

# Tehnologije obnove i ojačanja - Državni arhi u Zagrebu

---

Juzbašić, Filip

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:561209>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-07**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,  
University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAĐEVINSKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

**Tehnologije obnove i ojačanja – Državni arhiv u  
Zagrebu**

Filip Juzbašić

Mentor: doc. dr. sc. Zvonko Sigmund

Zagreb, rujan 2023.

# Sadržaj

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| SAŽETAK .....                                                 | 3  |
| POPIS KRATICA .....                                           | 4  |
| 1 UVOD.....                                                   | 5  |
| 2 OPĆI PODACI O ZGRADI DRŽAVNOG ARHIVA U ZAGREBU .....        | 6  |
| 2.1 Konzervatorska dokumentacija.....                         | 10 |
| 3 PROJEKTNNA DEFINICIJA OJAČANJA .....                        | 13 |
| 3.1 Opis istražnih radova.....                                | 13 |
| 3.2 Prijedlozi ojačanja konstrukcije.....                     | 17 |
| 4 PROCES IZVEDBE OJAČANJA .....                               | 20 |
| 4.1 Proces rušenja .....                                      | 20 |
| 4.2 Redoslijed izvedbe ojačanja .....                         | 24 |
| 4.2.1 AB jezgre stubišta i dizala .....                       | 24 |
| 4.2.2 AB okvirna konstrukcija atrija .....                    | 27 |
| 4.2.3 Torkretiranje .....                                     | 28 |
| 4.2.4 Ojačanje neomeđenih zidova i svodova CRM sustavom ..... | 30 |
| 4.2.5 Izvedba spregnutih stropova .....                       | 40 |
| 4.3 Kontrola izvedbe elemenata ojačanja.....                  | 43 |
| 5 PROBLEMATIKA PRI IZVEDBI OJAČANJA .....                     | 45 |
| 5.1 Podbetoniranje temelja podruma .....                      | 45 |
| 5.2 Ojačanje svodova CRM sustavom .....                       | 48 |
| 5.3 Zaštita kulturne baštine .....                            | 52 |
| 5.4 Arheološko nalazište .....                                | 54 |

|     |                            |    |
|-----|----------------------------|----|
| 5.5 | Analiza problematike ..... | 56 |
| 6   | ZAKLJUČAK .....            | 59 |
| 7   | LITERATURA .....           | 61 |
|     | POPIS SLIKA .....          | 63 |
|     | POPIS TABLICA .....        | 64 |

## Sažetak

U radu se razmatraju tehnike obnove i ojačanja Državnog arhiva u Zagrebu. Prikazana je konstrukcija zgrade, projekt ojačanja i provedena istraživanja. Analizira se proces izvedbe, uključujući nepredviđene radnje koje su nastale tijekom rušenja i demontaže, što je uzrokovalo reviziju projekta. Detaljno je opisan plan ojačanja s analizom prednosti i nedostataka korištenih tehnologija. U radu se uspoređuju tehnologije koje nisu korištene u ovom projektu s onima koje su primjenjene. Diskutira se o nepredviđenim izazovima koji su utjecali na sanaciju, a zaključuje se s komentarom o odabiru metoda i stanju protupotresnog inženjerstva u Hrvatskoj.

**Ključne riječi:** *tehnologije ojačanja, metode obnove, sanacija, protupotresno inženjerstvo*

## Abstract

In this thesis, techniques of renovation and strengthening of the National Archives building in Zagreb are discussed. The structure of the building, the reinforcement project, and conducted research are presented. The execution process is analyzed, including unforeseen actions that occurred during the demolition and dismantling, leading to a revision of the project. The reinforcement plan is described in detail, with an analysis of the advantages and disadvantages of the used technologies. The paper compares technologies not used in this project with those that were applied. Unanticipated challenges that affected the renovation are discussed, concluding with a comment on the choice of methods and the state of earthquake engineering in Croatia.

