

# Hitna konstruktivna sanacija kapele Sv. Jakoba u Jakopovcu

---

**Aleksić, Matea**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:445514>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-02**

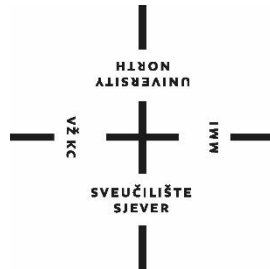


*Repository / Repozitorij:*

[University North Digital Repository](#)



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



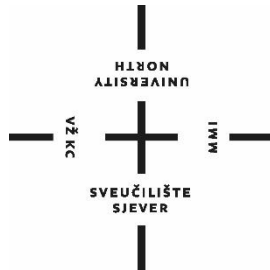
DIPLOMSKI RAD br. 41/GRD/2021

**HITNA KONSTRUKTIVNA SANACIJA KAPELE**  
**SV. JAKOBA U JAKOPOVCU**

Matea Aleksić, 1173/336D

Varaždin, kolovoz 2022.

**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**  
**Studij Graditeljstva**



DIPLOMSKI RAD br. 41/GRD/2021

**HITNA KONSTRUKTIVNA SANACIJA KAPELE**  
**SV. JAKOBA U JAKOPOVCU**

Student:

Matea Aleksić, 1173/336D

Mentor:

doc. dr. sc. Matija Orešković

Varaždin, kolovoz 2022.

# Prijava diplomskog rada

## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za graditeljstvo

STUDIJ diplomski sveučilišni studij Graditeljstvo

PRISTUPNIK Matea Aleksić

MATIČNI BROJ 1173/336D

DATUM 5.08.2021.

KOLEGIJ Revitalizacije, konzervacije i restauracije građevina

NASLOV RADA Hitna konstruktivna sanacija kapele Sv. Jakoba u Jakopovcu

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Urgent constructive rehabilitation of the chapel of St. Jakob in Jakopovac

MENTOR Matija OREŠKOVIĆ

ZVANJE Docent

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. doc.dr.sc. Aleksej ANISKIN

2. doc.dr.sc. Matija OREŠKOVIĆ

3. doc.dr.sc. Bojan ĐURIN

4. prof.dr.sc. Božo SOLDI

5.

## Zadatak diplomskog rada

BROJ 41/GRD/2021

OPIS

Dana 28. prosinca 2020. godine u 6:28 h prema lokalnom vremenu dogodio se jak potres magnitude ML=5.0 kod Petrinje. Osim u užem epicentralnom području Petrinje, Siska, Gline i okolice, potres se osjetio i na području cijele središnje Hrvatske. Tim potresom oštećena je i nosiva konstrukcija kapele Sv. Jakoba u Jakopovcu pokraj Jalžabeta.

U Diplomskom je radu potrebno napraviti potpunu ocjenu postojećeg stanja nosive konstrukcije crkve uz detaljan pregled te detaljnu dijagnostiku oštećenja. Sva oštećenja je potrebno navesti te slikovno prikazati uz njihovu klasifikaciju prema EMS-98 ljestvici oštećenja.

Potrebno je proračunati opterećenja koja djeluju na crkvu: snijeg, vjetar i potres.

Nadalje, potrebno je iznijeti prijedlog mjera sanacije sa opisom metoda sanacije te prikazom lokacije te dinamike kojom bi se sanacija vršila. Napraviti proračun nosivosti kapele nakon i prije potresa. Nacrtati detalje sanacije.

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

ZADATAK URUČEN

25.10.2022



POTPIS MENTORA

*Matija Orešković*

## **Zahvala**

Iskreno se zahvaljujem svom mentoru doc. dr. sc. Matiji Oreškoviću na velikoj pomoći, stručnom vodstvu i savjetima te uloženom trudu pri realizaciji ovoga rada.

Posebnu zahvalu dugujem svojoj obitelji na bezuvjetnoj podršci i mogućnosti studiranja.

Hvala mojim prijateljima i kolegama što su bili uz mene i učinili mi studiranje ljepšim i lakšim.

*Matea Aleksić*

## Sažetak

Tema ovog diplomskog rada je sanacija kapele sv. Jakoba u Jakopovcu, čija je nosiva konstrukcija oštećena prilikom potresa koji se dogodio kod Petrinje. Terenskim pregledom zgrade utvrđena su oštećenja te su dani prijedlozi i načini sanacije iste.

Rad je podijeljen na 6 glavnih poglavlja.

U drugom poglavlju govori se općenito o predmetnoj građevini, njoj povijesti i izgledu kao i lokaciji iste.

Treće poglavlje se bavi seizmičkim karakteristikama obuhvaćenog područja.

U četvrtom poglavlju opisuje se klasifikacija oštećenja zidanih zgrada te je prikazana tablica razreda istih.

U petom poglavlju opisana su i prikazana oštećenja zgrade i okoliša.

Šesto poglavlje donosi prijedloge i načine sanacije kapele sv. Jakoba.

Ključne riječi: potres, oštećenje, uporabljivost, sanacija

## **Abstract**

The subject of this thesis is the restoration of the chapel of St. Jakob in Jakopovac, whose load-bearing structure was damaged during the earthquake that occurred near Petrinja. A field inspection of the building revealed damage, and suggestions and ways of repairing it were given.

The work is divided into 6 main chapters.

The second chapter talks about the subject building in general, its history and appearance, as well as its location.

The third chapter deals with the seismic characteristics of the covered area.

In the fourth chapter, the classification of damage to masonry buildings is described and a table of their classes is presented.

In the fifth chapter, damage to the building and the environment is described and shown.

The sixth chapter presents suggestions and ways of renovating the chapel of St. Jakob.

**Keywords:** earthquake, damage, usability, rehabilitation

## **Popis korištenih kratica**

*ML* Magnitudalna ljestvica

*EMS98* Europska makroseizmička skala

*sk* Karakteristična vrijednost snježnog opterećenja na tlo

*Ce* Koficijent izloženosti

*Ct* Termalni koeficijent

*Cr* Faktor hrapavosti

*Co* Faktor orografije

*Kt* Faktor turbulencije

*Ce* Faktor izloženosti



# Sadržaj

Uvod.....	1
1. Općenito o lokaciji i predmetnoj građevini .....	2
1.1. Orto–foto snimak.....	2
1.2. Prostorno planska dokumentacija.....	4
1.3. Povijest crkve i župe .....	4
2. Seizmičke karakteristike obuhvaćenog područja.....	6
2.1. Geološki pregled lokacije.....	9
2.2. Tektonika područja.....	11
3. Prikaz oštećenja konstrukcije građevine .....	13
3.1. Klasifikacija oštećenja.....	13
4. Rekognosciranje zgrade i okoliša .....	16
4.1. Vanjski pregled kapele .....	17
4.2. Unutrašnjost kapele .....	27
4.3. Pjevalište kapele .....	35
4.4. Sakristija kapele .....	39
4.5. Proračun opterećenja na zgradu .....	40
5. Prijedlozi i načini sanacije .....	50
5.1. Sanacija nosivih konstruktivnih dijelova zgrade.....	50
5.2. Sanacija nenosivih dijelova zgrade .....	52
5.3. Temelji i temeljno tlo kapele.....	52
5.4. Prijedlog konstruktivnih mjera sanacije .....	56
5.5. Zidovi i stropovi (svodovi i lukovi) kapele.....	57
6. Osvrt na predmetnu građevinu.....	65
7. Osvrt na rezultate provedbe obnove .....	67
8. Zaključak.....	71
9. Literatura.....	73



## Uvod

Dana 28. prosinca 2020. godine u 6:28 h prema lokalnom vremenu dogodio se jak potres magnitude  $ML=5.0$  kod Petrinje. Osim u užem epicentralnom području Petrinje, Siska, Gline i okolice, potres se osjetio i na području cijele središnje Hrvatske. Uslijedila je serija naknadnih potresa. Već sljedeći dan, 29. prosinca 2020. godine na istom se području u 12:19 h dogodio razoran potres magnitude  $ML=6.2$ . Osim značajnih materijalnih šteta ovaj je potres uzeo i 7 ljudskih žrtava. Nakon tog potresa na spomenutom epicentralnom području uslijedili su jaki naknadni potresi unutar izražene seizmičke sekvence koja će potrajati tijekom 2021., a možda i dulje.

Petrinjski potres magnitude  $ML=6.2$  jedan je od dva najjača instrumentalno zabilježena potresa koji su se dogodili na teritoriju Republike Hrvatske od početka 20. stoljeća otkada počinje instrumentalno bilježenje potresa u Hrvatskoj. Jedino je potres kod Imotskog u prošlom stoljeću 1942. godine bio jednake magnitude, a dogodio se na isti datum, 29. prosinca. Do sada najjači instrumentalno zabilježeni potres u području Pokuplja bio je povijesni Pokupski potres iz 1909. godine magnitude  $ML=5.8$  na temelju kojeg je naš proslavljeni geofizičar Andrija Mohorovičić otkrio postojanje diskontinuiteta u unutrašnjosti Zemlje. Taj diskontinuitet između Zemljine kore i plašta nazvan je stoga upravo Mohorovičićev diskontinuitet.

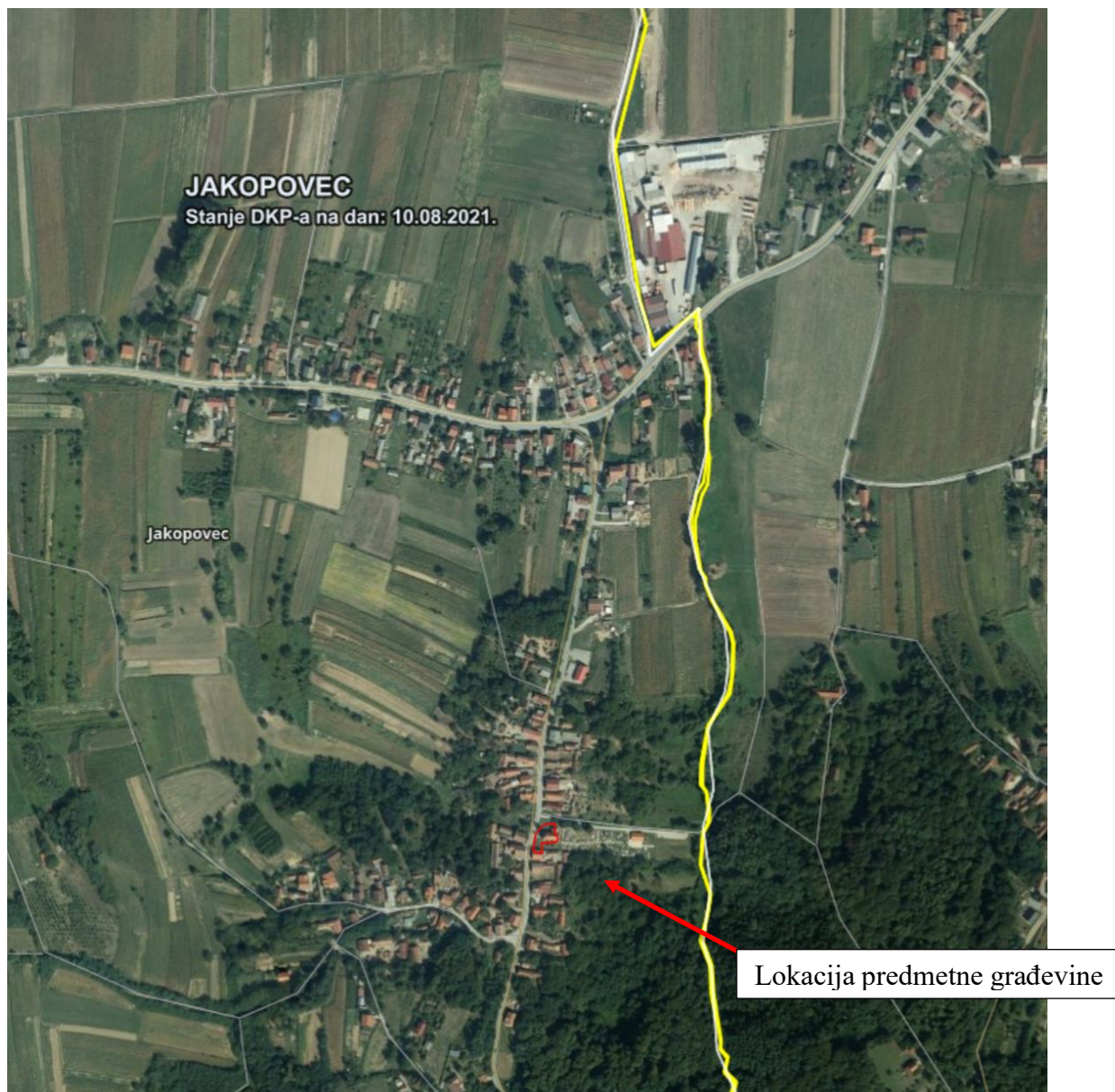
Tim potresom oštećena je i nosiva konstrukcija kapele sv. Jakoba u Jakopovcu za koju je zatražena hitna konstruktivna sanacija.

# 1. Općenito o lokaciji i predmetnoj građevini

## 1.1. Orto-foto snimak



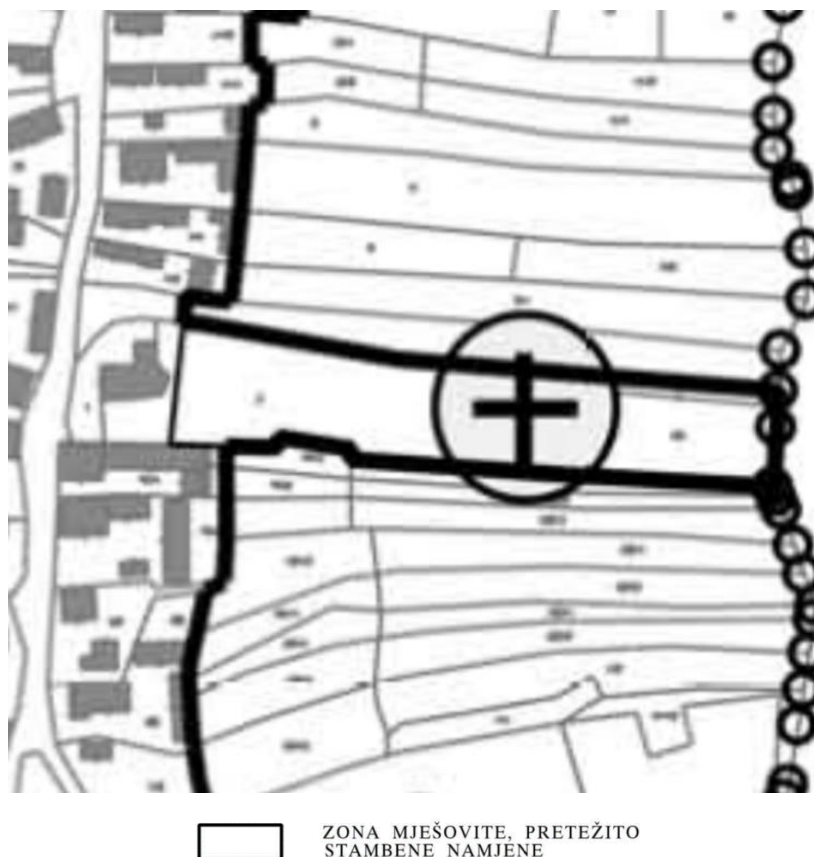
Slika 1. Prikaz mikrolokacije predmetne katastarske čestice (izvor: <https://geoportal.dgu.hr/>)



Slika 2. Prikaz makrolokacije predmetne katastarske čestice (izvor: <https://geoportal.dgu.hr/>)

## 1.2. Prostorno planska dokumentacija

Prema Prostornome planu uređenja Općine Jalžabet ("Službeni vjesnik Varaždinske županije", broj 41/04, 9/06, 34/12 i 45/16.), građevinsko područje naselja Jakopovec predmetna katarska čestica nalazi se unutar građevinskog područja zone mješovite, pretežito stambene namjene.



Slika 3. Prikaz mikrolokacije prema PPU-u Općine Jalžabet, građevinsko područje naselja Jakopovec  
(izvor: <https://www.jalzabet.hr/o-opcini/prostorni-plan-uredenja-opcine-jalzabet/>)

## 1.3. Povijest crkve i župe

Kapela sv. Jakova spominje se u popisu župa 1334. godine kao i godine 1501. te 1513. godine. Polovicom XVI. st. postaje područna kapela Varaždinskih Toplica Kapela je pravilno orijentirana, jednobrodna građevina, s nižom i užom polukružnom apsidom i zvonikom iznad zapadnog ulaza. Sa sjeverne strane nalazi se sakristija. Kapela ima jednostavna, glatka pročelja, na južnoj strani raščlanjena samo sa dva polukružno za-vršena otvora s kamenim okvirima, koji potječu iz XIX.

stoljeća. Svetišni dio i sjeverni zid kapele su glatki, bez vidljivih profilacija ili otvora. Zapadno pročelje raščlanjeno je ulazom s kamenim okvirom, pravokutnim prozorom iznad njega te okulusom u zabatu. Na starim fotografijama može se vidjeti da je crkva građena kamenom lomljencem, s klesanim ugaonim kvadrima.

Zadnja obnova kapele nije provedena prema konzervatorskim uvjetima te nije napravljena ni kvalitetna foto-dokumentacija kapele u trenutku skidanja stare žbuke, a nova, cementna žbuka neprimjerena je povijesnim građevinama te je već nakon nekoliko godina izazvala oštećenja na boji zbog vlage zaostale u zidovima. Unutrašnjost kapele presvođena je češkim kapama; jedna je iznad kora, a četiri su u lađi. Svetište je nadsvođeno polukalotom. Cjelokupna unutrašnjost, zidovi i svodovi u lađi i svetištu i korska ograda ukrašeni su žbukorezom koji je izveo varaždinski slikar Julije Merlić godine 1949 (rođen je u Varaždinu 1893. godine, gdje je i umro 30. prosinca 1978. godine. Najčešće autorove likovne teme bili su crteži s motivima rodnog Varaždina, kao i brojni portreti i autoportreti. Kao umjetnik, međutim, posebno se afirmirao svojom originalnom likovnom tehnikom žbukoreza, čime se počeo baviti još u Budimpešti, da bi tehniku usavršio kasnije u rodnom kraju, gdje se i danas nalazi niz njegovih izvornih žbukoreza.).

Zbog tog umjetničkog rada u unutrašnjosti je nemoguće izvesti sondiranja radi utvrđivanja eventualnih ranijih slojeva žbuke, eventualnih oslika ili istraživanja na građevinskom materijalu. Vizualnim pregledom građevine izvana i iznutra, kao i pregledom krovišnog dijela vidljivo je da je osnovni, srednjovjekovni korpus kapele očuvan: čini ga svetišni dio i dio lađe, do kora. Kor, ulazni dio i zvonik dograđeni su sredinom XIX. stoljeća kada je kapela vjerojatno dobila izgled kakav je vidljiv danas.

Dimenzije pretpostavljenog srednjovjekovnog dijela kapele bile bi  $10 \times 5$  m u lađi, dok je svetište široko 3,5 m, a duboko 2,8 m. Svi zidovi su debljine jednog metra. Oblikovne značajke svetišta i lađe, njihove dimenzije, debljina zidova, veličina cijele stare kapele, sve to upućuje na njezinu gradnju negdje tijekom XII. ili početkom XIII. stoljeća.

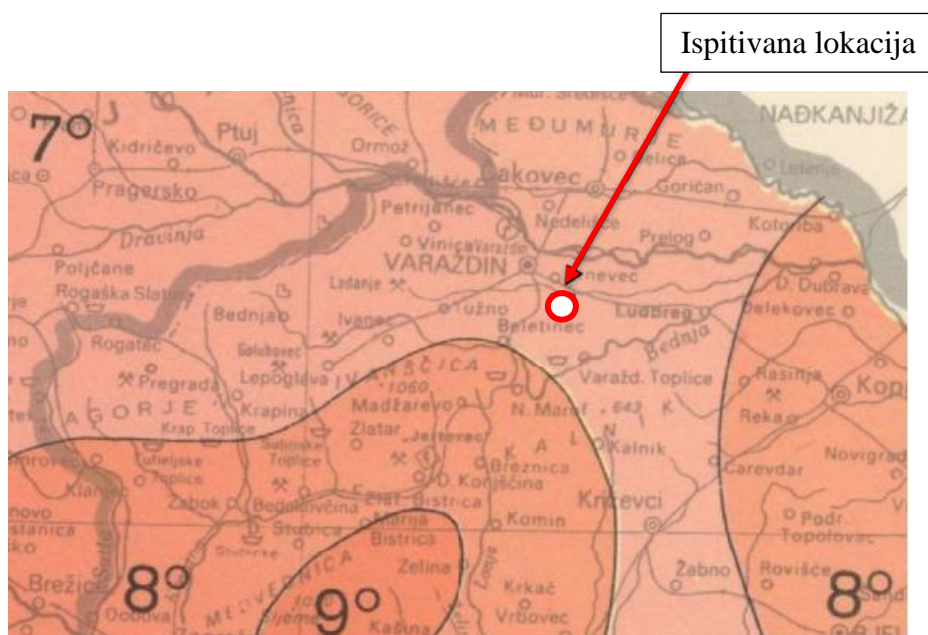
Sakristija, prigradna sa sjeverne strane, ima zidove iste debljine kao i kapela, te je neuobičajeno prostrana.

Tijekom XII. ili početkom XIII. stoljeća vjerojatno je izgrađena crkva, vrlo čvrsta, masivnih zidova s isto tako masivno zidanom sakristijom. Ta crkva je, u gotovo nepromijenjenim gabaritima, ostala sve do danas.

## 2. Seizmičke karakteristike obuhvaćenog područja

Podaci o seizmičnosti šireg područja nalaze se u "Seizmološkoj karti Republike Hrvatske" koju je izradio V. Kuk iz Geofizičkog zavoda Zagreb 1987., te prema PMF, Geofizički odsjek, Marijan Herak, Zagreb, 2012.. Ta je karta izrađena za različite povratne periode, a stupnjevi seizmičnosti pojedinih područja izraženi su stupnjevima MCS ljestvice.

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



Slika 4. Izvod iz Seizmološke karte RH

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 475 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), ovi razredi imaju i podrazrede. Tlo na predmetnoj lokaciji spada u razred tla „D“, a koji označava nanose slabo do srednje koherentne (sa ili bez mekih koherentnih slojeva) ili s predominantno mekim do srednje krutim koherentnim tlima. Vršno proračunsko ubrzanje tla je  $T_p$  (95 g)  $a_{gR}=0,09 * g$  (m/s),  $T_p$  (225 g)  $a_{gR}=0,13 * g$  (m/s),  $T_p$  (475 g)  $a_{gR}=0,19 * g$  (m/s).



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 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	–	–	–

$v_{s,30}$  - srednja vrijednost brzine (L) poprečnih površinskih valova;  
 $N_{spt}$  - standardni penetracijski test (broj udaraca);  $C_u$  - posmična čvrstoća tla

Tip tla	S	$T_p$ (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

- horizontalna komponenta sile:  $F_H = 0,5 \cdot \alpha \cdot S \cdot W = 0,5 \cdot 0,19g \cdot 1,35 \cdot 1,0 \cong 0,12g$

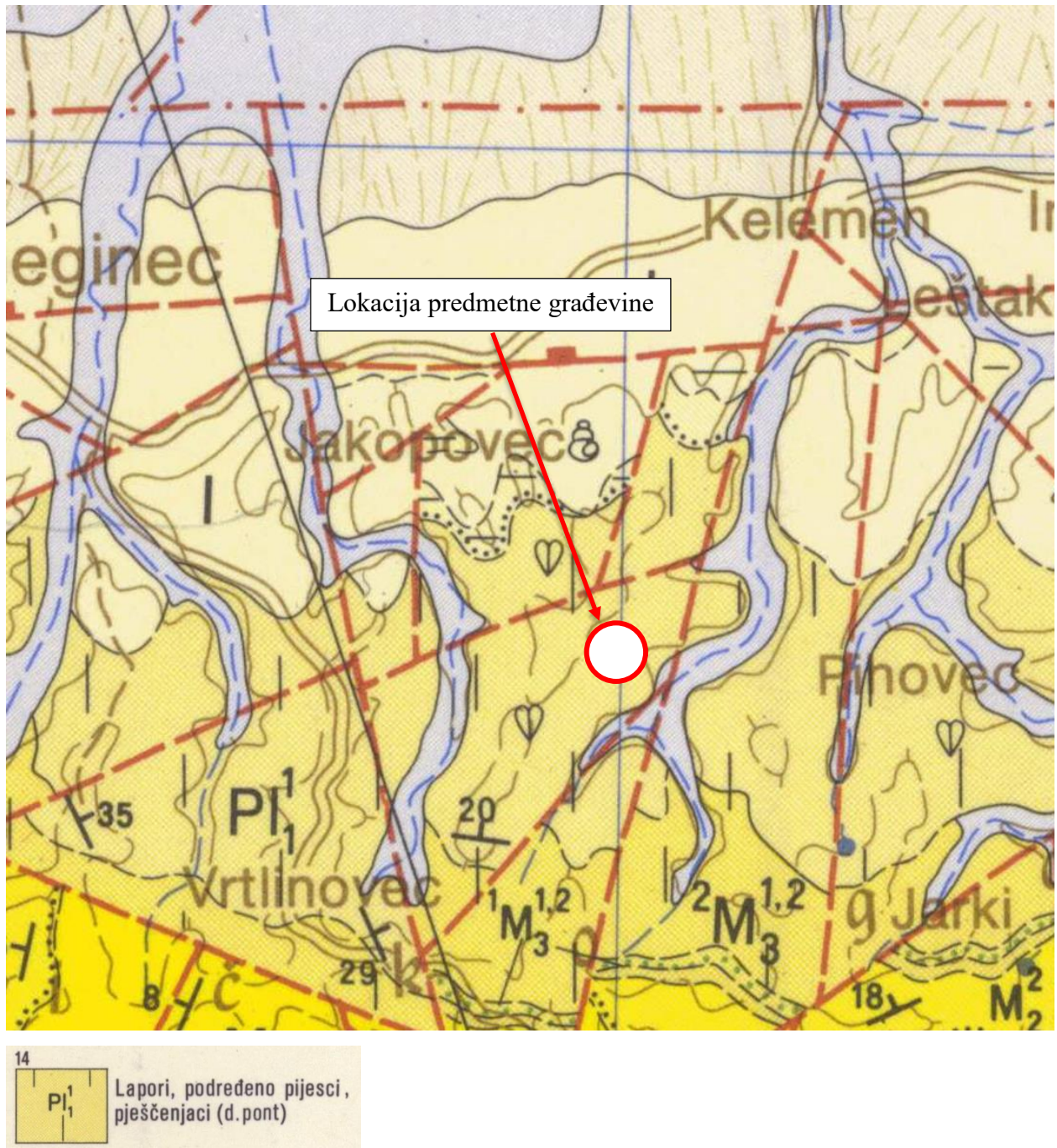
- vertikalna komponenta sile:  $F_V = 0,5F_H = 0,5 \cdot 0,12g \cong 0,064g$

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!).

## 2.1. Geološki pregled lokacije

Pregledom Osnovne geološke karte promatranog područja List Varaždin područja (autori: A. Šimunić, M. Pikija, I. Hećimović, Redakcija i izdanje Saveznog geološkog zavoda, Beograd, 1982.), vidljivo je da se predmetna građevina nalazi na području geoloških struktura nastalih u doba pliocena.



**Pl<sub>1</sub><sup>1</sup>** - Kvartar, Pliocen

Slika 5. Osnovna geološka karta promatranog područja (autori: A. Šimunić, M. Pikija, I. Hećimović, Redakcija i izdanje Saveznog geološkog zavoda, Beograd, 1982.)

**Promatrano područje ima geološku građu koja se sastoji od lapora s rijetkim proslojcima pijeska i pješčenjaka, pijesci s proslojcima pjeskovitih lapora i pješčenjaka.**

### **PLIOCEN - KVARTAR (PI, Q)**

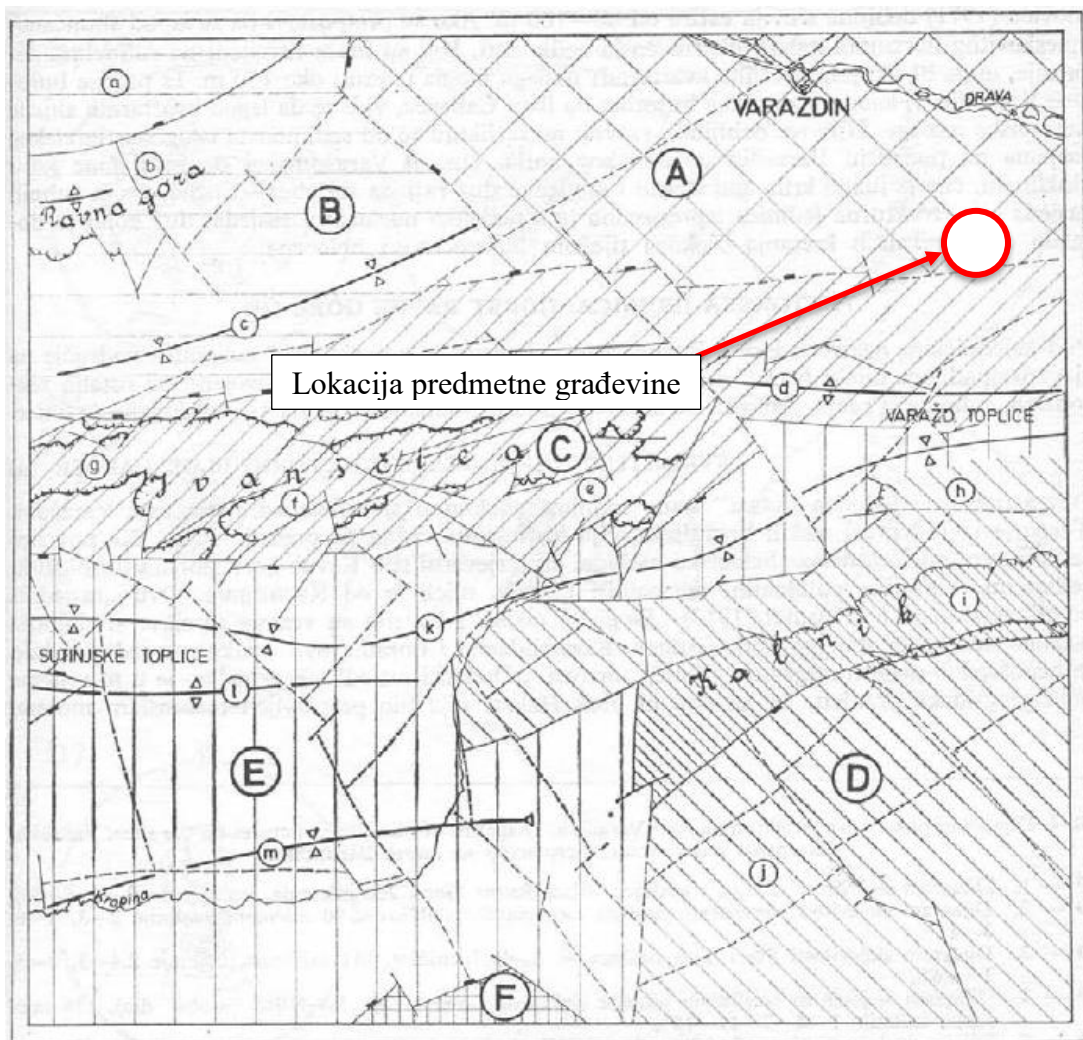
Naslage pliocen-kvartara su otkrivene na južnim i sjevernim padinama Ivanščice, u Konjščinskoj sinklinali, dolini Lonje i Lepoglavskoj sinklinali. To su klasični fluvio-jezerski sedimenti molasnog tipa koji su taloženi diskordantno na starije naslage. Izgrađeni su pretežno od pijeska i šljunka unutar kojih rjeđe dolaze leće i proslojci glina.

