $z_{max}:=200$ m,  $z_{0II}=0.050$ m

$k_r=0.19 \cdot (0.300/0.05)^{0.07}=0.215$

$C_r(z)=k_r \cdot \ln(z/z_0)=0.215 \times \ln(10.000/0.300)=0.755$

Orography factor  $C_o(z)$

$H/L_u=20/100=0.20$ ,  $0.05 < H/L_u=0.20 \leq 0.30$ ,  $L_e=100.00$  m (EN1991-1-4, Tab.A.2)

$z=19.80$  m,  $X/L_u=-1/100=-0.01$ ,  $z/L_e=20/100=0.20$ ,  $s=0.682$  (eq.A.4,...A.6)

$C_o(z)=1+2 \times 0.682 \times 0.200=1.273$

Faktor turbulencije

$K_t=1.000$

Izloženost factor  $C_e(z)$

Teren kategorija: III

$z=10.00$  m,  $k_r=0.215$ ,  $l_v(z)=0.224$ ,  $C_e(z)= 2.373$

$q(z)=C_e(z) \cdot (\frac{1}{2}\rho) \cdot V_b^2=[0.001] \times 2.373 \times 0.625 \times 22.00^2=0.718$  kN/m<sup>2</sup>

Vjetar vršna brzina pritisak  $q(z)=C_e(z) \cdot q_b = C_e(z) \cdot (0.625) \cdot V_b^2$

$V_b=22.00\text{m/sec}$

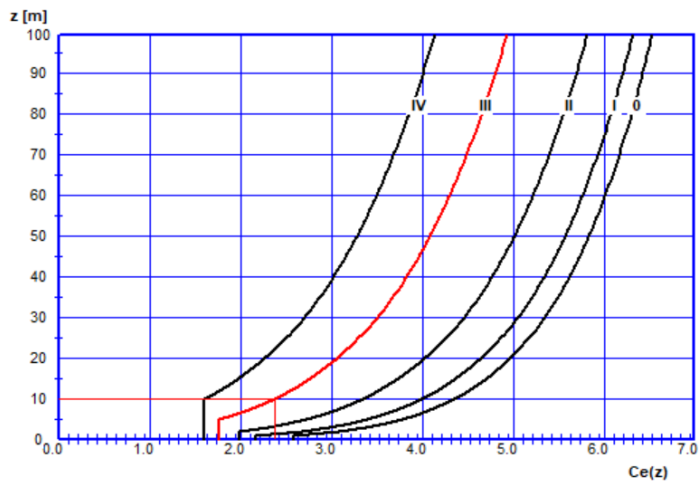
$z=10.000\text{m}$

$C_r(z)=0.755$

$C_o(z)=1.273$

$K_t=1.000$

$C_e(z)=2.373$



$q(z)=C_e(z) \cdot (\frac{1}{2}\rho) \cdot V_b^2$

$=[0.001] \times 2.373 \times 0.625 \times 22.00^2$

$= 0.718 \text{ kN/m}^2$

Vjetar sile na dvostrešni krov, vjetar smjer: 0.00

Wind pressure coefficients  $C_{pe}$  (EN1991-1-4, Tab. 7.4a)

smjer vjetra:  $\theta=0.00$

$b=15.00\text{m}$ ,  $d=9.00\text{m}$ ,  $h=10.00\text{m}$ ,  $e=\min(b,2h)=15.00\text{m}$

$e/4=3.75\text{m}$ ,  $e/10=1.50\text{m}$ ,  $e/2=7.50\text{m}$

Pitch angle:  $\alpha=45.000$

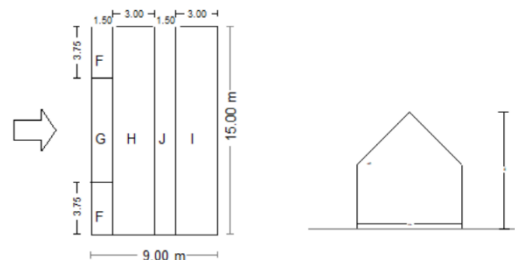
Zone : F,  $A= 7.95\text{m}^2$ ,  $C_{pe,10}=+0.70$ ,  $C_{pe,1}=+0.70$

Zone : G,  $A= 15.91\text{m}^2$ ,  $C_{pe,10}=+0.70$ ,  $C_{pe,1}=+0.70$

Zone : H,  $A= 63.64\text{m}^2$ ,  $C_{pe,10}=+0.60$ ,  $C_{pe,1}=+0.60$

Zone : I,  $A= 63.64\text{m}^2$ ,  $C_{pe,10}=+0.00$ ,  $C_{pe,1}=+0.00$

Zone : J,  $A= 31.82\text{m}^2$ ,  $C_{pe,10}=+0.00$ ,  $C_{pe,1}=+0.00$



Vjetar pritisak na krov površine  $w_e=q(z) \cdot C_{pe}=0.718 \times C_{pe}$  [kN/m<sup>2</sup>]

	F	G	H	I	J					
$w_{e,10}$	+0.503	+0.503	+0.503	+0.503	+0.431	+0.431	+0.000	+0.000	+0.000	+0.000
$w_{e,1}$	+0.503	+0.503	+0.503	+0.503	+0.431	+0.431	+0.000	+0.000	+0.000	+0.000

Vjetar sile na krov površine  $Q_e=w_{e,10} \cdot A$  [kN]

F	G	H	I	J
Q = +3.998 kN	Q = +7.995 kN	Q = +27.412 kN	Q = +0.000 kN	Q = +0.000 kN

Total sila na krov površina (suma svih površina)    F = 43.4 kN  
 Total moment od sile na krov oko lijevog ruba                    My = 133.3 kNm  
 Total moment od sile na krov oko desnog ruba                    Mx = 325.5 kNm

Vjetar sile na dvostrešni krov, vjetar smjer: 90.00

Vjetar pritisak koef. s Cpe

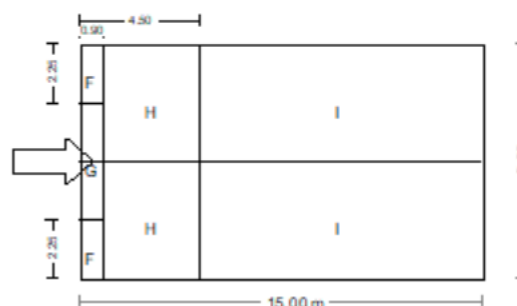
smjer vjetra:  $\theta=90.00$

wind direction:  $\theta=90.00$

b=9.00m, d=15.00m, h=10.00m, e=min(b,2h)=9.00m

e/4=2.25m, e/10=0.90m, e/2=4.50m

Pitch angle:  $\alpha=45.000$



Zone : F, A= 2.86m<sup>2</sup>, Cpe,10=-1.10, Cpe,1=-1.50  
 Zone : G, A= 5.73m<sup>2</sup>, Cpe,10=-1.40, Cpe,1=-2.00  
 Zone : H, A= 45.82m<sup>2</sup>, Cpe,10=-0.90, Cpe,1=-1.20  
 Zone : I, A= 133.64m<sup>2</sup>, Cpe,10=-0.50, Cpe,1=-0.50

Vjetar pritisak na krov površine  $w_e=q(z) \cdot C_{pe}=0.718 \times C_{pe}$  [kN/m<sup>2</sup>]

F	G	H	I
<u>we,10</u> <u>we,1</u>	<u>we,10</u> <u>we,1</u>	<u>we,10</u> <u>we,1</u>	<u>we,10</u> <u>we,1</u>
-0.790 -1.077	-1.005 -1.436	-0.646 -0.861	-0.359 -0.359

Vjetar sile na krov površine  $Q_e=w_{e,10} \cdot A$  [kN]

F	G	H	I
Q= -2.261 kN	Q= -5.756 kN	Q= -29.605 kN	Q= -47.971 kN

Total sila na krov površina (suma svih površina)    F = -87.9 kN  
 Total moment od sile na krov oko lijevog ruba                    My = -378.4 kNm

Total moment od sile na krov oko vršnog ruba

$$M_x = -539.0 \text{ kNm}$$

Opterećenje vjetrom na vertikalne površine

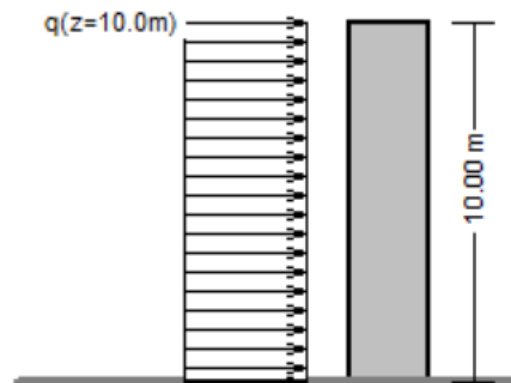
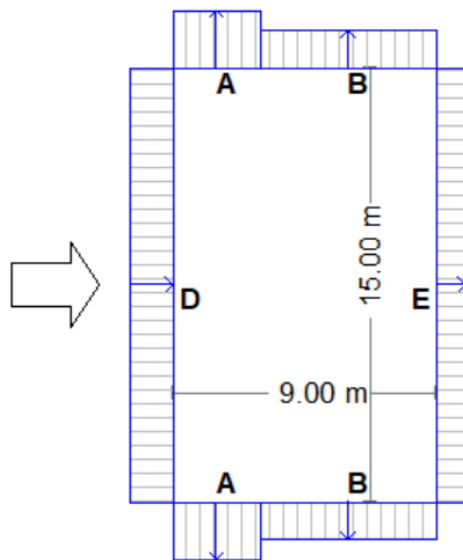
Eurocode 1 (EC1) Actions on structures, Wind actions , EN1991-1-4:2005

Referentna brzina

$v_{bo} = 22.00 \text{ m/s}$ , Italy UNI EN, Zone: 1

$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{bo} = 22.00 \text{ m/s}$

Teren kategorija : III



Hrapavost factor  $C_r(z)$

Terrain category: III,  $z = 10.000 \text{ m}$ ,  $z_o = 0.300 \text{ m}$ ,  $z_{min} = 5 \text{ m}$ ,  $z_{max} = 200 \text{ m}$ ,  $z_{oII} = 0.050 \text{ m}$

$$k_r = 0.19 \cdot (0.300/0.05)^{0.07} = 0.215$$

$$C_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_o) = 0.215 \times \ln(10.000/0.300) = 0.755$$

Orography factor  $C_o(z)$  (EN1991-1-4, §4.3.3)

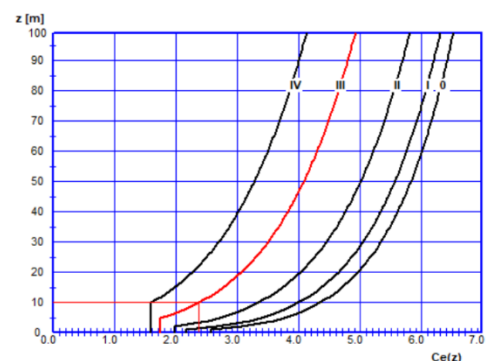
$H/L_u = 20/100 = 0.20$ ,  $0.05 < H/L_u = 0.20 \leq 0.30$ ,  $L_e = 100.00 \text{ m}$

$z = 19.80 \text{ m}$ ,  $X/L_u = -1/100 = -0.01$ ,  $z/L_e = 20/100 = 0.20$ ,  $s = 0.682$

$$C_o(z) = 1 + 2 \times 0.682 \times 0.200 = 1.273$$

Faktor turbulencije

$$K_t = 1.000$$





Koef. izloženosti  $C_e(z)$

Kategorija terena: III

$z=10.00$  m,  $k_r=0.215$ ,  $l_v(z)=0.224$ ,  $C_e(z)= 2.373$

$q(z)=C_e(z) \cdot (\frac{1}{2}\rho) \cdot V_b^2$

$=[0.001] \times 2.373 \times 0.625 \times 22.00^2 = 0.718$  kN/m<sup>2</sup>

Vršni pritisak vjetra  $q(z)=C_e(z) \cdot q_b = C_e(z) \cdot (0.625) \cdot V_b^2$

$V_b=22.00$ m/sec

$z=10.00$ m,  $C_r(z)=0.755$ ,  $C_o(z)=1.273$ ,  $K_t=1.000$

$q(z)=C_e(z) \cdot (\frac{1}{2}\rho) \cdot V_b^2 = [10^{-3}] C_e(z) \times 0.625 \times 22.00^2$  kN/m<sup>2</sup>

$c(z)= 2.373$

$q(z)=[10^{-3}] \times 2.373 \times 0.625 \times 22.00^2 = 0.72$  kN/m<sup>2</sup>

Sile na vert. zidove

Koeficijenti pritiska  $C_{pe}$

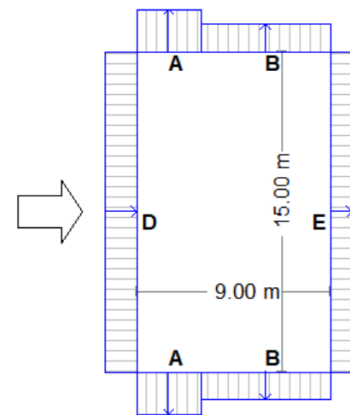
$h/d=10.00/9.00=1.111$ ,  $e=15.00$ m

Zone : A, ( 3.00xh),  $C_{pe,10}=-1.20$ ,  $C_{pe,1}=-1.40$

Zone : B, ( 6.00xh),  $C_{pe,10}=-0.80$ ,  $C_{pe,1}=-1.10$

Zone : D, ( 15.00xh),  $C_{pe,10}= 0.80$ ,  $C_{pe,1}= 1.00$

Zone : E, ( 15.00xh),  $C_{pe,10}=-0.51$ ,  $C_{pe,1}=-0.51$



Pritisak vjetra na plohe zida  $w_e=q(z) \cdot C_{pe}$  [kN/m<sup>2</sup>] (EN1991-1-4, 5.1)

	A		B		D		E	
	$w_{e,10}$	$w_{e,1}$	$w_{e,10}$	$w_{e,1}$	$w_{e,10}$	$w_{e,1}$	$w_{e,10}$	$w_{e,1}$
$z=10.00 \sim 0.00$ m,	-0.861	-1.005	-0.574	-0.790	0.574	0.718	-0.363	-0.363

Sile vjetra na plohe zida  $F_w=w_e \cdot A$  [kN]

	A(3.00m)	B(6.00m)	D(15.00m)	E(15.00m)		
$z_c$ [m]	dz[m]	Fw[kN]	Fw[kN]	Fw[kN]		
z=10.00~ 0.00m,	5.00	10.00	-25.844	-34.459	86.147	-54.440

Sile vjetra [kN] na plohe zida, te momenti [kNm] obzirom na bazu

Zone : A, Force Fw= -25.84 kN,  $z_c$ = 5.00m, Moment Mw= $z_c \cdot F_w$ = 129.22 kNm

Zone : B, Force Fw= -34.46 kN,  $z_c$ = 5.00m, Moment Mw= $z_c \cdot F_w$ = 172.29 kNm

Zone : D, Force Fw= 86.15 kN,  $z_c$ = 5.00m, Moment Mw= $z_c \cdot F_w$ = 430.74 kNm

Zone : E, Force Fw= -54.44 kN,  $z_c$ = 5.00m, Moment Mw= $z_c \cdot F_w$ = 272.20 kNm

#### 4.3.4. Opterećenje potresom



Slika 30. Predmetna lokacija s horizontalnim vršnim ubrzanjima tla tipa A ( $a_{gR}$ ) za povratna razdoblja od  $T_p = 95$  i 475 godina (<http://seizkarta.gfz.hr/karta.php>)

Tablica 2. Kategorizacija tla prema seizmičnosti (Eurocode 8, HRN EN 1998- 1:2008 en)

Tip tla	Opis geotehničkog profila tla	$v_{s,30}$ [m/s]	$N_{SPT}$ [n/30cm]	$C_u$ [kPa]
A	Stijena ili druga geološka formacija uključujući najmanje 5 m slabijeg materijala na površini.	>800	–	–

B	Nanosi vrlo zbijenoga pijeska, šljunka ili vrlo krute gline debljine najmanje nekoliko desetaka metara, sa svojstvom postupnoga povećanja mehaničkih svojstava s dubinom.	360 - 800	> 50	> 250
C	Debeli nanosi srednje zbijenoga pijeska, šljunka ili srednje krute gline debljine od nekoliko desetaka do više stotina metara.	180 - 360	15 - 50	70 - 250
D	Nanosi slabo do srednje koherentni (sa ili bez mekih koherentnih slojeva) ili s predominantno mekim do srednje krutim koherentnim tlima.	< 180	< 15	< 70
E	Profili koji sadrže površinski sloj koji karakterizira brzina $v_s$ tzv. tipove tla C i D i debljine od 5 m do 20 m, a ispod njih je kruti materijal s brzinom većom od $v_s$ 800 m/s	–	–	–
S1	Nanosi koji sadrže najmanje 10 m debeli sloj mekane gline s visoko plastičnim indeksom ( $I_p > 40$ ) i visokim sadržajem vode	< 100	–	10 - 20
S2	Nanosi likvefakcijski osjetljivog tla pijeska i gline ili bilo koji tip tla koji nije opisan od A do E i pod S1	–	–	–

Tip tla	S	$T_P(s)$	$T_C(s)$	$T_D(s)$
A	1,00	0,15	0,4	2,0
B	1,20	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,40	0,15	0,5	2,0

## PRORAČUNSKI ELASTIČNI ODZIV SPEKTRA

Horizontal ubrzanje omjer  $\alpha_g=0.191xg$

Faktor tla  $S=1.20$

Faktor ponašanja [horizontal]  $q=1.50$

Faktor ponašanja [vertical]  $q_v=1.50$

Verti./horiz.  $\alpha_{vg}/\alpha_g=0.90$

Karakt. periode spektra

[horizontal]  $T_b=0.15$  sec

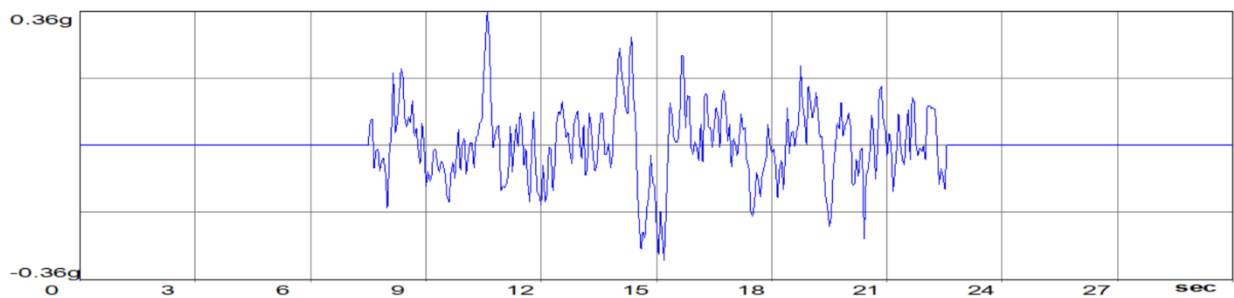
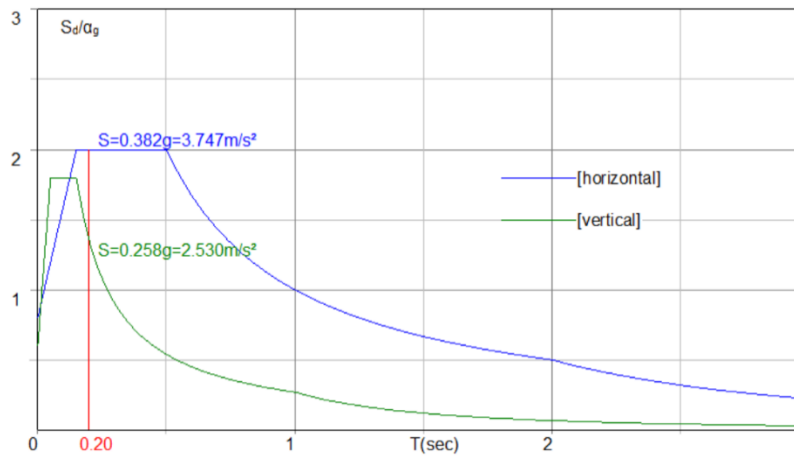
$T_c=0.50$  sec

$T_d=2.00$  sec

[vertikal]  $T_{vb}=0.05$  sec

$T_{vc}=0.15$  sec

$T_{vd}=1.00$  sec



Horizontalni elastična spektar odziva  $S_d(T)$

$$0.00 \leq T < 0.15: S_d(T) = 0.191 \times 1.20 \times [2/3 + (T/0.15) \times (2.5/1.50 - 2/3)]$$

$$0.15 \leq T < 0.50: S_d(T) = 0.191 \times 1.20 \times (2.5/1.50)$$

$$0.50 \leq T < 2.00: S_d(T) = 0.191 \times 1.20 \times (2.5/1.50) \times [0.50/T]$$

$$2.00 \leq T < 4.00: S_d(T) = 0.191 \times 1.20 \times (2.5/1.50) \times [0.50 \times 2.00/T^2]$$

Vertikalni elastična spektar odziva  $S_{vd}(T)$

$$0.00 \leq T < 0.05: S_{vd}(T) = 0.90 \times 0.191 \times 1.0 \times [2/3 + (T/0.05) \times (3.0/1.50 - 2/3)]$$

$$0.05 \leq T < 0.15: S_{vd}(T) = 0.90 \times 0.191 \times 1.0 \times (3.0/1.50)$$

$$0.15 \leq T < 1.00: S_{vd}(T) = 0.90 \times 0.191 \times 1.0 \times (3.0/1.50) \times [0.15/T]$$

$$1.00 \leq T < 4.00: S_{vd}(T) = 0.90 \times 0.191 \times 1.0 \times (3.0/1.50) \times [0.15 \times 1.00/T^2]$$

#### 4.4. Proračunski modeli postojeće konstrukcije, podaci, proračun i rezultati

Provjera ispunjavanja temeljnog zahtjeva mehaničke otpornosti i stabilnosti te analiza potresne otpornosti postojeće konstrukcije provedena je pomoću proračunskih modela konstrukcije crkve izrađenog u programskom paketu 3muri. Nakon analize opterećenja prikazani su osnovni podaci za svaki model konstrukcije s ulaznim podacima - elementima, geometrijom i opterećenjima te rezultati reakcija, unutarnjih sila i dimenzioniranja onih elemenata konstrukcije za koje je taj model najpodesniji.