**Keywords:** *renovation, strengthening, State Archives in Zagreb, earthquake engineering*

## **Popis kratica**

AB = armirano betonski

CRM (eng. Composite Reinforced Mortar) = mort ojačan kompozitnim materijalima

DAZ = Državni arhiv u Zagrebu

FRCM (eng. Fiber Reinforced Cementitious Matrix) = cementna matrica ojačana vlaknima

FRG (eng. Fiber Reinforced Grout) = mort ojačan vlaknima

FRP (eng. Fiber Reinforced Polymer) = vlaknima ojačan polimer

GFRP (eng. Glass Fiber Reinforced Polymer) = staklenim vlaknima ojačan polimer

OMA = operativna modalna analiza

ICOMOS (eng. International Council on Monuments and Sites) = Međunarodno vijeće za spomenike i spomeničke cjeline

# 1 Uvod

Potresi koji su se dogodili u Hrvatskoj u 2020. godini ukazali su na probleme zidanih konstrukcija na djelovanje potresa. Mnoge zgrade su oštećene, a najveća oštećenja pretrpjele su zgrade koje su izgrađene prije postojanja znanja i propisa o protupotresnom inženjerstvu. Potresi se ne mogu predvidjeti niti spriječiti, ali se kvalitetnom gradnjom budućih objekata te obnovom i ojačanjem već postojećih objekata može, uz sva novostečena znanja i propise, rizik od potresa svesti na minimalno i tako doprinijeti zaštiti ljudskih života i smanjenju materijalne štete.

Trenutno se na zgradi Državnog arhiva u Zagrebu izvodi konstrukcijska obnova, dok je cijelovita obnova planirana nakon završetka konstrukcijske obnove. Sredstva za financiranje projekta obnove bit će sufinancirana sredstvima iz Europske unije u iznosu od 80%. Zgrada je tipična zidana konstrukcija građena krajem 19. stoljeća. Zidana je punom opekom, zide je neomeđeno, stropne konstrukcije su drveni grednici, a krovšte je drvena konstrukcija pokrivena crijepom. U ovom radu će biti opisan način i metode izvođenja obnove i ojačanja zgrada oštećenih u potresu na primjeru zgrade Državnog arhiva u Zagrebu. Uz tradicionalne metode pojačanja, poput torkretiranja, injektiranja zida i izrade horizontalnih i vertikalnih armiranobetonskih elemenata, koriste se i novije metode koje imaju brojne prednosti. Jedna od njih je CRM (mort ojačan kompozitnim materijalima), sustav koji je sada u širokoj primjeni, koji predstavlja napredak u odnosu na torkretiranje. CRM sustavi su ojačane žbuke koje se sastoje od strukturnih mortova koji se nanose u tankim slojevima, a upotrebljavaju se u kombinaciji s prethodno oblikovanom mrežom sa staklenim vlaknima.

Cilj ovog rada je na primjeru obnove zgrade Državnog arhiva u Zagrebu prikazati sve metode obnove i ojačanja konstrukcije, koje su dane na ovom projektu, opisati njihov način izvedbe, prikazati njihove prednosti te ukazati na nedostatke prilikom izvedbe. Također, svrha ovog rada je usporediti zadane metode sa sličnim metodama koje nisu odabrane za ovaj projekt, a koje se koriste u obnovi. Nakon prikaza svih metoda obnove, bit će riječi i o problematici tijekom izvođenja, kao što su nepredviđene radnje uslijed kojih dolazi tek kada se radovi rušenja i demontaže privedu samom kraju. Još neki od problema su i istovremeno izvođenje restauracijskih i arheoloških istraživanja dok traje konstrukcijska obnova. Svi ovi problemi zajedno utječu na tijek izvođenja radova. Konačno će biti dan komentar na odabrane metode i njihovu primjenu, kao i na stanje u Hrvatskoj sa protupotresnim inženjerstvom prije i poslije potresa.

