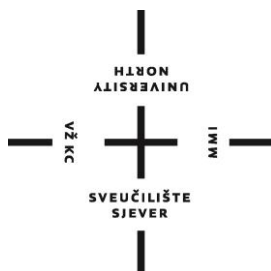


**SVEUČILIŠTE SJEVER  
SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**



DIPLOMSKI RAD br.

**CJELOVITA OBNOVA POTRESOM OŠTEĆENE  
GRAĐEVINE JAVNE NAMJENE U SISKU UZ  
USPOREDNI PRORAČUN NOSIVOSTI I  
UPORABIVOSTI**

Mihael Namjesnik

Varaždin, lipanj 2024.

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



DIPLOMSKI RAD br.

**CJELOVITA OBNOVA POTRESOM OŠTEĆENE  
GRAĐEVINE JAVNE NAMJENE U SISKU UZ  
USPOREDNI PRORAČUN NOSIVOSTI I  
UPORABIVOSTI**

Student:  
Mihael Namjesnik, 1220/336D

Mentor:  
doc. dr. sc. Matija Orešković

Varaždin, lipanj 2024.

# Prijava diplomskog rada

## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za graditeljstvo

STUDIJ diplomski sveučilišni studij Graditeljstvo

PRISTUPNIK Mihael Namjesnik

MATIČNI BROJ 1220/336D

DATUM 19.03.2024.

KOLEGIJ Revitalizacije, konzervacije i restauracije građevina

NASLOV RADA Cjelovita obnova potresom oštećene građevine javne namjene  
u Sisku uz usporedni proračun nosivosti i uporabivosti

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Complete reconstruction of the earthquake-damaged public building  
in Sisak with a comparative calculation of bearing capacity and usability

MENTOR dr. sc. Matija OREŠKOVIĆ

ZVANJE izv.prof.

ČLANOVI POVJERENSTVA

- prof.dr.sc. Božo SOLDO
- izv.prof.dr.sc. Matija OREŠKOVIĆ
- izv.prof.dr.sc. Aleksej ANISKIN
- izvr.prof.dr.sc. Bojan ĐURIN
- 

## Zadatak diplomskog rada

BROJ 100/GRD/2024

OPIS

Tema ovog diplomskog rada je cjelovita obnova zgrade javne namjene u Sisku, čija je konstrukcija oštećena prilikom potresa koji su se dogodili dana 28. i 29. prosinca 2020.

Za cjelovitu obnova zgrade diplomski rad sadrži: fotodokumentaciju oštećenja sa pozicijama na grafičkim prilogima postojećeg stanja, analizu opterećenja, statički proračun, skice detalja tehničkih rješenja, procjenu troškova, grafički prilozi novog stanja.

Ovaj rad sadrži dokaz mehaničke otpornosti i stabilnosti inženjerskim programom 3muri. Pomoću programa proračun je izvršen za dva modela građevine: postojeće stanja i novo stanje. Procjena troškova za cjelovitu obnovu temeljena je na cijenama iz programa mjera obnova zgrada oštećenih potresom na području Sisačko-moslavačke županije.

ZADATAK URUČEN

09.07.2024.



POTPIŠ MENTORA

*[Handwritten signature]*

SVEUČILIŠTE  
SJEVER

# **Zahvala**

*Veliku zahvalnost dajem svom mentoru doc. dr. sc. Matiji Oreškoviću na znanstvenoj i stručnoj pomoći, trudu i uloženom vremenu pri izradi ovog diplomskog rada.*

*Zahvaljujem se svim profesorima Odjela za graditeljstvo Sveučilišta Sjever za sva održana predavanja i prenesenom stručnom znanju.*

*Zahvaljujem se svojoj obitelji: majci Željki, ocu Danijelu, bratu Ivanu i sestri Elizabeti, te baki Ruži, obitelji Mihoci i zaručnici Heleni na potpori i razumijevanju u periodu izrade diplomskog rada i općenito na potpori tijekom studiranja.*

*Mihael Namjesnik*

## Popis korištenih kratica

|                 |                                       |
|-----------------|---------------------------------------|
| $a_{gr}$        | horizontalno vršno ubrzanje tla       |
| $\alpha$        | indeks znatnog oštećenja konstrukcije |
| $b$             | širina                                |
| C25/30          | razred čvrstoće betona                |
| cm              | centimetar                            |
| cm <sup>2</sup> | centimetar kvadratni                  |
| cm <sup>3</sup> | centimetar kubni                      |
| DL              | granično stanje ograničenog oštećenja |
| EMS             | europska makroseizmička ljestvica     |
| €               | euro                                  |
| FRCM            | tkaninom ojačan mort                  |
| $h$             | visina                                |
| kN              | kilonjutn                             |
| mm              | milimetar                             |
| SD              | granično stanje znatnog oštećenja     |
| $T$             | period                                |
| UHS             | upravljanje hitnim situacijama        |

## **Sažetak**

Tema ovog diplomskog rada je cjelovita obnova zgrade javne namjene u Sisku, čija je konstrukcija oštećena prilikom potresa koji su se dogodili dana 28. i 29. prosinca 2020. Hitnim pregledom, uporabljivost predmetne građevine prema razini oštećenjima (UHS) je N2 – Neuporabljivo – zbog oštećenja.

Za cjelovitu obnova zgrade diplomski rad sadrži: fotodokumentaciju oštećenja sa pozicijama na grafičkim priložima postojećeg stanja, analizu opterećenja, statički proračun, skice detalja tehničkih rješenja, procjenu troškova, grafički prilozi novog stanja.

Stanje građevine odnosno oštećenja nakon potresa su sljedeća: blaga do umjerena oštećenja nekonstruktivnih elemenata (pregradnih zidova), pukotine na nadvojima, pukotine na spoju zidova i međukatne konstrukcije. Najveće oštećenje nalazi se na drugom katu gdje spada urušeni dio zabatnog zida.

Ovaj rad sadrži dokaz mehaničke otpornosti i stabilnosti inženjerskim programom 3muri. Pomoću programa proračun je izvršen za dva modela građevine: postojeće stanja i novo stanje.

Procjena troškova za cjelovitu obnovu temeljena je na cijenama iz programa mjera obnova zgrada oštećenih potresom na području Sisačko-moslavačke županije.

**Ključne riječi:** potres, oštećenje, 3muri, sanacija

## **Abstrack**

The topic of this thesis is the complete renovation of a public building in Sisak, which was structurally damaged during the earthquakes on December 28 and 29, 2020. An urgent inspection classified the building's usability as N2 – Unusable – due to damage.

For the complete renovation, the thesis includes photo documentation of the damage with positions marked on graphical attachments of the current state, load analysis, static calculation, sketches of technical solution details, cost estimation, and graphical attachments of the new state.

The building's condition post-earthquake includes mild to moderate damage to non-structural elements (partition walls), cracks in the lintels and cracks at the junction of walls and floor structures. The most significant damage is on the second floor, where part of the gable wall has collapsed.

This thesis provides proof of mechanical resistance and stability using the engineering program 3muri. Calculations were performed for two models of the building: the existing state and the new state.

The cost estimation for the complete renovation is based on prices from the Programme of Measures for the Reconstruction of Earthquake-Damaged Buildings in the Sisak-Moslavina County.

**Keywords:** earthquake, damage, 3muri, renovation

# Sadržaj

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1   | Uvod.....  | 1  |
| 2   | O građevini.....   | 2  |
| 3   | Smjernice Konzervatorskog elaborata.....   | 3  |
| 4   | Opis konstrukcije zgrade.....  | 4  |
| 5   | Oštećenja na zidanim konstrukcijama.....   | 6  |
| 5.1 | Oštećenja u prizemlju.....   | 8  |
| 5.2 | Oštećenja na 1. katu.....  | 11 |
| 5.3 | Oštećenja na 2. katu.....  | 14 |
| 5.4 | Oštećenja na vanjskim zidovima.....  | 17 |
| 6   | Utvrđena oštećenja na zgradi Sisačko-moslavačke županije.....  | 23 |
| 7   | Analiza opterećenja.....   | 25 |
| 7.1 | Stalno opterećenje.....  | 25 |
| 7.2 | Uporabno opterećenje.....  | 26 |
| 7.3 | Seizmičko djelovanje.....  | 27 |
| 8   | 3 muri.....  | 28 |
| 8.1 | Model A.....   | 32 |
| 8.2 | Model B.....   | 35 |
| 8.3 | Usporedba modela A i modela B.....   | 39 |
| 9   | Prijedlozi ojačanja konstrukcije.....  | 40 |
| 9.1 | Ojačanje svodova i lukova FRCM sustavom.....   | 40 |
| 9.2 | Pojačanje spojeva zidova iz dva smjera.....  | 41 |
| 9.3 | Ojačanje zidova torkretnom oblogom.....  | 42 |
| 9.4 | Povezivanje i ojačanje međukatnih konstrukcija sprežanjem postojećih drvenih grednika s<br>AB tlačnom pločom d=8 cm..... | 43 |
| 9.5 | Ojačanje zidova FRCM sustavom.....   | 47 |
| 9.6 | Izvedba novih ukрутnih AB zidova.....  | 47 |
| 9.7 | Izvedba novih zabatnih zidova na razini potkrovlja i 2. kata.....  | 47 |
| 10  | Procjena troškova.....   | 48 |
| 11  | Zaključak.....   | 49 |
| 12  | Literatura.....  | 50 |
| 13  | Popis slika.....   | 51 |
| 14  | Popis tablica.....   | 53 |
| 15  | Prilozi.....   | 54 |



# 1 Uvod

Zgrada Sisačko moslavačke županije, u kojoj se obavljaju svi važni poslovi područne, odnosno regionalne samouprave, jedna je od zgrada pogođenih potresom na dane 28. i 29. prosinca 2020. godine. Potres, odnosno iznenadno i brzo podrhtavanje tla, na ovoj građevini javne namjene ostavilo je velika i trajna oštećenja koja su onemogućila njenu daljnju uporabu. U prvom djelu ovog rada izneseno je više informacija o samoj građevini nakon čega slijede fotografije nastale štete i opis stanja građevine nakon potresa.

Nadalje u radu nalaze se rezultati proračuna dvaju modela iste građevine: model A i model B. Model A predstavlja konstrukciju u izvornom stanju ujedno i konstrukciju koja ne zadovoljava analizama za granična stanja ograničenog oštećenja i za granična stanja znatnog oštećenja. Model B odnosi se na pojačanu konstrukciju tj. model koji zadovoljava uvijete svih analiza. Za dobivanje modela B potrebno je na postojećem modelu A odabrati zahvate sanacija na postojećim zidovima i međukatnoj konstrukciji. Za dokaz mehaničke otpornost i stabilnosti predmetne građevine kao i procjena seizmičke otpornosti modela A i B korišten je inženjerski program 3Muri. Program 3Muri vrši proračun građevine nelinearnom statičkom metodom koja se temelji na pomacima tzv. "pushover" analizi.

Potrebni zahvati na nosivoj konstrukciji za postizanje globalne seizmičke otpornosti konstrukcije definirani su u poglavlju „Prijedlozi ojačanja konstrukcije“. Navedeni zahvati popraćeni su kratkim opisom izvedbe kao i grafičkim prikazom. Elementi konstrukcije na kojima će se izvesti navedeni zahvati prikazani su kao dio priloga.

## 2 O građevini

Radi se o građevini Sisačko- moslavačke županije koja je zgrada javne namjene. U zgradi Sisačko-moslavačke županije smještene su uredske prostorije. Objekt se nalazi na raskrsnici Ulice Stjepana i Antuna Radića i Trga Ljudevita Posavskog. Objekt ima glavno pročelje okrenuto prema zapadu, koje je paralelno s građevinskom linijom susjednih objekata duž Ulice Stjepana i Antuna Radića. Sjeverno pročelje definira jugoistočni rub trga Ljudevita Posavskog, dok je istočno pročelje dio unutarnjeg dvorišta zgrade. Uz sjeverni i južni rub parcele nalaze se manji pomoćni objekti.



Slika 2.1 Prikaz zgrade – izvadak iz katastra

Zgrada je nepravilnog tlocrta u obliku slova „U“ te se sastoji od podruma, prizemlja, dva kata i potkrovlja. Sam objekt prošao je kroz nekoliko faza gradnje. Prvobitno je sagrađena 1870. godine gdje se ispod najstarijeg dijela zgrade nalazi i podrum. 1900. godine se nadograđuje sjeverno krilo te građevina poprima „L“ oblik. Drugi kat nad cijelom zgradom je sagrađen 1948. godine. Naknadnim izvedenim južnim krilom tlocrt zgrade poprima današnji oblik. Iz arhivskih nacрта zgrade vidljiva je da se s vremenom pregrađivala prvobitna organizacija prostorija.

### 3 Smjernice Konzervatorskog elaborata

Zgrada Sisačko-moslavačke županije u Sisku nije pojedinačno zaštićeno kulturno dobro, ali se nalazi unutar granica kulturnog dobra „Kulturno-povijesne cjeline grada Siska“.



Slika 3.1 Prikaz zgrade na karti Geoportala kulturnih dobara

Osnova organizacija prostorija nije izvorna tj. interijeri su bili podložni izmjenama i prilagodbama za uredske prostorije. Kako prostorna organizacija interijera nije izvorna, moguće je predvidjeti prostornu organizaciju ovisno o potrebama ojačanja konstrukcije.

Izvorna pročelja zgrade nisu sačuvana odnosno od izvornog pročelja ostali su uglovi pročelja naglašeni rustikom koja oponaša uglovni kamen. Bez obzira na pročelje lišeno izvorne strukture, preporuča se zadržavanje njezinog postojećeg stanja. Sanacijom pročelja mora se osigurati nosivost i stabilnost fasadnih zidova odnosno spriječiti mogućnost njihova odvajanja ili rušenja.

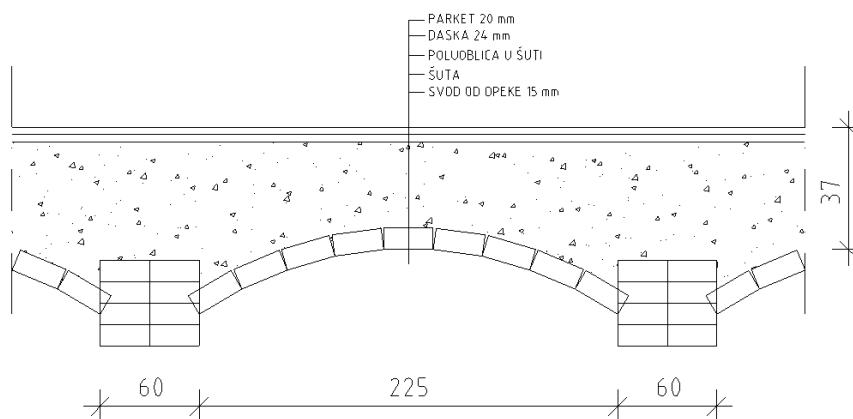
Za restauratorsku sanaciju potrebna je demontaža grba grada Siska koji se nalazi na glavnom pročelju.

## 4 Opis konstrukcije zgrade

**Temeljna konstrukcija** su trakasti temelji od pune opeke u širini zida.

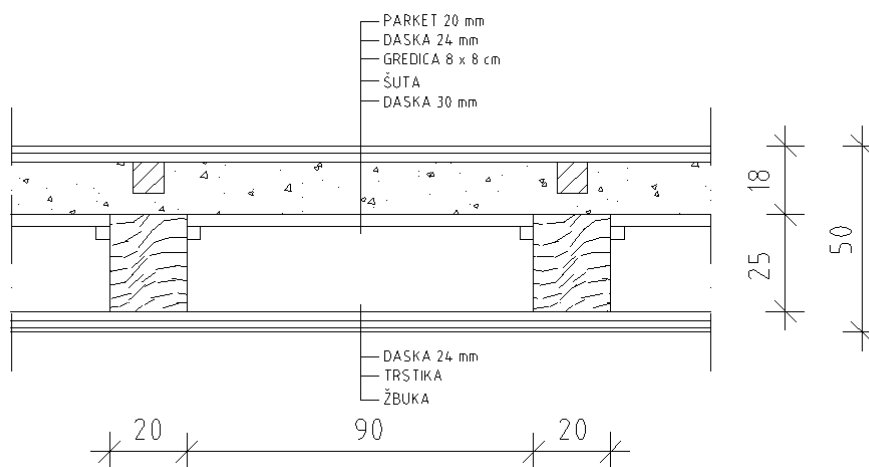
**Nosiva vertikalna konstrukcija** sastoji se od zidanih zidova različitih debljina od 25 cm do 65 cm. Pregradni zidovi su također zadani zidovi debljine do 20 cm. Svi nosivi i pregradni zidovi su zidani iz pune opeke starog formata dim. 29x15x6,5 cm u vapnenom mortu.

**Stropna konstrukcija iznad podruma** su lukovi i svodovi od pune opeke. Slojevi stropne konstrukcije su redom: svod od opeke 15 cm, šuta, poluobljici u šuti 10 x 8 cm, daska 24 mm i parket 20 mm.



Slika 4.1 Prikaz stropne konstrukcije iznad podruma

**Stropnu konstrukciju iznad dijela prizemlja** također čine lukovi i svodovi od pune opeke, dok su stropna konstrukcija iznad dvije istočne prostorije sjevernog krila iznad prizemlja drveni grednici dimenzija b/h: 20/25 cm, na osnom razmaku od 90 cm.



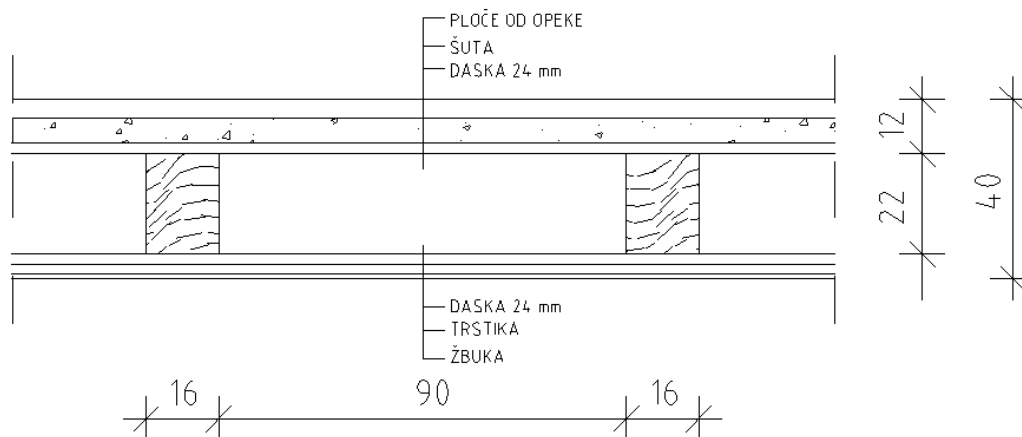
Slika 4.2 Prikaz stropne konstrukcije iznad dijela prizemlja

**Međukatna konstrukcija etaža prvog i drugog kata te dijela prizemlja** sastoji se od drvenih grednika sljedećih dimenzija:

iznad prizemlja: b/h: 25/35 cm, na osnom razmaku od 90 cm,

iznad 1. kata: b/h: 25/35 cm, na osnom razmaku od 90 cm,

iznad 2. kata: b/h: 16/22 cm, na osnom razmaku od 90 cm.