Iako postoji geotehnički elaborat i znaju se parametri tla, nisu provedena dublja istraživanja samih temelja, dubina, spojna mjesta kod otvora u crkvi, točne širine, postoje li temelji samci i općenito geometrije pod zemljom, budući da se i okolni teren i podovi crkve nisu mogli čak ni sondirati u tolikoj mjeri koja bi osigurala da tako dobiveni podaci stvore egzaktnu detaljnu sliku o točnoj geometriji temelja na svim za proračun važnim mjestima. Zbog toga se u modelu nije išlo na elastične temelje te su svi provedeni i ovdje prikazani proračunski modeli konstrukcije ove crkve zadani s krutim linijskim osloncima, na temelju čijih rezultata se može dobiti uvid u raspodjelu linijskih opterećenja na tlo ispod zidova ili pojedinih dijelova crkve, iako je možda modeliranje samih linijskih oslonaca neprecizno jer se stvarna geometrija temelja ne pozna. Ta aproksimacija je moguća i zato jer su rezultati ispitivanja tla i karakter i rasprostranjenost samih oštećenja pokazali da diferencijala slijeganja, dakle utjecaj tla nisu bitan uzrok većine pukotina.

##### **Modeliranje zidova**

Dijeljenjem zida na okomita područja koja odgovaraju različitim razinama i bilježenjem položaja otvora, mogu se odrediti dijelovi zida, zidanih stupova i greda na kojima su deformabilnost i oštećenja koncentrirani. Ovo može biti potvrđeno promatranjem šteta uzrokovanih stvarnim potresima te eksperimentalnim i numeričkim simulacijama. Ta su područja modelirana s konačnim dvodimenzionalnim makroelementima, koji predstavljaju zidane zidove, s dva čvora i tri stupnja slobode po čvoru ( $u_x$ ,  $u_z$ ,  $rot_y$ ) i dva dodatna unutarnja stupnja slobode. Otporni dijelovi zida smatraju se krutim dvodimenzionalnim čvorovima konačnih dimenzija na koje su povezani makroelementi. Makroelementi prenose akcije duž tri stupnja slobode razine, na svakom incidentnom čvoru. U opis svakog pojedinog zida, čvorovi su identificirani parom koordinata  $(x, z)$  u razini zida. Visina  $z$ , odgovara visini horizontalnih konstrukcija. Stupnjevi slobode su isključivo  $u_x$ ,  $u_z$  i  $rot_y$  (za dvodimenzionalne čvorove).

Zahvaljujući podjeli elemenata u čvorove, zidni model postaje potpun usporediv s planom okvira.

### **Prostorno modeliranje**

U prostornom modeliranju, zidovi su otporni elementi, s obzirom na vertikalna i horizontalna opterećenja. S druge strane, horizontalne konstrukcije (podovi, svodovi, stropovi) svoja vertikalna opterećenja prenose na zidove i dijele horizontalna djelovanja na upadne zidove. Na ovaj način, konstrukcija je modelirana montažom ravnih konstrukcija: zidova i vodoravnih konstrukcija, objema nedostaje krutost na savijanje izvan ravnine.

U svakom slučaju proširenje postupka na trodimenzionalno modeliranje nije jednostavno. Ispravna strategija je očuvanje modeliranja zidova na njihovoj razini i njihovo spajanje s horizontalnim strukturama, uključujući one za koje se modelira ponašanje membrane. Na taj način model strukture poprima masu i krutost na svim trodimenzionalnim stupnjevima slobode. U isto vrijeme, lokalno uzima u obzir pojedinačne stupnjeve slobode razina (dvodimenzionalni čvorovi). Na taj se način stvara esencijalni strukturni model, bez kompliciranja izračunavanja odziva izvan lokalne razine. To se naravno može provjeriti kasnije. Nakon što se uspostavi jedinstvena ukupna referenca za konstrukcijski model, uvode se lokalne reference za svaki zid. Pretpostavlja se da se zidovi oslanjaju na okomitu ravninu i nalaze se u tlocrtu općeg zida i kroz koordinate točke, podrijetlo lokalne reference  $O_i (x_i, y_i, z_i)$ , s obzirom na cjelokupni kartezijanski referentni sustav  $(X, Y, Z)$ . Kut  $i$  izračunava se u odnosu na os  $X$ . Na taj je način lokalni referentni sustav za zid nedvosmisleno definiran, a modeliranje makroelemenata može se odvijati istim modalitetom koji se koristi za razine.

Makroelementi, kao što su grede i spone, održavaju ponašanje razine i ne zahtijevaju preformulaciju. Vezni čvorovi, koji pripadaju jednom zidu, održavaju svoje stupnjeve slobode na lokalnoj referentnoj razini. Čvorovi koji pripadaju više od jednog zida (lokalizirani u upadima zidova) moraju imati stupnjeve slobode u ukupnoj referenci (trodimenzionalni čvorovi). Ovi čvorovi, zbog hipoteze koja zanemaruje krutost zidova na savijanje, ne trebaju rotacijski stupanj slobode oko  $Z$  osi, budući da nisu povezani ni s jednim elementom koji može osigurati lokalna ograničenja rotacijske krutosti.

Trodimenzionalni kruti čvorovi, koji predstavljaju situacije kutnog željeza ili čekića, dobivaju se kao skup virtualnih dvodimenzionalnih krutih čvorova identificiranih u svakom od upadnih zidova. One imaju komponente pomaka generalizirane pomoću pet stupnjeva slobode: tri pomaka  $u_x$ ,  $u_y$  i  $u_z$ . Dva rotacijska  $j_x$  i  $j_y$ . Odnosi između pet komponenti

pomaka i rotacije trodimenzionalnog čvora i tri za fiktivni dvodimenzionalni čvor, koji pripadaju jednoj stijenci, dati su na sljedeći način:

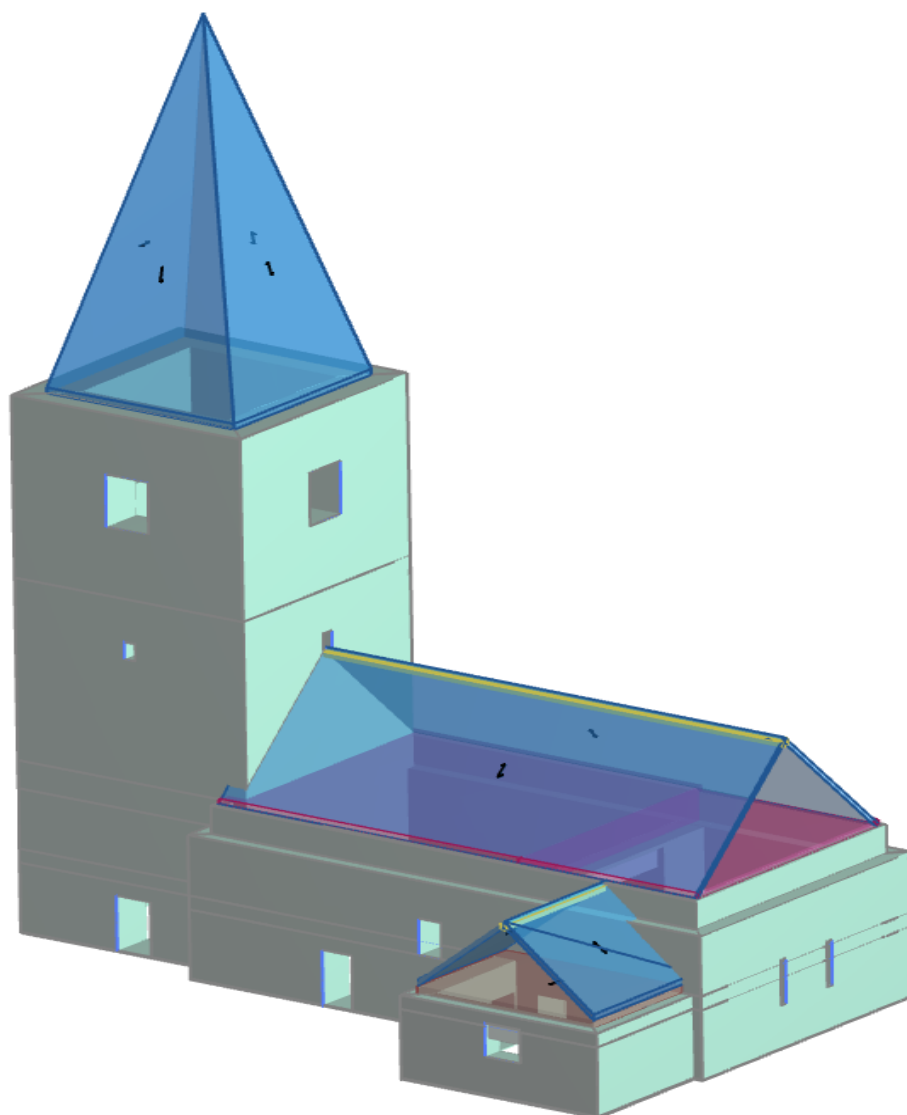
$$\begin{cases} u = u_x \cos \theta + u_y \sin \theta \\ w = u_z \\ \varphi = \varphi_x \sin \theta - \varphi_y \cos \theta \end{cases}$$

u kojima  $u, w$  i  $\varphi$  označavaju tri komponente pomaka prema stupnjevima slobode koji se nalaze u fiktivnom čvoru koji pripada generičkom zidu okrenutom prema tlocrtu prema kutu  $\varphi$ . Slično tome, sile primijenjene na trodimenzionalne čvorove pomiču se prema smjerovima identificiranim srednjom razinom zidova, a zatim se primjenjuju na makroelemente u njihovoj razini otpora.

### Modeliranje podova

Podovi, modelirani kao gotovi ortotropni membranski elementi s tri čvora, s dva stupnja slobode po čvoru (pomaci  $u_x$  i  $u_y$ ), identificirani su smjerom savijanja, u odnosu na onaj karakteriziran elastičnim modulom  $E_1$ .  $E_2$  je elastični model sa smjerom okomitim na uvijanje, dok je  $\nu$  Poissonov koeficijent, a  $G_{2,1}$  tangencijalni model elastičnosti.  $E_1$  i  $E_2$  predstavljaju stupanj spoja koji pod, zahvaljujući učincima ankera ostvaruje na čvorove elementa u razini zida.  $G_{2,1}$  predstavlja posmičnu krutost poda na njegovoj razini i o tome ovisi podjela djelovanja na zidove. Moguće je postaviti podni element povezujući ga s trodimenzionalnim čvorovima. To je zato što podni element prvenstveno funkcionira da podijeli vodoravna djelovanja između različitih zidova proporcionalno njihovoj krutosti i vlastitoj krutosti. Na taj način model čini trodimenzionalnim na način koji ga približava pravoj konstrukcijskoj izvedbi. Gotovi referentni element koji treba razmotriti je element razine, u stanju napetosti razine, s tri čvora. Matrica krutosti uključuje pojedinačne trodimenzionalne usputne čvorove na podu.

Doprinos vertikalnih opterećenja, vlastitih ili nosivih, pripisuje se u smislu modalne mase dodane svim čvorovima, uključujući one s tri stupnja slobode, kojima pripadaju upadni zidovi u visini kote poda. Ova dodana masa izračunava se na temelju područja utjecaja svakog čvora, uzimajući u obzir smjer savijanja poda.



Slika 31. 3D prikaz modela kapele svetog Klementa

Provedeno je više proračunskih modela konstrukcije:

1. 3D MODEL CIJELE OSNOVNE KONSTRUKCIJE

To nije sada zatečeno stanje, već ono prije zadnje sanacije, dakle promatranje karakteristika i ponašanja konstrukcije kakva je došla do današnjeg vremena, nakon svih prošlih rekonstrukcija i dogradnji.

2. 3D MODEL SANIRANE KONSTRUKCIJE (OJAČAN SA ZATEGAMA, POVEZIVANJEM ZIDOVA NA SUDARIMA)

Za buduće stanje, dakle saniranu postojeću konstrukciju korišten je isti 3D proračunski model cijele crkve, kao što je sadašnje stvarno stanje te su dodani novi konstruktivni elementi koji učvršćuju zidove (ankeri, anker-pločice, karbonska vlakna i užadi) koji se u ovom projektu s



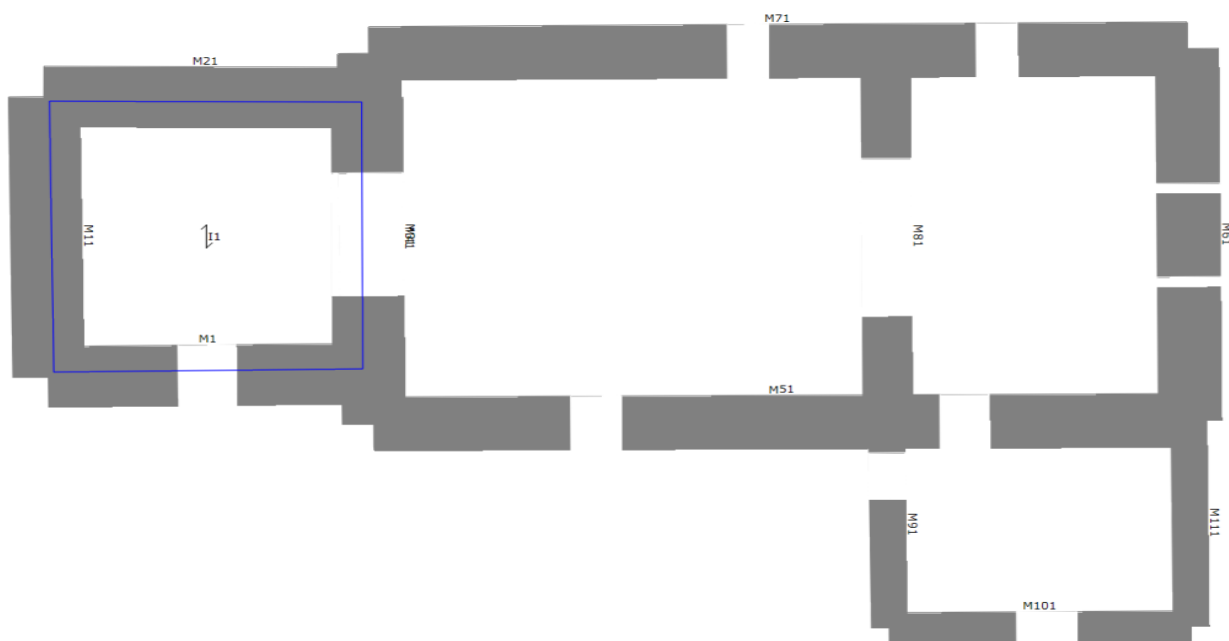
njima saniraju. Te izmjene su jedine prikazane u podacima za ovaj model, budući da su ostali ulazni podaci isti kao u prethodno prikazanom modelu.

Uz sanaciju dodavanja novih zatega pri vrhu zidova, predviđena je i sanacija lukova i svodova karbonskim vlaknima te povezivanje zidova na sudarima. Načini izvođenja sanacija karbonskim vlaknima i povezivanja na sudarima su prikazani tlocrtno u priložima. Također se predlaže i sanacija nadvoja i lukova nosivih zidova.

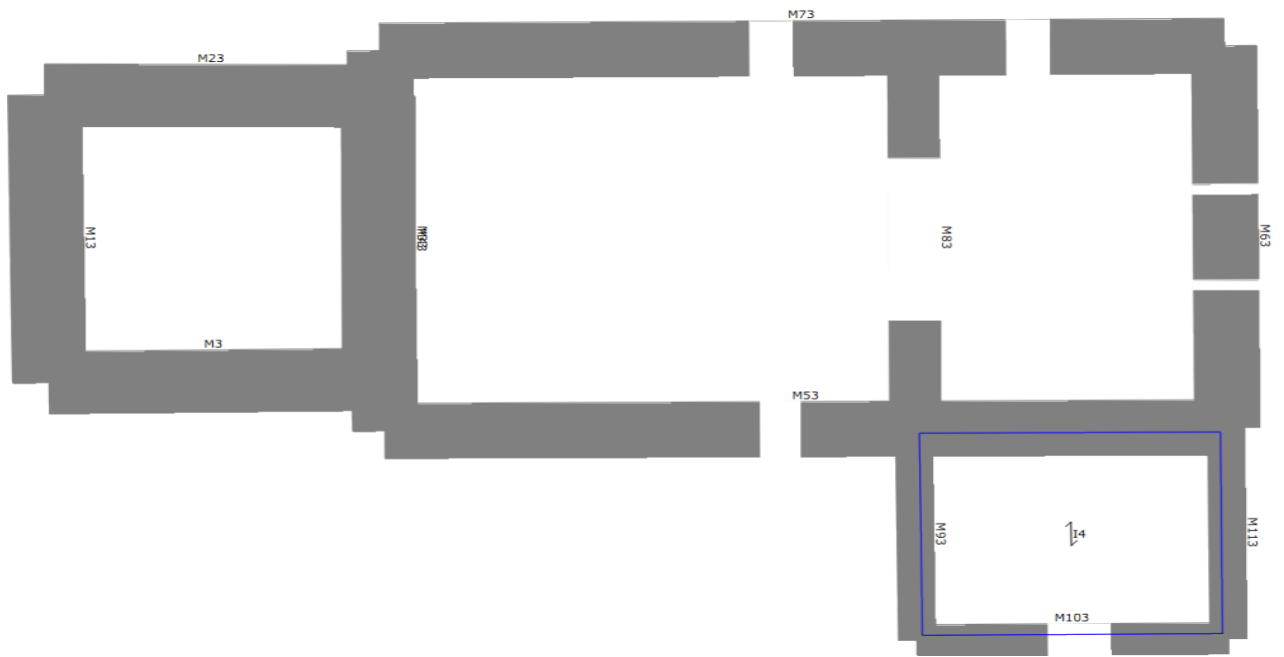
Može se reći da je to proračunski model buduće, sanirane konstrukcije crkve u Kelemenu i s njim su provjerene sile u promijenjenim zidovima u odnosu na prethodno stanje.