## 2 Opći podaci o zgradi Državnog arhiva u Zagrebu

Sklop palače Državnog arhiva u Zagrebu zauzima nepravilnu parcelu trapezoidnog oblika, čineći istočni dio gradskog bloka omeđen s istočne i južne strane Opatičkom i Demetrovom ulicom, a sa sjeverozapadne Vrazovim šetalištem i parkom Tuškanac. Sklop je građen sukcesivno, a sastoji se od dvokatnog, glavnog sjeverozapadnog krila, orijentiranog prema Tuškancu te triju nižih jednokatnih krila, od kojih dva zatvaraju unutrašnje dvorište s jugozapadne i jugoistočne strane, orijentiranih prema Opatičkoj i Demetrovoj ulici, pri čemu se istočno krilo nepravilno lomi te prema ulici formira zasječeni ugao.

Podrumski prostor nalazi se samo ispod sjeverozapadnog krila, a čini ga niz bačvasto svodjenih prostorija sa susvodnicama, te središnje pozicioniran prostor stubišta, svodjen češkim svodom. U podrum se iz dvorišta spušta betonskim stepenicama. S lijeve i desne strane stepenica se simetrično nalaze spremišta. Iz centralnog podrumskog hodnika, u koji se spušta rampom, kreće se u dva simetrična krila s tri međusobno povezane prostorije. Prostorije su osvijetljene na sjeverozapadnom, debelom perimetralnom zidu, malim otvorima. Vidljivi zidovi i svodovi su zidani ciglom. Pojedini zidovi su prekriveni vapnenom žbukom, dok ih je većina vidljive opečne i kamene strukture. Podovi su ili zemljani ili su dijelom betonirani. Podrum se za vrijeme Domovinskog rata koristio kao sklonište te je u toj funkciji ugrađeno nekoliko sanitarnih čvorova koji su pregradili prostor. U podrumu postoje ulazi u dva tunela koji su danas zatvoreni, jedan vodi u zgradu Hrvatskog sabora na adresi Demetrova 15, a smjer drugoga nije poznat jer je ulaz zazidan.

Prizemlje glavnog, sjeverozapadnog krila formirano je načelno dvama nizovima prostorija, od kojih onaj sjeverni, s prozorima prema Tuškancu, ima prostorije podjednakog formata, sve svodene bačvastim svodovima s lomljenim susvodnicama, dok je južni niz prekinut formiranjem velikog jednokrakog stubišta u središnjoj prostornoj jedinici te uspostavom manjeg hodnika uz njega i dalje prema sjeveru, iz kojega se ulazi u prostorije. Glavno stubište ima monolitna kamenih gazišta stuba, s izvorno sačuvanom kamenom podnom oblogom koja se proteže od ulazne veže do stepenica. U sklopu stepenica su sačuvani izvorni elementi dekoracije zida sa pilastrima te prozorska stolarija i bravarija. U prizemlju sjeverozapadnog krila se javljaju križni, češki i bačvasti svodovi. Nakon odlaska posljednjih stanara koji su živjeli u ovom dijelu, etaža je obnovljena te se koristi kao spremište arhivske građe. U tim prostorijama izveden je lijevani pod od eposkidne smole, a zidovi su žbukani i bojani u bijelu boju. Od izvornih elemenata obloge očuvan je pod hodnika u kojemu su položene pravokutne



i kvadratne kamene ploče u nepravilnom rasporedu. Istočno krilo se nepravilno lomi, formirajući u prizemlju dvije veže, jednu na spoju sa sjeverozapadnim krilom, a drugu na jugoistočnom uglu bloka. Između dviju veža je nekoliko prostorija različitog formata te manje zavojito stubište koje spaja dvorište u prizemlju i ganjak na katu. Sve prostorije zapadnog i istočnog krila svođene su češkim kapama s pojasnicama i zidanim pruskim svodovima. Zapadni dio prizemlja je posljednji adaptiran te se u njemu nalazi čitaonica i prostor za prijem korisnika. U ovaj prostor se ulazi direktno iz dvorišta. Čitaonica je svođena zidanim pruskim svodom s pojasnicama, isto kao i prostor registracije korisnika. Podovi su obloženi parketom, a zidovi žbukani i bojani u bijelu boju.