*Slika 4.3 Prikaz stropne konstrukcije iznad 2. kata*

**Vertikalna komunikacija** ostvaruje se unutarnjim trokrakim kamenim stubištem smještenim u središtu zgrade.

**Krovište** zgrade je klasična drvena dvostrešna konstrukcija s pokrovom od glinenog crijepa.

## 5 Oštećenja na zidanim konstrukcijama

Za procjenu oštećenja zidanih konstrukcija potreban je detaljan pregled zgrada, tj. pregledom ustanoviti oštećenja na nosivim i nenosivim elementima konstrukcije.






Fotografije s njihovim tlocrtnim pozicijama pridonose kao orijentir kod donošenja odluka o procjeni razini oštećenja i ukupnoj procjeni uporabljivosti zgrade. U ovom poglavlju su prikazana oštećenja odnosno pukotine u sljedećim smjerovima: horizontalo, vertikalno, dijagonalno, na sljedećim konstruktivnim elementima: zidovi, lukovi, svodovi.

Uporabljivost zgrade prema razini oštećenjima (UHS) može biti neuporabljivo, privremeno neuporabljivo i uporabljivo. Uporabljivost predmetne građevine prema razini oštećenjima (UHS) je N2 – Neuporabljivo – zbog oštećenja.



Slika 5.1 Oznake kategorije uporabljivosti građevine

Na sljedećoj stranici, slika 5.2, daje shematski pregled stupnjeva oštećenja i najčešćih stanja konstrukcijskih i nekonstrukcijskih elemenata za zidane konstrukcije prema EMS-98 klasifikaciji.

| Kategorija | Skica   | Detaljan opis  |
|------------|---|--|
| I          |    | <p><b>Neznatno do blago oštećenje</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- zanemarivo konstruktivno oštećenje</li> <li>- blago nekonstruktivno oštećenje</li> </ul> <p>Vrlo tanke pukotine u ponekim zidovima<br/>Otpadanje malih komada žbuke<br/>Vrlo rijetko otpadanje pojedinačnih odvojenih dijelova ziđa</p>   |
| II         |    | <p><b>Umjeren oštećenje</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- blago konstruktivno oštećenje</li> <li>- umjeren nekonstruktivno oštećenje</li> </ul> <p>Pukotine u brojnim zidovima<br/>Otpadanje većih komada žbuke<br/>Djelomično otkazivanje dimnjaka</p>   |
| III        |   | <p><b>Značajno do teško oštećenje</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- umjeren konstruktivno oštećenje</li> <li>- teško nekonstruktivno oštećenje</li> </ul> <p>Velike, razvedene pukotine u većini zidova<br/>Otpadanje crijepa<br/>Otkazivanje dimnjaka u razini krova<br/>Otkazivanja pojedinačnih nekonstruktivnih elemenata (pregradni, zabatni zidovi)</p> |
| IV         |  | <p><b>Vrlo teško oštećenje</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- teško konstruktivno oštećenje</li> <li>- vrlo teško nekonstruktivno oštećenje</li> </ul> <p>Značajno otkazivanje zidova<br/>Djelomično otkazivanje konstrukcija krovova i međukatnih konstrukcija</p>  |
| V          |  | <p><b>Otkazivanje</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- vrlo teško konstruktivno oštećenje</li> </ul> <p>Potpuno ili gotovo potpuno rušenje</p>   |

Slika 5.2 Stupnjevi oštećenja za zidane zgrade prema EMS-98 klasifikaciji

## 5.1 Oštećenja u prizemlju



*Slika 5.3 Prostorija 7. Horizontalna pukotina na zidu*



*Slika 5.4 Prostorija 13. Horizontalne i kose pukotine u nadvoju*





*Slika 5.5 Prostorija 16. Kose pukotine u nadvoju*



*Slika 5.6 Prostorija 19. Pukotina na spoju pregradnog zida i luka*



*Slika 5.7 Prostorija 24. Pukotina na spoju dva nosiva zida*



*Slika 5.8 Prostorija 26. Pukotina na pregradnim zidovima*

## 5.2 Oštećenja na 1. katu



*Slika 5.9 Prostorija 1. Pukotine na nadvoja*



*Slika 5.10 Prostorija 2. Dijagonalna pukotina zida*



*Slika 5.11 Prostorija 3. Oštećenje nadvoja*



*Slika 5.12 Prostorija 7. Dijagonalne pukotine iznad nadvoja*



*Slika 5.13 Prostorija 15. Oštećenje nadvoja*



*Slika 5.14 Prostorija 25. Rasprostranjene dijagonalne pukotine zida*

### 5.3 Oštećenja na 2. katu



*Slika 5.15 Prostorija 2. Dijagonalne pukotina na pregradnom zidu*



*Slika 5.16 Prostorija 4 pukotina na mjestu spoja 2 zida i međukatne konstrukcije*



*Slika 5.17 Prostorija 5.1. Pukotina na mjestu spoja pregradnog i nosivog zida*



*Slika 5.18 Prostorija 5.2. Dijagonalne i vertikalne pukotine na nosivom zidu*



*Slika 5.19 Prostorija 7. Pukotina na mjestu spojeva 2 zida i međukatne konstrukcije*



*Slika 5.20 Prostorija 16. pukotina na mjestu spojeva 2 zida i međukatne konstrukcije*



*Slika 5.21 Prostorija 17. Pukotina na mjestu spojeva 2 zida i međukatne konstrukcije*



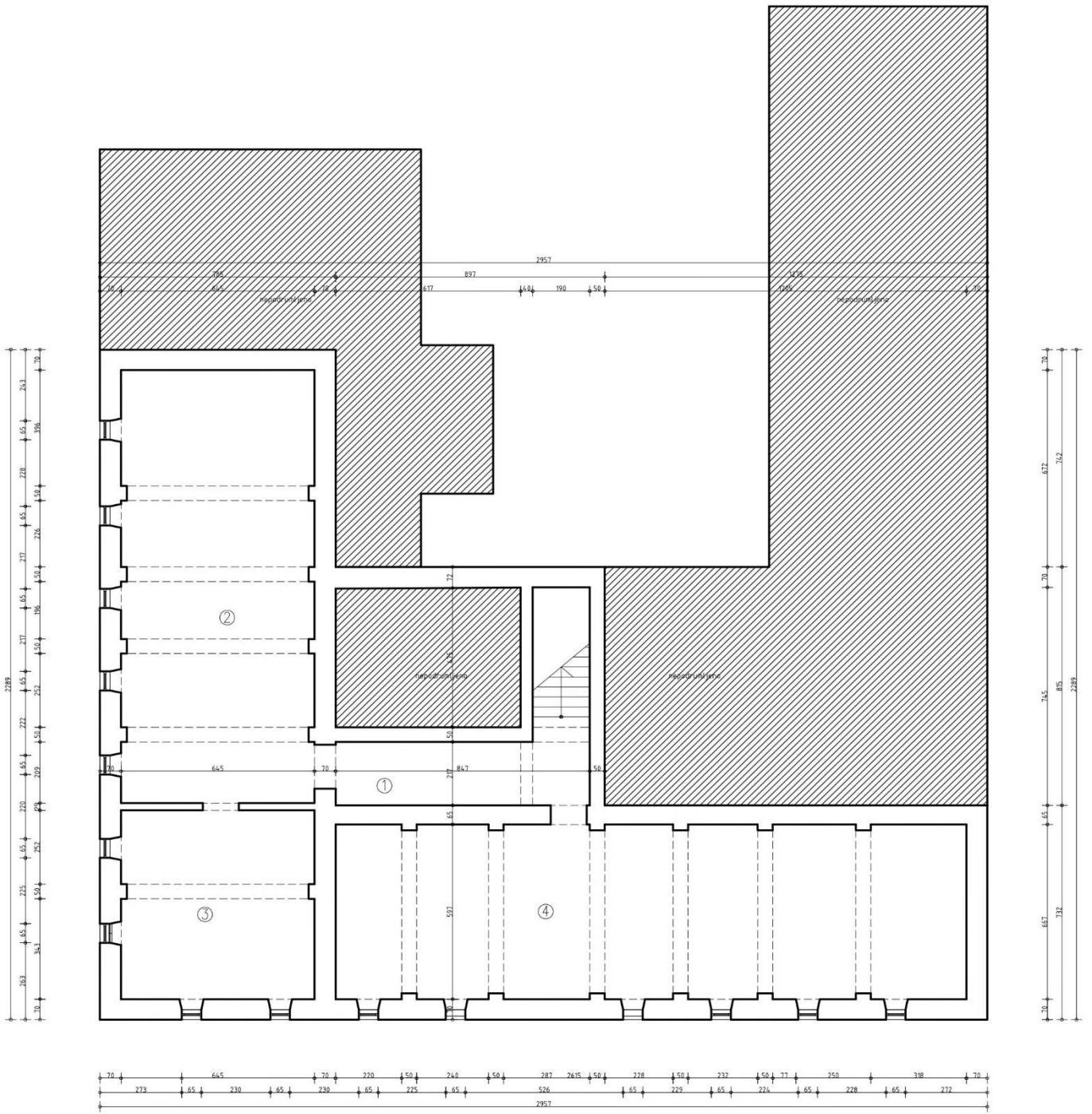
## 5.4 Oštećenja na vanjskim zidovima



*Slika 5.22 Dugačka dijagonalna pukotina*

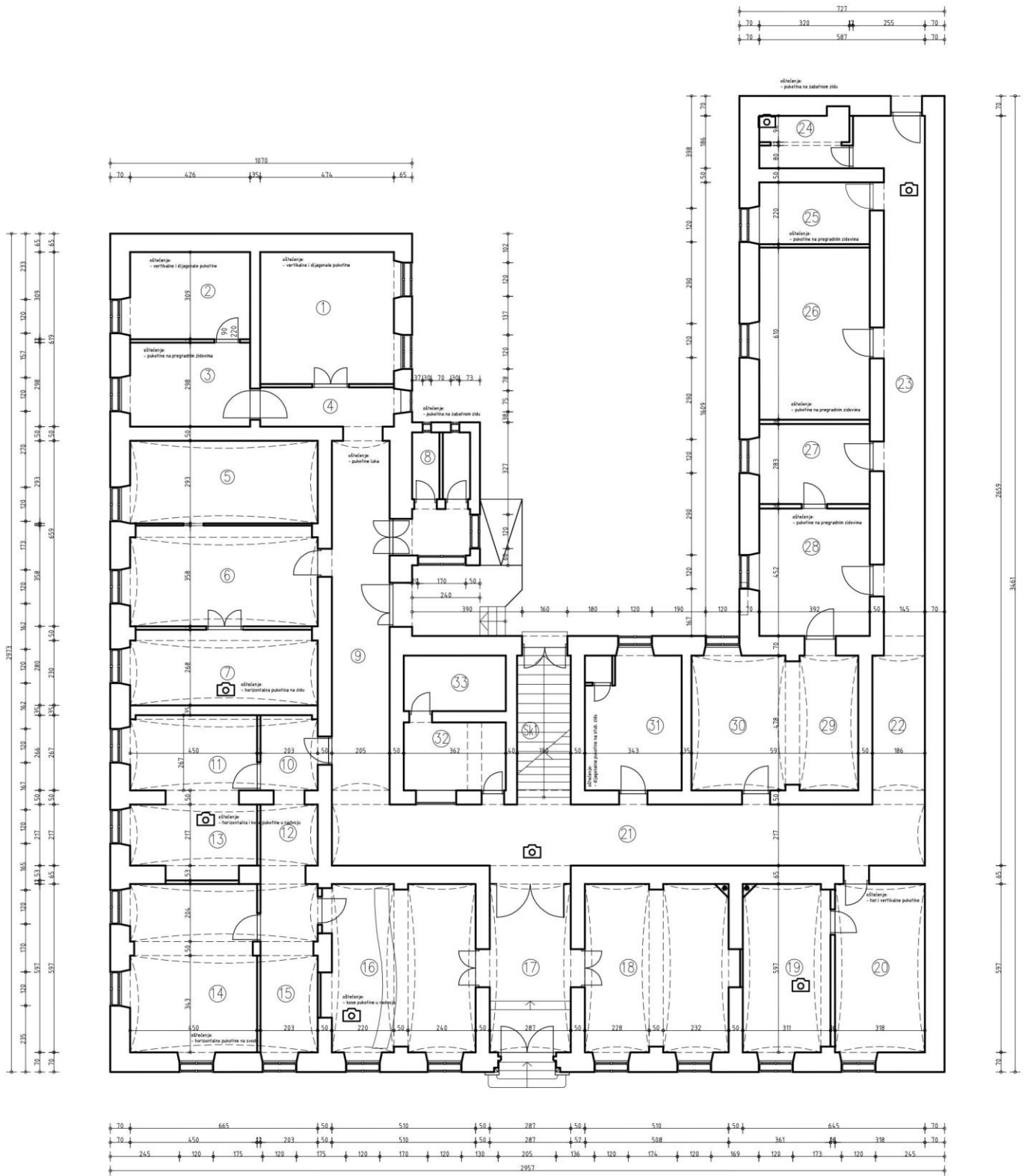


*Slika 5.23 Urušeni dio zabatnoga zida*



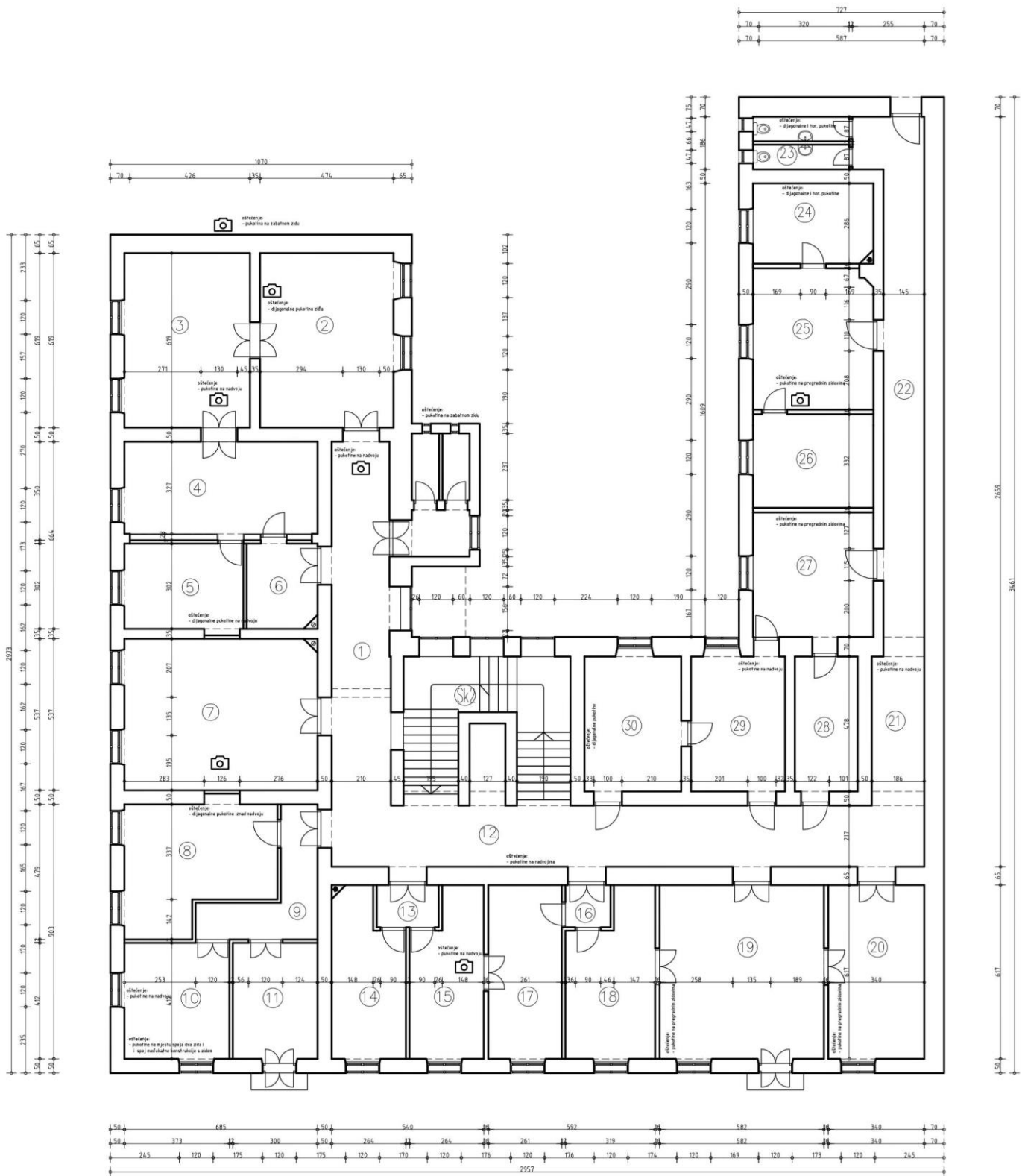
POSTOJEĆE STANJE  
TLOCRT PODRUMA 1:200





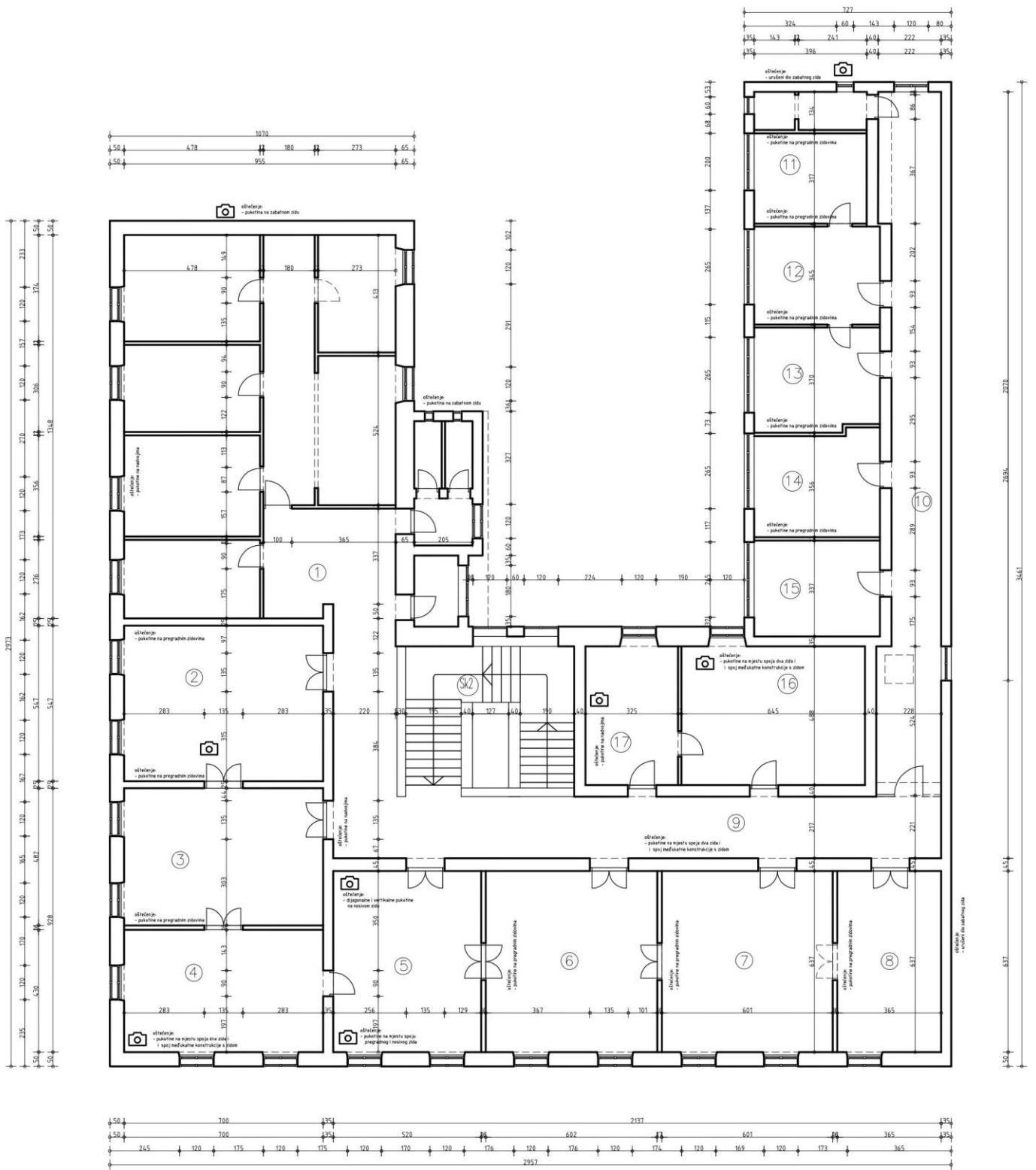
POSTOJEĆE STANJE  
TLOCRT PRIZEMLJA 1:200