#### 4.4.1. 3D model osnovne konstrukcije

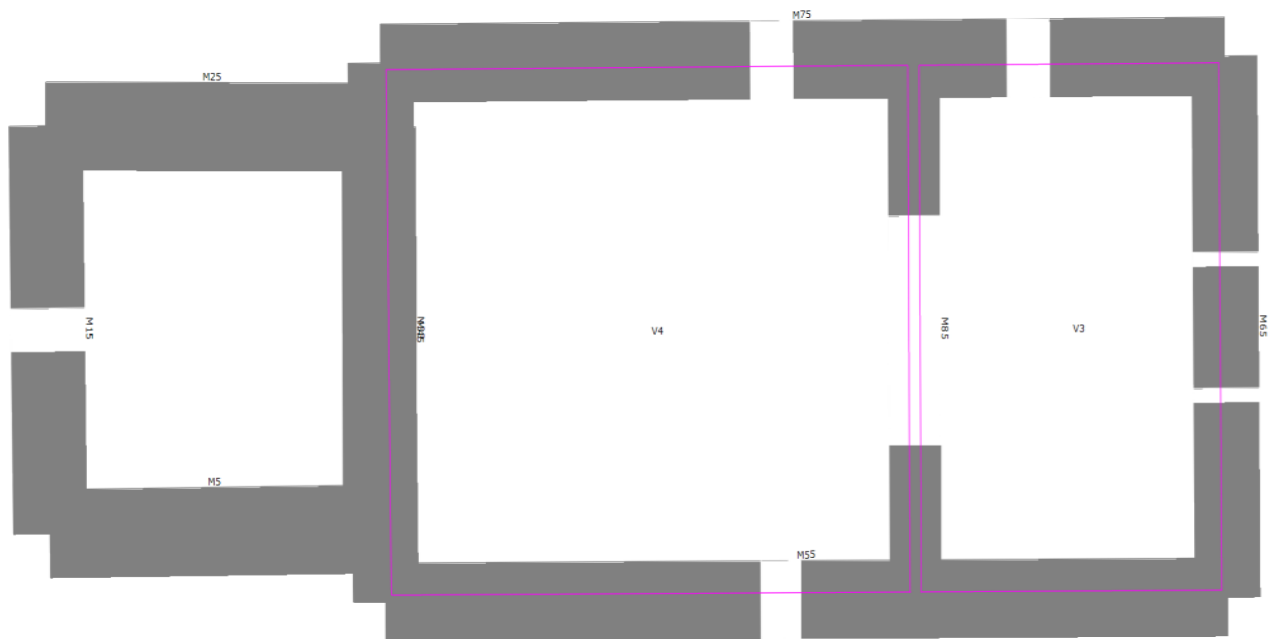
Osnovni podaci proračuna iz 3-muria za stanje objekta prije potresa i sanacije prikazani su na sljedećim slikama.



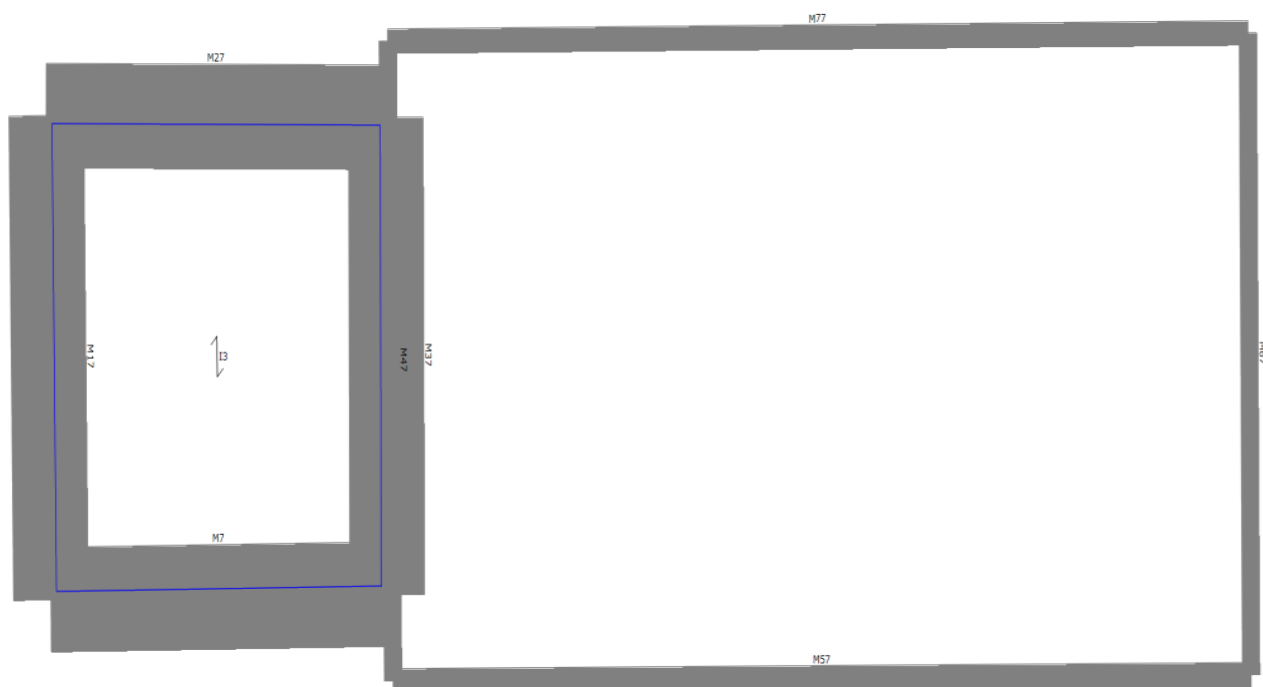
Slika 32. Tlocrtni prikaz etaže 1



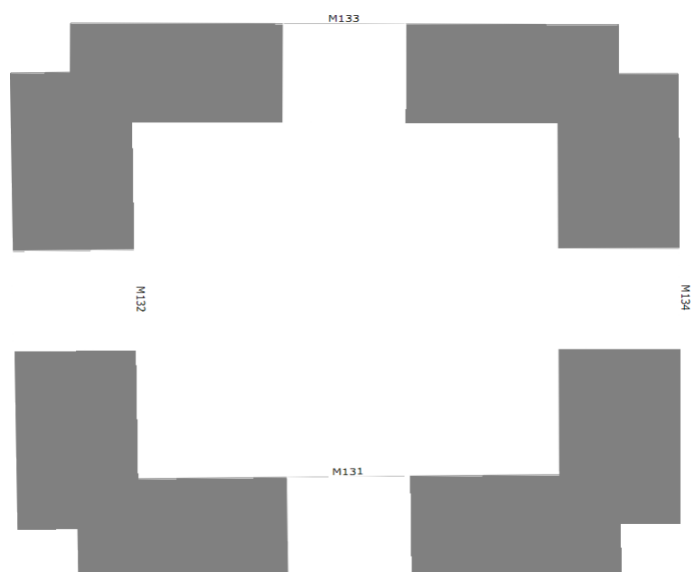
Slika 33. Tlocrtni prikaz etaže 2



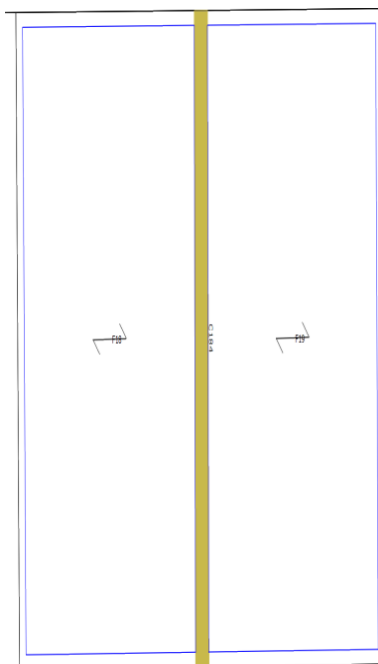
Slika 34. Tlocrtni prikaz etaže 3



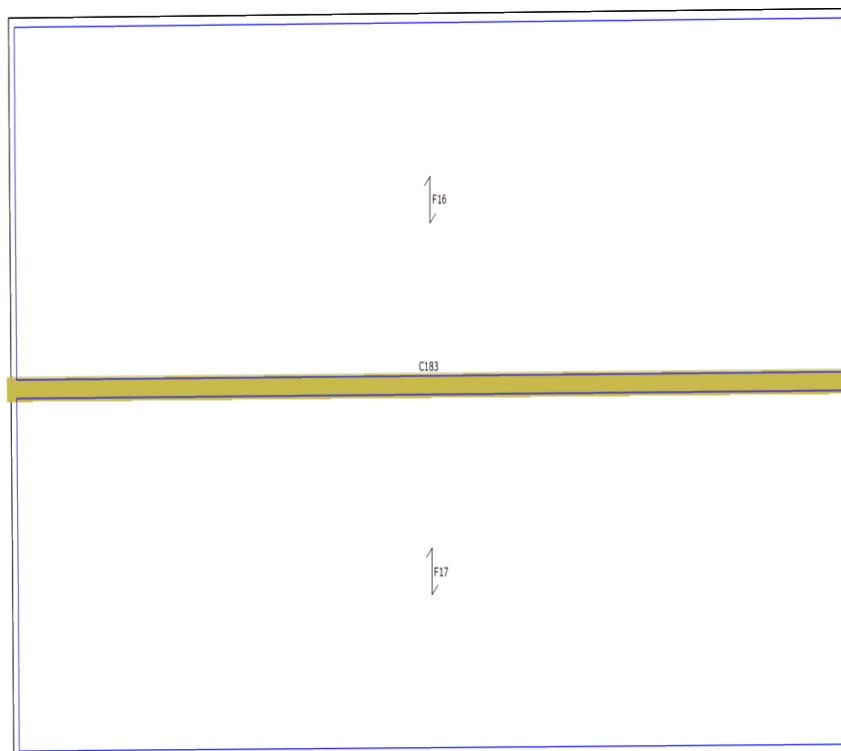
Slika 35. Tlocrtni prikaz etaže 4



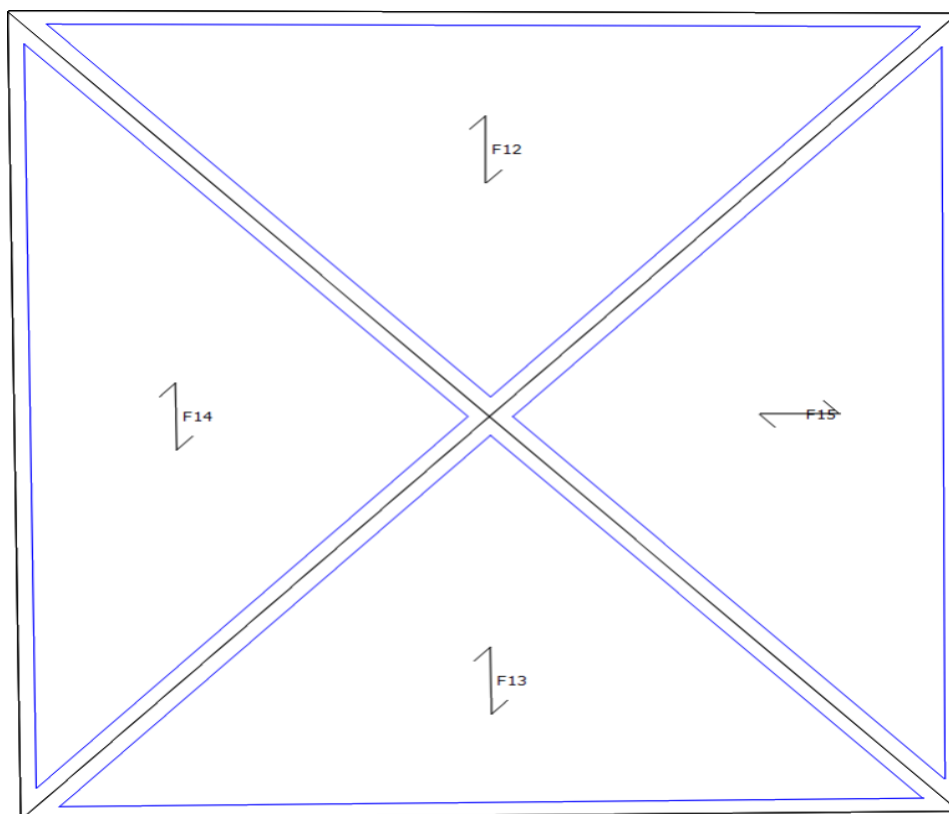
Slika 36. Tlocrtni prikaz etaže 5



Slika 37. Tlocrtni prikaz krovne etaže 2



Slika 38. Tlocrtni prikaz krovne etaže 4



Slika 39. Tlocrtni prikaz krovne etaže 6

#### 4.4.2. Geometrija modela

Elementi konstrukcije

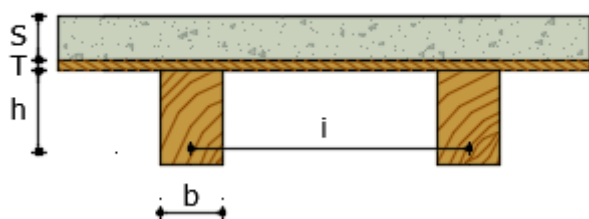
Razina 1

Zidni panel

Br.	Zid	Materijal	Ojačanje	Elevacija [cm]	Visina [cm]	Debljina [cm]
1	1	kelemen	-	250,0	250,0	130,0
11	2	kelemen	-	250,0	250,0	130,0
21	3	kelemen	-	250,0	250,0	130,0
31	4	kelemen	-	250,0	250,0	130,0
41	5	kelemen	-	250,0	250,0	115,0
51	6	kelemen	-	250,0	250,0	115,0
61	7	kelemen	-	250,0	250,0	115,0
71	8	kelemen	-	250,0	250,0	115,0
81	9	kelemen	-	250,0	250,0	90,0
91	10	kelemen	-	250,0	250,0	65,0
101	11	kelemen	-	250,0	250,0	65,0
111	12	kelemen	-	250,0	250,0	65,0

Arhiva ploča

## Drveni grednik sa dodanom betonskom tlačnom pločom



Ime	Materijali	Opis
U1	Drveni nosači : C14 Halor. plep Daskanje: C14 Halor. plep Beton: C12/15	Drveni grednik sa dodanom betonskom tlačnom pločom b [cm] = 10,0; h [cm] = 15,0; i [cm] = 150,0; T [cm] = 5,0; S [cm] = 30,0

## Međukatna konstrukcija

Br.	Archive	Elevacija [cm]	Debljina [cm]	G [N/mm <sup>2</sup> ]	Ex [N/mm <sup>2</sup> ]	Ey [N/mm <sup>2</sup> ]	Opterećenje masom	Tip
1	U1	250,0	30,0	11.250,00	27.233,33	27.000,00	Jednosmjerno	Drveni grednik sa dodanom betonskom tlačnom pločom

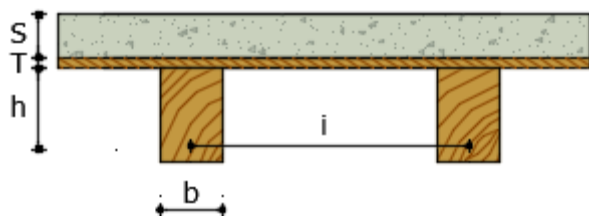
## Razina 2

### Zidni panel

Br.	Zid	Materijal	Ojačanje	Elevacija [cm]	Visina [cm]	Debljina [cm]
3	1	kelemen	-	300,0	50,0	130,0
13	2	kelemen	-	300,0	50,0	130,0
23	3	kelemen	-	300,0	50,0	130,0
33	4	kelemen	-	300,0	50,0	130,0
43	5	kelemen	-	300,0	50,0	115,0
53	6	kelemen	-	300,0	50,0	115,0
63	7	kelemen	-	300,0	50,0	115,0
73	8	kelemen	-	300,0	50,0	115,0
83	9	kelemen	-	300,0	50,0	90,0
93	10	kelemen	-	300,0	50,0	65,0
103	11	kelemen	-	300,0	50,0	65,0
113	12	kelemen	-	300,0	50,0	65,0

## Arhiva ploča

### Drveni grednik sa dodanom betonskom tlačnom pločom



Ime	Materijali	Opis
U1	Drveni nosači : C14 Halor. plep Daskanje: C14 Halor. plep Beton: C12/15	Drveni grednik sa dodanom betonskom tlačnom pločom b [cm] = 10,0; h [cm] = 15,0; i [cm] = 150,0; T [cm] = 5,0; S [cm] = 30,0

### Međukatna konstrukcija

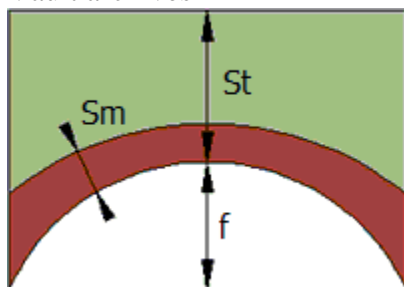
Br.	Archive	Elevacija [cm]	Debljina [cm]	G [N/mm <sup>2</sup> ]	Ex [N/mm <sup>2</sup> ]	Ey [N/mm <sup>2</sup> ]	Opterećenje masom	Tip
4	U1	300,0	30,0	11.250,00	27.233,33	27.000,00	Jednosmjerno	Drveni grednik sa dodanom betonskom tlačnom pločom

### Razina 3

#### Zidni panel

Br.	Zid	Materijal	Ojačanje	Elevacija [cm]	Visina [cm]	Debljina [cm]
5	1	kelemen	-	515,0	215,0	130,0
15	2	kelemen	-	515,0	215,0	130,0
25	3	kelemen	-	515,0	215,0	130,0
35	4	kelemen	-	515,0	215,0	130,0
45	5	kelemen	-	515,0	215,0	115,0
55	6	kelemen	-	515,0	215,0	115,0
65	7	kelemen	-	515,0	215,0	115,0
75	8	kelemen	-	515,0	215,0	115,0
85	9	kelemen	-	515,0	215,0	90,0

#### Vault archives



Ime	Materijali	Opis
U1	Materijal svoda: kelemen Gustoća ispune [kN/m <sup>3</sup> ] = 23	Križni svod St [cm] = 74,0; f [cm] = 17,0; Sm [cm] = 120,0

### Svod

Br.	Archive	Elevacija [cm]	Debljina [cm]	G [N/mm <sup>2</sup> ]	Ex [N/mm <sup>2</sup> ]	Ey [N/mm <sup>2</sup> ]	Opterećenje masom	Tipologija
3	U1	515,0	120,0	248,92	1.493,50	1.493,50	Dvosmjerno	Križni svod
4	U1	515,0	120,0	246,87	1.481,21	1.481,21	Dvosmjerno	Križni svod

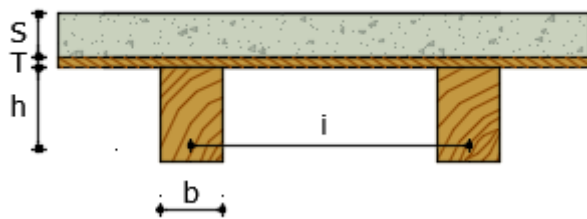
### Razina 4

#### Zidni panel

Br.	Zid	Materijal	Ojačanje	Elevacija [cm]	Visina [cm]	Debljina [cm]
7	1	kelemen	-	615,0	100,0	130,0
17	2	kelemen	-	615,0	100,0	130,0
27	3	kelemen	-	615,0	100,0	130,0
37	4	kelemen	-	615,0	100,0	130,0
47	5	kelemen	-	615,0	100,0	30,0
57	6	kelemen	-	615,0	100,0	30,0
67	7	kelemen	-	615,0	100,0	30,0
77	8	kelemen	-	615,0	100,0	30,0