Pijesci su dominantan član ovih naslaga. Prema veličini zrna oni su određeni kao pijesci, silt pijesci i pjeskoviti siltovi. Boja im je različita, a najčešće su bijeli, sivi smeđi i crveni. Mineralni sastav im je isti i razlikuje se od sastava neogenskih pijesaka. Glavni sastojak lake mineralne frakcije je kvarc kojeg ima u prosjeku 60%. Ostatak čine čestice stijena, feldspati i tinjci. Pijesci sadrže u prosjeku 3% teških minerala, od čega 15% otpada na opake minerale. Šljunci se pojavljuju rjeđe od pijesaka. Oni su pretežno nesortirani, a sastoje se od nezaobljenih do subzaobljenih valutica čiji je promjer od 0,5 do 2 cm. Valutice su izgrađene pretežno od kvarca i rožnjaka, a rjeđe od eruptiva i pješčenjaka.

Starost sedimenta nije paleontološki utvrđena već je određena na temelju superpozicije i komparacije sa sličnim naslagama. Debljina naslaga jako varira, ali ne prelazi 100 metara.

## 2.2. Tektonika područja

Područje lista Varaždina, podijeljeno je u 6 tektonskih jedinica, te obuhvaća jedno od tektonski najkompliciranijih područja u sjevernoj Hrvatskoj. Tektonske su jedinice sastavljene od strukturnih jedinica. Ove tektonske cjeline međusobno su odvojene normalnim i reversnim rasjedima.



Slika 6. Pregledna tektonska karta lista Varaždin

**A. Tektonska jedinica: Dravska potolina, Strukturna jedinica: Varaždinska depresija, B. Tektonska jedinica: Horst Ravne Gore, a. Strukturni blok Haloze, b. Antiforma Ravne gore, c. Lepoglavska sinklinala, C. Tektonska jedinica: Horst Ivanščice, d. Antiklinala Varaždinske Toplice-Margečan, e. Navlaka Čevo, f. Navlaka Ivanščice, g. Navlaka Skalovke, D. Tektonska jedinica: Horst Kalničkog gorja, h. Antiforma Ljubelja, i. Navlaka Kalnika, k. Strukturni blok Kalničko prigorje, E. Tektonska jedinica: Sinklinorij hrvatskog Zagorja, k. Sinklinala Lobar-Zaježda-Ključ, l. Antiklinala Strugača-Budinščina, m. Konjšćinska sinklinala, F. Tektonska jedinica: Horst Medvednice**

– 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 ispod 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 ispresijecana je s nekoliko normalnih rasjeda, duž kojih je dolazilo do vertikalnih kretanja blokova tijekom pleistocena i holocena.

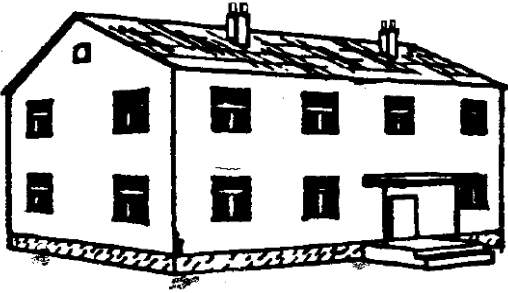
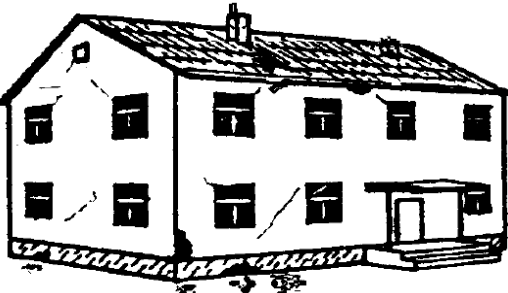
### **3. Prikaz oštećenja konstrukcije građevine**

#### **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 (crkva) građena pretežito od zidanih i kamenih 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 ravnini 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.		<p><b>RAZRED 5.: Rušenje (vrlo velika strukturna oštećenja)</b></p> <p>Totalno ili gotovo potpunu urušavanje.</p> <p><b>Korištenje objekta: <i>Ne koristiti</i></b></p>

*Slika 7. Razine oštećenja koje su utvrđivane brzim pregledima*



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**

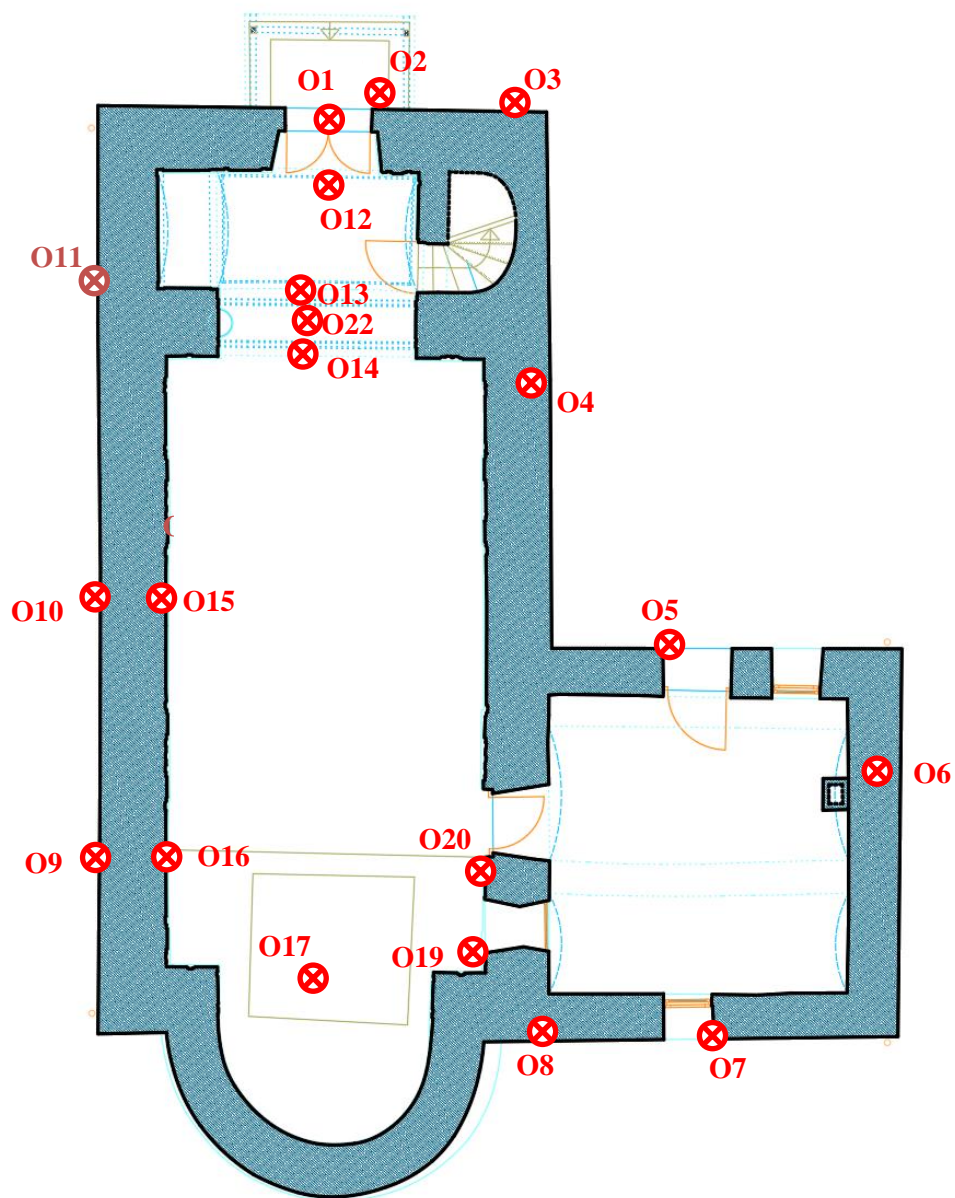
Ovaj stupanj oštećenja mogao bi značajno promijeniti nosivost konstrukcije bez približavanja granici djelomičnog urušavanja osnovnih strukturnih komponenti konstrukcije/zgrade.

### **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 makroseizmičkoj skali EMS98 (Europska makroseizmička 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.

## 4. Rekognosciranje zgrade i okoliša



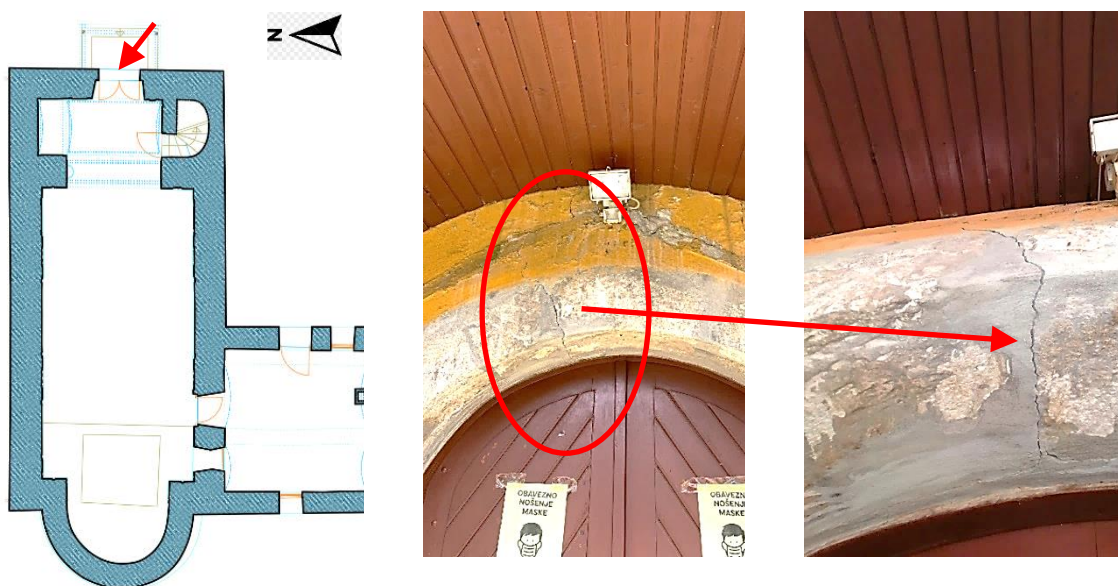
### Legenda:

- ⊗ Oštećenja  
(vanjska i unutarnja)

#### 4.1. Vanjski pregled kapele



Slika 8. Zapadno pročelje Kapele sv. Jakoba



Slika 9. Pukotina O1

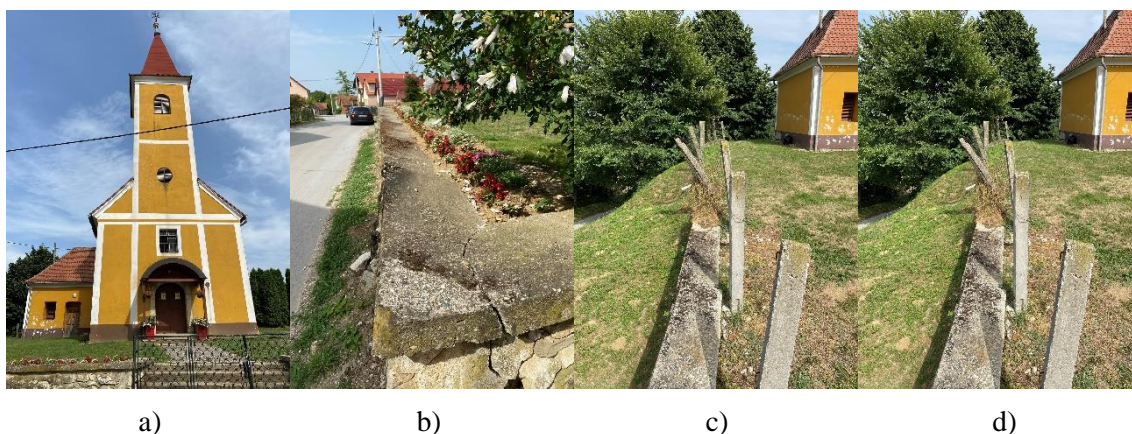


*Slika 10. Lijevo O2, desno O3*



*Slika 11. Sjeverno pročelje kapele*

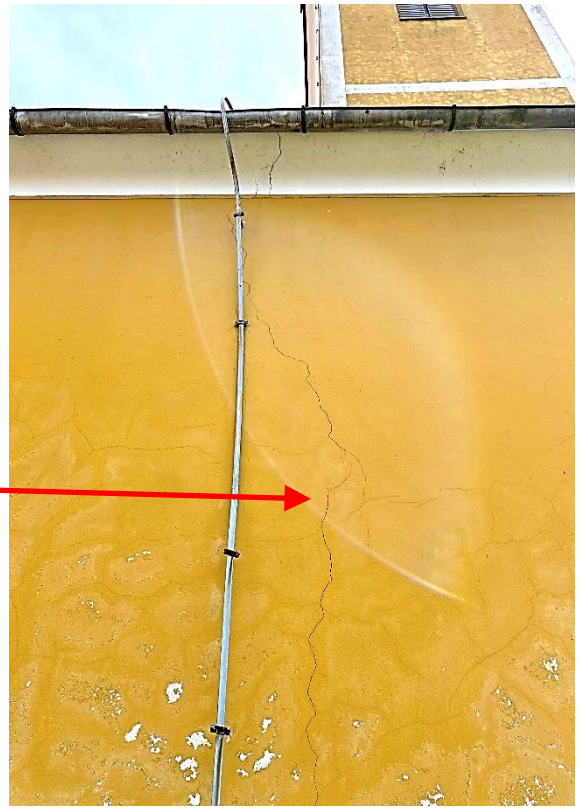
Pukotina O4, isto kao i pukotine O9, O10 s vanjske te O15 i O16 s unutarnje strane protežu se po cijeloj visini crkvenog zida a vidljive su s obje strane zida. Te pukotine su u ovom pukotinskom zidnom sustavu kapele najkritičnije jer upućuju na gubitak strukturalnog integriteta zida, odnosno nosive konstrukcije. Ranijom anamnezom te samim rekognosciranjem crkve jasno je kako su nastale tijekom petrinjskog potresa, no njihov uzrok još leži i u samoj morfologiji terena te reološkim procesima koji se odvijaju u tlu. Naime, sama kapela smještena je na naglo povišenom tlu sa zapadne strane (tu se nalazi i lokalna prometnica), isto tako i sa sjeverne, dok se sa istočne strane nalazi također kosina pretežito velikog nagiba sa grobljem.



*Slika 12. Prikaz kapele i njenog okoliša*

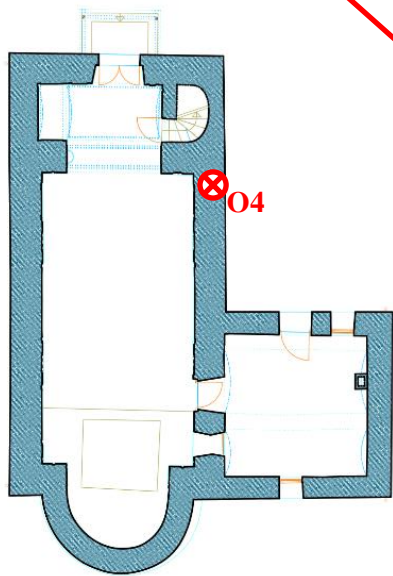
- a), b) Zapadni prilaz kapeli uz zasjek terena i pristupnu prometnicu*  
*c) Nagla depresija sa sjeverne strane kapele*  
*d) Nagib terena uz istočno pročelje kapele (vidjiva apsida svetišta)*

Na slici 16 vidljivi su nagli nagibi terena, praktički odmah uz sam rub kapele (sjeverna i istočna strana) dok je sa zapadne strane napravljen zasjek padine te smješten potporni kameni zid (koji se do sada već vidno nagnuo te popucao). Sve te vidljive naznake (a posebno nagibi ograda, zidova te grobova i grobnih ploča) jasno upućuju na reološki proces puzanja koji se već dugi niz godina (desetljeća) događa u temeljnom tlu kapele. Sama blizina kapele tim zasjecima i padinama uvelike ugrožava njezinu stabilnost dok je potres samo pridonio i ubrzao reološke procese u tlu. Vertikalne zidne pukotine o kojima je ranije bilo riječi direktan su produkt potresa, njegovog utjecaja na padinu te ubrzavanje reoloških procesa u tlu (pomicanje čestica tla u smjeru padine). Hitnim mjerama sanacije svakako bi se trebalo stabilizirati temelje i temeljno tlo kapele jer će se u suprotnom vertikalne pukotine i dalje širiti bez obzira na njihovu sanaciju (injektiranjem i drugim metodama).



Slika 13.

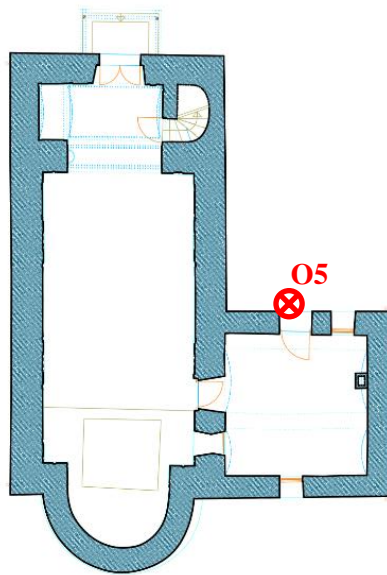
Pukotina O4



Slika 14.

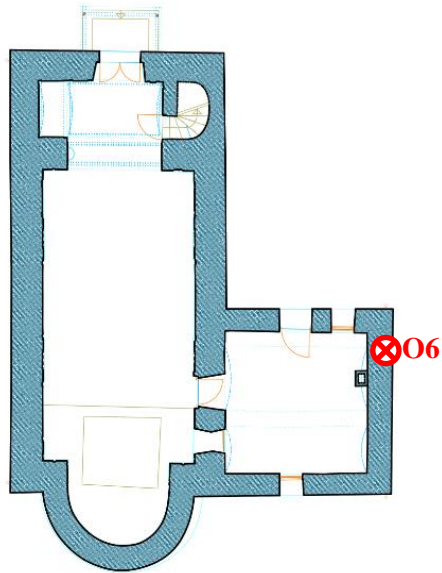
Puokotina O4





*Slika 15. Vertikalna pukotina O5 na sakristiji*

Vertikalna pukotina O5 na sakristiji iznad ulaznih vrata također je produkt kombinacije potresa ali i ranije spomenutih uzroka puzanja, odnosno blizine sjevernog zasjeka brežuljka koji se nalazi na svega nekoliko metara od ruba sakristije.

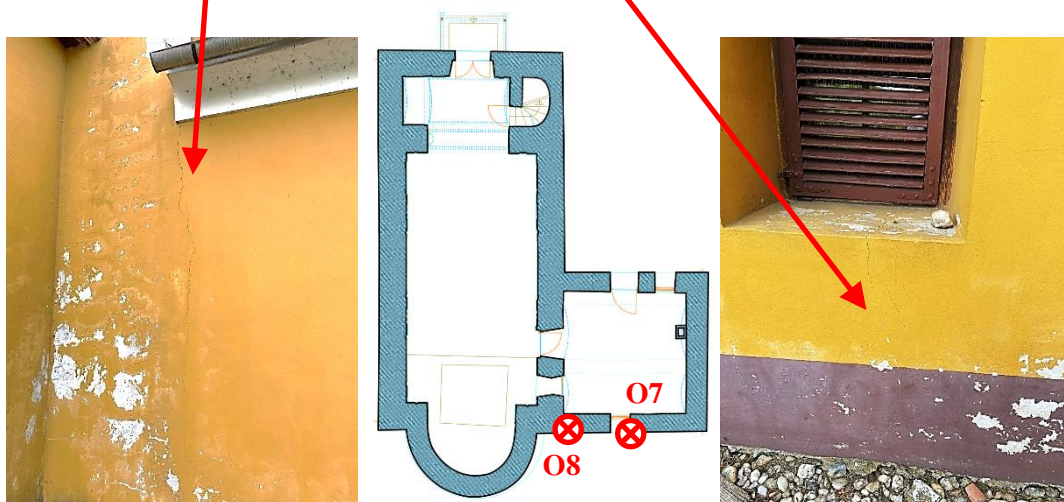


*Slika 16. Pukotina O6*





Slika 17. Desno pukotina O7



Slika 18. Desno O7, lijevo O8

Uvidom u povijest kapele, saznato je kako je sama sakristija dograđena na kapelu kasnije, odnosno, nije dio originalnog tlocrta kapele. Na takvim mjestima se oštećenja ovakve naravi mogu i očekivati (vertikalne pukotine „odvajanja“ dvaju elemenata zgrade).

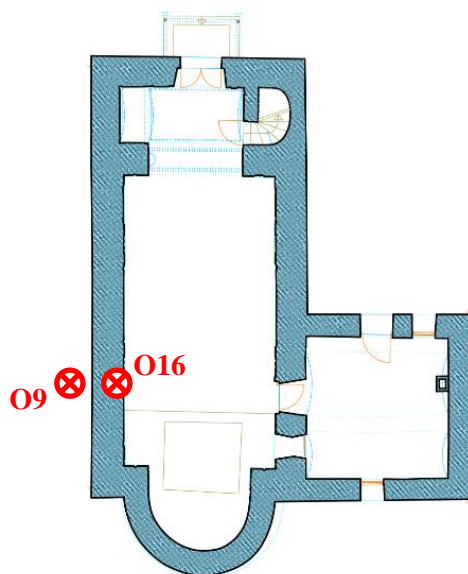


*Slika 19. Groblje uz istočni dio kapele*

Odmah uz kapelu, s njezine istočne strane, nalazi se groblje čijim pregledom je jasno utvrđena padinska nestabilnost njegovog gornjeg dijela. Naime, gledajući pozicije grobnih mjesta te nadgrobnih spomenika, jasno se može primijetiti njihova iskrivljenost te nagib a sve to upućuje na padinsko puzanje koje kao reološki proces traje već duži niz godina (desetljeća). Isto se može primijetiti na nagnutim stupovima ograde uz istočnu apsidu crkve koji slijede nagib terena koji počinje naglo padati prema sredini groblja.



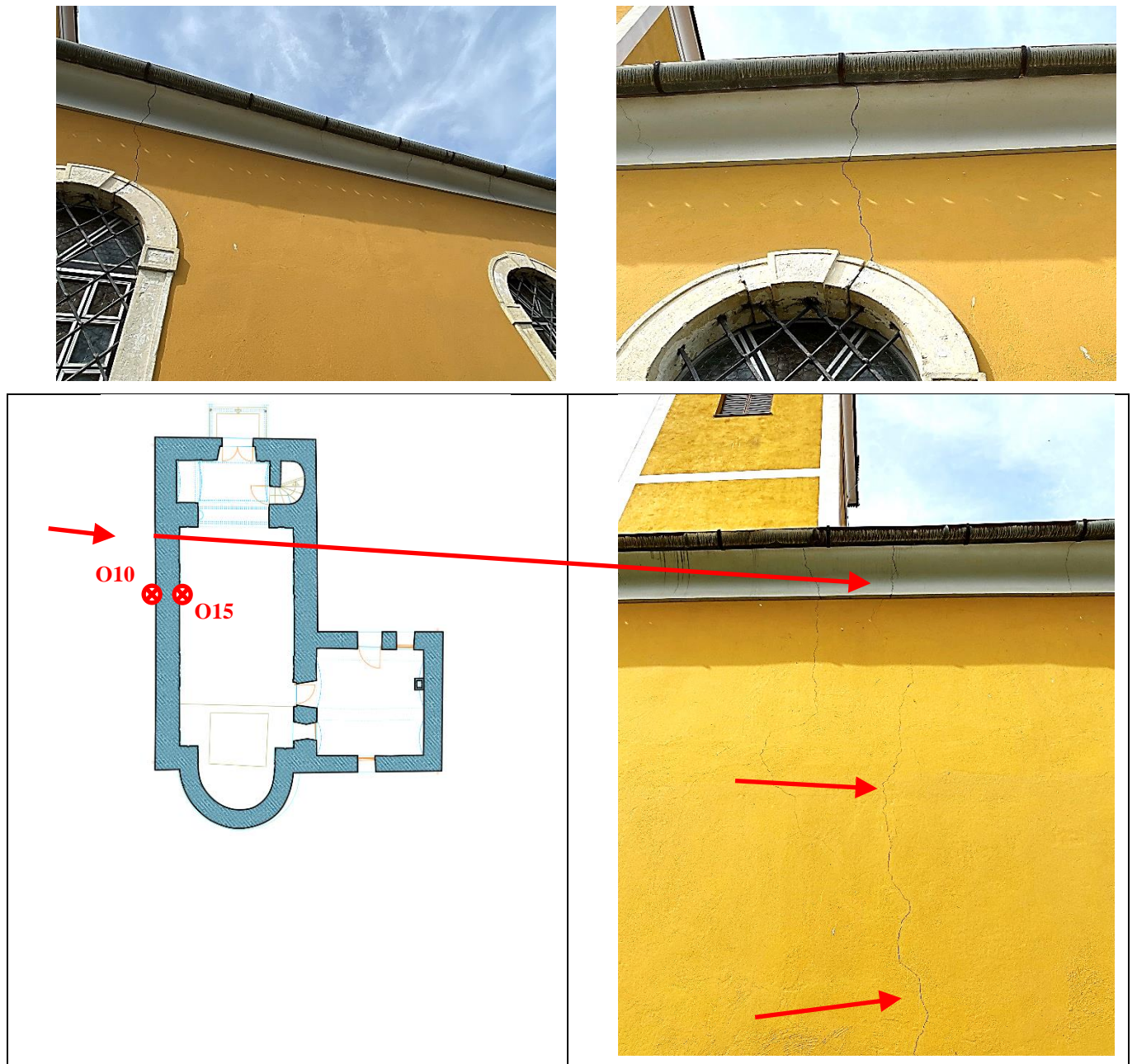
*Slika 20. Jasno vidljivi znakovi padinskog puzanja sa istočne i sjeverne strane kapele. Ovdje je važno primijetiti neposrednu blizinu kapele kao i nagnute konstruktivne elemente koji upućuju na puzanje terena (stepenice, potporni zidovi te stupovi ograde).*



Slika 21. Pukotina O9

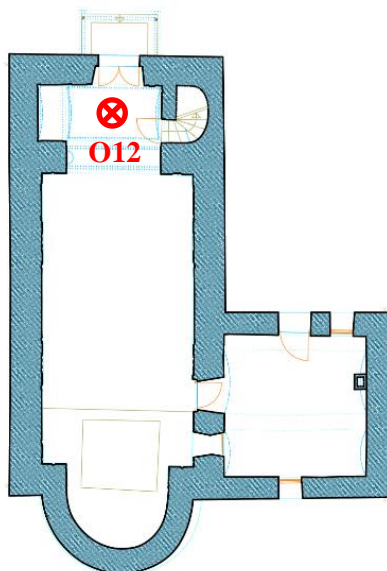
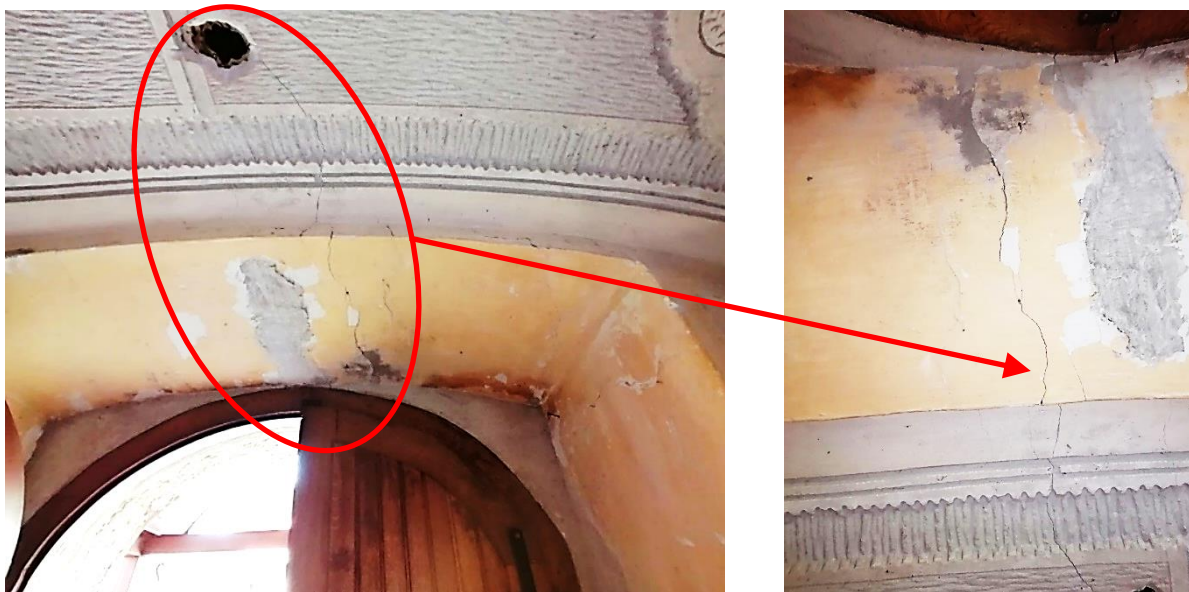
Nakon svega ranije rečenoga, uzrok pukotinskog sustava O9-O16 te O10-O15 postaje sasvim jasan i razvidan. Istočna padina (groblje), njezina blizina kapeli, nagli pad kosine, reološki procesi puzanja koji se godinama odvijaju te nakraju petrinjski potres koji je sve dodatno ubrzao ali i znatno potencirao, uzrok su vertikalnog pukotinskog sustava na južnom zidu kapele. Ove vertikalne pukotine su duboke, prodiru u samu strukturu nosivog sustava te narušavaju njegov strukturalni integritet. Ipak, njihovoj sanaciji svakako treba prethoditi hitna sanacija temelja i

temelnog tla oko kapele, odnosno sustav mikropilota postavljen oko zgrade, uz same temelje kapele.



Slika 22. Pukotina O10

## 4.2. Unutrašnjost kapele

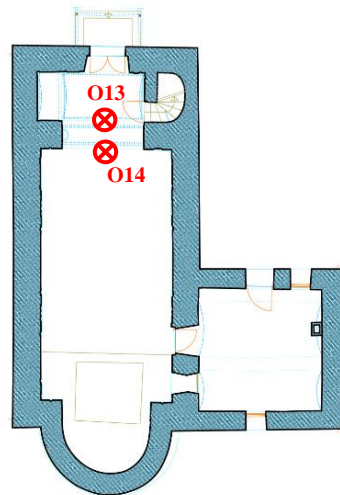


Slika 23. Pukotina O12

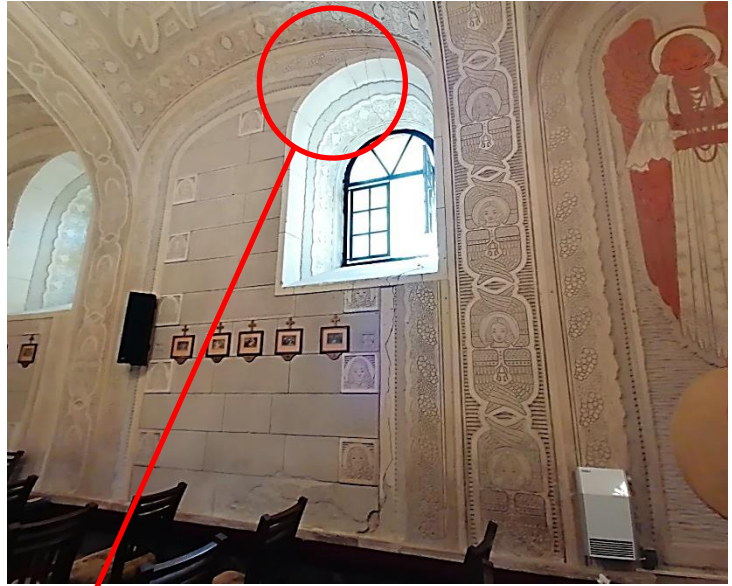
Pukotina O12 nalazi se na nadvoju ulaza, odnosno luku iznad ulaznih vratiju. Ta pukotina, zajedno sa identičnim pukotinama O13 i O14 indikativna je zbog svog položaja. Naime, nadvoji i lukovi na kojima se nalaze dalje iznad se nastavljaju u zidove koji postaju nosivi zidovi zvonika kapele a što znači da su slijedom toga i ti lukovi i nadvoji također dio nosivog sustava zvonika. Slijedom toga, pukotine O14 i O15 koje se nalaze na luku većeg raspona nego O1 i O12, narušavaju također važan strukturalni element u ukupnoj nosivosti zvonika. Sam zvonik kapele predstavlja najveću masu u kapeli a posljedično i najveća naprezanja na temelje i temeljno tlo (koji su ugroženi progresivnim puzanjem tla!). Iz svega se može jasno zaključiti kako bi i kompletni sustav temelja i temelja dijelova ispod zvonika trebalo stabilizirati hitnim ranije spomenutim mjerama.