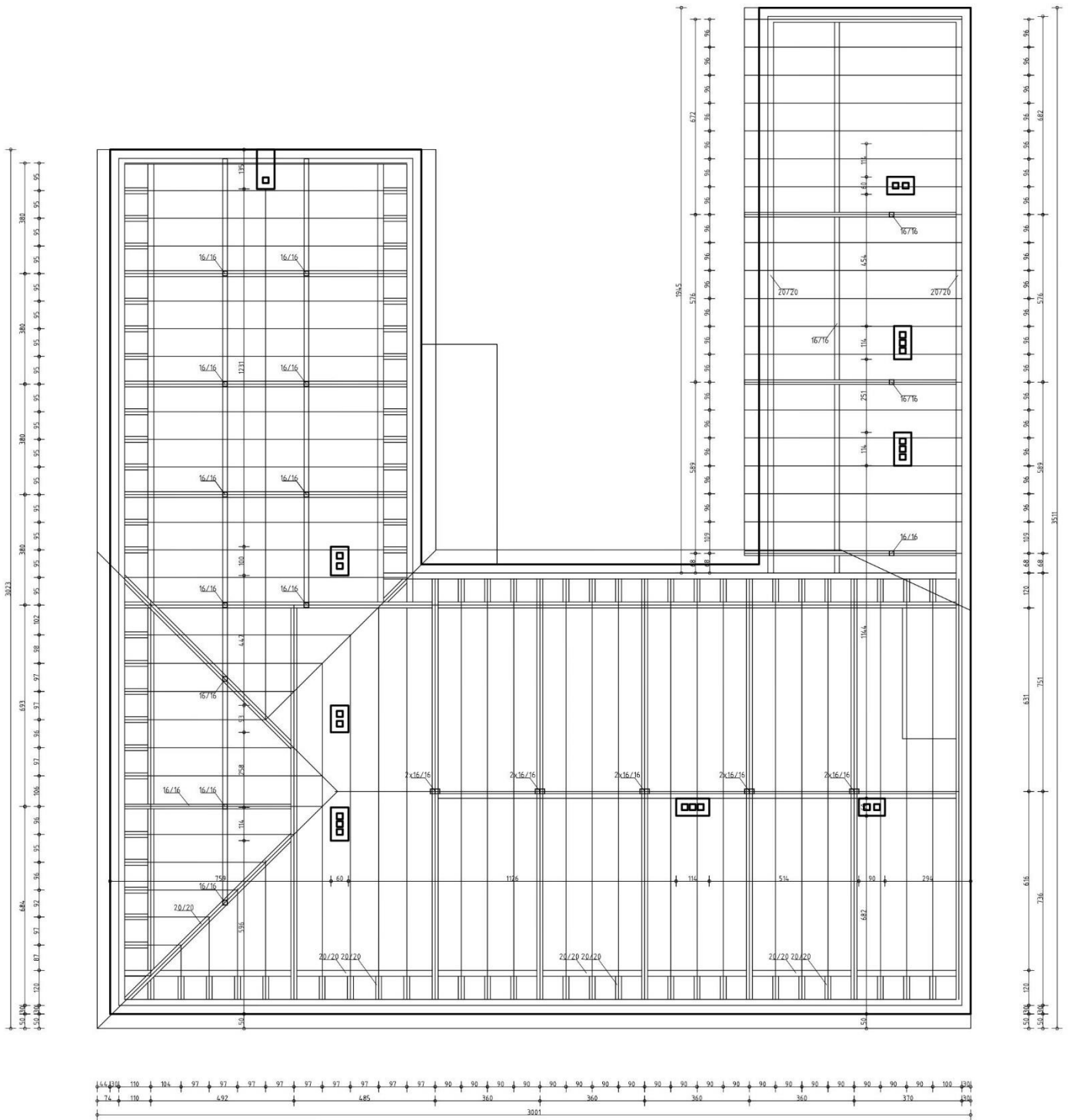
POSTOJEĆE STANJE  
TLOCRT 1. KATA 1:200





POSTOJEĆE STANJE  
TLOCRT 2. KATA 1:200





POSTOJEĆE STANJE  
TLOCRT KROVIŠTA 1:200



## **6 Utvrđena oštećenja na zgradi Sisačko-moslavačke županije**

Etaža prizemlja nema konstruktivnog oštećenja i ima blaga oštećenja nekonstruktivnih elemenata. Oštećenja koja se javljaju na razini prizemlja su pukotine na pregradnim zidovima, pukotine na nadvoju i luku.

Etaža prvog kata ima rasprostranjena blaga do umjerena oštećenja konstruktivnih elemenata i umjerene do teška oštećenja nekonstruktivnih elemenata. Oštećenja koja se javljaju na razini prvog kata su pukotine na pregradnim zidovima, pukotine na nadvoju, horizontalne pukotine na spoju zida i međukatne konstrukcije te pukotine na zabatnim zidovima.

Etaža drugog kata ima teška oštećenja nosivih elemenata i teška do vrlo teška oštećenja pregradnih zidova. U teško oštećenje 2. kata spada urušeni dio zabatnog zida i nadozida u razini potkrovlja, dijagonalne pukotine na nosivom zidu stubišta te pukotina na spoju zabatnih zidova.

S obzirom na oštećenja konstrukcije, odnosno duljinu i širinu pukotina u nosivim i ne nosivim zidovima na svim etažama, građevina se svrstava u razinu III prema EMS-98 klasifikaciji – umjerena konstruktivna oštećenja te teška nekonstruktivna oštećenja (pregradni zidovi, zabati).

Na temelju detaljnog pregleda zgrade može se zaključiti da je oštećena zgrada pogodna za obnovu tj. ojačanje. Prema Tehničkom propisu za građevinske konstrukcije (NN 17/17, 75/20) konstrukciju je potrebno ojačati minimalno za razinu 4 (cjelovita obnova konstrukcije).

| Razine obnove   | Zahtjev  | Dokumentacija  | Kategorije zgrada   |
|---|--|--|---|
| <b>Razina 1: popravak nekonstrukcijskih elemenata</b> | Nekonstrukcijske elemente dovesti do razine lokalne nosivosti i stabilnosti, popravkom ili zamjenom oštećenog nekonstrukcijskog elementa.<br>Potresna otpornost zgrade u cjelini popravkom Razine 1 se ne razmatra.  | Za provedbu popravka nekonstrukcijskih elemenata zgrade potrebna je izrada elaborata popravka nekonstrukcijskih elemenata. Elaborat sadrži grafičke priloge, potrebne proračune, skice detalja tehničkih rješenja, fotografije, tehničke i druge opise.  | – sve zgrade  |
| <b>Razina 2: popravak konstrukcije</b>                | Popravak potresom oštećene građevinske konstrukcije zgrade uz pojačanja kojima se postiže mehanička otpornost i stabilnost zgrade na potresno djelovanje za poredbenu vjerojatnost premašaja od 10% u 10 godina (povratni period 95 god.) za granično stanje znatnog oštećenja.  | Izrađuje se građevinski projekt – projekt popravka građevinske konstrukcije zgrade. U ocjeni potresne otpornosti zgrade koja je sastavni dio građevinskog projekta iskazuje se omjer proračunske potresne otpornosti konstrukcije i potresne otpornosti prema nizu HRN EN 1998 i pripadnim nacionalnim dodacima.         | – zgrade stambene, poslovne i stambeno-poslovne namjene te zgrade javne namjene sa srednjim posljedicama sloma koje su lakše oštećene u potresu   |
| <b>Razina 3: pojačanje konstrukcije</b>               | Pojačanje potresom oštećene građevinske konstrukcije zgrade uz primjenu metoda kojima se postiže povećanje mehanička otpornost i stabilnost zgrade u odnosu na potresno djelovanje za poredbenu vjerojatnost premašaja od 20% u 50 godina (povratni period 225 god.) za granično stanje znatnog oštećenja.   | Izrađuje se građevinski projekt – projekt pojačanja građevinske konstrukcije zgrade. U ocjeni potresne otpornosti zgrade koja je sastavni dio građevinskog projekta iskazuje se omjer proračunske potresne otpornosti konstrukcije i potresne otpornosti prema nizu HRN EN 1998 i pripadnim nacionalnim dodacima.        | Zgrade čija je potresna otpornost važna s obzirom na posljedice vezane s rušenjem (razred važnosti zgrade III prema nizu HRN EN 1998). Zgrade stambene, stambeno-poslovne i poslovne namjene te zgrade javne namjene koje su teže oštećene u potresu. |
| <b>Razina 4: cjelovita obnova</b>                     | Postizanje mehaničke otpornosti i stabilnosti prema pripadnim normama niza HRN EN 1998. Cjelovita obnova (poboljšanje, rekonstrukcija) potresom oštećene građevinske konstrukcije zgrade uz primjenu metoda kojima se postiže mehanička otpornost i stabilnost zgrade u odnosu na potresno djelovanje za poredbenu vjerojatnost premašaja od 10% u 50 godina (povratni period 475 god.). | Izrađuje se građevinski projekt – projekt cjelovite obnove građevinske konstrukcije zgrade. U ocjeni potresne otpornosti zgrade koja je sastavni dio građevinskog projekta iskazuje se omjer proračunske potresne otpornosti konstrukcije i potresne otpornosti prema nizu HRN EN 1998 i pripadnim nacionalnim dodacima. | Zgrade čija je cjelovitost tijekom potresa od važnosti za širu zajednicu (zgrade razreda važnosti IV prema nizu HRN EN 1998).   |

*Tablica 1 razina obnove konstrukcije*



## 7 Analiza opterećanja

### 7.1 Stalno opterećenje

Kosi drveni krov

|                              |  |
|------------------------------|--|
| pokrov -glineni crijep       | $q= 1.00 \text{ kN/m}^2$                   |
| letve i kontra letve         | $q= 0.20 \text{ kN/m}^2$                   |
| drvena konstrukcija krovišta | $q= 0.80 \text{ kN/m}^2$                   |
| <b>Ukupno:</b>               | <b><math>q= 2.00 \text{ kN/m}^2</math></b> |

Međukatna konstrukcija stropa drugog kata

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| završni sloj (parket/ker. pločice) | $q= 0.46 \text{ kN/m}^2$                   |
| estrih (glazura)                   | $q= 0.48 \text{ kN/m}^2$                   |
| sloj trstike (zvučna izolacija)    | $q= 0.24 \text{ kN/m}^2$                   |
| drveni grednici                    | -  |
| sloj trstike (zvučna izolacija)    | $q= 0.24 \text{ kN/m}^2$                   |
| vapnena žbuka                      | $q= 0.48 \text{ kN/m}^2$                   |
| instalacije                        | $q= 0.10 \text{ kN/m}^2$                   |
| <b>Ukupno:</b>                     | <b><math>q= 2.00 \text{ kN/m}^2</math></b> |

Međukatna konstrukcija stropa prvog kata i dijela prizemlja – drveni grednici

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| završni sloj (parket/ker. pločice) | $q = 0.46 \text{ kN/m}^2$                   |
| estrih (glazura)                   | $q = 0.48 \text{ kN/m}^2$                   |
| sloj trstike (zvučna izolacija)    | $q = 0.24 \text{ kN/m}^2$                   |
| drveni grednici                    | -   |
| sloj trstike (zvučna izolacija)    | $q = 0.24 \text{ kN/m}^2$                   |
| vapnena žbuka                      | $q = 0.48 \text{ kN/m}^2$                   |
| instalacije                        | $q = 0.10 \text{ kN/m}^2$                   |
| <b>Ukupno:</b>                     | <b><math>q = 2.00 \text{ kN/m}^2</math></b> |

Međukatna konstrukcija stropa dijela prizemlja i podruma – svodovi

|   |   |
|---|---|
| završni sloj (parket/ker. pločice)                      | $q = 0.46 \text{ kN/m}^2$                   |
| estrih (glazura)  | $q = 0.48 \text{ kN/m}^2$                   |
| sloj trstike (zvučna izolacija)                         | $q = 0.24 \text{ kN/m}^2$                   |
| Pruski svod – čelični profili i bačvasti<br>opečni svod | -   |
| sloj trstike (zvučna izolacija)                         | $q = 0.24 \text{ kN/m}^2$                   |
| vapnena žbuka   | $q = 0.48 \text{ kN/m}^2$                   |
| instalacije   | $q = 0.10 \text{ kN/m}^2$                   |
| <b>Ukupno:</b>  | <b><math>q = 2.00 \text{ kN/m}^2</math></b> |

## 7.2 Uporabno opterećenje

### Kosi krov

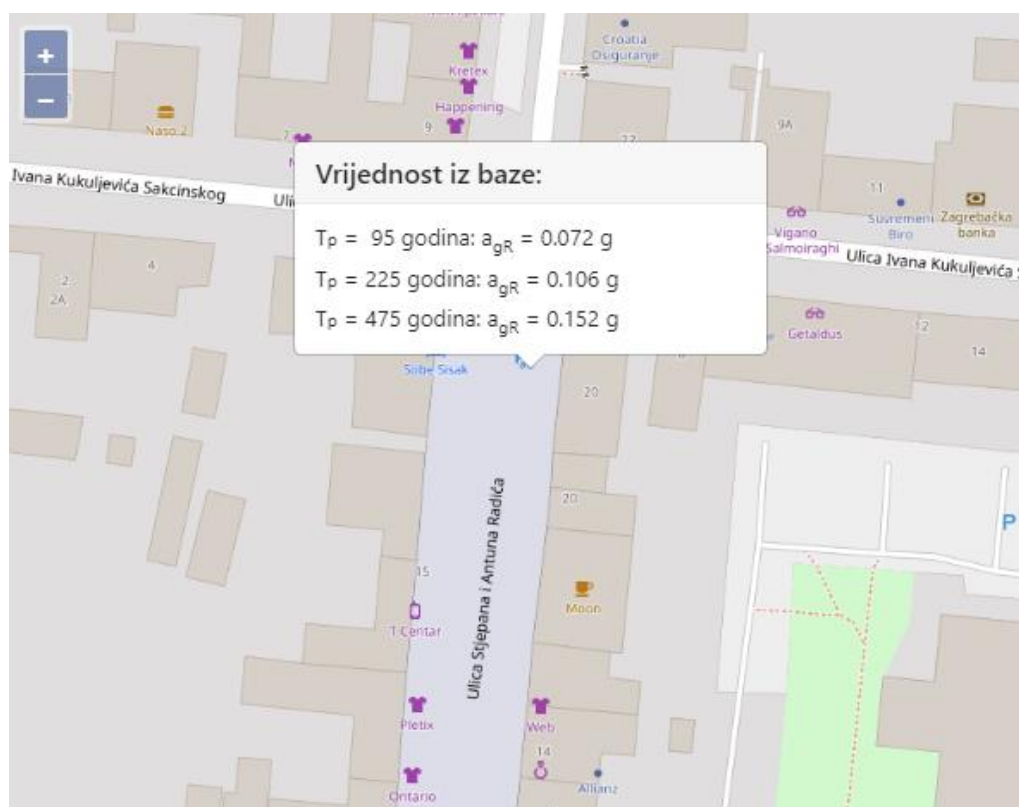
Neprohodni krovovi, kategorija H  $q = 0.6 \text{ kN/m}^2$

### Međukatne konstrukcije

Kategorija A: stambene prostorije  $q = 3.0 \text{ kN/m}^2$

Stubišta, podesti  $q = 4.0 \text{ kN/m}^2$

### 7.3 Seizmičko djelovanje



Slika 7.1 Seizmološki prikaz područja

Prema karti potresnih područja iznos vršnih ubrzanje tla tipa A za povratna razdoblja od 95 i 475 godina izraženo u jedinicama gravitacijskog ubrzanja g iznosi:

$$T_p=95 \text{ godina: } a_{gr}=0.072 \text{ g}$$

$$T_p=475 \text{ godina: } a_{gr}=0.152 \text{ g}$$

Faktor važnosti građevine:

II. razred važnosti: Obične zgrade – zgrada javne i društvene namjene,  $\gamma_I = 1,00$

Temeljno tlo:

Tip tla: C, Zbijeni ili srednje gusti pijesak, šljunak ili čvrsta glina debljine nekoliko desetaka do nekoliko stotina metara.