### Arhiva ploča

Drveni grednik sa dodanom betonskom tlačnom pločom



Ime	Materijali	Opis
U1	Drveni nosači : C14 Halor. plep Daskanje: C14 Halor. plep Beton: C12/15	Drveni grednik sa dodanom betonskom tlačnom pločom b [cm] = 10,0; h [cm] = 15,0; i [cm] = 150,0; T [cm] = 5,0; S [cm] = 30,0



### Međukatna konstrukcija

Br.	Archive	Elevacija [cm]	Debljina [cm]	G [N/mm <sup>2</sup> ]	Ex [N/mm <sup>2</sup> ]	Ey [N/mm <sup>2</sup> ]	Opterećenje masom	Tip
3	U1	615,0	30,0	11.250,00	27.233,33	27.000,00	Jednosmjerno	Drveni grednik sa dodanom betonskom tlačnom pločom

### Razina 5

#### Zidni panel

Br.	Zid	Materijal	Ojačanje	Elevacija [cm]	Visina [cm]	Debljina [cm]
9	1	kelemen	-	1.265,0	650,0	130,0
19	2	kelemen	-	1.265,0	650,0	130,0
29	3	kelemen	-	1.265,0	650,0	130,0
39	4	kelemen	-	1.265,0	650,0	130,0

### Razina 6

#### Zidni panel

Br.	Zid	Materijal	Ojačanje	Elevacija [cm]	Visina [cm]	Debljina [cm]
131	1	kelemen	-	1.915,0	650,0	130,0
132	2	kelemen	-	1.915,0	650,0	130,0
133	3	kelemen	-	1.915,0	650,0	130,0
134	4	kelemen	-	1.915,0	650,0	130,0

### Elementi krovišta

#### Razina 2

#### Čelična/drvena greda

Br.	Zid	Materijal	Area [cm <sup>2</sup> ]	J [cm <sup>4</sup> ]	W plastično [cm <sup>3</sup> ]
184	19	C14 Conifere. pioppo	400,00	13.333,33	1.333,33

### Nagib krovišta

Br.	Archive	Min vrijednost [cm]	Max vrijednost [cm]	Debljina [cm]	G [N/mm <sup>2</sup> ]	Ex [N/mm <sup>2</sup> ]	Ey [N/mm <sup>2</sup> ]	Opterećenje masom	Tip
18	-	330,0	600,0	-	-	-	-	Jednosmjerno	Rigid floor
19	-	330,0	600,0	-	-	-	-	Jednosmjerno	Rigid floor

### Razina 3

### Razina 4

#### Čelična/drvena greda

Br.	Zid	Materijal	Area [cm <sup>2</sup> ]	J [cm <sup>4</sup> ]	W plastično [cm <sup>3</sup> ]
183	18	C14 Conifere. pioppo	625,00	32.552,08	2.604,17

### Nagib krovišta































Br.	Archive	Min vrijednost [cm]	Max vrijednost [cm]	Debljina [cm]	G [N/mm <sup>2</sup> ]	Ex [N/mm <sup>2</sup> ]	Ey [N/mm <sup>2</sup> ]	Opterećenje masom	Tip
16	-	600,0	1.040,0	-	-	-	-	Jednosmjerno	Rigid floor
17	-	600,0	1.040,0	-	-	-	-	Jednosmjerno	Rigid floor

### Detalji rezultata

Br.	Smjer seizmičkog opterećenja	Seizmičko opterećenje	Ecc. [cm]	dt ZO [cm]	dm ZO [cm]	ZO Ver.	Sd OO [cm]	d*y OO [cm]	OO Ver.
1	+X	Uniformna	0,0	3,10	3,07	Da	0,97	1,24	Da
2	+X	Modalna distribucija	0,0	0,24	0,57	Da	0,06	0,11	Da
3	-X	Uniformna	0,0	3,10	3,16	Da	0,97	1,29	Da
4	-X	Modalna distribucija	0,0	0,19	0,25	Da	0,06	0,16	Da
5	+Y	Uniformna	0,0	3,63	3,41	Da	1,11	1,47	Da
6	+Y	Modalna distribucija	0,0	1,33	0,74	Da	0,30	0,33	Da
7	-Y	Uniformna	0,0	3,65	3,45	Da	1,11	1,44	Da
8	-Y	Modalna distribucija	0,0	1,31	0,83	Da	0,30	0,33	Da

Br.	Smjer seizmičkog opterećenja	Seizmičko opterećenje	Ecc. [cm]	$\alpha$ ZO	$\alpha$ OO
1	+X	Uniformna	0,0	0,991	1,282
2	+X	Modalna distribucija	0,0	1,478	1,821
3	-X	Uniformna	0,0	1,019	1,326
4	-X	Modalna distribucija	0,0	1,302	2,686
5	+Y	Uniformna	0,0	0,940	1,324
6	+Y	Modalna distribucija	0,0	0,660	1,099
7	-Y	Uniformna	0,0	0,946	1,294
8	-Y	Modalna distribucija	0,0	0,721	1,120

## Legenda rezultata

Armirani beton		Ziđe	
	Neoštećeno		Neoštećeno
	Posmično otkazivanje		Početak plastičnosti
	Oštećenje od savijanja		Posmično oštećenje
	Otkazivanje savijanjem		Početak posmičnog sloma
	Tlačno otkazivanje		Posmično otkazivanje
	Vlačno otkazivanje		Oštećenje od savijanja
	Posmično otkazivanje		Početak sloma savijanjem
Drvo			Otkazivanje savijanjem
	Neoštećeno		Ozbiljno oštećenje
	Otkazivanje savijanjem		Tlačno otkazivanje
	Tlačno otkazivanje		Vlačno otkazivanje
	Vlačno otkazivanje		Otkazivanje tijekom elastične faze
Čelik			Neučinkovit element
	Neoštećeno		
	Oštećenje od savijanja		
	Tlačno oštećenje		
	Vlačno oštećenje		
	Neučinkovit element		
	Povratak na elastično stanje		

### 4.5. Potrebne razine - hitne i dugoročne sanacije konstrukcije crkve

Stanje i oštećenja konstrukcije ove crkve traže podjelu mjera sanacije u 2 osnovne faze – hitne (parcijalne) i dugoročno potrebne. Ovaj projekt se u prvom redu odnosi i daje rješenja za mjere i radove komparativno hitne i dugoročne sanacije, ali definira i razloge i predviđena rješenja dugoročno potrebnih mjera da se konstrukcija sanira do kraja i dugoročno zaštiti ubuduće.

Projektirani vijek uporabe građevine i program održavanja

Suglasno HRN EN 1990-1 ovisno o vrsti konstrukcije razlikuju se četiri razreda s različitim proračunskim uporabnim vijekom prema sljedećoj tablici:

Tablica 3. Razredba proračunskog uporabnog vijeka (prema hrn en 1990-1)

Razred	Zahtijevani proračunski uporabni vijek [godine]	Primjer
1	1-5	Privremene konstrukcije
2	25	Zamjenjivi dijelovi konstrukcije, npr. grede pokretnih kranova, ležajevi
3	50	Konstrukcije zgrada ili druge uobičajene konstrukcije
4	100	Monumentalne građevine, mostovi i druge inženjerske konstrukcije

Suglasno ovoj normi konstrukciju temelja koja je predmet projektiranja ovim projektom treba svrstati u četvrti razred što znači da je zahtijevani proračunski uporabni vijek ove građevine.

<b>100 godina</b>
-------------------

Ova vrijednost usvojena za uporabni vijek predstavlja polazište na osnovi kojega su definirani zahtjevi na izvođenju sanacije te održavanje konstrukcije.

Prema Eurokodu za ostvarenje trajne konstrukcije valja razmotriti sljedeće, međusobno ovisne, čimbenike:

- Namjenu konstrukcije (sadašnju i buduću)
- Zahtijevana svojstva/ponašanje konstrukcije
- Očekivane uvjete okoliša i njegov utjecaj
- Sastav, svojstva i ponašanje materijala
- Oblik konstrukcijskih elemenata, konstruiranje pojedinosti i građevnu izvedbu
- Kvalitetu građenja i opseg nadzora
- Naročite mjere zaštite
- Održavanje tijekom predviđenog uporabnog vijeka

Održavanje konstrukcije građevine

Održavanje postojeće, a sanirane konstrukcije podrazumijeva:

- Redovite preglede konstrukcije, minimalno svakih 10 godina u razmacima i na način određen projektom građevine
- Izvanredne preglede konstrukcije nakon kakvog izvanrednog događaja ili po zahtjevu inspekcije
- Izvođenje radova kojima se konstrukcija zadržava ili se vraća u stanje određeno projektom građevine prema kojem je ta konstrukcija izvedena

Ispunjavanje propisanih uvjeta održavanja sanirane konstrukcije

Treba se tokom vijeka postojanja zgrade dokumentirati, u skladu s projektom građevine, prvenstveno putem:

- Izvješća o pregledima i ispitivanjima sanirane konstrukcije
- Zapisa i foto-dokumentacijom o radovima održavanja

Održavanjem građevine, njezinim korištenjem ili na koji drugi način ne smiju se ugroziti tehnička svojstva i ispunjavanje propisanih zahtjeva konstrukcije.

Za održavanje sanirane konstrukcije dopušteno je rabiti samo one građevne proizvode za koje su ispunjeni propisani uvjeti i za koje je izdana isprava o sukladnosti prema posebnom propisu ili za koje je uporabljivost dokazana u skladu s projektom građevine.

Vizualni pregled, u koji je uključeno utvrđivanje položaja i veličine eventualnih pukotina i napuklina te drugih uočenih oštećenja u konstrukciji, bitnih za procjenu mehaničke otpornosti i stabilnosti konstrukcije građevine u trenutku pregleda te procjene trajnosti konstrukcije.

Utvrđivanje stanja zaštitnih slojeva ugrađenih čeličnih elemenata te popratnih pojava (proboj boje od korozije, nabrekle plohe na fasadi ili površini konstrukcije i slično).

Ako se vizualnom kontrolom sumnja u ispunjavanje bitnih zahtjeva uporabljivosti (progibi i deformacije ) te mehaničke otpornosti i stabilnosti konstrukcije, tada progibe treba izmjeriti.

U slučaju da se uoče značajnije nepovoljne pojave (pukotine, progibi, korozija i slično) koje ukazuju da je upitna bilo koja bitna kategorija pouzdanosti i uporabljivosti nekog od sklopova ili elemenata konstrukcije tada treba zatražiti dodatna stručna i ekspertna istraživanja uočenih pojava.

Sve nedostatke koji se uoče pri periodičkim pregledima i (ili) eventualnim ekspertnim istraživanjima, treba sanirati prema provjerenim tehničkim sustavima. Pregled konstrukcije građevine moraju obavljati za to ovlaštene pravne osobe.

Kontrole i održavanje ostalih osnovnih graditeljskih struktura građevine

Osim same nosive konstrukcije, u zgradi treba pratiti i provoditi periodično preglede osnovnih graditeljskih struktura zgrada, budući da njihovo stanje može bitno utjecati na uvjete i razrede izloženosti pojedinih elemenata, dakle na stanje cijele nosive konstrukcije.

Potrebno je stalno ili povremeno vršiti ove provjere:

- Strukture svih krovova i krovnih ploha
- Svih struktura odvodnje krovnih i oborinskih voda
- Svih struktura pročelja, ali i „unutarnjih,, fasada
- Vanjske stolarije tj. bravarije
- Svih instalacija, posebno instalacija vodovoda i kanalizacije
- Svih struktura završne obrade podova; posebno vanjske plohe zidova, svodova, stropova
- Svih struktura uređenja okoliša (kao što su odvodnja, drenaža i slično)

Dio navedenih pregleda treba obavljati svake godine, a dio periodično, svakih 5-10 godina.

Pregled navedenih struktura građevine moraju obavljati stručne osposobljene i za to ovlaštene osobe. Ako se pri takvim pregledima utvrdi da su bitna svojstva građevine narušena, tada treba sanirati sve strukture čija kvaliteta i stanje nisu u zadovoljavajućem stanju.

## 5. TEHNIČKO RJEŠENJE – SANACIJA

Svrha sanacije jest u tome da sve konstruktivne komponente zgrade (temelji, stupovi, grede, zidovi, stropovi, krovne grede i rogovi) povežu jedna s drugom u jednu integralnu cjelinu kako bi se u slučaju novog potresa zgrada ponašala kao jedna integralna cjelina. Osim toga, sama statička stabilnost zgrade se znatno povećava.

Sanacijske metode i pojačanje konstrukcije zgrade u sebi moraju sadržavati:

- Čvrstoću

Čvrstoćom nosivih elemenata se konstrukcija odupire dinamičkoj sili uzrokovanoj potresnim udarom te zgrada djeluje kao jedna integralna jedinica

- Krutost

Krutost predstavlja otpor konstrukcije deformaciji te se može primijeniti samo na strukturne jedinice konstrukcije

- Duktilnost

Duktilnost je svojstvo materijala da podnese plastičnu deformaciju bez loma, a mjera duktilnosti izražava se omjerom između deformacija kod sloma i deformacija pri popuštanju

- Otpornost na požar

Sanirani i nosivi elementi moraju imati traženu vatrootpornost po današnjim standardima i pravilnicima. Požarna opasnost često prati potrese zbog velikih pomaka u instalacijama, mogućnosti pojave kratkih spojeva, prevrtanja zapaljivih kućanskih elemenata itd.

U tom smislu, mjere sanacije možemo podijeliti na kratkoročne mjere i dugoročne, odnosno one trajne, tj. kompletnu sanaciju.

Važno je za napomenuti kako sanacija korištenjem spomenutih suvremenih metoda predstavlja lakše i brže izvedivu sanaciju ali uz podizanje mehaničke otpornosti i stabilnosti zgrade na viši stupanja (Razina II./III.). Istovremeno nije potrebno dodatno duboko zadiranje u postojeću konstrukciju, duboka štemanja i sl. radovi koji dodatno oštećuju konstrukciju.

## 5.1. Sanacija oštećenih zidova i lukova kapele pomoću sprežanja čeličnim zategama

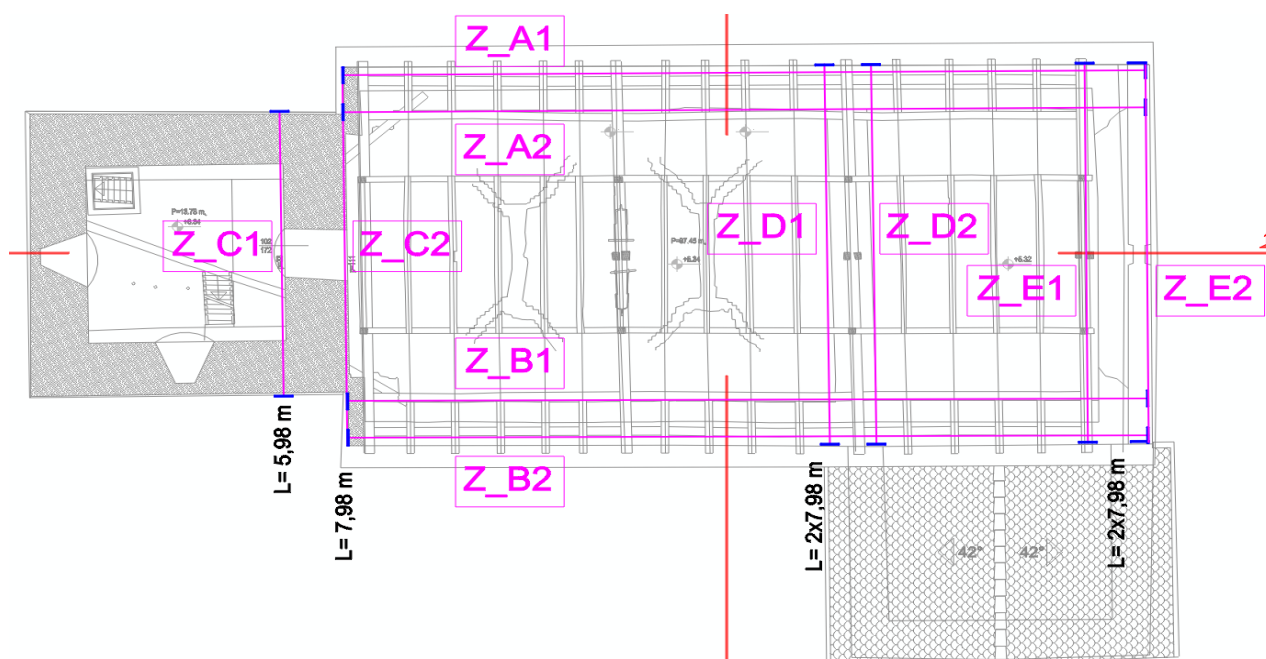
Hitna mjera sanacije oštećenih zidova, koja će otkloniti mogućnost budućih povećanja postojećih pukotina u zidovima, jest zatezanje glavnih zidova kapele pri njenim vrhovima. Uobičajeno se to radi na svakom zidu s obje njegove strane, no ovdje je zbog cijele unutrašnjosti ispunjene s vrijednim i zaštićenim žbukorezima nemoguće izvađati bilo kakve invazivne radove s unutrašnje strane zidova, pa tako ni postaviti čelične zatege. Ostaju dakle dvije mogućnosti:

- Postaviti zatege u unutrašnjost zida, za što treba bušiti u uzdužnim zidovima 15 m i to bez vibracija. To je dugotrajni i skup posao te se ovdje kao druga metoda prikazuje

- Postavljanje i zatezanje zidova s vanjske strane zidova glavno dijela kapele – Z-A1, Z\_B2 i Z\_E2, te u potkrovlju crkve – Z\_A2, Z\_B1, Z\_C, Z\_D, Z\_E1

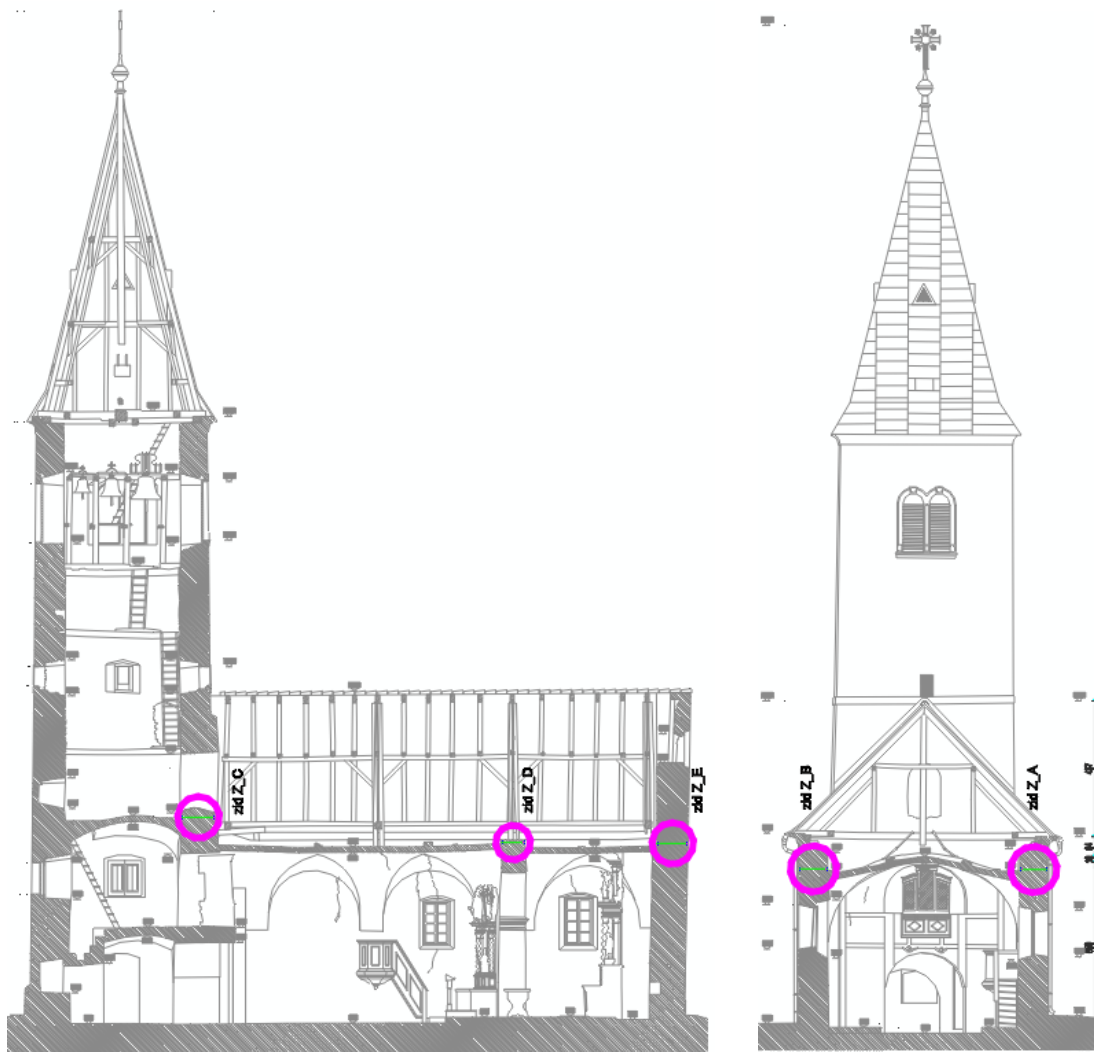
U nacrtu pozicija zidova i svodova iznad pjevališta, prikazane su projektirane zatege u tlocrtu i na fasadama. Visina njihovog postavljanja definirana je tako da se izbjegnu otvori i konstrukcije lukova i nadvoja nad njima u tim zidovima. To je projektno određeno od kote + 4,90 na više, odnosno neposredno ispod profilacije vijenaca krovišta u prednjim i uzdužnim i zidovima kapele.