Slika 24. Pukotina O13



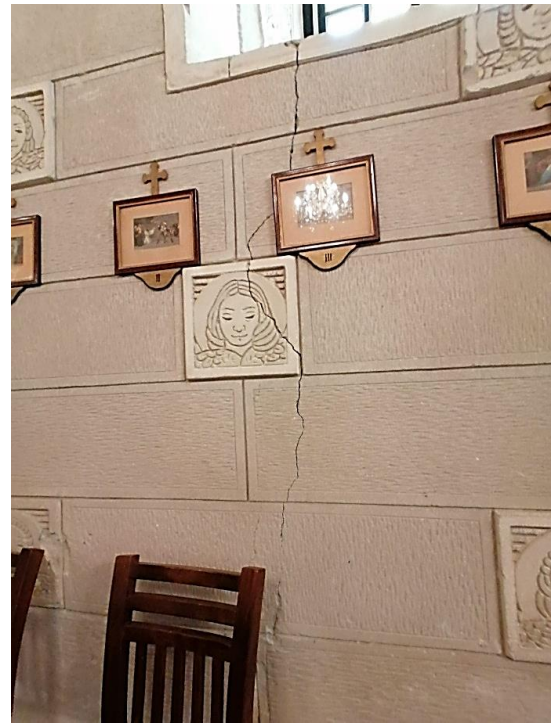
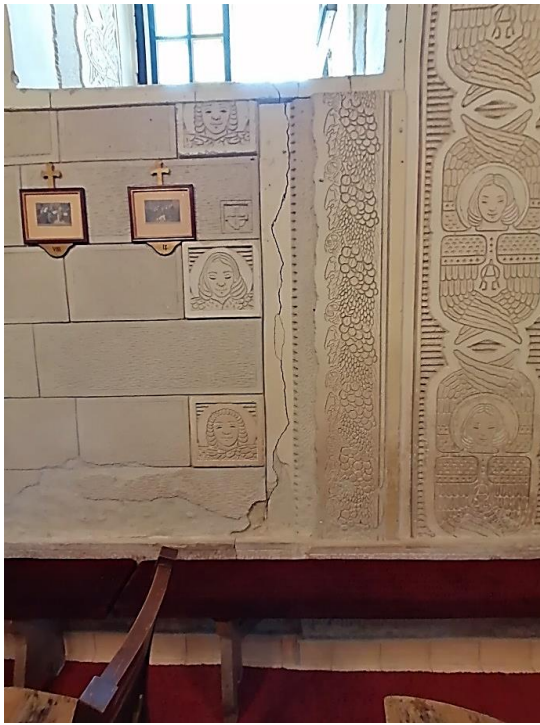
Slika 25. Pukotina O14



Slika 26. Pukotina O15



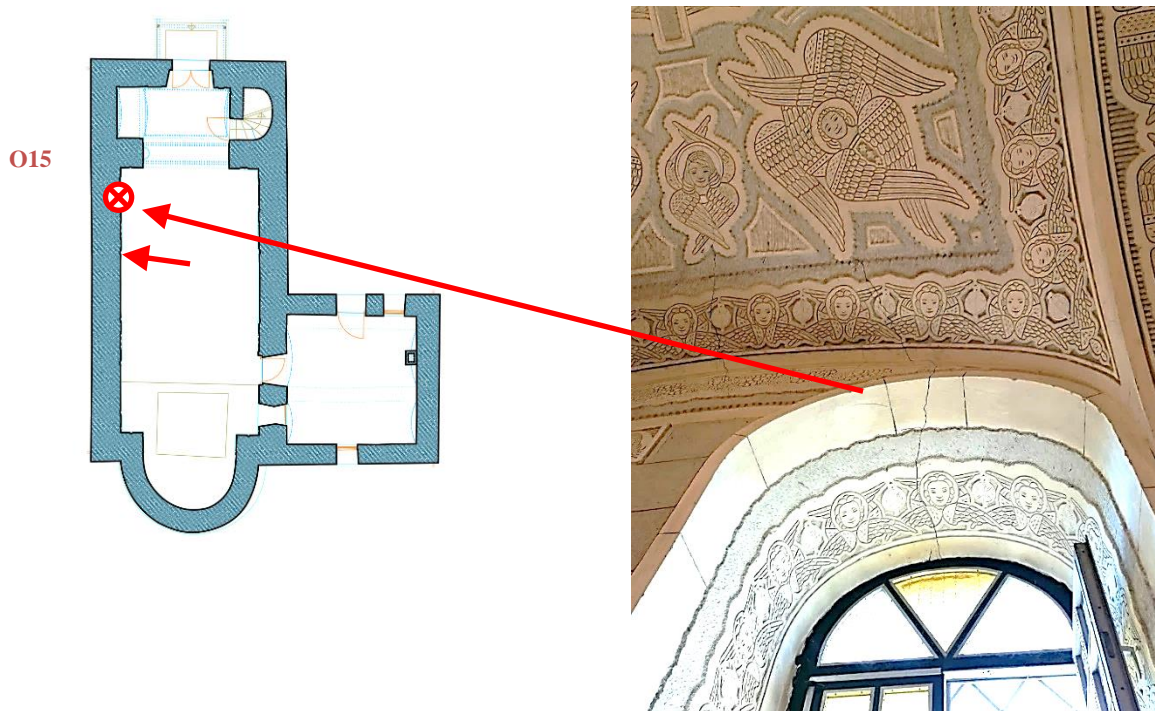
Slika 27. Lijevo pukotina O15, desno pukotina O16



*Slika 28. Lijevo pukotina O15, desno pukotina O16*

Daljnijim pregledom pukotinskog sustava O15 i O16 jasno je vidljivo njihovo progresivno širenje od vertikalnih pukotine na zidovima do horizontalnih pukotina na svodovima. Pukotine na svodovima nastavljaju orijentaciju zidnih pukotina (pukotina je u smjeru sjever-jug), što po ukazuje na doslovno „raspolavljanje“ kapele. Na taj se način, slikovito može zaključiti kako se jedan dio kapele odvojio u smjeru istoka a drugi u smjeru zapada.



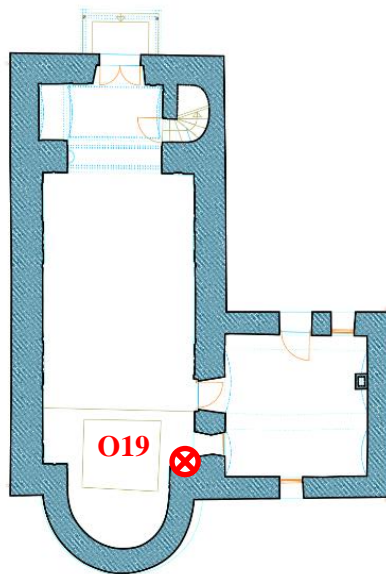
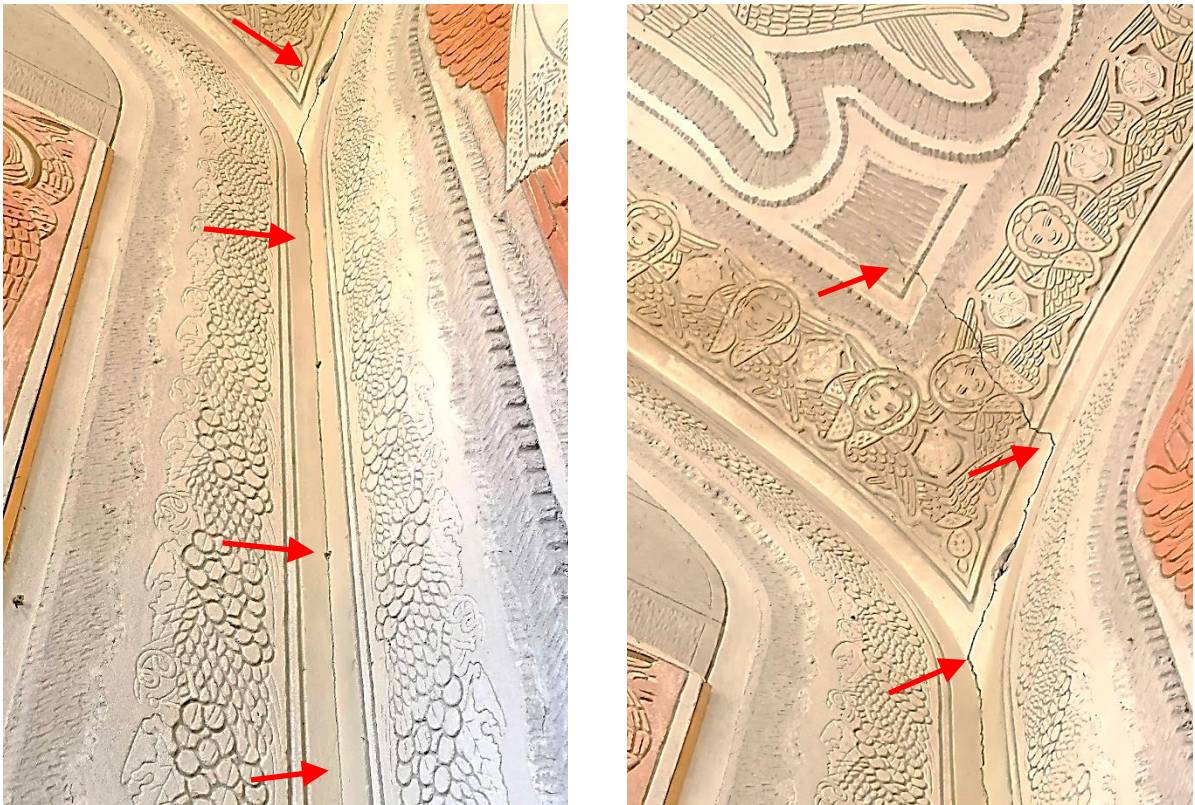


Slika 29. Pukotina O15 kao nastavak vanjske pukotine O10

Uzimajući u obzir ranije analizirane padine sa istočne i zapadne strane, njihovo puzanje te blizinu kapeli, tada nam cijeli pukotinski sustav kapele dobiva savršen smisao te svoju uzročno-posljedičnu vezu.



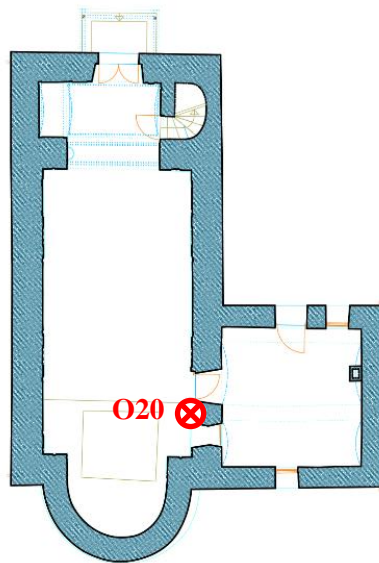
Slika 30. Pukotina O17



Slika 31. Lijevo O19

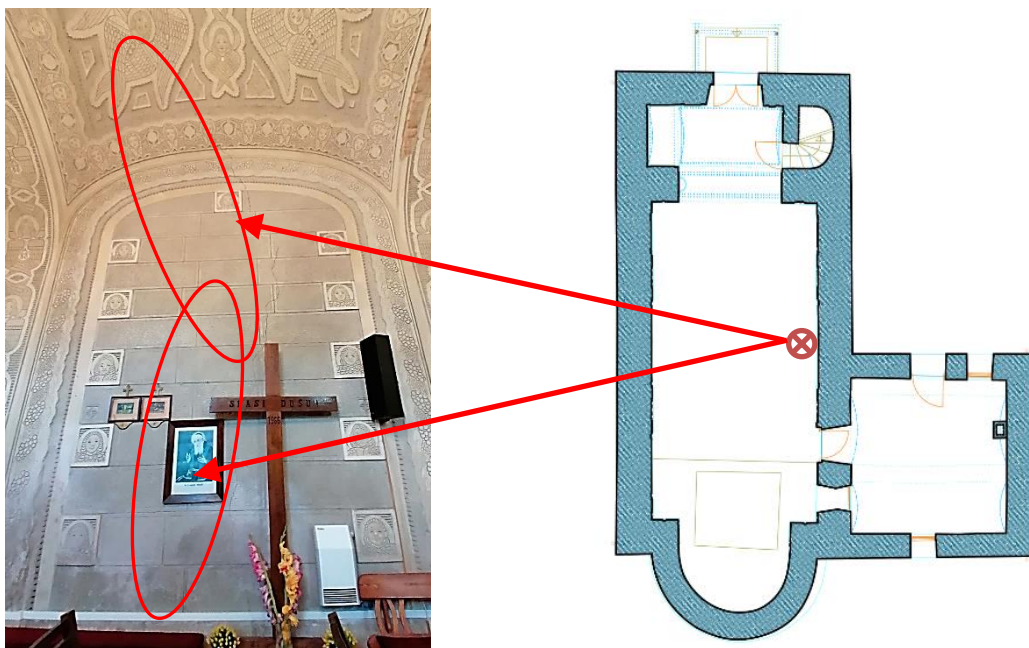
Pukotina O19 nastala je na najkritičnijem mjestu između sakristije i kapele, odnosno, na samom njihovom spoju. Pukotina se prostire cijelim spojem sakristije i kapele te dalje prelazi u luk na stranu kapele da bi kroz sljedećih 40-ak cm skrenula na svod i tu završila. To mjesto također treba sanirati injektiranjem ali svakako treba imati na umu primarnu sanaciju a to je

mikropilotiranje temelja. Na ovom mjestu kapela je najbliže sjevernoj padini (zasjeku) te tu postoji velika opasnost od lokalne nestabilnosti uzrokovane potresom i puzanjem tla.



Slika 32. Pukotina na zidu sakristije, O20

Na zidu sakristije (koji je ranije bio vanjski zid crkve) također je vidljiva vertikalna pukotina znatne duljine koja se sa nosivog zida širi dalje u svod kapele pa se na njemu nastavljaju u duljini cca 0,5m. Ova pukotina, kao i sve ranije navedene je strukturalna, no u ovom slučaju je svakako manjeg intenziteta nego ranije vertikalne pukotine (prvenstveno O4, O9 i O10).



Slika 33. Pukotina na sjevernom zidu kapele (između pjevališta te spojnog zida sakristije)



Slika 34. Vertikalna pukotina proteže se kroz cijelu visinu sjevernog zida te se širi dalje na istočno podtjemlje luka, odmah uz taj zid kapele

Na slikama 33 i 34 prikazana je strukturalna vertikalna pukotina koja se proteže cijelom visinom sjevernog zida kapele te se nastavlja dalje u luk i svod kapele. Može se konstatirati kako su svi lučni elementi kapele jednako oštećeni u svojim tjemenu (podgledi tjemena) a pukotine takvog tipa dalje se nastavljaju na svodove kapele. Kako su lukovi kapele Sv. Jakoba znatnijih raspona (cca 5 m), a obzirom na tip oštećenja (poprečna pukotina u tjemenu luka), sanacijom bi trebalo također obuhvatiti i lukove kao nosive konstruktivne elemente. U ovakvim se slučajevima

koriste poprečne zatege kao najpogodnije sredstvo sanacije, no obzirom na jedinstvenost i konzervatorsku vrijednost unutrašnjosti kapele, o toj metodi sanacije svakako se potrebno prokonzultirati sa nadležnim konzervatorskim odjelom.

### 4.3. Pjevalište kapele

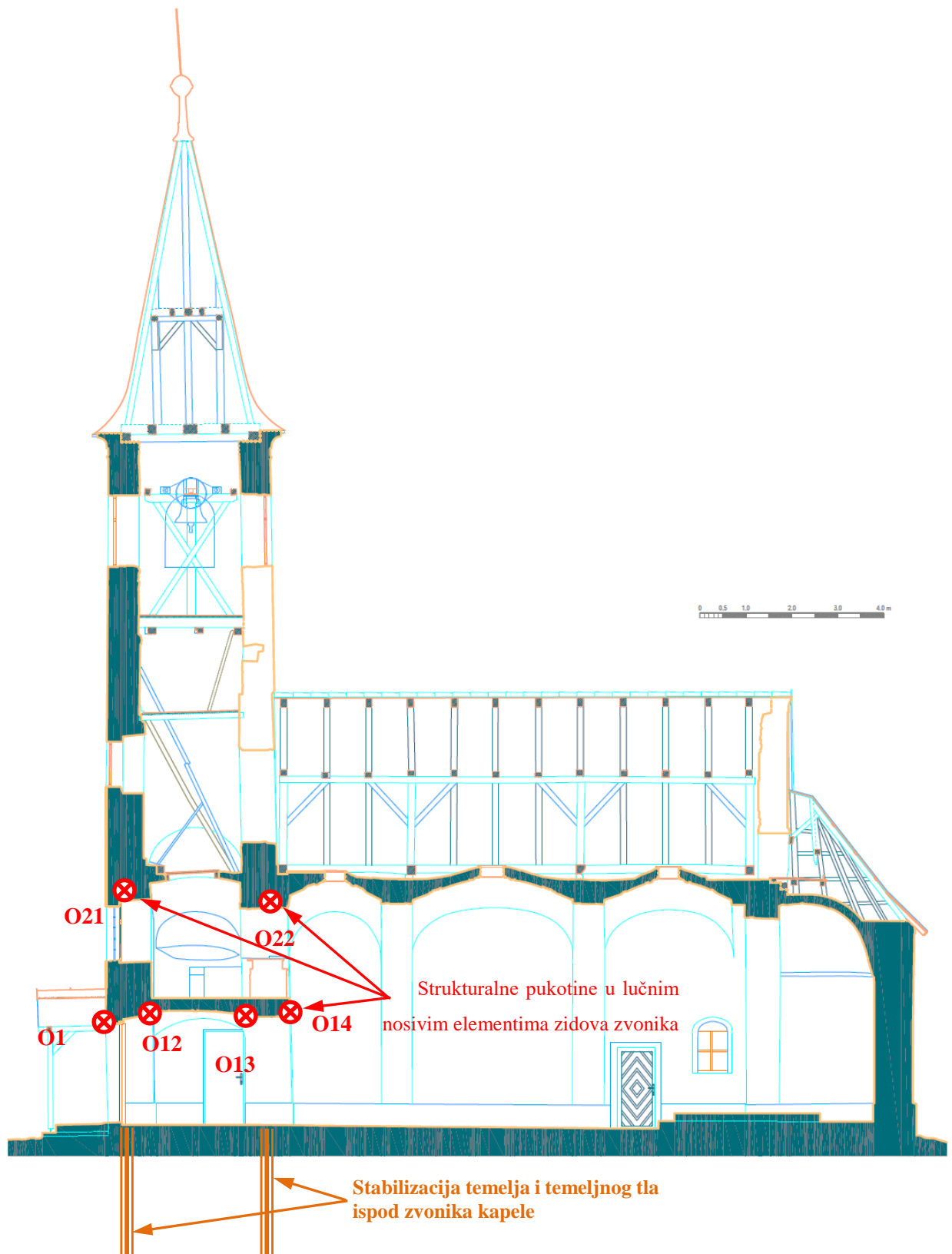


*Slika 35. Stubište na kat pjevalište te samo pjevalište (kor)*

Stepenice koje vode na kor te sami prostor pjevalište oštećen je više zbog starosti i dotrajalosti nego strukturalno. Značajnije strukturalne pukotine nalaze se na nadvoju prozora te luku koji je orijentiran prema unutrašnjosti kapele, odnosno prema istoku. Te pukotine su značajne zbog svog položaja, odnosno nalaze se na sredini strukturalnih elemenata (nadvoj i luk) koji dalje iznad sebe drže zidove tornja zvonika. Upravo zbog tog razloga je njihova sanacija također prioritarna a ona bi svakako trebala biti izvedena kombinacijom hitnog mikropilotiranja temelja zvonika te lokalnog injektiranja i sidrenja lukova i nadvoja.



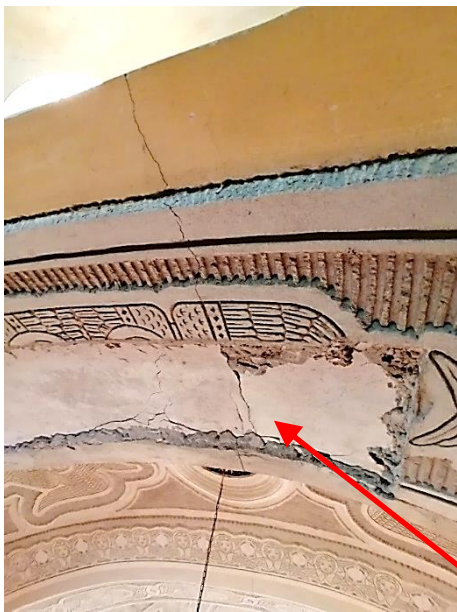
*Slika 36. Pukotine nadvoja prozora nad ulazom u crkvu (zapad)*



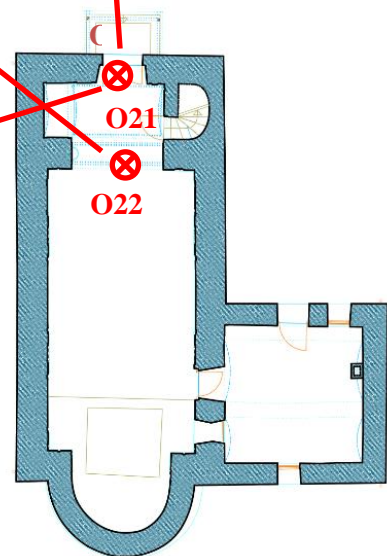
Slika 37. Uzdužni presjek kapele s naznakama oštećenja lukova pjevališta

Na uzdužnom presjeku kapele (Slika 37.) naznačena su strukturalna oštećenja detektirana na zidovima te zidnim elementima zvonika kapele. Kao što je vidljivo, osnovna strukturalna oštećenja

nalaze se točno na pozicijama pogleda tjemena nosivih lukova i nadvoja prizemlja i pjevališta a sve na pozicijama zidova kapelnog tornja. Zbog svega navedenog (pukotinska oštećenja narušuju strukturalni integritet nosivih zidova crkvenog tornja), od iznimne je važnosti prioritarno stabilizirati temelje i temeljno tlo kapele i njenog zvonika. Za metodu stabilizacije kao najefikasnija i u ovakvim slučajevima najbolje se pokazala metoda mikropilotiranja. Mikropiloti prenose opterećenje na dublje slojeve temeljnog tla a koji su čvršći te im je nosivost do nekoliko puta veća od ovih površinskih. Dodatan argument ovakvom hitnom tipu sanacije su i svakako navedena oštećenja lukova, nadvoja i zidova ali i potresom poremećeni (ubrzani) reološki procesi u tlu.



Slika 38. Pukotine na luku (istočni dio kora) te produžetak pukotine nad prozorom (zapad)



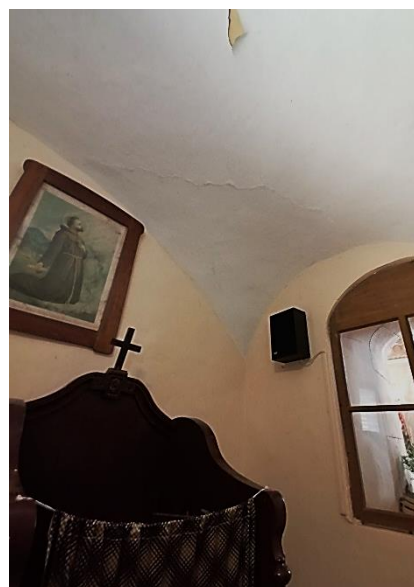
Slika 39. Pukotinska oštećenja nadvoja i luka kora (zapad i istok)



#### 4.4. Sakristija kapele



Slika 40. Sakristija kapele, pogled prema sjeveru



Slika 41. Vlaga i pukotinsko oštećenje svoda sakristije

Što se tiče sakristije koja je izgrađena kasnije nego sama kapela te je na nju prigradena, najveće oštećenje koje njoj prijete je sama blizina sjevernog pokosa, reologija koja se u njemu događa (a ubrzana je potresom) te unutrašnji problem vlage na zidovima. Pukotinsko oštećenje vidljivo je kroz raniji prikaz vanjskog oštećenja kapele te sam unutrašnji (i vanjski) spoj kapele i sakristije.

## 4.5. Proračun opterećenja na zgradu

U nastavku su proračuni uporabnih opterećenja na zgradu kapele:

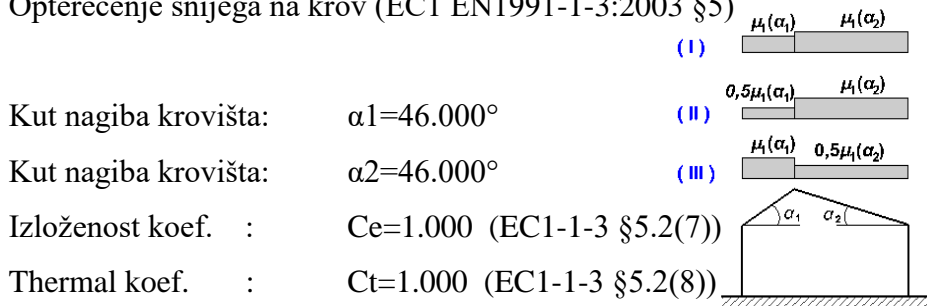
- Opterećenje snijegom
- Opterećenje vjetrom
- Potresno opterećenje

### a) Opterećenje snijegom

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

Karakteristična vrijednost snježnog opterećenja na tlo:  $s_k=1.300 \text{ kN/m}^2$

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



Kut nagiba krovišta:  $\alpha_1=46.000^\circ$

Kut nagiba krovišta:  $\alpha_2=46.000^\circ$

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.  $s$ ,  $\alpha_1=46.00^\circ$ ,  $\alpha_2=46.00^\circ$ ,  $i_1(\alpha_1)=0.373$ ,  $i_1(\alpha_2)=0.373$

$S(\alpha_1)=\mu_1(\alpha_1) \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k=0.373 \times 1.000 \times 1.000 \times 1.300=0.485 \text{ kN/m}^2$

$S(\alpha_2)=\mu_1(\alpha_2) \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k=0.373 \times 1.000 \times 1.000 \times 1.300=0.485 \text{ kN/m}^2$

Opterećenje snijegom

Slučaj opterećenja (I) ,  $S(\text{Lijevo})=S(\alpha_1)=0.485 \text{ kN/m}^2$ ,  $S(\text{Desno})=S(\alpha_2)=0.485 \text{ kN/m}^2$

Slučaj opterećenja (II) ,  $S(\text{Lijevo})=0.5 \times S(\alpha_1)=0.243 \text{ kN/m}^2$ ,  $S(\text{Desno})=S(\alpha_2)=0.485 \text{ kN/m}^2$

Slučaj opterećenja (III),  $S(\text{Lijevo})=S(\alpha_1)=0.485 \text{ kN/m}^2$ ,  $S(\text{Desno})=0.5 \times S(\alpha_2)=0.243 \text{ kN/m}^2$

### b) Opterećenje vjetrom na krovne površine

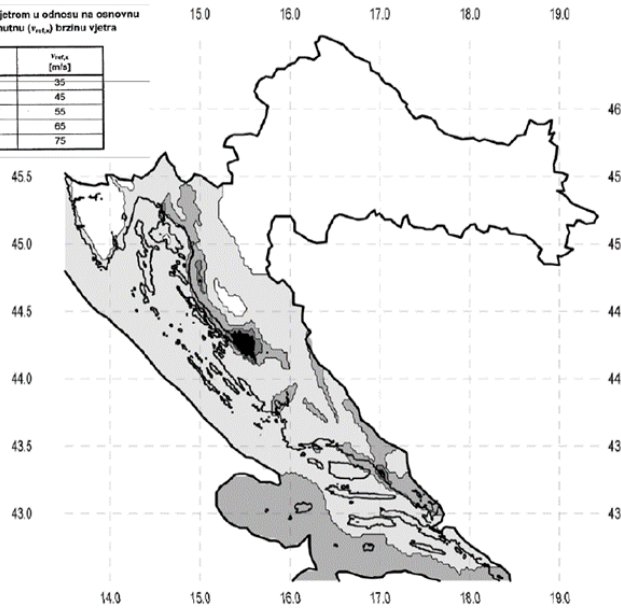
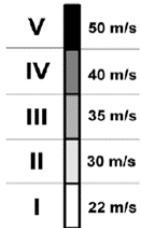
Poredbene brzine vjetra obzirom na zonu

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

Tablica NAD.1 – Područje opterećenja vjetrom u odnosu na osnovnu poredbenu ( $v_{ref,0}$ ) brzinu vjetra i trenutnu ( $v_{ref,t}$ ) brzinu vjetra

Područje	$v_{ref,0}$ [m/s]	$v_{ref,t}$ [m/s]
I	22	35
II	30	45
III	35	55
IV	40	65
V	50	75

Područje  $v_{ref,0}$



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

Dvostrešno krovništvo

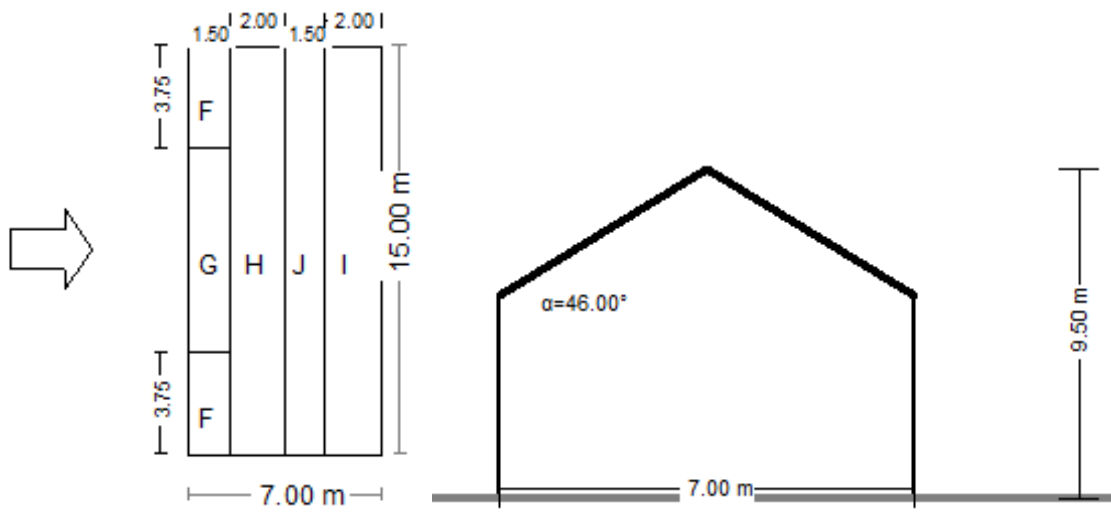
Zgrada visina  $h = 9.50 \text{ m}$

Zgrada duljina:  $b = 15.00 \text{ m}$

Zgrada širina  $d = 7.00 \text{ m}$

Nagib krova  $\alpha_1 = 46.00^\circ$

Nagib krova  $\alpha_2 = 46.00^\circ$



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 faktor  $C_r(z)$**

Teren kategorija:III,  $z=9.500$ m,  $z_o=0.300$ m,  $z_{min}=5$ m,  $z_{max}:=200$ m,  $z_{oII}=0.050$ m