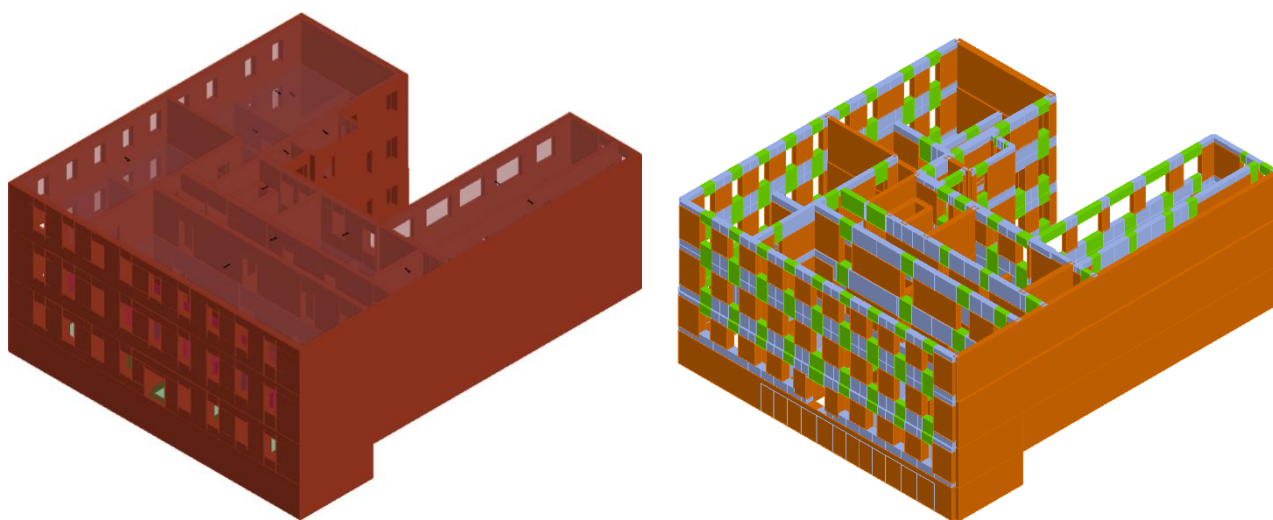
Parametri horizontalnog proračunskog spektra za dani tip tla:

$$S = 1.15, T_B = 0.20, T_C = 0.60, T_D = 2.00$$

$$\text{Faktor ponašanja: } q = 1.50$$

## 8 3 muri

3muri je inženjerski program za seizmičku analizu konstrukcija preko nelinearne statičke metode proračuna temeljene na pomacima, tzv. pushover analiza. Ovaj program je pogodan za analizu kako starih, tako i novih građevina odnosno za zidane konstrukcije i konstrukcije mješovitog sustava (ziđe-beton). 3muri omogućava mogućnost provedbe statičke analize prema Eurocodu 6 i pushover analize konstrukcija prema Eurocodu 8. Program 3Muri nudi i mogućnostima ojačanja konstrukcija sa raznim sistemima koji su dio programa (FRCM, torkret, ...). Uz globalni proračun konstrukcije, dostupni su i lokalni proračuni stabilnosti zidova.



*Slika 8.1 3D model zgrade (lijevo) i zamjenski model s okvirima (desno)*

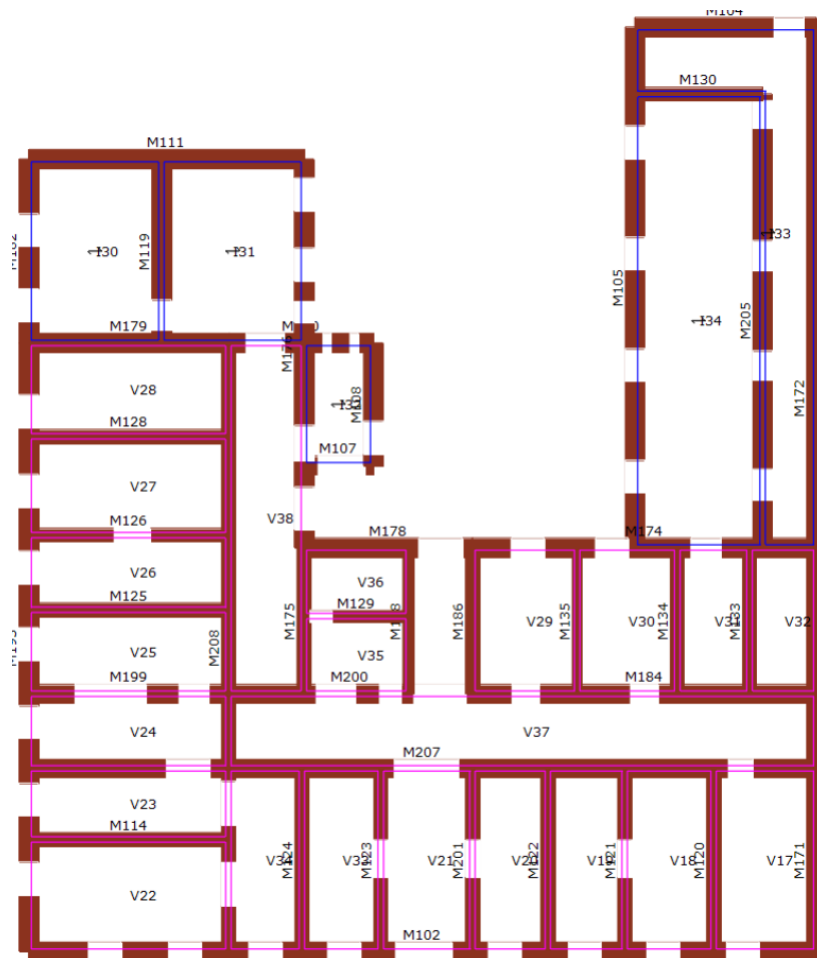
„Pushover analysis“ ili metoda postupnog guranja, koja se koristi u programu 3muri, se smatra da je jedna od najprimjerenijih metoda za seizmičku analizu postojećih zidanih konstrukcija. Metoda postupnog guranja provodi se na način da je konstrukcija podvrgnuta opterećenju horizontalnim silama koje konstrukciju mogu zadesiti za vrijeme potresa. Proračun se sastoji od niza nelinearnih statičkih proračuna za monotono rastuće horizontalne sile koje dovode do povećanja deformacija konstrukcije i promjene u krutosti cijelog sustava koji je prethodno opterećen vertikalnim djelovanjima. Dostizanjem plastične vrijednosti otpornosti, unutarnja sila u elementu ne može više rasti, ali element se nastavlja deformirati. Najveća sposobnost pomaka odgovara pomaku kontrolnog čvora, koji se nalazi na najvišoj međukatnoj konstrukciji, pri koje je ukupna poprečna sila u podnožju pala ispod 80% svoje najveće vrijednosti, odnosno otpornosti konstrukcije. Cilj je metode postupnog guranja odrediti odnos između poprečne sile u podnožju i pomaka kontrolnog čvora, što se grafički prikazuje krivuljom sposobnosti nosivosti.

Pushover krivulja predstavlja odnos između horizontalne sile u bazi građevine i pomaka vrha. Krivulja daje važne podatke o globalnoj izdržljivosti građevine i deformacijskoj sposobnosti. Krivulja kapaciteta daje važne podatke o približnom ponašanju građevine u plastičnom području. Seizmička procjena i projektiranje za nelinearnu statičku analizu provodi se pomoću kontrole deformacije konstrukcije. Nelinearna statička analiza omogućava da se definira krivulja kapaciteta i identificiraju elementi koji se ponašaju plastično odnosno i otkazuju. Analiza identificira distribuciju pojave plastičnih zglobova odnosno utvrđuje pojavu prvog mjesta otkazivanja što može biti korisno u sanaciji građevine. Smatra se da je mjerodavna ona krivulja sposobnosti koja rezultira manjom sposobnošću konstrukcije u pogledu deformacije, krutosti i nosivosti.

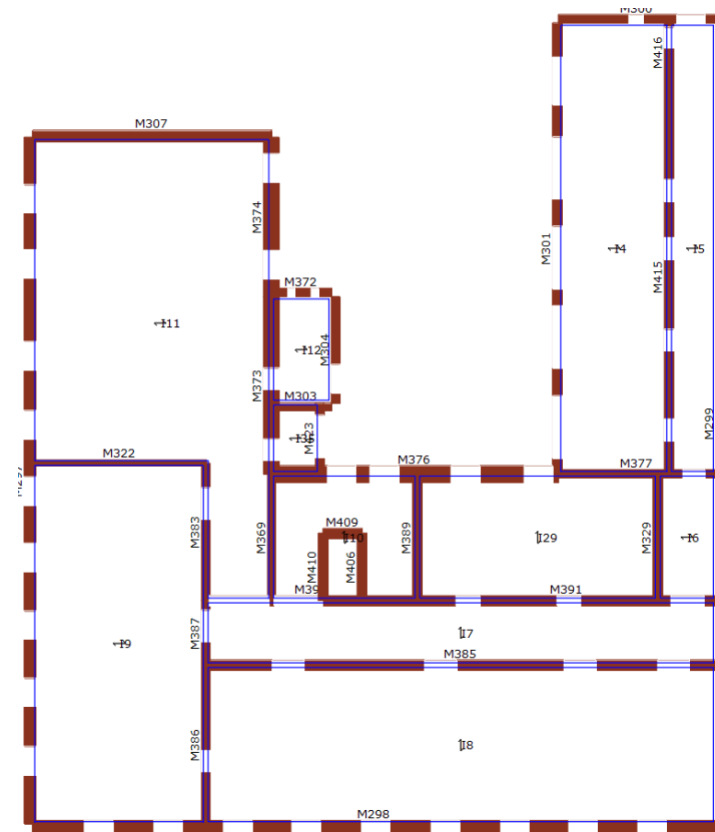
3muri provodi ukupno 24 pushover analize koje su definirane s četiri glavna smjera djelovanja bočnih sila (+X, -X, +Y, -Y) te djelovanje istih bočnih sila sa pozitivnim ili negativnim ekscentritetom. Analiza uključuje dvije vrste raspodjele bočnih sila: jednolika i modalna raspodjela. Prema HRN EN 1998-3/NA provjerava se granično stanje znatnog oštećenja (SD) i granično stanje ograničenog oštećenja (DL). Rezultati proračuna tj. faktori ispunjena program prikazuju tablično za svaku analizu i za oba granična stanja. Ako su vrijednosti faktora ispunjena veći od 1, smatra se da je uvjet nosivosti zadovoljen i da konstrukcija ima dovoljnu sposobnost za preuzimanje seizmičkih sila odnosno to znači da su pomaci konstrukcije manji od graničnih pomaka za odgovarajuće granično stanje.



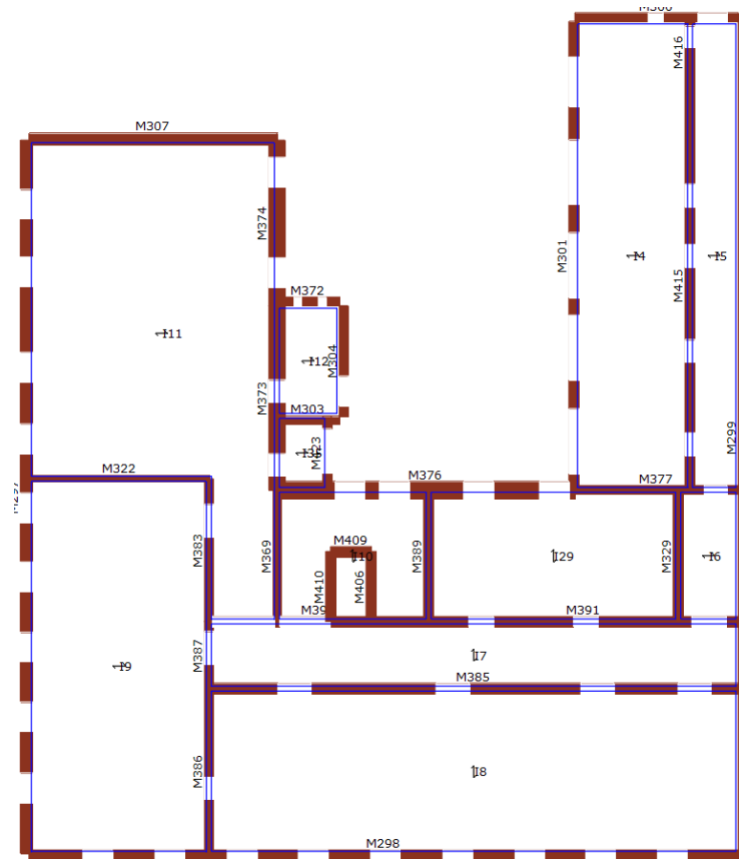
Slika 8.2 Tlocrt podrum (grafički prikaz razine iz programa 3Muri)



Slika 8.3 Tlocrt prizemlja (grafički prikaz razine iz programa 3Muri)



Slika 8.4 Tloct 1. kata (grafički prikaz razine iz programa 3Muri)



Slika 8.5 Tloct 2. kata (grafički prikaz razine iz programa 3Muri)

## 8.1 Model A

Kad je riječ o modelu A, konstrukcija nije zadovoljila u 11 od ukupno 24 analize za granično stanje ograničenog oštećenja, a za granično stanje znatnog oštećenja zadovoljila je te uvjete u 10 provedenih analiza. Pri tome je najnepovoljnija bila analiza u kojoj je konstrukcija imala sposobnost izdržati samo 35.2% projektiranog vršnog ubrzanja za povratni period od 475 godina. Konstrukcija se pokazala značajno slabijom u smjeru Y u kojem je ostvareni pomak konstrukcije do dva puta manji od pomaka za smjer X.

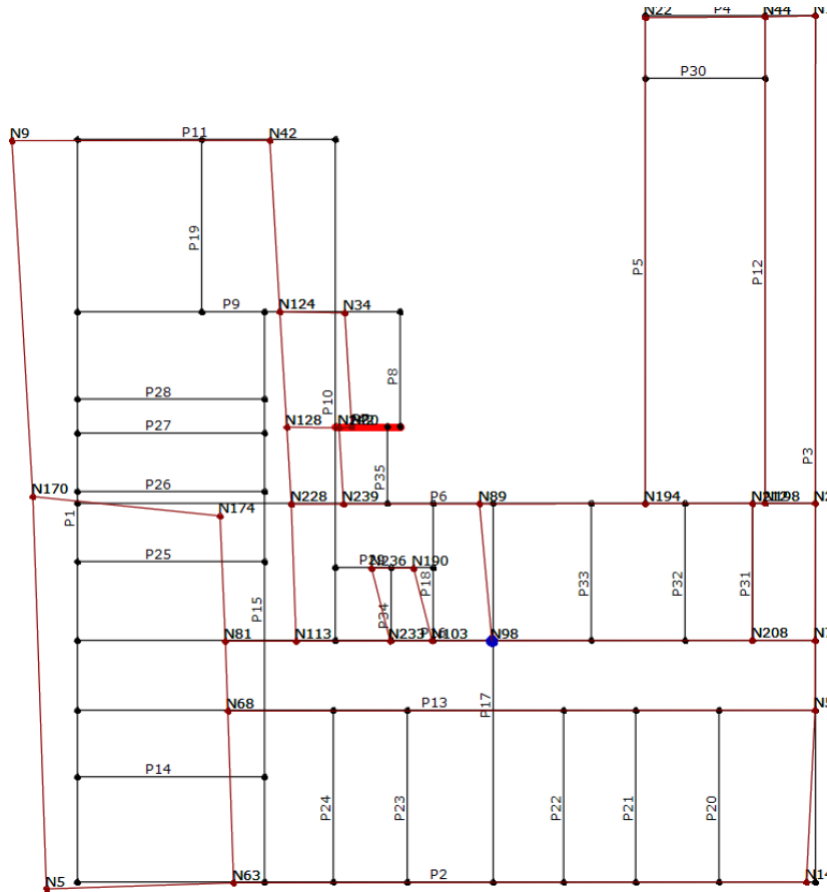
Proračunom je dana tablica sa vrijednostima faktora ispunjena tj. da li je uvjet nosivosti zadovoljen i posjeduje li konstrukcija zadovoljavajuću sposobnost preuzimanja seizmičkih sila. U tablici možemo vidjeti da je većina analize u crvenoj boji što znači da nisu zadovoljile uvjete proračuna.

| Br. | Smjer seizmičke sile | Vrsta raspodjele | Ekscentritet [cm] | $\alpha$ SD | $\alpha$ DL |
|-----|----------------------|------------------|-------------------|-------------|-------------|
| 1   | +X                   | jednolika        | 0,0               | 3,631       | 0,941       |
| 2   | +X                   | modalna          | 0,0               | 0,564       | 0,500       |
| 3   | -X                   | jednolika        | 0,0               | 1,245       | 1,115       |
| 4   | -X                   | modalna          | 0,0               | 0,534       | 0,298       |
| 5   | +Y                   | jednolika        | 0,0               | 1,095       | 1,220       |
| 6   | +Y                   | modalna          | 0,0               | 2,785       | 0,757       |
| 7   | -Y                   | jednolika        | 0,0               | 0,816       | 1,237       |
| 8   | -Y                   | modalna          | 0,0               | 0,289       | 0,815       |
| 9   | +X                   | jednolika        | 170,1             | 2,718       | 1,089       |
| 10  | +X                   | jednolika        | -170,1            | 4,164       | 1,158       |
| 11  | +X                   | modalna          | 170,1             | 0,469       | 0,635       |
| 12  | +X                   | modalna          | -170,1            | 0,932       | 0,528       |
| 13  | -X                   | jednolika        | 170,1             | 1,893       | 1,453       |
| 14  | -X                   | jednolika        | -170,1            | 1,169       | 1,294       |
| 15  | -X                   | modalna          | 170,1             | 0,431       | 0,352       |
| 16  | -X                   | modalna          | -170,1            | 0,476       | 0,351       |
| 17  | +Y                   | jednolika        | 144,9             | 1,415       | 1,727       |
| 18  | +Y                   | jednolika        | -144,9            | 1,174       | 1,372       |
| 19  | +Y                   | modalna          | 144,9             | 1,440       | 1,031       |
| 20  | +Y                   | modalna          | -144,9            | 2,324       | 0,965       |
| 21  | -Y                   | jednolika        | 144,9             | 1,056       | 1,667       |
| 22  | -Y                   | jednolika        | -144,9            | 0,990       | 1,394       |
| 23  | -Y                   | modalna          | 144,9             | 0,370       | 1,042       |
| 24  | -Y                   | modalna          | -144,9            | 0,387       | 0,722       |

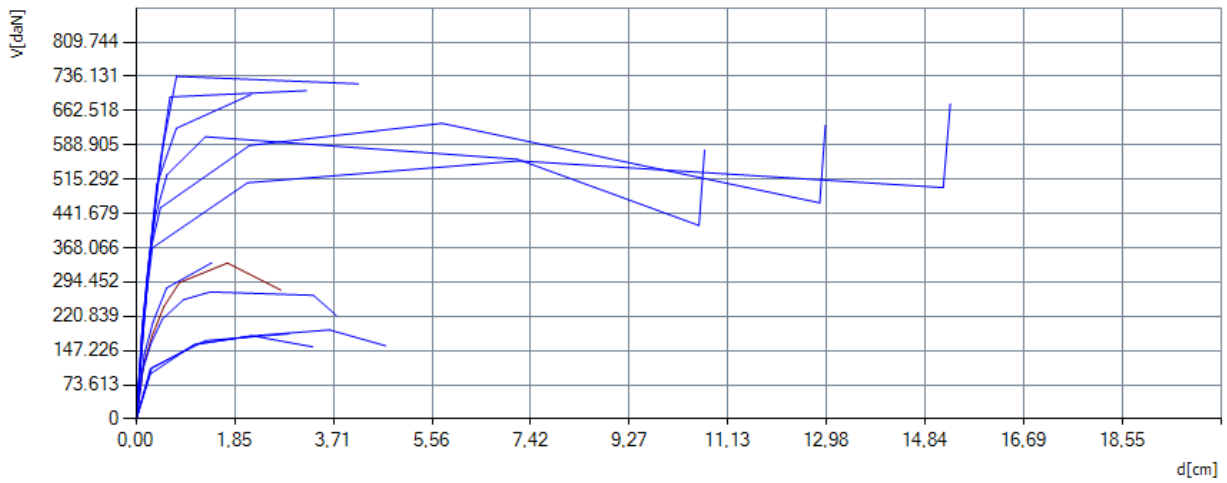
Tablica 2 Prikaz faktora ispunjena za nepojačanu konstrukciju



Dobiveni rezultati za smjer X:

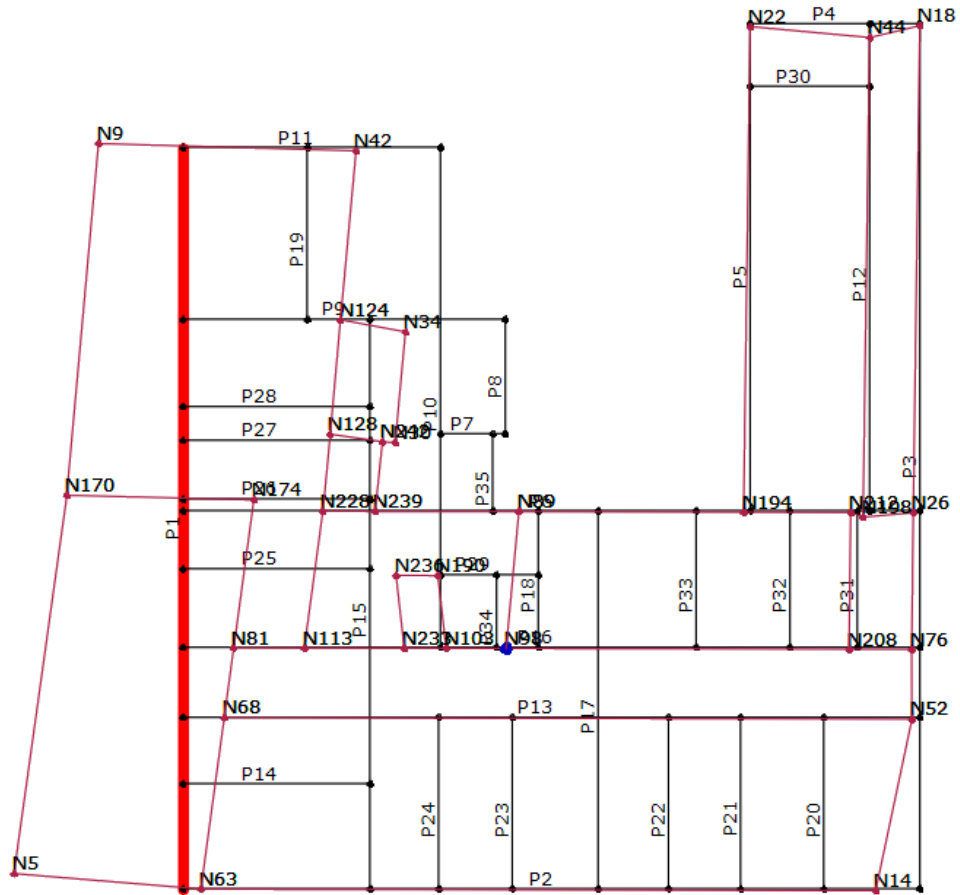


Slika 8.6 Tlocrt nosivih zidova s deformacijskom linijom za analizu br. 8

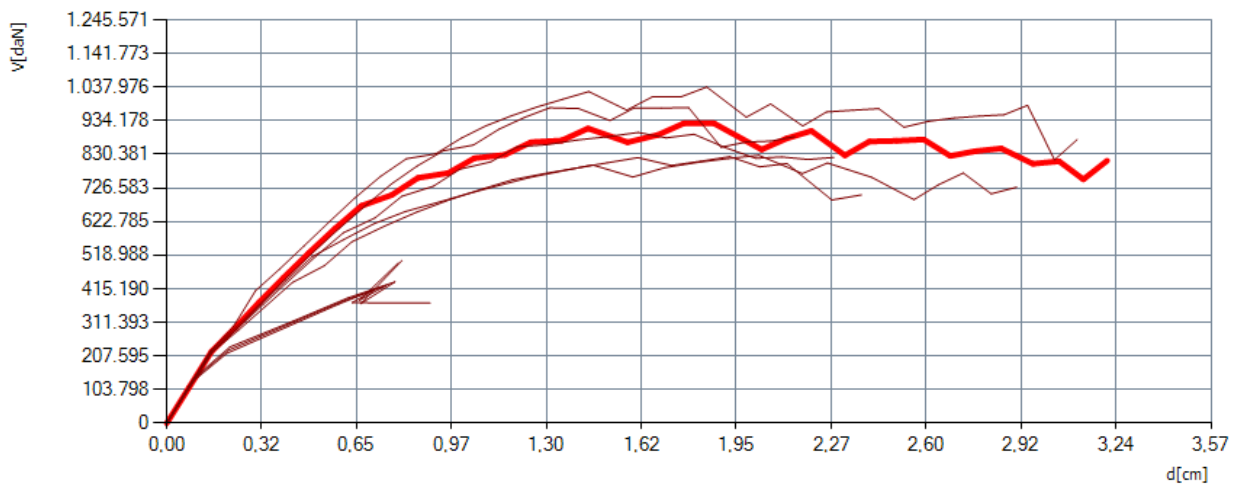


Slika 8.7 Krivulja kapaciteta zgrade za analize u smjeru X

Dobiveni rezultati za smjer Y:



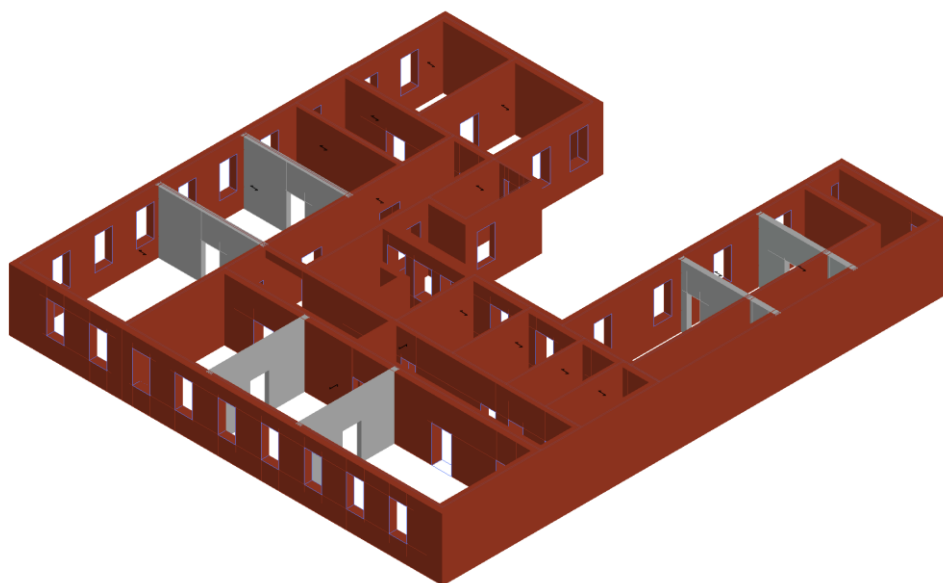
Slika 8.8 Tlocrt nosivih zidova s deformacijskom linijom za analizu br. 15



Slika 8.9 Krivulja kapaciteta zgrade za analize u smjeru Y

## 8.2 Model B

Model B predstavlja model građevine sa odabranim zahvatima ojačanja kojima se zadovolje uvjeti deformabilnosti iz 21 analiza. Jedno od prvih i osnovnih zahvata je promjena tipologije stropne konstrukcije odnosno odabir spregnutih ploča. Na taj se osigurava krutost u njihovoj ravnini. U izborniku zidnih elemenata, postoji mogućnost ojačanja zidova frcm sustavom ili torkret.. Sam 3muri nudi paletu odabira frcm rješenja za ojačanje zidova gdje spada katalog proizvoda proizvođača kao što su Mapei, Keracoll i ostalih. Osim ojačanja zidova u svakom bloku građevine, na mjestima pregradnih zidova, dodaju se armirano betonski zidovi debljine 25 cm, po cijeloj visini konstrukcije. U izborniku za ab zidove potrebno je definirati njihovu armaturu a nakon proračuna za navedene zidove program pokazuje da li postoji njihovo oštećenje ili ne. Ponavljanjem proračuna dobivamo bolje rezultate u odnosu na modelu A a sve ovisi o odabiru ojačanja. Takav postupak nam pokazuje koliko je dosta jednostavno napraviti sanaciju građevine u programu 3muri.



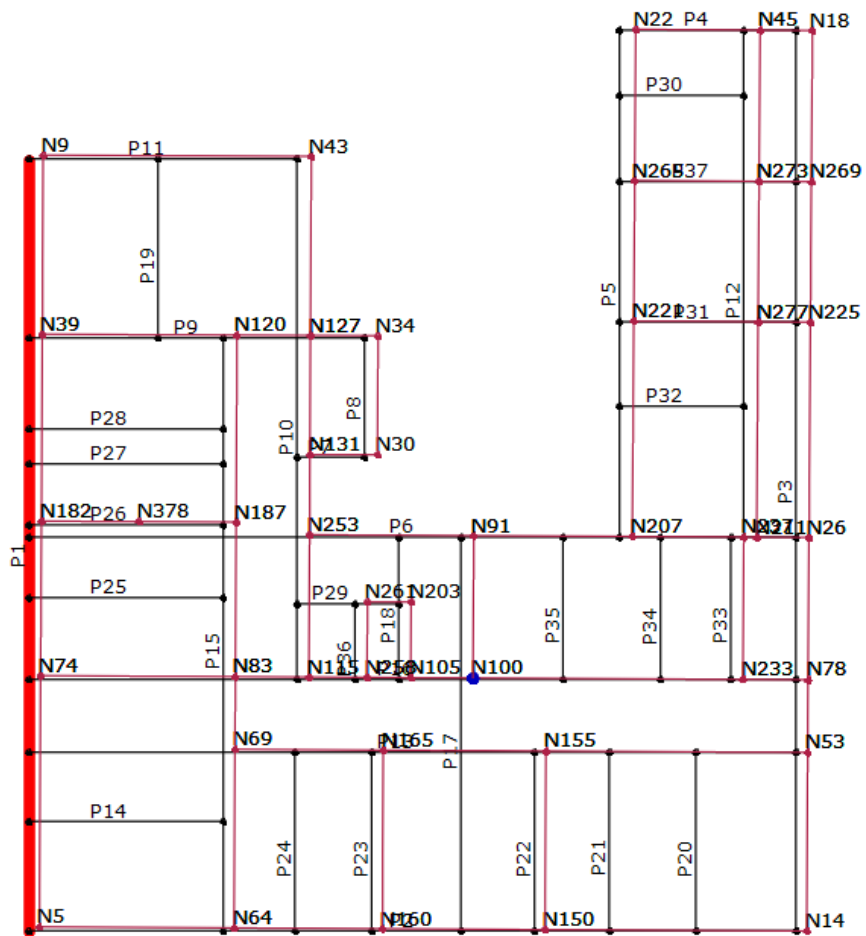
*Slika 8.10 model 2. kata (prikaz novih ab zidova)*

S obzirom na to da je u projektu obnove konstrukcije zgrade odabrana razina obnove 4 potrebno je postići da faktor ispunjena bude najmanje 1.za sve analize graničnog stanja znatnog i ograničenog oštećenja.

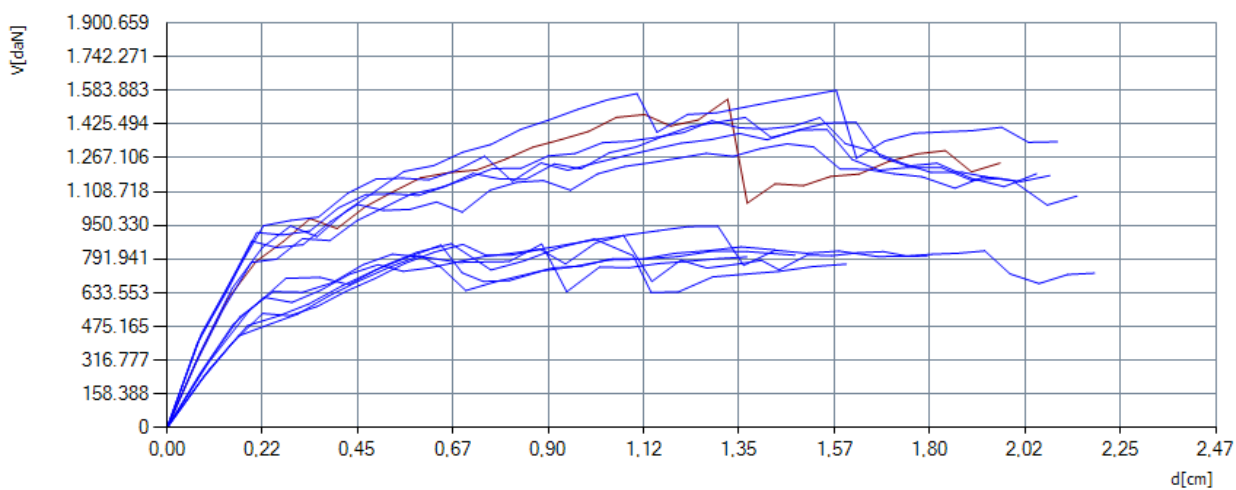
| Br. | Smjer seizmičke sile | Vrsta raspodjele | Ekscentritet [cm] | $\alpha$ SD | $\alpha$ DL |
|-----|----------------------|------------------|-------------------|-------------|-------------|
| 1   | +X                   | jednolika        | 0,0               | 1,171       | 2,624       |
| 2   | +X                   | modalna          | 0,0               | 1,050       | 1,395       |
| 3   | -X                   | jednolika        | 0,0               | 1,804       | 2,392       |
| 4   | -X                   | modalna          | 0,0               | 1,195       | 1,411       |
| 5   | +Y                   | jednolika        | 0,0               | 2,154       | 3,455       |
| 6   | +Y                   | modalna          | 0,0               | 1,130       | 2,403       |
| 7   | -Y                   | jednolika        | 0,0               | 2,112       | 3,192       |
| 8   | -Y                   | modalna          | 0,0               | 1,855       | 2,826       |
| 9   | +X                   | jednolika        | 170,1             | 1,848       | 2,708       |
| 10  | +X                   | jednolika        | -170,1            | 1,676       | 2,397       |
| 11  | +X                   | modalna          | 170,1             | 1,019       | 1,409       |
| 12  | +X                   | modalna          | -170,1            | 1,117       | 1,547       |
| 13  | -X                   | jednolika        | 170,1             | 1,929       | 2,440       |
| 14  | -X                   | jednolika        | -170,1            | 1,832       | 2,211       |
| 15  | -X                   | modalna          | 170,1             | 1,330       | 1,452       |
| 16  | -X                   | modalna          | -170,1            | 1,378       | 1,499       |
| 17  | +Y                   | jednolika        | 144,9             | 2,321       | 3,851       |
| 18  | +Y                   | jednolika        | -144,9            | 2,433       | 2,965       |
| 19  | +Y                   | modalna          | 144,9             | 1,027       | 1,710       |
| 20  | +Y                   | modalna          | -144,9            | 1,086       | 2,287       |
| 21  | -Y                   | jednolika        | 144,9             | 1,870       | 3,565       |
| 22  | -Y                   | jednolika        | -144,9            | 2,030       | 2,921       |
| 23  | -Y                   | modalna          | 144,9             | 1,640       | 3,000       |
| 24  | -Y                   | modalna          | -144,9            | 1,636       | 2,637       |

Tablica 3 Prikaz faktora ispunjena za ojačanu konstrukciju

Dobiveni rezultati za smjer X:

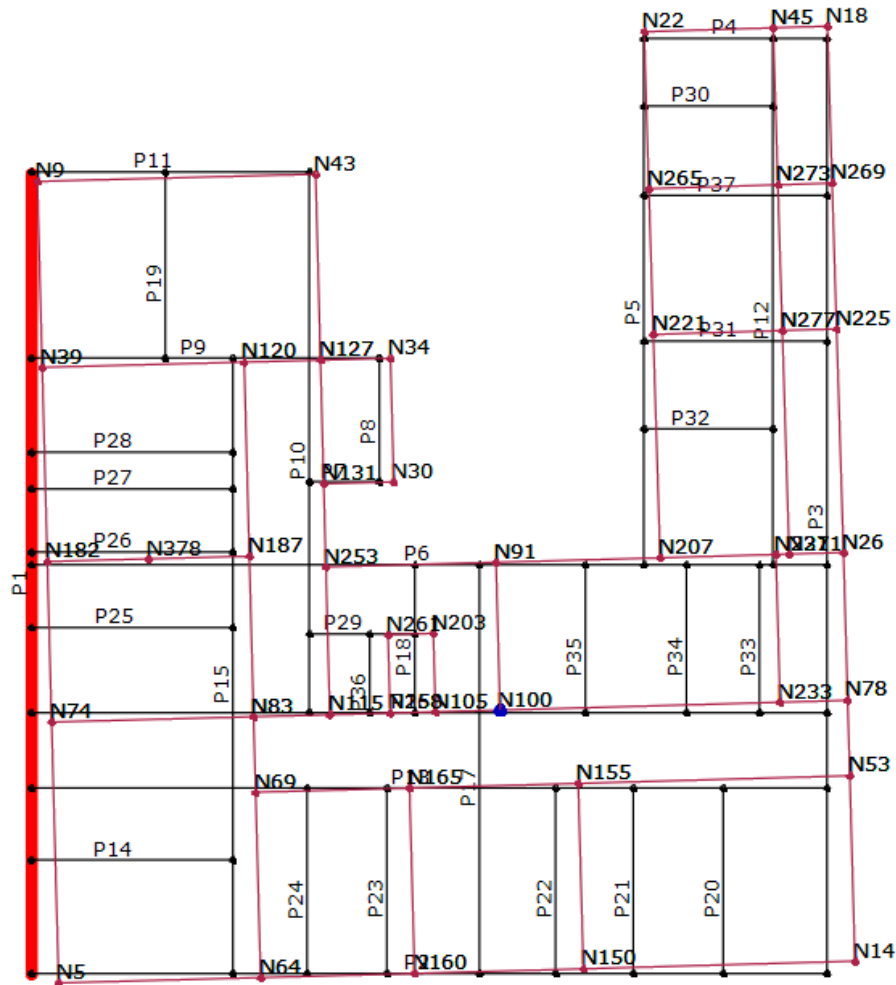


Slika 8.11 Tlocrt nosivih zidova s deformacijskom linijom za analizu br. 2

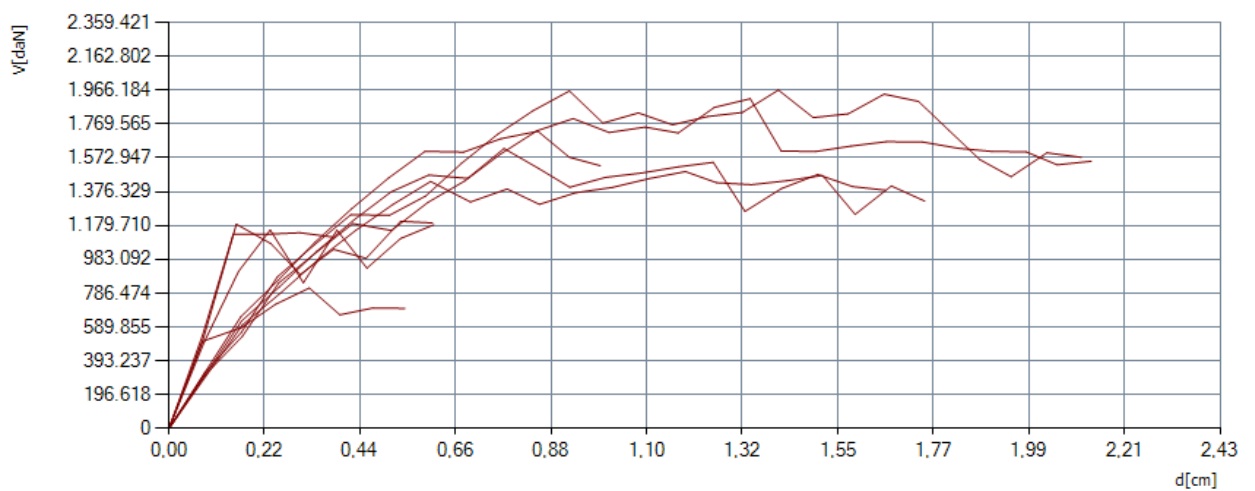


Slika 8.12 Krivulja kapaciteta zgrade za analize u smjeru X

Dobiveni rezultati za smjer Y:



Slika 8.13 Tlocrt nosivih zidova s deformacijskom linijom za analizu br. 1



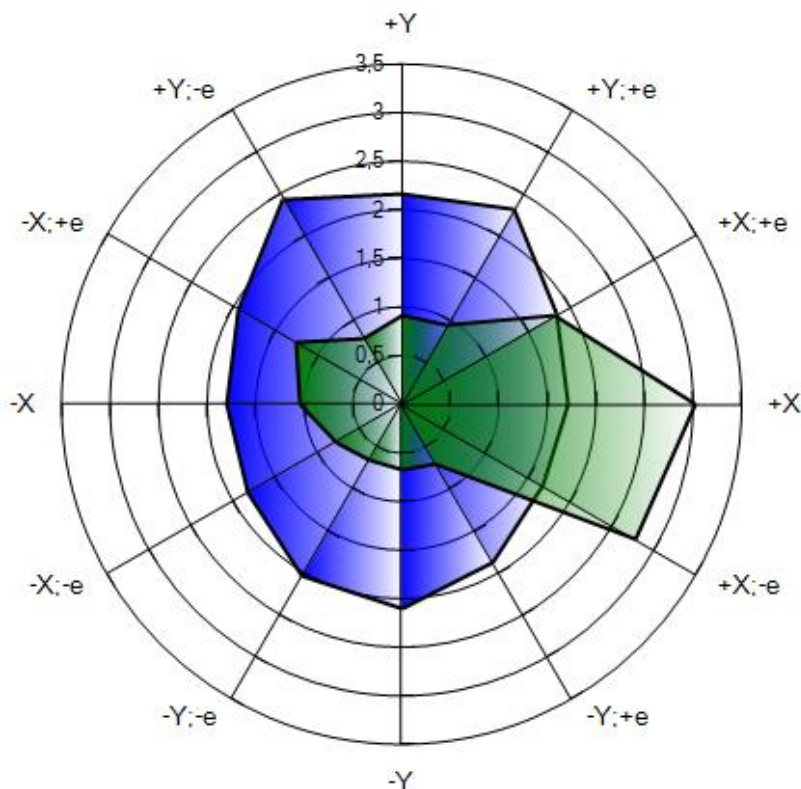
Slika 8.14 Krivulja kapaciteta zgrade za analize u smjeru Y

### 8.3 Usporedba modela A i modela B

Najnepovoljnija analiza modela A je ona u kojoj je konstrukcija imala sposobnost izdržati samo 28.9% projektiranog vršnog ubrzanja tla a kod modela B je najnepovoljnija bila analiza u kojoj je konstrukcija imala sposobnost izdržati 102% na potresno djelovanje za poredbenu vjerojatnost premašaja od 10% u 50 godina (povratni period od 475 godina).

| Granično stanje | Granično stanje znatnog oštećenja |             |          | Granično stanje ograničenog oštećenja |             |          |
|-----------------|-----------------------------------|-------------|----------|---------------------------------------|-------------|----------|
| Model           | $PGA_{DSD}$                       | $PGAC_{SD}$ | $\alpha$ | $PGA_{DDL}$                           | $PGA_{CDL}$ | $\alpha$ |
| A               | 2,05                              | 0,59        | 0,289    | 0,76                                  | 0,62        | 0,815    |
| B               | 0,38                              | 0,41        | 1,027    | 0,10                                  | 0,18        | 1,710    |

Prikazom svih krivulja kapaciteta na zajedničkom dijagramu očito da model A u smjeru X ima veću deformacijsku sposobnost nego u smjeru Y. Za model A sve vrijednosti koji se nalaze do vrijednosti 1 predstavlja analize koje ne zadovoljavaju. U samom grafikonu možemo vidjeti kako se za model B faktori ispunjena čine „krug“ što znači da je deformabilnost konstrukcije u svim smjerovima približno jednaka. Ojačanjem konstrukcije dobivamo i veće iznose poprečnih sila u podnožju kod modela B. U modelu A radi se o poprečnim sila iznosa 736. 131 kN za smjer X te 1037,98 kN za smjer Y dok u modelu B imamo sile od 1583,88 kN za smjer X i 1966,18 kN za smjer Y.



Slika 8.15 Usporedba rezultata proračuna za značajno oštećenje (model A – zeleno, model B – plavo)

## 9 Prijedlozi ojačanja konstrukcije

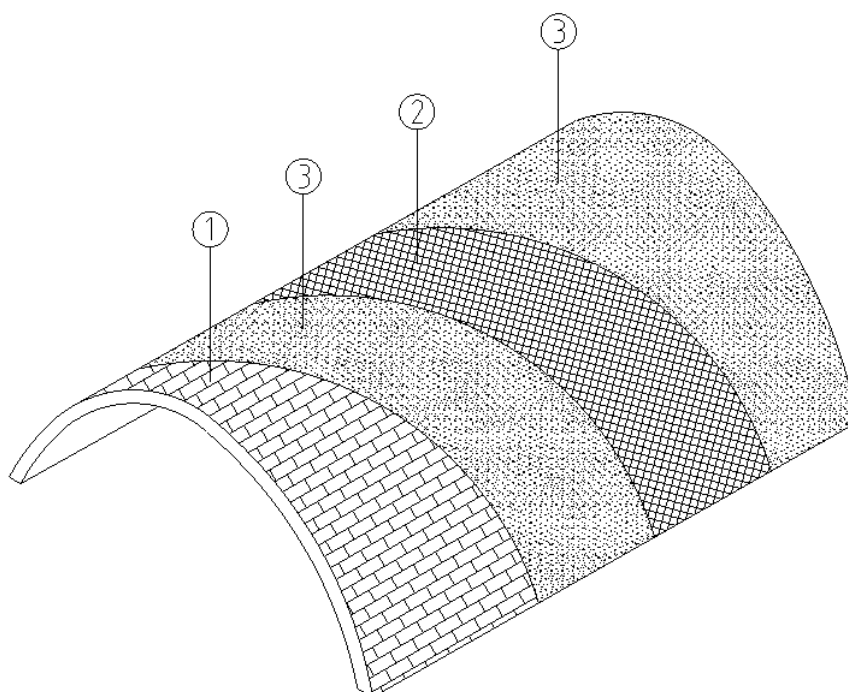
Na temelju utvrđenih oštećenja i analize nosive konstrukcije građevine utvrđeno je kako su potrebna ojačanja konstrukcije u cilju povećanja seizmičke otpornosti, globalne nosivosti i stabilnosti građevine. U nastavku su dani prijedlozi sanacije i ojačanja.

### 9.1 Ojačanje svodova i lukova FRCM sustavom

Pojačanje svodova, lukova i nadvoja predviđeno je FRCM sustavom. FRCM predstavlja sustav tanko slojne armirane žbuke za protupotresno ojačanje konstrukcija. Oblaganje svodova predviđeno je samo s gornje strane svoda.

Postupak izvedbe FRCM-a nad svodovima je sljedeći:

- uklanjanje svih slojeva sa svodova tj. čišćenje površine svodova
- saniranje svih pukotina (injektiranje pukotina i popravak fuga)
- priprema podloge za polaganje FRCM-a
- nanošenje morta visoke duktilnosti ojačan vlaknima
- ugradnja armaturne mrežice od staklenih vlakana u svjež mort
- mrežicu sidriti u obodne zidove sidrima
- izvesti zadnji sloj morta



Slika 9.1 Ojačanje svodova FRCM sustavom

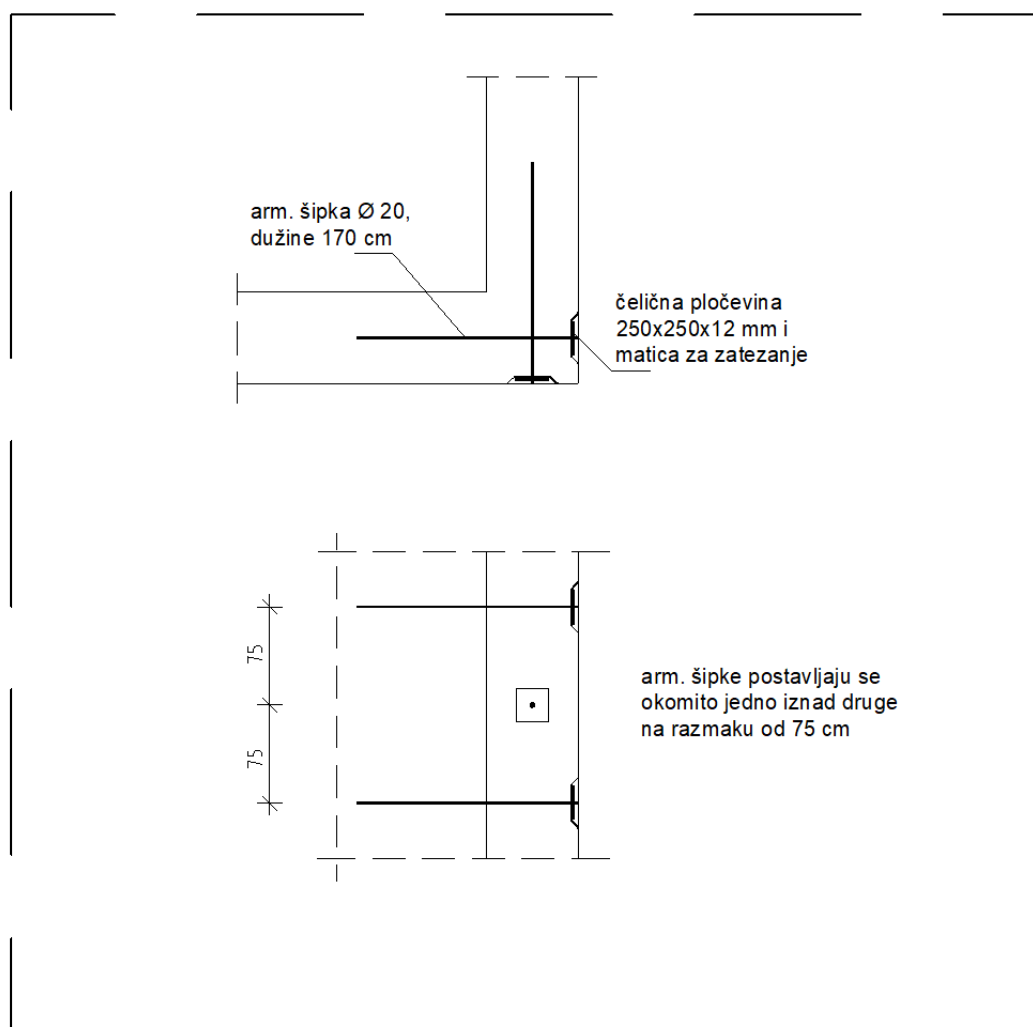


## 9.2 Pojačanje spojeva zidova iz dva smjera

Budući da je međusobna povezanost vertikalnih elemenata od ključne važnosti za osiguravanje elastičnog ponašanja konstrukcije u slučaju potresa, pojačanje kutova zidova izvodi se ugradnjom zatega. Na donjoj slici prikaza je detalj zatege koji obuhvaća čeličnu pločicu dimenzija i na nju zavarenu armaturnu šipku.

Postupak:

- bušenje rupa promjera 22 mm na visini od 75 cm
- čišćenje rupa
- pomoću kemijskog sredstva sidra se ankeriraju u zid

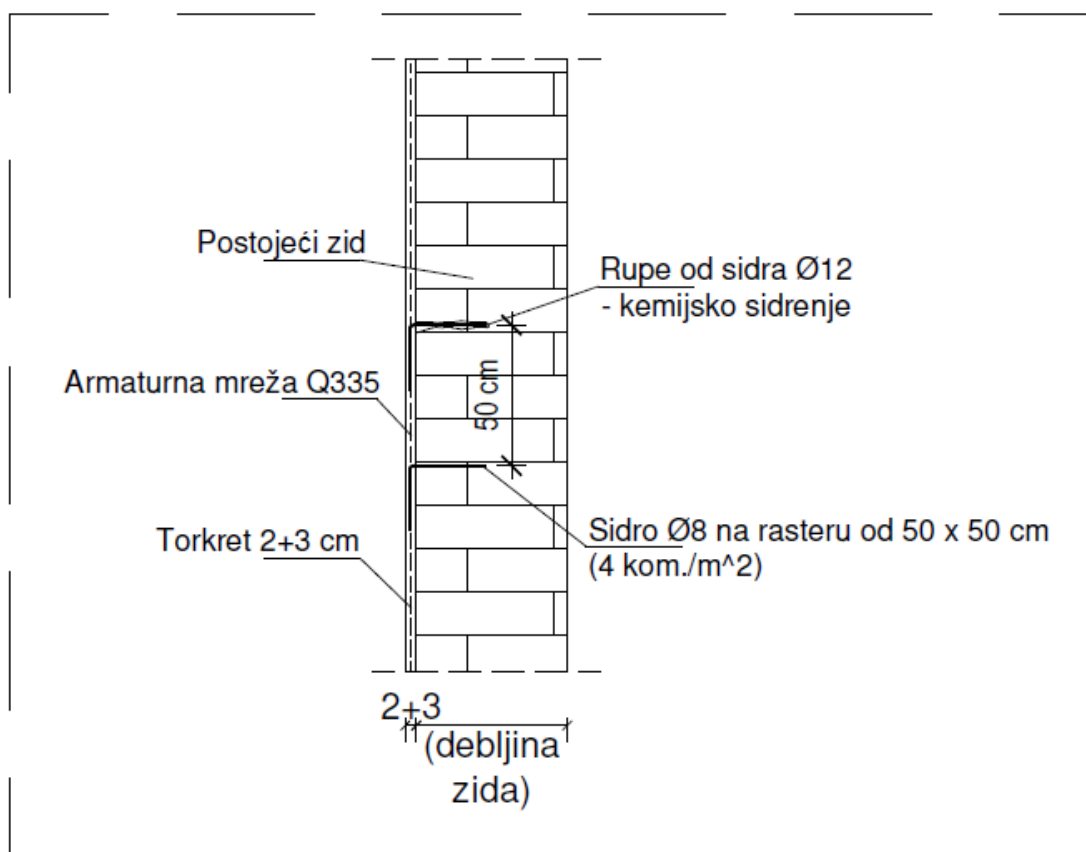


Slika 9.2 Detalj postavljanja zatega za ojačanje spojeva zidova

### 9.3 Ojačanje zidova torkretnom oblogom

Jedna od rješenja ojačanja građevine je izvedba AB torkretnih obloga na zidovima čime se značajno povećava nosivost na horizontalna djelovanja (potres). Tako ćemo globalno ojačati vertikalne elemente konstrukcije. Potrebno je ciljano torkretirati jer se tako utječe na krutost konstrukcije i posljedično na ponašanje konstrukcije uslijed horizontalnih opterećenja.

Izvedba tanke AB obloge s jednim slojem armaturne mreže (Q-335) kojom se značajno povećava nosivost na horizontalna opterećenja. Postupak izvedbe se sastoji od obijanje žbuke, postavljanja armature po svim zidovima te sidrenje u zidove šipkama, te na kraju postavljanje betonske obloge u vidu mlaznog betona.



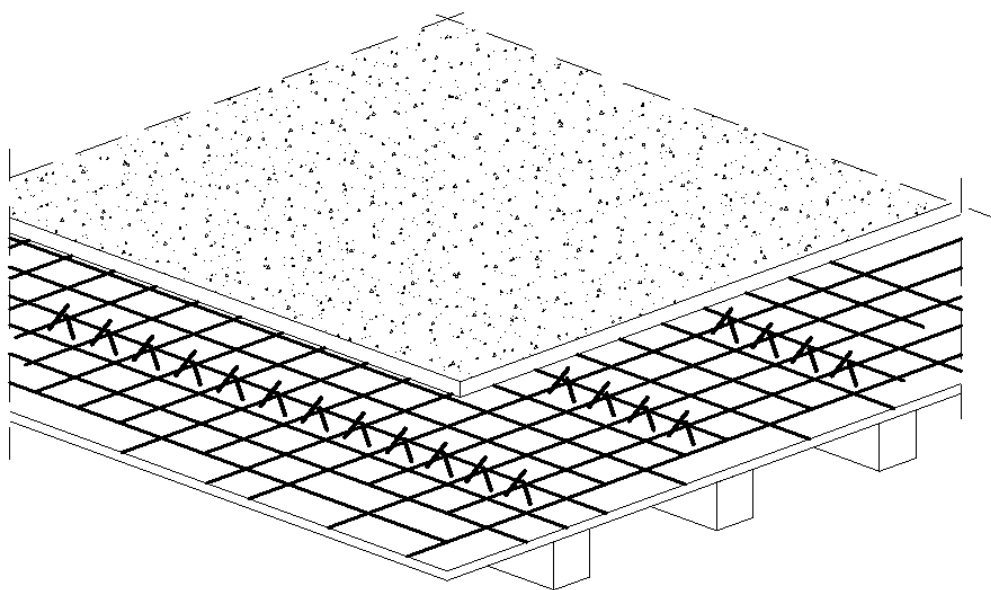
Slika 9.3 Presjek zida s torkretnom oblogom

## 9.4 Povezivanje i ojačanje međukatnih konstrukcija sprezanjem postojećih drvenih grednika s AB tlačnom pločom d=8 cm

Predviđa se sprezanje postojećih drvenih grednika tlačnom ab pločom debljine  $t=8$  cm. Izvedbom tlačnih ploča u razini stopa međukatna konstrukcija postaje kruti disk koji omogućuje ravnomjernu raspodjelu seizmičke sila na zidane zidove. Dodatna prednost spregnutog stropa što je povećanje težine je neznatno.