Sve navedene zatege nakon postavljanja zatežu se na max. 30 kN vlačne sile prednapona u njima.



Slika 40. Prikaz tlocrta potkrovlja- sanacija zategama





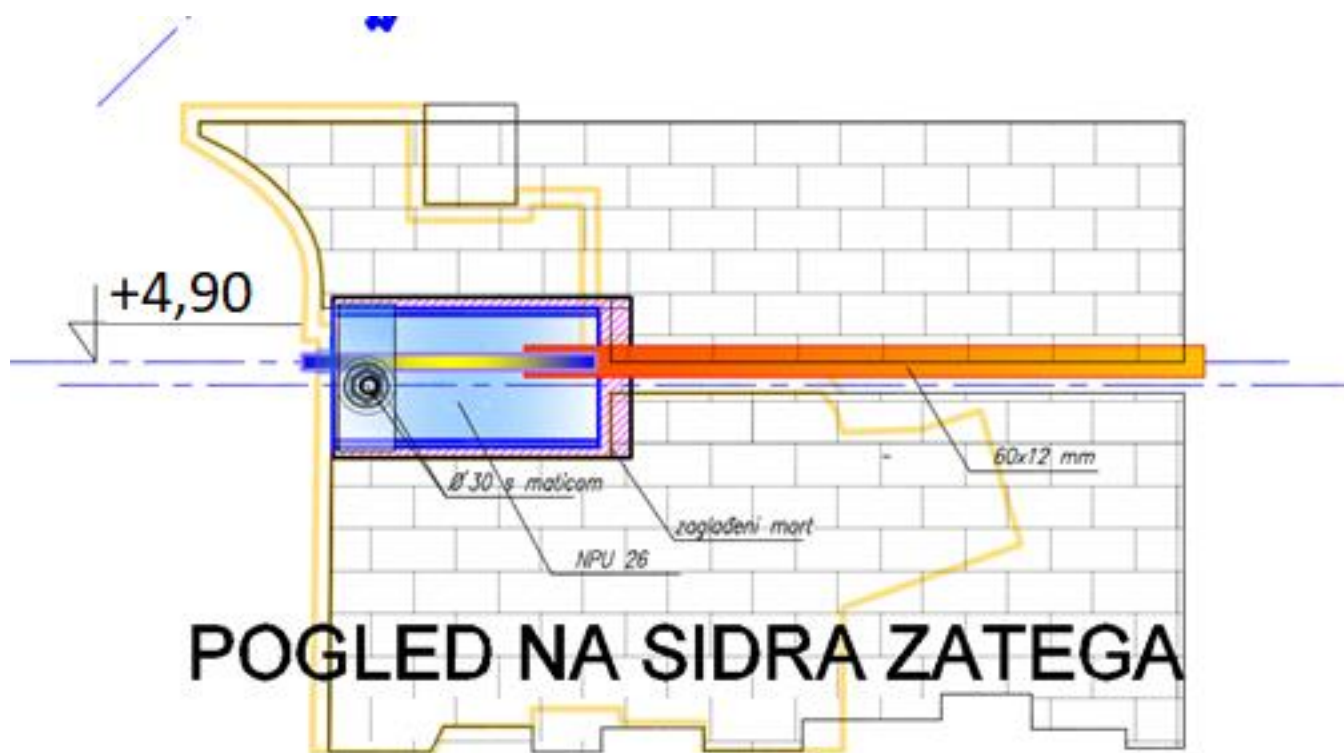
Slika 41. Prikaz presjeka 1-1 i 2-2- sanacija zategama

Moguće su dvije jednakovrijedne varijante ovih zatega.

Zatege s ručnim prednapinjanjem: Ove zatege rade se iz čeličnog punog pravokutnog željeza  $\neq 60 \times 12$  mm, koji se na krajevima nastavlja putem zavarenog spoja u okrugle profile  $\emptyset 30$  mm (sve čelik S-235) s navojima, maticama i podnožnim betonima na krajevima zida. Prednapon od 30 kN uvodi se s momentnim ključem.

Zatege od visokovrijednog čelika (npr sistem BBRV, ili Alloy) s tipskim i standardnim industrijski izvedenim testiranim kotvama i prednapinjanje s prešama na istu početnu silu.

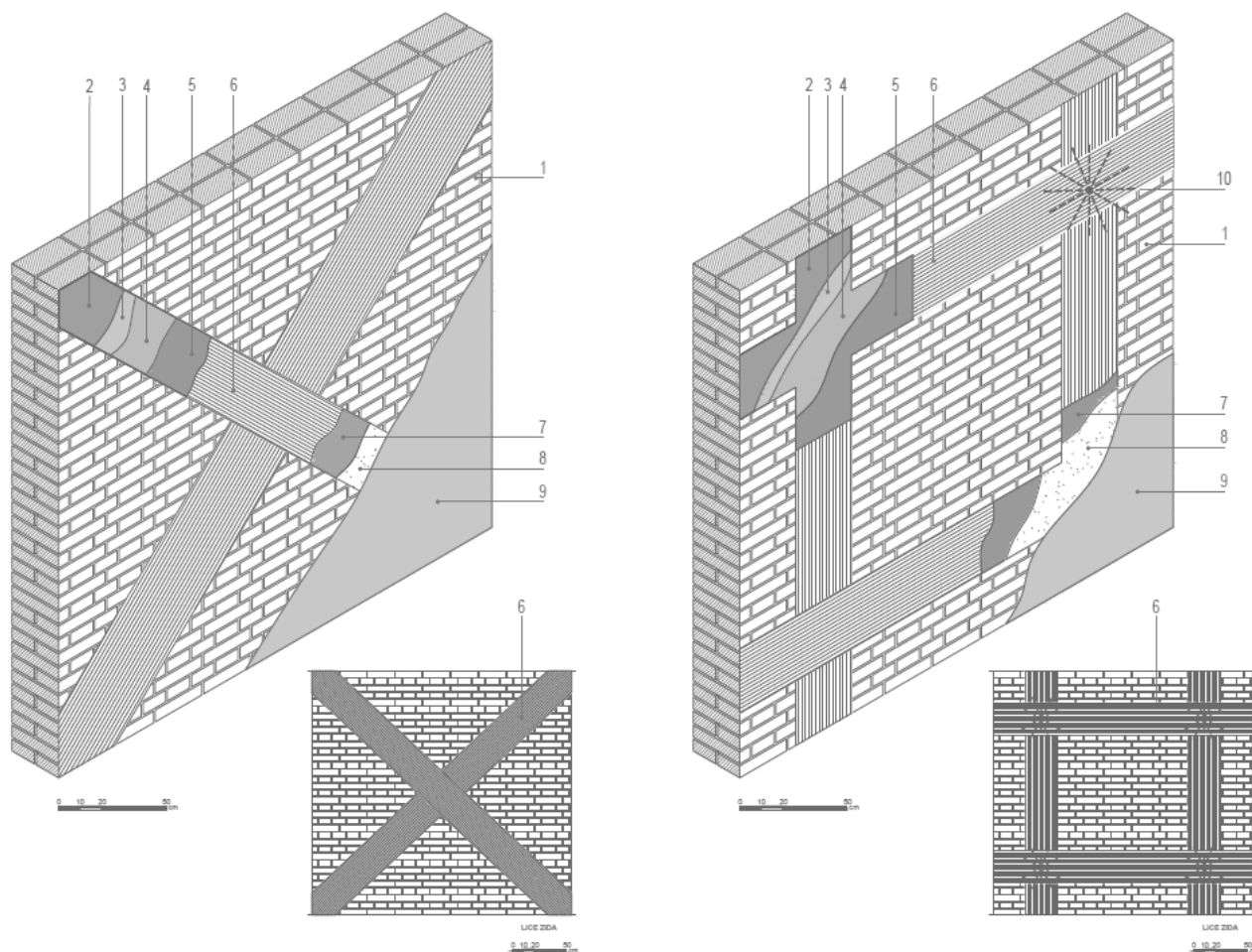
Ovdje su prikazani detalji uglovnih spojeva međusobno okomitih zatega na sudaru vanjskih zidova debljine oko 1 m.



Slika 42. Slika sidra zatega

Dimenzije poprečnog presjeka zatega osiguravaju da će zatega moći preuzeti povećanje sile u zatezi s početnih 30 kN prednapona na 110 do 115 kN (11 tona) u vrijeme budućeg mogućeg potresa. Pritisak betonskog kvadra ispod zatega na oslonačku površinu u zidu od opeke biti će približno 98 kN, što će uz dimenzije tog „kvadra“ od 30 x 38 cm i preraspodjelu momenta u pretežno centrični pritisak uslijed prilagodbe ležajne površine između betona i opeke iznositi 800 do 900 kN/m<sup>2</sup> (0,8 do 0,9 MPa).

## 5.2. Postupak ojačanja zidova od opeke i kamena karbonskim vlaknima

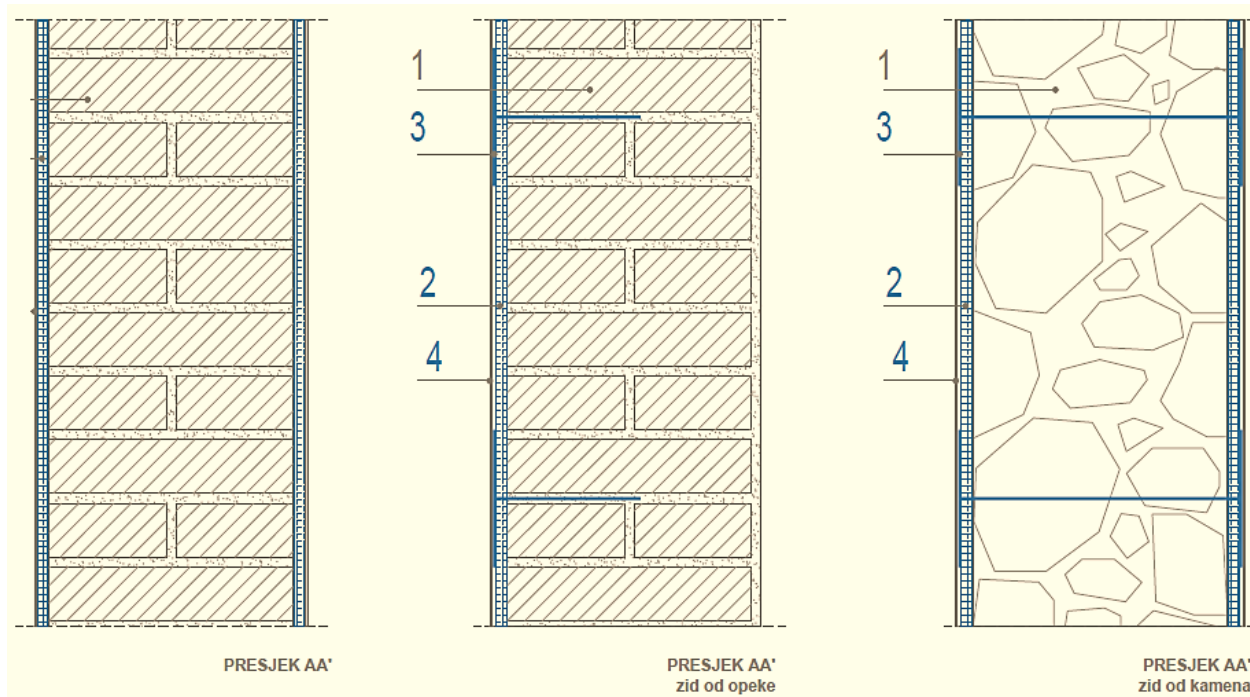


Slika 43. Posmično/ vlačno i kombinirano tlačno/savojno ojačanje za nosive zidove  
(kamen, cigla i tuf)

može se izvesti primjenom tkanina iz linije FRP SUSTAVA

Posmično/vlačno ojačanje za nosive zidove (kamen, opeka i tuf) može se izvesti primjenom „kompaktne armirajuće žbuke“ koja se sastoji od armaturne mrežice (FRCM sustav ili obični rebrasti čelik) u kombinaciji s dvokomponentnim mortom visoke duktilnosti

ojačanim vlaknima (slika 30). Ovakav tip sanacije posebno se preporučuje za vanjske i unutarnje nosive zidove jer se znatno dobiva na posmičnoj i vlačnoj čvrstoći zidova (koja dotad nije postojala) te se zidovi homogeniziraju po cijeloj svojoj dužini. Osim toga, u ovom slučaju se izbjegavaju razna injektiranja zidova, a koja se niti ne preporučuju na zidovima tanjim od 50 (60) cm. Povezivanje i sidrenje se svakako preporuča izvesti s obje strane zida.



Slika 44. Ojačanje nosivog i/ili pregradnog zida od opeke, kamena ili tufa


Način ojačanja:

1. Postojeći zid od opeke
2. Mrežica FRCM sustava ili obična ČBR mreža
3. Sidrenje od posebnog užeta ili obična čelična šipka  $\phi 6$  ili 8
4. Posebne ili obične vrste cementne žbuke

Sanacija nadvoja u nosivim zidovima izvodi se na sljedeći način:

- Ukloniti žbuku, očistiti sljubnice
- Izbušiti rupe za ugradnju karbonskih užadi

- Isprati površinu vodom kako bi se podloga navlažila
- Prema uputama izvođača i u skladu sa skicama,
- Ugraditi karbonsku užad i staklene mrežice (obostrano)

- |   |   |
|---|---|
| <p>A. injektiranje pukotina pod pritiskom s injekcijskim dvokomponentnim epoksidnim ljepilom za konstrukcijska ljepjenja u nosivim elementima</p> <p>B. sidrenje/ugradnja sidara od karbonskih vlakana promjera 10 mm u izbušene rupe promjera 20-40 mm, približno dužine 0,8 m i fiksiranje/popunjavanje iste epoksidnim ljepilom</p> <p>C. sanacija zidova FRCM metodom, nanošenje morta na očišćenu površinu zida i pokrivanje svih neravnina strukture zida. Nakon grubog izravnjanja, ugradnja alkalno otporne, predimpregnirane mrežice od staklenih vlakana u svježi sloj morta, te nanos završnog sloja morta koji istu pokriva i zatvara, dobivanje ravnije strukture zida</p> |  <p>Sidra od karbonskih vlakana promjera 10 mm</p> <p>FRCM trake tip Mapegrid G 220</p> |
|---|---|

Slika 45. Sidra od karbonskih vlakana i FRCM trake

### 5.3. Sanacija nosivih elemenata dubinskim injektiranjem

Injektiranje je postupak popunjavanja praznina u konstrukcijskim elementima, kojim se statički ojačava struktura, sprječava kapilarno dizanje vlage i postiže vodonepropusnost konstrukcije. Ako je došlo do propadanja i pucanja objekta u tom je slučaju potrebno izvršiti stabilizaciju dijela ili cijelog objekta. To se izvodi specijalnim poliuretanskim smolama. Smole se injektiraju ispod temeljnog zida objekta i prilikom injektiranja ispunjuju i lijepe postojeće tlo.

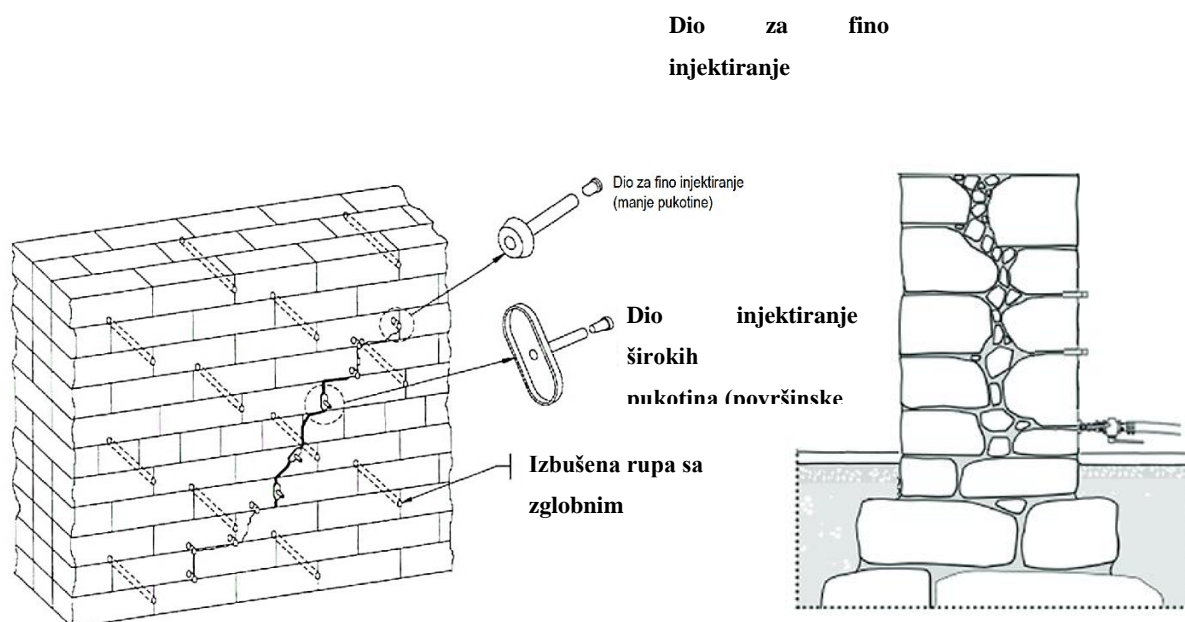
Sam postupak injektiranja uključuje analizu postojećeg stanja okoliša oko i ispod objekta, bušenje rupa, pozicioniranje kopalja za injektiranje i naravno educiranog i ovlaštenog izvođača za rukovanje alatima za injektiranje.