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

$C_r(z)=k_r \cdot \ln(z/z_o)=0.215 \times \ln(9.500/0.300)=0.744$

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

$H/L_u=25/70=0.36$ ,  $H/L_u=0.36 > 0.30$ ,  $L_e=83.33$  m (EN1991-1-4, Tab.A.2)

$z=24.64$  m,  $s=0.574$  (eq.A.11,...A.13)

$C_o(z)=1+0.6 \times 0.574=1.345$  (eq.A.3)

**Faktor turbulencije**

$K_t=1.000$

**Izloženost factor  $C_e(z)$**

Teren kategorija: III

$z=9.50$  m,  $k_r=0.215$ ,  $l_v(z)=0.215$ ,  $C_e(z)=2.510$

$q(z)=C_e(z) \cdot (\frac{1}{2}\rho) \cdot V_b^2=[0.001] \times 2.510 \times 0.625 \times 22.00^2=0.759$  kN/m<sup>2</sup>

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

$V_b=22.00$ m/sec

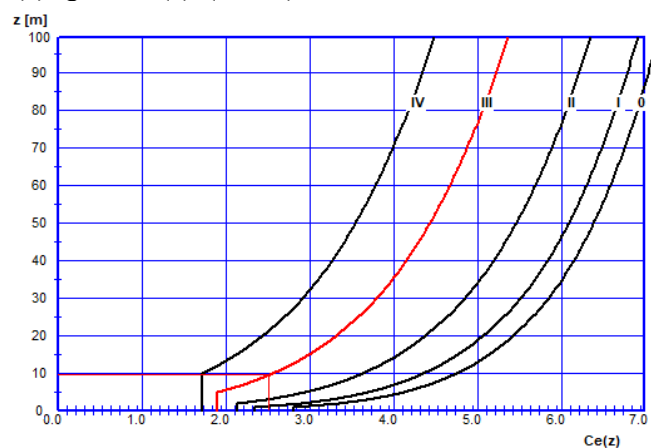
$z=9.500$ m

$C_r(z)=0.744$

$C_o(z)=1.345$

$K_t=1.000$

$C_e(z)=2.510$



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

$$= [0.001] \times 2.510 \times 0.625 \times 22.00^2$$

$$= 0.759 \text{ kN/m}^2$$

**Vjetar sile na dvostrešni krov, vjetar smjer: 0.00**

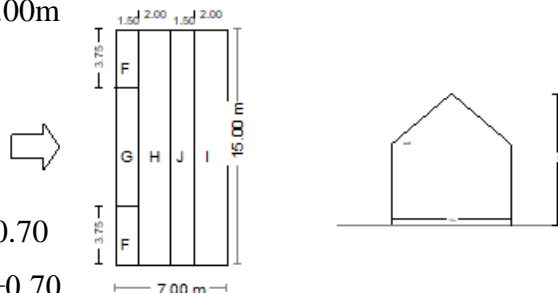
**Vjetar pritisak koef. s Cpe**

vjetar smjer:  $\theta = 0.00$

$b = 15.00\text{m}$ ,  $d = 7.00\text{m}$ ,  $h = 9.50\text{m}$ ,  $e = \min(b, 2h) = 15.00\text{m}$

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

Nagib krova:  $\alpha = 46.000$



Zone : F,  $A = 8.10\text{m}^2$ ,  $C_{pe,10} = +0.70$ ,  $C_{pe,1} = +0.70$

Zona : G,  $A = 16.20\text{m}^2$ ,  $C_{pe,10} = +0.70$ ,  $C_{pe,1} = +0.70$

Zona : H,  $A = 43.19\text{m}^2$ ,  $C_{pe,10} = +0.61$ ,  $C_{pe,1} = +0.61$

Zona : I,  $A = 43.19\text{m}^2$ ,  $C_{pe,10} = -0.01$ ,  $C_{pe,1} = -0.01$

Zona : J,  $A = 32.39\text{m}^2$ ,  $C_{pe,10} = -0.02$ ,  $C_{pe,1} = -0.02$

**Vjetar pritisak na krov površine  $w_e = q(z) \cdot C_{pe} = 0.759 \times C_{pe}$  [kN/m<sup>2</sup>]**

F	G	H	I	J
$w_{e,10}$	$w_{e,1}$	$w_{e,10}$	$w_{e,1}$	$w_{e,10}$
$w_{e,10}$	$w_{e,1}$	$w_{e,10}$	$w_{e,1}$	$w_{e,10}$
+0.532	+0.532	+0.532	+0.532	+0.461
+0.461	+0.461	-0.010	-0.010	-0.015
-0.015	-0.015			

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

F	G	H	I	J
$Q_e$	$Q_e$	$Q_e$	$Q_e$	$Q_e$
+4.304 kN	+8.608 kN	+19.895 kN	-0.437 kN	-0.492 kN

Total sila na krov površina (suma svih površina)  $F = 36.2 \text{ kN}$

Total moment od sile na krov oko lijevog ruba  $M_y = 84.7 \text{ kNm}$

Total moment od sile na krov oko desnog ruba  $M_x = 271.4 \text{ kNm}$

## Vjetar sile na dvostrešni krov, vjetar smjer: 90.00

### Vjetar pritisak koef. s Cpe

vjetar smjer:  $\theta=90.00$

$b=7.00\text{m}$ ,  $d=15.00\text{m}$ ,  $h=9.50\text{m}$ ,  $e=\min(b,2h)=7.00\text{m}$

$e/4=1.75\text{m}$ ,  $e/10=0.70\text{m}$ ,  $e/2=3.50\text{m}$

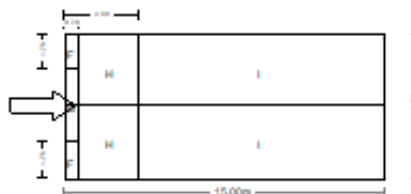
Nagib krova:  $\alpha=46.000$

Zona : F,  $A= 1.76\text{m}^2$ ,  $C_{pe,10}=-1.10$ ,  $C_{pe,1}=-1.50$

Zona : G,  $A= 3.53\text{m}^2$ ,  $C_{pe,10}=-1.39$ ,  $C_{pe,1}=-2.00$

Zona : H,  $A= 28.22\text{m}^2$ ,  $C_{pe,10}=-0.89$ ,  $C_{pe,1}=-1.19$

Zona : I,  $A= 115.88\text{m}^2$ ,  $C_{pe,10}=-0.50$ ,  $C_{pe,1}=-0.50$



### Vjetar pritisak na krov površine $w_{e,10}=q(z)\cdot C_{pe}=0.759 \times C_{pe}$ [kN/m<sup>2</sup>]

F	G	H	I
$w_{e,10}$	$w_{e,1}$	$w_{e,10}$	$w_{e,1}$
-0.835	-1.139	-1.053	-1.519
-0.678	-0.901	-0.380	-0.380

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

F	G	H	I
$Q_e$	$Q_e$	$Q_e$	$Q_e$
-1.473 kN	-3.714 kN	-19.140 kN	-43.997 kN

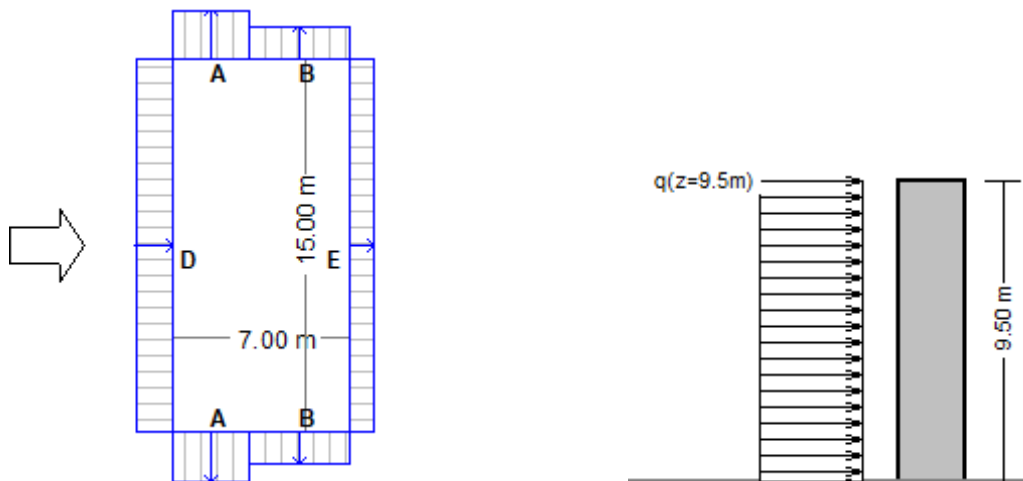
Total sila na krov površina (suma svih površina)  $F = -69.8$  kN

Total moment od sile na krov oko lijevog ruba  $M_y = -233.8$  kNm

Total moment od sile na krov oko vršnog ruba  $M_x = -442.8$  kNm

## Opterećenje vjetrom na vertikalne površine

### Exposure factor $C_e(z)$



Kategorija terena: III  $z=9.500\text{m}$ ,  $z_0=0.300\text{m}$ ,  $z_{\text{min}}=5\text{m}$ ,  $z_{\text{max}}=200\text{m}$ ,  $z_{0\text{II}}=0.050\text{m}$

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

$$C_r(z)=k_r \cdot \ln(z/z_0)=0.215 \times \ln(9.500/0.300)=0.744$$

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

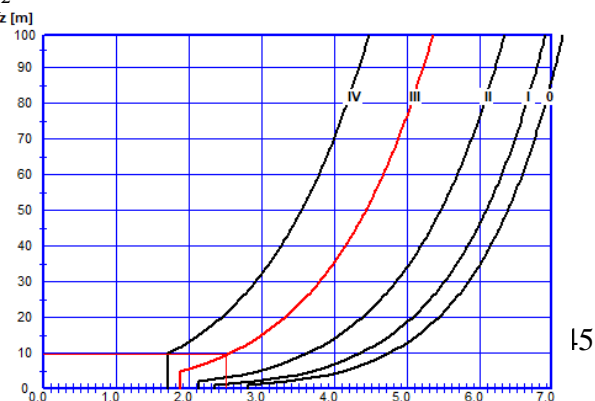
$$V_b=22.00\text{m/sec}$$

$$z=9.50\text{m}, C_r(z)=0.744, C_0(z)=1.345, K_t=1.000$$

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

$$c(z)=2.510$$

$$q(z)=[10^{-3}] \times 2.510 \times 0.625 \times 22.00^2 = 0.76 \text{ kN/m}^2$$



## Vjetar sile na vertikalne zidove

### Vjetar pritisak koef. $C_{pe}$

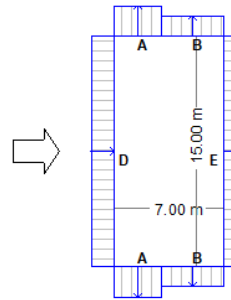
$$h/d=9.50/7.00=1.357, e=15.00\text{m}$$

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

Zone : B, ( 4.00xh),  $C_{pe,10}=-0.80$ ,  $C_{pe,1}=-1.10$

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

Zone : E, ( 15.00xh),  $C_{pe,10}=-0.52$ ,  $C_{pe,1}=-0.52$



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

	A		B		D		E	
	$w_{e,10}$	$w_{e,1}$	$w_{e,10}$	$w_{e,1}$	$w_{e,10}$	$w_{e,1}$	$w_{e,10}$	$w_{e,1}$
$z= 9.50 \sim 0.00\text{m}$ ,	-0.911	-1.063	-0.607	-0.835	0.607	0.759	-0.393	-0.393

### Vjetar sile na zid površine $F_w=w_e \cdot A$ [kN]

	A(3.00m)		B(4.00m)		D(15.00m)		E(15.00m)	
	$z_c$ [m]	$dz$ [m]	$F_w$ [kN]	$F_w$ [kN]	$F_w$ [kN]	$F_w$ [kN]	$F_w$ [kN]	$F_w$ [kN]
$z= 9.50 \sim 0.00\text{m}$ ,	4.75	9.50	-25.969	-23.084	86.564			-56.035

### Vjetar sile [kN] na zid površine, i momenti [kNm] obzirom na bazu

Zone : A, Sila  $F_w= -25.97$  kN,  $z_c= 4.75\text{m}$ , Moment  $M_w=z_c \cdot F_w= 123.35$  kNm

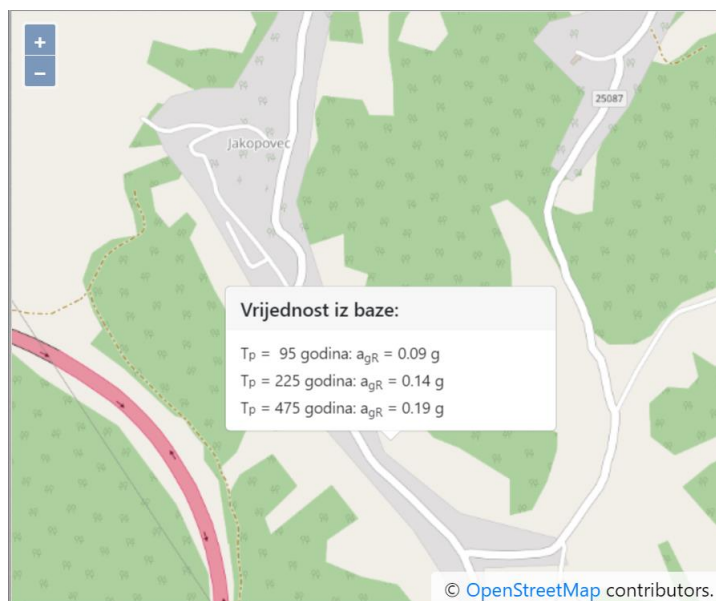
Zone : B, Sila  $F_w= -23.08$  kN,  $z_c= 4.75\text{m}$ , Moment  $M_w=z_c \cdot F_w= 109.65$  kNm

Zone : D, Sila  $F_w= 86.56$  kN,  $z_c= 4.75\text{m}$ , Moment  $M_w=z_c \cdot F_w= 411.18$  kNm



Zone : E, Sila  $F_w = -56.03$  kN,  $z_c = 4.75$  m, Moment  $M_w = z_c \cdot F_w = 266.17$  kNm

**c) Potresno opterećenje**



Slika 42. Iznosi horizontalnih vršnih ubrzanja tla tipa C ( $a_{gR}$ ) za povratna razdoblja od  $T_p = 95$  i 475 godina izraženih u jedinicama gravitacijskog ubrzanja ( $1 g = 9.81$  m/s<sup>2</sup>) – Izvor: <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	—	—	—

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

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

Tip tla	S	$T_P$ (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  $\alpha_g = 0.190xg$

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

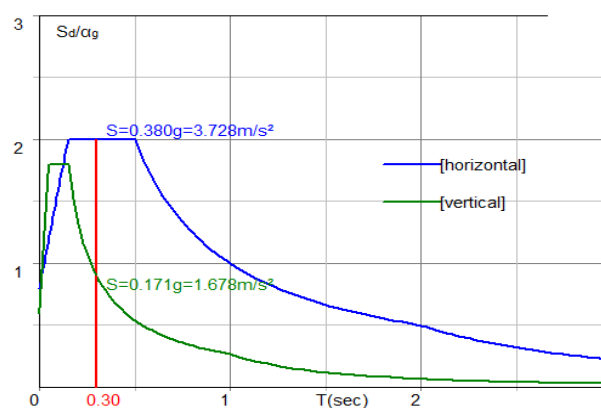
$T_c = 0.50$  sec

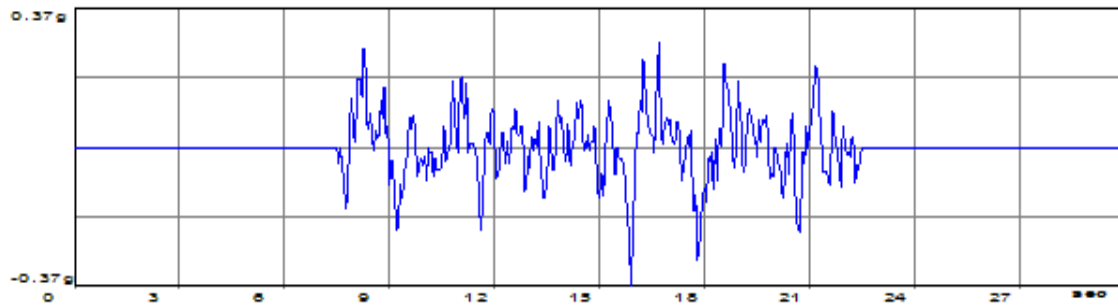
$T_d = 2.00$  sec

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

$T_{vc} = 0.15$  sec

$T_{vd} = 1.00$  sec





### Horizontalni elastična spektar odziva $S_d(T)$

$$0.00 \leq T < 0.15: S_d(T) = 0.190 \times 1.20 \times [2/3 + (T/0.15) \times (2.5/1.50 - 2/3)]$$

$$0.15 \leq T < 0.50: S_d(T) = 0.190 \times 1.20 \times (2.5/1.50)$$

$$0.50 \leq T < 2.00: S_d(T) = 0.190 \times 1.20 \times (2.5/1.50) \times [0.50/T]$$

$$2.00 \leq T < 4.00: S_d(T) = 0.190 \times 1.20 \times (2.5/1.50) \times [0.50 \times 2.00/T^2]$$

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

$$0.00 \leq T < 0.05: S_{vd}(T) = 0.90 \times 0.190 \times 1.0 \times [2/3 + (T/0.05) \times (3.0/1.50 - 2/3)]$$

$$0.05 \leq T < 0.15: S_{vd}(T) = 0.90 \times 0.190 \times 1.0 \times (3.0/1.50)$$

$$0.15 \leq T < 1.00: S_{vd}(T) = 0.90 \times 0.190 \times 1.0 \times (3.0/1.50) \times [0.15/T]$$

$$1.00 \leq T < 4.00: S_{vd}(T) = 0.90 \times 0.190 \times 1.0 \times (3.0/1.50) \times [0.15 \times 1.00/T^2]$$

## 5. Prijedlozi i načini sanacije

Opisana oštećenja u ovom radu svakojake su naravi i na raznim mjestima. U suštini, ona se protežu cijelim konstruktivnim sustavom kapele. Najveća oštećenja detektirana su na vanjskim nosivim zidovima (sjevernom i južnom).

U tom smislu i nastavno na sve navedeno, sanacije koje će se izvesti moraju pokriti različite tipove oštećenja i različite tipove konstrukcija. Ni jedan od navedenih dijelova zgrade ne bi se pri tom smio zanemariti.

Od iznimne je važnosti zgradi dati novi nosivi sustav, odnosno, današnje metode integrirati u postojeći sustav zgrade.

Najvažniju ulogu u sanaciji svakako će imati hitna sanacija temelja i temeljnog tla kapele kao mjera hitne stabilizacije nosivog temeljnog sustava zgrade koji je znatno narušen potresom koji je ubrzao reološke procese padine sa tri strane kapele.

U daljnjem tekstu bit će detaljno objašnjene metode i mjere hitne sanacije kao i redoslijed kojim bi se one trebale izvoditi.

### 5.1. Sanacija nosivih konstruktivnih dijelova zgrade

Kao što je detaljno opisano u svim poglavljima rekognosciranja zgrade, oštećenja na nosivom sustavu konstrukcije zgrade su znatna i ozbiljnijeg karaktera. Većina oštećenja okarakterizirana je kao tip oštećenja II. - III., odnosno umjerena oštećenja (lagana strukturalna oštećenja, umjerena nestrukturalna oštećenja) koja podrazumijevaju pukotine u mnogim zidovima, a korištenje objekta okarakterizirano je kao Ograničeno korištenje.

Svrha sanacije jest da se sve konstruktivne komponente zgrade (temelji, stupovi, grede, zidovi, stropovi, krovne grede i rogovi) povežu jedna s drugom u 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 pojačanja konstrukcije zgrade u sebi moraju sadržavati:

- Čvrstoću

Čvrstoćom nosivih elemenata se konstrukcija odupire dinamičkoj sili uzrokovanj 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 mjere, odnosno one trajne, tj. kompletnu sanaciju.

**Kratkoročne mjere sanacije:**

- Zatezanje ili nanošenje zatega/kabli
- Pregrade i zaštita prolaza
- Podupiranje oštećenog nosivog sustava (grede, serklaži, stropovi)

**Dugoročne mjere sanacije:**

- Rušenje oštećenih zidova, te zamjena i gradnja novih
- Uklanjanje oštećenih dijelova zidova, jače povezivanje s temeljima, ugradnja nove armature i kompletna obnova
- Hitna sanacija temelja i temeljnog sustava ugradnjom injektiranih cijevnih mikropilota
- Izgradnja i ugradnja novog nosivog sustava zgrade
- Povezivanje i uklapanje novoizgrađenog vertikalnog nosivog sustava u horizontalni sustav zgrade (vab vijenci, ab nadvoji, ab hor. serklaži)
- Dubinsko injektiranje nosivog zidnog sustava
- Izrada novih nadvoja i horizontalnih serklaža
- Postavljanje čeličnih kabli za prednaprezanje nosivih elemenata zgrade
- Ankeriranje zidova za vertikalne nosive strukture
- Ankeriranje i povezivanje drvenog krovišta (rogovi i grede te nazidnice)
- Krpanje pukotina i mjesta opadanja žbuke
- Ugradnja armaturnih mrežica u zidove (na obje strane zida), njihovo međusobno povezivanje te prekrivanje završnim slojevima

- Obnavljanje oštećenih zidova pojačanim armaturnim mrežicama te ugradnja kvalitetnog vežećeg sredstva koje ima smanjenu razinu stezanja
- Specijalni radovi: kabela ili zatezna prednaprezanja unutar (ili izvan) nosivog vertikalnog i horizontalnog sustava zgrade.

## 5.2. Sanacija nenosivih dijelova zgrade

Iako nisu nosivi dijelovi strukture zgrade, pregradni zidovi, zidne obloge, prozori, vrata i sl. uvelike pridonose homogenosti i cjelokupnosti cijelog konstruktivnog sustava.

### Dugoročne mjere sanacije:

- Rušenje oštećenih zidova, te zamjena i gradnja novih
- Rušenje odvojenih pregradnih zidova te obnova s pojačanjima u strukturi te povezivanja s nosivim sustavom (nosivim zidovima, serklažima itd.)
- Zamjena keramičkih pločica na ulazima, kupaonicama i kuhinjama,
- Zamjena oštećenih prozora i vrata novima,
- gletanje i prikriivanje površinskih pukotina slabijeg i neopasnog intenziteta
- Pregled i kontrola cjelokupnih instalacija od strane strojarskih i elektroinženjera te popravak i zamjena potrebnih
- Kompletan popravak i navlačenje novog fasadnog sustava na dijelove koje dozvole konzervatori i u dogovoru s njima
- Zamjena pokrova na oštećenim dijelovima krovišta
- Uređenje okoliša dvorišta

## 5.3. Temelji i temeljno tlo kapele

### KONCEPT SANACIJSKOG RJEŠENJA

Kao što je kroz ranija poglavlja rečeno, najvažniju ulogu u sanaciji svakako će imati hitna sanacija temelja i temeljnog tla kapele kao mjera hitne stabilizacije nosivog temeljnog sustava zgrade koji je znatno narušen potresom koji je ubrzao reološke procese padine sa tri strane kapele.

Glavne pukotine nosivog sustava sjevernog i južnog zida nastale su zbog potresom potaknuto ubrzanih reoloških procesa puzanja koji se već dugi niz godina (desetljeća) događaju u temeljnom

tlu kapele. Sama blizina kapele tim zasjecima i padinama uvelike ugrožava njezinu stabilnost dok je potres samo pridonio i ubrzao reološke procese u tlu.

Vertikalne zidne pukotine o kojima je ranije bilo riječi direktan su produkt potresa, njegovog utjecaja na padinu te ubrzavanje reoloških procesa u tlu (pomicanje čestica tla u smjeru padine). Hitnim mjerama sanacije svakako bi se trebalo stabilizirati temelje i temeljno tlo kapele jer će se u suprotnom vertikalne pukotine i dalje širiti bez obzira na njihovu sanaciju (injektiranjem i drugim metodama).

Osnovno je i od svega najvažnije, da je ovdje prezentirano sanacijsko rješenje koje se sastoji od ugradnje mikro-pilota (ojačanje temeljnog tla ispod temelja zgrade i to injektiranjem kroz čelične cijevi).

Ojačanjem temeljnog tla postiže se otpornije tlo na djelovanja vode i suše, tj. tlo koje je manje stišljivije odnosno ovim bi se zaustavila daljnja slijeganja i puzanja tla.

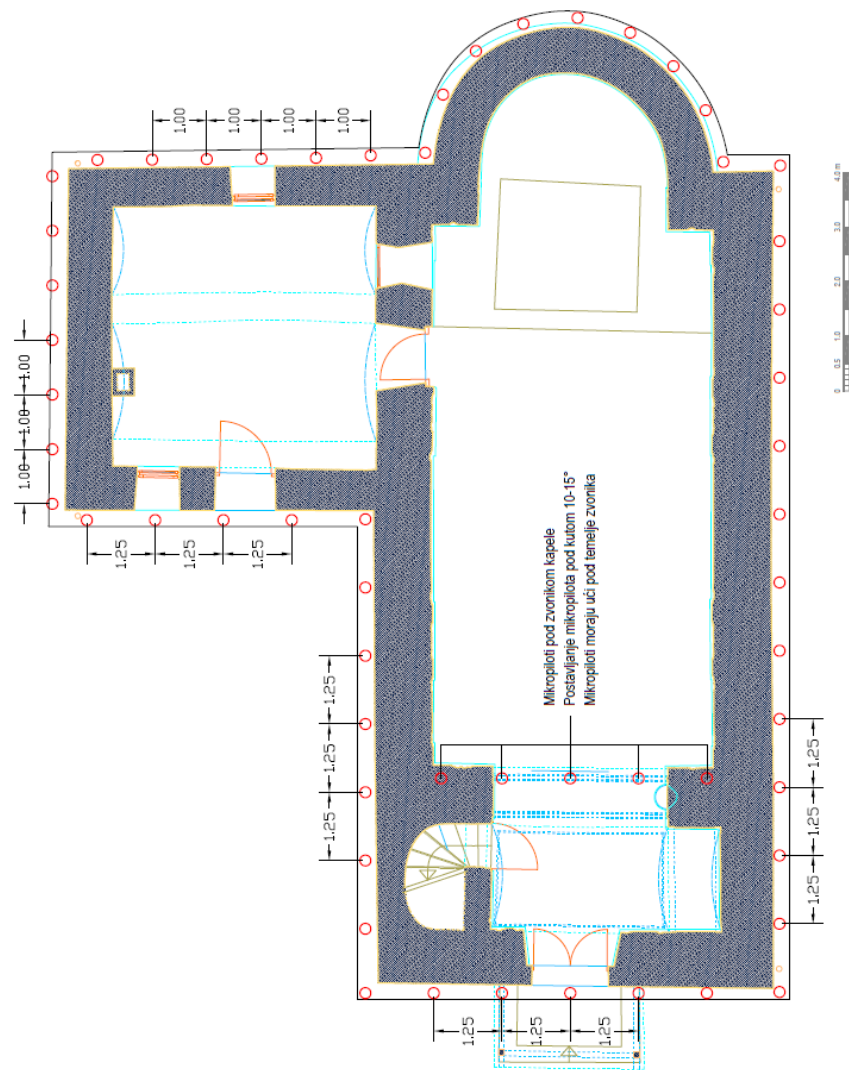
Sažeto rečeno, obzirom na značajnu tehničku dijagnozu, a imajući u vidu i ostale okolnosti koje karakteriziraju dotičnu lokaciju, postavljen je slijedeći koncept sanacijskog rješenja u naznačenom redoslijedu:

- Iskop tla do određene dubine uz temelje u kampadama;
- Bušenje bušotina promjera do 150 mm;
- Umetanje perforiranih čeličnih cijevi promjera 108 mm, stijenke debljine 4 mm;
- Ugradnja potrebnih elemenata brtve i pakera;
- Injektiranje pod tlakom uz utrošak injekcijske smjese.

## CIJEVNI MIKROPILOTI

HRN EN 14199:2008 Izvedba posebnih geotehničkih radova -- Mikropiloti (EN 14199:2005);  
Execution of special geotechnical works -- Micropiles (EN 14199:2005)

Ukupno 57 mikropilota  
L=5,0-6,0m (još ovisno o geometriji)



Slika 43. Tlocrtni raspored mikropilota i naglavne grede u i oko kapele (idejni koncept)

Faze radova:

- Bušenje i umetanje mikropilotske zašiljene cijevi promjera 4 do 5 cola je vrlo jednostavno. Djelotvorna mjera je injekcijski zahvat koncipiran tako da se postigne injekcijsko prednaprezanje kontaktne zona između pilota i okolnog tla.
- Brtvi se prstenasti međuprostor između cijevi i okolnog tla na segmentu duljine 1 do 2 m ispod površine terena. Kada se brtva uspostavi, prelazi se na pripremu i izvođenje injekcijskog zahvata.



Navedeni efekt ima pozitivan utjecaj na nosivost pilota s dva aspekta:

- Stvrdnuta injekcijska smjesa izložena je uvećanom tlačnom prostornom naprezanju (prednaprezanju) što joj povećava otpornost na rascjep.
- Tlo oko konture mjehura nalazi se u povišenom stanju kompresije, što ima za posljedicu smanjenje poroziteta, a time i smanjenje deformabilnosti, što znači i povećanje nosivosti.

Koncepcija mikropilotiranja (ugrađena čelična cijev kroz koju se naknadno provodi injekcijski zahvat) može u mnogim situacijama predstavljati brzo, jeftino i efikasno rješenje.

Faze radova:

- Bušenje bušotina promjera do 200 mm;
- Umetanje perforiranih čeličnih cijevi dužine 5,0 - 6,0 m promjera 133 mm, debljine stijenke 4 mm;
- Ugradnja brtve između čelične cijevi i stijenke bušotine, te ugradnja gumenog pakera;
- Injektiranje cementnom suspenzijom pod tlakom.

Nakon postavljanja cijevi i završetka brtvljenja pristupa se izradi injekcijske smjese te ostalim radovima neophodnim za rad na injekcijskom zahvatu.

Nakon postavljanja pakera i postavljanja brtve utiskuje se injekcijska smjesa pod pažljivo prilagođenim radnim tlakom. Pod tim tlakom injekcijska smjesa izlazi iz cijevi (kroz perforacije), no zbog velike gustoće (a time i znatne viskoznosti) injekcijska se smjesa kao utisnuti fluid ne može širiti u okolno tlo.

Za uspješnu izvedbu mikropilota značajnu ulogu ima injekcijska smjesa, točnije sastav injekcijske smjese te gustoća  $\rho$  koja ovisi o vodocementnom faktoru, tj. omjeru miješanja vode i cementa  $v/c$ . Kod injekcijskih smjesa primjenjuje se  $v/c$  od 0,40 pa na više.

Zbog kapaciteta opreme u kojoj se miješa injekcijska smjesa poželjno je znati količine ostalih tvari na 100 kg suhe tvari.

Tablica 3. Sastav i svojstva injekcijske smjese na 100 kg suhe tvari cementa

Vrsta tvari	Masa [kg]	Specifična gustoća $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Obujamska količina [l]
Voda	42	1,0	42
Dodatak za bubrenje	0,50	3,0	0,17
Cement	100	3,05	33

Tijekom realizacije sanacijskih radova preporuča se česta nazočnost projektanta geotehničara (u funkciji direktivnog, a za osjetljive radne faze i stalnog nadzora) jer je to jedina stvarna garancija da će radovi biti izvedeni svrsishodno, a financijski optimalno, jednom riječju racionalno, te naročito jer se realno može očekivati višekratna potreba adaptacija postojećih projektnih rješenja prema zahtjevima aktualnog stanja na terenu.