Postupak primjene:

- Ukloniti sve slojeve podnih obloga osim drvenih greda i daščane oplata (ukoliko su neke grede i daščana oplata trule ili oštećene potrebno ih je zamijeniti novima)
- na daščanu podlogu postavlja se folija, te se kroz foliju i daske ubušuju vijci za sprezanje
- postavljane armature i ugradnja betona kvalitete C25/30 u debljini 6-8 cm

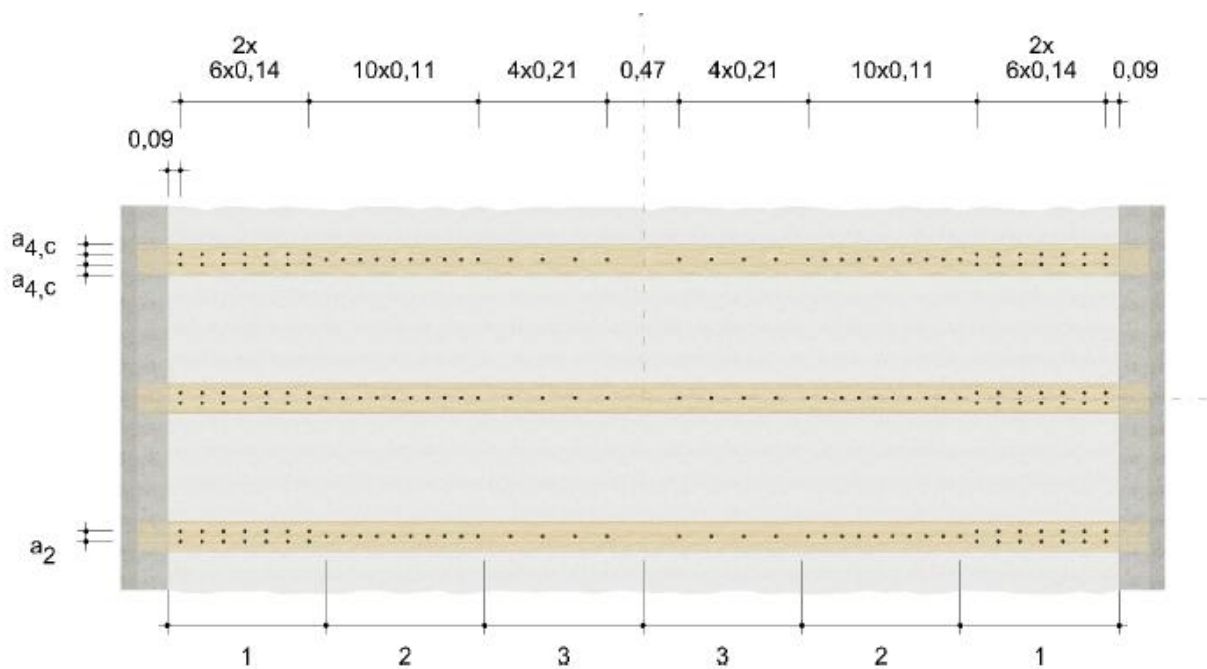


*Slika 9.4 Prikaz spregnute konstrukcije (drvo-beton)*

Proračun spregnuta ab ploče može se provesti u programu Wurth software te su u nastavku dani ulazni parametri i tablični prikaz proračuna:

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| <b>Spojno sredstvo</b>         |  |
| Artikl                         | 56 x ASSY plus VG4 CH Ø8 x 260 mm  |
|                                | Puni navoj   Cilindrična glava   |
| vijčanje                       | kosi vijci   |
|                                |  |
| <b>Stropna konstrukcija</b>    |  |
| Vrsta / Tip                    | Greda  |
| Materijal                      | Mekano drvo / Puno drvo  |
| Klasa čvrstoće                 | C24  |
| Dimenzije                      | Širina = 200 mm   Visina 250 mm  |
|                                | Razmak = 900 mm   Duljina = 6,40 m   |
| <b>Beton i armatura</b>        |  |
| Vrsta / Tip                    | in-situ beton  |
| Klasa čvrstoće                 | C30/37   |
| Dimenzija                      | Debljina = 80 mm   |
| Vrsta / Tip                    | Q335   |
| Dimenzije                      | Zaštitni sloj = 20 mm  |
| <b>Oplata</b>                  |  |
| Dimenzije                      | Debljina = 24 mm   |
| Materijal                      | Mekano drvo / Puno drvo  |
| Klasa čvrstoće                 | C24  |
| Ležaj 1 – postavke   dimenzije | Izravno   Dužina = 200 mm  |
| Ležaj 2 – postavke   dimenzije | Izravno   Dužina = 200 mm  |
| <b>Opterećenje</b>             |  |
| Vlastito/stalno opterećenje    | Opterećenje = 4,23 kN/m <sup>2</sup>   |
| Korisno opterećenje            | Opterećenje = 2,00 kN/m <sup>2</sup>   |
|                                |  |

| Montažni podaci           |         |          |
|---------------------------|---------|----------|
| Kutni navojni spoj        | 45°     |          |
| Dimenzije ugradnje        | 85 mm   |          |
| Dubina ugradnje betona    | 50 mm   |          |
|                           |         |          |
| Udaljenost / razmaci (mm) | Minimum | Odabrano |
| Područje 1                |         |          |
| a <sub>1</sub>            | 80      | 140      |
| a <sub>2</sub>            | 24      | 67       |
| a <sub>3,t</sub>          | 80      | 360      |
| a <sub>4,c</sub>          | 24      | 677      |
| Područje 2                |         |          |
| a <sub>1</sub>            | 80      | 110      |
| a <sub>4,c</sub>          | 24      | 100      |
| Područje 3                |         |          |
| a <sub>1</sub>            | 80      | 210      |
| a <sub>4,c</sub>          | 24      | 100      |



| Vrijeme $t = 0$  | Iskorištenost |
|--|---------------|
| Tlačno opterećenje i savijanje u poprečnom presjeku betona | 36,38 %       |
| Vlačno opterećenje i savijanje u poprečnom presjeku drva   | 56,84 %       |
| Posmično naprezanje u presjeku drva – Ležaj 1              | 56,40 %       |
| Posmično naprezanje u presjeku drva – Ležaj 2              | 56,40 %       |
| Spojno sredstvo – Ležaj 1                                  | 99,79 %       |
| Spojno sredstvo – Ležaj 2                                  | 99,79 %       |
| Početno izvijanje  | 48,10 %       |
| Vibracije  | 59,03 %       |

| Vrijeme $t = \infty$                                       | Iskorištenost |
|--|---------------|
| Tlačno opterećenje i savijanje u poprečnom presjeku betona | 28,10 %       |
| Vlačno opterećenje i savijanje u poprečnom presjeku drva   | 74,41 %       |
| Posmično naprezanje u presjeku drva – Ležaj 1              | 56,40 %       |
| Posmično naprezanje u presjeku drva – Ležaj 2              | 56,40 %       |
| Spojno sredstvo – Ležaj 1                                  | 95,51 %       |
| Spojno sredstvo – Ležaj 2                                  | 95,51 %       |
| Konačni otklon   | 64,81 %       |
| Ukupno konačno izvijanje/savijanje                         | 86,41 %       |

|          | Iskorištenost |
|----------|---------------|
| Armatura | 76,95 %       |

## **9.5 Ojačanje zidova FRCM ustavom**

Primjena FRCM sustava od prizemlja do 2. kata ojačavamo zidove najmanje invazivnom metodom ojačanja. FRCM sustavom se jednostavno ugrađuje i minimalno zadiruje u postojeću konstrukciju. Dodatnim sidrenjem sa karbonskim užadima osigurava se bolja povezanost FRCM sustava s konstrukcijom na koju se nanosi a samim time i veću učinkovitost navedenog sustava. U programu 3muri iz kataloga Mapei odabran je Mapegrid G220. Na fasadnim zidovima FRCM sustav se izvodi jednostrano s dodatnim sidrenjem fiocco užadi. Mapegrid trake postavljaju se na spoju fasadnih zidova, spoj fasadnih zidova i unutarnjih zidova te nivo stropnih ploča. FRCM sustav na unutarnjim zidovima se izvodi dvostrano sa sidrenjem dvostrukim sidrom na mjestima oštećenih nadvoja i zidova s pukotinama. Princip izvođenja FRCM sustava na zidu sličan je postupku u poglavlju 9.1..

## **9.6 Izvedba novih ukrutnih AB zidova**

Potrebno je dodati nosive zidove na mjestima postojećih pregradnih zidova od opeke. Novi AB zidovi protezat će se kroz sve tri etaže te će biti usidreni u postojeću konstrukciju. Na taj način će se povećava nosivost konstrukcije na potres u smjeru pružanja zidova. AB zidovi su debljine 25 cm, razreda čvrstoće: C25/30, a zaštitni sloj 2.5 cm. Ispod novih zidova u podrumu potrebno je izvesti temelje dimenzija: 50/60 cm.

## **9.7 Izvedba novih zabatnih zidova na razini potkrovlja i 2. kata**

Potresom stradale zabatne zidove potrebno je srušiti do razine poda 2. kata te izvesti nove zidane zidove koji će se usidriti u novu ab tlačnu ploču poda drugog kata i potkrovlja. Zabatni zidove treba obnoviti izvedbom novih zidova u strukturi omeđenih zidova. Takvi zidovi trebaju imati potreban sklop armiranobetonskih serklaža: oslonački horizontalni serklaž, vertikalne serklaže te završni serklaž na vrhu zida. Zidanje zida treba izvesti na šmorc, a svi serklaži moraju biti međusobno kruto vezani armaturom.

## 10 Procjena troškova

Prema tablici iz programa mjera obnove zgrada oštećenih potresom na području Grada Zagreba, Krapinsko zagorske županije, Zagrebačke županije, Sisačko-moslavačke županije i Karlovačke županije date su maksimalna procjene iznosa za obnovu konstrukcija kao i cjelovitu obnovu zgrada:

Obnova konstrukcije:  $3\,188,53\text{ m}^2 * 739,82\text{ €} = 2\,358\,938,27\text{ €}$

Cjelovita obnova zgrade:  $3\,188,53\text{ m}^2 * 921,02\text{ €} = 2\,936\,699,90\text{ €}$

Građevinsko (bruto) površina zgrade:  $3\,188,53\text{ m}^2$

| NAMJENA ZGRADE   | PROCIJENA UPORABLJIVOSTI | OBNOVA KONSTRUKCIJE (trošak kn po m2 GBP) |          |          |          | CJELOVITA OBNOVA ZGRADE (trošak kn po m2 GBP) |          |          |          | UKLANJANJE UNIŠTENE ZGRADE | IZGRADNJA ZAMIJENSKE OBITELJSKE KUĆE (trošak kn po m2 GBP) |
|--|--------------------------|---|----------|----------|----------|---|----------|----------|----------|----------------------------|--|
|  |                          | razina 1                                  | razina 2 | razina 3 | razina 4 | razina 1                                      | razina 2 | razina 3 | razina 4 |                            |  |
| OBITELJSKE KUĆE  |                          | 233,83                                    | 754,28   | 1.056,00 | 1.712,22 | 380,66  | 1.083,73 | 1.392,53 | 2.133,43 |                            |  |
|  |                          |   | 1.033,37 | 1.485,94 | 2.134,62 |   | 1.550,05 | 2.046,96 | 2.627,23 |                            |  |
|  |                          |   |          | 1.787,65 | 2.489,14 |   |          | 2.335,22 | 3.098,79 |                            |  |
|  | UNIŠTENA                 |   |          |          |          |   |          |          |          | 264,00                     | 5.657,13   |
| VIŠESTAMBENE ZGRADE, STAMBENO-POSLOVNE ZGRADE, POSLOVNE ZGRADE |                          | 324,34                                    | 1.312,45 | 2.745,59 | 5.144,22 | 528   | 1.885,70 | 3.620,56 | 6.411,41 |                            |  |
|  |                          |   | 1.508,57 | 2.956,79 | 5.393,13 |   | 2.262,85 | 4.073,13 | 6.637,70 |                            |  |
|  |                          |   |          | 3.349,02 | 5.574,16 |   |          | 4.374,85 | 6.939,41 |                            |  |
|  | UNIŠTENA                 |   |          |          |          |   |          |          |          | 264,00                     |  |

Tablica 4 Informacija o maksimalnim cijenama obnove konstrukcija i cjelovite obnove zgrada

(U tablici su cijene izražene u kunama, bez poreza na dodanu vrijednost)



## 11 Zaključak

Poznato je da Republika Hrvatska leži na seizmički aktivnom području i nažalost to su potvrdili jak potres 28. prosinca 2020., magnitude 5.0 prema Richteru i razoran potres 29. prosinca 2020., magnitude 6.2. Oba potresa imali su epicentar u okolici Petrinje.

Najveća šteta zabilježena je na području Sisačko-moslavačka županije gdje se nalazi i građevina koja je tema ovog diplomskog rada. Predmetna građevina građena je krajem 19. stoljeća, zidana punom opekom, zide neomeđeno, stropnu konstrukciju čine drveni grednici a krovšte je drveno pokriveno crijepom. Pregledom građevine ustanovljena su umjerena konstruktivna oštećenja te teška nekonstruktivna oštećenja.

Za seizmičku analizu konstrukcije koristio se inženjerski program 3muri. U programu 3muri radio se 3D model građevine na kojem se provela nelinearna analiza za postojeće i ojačanje stanje građevine. Sve mjere ojačanja odabrane u programu 3muri spadaju u globalnu intervenciju poboljšanja stanja konstrukcije. U jedno od ojačanja spada sprezanje svih stropnih ploča čime se postiže ukruta u horizontalnoj ravnini. U ojačanju konstrukciji uveliko doprinosi mogućnost izvedbe novih ab zidova koji bi preuzeli potresno djelovanje i rasteretili ostale zidove u uzdužnom smjeru. Iako je predmetna građevina unutar granica kulturnog dobra, postoji mogućnost njihovog izvođenja jer prostorna organizacija interijera nije izvorna te je od strane konzervatora dopušteno njihovo izvođenje. Na kraju globalna stabilnost postiže se i stvaranjem „Box“ efekta gdje se dva pročelja (sjeverno i zapadno) omata FRCM sustavom. Postavljanjem FRCM sustava zadržavamo izgled pročelja. Na istočnim pročeljima, na koja se naslanjaju susjedne građevine, radi lakše izvedbe odabran je torkret s unutarnje strane zidova.

## 12 Literatura

1. UPI – 2M d.o.o.: Elaborat ocjene postojećeg stanja građevinske konstrukcije, projektant konstrukcije: mr.sc. Berislav Medić, dipl. ing. grđa. (G 2191), br. tehn. dnevnika: TD17/22, lipanj 2022.
2. UPI – 2M d.o.o.: Konzervatorski elaborat, glavni projektant: Igor Janković, ARH – br. ovl. 2907, zajednička oznaka projekta: 17/22, listopad 2022.
3. Juraj Pojatina, Dunja Barić, David Anđić, Dubravka Bjegović (2021): Obnova građevinske konstrukcije stambene zgrade u Zagrebu nakon potresa 22. ožujka 2020., Građevinar 6/2021.
4. 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.
5. POTRESNO INŽENJERSTVO Obnova zidanih zgrada, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, ISBN: 978-953-8168-43-7, Zagreb, ožujak 2021.
6. Orešković M. (2020.): Nastavni materijali iz kolegija Tehnička dijagnoza na Diplomskom studiju graditeljstva, Sveučilište Sjever, Varaždin.
7. Hrvatska norma HRN EN 1991-1-1 Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-1: Opća djelovanja – Obujamske težine i uporabna opterećenja zgrada
8. Hrvatska norma HRN EN 1998-3: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija - 3. dio: Ocjenjivanje i obnova zgrada

### Internet izvori:

9. Geoportal DGU  
<https://geoportal.dgu.hr/>
10. Geoportal kulturnih dobara  
<https://geoportal.kulturnadobra.hr/>
11. Karte potresnih područja Republike Hrvatske – Geofizički odsjek  
<http://seizkarta.gfz.hr/hazmap/karta.php>
12. Odluka o donošenju Programa mjera obnove zgrada oštećenih potresom na području grada Zagreba, Krapinsko-zagorske županije, Zagrebačke županije, Sisačko-moslavačke županije i Karlovačke županije, izdanje: NN 88/2022  
[https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2022\\_07\\_88\\_1359.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2022_07_88_1359.html)

## 13 Popis slika

|  |    |
|--|----|
| Slika 2.1 Prikaz zgrade – izvadak iz katastra .....  | 2  |
| Slika 3.1 Prikaz zgrade na karti Geoportala kulturnih dobara.....                          | 3  |
| Slika 4.1 Prikaz stropne konstrukcije iznad podruma .....                                  | 4  |
| Slika 4.2 Prikaz stropne konstrukcije iznad dijela prizemlja.....                          | 4  |
| Slika 4.3 Prikaz stropne konstrukcije iznad 2. kata .....                                  | 5  |
| Slika 5.1 Oznake kategorije upotrebljivosti građevine.....                                 | 6  |
| Slika 5.2 Stupnjevi oštećenja za zidane zgrade prema EMS-98 klasifikaciji.....             | 7  |
| Slika 5.3 Prostorija 7. Horizontalna pukotina na zidu .....                                | 8  |
| Slika 5.4 Prostorija 13. Horizontalne i kose pukotine u nadvoju .....                      | 8  |
| Slika 5.5 Prostorija 16. Kose pukotine u nadvoju .....                                     | 9  |
| Slika 5.6 Prostorija 19. Pukotina na spoju pregradnog zida i luka .....                    | 9  |
| Slika 5.7 Prostorija 24. Pukotina na spoju dva nosiva zida .....                           | 10 |
| Slika 5.8 Prostorija 26. Pukotina na pregradnim zidovima .....                             | 10 |
| Slika 5.9 Prostorija 1. Pukotine na nadvoja.....   | 11 |
| Slika 5.10 Prostorija 2. Dijagonalna pukotina zida .....                                   | 11 |
| Slika 5.11 Prostorija 3. Oštećenje nadvoja .....   | 12 |
| Slika 5.12 Prostorija 7. Dijagonalne pukotine iznad nadvoja.....                           | 12 |
| Slika 5.13 Prostorija 15. Oštećenje nadvoja .....  | 13 |
| Slika 5.14 Prostorija 25. Rasprostranjene dijagonalne pukotine zida .....                  | 13 |
| Slika 5.15 Prostorija 2. Dijagonalne pukotina na pregradnom zidu .....                     | 14 |
| Slika 5.16 Prostorija 4 pukotina na mjestu spoja 2 zida i međukatne konstrukcije .....     | 14 |
| Slika 5.17 Prostorija 5.1. Pukotina na mjestu spoja pregradnog i nosivog zida.....         | 15 |
| Slika 5.18 Prostorija 5.2. Dijagonalne i vertikalne pukotine na nosivom zidu .....         | 15 |
| Slika 5.19 Prostorija 7 Pukotina na mjestu spojeva 2 zida i međukatne konstrukcije .....   | 15 |
| Slika 5.20 Prostorija 16. pukotina na mjestu spojeva 2 zida i međukatne konstrukcije.....  | 16 |
| Slika 5.21 Prostorija 17. Pukotina na mjestu spojeva 2 zida i međukatne konstrukcije ..... | 16 |
| Slika 5.22 Dugačka dijagonalna pukotina .....  | 17 |
| Slika 5.23 Urušeni dio zabatnoga zida .....  | 17 |
| Slika 7.1 Seizmološki prikaz područja .....  | 27 |
| Slika 8.1 3D model zgrade (lijevo) i zamjenski model s okvirima (desno) .....              | 28 |
| Slika 8.2 Tlocrt podruma (grafički prikaz razine iz programa 3Muri).....                   | 30 |
| Slika 8.3 Tlocrt prizemlja (grafički prikaz razine iz programa 3Muri) .....                | 30 |
| Slika 8.4 Tlocrt 1. kata (grafički prikaz razine iz programa 3Muri) .....                  | 31 |

|   |    |
|---|----|
| Slika 8.5 Tlocrt 2. kata (grafički prikaz razine iz programa 3Muri) .....                                   | 31 |
| Slika 8.6 Tlocrt nosivih zidova s deformacijskom linijom za analizu br. 8 .....                             | 33 |
| Slika 8.7 Krivulja kapaciteta zgrade za analize u smjeru X .....  | 33 |
| Slika 8.8 Tlocrt nosivih zidova s deformacijskom linijom za analizu br. 15 .....                            | 34 |
| Slika 8.9 Krivulja kapaciteta zgrade za analize u smjeru Y .....  | 34 |
| Slika 8.10 model 2. kata (prikaz novih ab zidova) .....   | 35 |
| Slika 8.11 Tlocrt nosivih zidova s deformacijskom linijom za analizu br. 2 .....                            | 37 |
| Slika 8.12 Krivulja kapaciteta zgrade za analize u smjeru X .....   | 37 |
| Slika 8.13 Tlocrt nosivih zidova s deformacijskom linijom za analizu br. 1 .....                            | 38 |
| Slika 8.14 Krivulja kapaciteta zgrade za analize u smjeru Y .....   | 38 |
| Slika 8.15 Usporedba rezultata proračuna za značajno oštećenje (model A – zeleno, model B –<br>plavo) ..... | 39 |
| Slika 9.1 Ojačanje svodova FRCC sustavom .....  | 40 |
| Slika 9.2 Detalj postavljanja zatega za ojačanje spojeva zidova .....                                       | 41 |
| Slika 9.3 Presjek zida s torkretnom oblogom .....   | 42 |
| Slika 9.4 Prikaz spregnute konstrukcije (drvo-beton) .....  | 43 |