Što se tiče vrste i tipa injekcijske smjese, u suštini ih dijelimo na:

- Epoksidna smola upotrebljava se za injektiranje betona i manjih oštećenja jer znatno bolje prodire u konstrukciju. To je kvalitetan, no nešto skuplji postupak.
- Silikonska emulzija smanjuje propusnost vlage
- S poliuretanima rješavaju se ozbiljnija oštećenja konstrukcije; Njima se također postiže vodonepropusnost građevinskih konstrukcija
- Cementna injekcijska masa koristi se za učvršćivanje zidova od kamena te kombinaciju konstruktivnih elemenata od kamena i opeke

## Postupak injektiranja

Rupe se najprije izbuše u željenom dijelu konstrukcije te se u njih ugrađuju adekvatni injekcijski nastavci. Stručnjak određuje dubinu, promjer i broj bušotina prema stanju konstrukcije i prethodnoj analizi sa sondiranjem. Nakon toga slijedi priprema injekcijske cementne mase s dodacima koji zbog hidrofobnih svojstava djelomično rješavaju i problem kapilarnog ovlaživanja temelja. Pritisak injektiranja prilagođava se u odnosu na čvrstoću same konstrukcije, a količina injekcijske mase u odnosu na volumen rupa i šupljina u konstrukciji. Ovaj zahtjevan postupak svakako treba i može izvoditi prethodno educirana i stručna osoba za tu vrstu radova.



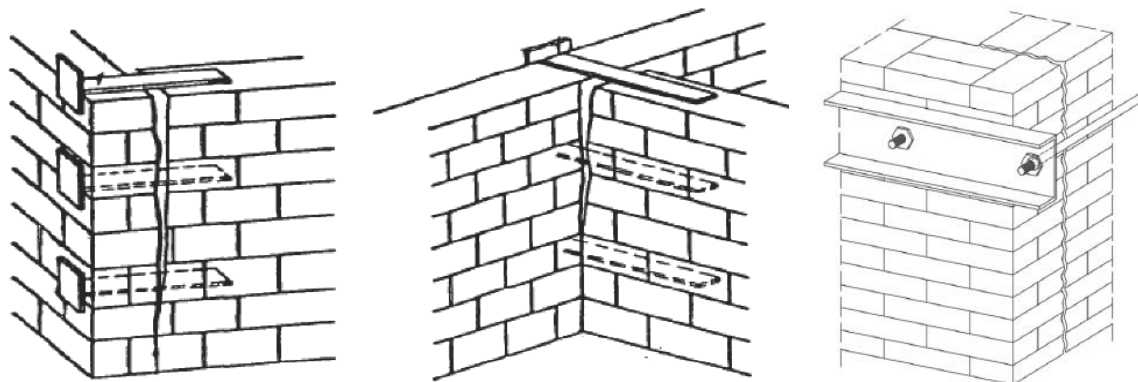
Slika 46. Shematski prikaz injektiranja zidova od opeke (lijevo) te kamena (desno)

## 5.4. Povezivanje konstrukcije sidrima i zategama

Prije izvedbe zatega treba razmotriti kvalitetu zida (starost materijala, nehomogenost, nedostatak veziva, rasprostranjenost pukotina) koja znatno utječe na primjenjivost ovakvih rješenja.

Kako bi se povezali zidovi koji su se odvojili potresom, mogu se upotrijebiti zatege koje završavaju na lastin rep, metalnim pločama ili polimernim mrežama. Takve ploče mogu biti

jako učinkovite u ojačanju ugla, no ne mogu povratiti zidove u vertikalni položaj. Rascjep se zatim zapunjuje, a površine pokrivaju mrežicom i žbukom ili slično.



Slika 47. Mogući načini povezivanja nosivih zidova

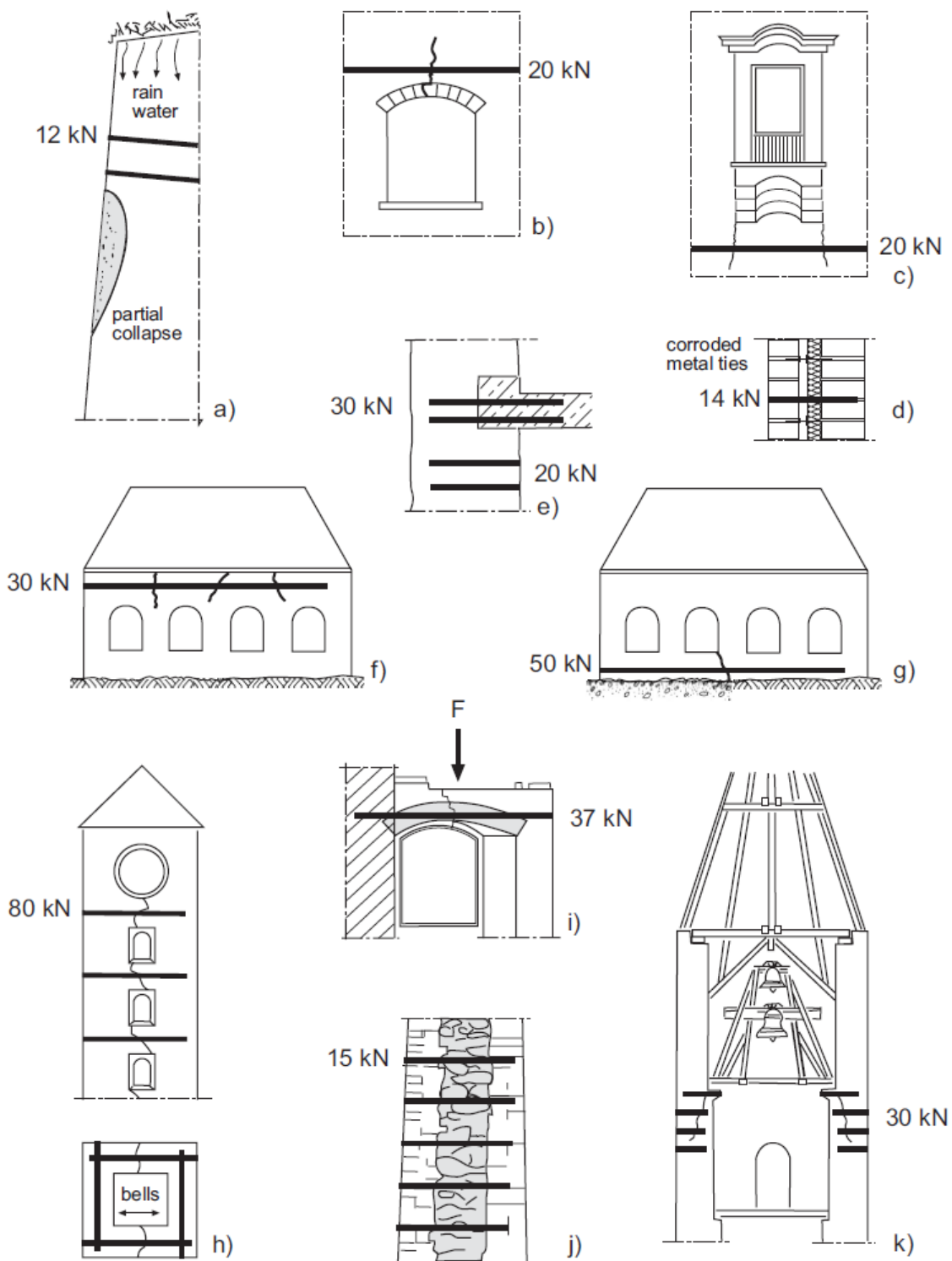
- (a) Povezivanje međusobno okomitih zidova metalnim pločama (skobe)
- (b) Povezivanje međusobno okomitih zidova čeličnim sidrima ili zategama

Druga mogućnost je bušenje horizontalnih rupa u zidovima kroz vertikalnu pukotinu i injektiranje epoksidnom smolom ili drugim materijalom uz umetanje čeličnih šipki.

Daljnje detaljne prijedloge sanacijskih mjera i vrsta sanacije potrebno je razraditi u suradnji i uz savjet projektanta te konzervatora, pa se tijekom projektiranja sanacije odlučiti za neke od njih. Napominjemo da je za određenu vrstu oštećenja dano više mogućih rješenja. Izabrano rješenje na kraju treba konstruktivno povezati nosive dijelove zgrade u jednu cjelinu, povećati im nosivost, krutost i otpornost povećanjem mehaničke otpornosti i stabilnosti te time zgradu funkcionalno podići na razini uporabljivosti i time je pripremiti za buduću eksploataciju ali i mogući novi potresni udar.

Predloženim metodama i rješenjima to je svakako moguće postići.

Na slici 35. prikazani su primjeri uporabe injekcijskih sidara u kamenim i zidanim konstrukcijama. Primjeri pokazuju popravak manjih elemenata poput kamenih nadvoja te ojačanje zidova i temelja koji bi ponekad mogli zahtijevati prednapregnuta sidra.



Slika 48. Primjene zatega u sanaciji i popravku kamenih i zidanih zidova

(a, d, j) Zatege (sidra) za stabilizaciju napuknutih ili deformiranih nosivih zidova

(b, c, f) Zatege (sidra) za sanaciju napuknutih struktura

(h, k) Ojačanja radi dinamičkih opterećenja



- (e, i) Zatege u spojevima postojećih zidova te novih ugrađenih dijelova
- (g) Ojačanje nosivih zidova ili temelja protiv diferencijalnih slijeganja

U nacrtu pozicija zidova i svodova, prikazane su projektirane zatege na tlocrtu i na fasadama. Visina njihovog postavljanja definirana je tako da se izbjegnu otvori i konstrukcije lukova i nadvoja nad njima u tim zidovima.

Sve navedene zatege nakon postavljanja zatežu se na max. 30 kN vlačne sile prednapona u njima.

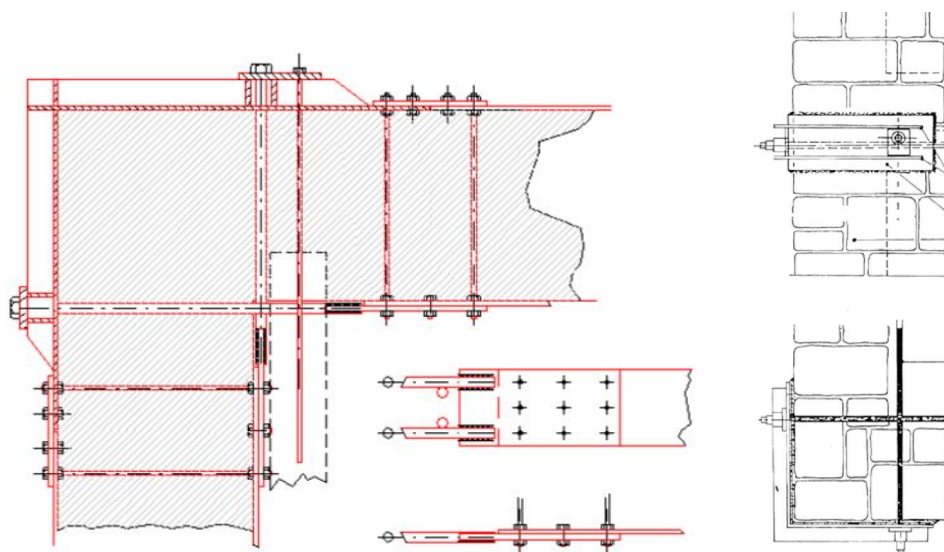
Prijedlog sprežanja uzdužnih zidova. Ovo je samo približno, a izvođač, nakon dobivenog posla, treba pregledati mjesta predviđena za postavljanje zatega te sam točno izmjeriti potrebne duljine zatega prije početka radova na njima.

Moguće su dvije jednakovrijedne varijante ovih zatega.

Zatege s ručnim prednapinjanjem: Ove zatege rade se iz čeličnog punog pravokutnog željeza  $\neq 60 \times 12$  mm, koji se na krajevima nastavlja putem zavarenog spoja u okrugle profile  $\emptyset 30$  mm (sve čelik S-335) s navojima, maticama i podnožnim betonima na krajevima zida. Prednapon od 30 kN uvodi se s momentnim ključem.

Kvaliteta čelika ovih zatega i pribora je predviđena iz S 335J2 zbog bitno bolje otpornosti tog čelika na koroziju.

## 5.5. Sanacija čeličnim anker pločama



Slika 49. Prikaz anker ploča

Moguće su i kotve sličnog oblika, također izrađene iz zavazrenih čeličnih ploča, ispod kojih se (prema kamenom zidu), također treba postaviti podloga od visokovrijednog morta ili betona. Nakon odabira izvođača i dogovora vezano na njegovu tehnologiju u izvedbenim nacrtima bit će definirane ove dvostrane kotve.

U dogovoru s konzervatorskom nadzornom službom definirat će se koji dio tih elemenata kotve može viriti iz žbuke (samo matice ili anker ploče).

OPCIJA 1: ZA ZIDOVE DEBLJINE 15-60cm

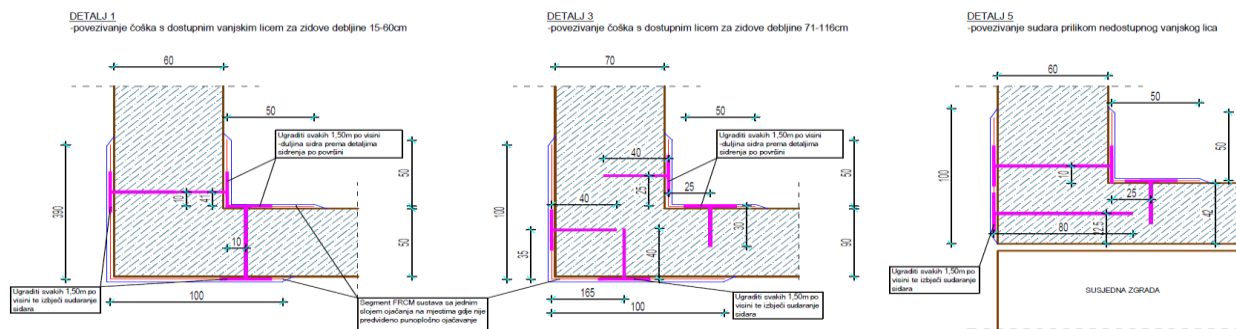
BUŠENJE SIDARA KROZ CIJELI ZID NA VISINSKOM RAZMAKU 120-150cm  
(zahtjev je duže svrdla za bušenje - promjer svrdla min. 16mm)

OPCIJA 2: ZA ZIDOVE DEBLJINE 71-116cm

BUŠENJE SIDARA PREKO POLOVICE DEBLJINE ZIDA NA VISINSKOM RAZMAKU 100cm

OPCIJA 3: ZA NEDOSTUPNE POVRŠINE

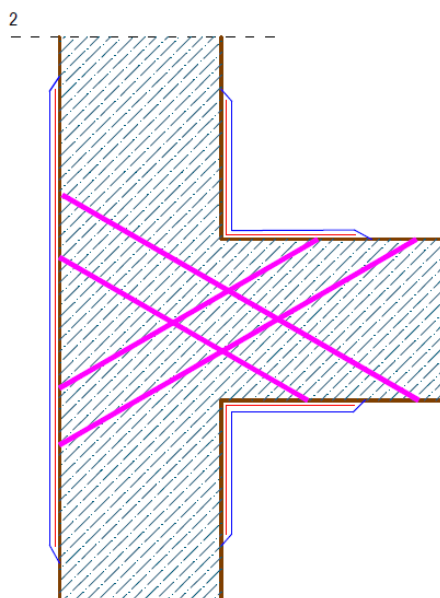
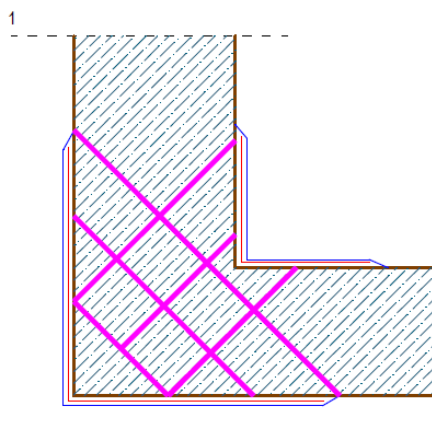
Na dijelu gdje je vanjsko lice zida slobodno, ugraditi užad prema Opciji 1.



Slika 50. Prikaz sidrenja i anker ploča

## 5.6. Sanacija „čavlanjem“ umjesto sidrenja

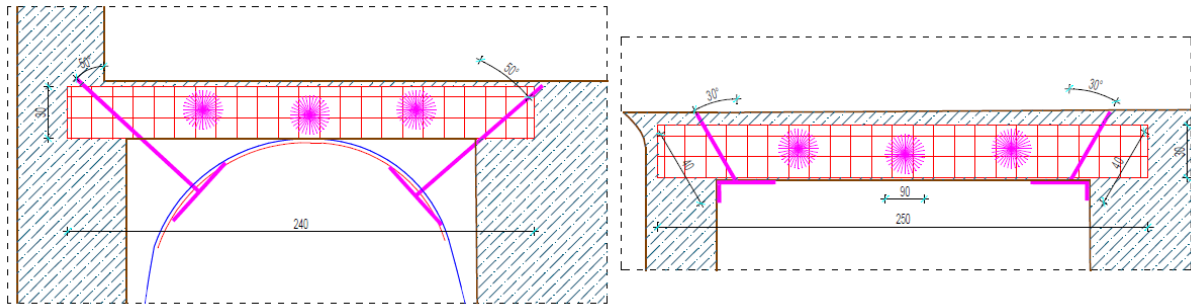
Detalj međusobnog povezivanja zidova



Napomena: Na skici je prikazano međusobno povezivanje zidova ovisno o različitim situacijama spojeva zidova. Obavezno je međusobno povezivanje svih zidova ugradnjom čeličnih šipki minimalnog promjera 10 mm te rupe zapuniti masom za sidrenje. Šipke se postavljaju cijelom visinom zida na razmaku 30-40 cm.

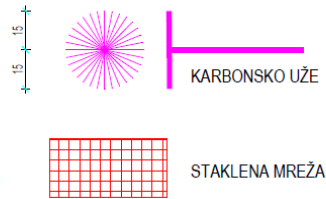
Slika 51. Čavlanje

## Nadvoji i lukovi



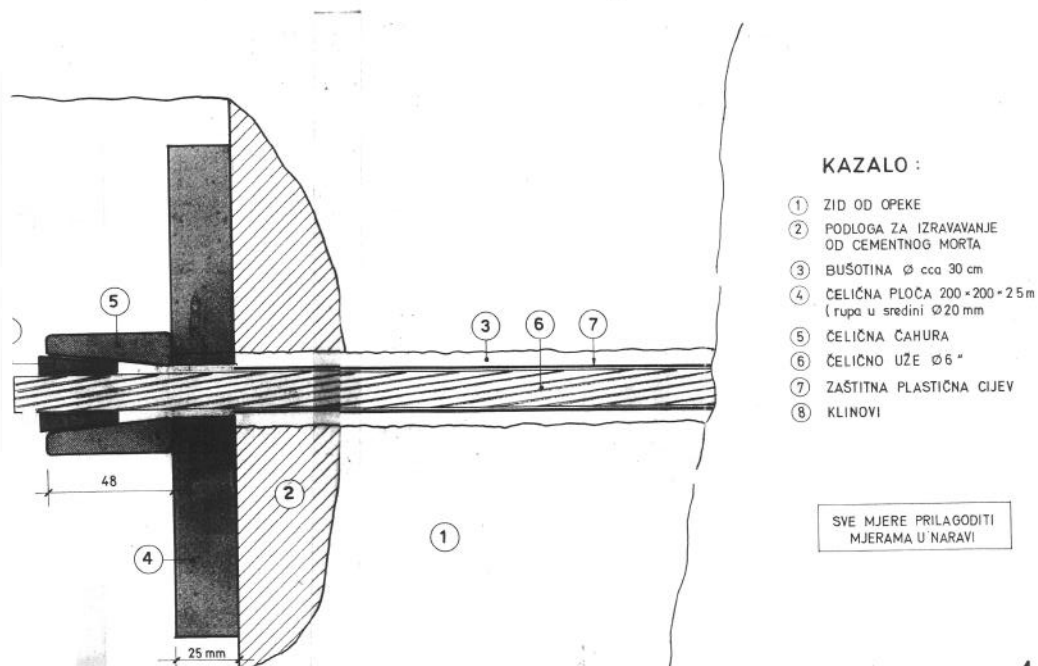
Sanacija nadvoja u nosivim zidovima:

- Ukloniti žbuku, očistiti sljubnice
- Izbušiti rupe za ugradnju karbonskih užadi
- Isprati površinu vodom kako bi se podloga navlažila
- Prema uputama proizvođača i u skladu sa skicama, ugraditi karbonsku užad i staklene mrežice (obostrano)



Slika 52. Sanacija nadvoja i lukova karbonskom užadi i staklenom mrežicom

Zatege od visokovrijednog čelika (npr. sistem BBRV, ili Alloy) s tipskim i standardnim industrijski izvedenim testiranim kotvama i prednapinjanje s prešama na istu početnu silu od 30 kN.