#### **5.4. Prijedlog konstruktivnih mjera sanacije**

U nastavku su dani određeni primjeri moguće sanacije konstruktivnog nosivog i nenosivog sustava zgrade. Potrebno je imati na umu da će i cijena sanacije varirati ovisno o metodi izbora sanacije. Za predvidjeti je da će sanacija posebnim materijalima (posebne injektirajuće smole i sl.) koštati više nego običnim materijalima i metodama (cementni mort, armaturne mreže i sl.), no uvelike je već danas dokazano da je takav tip sanacije (posebice zgrada pogođenim potresom) često najbrži, najekonomičniji, kompletan i svrsishodan. Svakako se preporučuje kombinacija suvremenih i klasičnih metoda, ovisno o stupnju i mjestu oštećenja kako i prioritetu sanacije.

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.

Zbog samog tipa zgrade, njene starosti, konzervatorske vrijednosti te materijala i načina na koji je crkva građena, osnovni tip predložene sanacije u nastavku će se također oslanjati na te iste metode (injektiranje nosivog sustava – zidovi, lukovi, svodovi).

Ostale predložene metode služe za prikaz investitoru i izvođaču u slučaju odluke i mogućnosti za kombinaciju navedenih metoda.

U slučaju kapele Sv. Jakoba i njene konzervatorske vrijednosti (cjelokupna unutrašnjost, zidovi i svodovi u lađi i svetištu i korska ograda ukrašeni su žbukorezom koji je izveo varaždinski slikar Julije Merlić godine 1949), bit će bitno radove na sanaciji unutrašnjosti svesti na minimum, odnosno kompletnu sanaciju odraditi što je više moguće s vanjske strane kapele. U samoj unutrašnjosti sanacijske radove trebalo bi izvoditi na mjestima gdje su oni neophodni, sa što većom pažnjom i zaštitom Merličevog žbukoreza. U tom smislu, sve radove treba izvoditi uz stalni nadzor i upute nadležne konzervatorske službe.

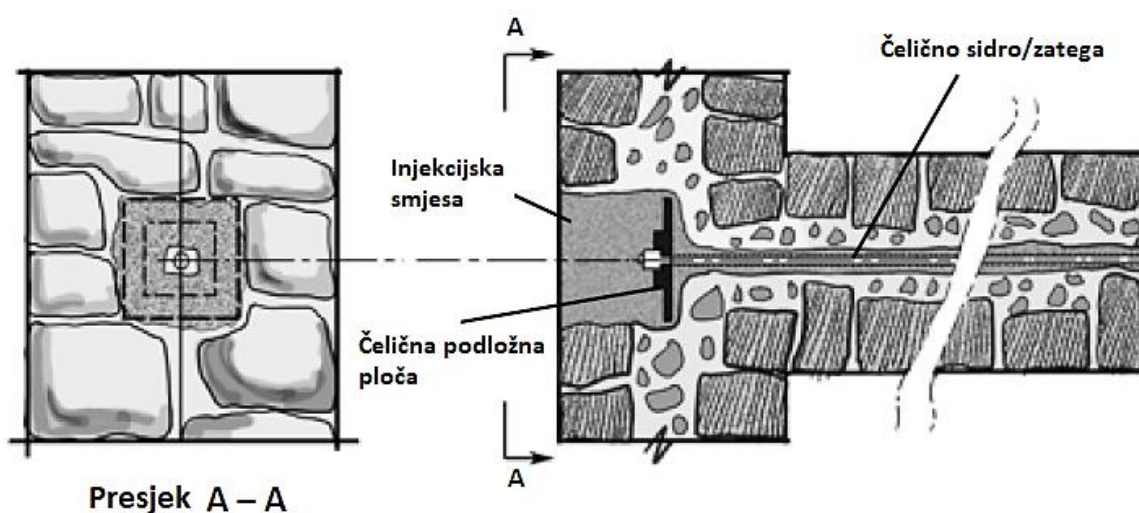
## 5.5. Zidovi i stropovi (svodovi i lukovi) kapele

Za sanaciju svodova i lukova kapele bit će potrebno postaviti radnu prenosivu skelu na visinu dohvata evidentiranih sistema pukotina. Bitno je da skela bude pokretna kako bi se mogla seliti po mjestima i fazama injektiranja svodova i zidova crkve. Unutarnju skelu je potrebno postaviti izasebno od vanjske skele, ovisno o poziciji te tipu i vrsti rada na sanaciji.

Nakon toga, sve evidentirane pukotine (te pukotinske sustave) potrebno je injektirati te sanirati prema detaljima u nacrtima i troškovniku Projekta hitne obnove.

Veze između zidova koji se sijeku mogu se ojačati ugrađivanjem vodoravnog stegnutog čeličnog sidra/zatege u rupu od cca 60 mm probušenu kroz zid na tom dijelu. Šipka je spojena na zid pomoću epoksidne žbuke. Vanjske čelične ploče i matice ugrađene su i prekrivene injekcijskom masom radi očuvanja vanjskog izgleda zida. Ova tehnika korištena je za naknadnu ugradnju kamenih zidanih zidova u Italiji nakon potresa u Moliseu 2002. (Maffei i sur. 2006.). Ova je tehnologija idealna za primjenu u kamenim zgradama od povijesne važnosti.

Kad su križanja zidova ozbiljno oštećena, bolje je obnoviti te oštećene dijelove. To zahtijeva pružanje privremene potpore za pod ili krovnu konstrukciju iznad zida. Posebnu pozornost tada je potrebno posvetiti postizanju čvrste veze između novog i postojećeg dijela zida.



Slika 44. Ugradnja prednapregnutih čeličnih sidara za poboljšanje veza između zidova koji se sijeku

## **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.

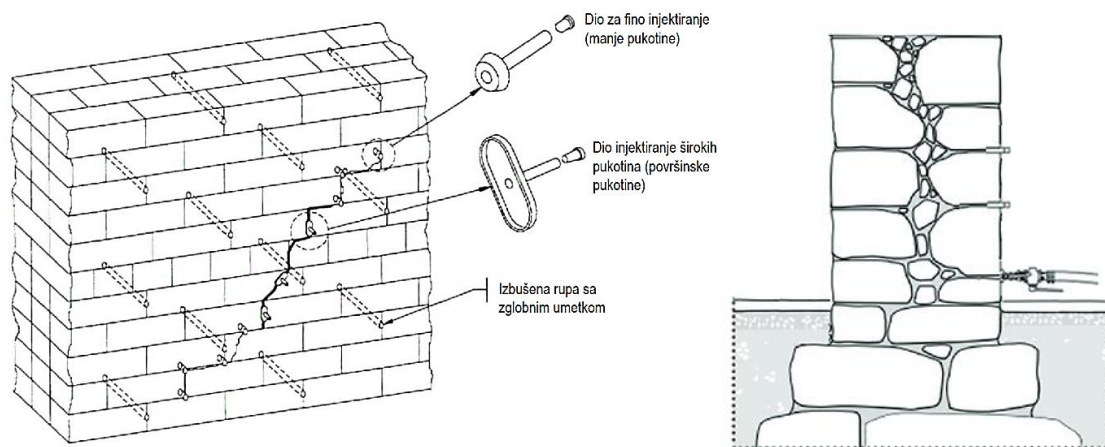
Sam postupak injektiranja uključuje analizu postojećeg stanja okoliša oko i ispod objekta, bušenje rupa, pozicioniranje kopalja za injektiranje i naravno educiranog i ovlaštenog izvođača za rukovanje alatima za injektiranje.

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.

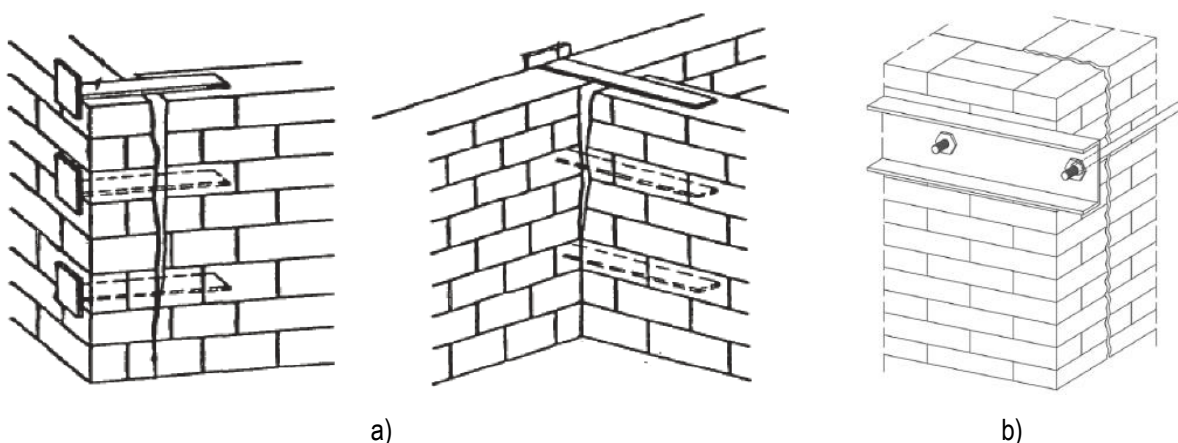


Slika 45. Shematski prikaz injehtiranja zidova od opeke (lijevo) te kamena (desno)

### 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 povezali zidovi koji su se odvojili zbog potresa mogu se upotrijebiti skobe poput lastina repa, metalne ploče ili polimerne mreže.

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 pokrивaju mrežicom i žbukom ili slično.



Slika 46. Mogući načini povezivanja nosivih zidova

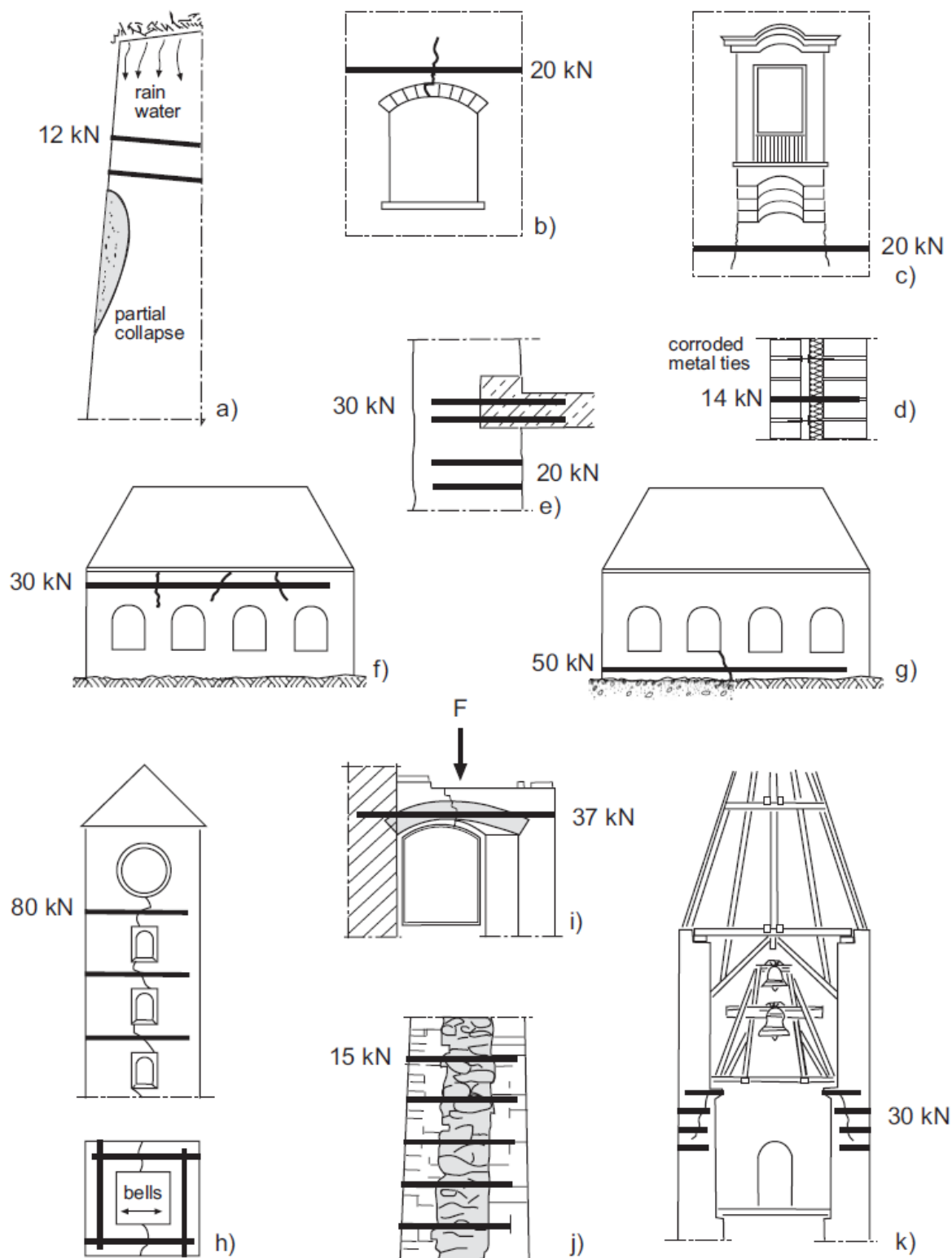
(a) Povezivanje međusobno okomitih zidova metalnim pločama (skobe)

(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 savjet Projektanta te Konzervatora pa se tijekom projektiranja sanacije odlučiti za neke od njih. Napominjemo da je za određenu vrstu oštećenja dato 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.

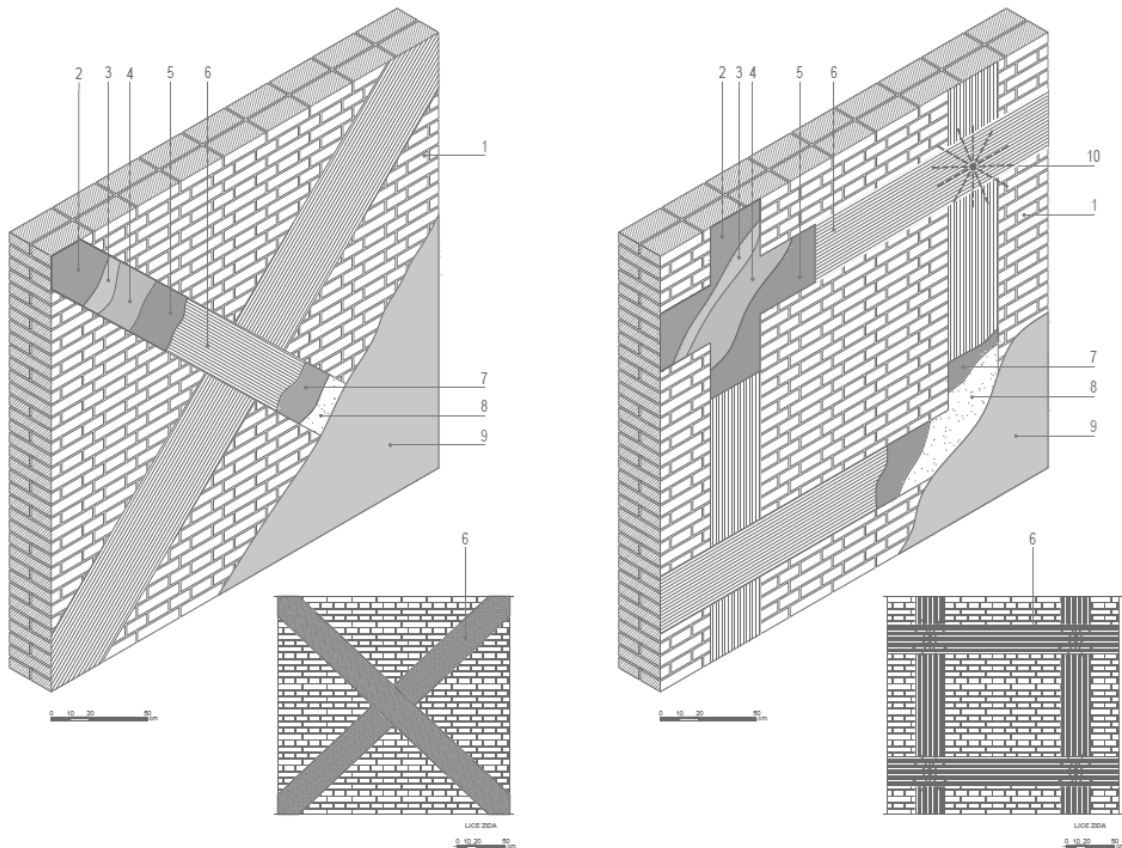
Predloženim metodama i rješenjima to je svakako moguće postići.



Slika 47. 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

## OJAČANJA NOSIVIH ZIDOVA

- Postupak ojačanja zidova od opeke karbonskim vlaknima

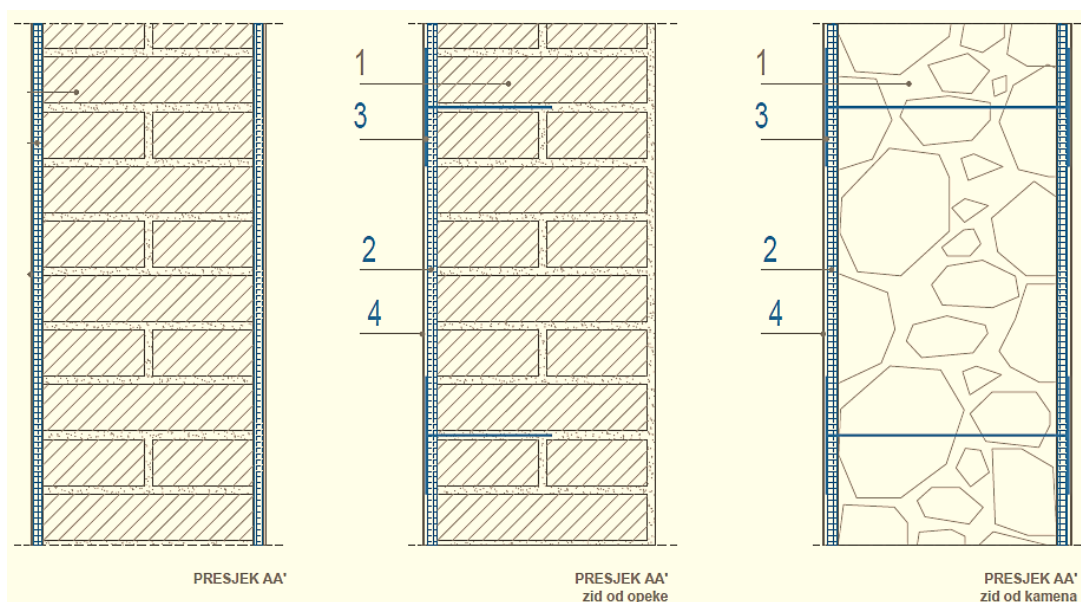


Slika 48. Posmično/vlačno i kombinirano tlačno/savojno ojačanje za nosive zidove (kamen, cigla i tuf) može se izvesti primjenom tkanina iz linije FRP SUSTAVA.

- Postupak ojačanja zidova od opeke armiranjem i sidrenjem

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 121). 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 preporučuje izvesti s obje strane zida.

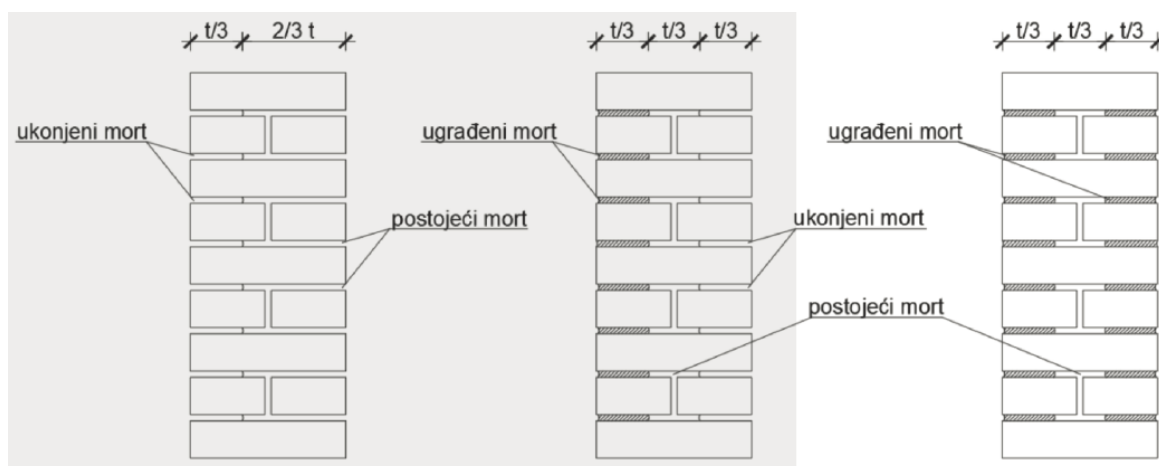




Slika 49. Ojačanje nosivog i/ili pregradnog zida od opeke, kamena ili tufa. Način ojačanja: 1. Postojeći zid od opeke; 2. Mrežica FRCM sustava ili obična ČBR mreža; 3. Sidrenje od posebnog užeta ili obična čelična šipka  $\phi 6$  ili 8; 4. Posebne ili obične vrste cementne žbuke.

- Djelomična zamjena morta u sljubnicama (zabatni zidovi)

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 33).

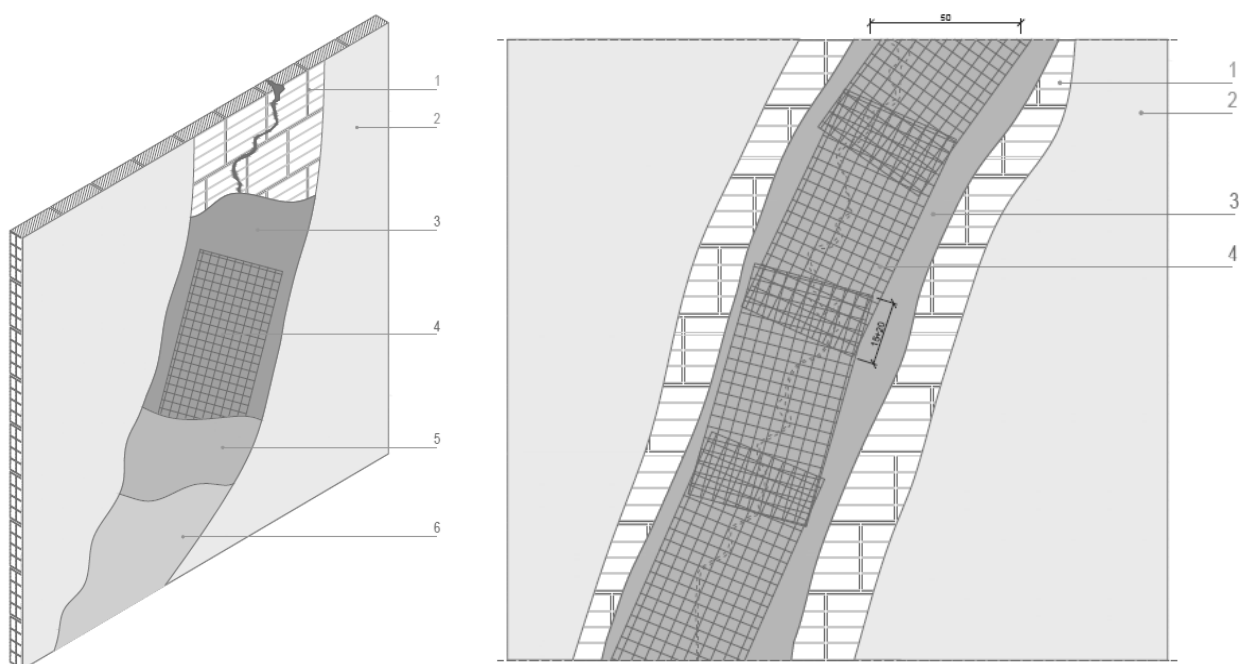


Slika 50. Djelomična zamjena morta u sljubnicama zidova

## POPRAVAK PUKOTINA

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.

Ovu metodu poželjno je kombinirati sa metodom injektiranja pukotina.



Slika 51. 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

## 6. Osvrt na predmetnu građevinu

Pregledom i analizom utvrđeno je da je nosiva konstrukcija predmetne građevine oštećena uslijed djelovanja potresa sa epicentrom u Petrinji. Samim time ista ne ispunjava temeljne zahtjeve za građevinu.

Svrha sanacije jest da se sve konstruktivne komponente zgrade (temelji, stupovi, grede, zidovi, stropovi, krovne grede i rogovi) povežu jedna s drugom u integralnu cjelinu, kako bi se, u slučaju novog potresa, zgrada ponašala kao jedna integralna cjelina. Osim toga, sama statička stabilnost zgrade se znatno povećava. Vertikalne pukotine vanjskih zidova koje se prenose na unutrašnjost ne omogućavaju sigurnost i pristupačnost, a najbitnije, ne ispunjavaju zahtjeve mehaničke otpornosti i stabilnosti. Postoji opasnost od urušavanja dijelova građevine i ugrožavanja života korisnika.

Sanacijsko rješenje za temeljno tlo uključuje ojačanje temeljnog tla ispod temelja zgrade, injektiranjem cementne smjese kroz čelične cijevi, s čim bi se zaustavila daljnja slijeganja i puzanja tla.

Tehnika izrade mikropilota razvila se iz potrebe izvedbe pilota na mjestima gdje je teško doprijeti u tlo glomaznim strojevima, kao npr. kod sanacije starih temelja kada je potrebno raditi u niskim podrumima. Osim te primjene mikropiloti su u upotrebi kao mjera poboljšanja temeljnog tla. Nose razne nazive i izvode se na razne načine i od različitih materijala, ali se sve svodi na isto, tj. na stupove malih promjera izvedene na licu mjesta ili zabijene u tlo.[7]

Na lokaciji budućeg Društvenog doma u Maloj Gorici, nakon posljedica potresa, provodi se Pilot projekt – sanacije temeljnog tla metodom mikropilotiranja kojeg je objasnio docent Mario Bačić s Građevinskog fakulteta iz Zagreba: “Na ovoj ovdje lokaciji budućeg Društvenog doma, nakon potresa, osim što je došlo do narušavanja statike samog objekta, primijećeni su i određeni problemi s temeljnim tlom u vidu pojave likvefakcije koja je zamijećena na širem području Sisačko-moslavačke županije. Nedugo nakon potresa provedeni su detaljni geotehnički istražni radovi kojima se utvrdilo da temeljno tlo još uvijek ima potencijal likvefakcije, tako da bi se kod svakog sljedećeg objekta koji bi se tu izgradio – ako bi došlo do nekakvog naknadnog potresa, opet mogli pojaviti i problemi s temeljnim tlom. Zato je upravo ovaj novi objekt Društvenog doma odabran ustvari kao „pilot projekt“ sanacije temeljnog tla izvedbom metode mikropilotiranja, dakle dubokog temeljenja, gdje se „premošćuju“ slojevi koji mogu likvefirati i praktički se opterećenja prenose u dublje, bolje nosive slojeve.”[8]

Iz svega gore navedenog smatram da je metoda mikropilotiranja najbolje rješenje prvenstveno zbog što prenose opterećenje na dublje slojeve temeljnog tla koji su čvršći te im je nosivost do nekoliko puta veća od površinskih, kao i zbog ubrzanih procesa u tlu.

Kao što je prije navedeno, zbog konzervatorske vrijednosti kapele, želja je da se sanacija provede sa što manje radova na unutrašnjosti iste sa što većom zaštitom Merličevog žbukoreza.

Sve evidentirane pukotine (te pukotinske sustave) potrebno je injektirati te sanirati. Na mjestima gdje je došlo do pucanja objekta 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. Veze između zidova koji se sijeku mogu se ojačati ugrađivanjem vodoravnog stegnutog čeličnog sidra/zatege u rupu od cca 60 mm probušenu kroz zid na tom dijelu. Šipka je spojena na zid pomoću epoksidne žbuke. Vanjske čelične ploče i matice ugrađene su i prekrivene injekcijskom masom radi očuvanja vanjskog izgleda zida. Ova tehnika korištena je za naknadnu ugradnju kamenih zidanih zidova u Italiji nakon potresa u Moliseu 2002. (Maffei i sur. 2006.). Ova je tehnologija idealna za primjenu u kamenim zgradama od povijesne važnosti.

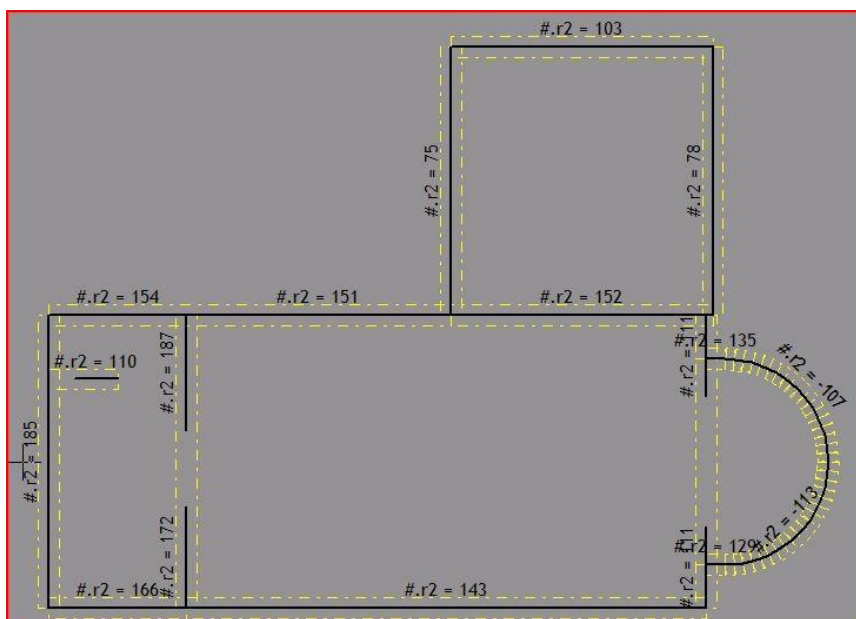
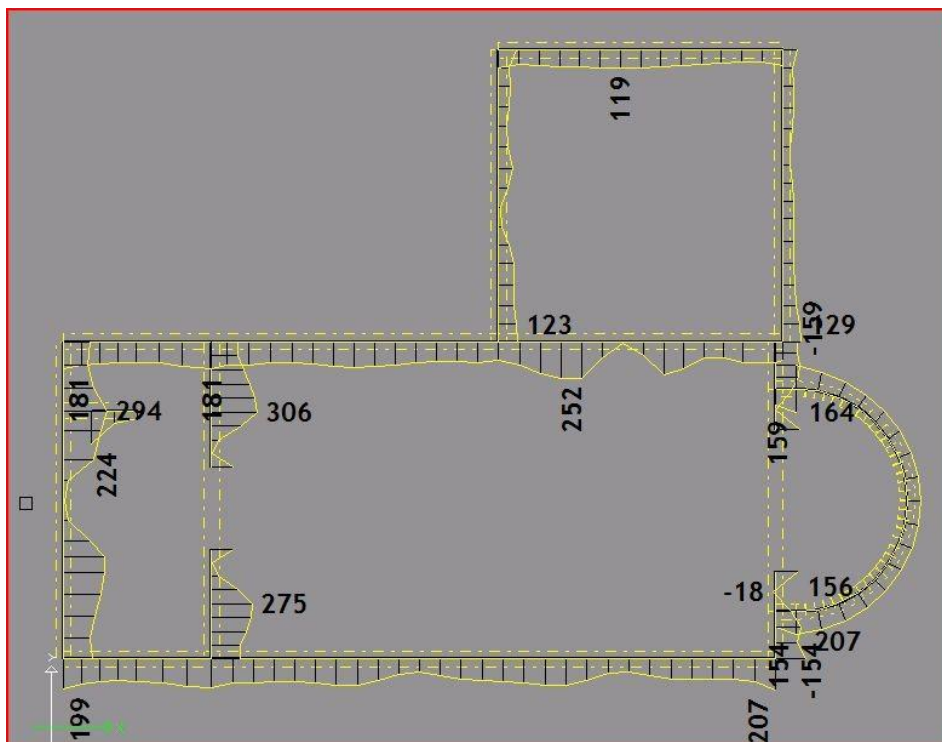
Kako bi se povezali zidovi koji su se odvojili potresom, mogu se upotrijebiti zatege koje završavaju na lastin rep, metalnim pločama ili polimernim mrežama. Takve ploče mogu biti jako učinkovite u ojačanju ugla, no ne mogu povratiti zidove u vertikalni položaj. Rascjep se zatim zapunjuje, a površine pokrivaju mrežicom i žbukom.