## **14 Popis tablica**

|   |    |
|---|----|
| Tablica 1 razina obnove konstrukcije .....  | 24 |
| Tablica 2 Prikaz faktora ispunjena za nepojačanu konstrukciju.....                          | 32 |
| Tablica 3 Prikaz faktora ispunjena za ojačanu konstrukciju .....                            | 36 |
| Tablica 4 Informacija o maksimalnim cijenama obnove konstrukcija i cjelovite obnove zgrada. | 48 |

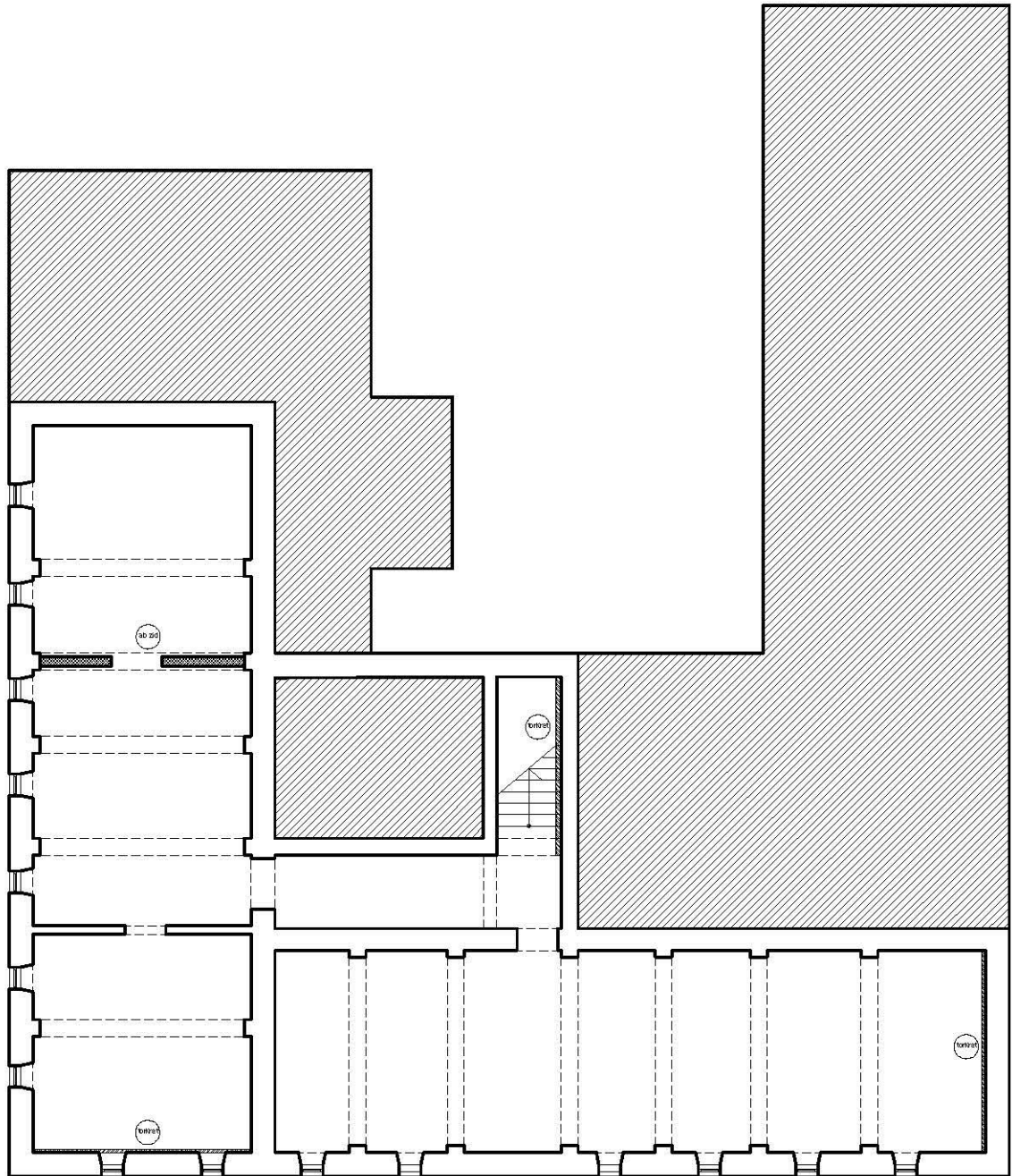
## **15 Prilozi**

Prilog 1. Tlocrt podruma – novo stanje


Prilog 2. Tlocrt prizemlja – novo stanje


Prilog 3. Tlocrt 1. kata – novo stanje

Prilog 4. Tlocrt 2. kata – novo stanje



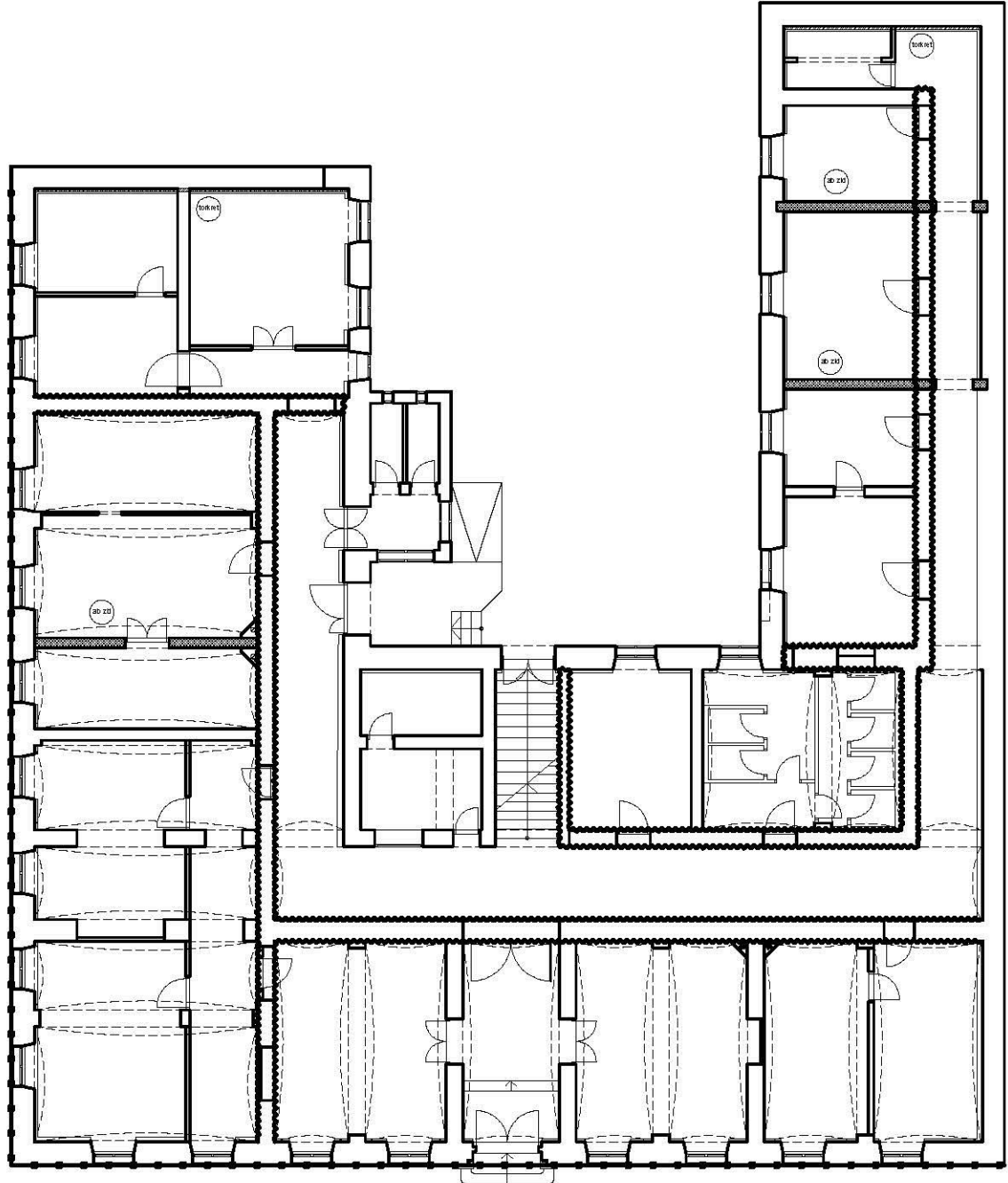
Legenda:

 Novi ab zid, d= 25 cm


 Jednostrano torkretniranje zidova


TLOCRT PODRUMA  
NOVO STANJE  
Mj: 1:200






Legenda:

 Novi ab zid, d= 25 cm

 Jednostrano torkretiranje zidova

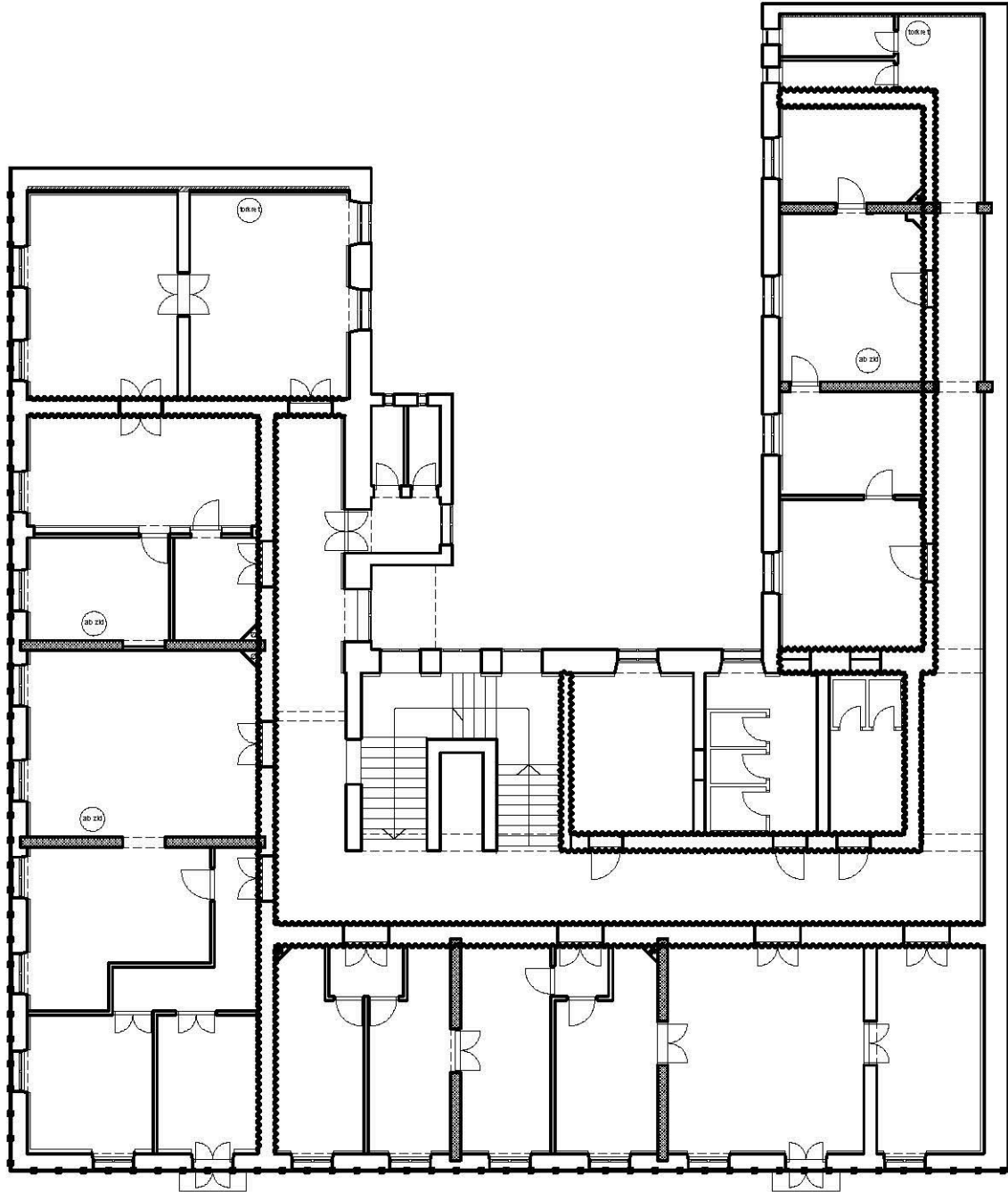
 frcm sustav - dvostrano (oštećeni nadvoji i zidovi s pukotinama)

 frcm sustav - jednostrano (uglovi zgrada, spoj zabatnih i nosivih zidova, razine stropnih ploča)

TLOCRT PRIZEMLJA  
NOVO STANJE  
Mj.: 1:200









Legenda:

 Novi ab zid, d= 25 cm

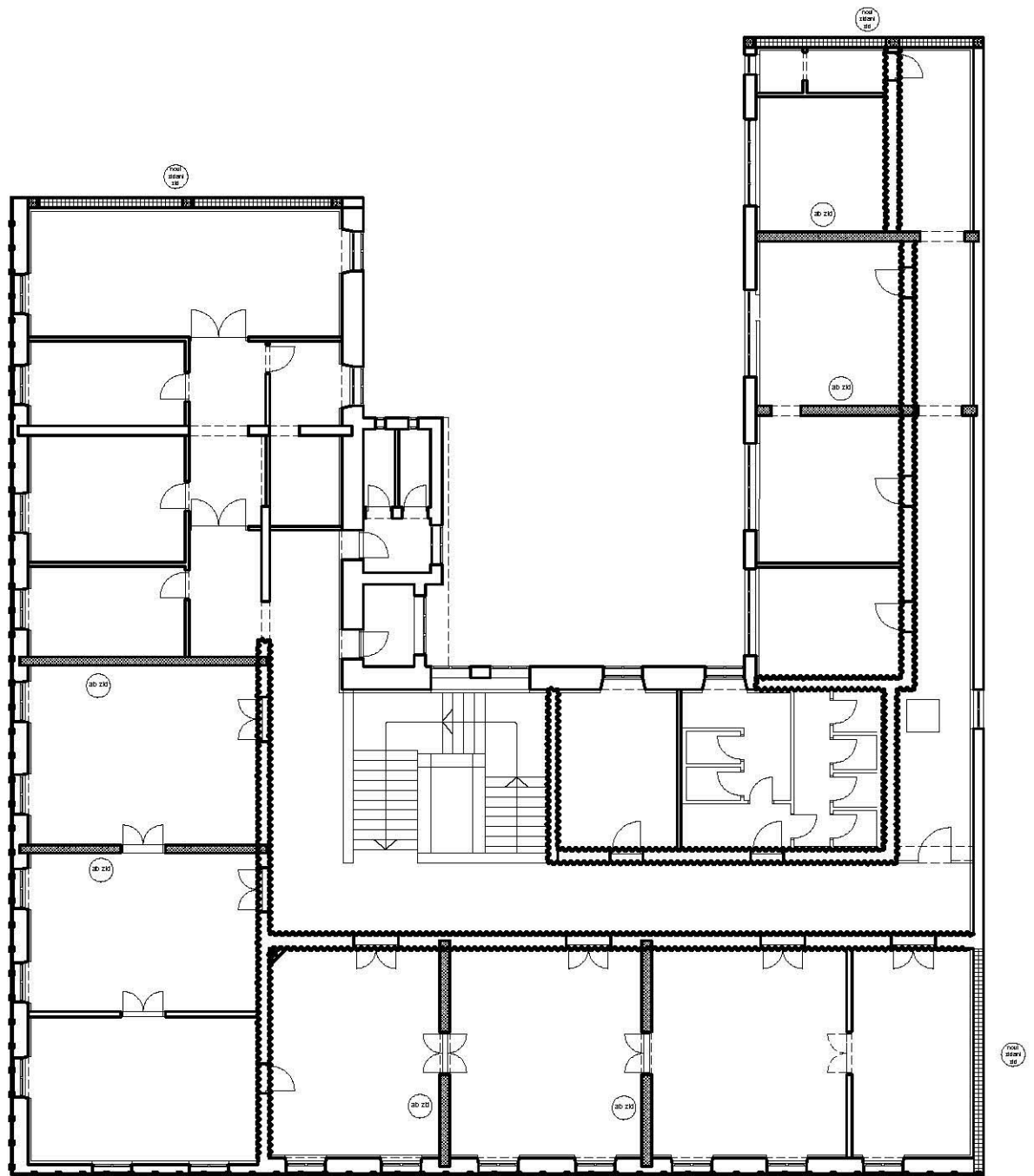
 Jednostrano torkreiranje zidova

 frcm sustav - dvostrano (oštećeni nadvoji i zidovi s pukotinama)


 frcm sustav - jednostrano (uglovi zgrada, spoj zabatnih i nosivih zidova, razine stropnih ploča)


TLOCRT 1. KATA  
NOVO STANJE  
Mj.: 1:200






Legenda:

 Novi ab zid, d= 25 cm

 Rušenje i izvedba novih nosivih zidova

 frcm sustav - dvostrano (oštećeni nadvoji i zidovi s pukotinama)

 frcm sustav - jednostrano (uglovi zgrada, spoj zabatnih i nosivih zidova, razine stropnih ploča)

TLOCRT 2. KATA  
NOVO STANJE  
Mj.: 1:200



**IZJAVA O AUTORSTVU**

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, Mihael Namjesnik pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor diplomskog rada pod naslovom Cjelovita obnova potresom oštećene građevine javne namjene u Sisku uz usporedni proračun nosivosti i uporabivosti te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student:

  
(vlastoručni potpis)

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

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