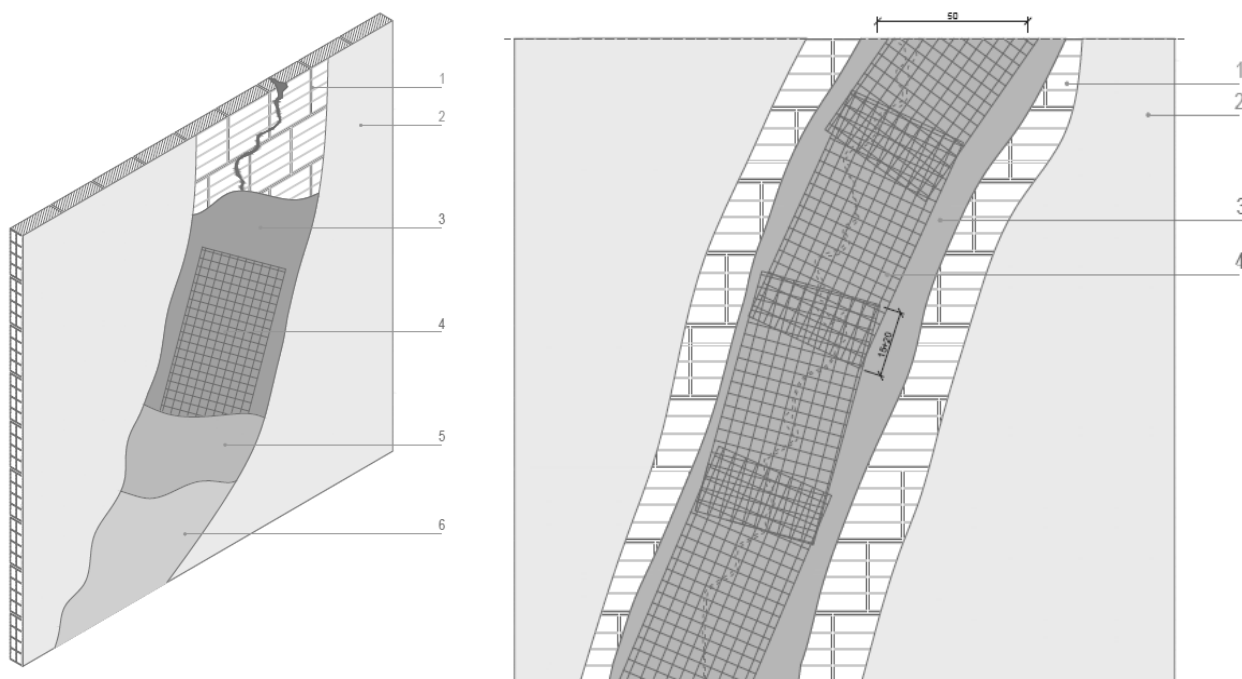


Slika 53. Prednapregnute zatege

Zatege iz visokovrijednog čelika ovdje se mogu predvidjeti kao alternativa na vanjskim dijelovima zidova, ali zbog ranije opisanih rješenja koja kombiniraju ankere, zatege te karbonska vlakna i užadi te zbog samog stanja kurije, ovaj tip zatega može se predvidjeti samo kao alternativa.

## 5.7. Sanacija pukotina FRCM sustavom

Metode popravka pukotina ovise o vrsti i širini pukotina. Ako je širina pukotina razmjerno mala, manja od 10 mm i ako je debljina zida razmjerno mala, pukotine se smiju zatvoriti mortom. Iste se pukotine kod debljih zidova zatvaraju injektiranjem. Popravak pukotina širine veće od 10 mm najčešće obuhvaća rekonstrukciju, odnosno djelomično preslagivanje dijela zida. Otpornost zidova na vertikalno raspucavanje može se značajno poboljšati ugradnjom čeličnih spirala ili polimerne armature maloga promjera u horizontalne sljubnice. Za popravak dijagonalnih pukotina može se uz prije navedene tehnike primijeniti ovijanje jednoga ili oba lica zida u kombinaciji s odgovarajućim mortom ili žbukom.



Slika 54. Sanacija pukotina i ojačanje pregradnih zidova može se izvesti primjenom sustava tankoslojne armirane žbuke koji se sastoji od mrežice iz FRCM sustava ili čelične rabitz mrežice (moguće i ČBR tanke mreže) u kombinaciji s dvokomponentnim mortom ojačanim vlaknima i visoke duktilnosti:

### *1. Postojeći pregradni zid*

## 2. Postojeća žbuka

### 3. Dvokomponentni mort visoke duktilnosti

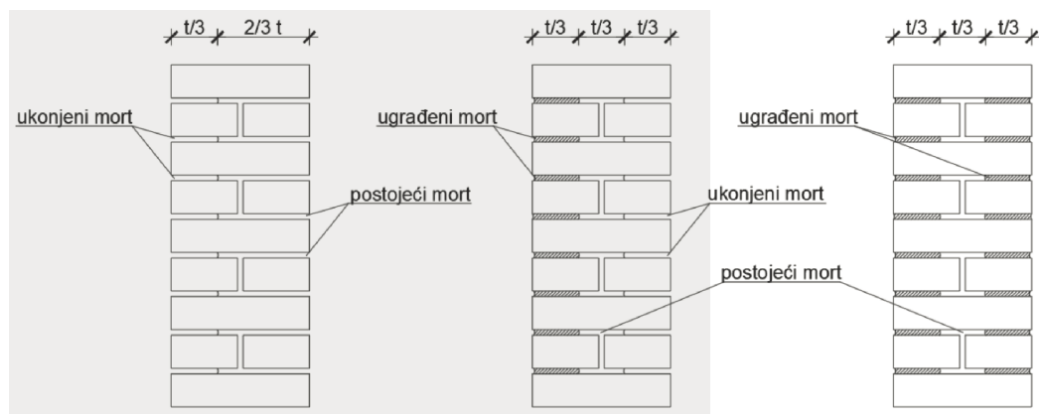
#### 4. Mrežica (alkalnootporna od staklenih vlakna ili čelična rabitz mrežica ili ČBR tankoprofilna mrežica)

### 5. Drugi sloj dvokomponentnog morta kao i pod 3)

### 6. Završni sloj

## 5.8. Sanacija zamjenom morta u sljubnicama

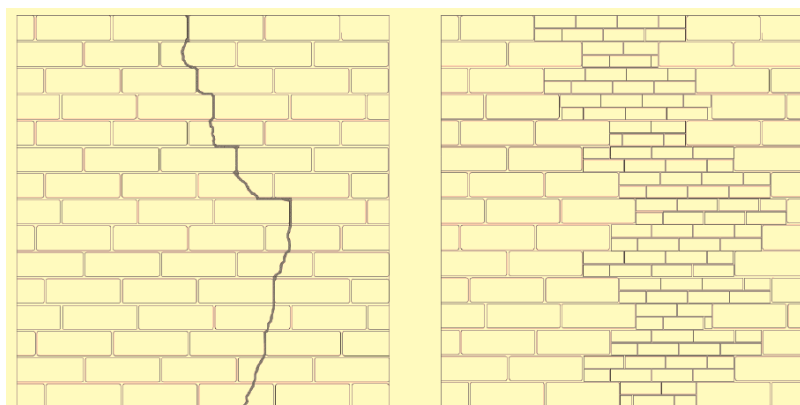
Djelomična zamjena morta u sljubnicama sastoji se od djelomičnoga, ali dubokog uklanjanja oštećenoga morta u sljubnicama i zamjene novim mortom boljih mehaničkih svojstava i trajnosti. Tom je metodom moguće povećati otpornost zidanih konstrukcija na djelovanje vertikalnih i horizontalnih opterećenja (slika 55).



Slika 55. Djelomična zamjena morta u sljubnicama zidova

## 5.9. Sanacija ponovnim zidanjem dijela zida

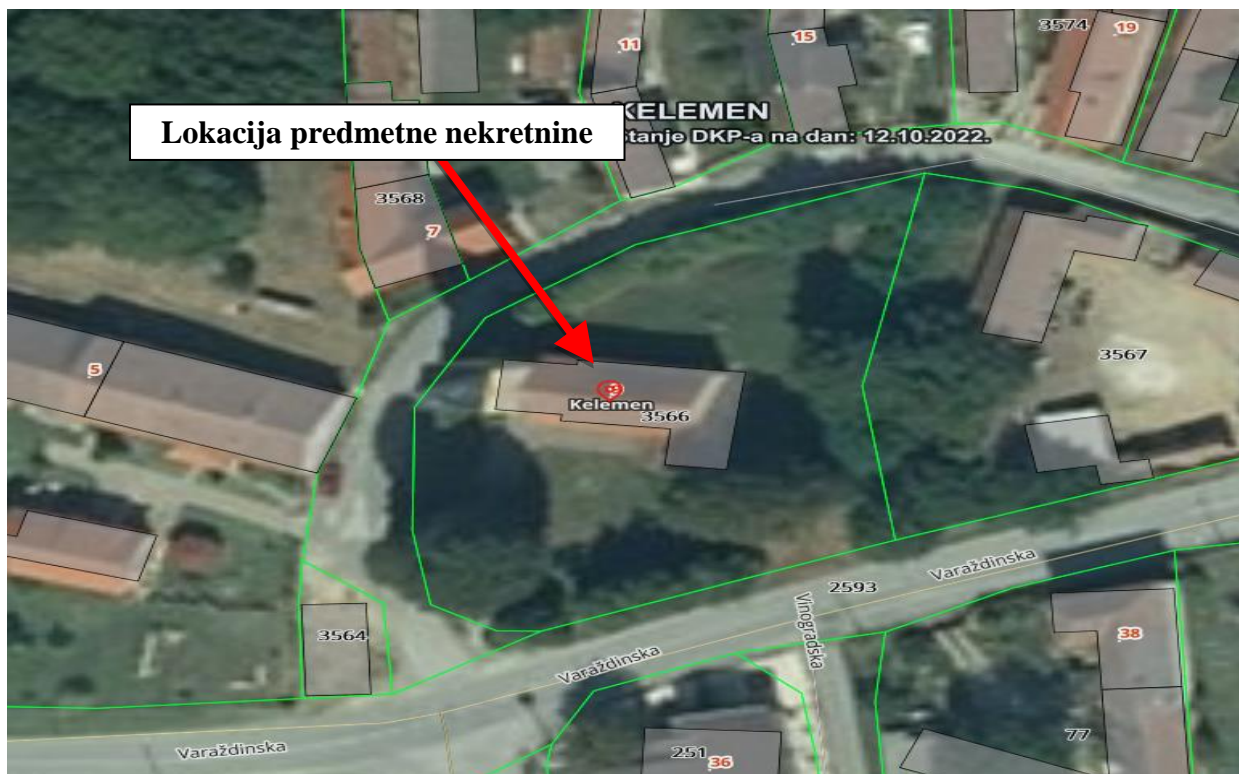
Lokalna metodologija uklanjanja i ponovne izgradnje (“scuci-cuci”) ima za cilj obnavljanje kontinuiteta zida uzduž linijskih pukotina (zamjena oštećenih elemenata novima, ponovno uspostavljanje konstrukcijskoga kontinuiteta) i obnavljanje teško oštećenih dijelova zidova. Poželjna je uporaba materijala koji su oblikom, dimenzijama, krutošću i čvrstoćom slični onima u izvornom zidu.



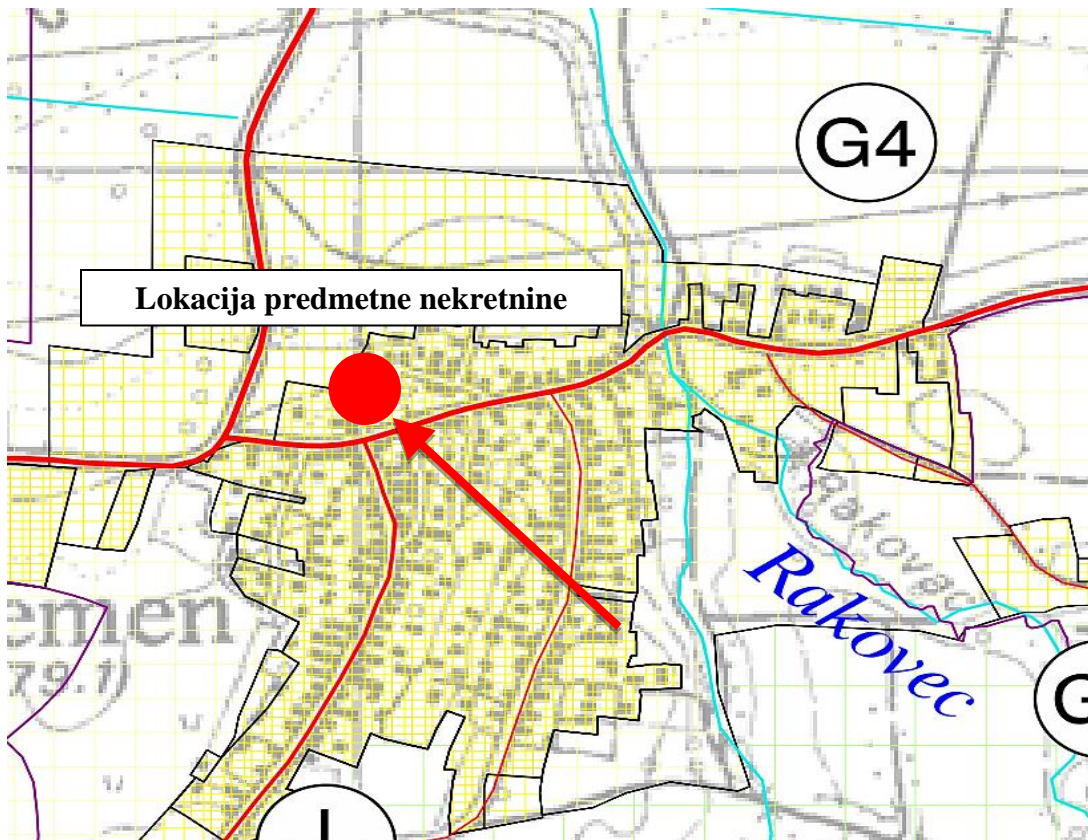
Slika 56. Ponovno zidanje dijela zida

Načini izvođenja razlikuju se ovisno o stupnju oštećenja i tipologiji zida. Ako je oštećenje razmjerno malo i zahvaća samo jedan sloj zida, intervencija se može izvesti samo na zahvaćenoj strani. Ako oštećenje prolazi kroz veći dio zida, intervenciju treba izvesti postupnom zamjenom zidnih elemenata samo s jedne strane ili djelovanjem na obje strane koordinirano, u slučaju veće debljine zida. Općenito, u zahvatima “scuci-cuci” posebna se pozornost posvećuje kompatibilnosti novoga dijela s ostatkom zidane konstrukcije.