Smatram da je ovo najbolji način za realizaciju projekta i sanaciju kapele, te da će ista tijekom svog trajanja ispunjavati temeljne zahtjeve za građevinu.

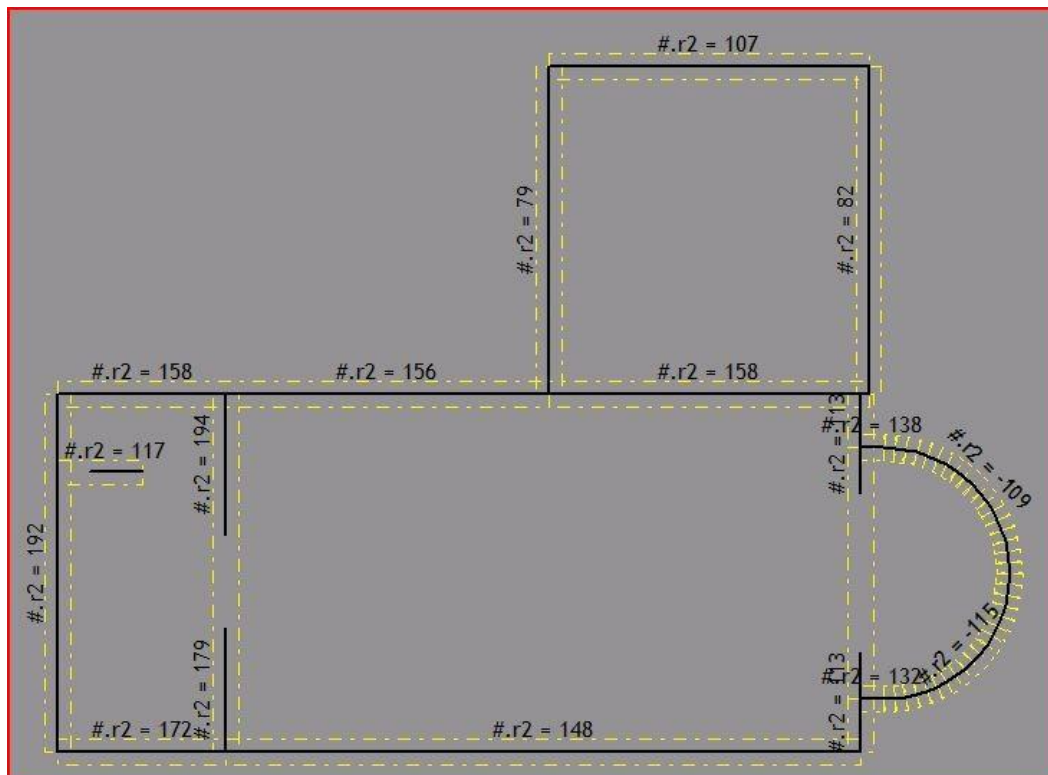
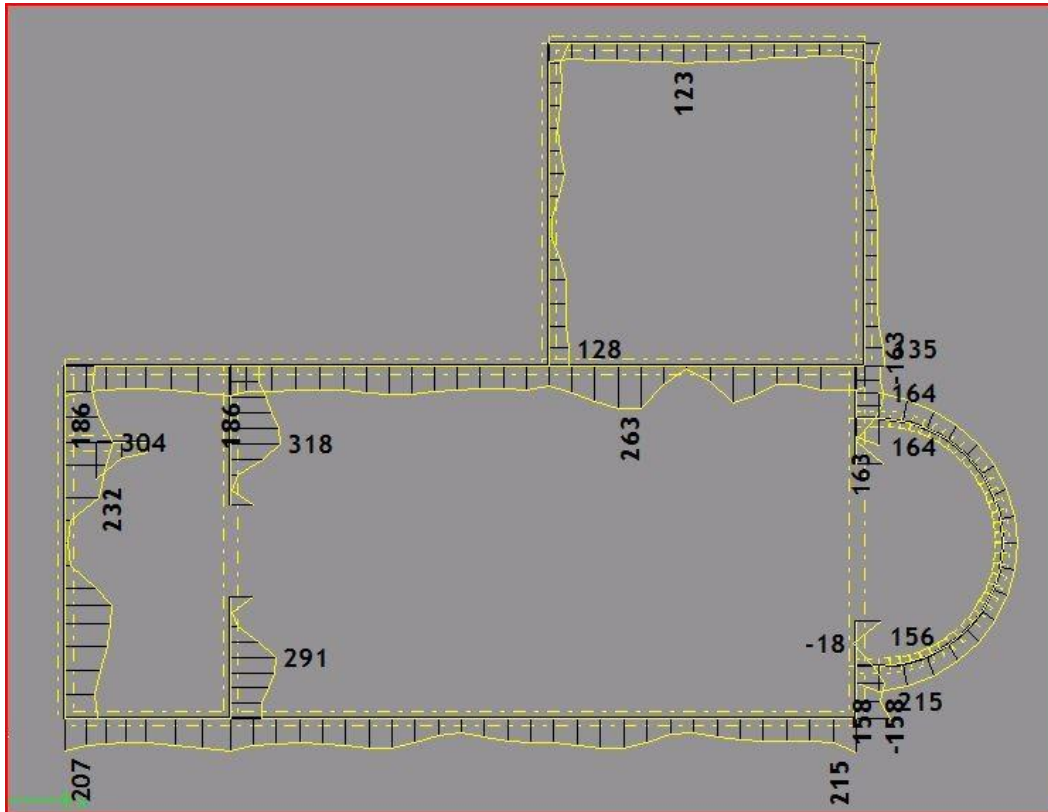
## 7. Osvrt na rezultate provedbe obnove

Prikazani su rezultati opterećenja na tlo pod kapelom u Jakopovcu za dva slučaja proračunske raspodjele (jednolika raspodjela opterećenja pod svakim zidom, te stvarna proračunska raspodjela s koncentracijama naprezanja), te za tri slučaja opterećenja (samo G, G+p+s, te anvelopa svih vertikalnih sila i potresa), sve za krute temeljne oslonce. To je gruba aproksimacija stvarnog naprezanja, ali se na temelju nje i rezultata geomehantičkog ispitivanja dobiju pretpostavke za dubinu i tlocrtni raspored mikropilota.

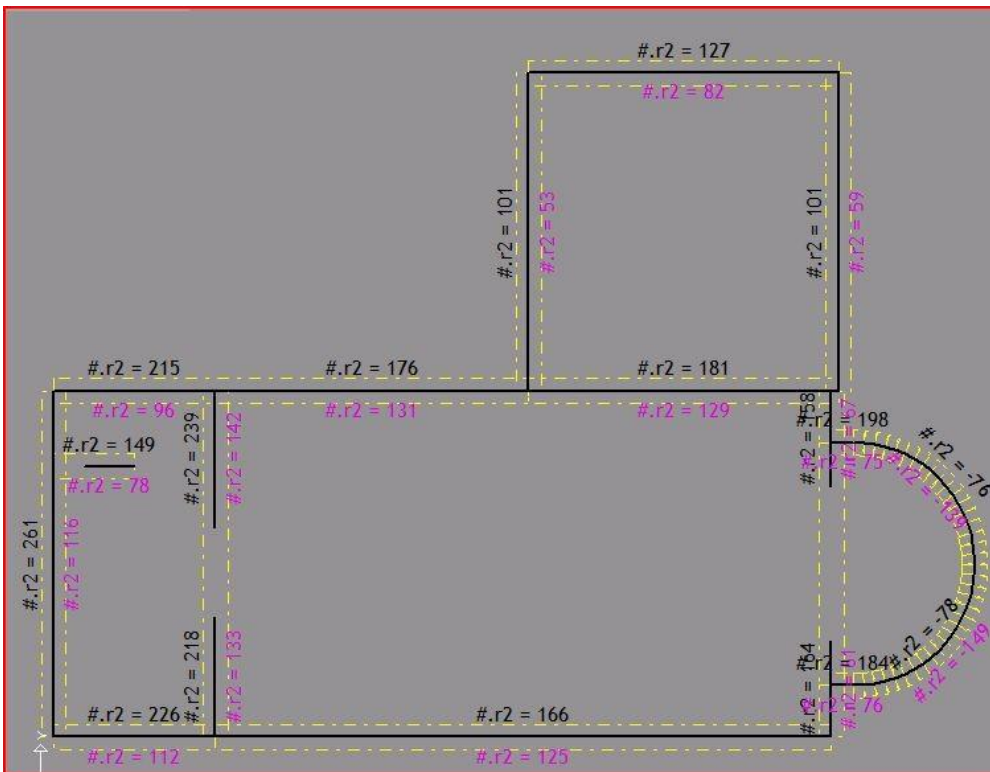
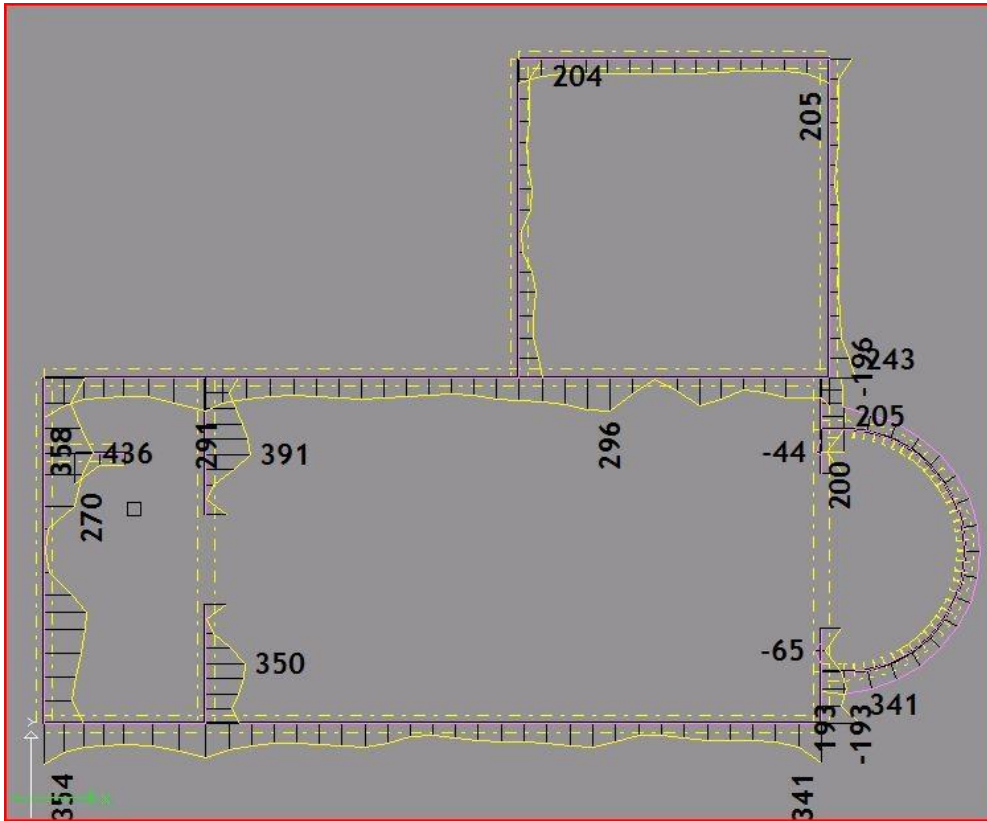
Za stalno opterećenje G:



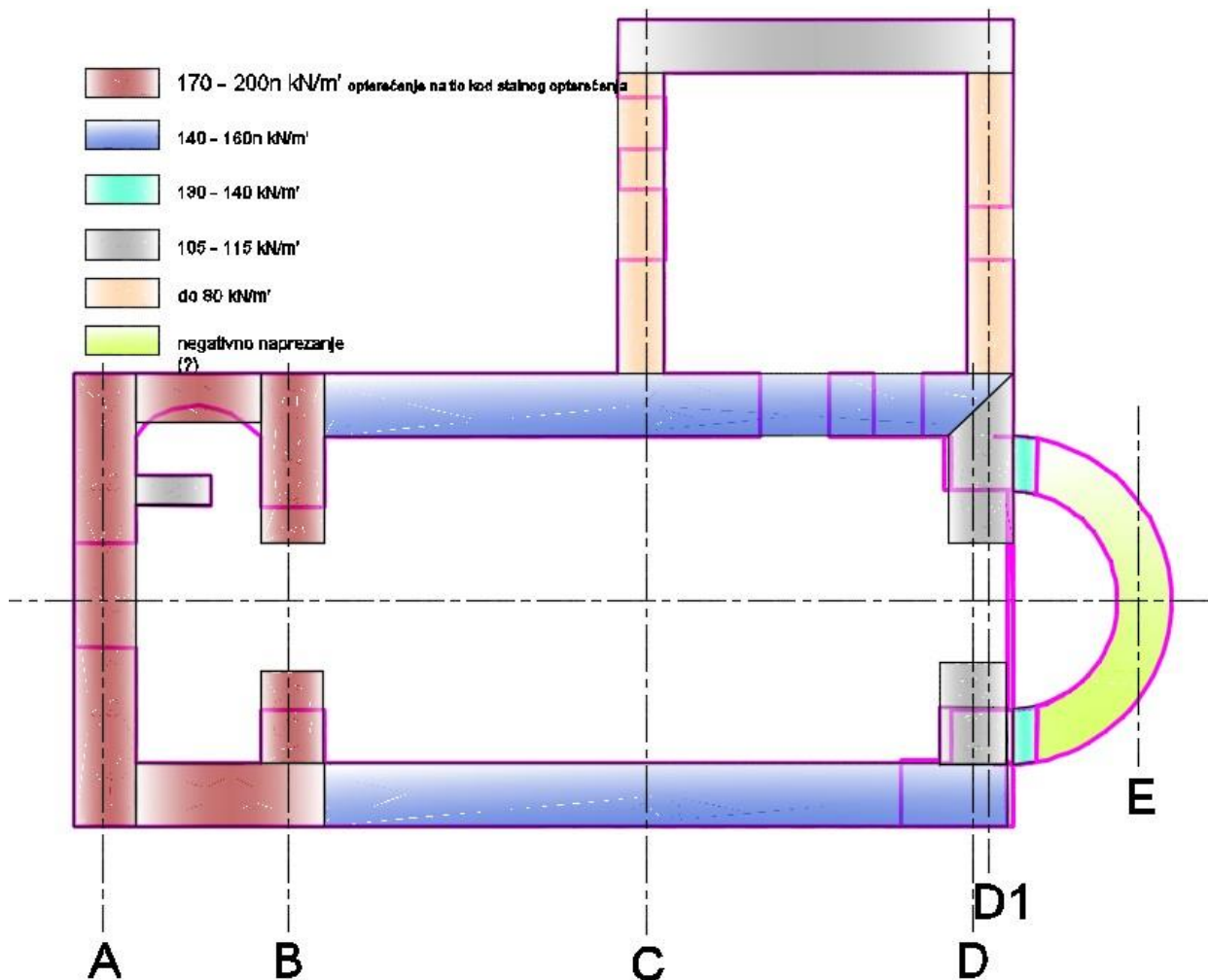
Za sva vertikalna opterećenja **G + p + s**:



Za anvelopu svih vertikalnih, te potresnog opterećenja anv.(G, p, s, S<sub>x</sub>, S<sub>y</sub>):



Analiza ovih naprezanja (kN/m') daje sliku intenziteta pod zidovima kapele, koja bi bila osnova za određivanje rasporeda mikro-pilota pod pojedinim zidovima:



Vidljivo je da su 4 zida koja nose toranj najopterećenija i tu bi piloti morali imati nosivost oko 200 kN da bi mogli biti na 1 m razmaka. Tri ostala uzdužna zida traže pilote nosivosti do 150 kN da također budu na 1 m razmaka. Ostali mogu biti manje nosivosti ili na većim razmacima.

Kopanja za naglavnu gredu i bušenja za mikro-pilote trebala bi biti, osim izvana, i u prostoru pod korom i u sakristiji.



## 8. Zaključak

### Vanjski dio kapele (vanjski nosivi sustav)

Vanjskim pregledom zgrade utvrđeni su vertikalni pukotinski sustavi znatnog intenziteta koji upućuju na gubitak strukturalnog integriteta zida, odnosno nosive konstrukcije. Ranijom anamnezom te samim rekognosciranjem crkve jasno je kako su nastale tijekom petrinjskog potresa, no njihov uzrok još leži i u samoj morfologiji terena te reološkim procesima koji se odvijaju u tlu.



(a)



(b)



(c)



(d)

Slika 52. Prikaz kapele i njenog okoliša

Sama blizina kapele tim zasjecima i padinama uvelike ugrožava njezinu stabilnost dok je potres samo pridonio i ubrzao reološke procese u tlu. Vertikalne zidne pukotine o kojima je ranije bilo riječi direktan su produkt potresa, njegovog utjecaja na padinu te ubrzavanje reoloških procesa u tlu (pomicanje čestica tla u smjeru padine). Ove vertikalne pukotine su duboke, prodiru u samu strukturu nosivog sustava te narušavaju njegov strukturalni integritet.

Najvažniju ulogu u sanaciji svakako će imati hitna sanacija temelja i temeljnog tla kapele kao mjera hitne stabilizacije nosivog temeljnog sustava zgrade koji je znatno narušen potresom koji je ubrzao reološke procese padine sa tri strane kapele.

Hitnim mjerama sanacije svakako bi se trebalo stabilizirati temelje i temeljno tlo kapele jer će se u suprotnom vertikalne pukotine i dalje širiti bez obzira na njihovu sanaciju (injektiranjem i drugim metodama).

Rješenje hitnih mjera sanacije temelja i temeljnog tla detaljno je izneseno kroz poglavlje 5.3.

### Unutrašnjost kapele

Oštećenja u unutrašnjosti kapele direktan su nastavak vanjskih oštećenja (sjeverni i južni zid) ali i ostalih dodatnih strukturalnih oštećenja koji se javljaju na lučnim elementima kapele.

Sam zvonik kapele predstavlja najveću masu u kapeli a posljedično i najveća naprežanja na temelje i temeljno tlo (koji su ugroženi progresivnim puzanjem tla!). Iz svega se može jasno zaključiti kako bi i kompletni sustav temelja i temelja dijelova ispod zvonika trebalo stabilizirati hitnim ranije spomenutim mjerama.

Pukotine na svodovima nastavljaju orijentaciju zidnih pukotina (pukotina je u smjeru sjever-jug), što po ukazuje na doslovno „raspolavljanje“ kapele. Na taj se način, slikovito može zaključiti kako se jedan dio kapele odvojio u smjeru istoka a drugi u smjeru zapada. Uzimajući u obzir ranije analizirane padine sa istočne i zapadne strane, njihovo puzanje te blizinu kapeli, tada nam cijeli pukotinski sustav kapele dobiva savršen smisao te svoju uzročno-posljedičnu vezu.

Za metodu stabilizacije temelja (a samim time i cijele kapele), kao najefikasnija i u ovakvim slučajevima najbolja, pokazala se metoda mikropilotiranja. Mikropiloti prenose opterećenje na dublje slojeve temeljnog tla a koji su čvršći te im je nosivost do nekoliko puta veća od onih plićih površinskih. Dodatan argument ovakvom hitnom tipu sanacije su i svakako navedena oštećenja lukova, nadvoja i zidova ali i potresom poremećeni (ubrzani) reološki procesi u tlu.

Mjere hitne sanacije svakako bi trebalo izvoditi određenom listom prioriteta:

Hitna sanacija temelja i temeljnog tla kapele kao mjera hitne stabilizacije nosivog temeljnog sustava zgrade koji je znatno narušen potresom - postavljanje mikropilota i naglavne grede;

Postavljanje čeličnih zatega u kapeli ili alternativna sanacija karbonskim vlaknima s vanjske strane kapele;

Injektiranje pukotina, prvenstveno s vanjske strane a na mjestima gdje je to neophodno, s unutrašnje strane s povećom pažnjom na zaštitu kulturnog dobra.

## 9. Literatura

- [1] M.Orešković: Građevinski elaborat – elaborat ocjene postojećeg stanja nosive konstrukcije uz provedbu detaljnog pregleda zgrade za obavljanje vjerskih obreda – Kapela sv. Jakoba, Jakopovec i prijedlog mjera sanacije, Varaždin, 2021.
- [2] M.Mikec: Geotehnički elaborat – rekonstrukcija kapele sv. Jakova u Jakopovcu, PREMUR d.o.o., Varaždin, 2021.
- [3] A.Šimunić, M. Pikija, I. Hećimović: Osnovna geološka karta, L 33-69, Varaždin; Savezni geološkog zavoda Beograd; 1981.
- [4] Kuk K., Šariri K., Kuk V., Prelogović E., Sović I., Seizmiološke i seizmološke značajke šireg Zagrebačkog područja, Građevinar 52 (2000), 11, 647-653
- [5] Muhovec I. (2020): STUDIJA indikativnog pružanja pukotina na vertikalnim stijenama (VSP) koje su položene paralelno pravcu potresnog udara (u povodu potresa u Zagrebu, 22. ožujka 2020.)
- [6] URGENTNI PROGRAM POTRESNE OBNOVE UPPO Građevinska tehnička rješenja, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatska komora inženjera građevinarstva, ISBN: 978-953-8168-41-3, Zagreb, svibanj 2020.
- [7] T. Roje-Bonacci: Duboko temeljenje i poboljšanje temeljnog tla; Sveučilište u Splitu, Građevinsko-arhitektonski fakultet; Split, 2008.
- [8] Gabion-usluge.hr, URL: <https://gabion-usluge.hr/pilot-projekt-sanacije-temeljnog-tla-metodom-mikropilotiranja-u-maloj-gorici-4-5-2021/>

## Popis slika

Slika 1.	Prikaz mikrolokacije predmetne katastarske čestice (izvor: <a href="https://geoportal.dgu.hr/">https://geoportal.dgu.hr/</a> )	2
Slika 2.	Prikaz makrolokacije predmetne katastarske čestice (izvor: <a href="https://geoportal.dgu.hr/">https://geoportal.dgu.hr/</a> )	3
Slika 3.	Prikaz mikrolokacije prema PPU-u Općine Jalžabet, građevinsko područje naselja Jakopovec (izvor: <a href="https://www.jalzabet.hr/o-opcini/prostorni-plan-uredenja-opcine-jalzabet/">https://www.jalzabet.hr/o-opcini/prostorni-plan-uredenja-opcine-jalzabet/</a> )	4
Slika 4.	Izvod iz Seizmološke karte RH	6
Slika 5.	Osnovna geološka karta promatranog područja (autori: A. Šimunić, M. Pikija, I. Hećimović, Redakcija i izdanje Saveznog geološkog zavoda, Beograd, 1982.)	9
Slika 6.	Pregledna tektonska karta lista Varaždin	11
Slika 7.	Razine oštećenja koje su utvrđivane brzim pregledima	14
Slika 8.	Zapadno pročelje Kapele sv. Jakoba	17
Slika 9.	Pukotina O1	17
Slika 10.	Lijevo O2, desno O3	18
Slika 11.	Sjeverno pročelje kapele	18
Slika 12.	Prikaz kapele i njenog okoliša	19
a), b)	Zapadni prilaz kapeli uz zasjek terena i pristupnu prometnicu	19
c)	Nagla depresija sa sjeverne strane kapele	19
d)	Nagib terena uz istočno pročelje kapele (vidjiva apsida svetišta)	19
Slika 13.	Pukotina O4	20
Slika 14.	Pukotina O4	20
Slika 15.	Vertikalna pukotina O5 na sakristiji	21
Slika 16.	Pukotina O6	22
Slika 17.	Desno pukotina O7	23
Slika 18.	Desno O7, lijevo O8	23
Slika 19.	Groblje uz istočni dio kapele	24
Slika 20.	Jasno vidljivi znakovi padinskog puzanja sa istočne i sjeverne strane kapele. Ovdje je važno primijetiti neposrednu blizinu kapele kao i nagnute konstruktivne elemente koji upućuju na puzanje terena (stepenice, potporni zidovi te stupovi ograde)	24
Slika 21.	Pukotina O9	25
Slika 22.	Pukotina O10	26
Slika 23.	Pukotina O12	27
Slika 24.	Pukotina O13	28

Slika 25.	Pukotina O14.....	28
Slika 26.	Pukotina O15.....	29
Slika 27.	Lijevo pukotina O15, desno pukotina O16 .....	29
Slika 28.	Lijevo pukotina O15, desno pukotina O16 .....	30
Slika 29.	Pukotina O15 kao nastavak vanjske pukotine O10.....	31
Slika 30.	Pukotina O17.....	32
Slika 31.	Lijevo O19.....	32
Slika 32.	Pukotina na zidu sakristije, O20.....	33
Slika 33.	Pukotina na sjevernom zidu kapele (između pjevališta te spojnog zida sakristije) ....	34
Slika 34.	Vertikalna pukotina proteže se kroz cijelu visinu sjevernog zida te se širi dalje na istočno podtjeme luka, odmah uz taj zid kapele.....	34
Slika 35.	Stubište na kat pjevalište te samo pjevalište (kor) .....	35
Slika 36.	Pukotine nadvoja prozora nad ulazom u crkvu (zapad) .....	36
Slika 37.	Uzdužni presjek kapele s naznakama oštećenja lukova pjevališta.....	37
Slika 38.	Pukotine na luku (istočni dio kora) te produžetak pukotine nad prozorom (zapad) ...	38
Slika 39.	Pukotinska oštećenja nadvoja i luka kora (zapad i istok).....	38
Slika 40.	Sakristija kapele, pogled prema sjeveru .....	39
Slika 41.	Vlaga i pukotinsko oštećenje svoda sakristije.....	39
Slika 42.	Iznosi horizontalnih vršnih ubrzanja tla tipa C ( $a_{gR}$ ) za povratna razdoblja od $T_p = 95$ i 475 godina izraženih u jedinicama gravitacijskog ubrzanja ( $1 g = 9.81 m/s^2$ ) – Izvor: <a href="http://seizkarta.gfz.hr/karta.php">http://seizkarta.gfz.hr/karta.php</a> .....	47
Slika 43.	Tlocrtni raspored mikropilota i naglavne grede u i oko kapele (idejni koncept) .....	54
Slika 44.	Ugradnja prednapregnutih čeličnih sidara za poboljšanje veza između zidova koji se sijeku 57	
Slika 45.	Shematski prikaz injektiranja zidova od opeke (lijevo) te kamena (desno).....	59
Slika 46.	Mogući načini povezivanja nosivih zidova .....	59
Slika 47.	Primjene zatega u sanaciji i popravku kamenih i zidanih zidova .....	61
(a, d, j)	Zatege (sidra) za stabilizaciju napuknutih ili deformiranih nosivih zidova.....	61
(b, c, f)	Zatege (sidra) za sanaciju napuknutih struktura .....	61
(h, k)	Ojačanja radi dinamičkih opterećenja.....	61
(e, i)	Zatege u spojevima postojećih zidova te novih ugrađenih dijelova .....	61
(g)	Ojačanje nosivih zidova ili temelja protiv diferencijalnih slijeganja.....	61
Slika 48.	Posmično/vlačno i kombinirano tlačno/svojno ojačanje za nosive zidove (kamen, cigla i tuf) može se izvesti primjenom tkanina iz linije FRP SUSTAVA. ....	62

Slika 49. Ojačanje nosivog i/ili pregradnog zida od opeke, kamena ili tufa. Način ojačanja: 1. Postojeći zid od opeke; 2. Mrežica FRCC 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.

63

Slika 50. Djelomična zamjena morta u sljubnicama zidova.....63

Slika 51. Sanacija pukotina i ojačanje pregradnih zidova može se izvesti primjenom sustava tankoslojne armirane žbuke koji se sastoji od mrežice iz FRCC 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.....64

Slika 52. Prikaz kapele i njenog okoliša.....71

## **Popis tablica**

<i>Tablica 1. Kategorizacija tla prema seizmičnosti (Eurocode 8, HRN EN 1998-1:2008 en) .....</i>	<i>7</i>
<i>Tablica 2. Kategorizacija tla prema seizmičnosti (Eurocode 8, HRN EN 1998-1:2008 en) .....</i>	<i>47</i>
<i>Tablica 3. Sastav i svojstva injekcijske smjese na 100 kg suhe tvari cementa .....</i>	<i>55</i>

## **Prilozi**

1. Tlocrt prizemlja
2. Tlocrt pjevališta
3. Tlocrt krovništa
4. Tlocrt zvonika
5. Tlocrt krovnih ploha
6. Presjek 1-1
7. Presjek 2-2
8. Presjek 3-3
9. Presjek 4-4
10. Zapadno pročelje
11. Južno pročelje
12. Istočno pročelje
13. Sjeverno pročelje




**IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU**

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

Ja, MATEA ALEKSIĆ (*ime i prezime*) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom Hitna konstruktivna sanacija kapele Sv. Jakoba u Jakopovcu (*upisati naslov*) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.


Student/ica:  
(*upisati ime i prezime*)

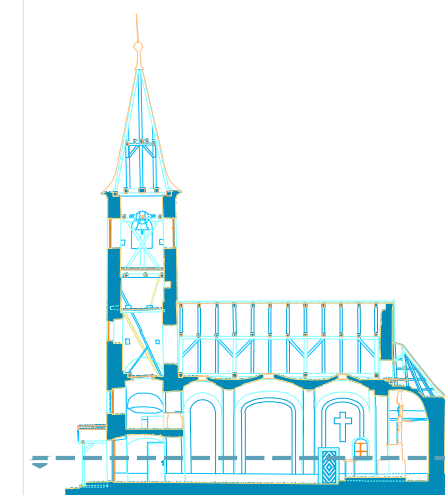
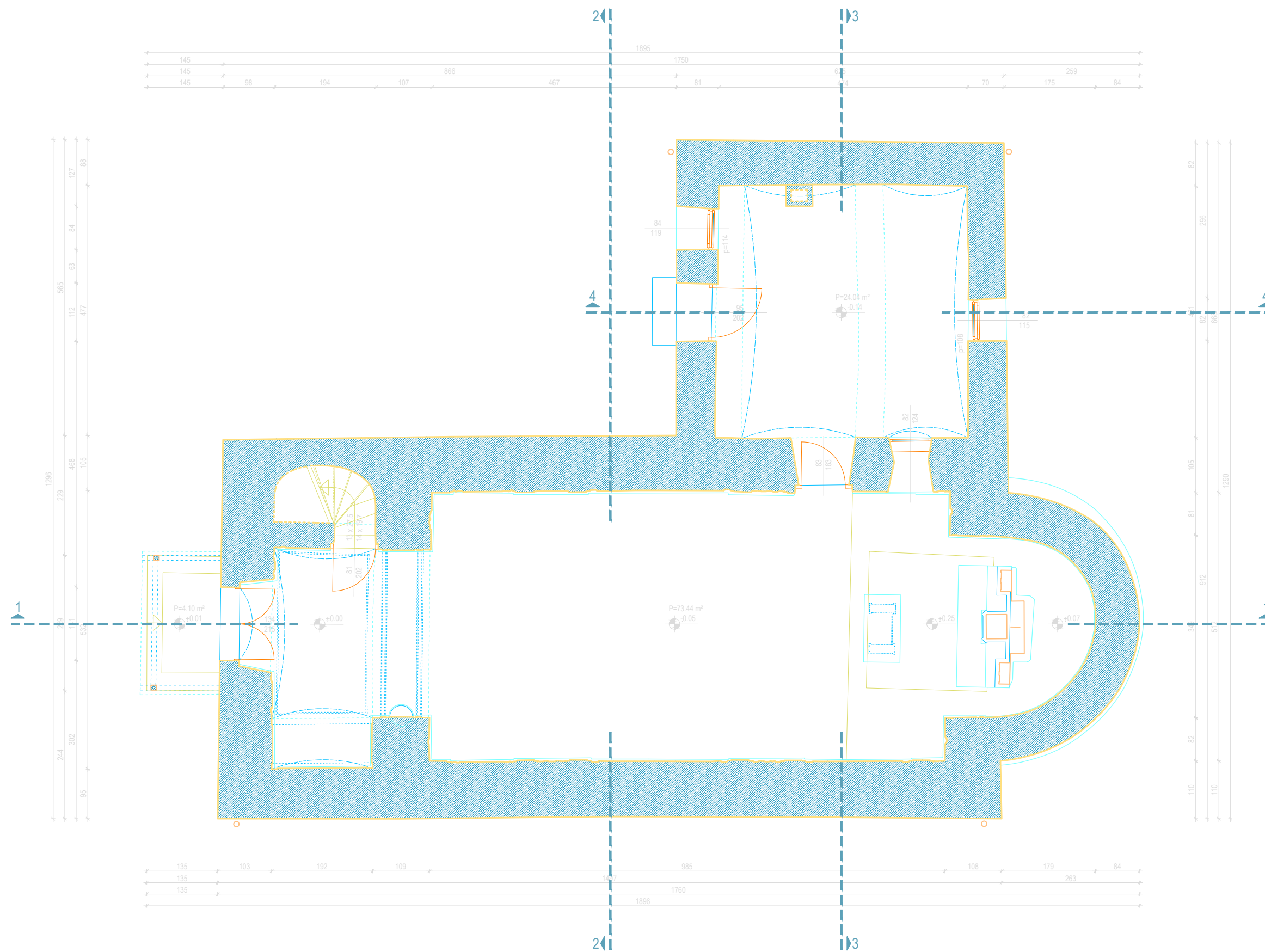
  
-----  
(vlastoručni potpis)

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

Ja, MATEA ALEKSIĆ (*ime i prezime*) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom Hitna konstruktivna sanacija kapele Sv. Jakoba u Jakopovcu (*upisati naslov*) čiji sam autor/ica.

Student/ica:  
(*upisati ime i prezime*)

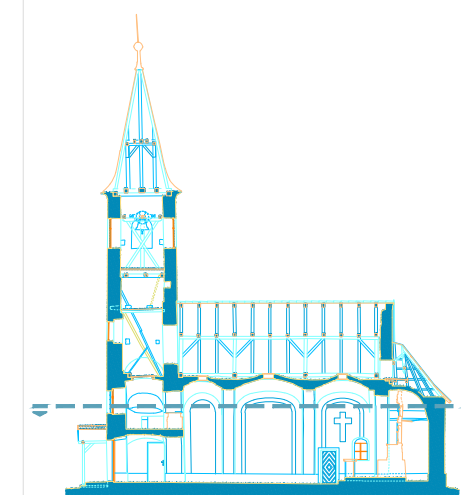
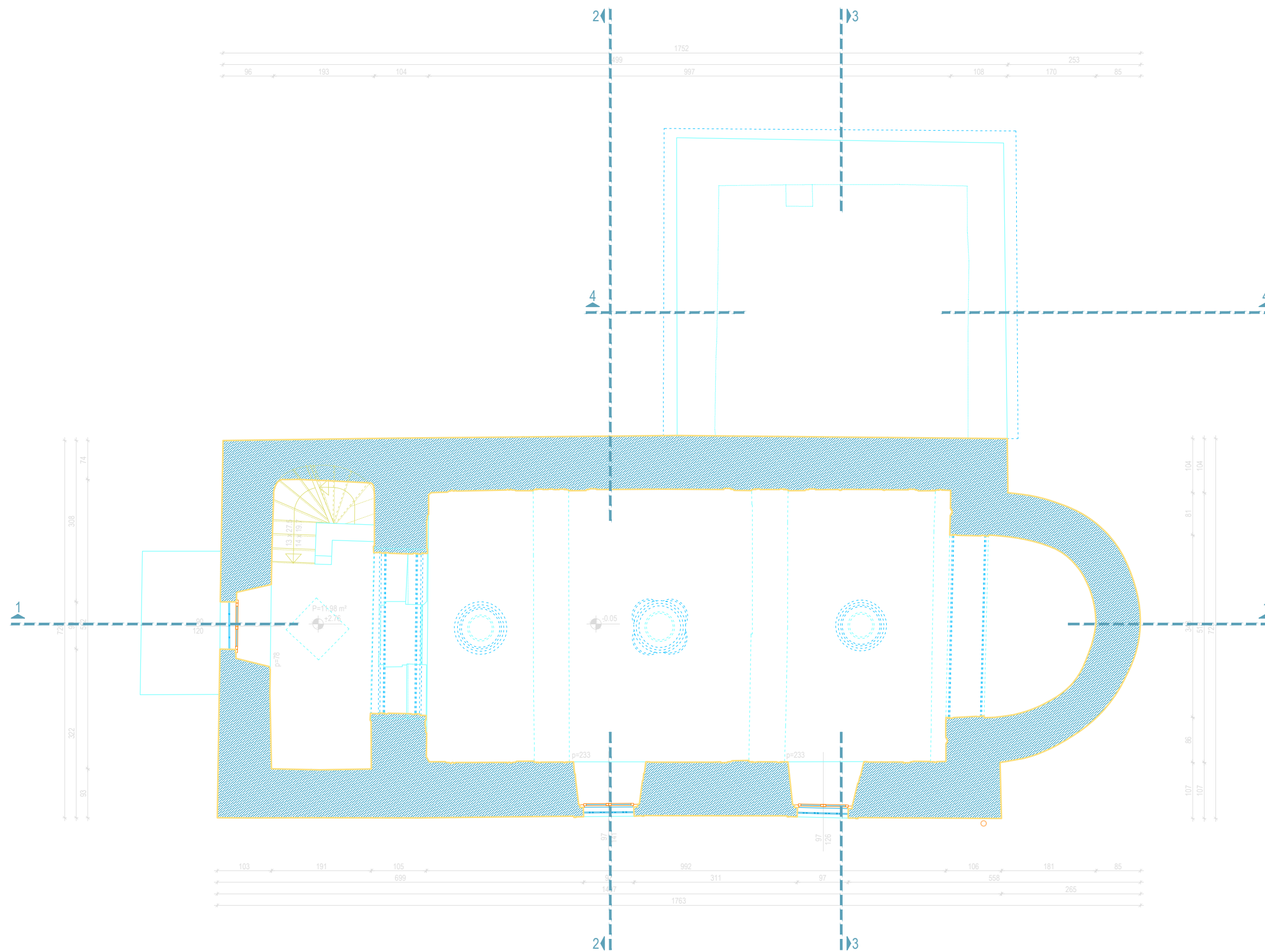
  
-----  
(vlastoručni potpis)



±0.00=223.14 mnv

Geodetska izmjera - 3D lasersko skeniranje			
Naručilac: ŽUPA SV. ELIZABETE			
Projekt: Arhitektonska snimka postojećeg stanja			M=1:50
KAPELA SV. JAKOVA U JAKOPOVCU			SI
Načrt: Tlocrt prizemlja			
Voditelj projekta: Zlatan Novak, dipl.ing.geod.		Izmjera: 2021.	List: 01
Suradnici: Karmen Polansky-Ivaniš, dipl.ing.arh. Miljenka Cikač, dipl.ing.grad.		Oznaka: 77-21	V.1
		Izrada:	

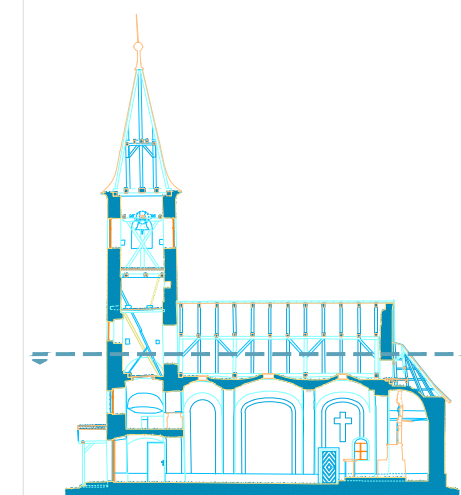
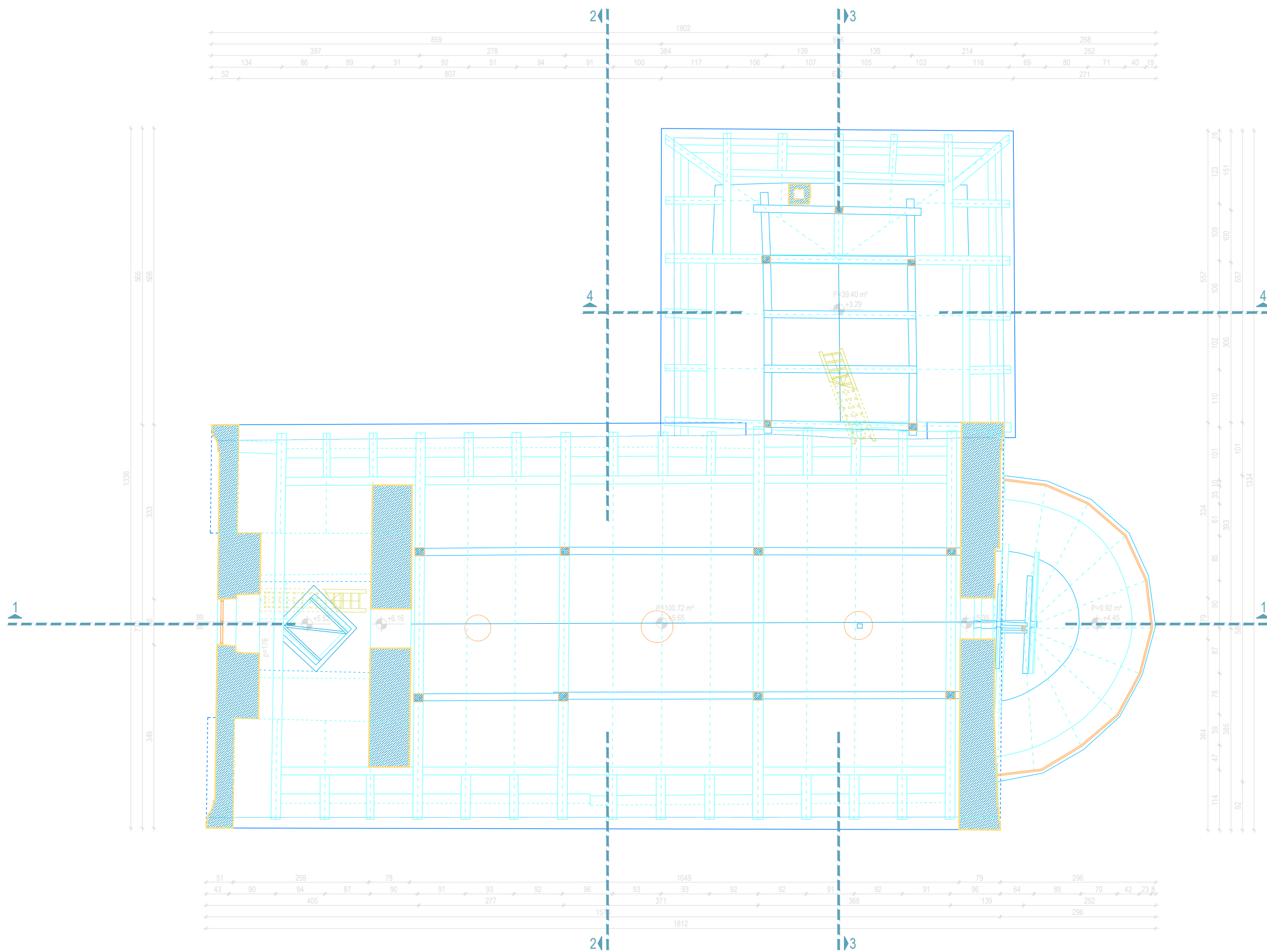




$\pm 0.00 = 223.14 \text{ mnnv}$

Geodetska izmjera - 3D lasersko skeniranje	
Naručitelj: ŽUPA SV. ELIZABETE	
Projekt: Arhitektonska snimka postojećeg stanja	M=1:50
KAPELA SV. JAKOVA U JAKOPOVCU	
Načrt: Tlocrt pjevališta	
Voditelj projekta: Zlatan Novak, dipl.ing.geod.	Izmjerna: 2021. List: 02
Suradnici: Karmen Polansky-Ivaniš, dipl.ing.arh. Miljenka Cikač, dipl.ing.grad.	Oznaka: 77-21 V.1
Izrada:	

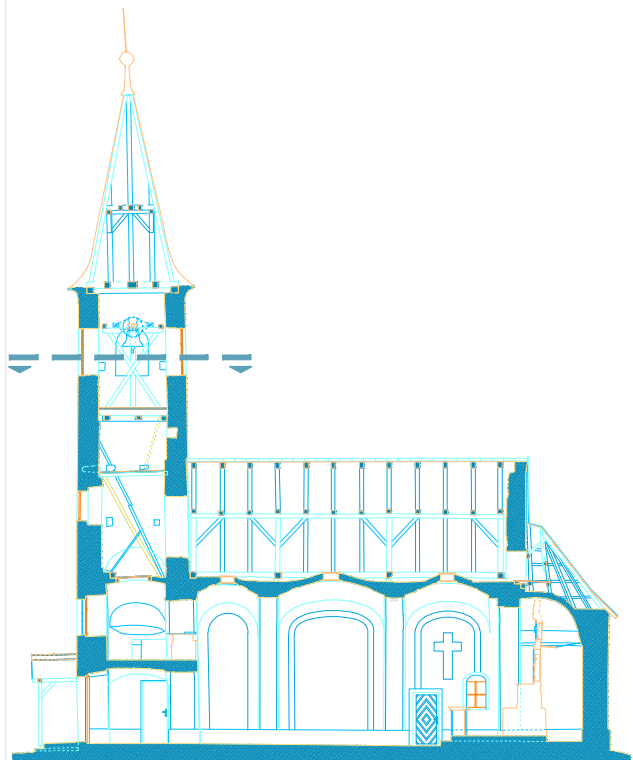
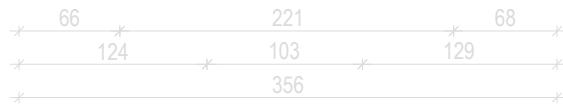
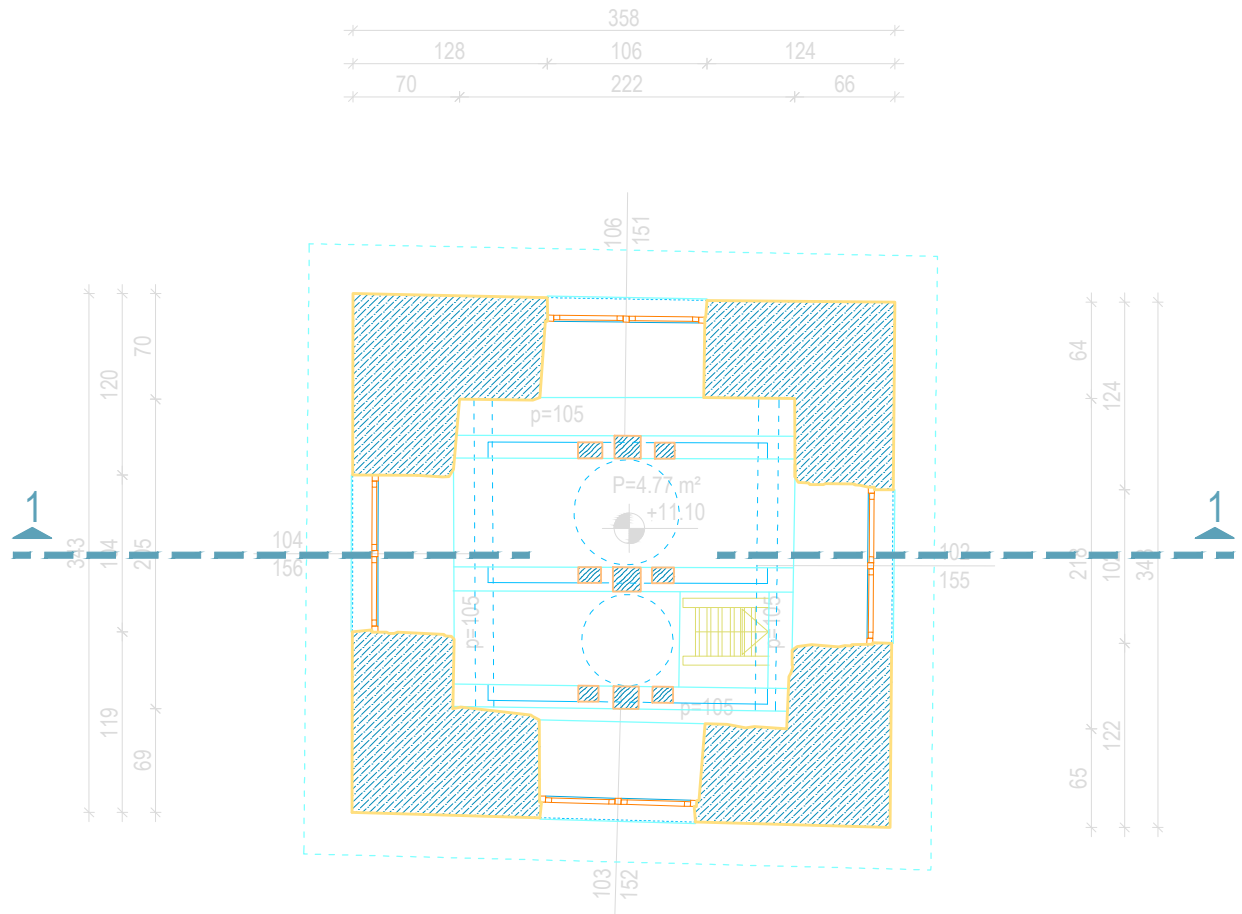




±0.00=223.14 mnn

Geodetska izmjera - 3D lasersko skeniranje	
Naručilac: ŽUPA SV. ELIZABETE	
Projekt: Arhitektonska snimka postojećeg stanja	M=1:50
KAPELA SV. JAKOVA U JAKOPOVCU	
Nacrt: Tlocrt krovšta	
Voditelj projekta: Zlatan Novak, dipl.ing.geod.	Izmjerna: 2021. List: 03
Suradnici: Karmen Polansky-Ivaniš, dipl.ing.arh. Miljenka Cikač, dipl.ing.grad.	Oznaka: 77-21 V.1
Izrada:	





±0.00=223.14 mnv

Geodetska izmjera - 3D lasersko skeniranje

Naručitelj: ŽUPA SV. ELIZABETE

Projekt: Arhitektonska snimka postojećeg stanja

M=1:50

KAPELA SV. JAKOVA U JAKOPOVCU

Nacrt : Tlocrt zvonika

SI

Voditelj projekta:  
Zlatan Novak, dipl.ing.geod.

Izmjera: 2021.

List: 04

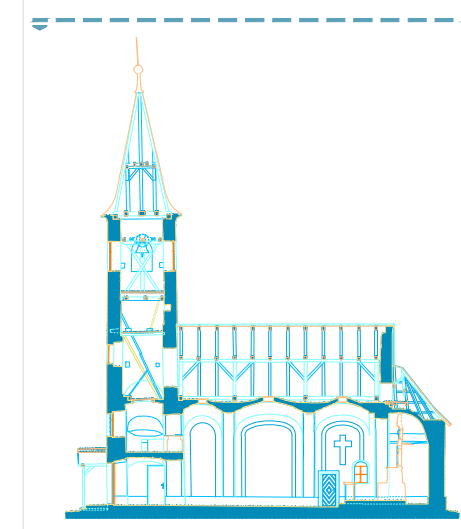
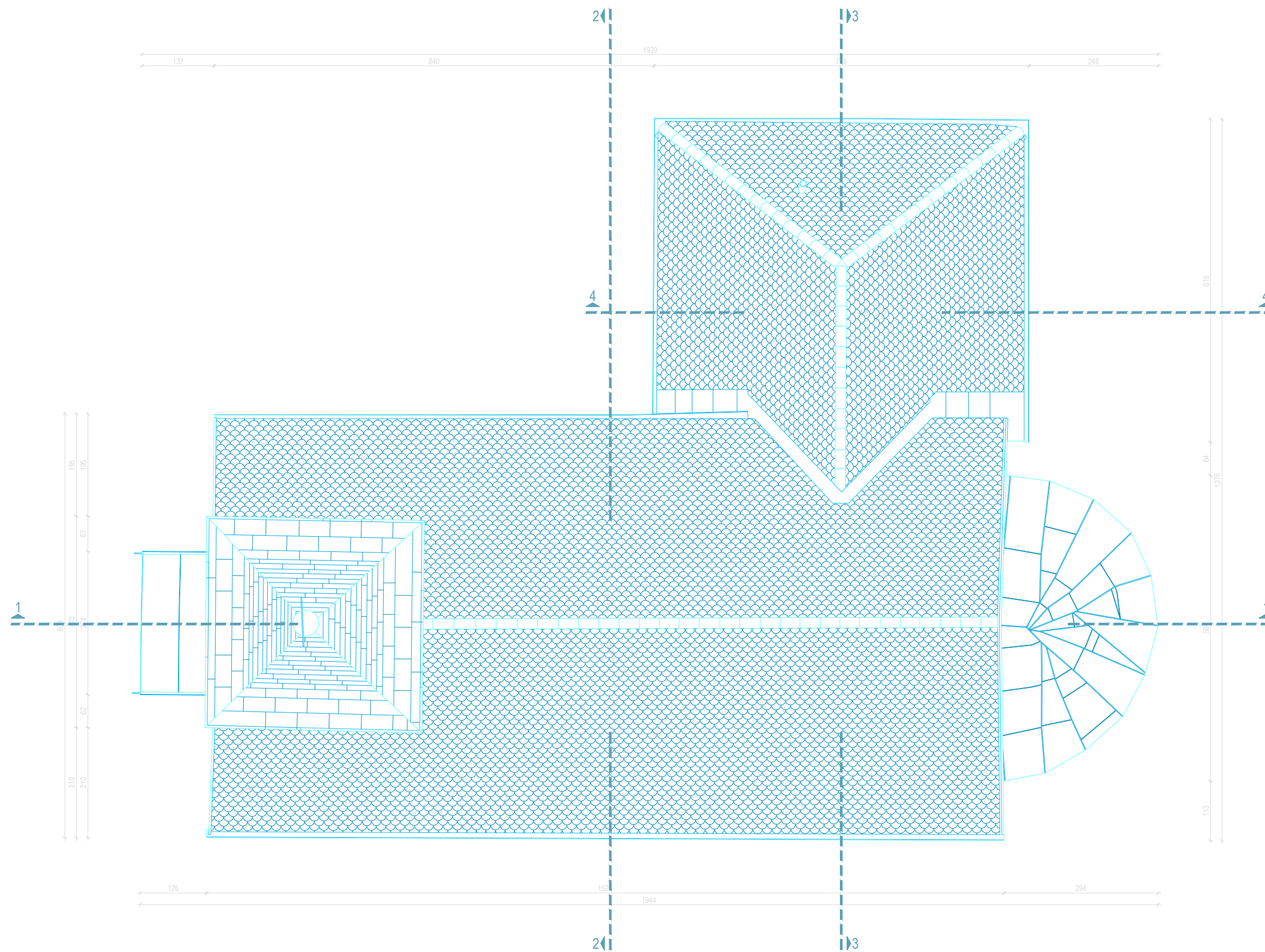
Oznaka: 77-21

V.1

Suradnici:  
Karmen Polansky-Ivaniš, dipl.ing.arh.  
Miljenka Cikač, dipl.ing.građ.

Izrada:

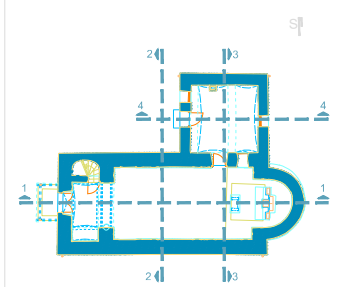
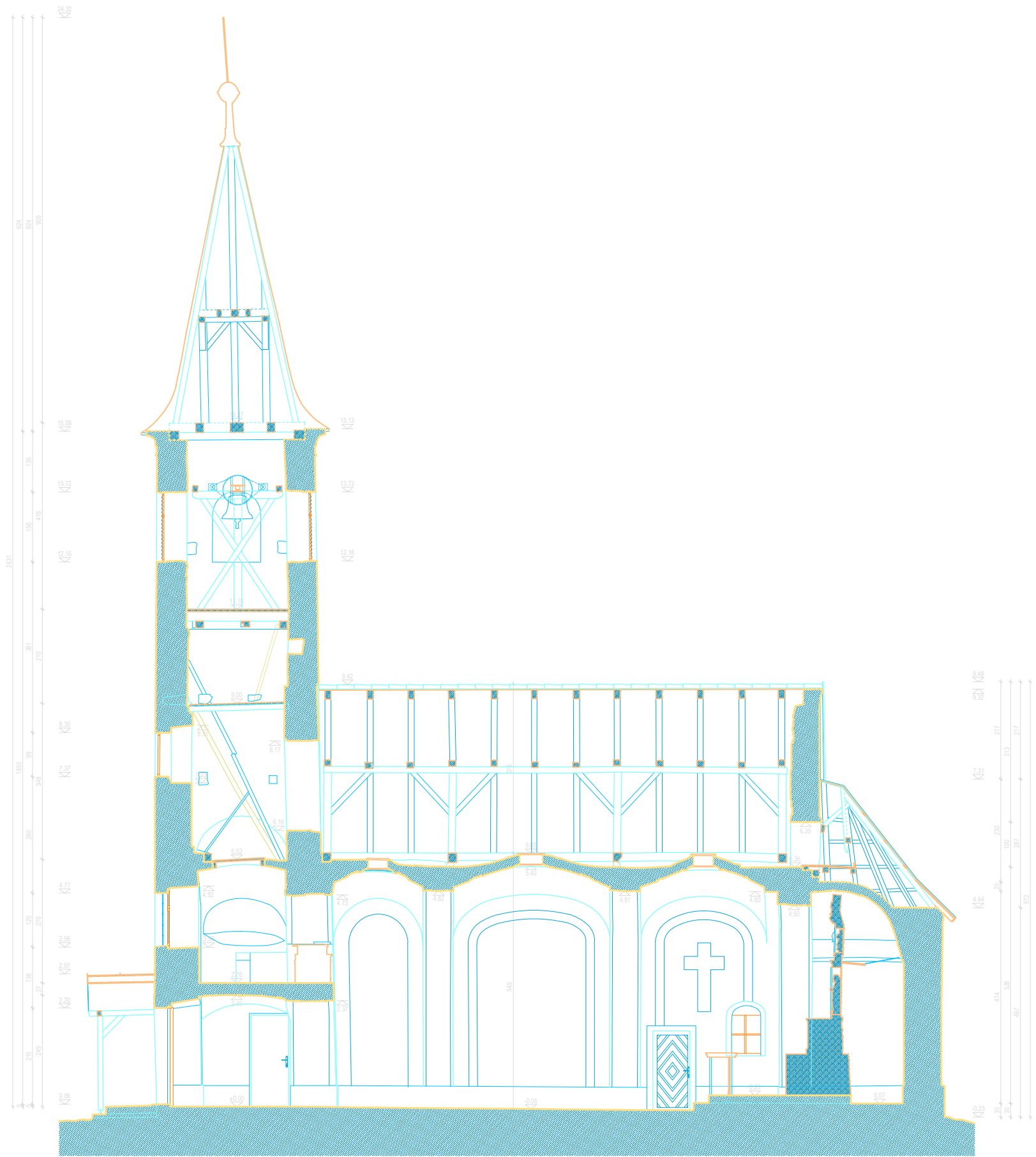
**VEKTRA**  
VARAZDIN



±0.00=223.14 mnv

Geodetska izmjera - 3D lasersko skeniranje		
Naručitelj: ŽUPA SV. ELIZABETE		
Projekt: Arhitektonska snimka postojećeg stanja	M=1:50	
KAPELA SV. JAKOVA U JAKOPOVCU		SJ
Načrt: Tlocrt krovnih ploha		
Voditelj projekta: Zlatan Novak, dipl.ing.geod.	Izmjera: 2021.	List: 05
Suradnici: Karmen Polansky-Ivaniš, dipl.ing.arh. Miljenka Cikač, dipl.ing.grad.	Oznaka: 77-21	V.1
	Izrada:	





±0.00=223.14 mnn

Geodetska izmjera - 3D lasersko skeniranje

Naručilac: ŽUPA SV. ELIZABETE

Projekt: Arhitektonska snimka postojećeg stanja

KAPELA SV. JAKOVA U JAKOPOVCU

Nacrt: Presek 1-1

Voditelj projekta: Zlatan Novak, dipl.ing.geod.

Suradnici: Karmen Polansky-Ivaniš, dipl.ing.arch. / Mijerka Okuč, dipl.ing.grad.