## 6. PRILOZI













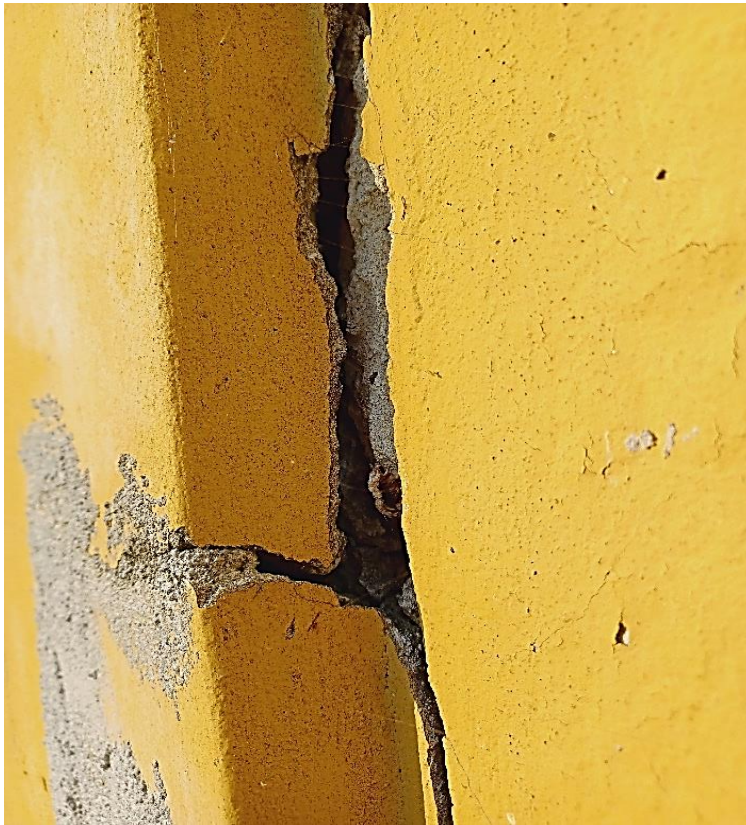


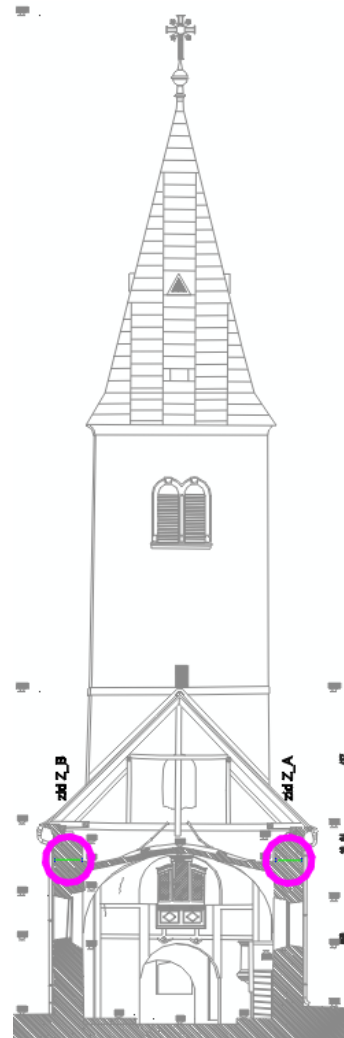
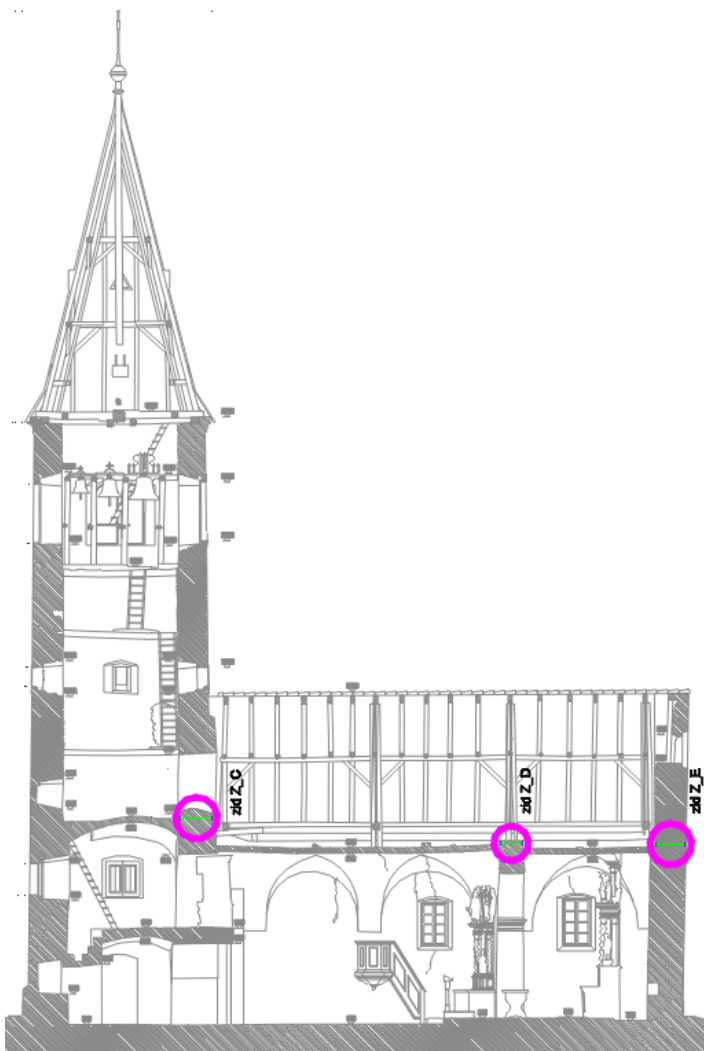
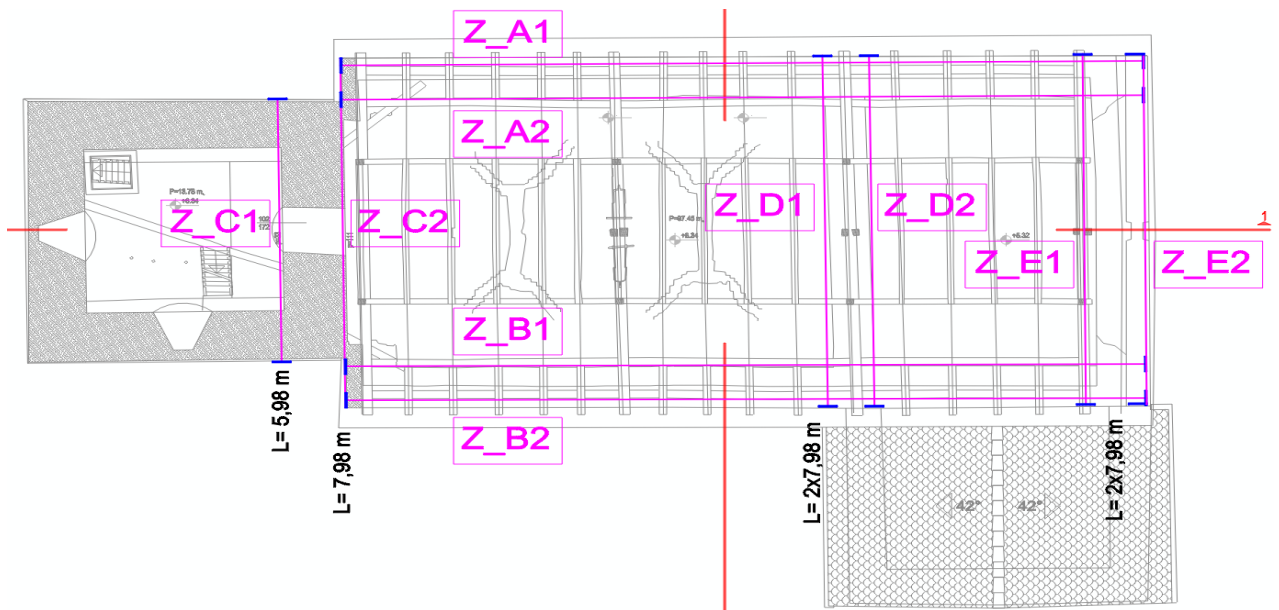


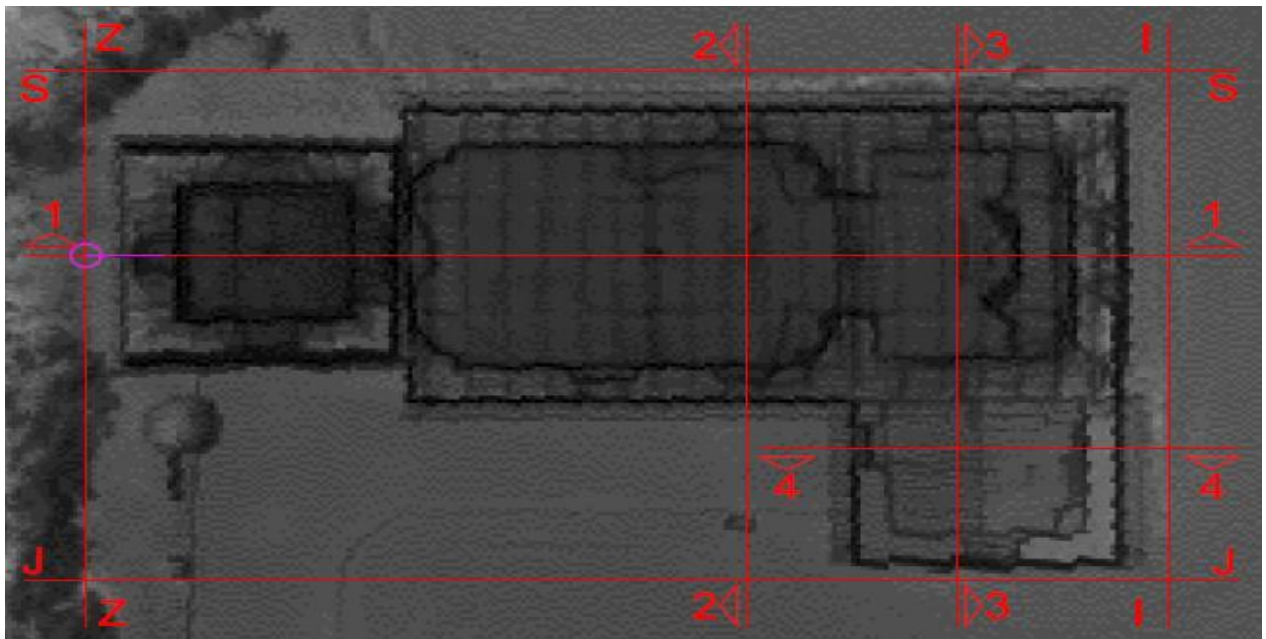




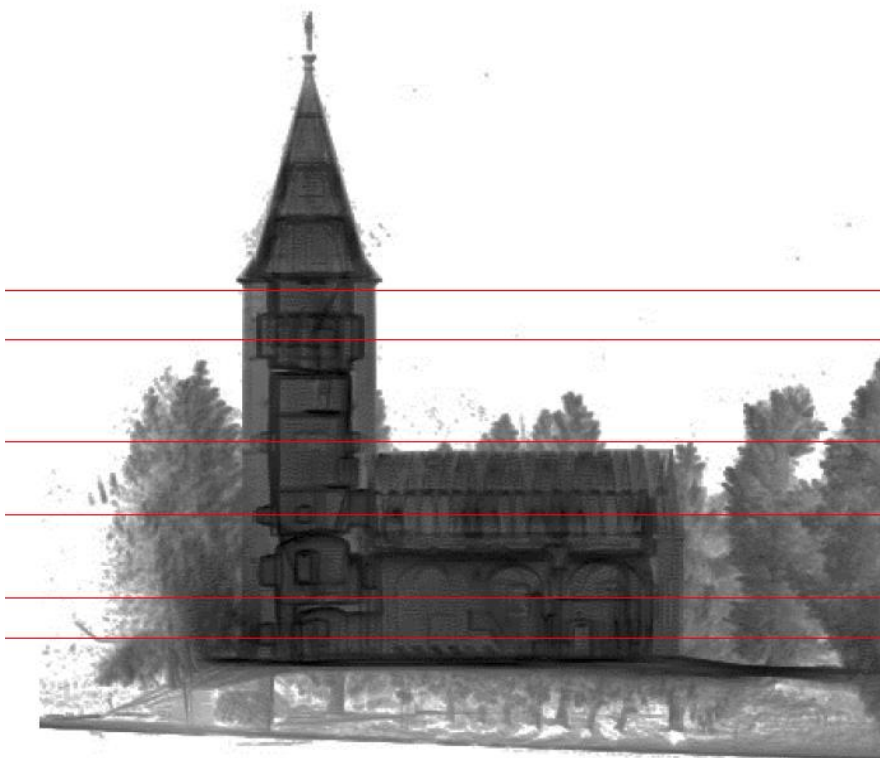








36.50



18.50

zvonik 3

16.00

zvonik 2

10.90

zvonik 1

7.20

krovište

3.00

pjevalište

1.00

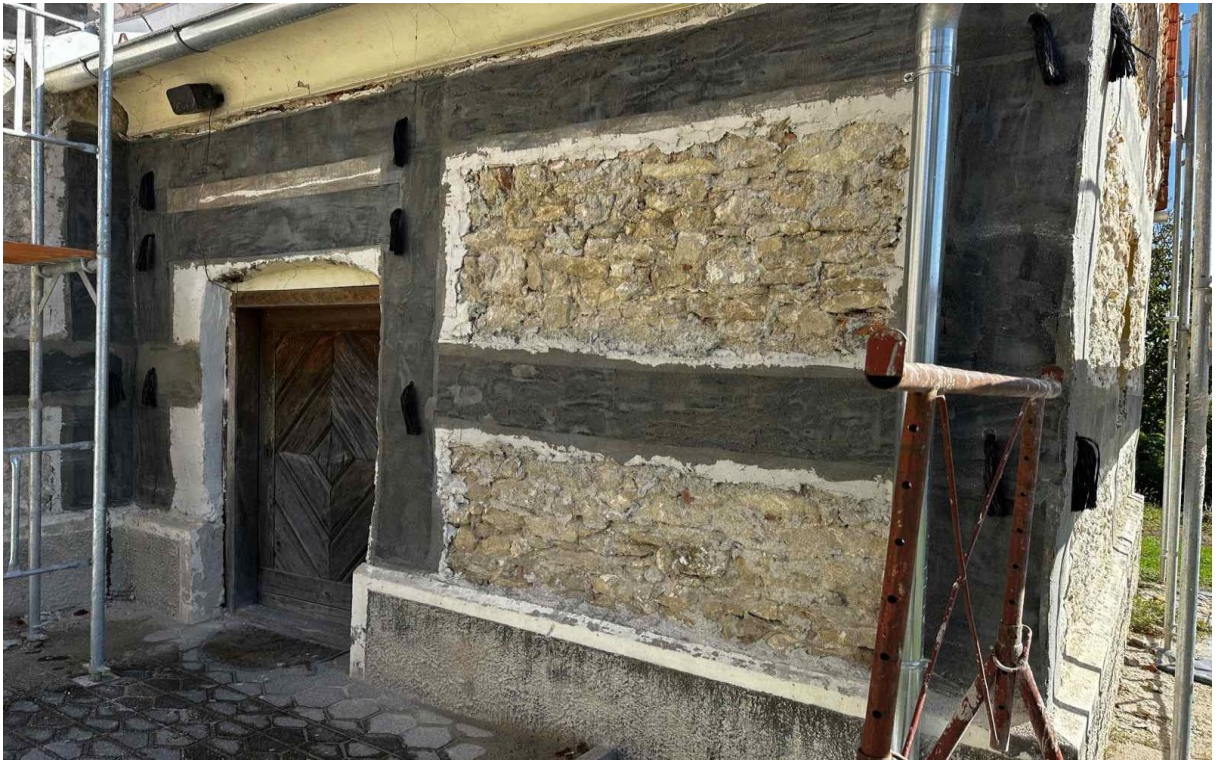
prizemlje







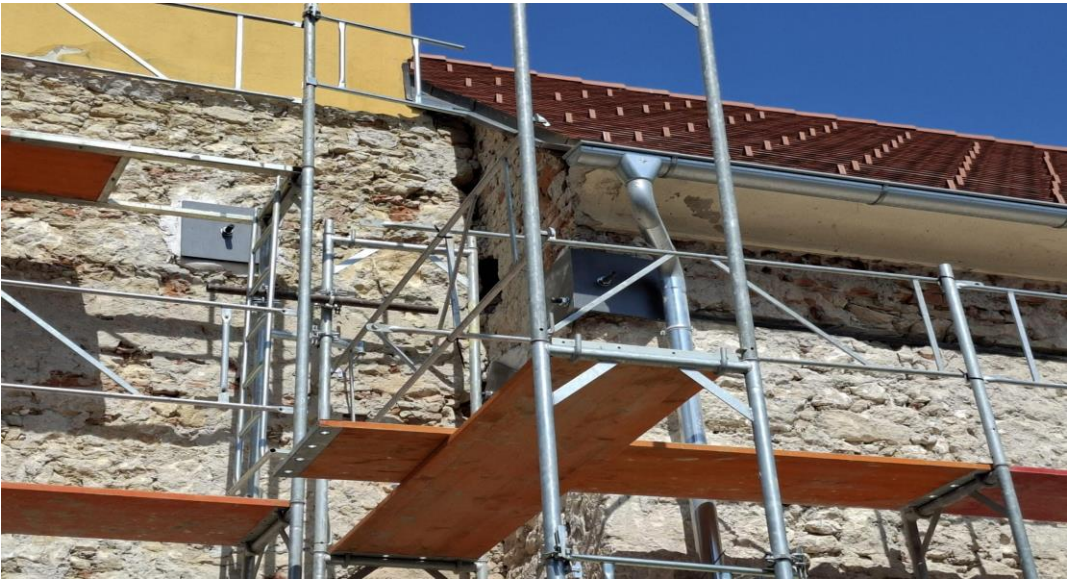












## 7. ZAKLJUČAK

Potresi su prirodne katastrofe koje možemo očekivati u bilo kojem dijelu Zemlje u bilo kojem trenutku. Kroz povijest je zabilježen niz potresa koji su svojom razornom snagom odnijeli brojne ljudske živote te dramatično izmijenili okoliš. Najdramatičniji, akutni, zdravstveni učinci potresa posljedica su rušenja zgrada. Isto tako, prethodni potresi u Hrvatskoj nanijeli su veliku štetu i oštećenja na Kapeli Sv. Klementa u Jalžabetu. Nakon potresa građevina nije bila opasna za zdravlje i život ljudi ali ipak nije bila uporabljiva te su bile potrebne mjere sanacije navedene u ovom radu.

Oštećenja na kapeli su bila svakojakih naravi i na raznim mjestima, protezala su se cijelim konstruktivnim sustavom zgrade. Važno je da se sanacijom pokriju ti različiti tipovi oštećenja, odnosno ne smije se zanemariti niti jedan dio. Zbog toga su sanacije izvedene specijalnim materijalima kod kojih treba imati na umu da su znatno skuplji od običnih materijala.

Dokazano je da su ovakav tip sanacije i nove metode, bez obzira na cijenu, puno kvalitetniji, brži, ekonomičniji i postignuti su dobri rezultati na potresom pogođenim objektima. Sanacija korištenjem spomenutih suvremenih metoda podiže mehaničku otpornost i stabilnost zgrade na viši stupanj. Iznimno je važno zgradi dati novi nosivi sustav, tj. današnje suvremene metode integrirati u postojeći sustav zgrade.

Svrha provedenih mjera sanacija i konstruktivne obnove jest da se sve konstruktivne komponente zgrade (temelji, stupovi, grede, zidovi, stropovi, krovne grede i rogovi) povežu u jednu cjelinu kako bi se u slučaju novog potresa zgrada ponašala kao jedna integralna cjelina. Osim toga, sama statička stabilnost zgrade znatno se povećava i produljuje vijek trajanja građevine. Radom su dana rješenja sanacija i unutrašnjih oštećenja specijalnim materijalima, koja će biti izvedena u idućim fazama te će građevina biti sanirana u potpunom smislu.

## 8. LITERATURA

Prostorni plan uređenja Općine Jalžabet (Službeni vjesnik Varaždinske županije) broj 41/04, 9/06, 34/12, 45/16

A. Šimunić, M. Pikija, I. Hećimović; Osnovna geološka karta SFRJ, L33-69; Redakcija i izdanje Saveznog geološkog zavoda, Beograd, 1982.

K. Kuk, K. Šariri, Kuk V., E. Prelogović, I. Sović; Seizmiološke i seizmološke značajke šireg Zagrebačkog područja; Građevinar 52 (2000), 11, 647-653

Elaborat ocjene postojećeg stanja građevinske konstrukcije (2022.)

D. Gusić, J. Landeka, A. Lukić, M. Prša, I. Vidić, (2016); Seizmička aktivnost na području Republike Hrvatske; Ekscentar, br. 19, pp. 84-90

Muhovec I. (2020): STUDIJA indikativnog pružanja pukotina na vertikalnim stijinama (VSP) koje su položene paralelno pravcu potresnog udara (u povodu potresa u Zagrebu, 22. ožujka 2020.)

# Prijava diplomskog rada

## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za graditeljstvo

STUDIJ diplomski sveučilišni studij Graditeljstvo

PRISTUPNIK Nenad Siketić

MATIČNI BROJ 3577/336

DATUM 18.06.2024.

KOLEGIJ Revitalizacije, konzervacije i restauracije građevina

NASLOV RADA Sanacijske metode i konstruktivna obnova kapele Svetog Klementa u Kelemenu

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Rehabilitation methods and constructive reconstruction of the chapel of St. Clement in Kelemen

MENTOR dr.sc. Matija Orešković

ZVANJE izv.prof.dr.sc.

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. izv.prof.dr.sc. Aleksej Aniskin

2. izv.prof.dr.sc. Matija Orešković

3. prof.dr.sc. Božo Soldo

4. doc.dr.sc. Goran Puž

5.

## Zadatak diplomskog rada

BROJ 108/GRD/2024

OPIS

Diplomskim radom prikazano je djelovanje potresa te metode sanacije na sakralnom objektu kapele Svetog Klementa u Jalžabetu. Neke od metoda su hitne (parcijalne) i dugoročne, dok su nekim metodama dana rješenja nužno potrebnih mjera da se konstrukcija sanira do kraja i zaštiti ubuduće. Rad se sastoji od:

Uvod

Općenito o potresnom djelovanju na građevine

Prikaz oštećenja građevine - problematika

Analiza i ocjena postojećeg stanja konstrukcije

Tehničko rješenje - sanacija

Nacrti i grafički prilozi rješenja

Izvođenje u fazama

Zaključak

ZADATAK URUČEN

09.10.2024.

POTPIS MENTORA



*[Handwritten signature]*



## IZJAVA O AUTORSTVU

Završni/diplomski/specijalistički 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, NENAD SIKETIĆ pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor diplomskog rada pod naslovom Sanacijske metode i konstruktivna obnova kapele Svetog Klementa u Kelemenu te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:

(upisati ime i prezime)

Nenad Siketić  
(vlastoručni potpis)

Sukladno članku 58., 59. i 61. Zakona o visokom obrazovanju i znanstvenoj djelatnosti završne/diplomske/specijalističke radove sveučilišta su dužna objaviti u roku od 30 dana od dana obrane na nacionalnom repozitoriju odnosno repozitoriju visokog učilišta.

Sukladno članku 111. Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima student se ne može protiviti da se njegov završni rad stvoren na bilo kojem studiju na visokom učilištu učini dostupnim javnosti na odgovarajućoj javnoj mrežnoj bazi sveučilišne knjižnice, knjižnice sastavnice sveučilišta, knjižnice veleučilišta ili visoke škole i/ili na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.