Izmjera: 2021

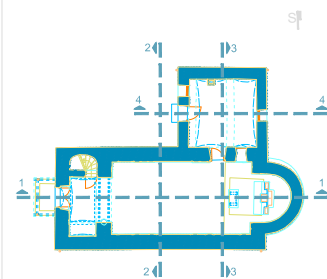
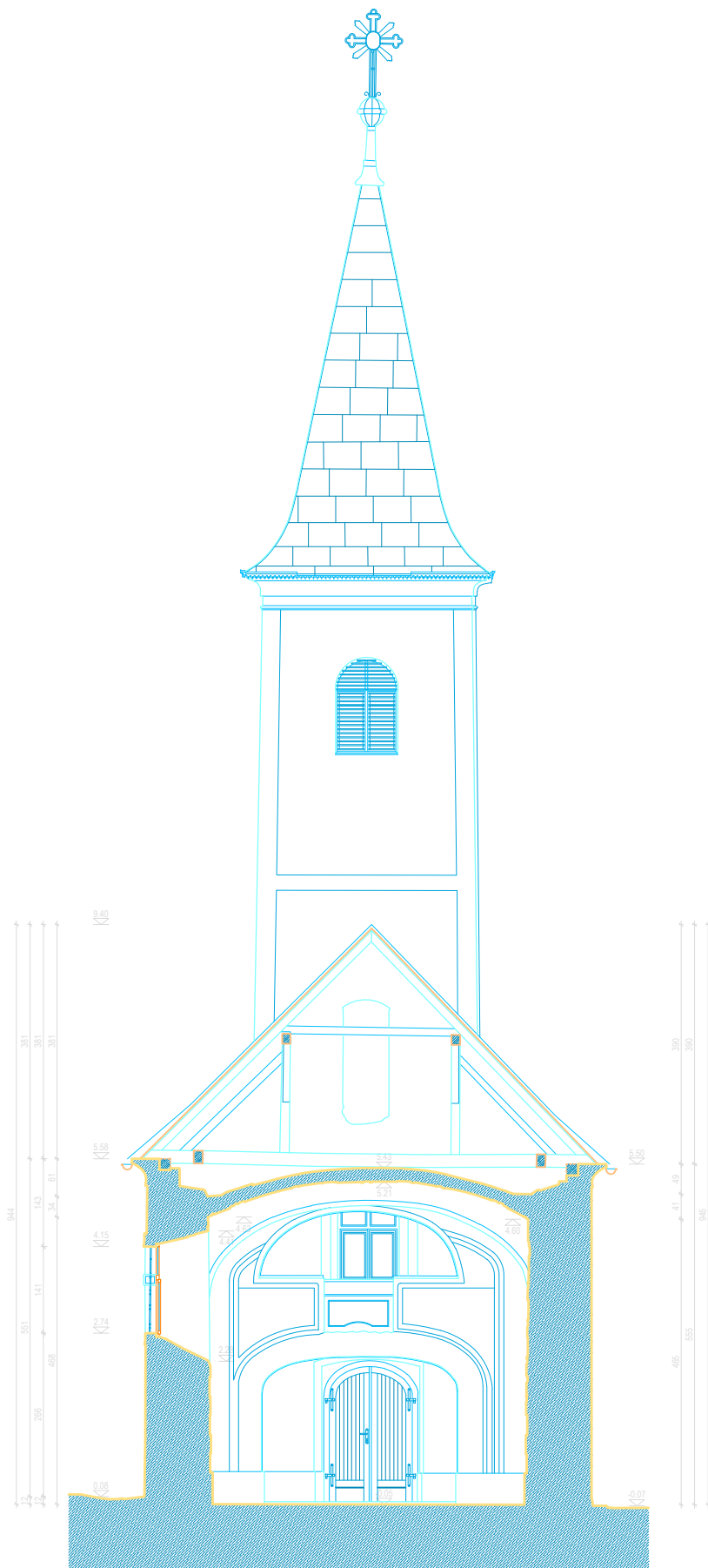
Oznaka: 77-21

Izrada:

Let: 06

V.1



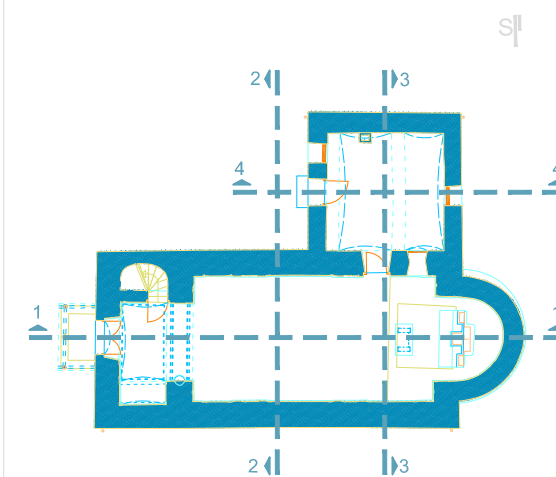
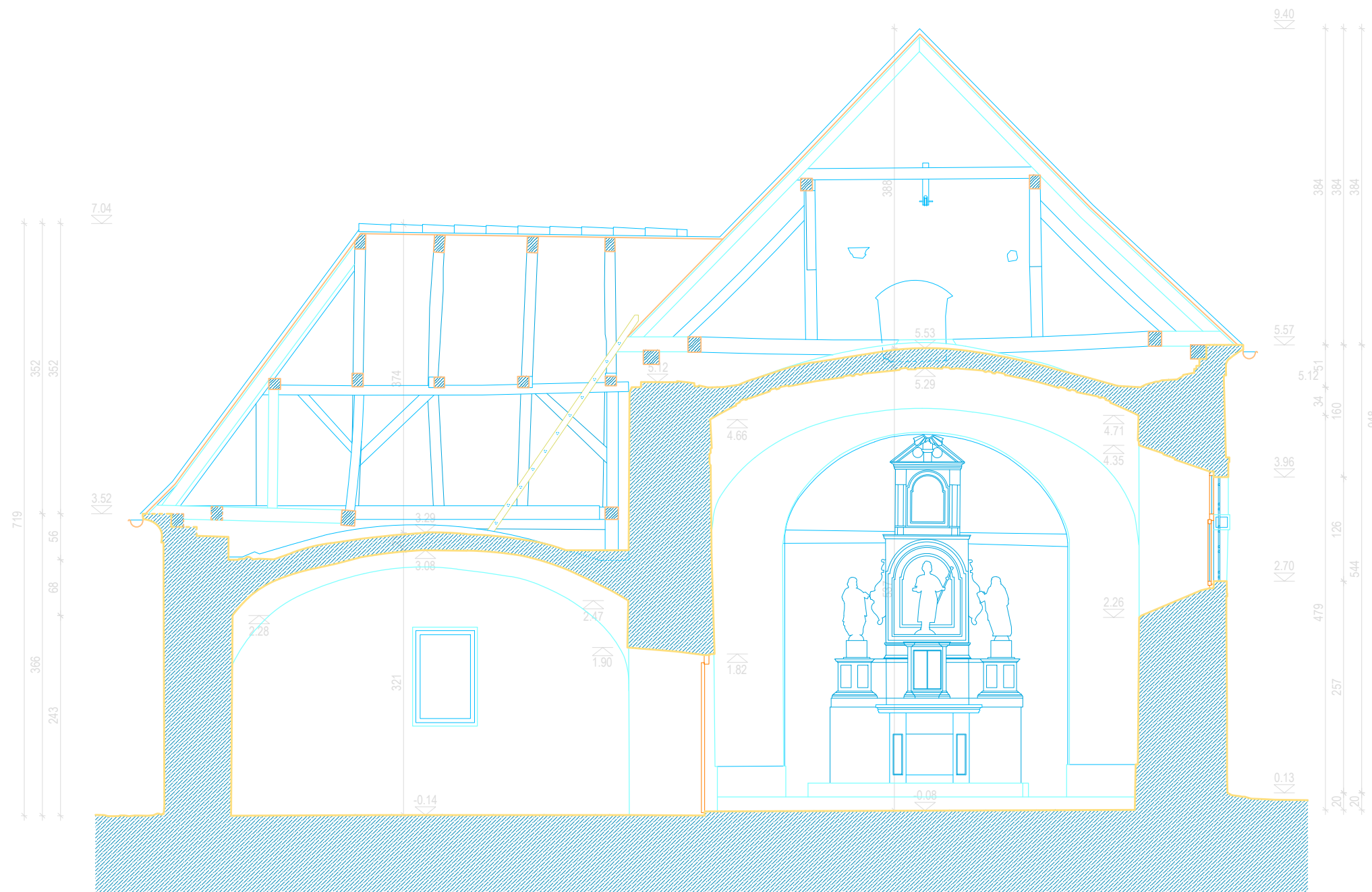


±0.00=223.14 mnn

Geodetska izmjera - 3D lasersko skeniranje		
Naručilac: ŽUPA SV. ELIZABETE		M=1:50
Projekt: Arhitektonska snimka postojećeg stanja		Sj
KAPELA SV. JAKOVA U JAKOPOVCU		
Nacrt: Presjek 2-2		
Voditelj projekta:	Izmjera: 2021.	List: 07
Zlatan Novak, dipl.ing.geod.	Oznaka: 77-21	V.1
Suradnici:	Izrada:	
Kamen Polansky-Ivaniš, dipl.ing.arh.		
Miljenka Cikač, dipl.ing.grad.		



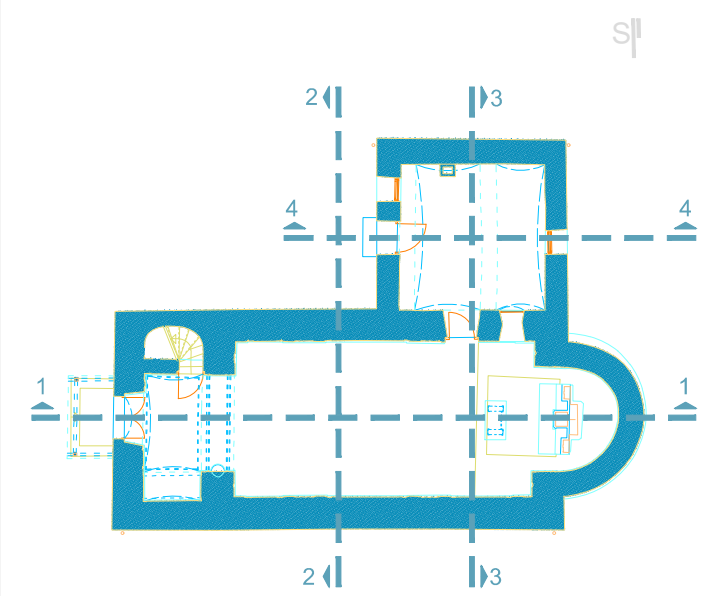
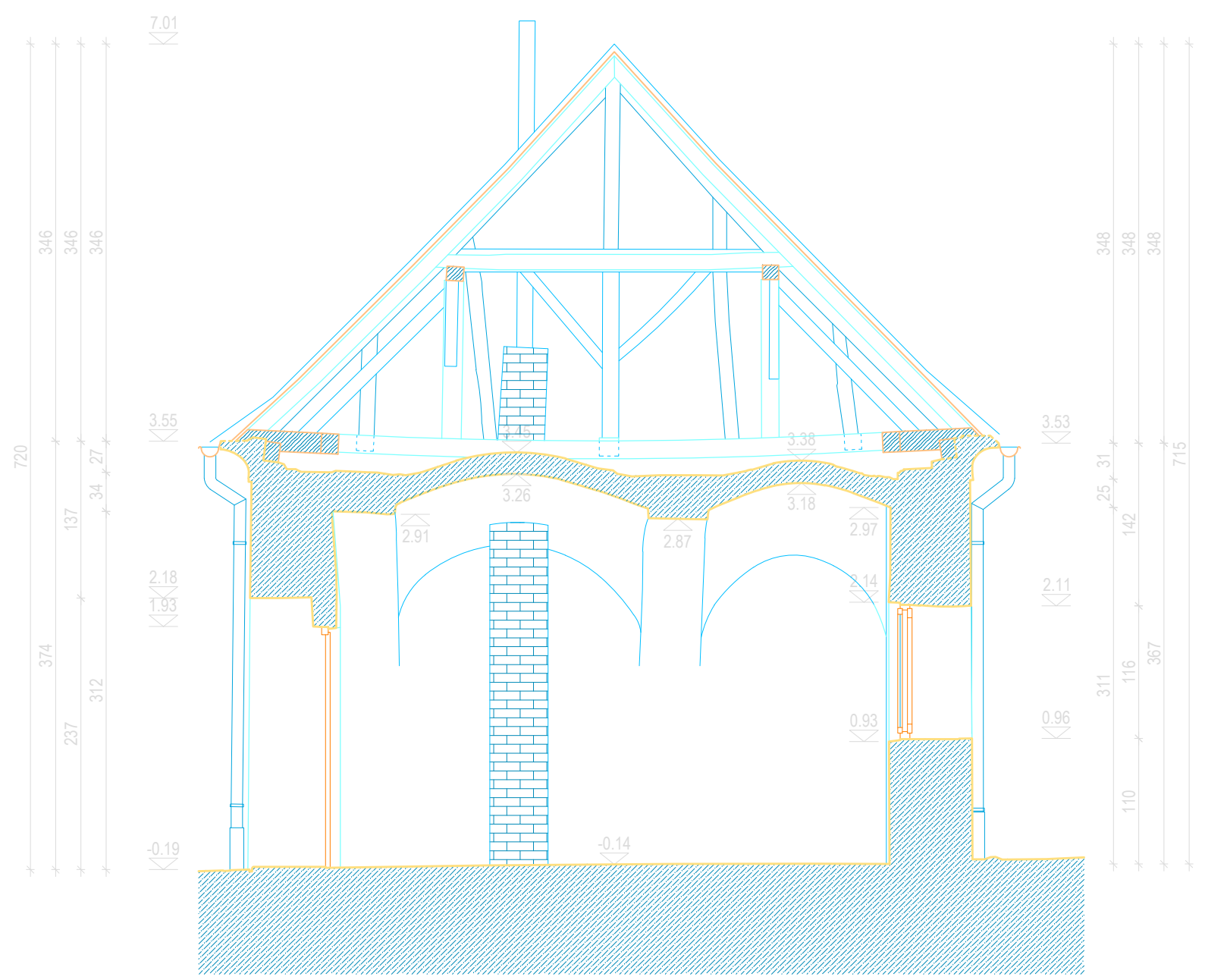




±0.00=223.14 mnv

Geodetska izmjera - 3D lasersko skeniranje		
Naručitelj: ŽUPA SV. ELIZABETE		
Projekt: Arhitektonska snimka postojećeg stanja	M=1:50	
KAPELA SV. JAKOVA U JAKOPOVCU	SI	
Nacr : Presjek 3-3		
Voditelj projekta:	Izmjera: 2021.	List: 08
Zlatan Novak, dipl.ing.geod.	Oznaka: 77-21	V.1
Suradnici:	Izrada:	
Karmen Polansky-Ivaniš, dipl.ing.arh.	VEKTRA	
Miljenka Cikač, dipl.ing.grad.	VARAZDIN	

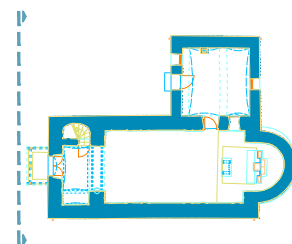
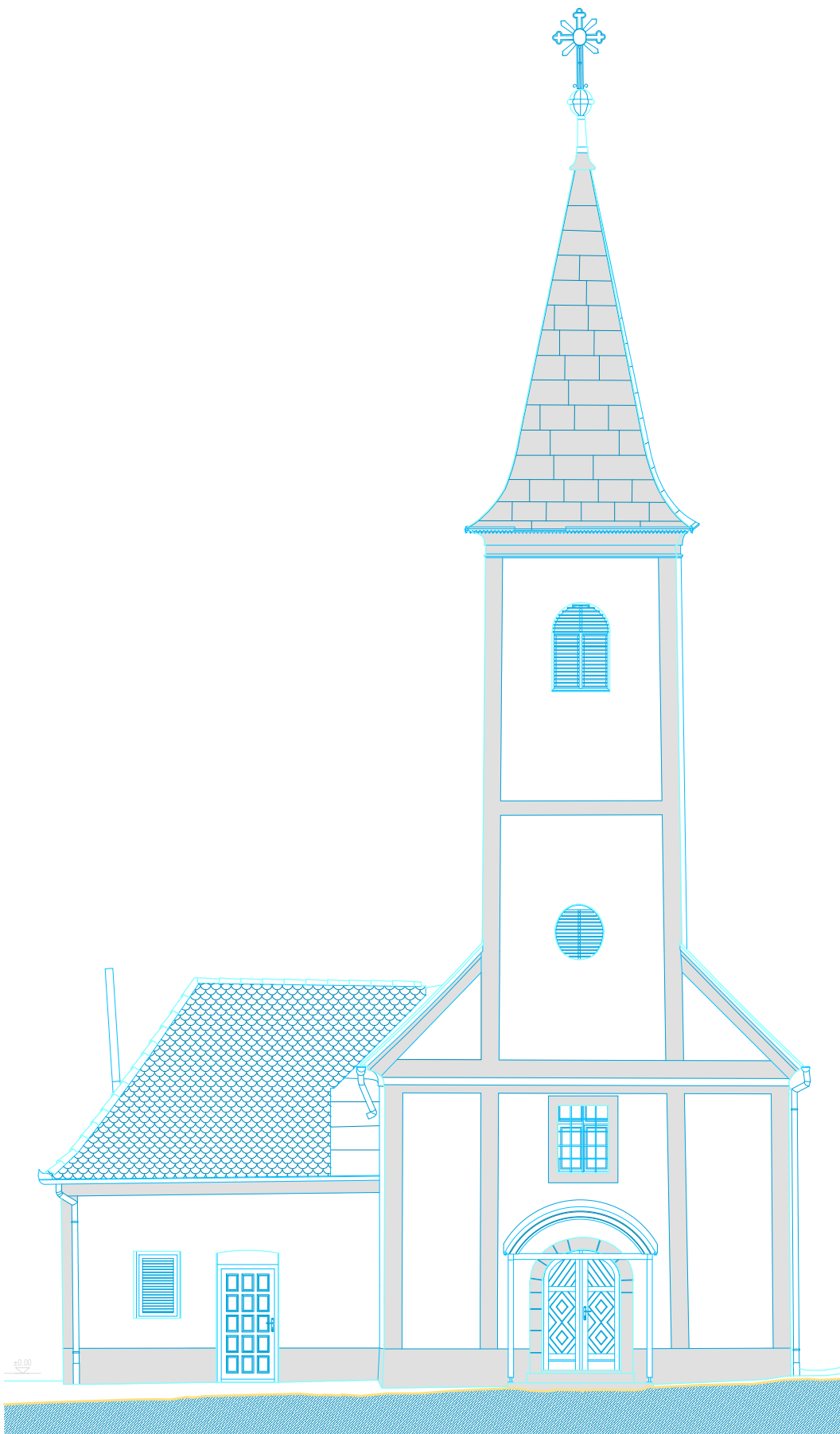




±0.00=223.14 mnv

Geodetska izmjera - 3D lasersko skeniranje		
Naručitelj: ŽUPA SV. ELIZABETE		
Projekt: Arhitektonska snimka postojećeg stanja	M=1:50	
KAPELA SV. JAKOVA U JAKOPOVCU	S1	
Nacrt : Presjek 4-4		
Voditelj projekta: Zlatan Novak, dipl.ing.geod.	Izmjera: 2021.	List: 09
	Oznaka: 77-21	V.1
Suradnici: Karmen Polansky-Ivaniš, dipl.ing.arh. Miljenka Cikač, dipl.ing.građ.	Izrada:	





±0.00=223.14 mnv

Geodetska izmjera - 3D lasersko skeniranje

Naručilac: ŽUPA SV. ELIZABETE

Projekt: Arhitektonska snimka postojećeg stanja

KAPELA SV. JAKOVA U JAKOPOVCU

Nacrt: Zapadno pročelje

M=1:50

ST

Voditelj projekta:  
Zlatan Novak, dipl.ing.geod.

Izmjera: 2021.

List: 10

Suradnici:  
Kamen Polansky-Ivaniš, dipl.ing.arh.  
Miljenka Cikač, dipl.ing.grad.

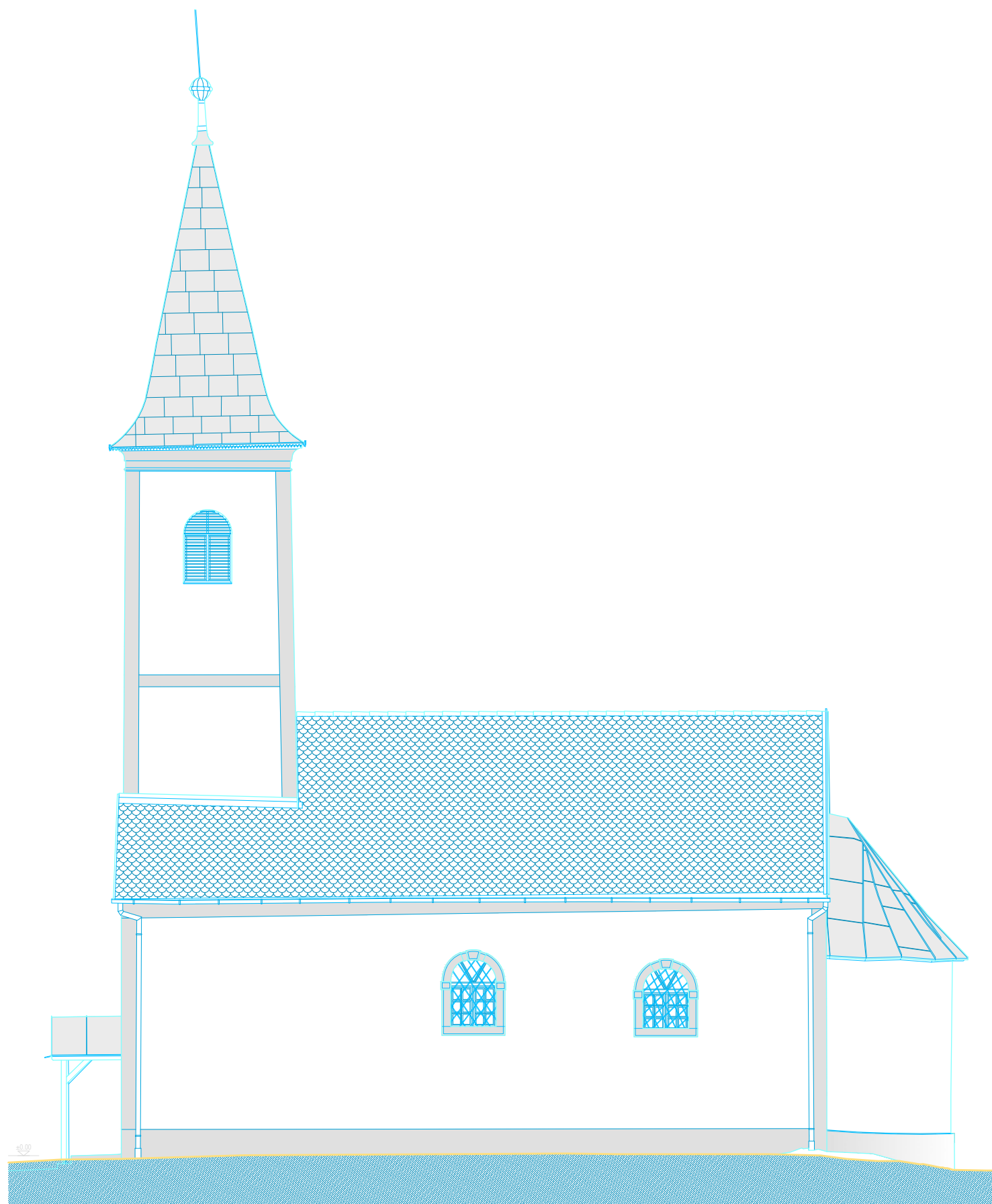
Oznaka: 77-21

V.1

Izrada:

**VEKTRA**  
ARHITEKTI

0 0.5 1.0 2.0 3.0 4.0 m



±0.00=223.14 mnnv

Geodetska izmjera - 3D lasersko skeniranje

Naručilac: ŽUPA SV. ELIZABETE

Projekt: Arhitektonska snimka postojećeg stanja

M=1:50

KAPELA SV. JAKOVA U JAKOPOVCU

Nacrt: Južno pročelje

SF

Voditelj projekta:

Zlatan Novak, dipl.ing.geod.

Izmjera: 2021

List: 11

Suradnici:

Karmen Polansky-Ivanuš, dipl.ing.arch.

Miljenka Okuč, dipl.ing.grad.

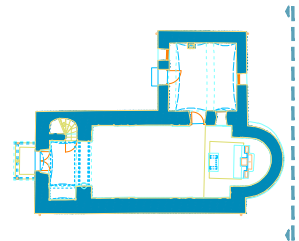
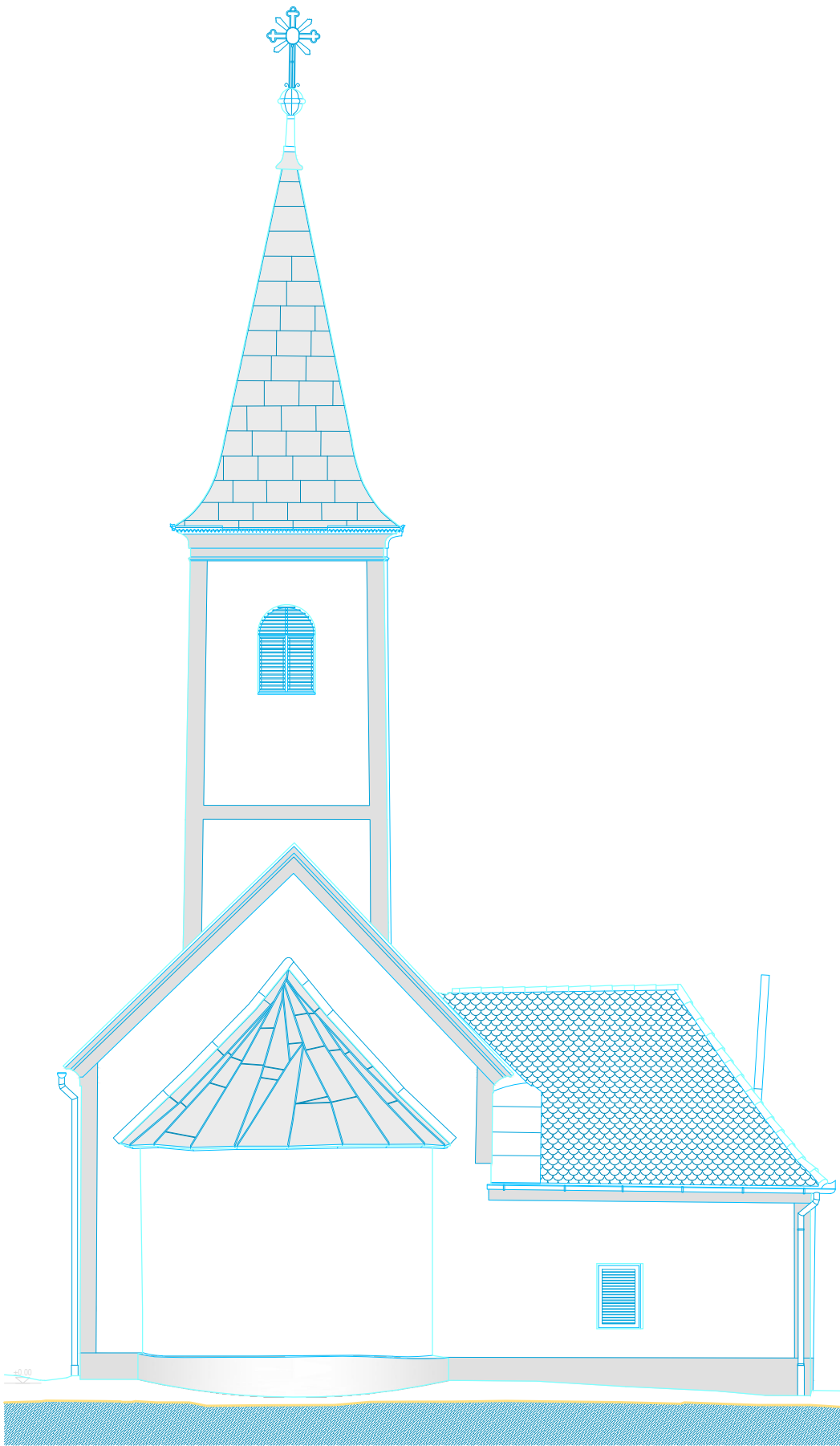
Oznaka: 77-21

V.1

Izrada:

**VEKTRA**  
VIZUALIZACIJA

0 0.5 1.0 2.0 3.0 4.0 m



±0.00=223.14 mnv

Geodetska izmjera - 3D lasersko skeniranje

Naručilac: ŽUPA SV. ELIZABETE

Projekt: Arhitektonska snimka postojećeg stanja

KAPELA SV. JAKOVA U JAKOPOVCU

Nacrt: Istočno pročelje

M=1:50

ST

Voditelj projekta:  
Zlatan Novak, dipl.ing.geod.

Izmjera: 2021.

List: 12

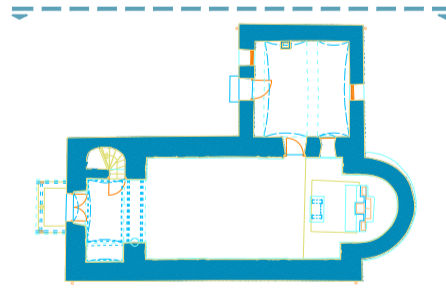
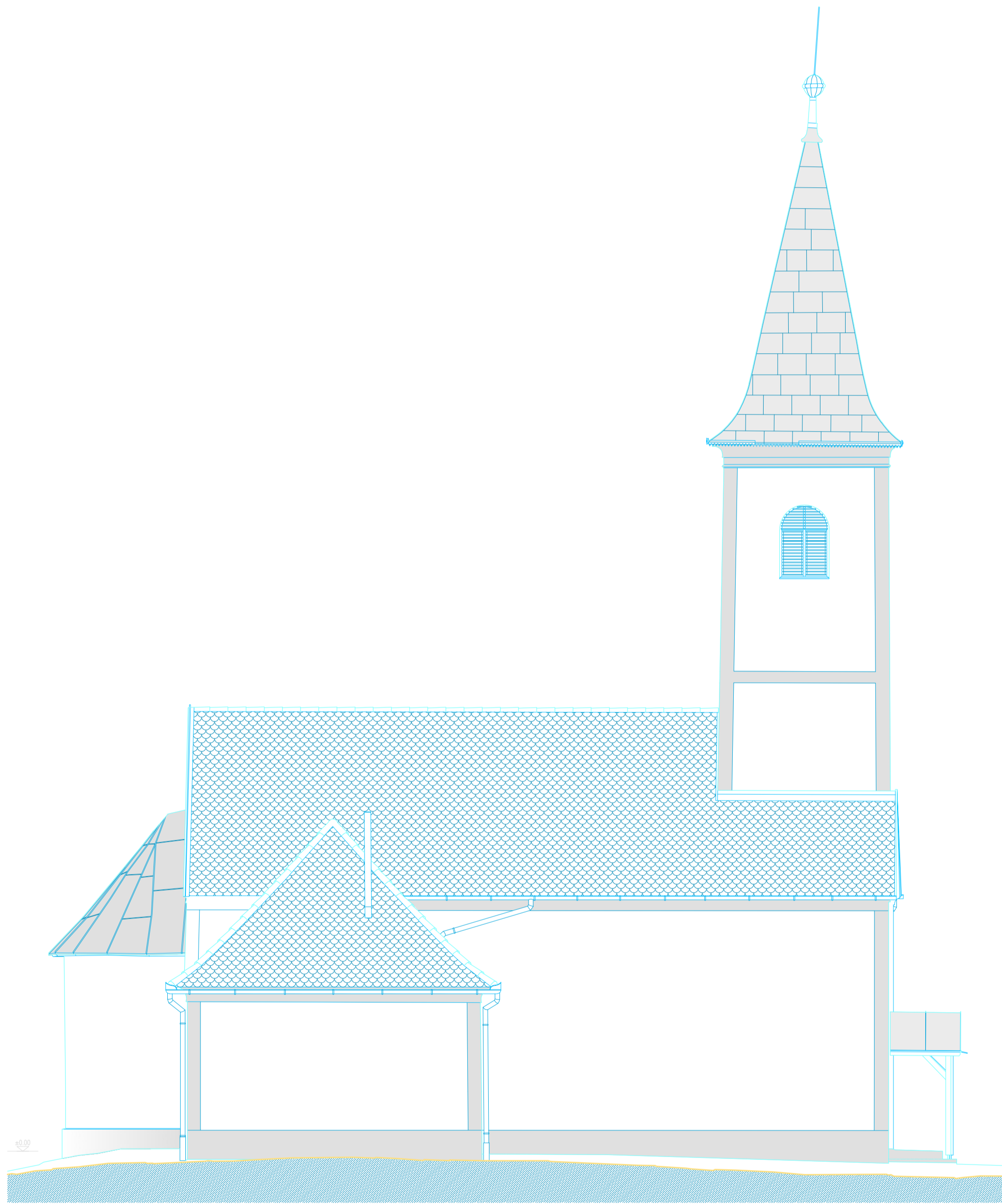
Oznaka: 77-21

V.1

Suradnici:  
Kamen Polansky-Ivaniš, dipl.ing.arh.  
Miljenka Cikač, dipl.ing.grad.

**VEKTRA**  
ARHITEKTI

0 0.5 1.0 2.0 3.0 4.0 m



±0.00=223.14 mnv

Geodetska izmjera - 3D lasersko skeniranje

Naručitelj: ŽUPA SV. ELIZABETE

Projekt: Arhitektonska snimka postojećeg stanja M=1:50

KAPELA SV. JAKOVA U JAKOPOVCU

Nacrt: Sjeverno pročelje

Voditelj projekta:	Izmjerna: 2021.	List: 13
Zlatan Novak, dipl.ing.geod.	Oznaka: 77-21	V.1
Suradnici:	Izrada:	
Karmen Polansky-Ivaniš, dipl.ing.arch.		
Miljenka Čičak, dipl.ing.grad.		