Prvi kat ima u svim krilima prostorije većeg formata, jedino je, baš kao i u prizemlju, u sjevernom uglu sklopa došlo do usitnjavanja prostornih jedinica. Prostorije sjeverozapadnog krila su ponovo organizirane u dva niza, ovdje znatno pravilnijeg rasporeda, a među njima se ističe velika dvorana koja sa stubištem formira središnju osovinu kata te je osvijetljena dvama prozorima i vratima na balkon prema Tuškancu. Dvorana je svođena bačvastim svodom, kao i još nekoliko prostorija, dok ostale imaju češke kape. Zidanim ganjkom ostvaren je hodnički prostor koji kontinuirano cijelom zonom kata, a prema dvorištu je rastvoren većim ostakljenim stijenama. U ovim krilima su dijelom očuvani povijesne podne obloge. U hodniku koji vodi u glavnu dvoranu su na podu sačuvane keramične pločice, koje formiraju geometrijski uzorak u oker, crnim i crvenim tonovima, te je u sjevernim prostorijama očuvan povijesni mozaik parket. Zidovi su svi žbukani i bojani u bijelu boju. U glavnoj dvorani i susjednim prostorijama su danas recentni podovi obloženi drvenim hrastovim parketom, složeni u obliku riblje kosti. Prostorije prvog kata istočnog, južnog i zapadnog krila je u dvorištu orijentiran prema ganjku, na čijem podu se nalazi terazzo. Iz ganjka se ulazi u uredske prostore koji su nakon potresa 2020. obnovljeni. Zidovi su žbukani i bojani u bijelu boju. U dvije prostorije na sjeveroistočnom dijelu te u prostorima spremišta zapadnog krila očuvan je izvorni parket s uzorkom koji je velikim dijelom prekriven tepisonom, dok je u ostalim sobama parket recentan. Neke su prostorije pregrađivane i adaptirane, te je uz polukružne betonske stepenice ugrađen sanitarni čvor i čajna kuhinja.

Drugi kat zaprema tek sjeverozapadno krilo, a u njemu se načelno ponavlja nizanje prostorija kao na prvom katu, s tom iznimkom što se između dvaju nizova prostorija javlja uzdužni hodnik, oko stubišta i na južnoj strani. Na hodnicima je sačuvana povijesna podna obloga od keramičnih pločica. Ponovo je veća prostorija u središnjoj osi, koja zajedno sa stubištem, ovdje dvokrakog pravokutnog, divergentnog oblika, čini središte tlocrta. U pojedinim prostorijama

su sačuvani povijesni mozaik parketi koji su u vrlo lošem stanju, dok je u pojedinim prostorijama parket složen po sistemu riblja kost. Pročelja sklopa odraz su njegova sukcesivnog nastanka, pa se razlikuju u kompoziciji i arhitektonskim elementima, premda su iz vremenski bliskog razdoblja. Starije, sjeverozapadno krilo ima veliku pročelnu plohu prema Tuškancu koja u podrumu ima male kvadratne prozore i prozore u formatu položenog pravokutnika, a na gornjim etažama veće pravokutne, s tim da su u prvom katu naglašeni ravnim i trokutastim nadstrešnicama, a posebno središnja os gdje je balkon od kovanog željeza. U najdonjoj etaži s lijeva, manji kameni portal do kojeg se pristupa betonskim povišenjem s nekoliko stuba. Usko dvokatno pročelje sjeverozapadnog krila koje je orijentirano prema Opatičkoj ulici te je za kat više od istočnog krila, nastaje nekoliko godina poslije spomenutog, ali prati isti stilski izraz. Prizemlje je raščlanjeno slijepim lukovima koji formiraju prozorska polja nadvišena lunetama, a kroz prvi i drugi kat se protežu pilastri velikog reda koje prate ritam od pet istovjetnih prozorskih osi te „pridržavaju“ gusto profilirani završni vijenac. Prozorske su osi dodatno naglašene pravokutnim poljima, a u zoni između etaža javlja se slijed slijepih luneta.

Dvorišna pročelja definirana su zidanim ganjkom koji u prizemlju nose betonski stupovi, formirajući uzak trijem uz samu zgradu, u kojemu je niz otvora, vrata i prozori različitog formata. Kat ganjka raščlanjenim je velikim ostakljenim, pravokutnim prozorima. Sa sjeverozapadne strane uzdiže se ploha drugog kata sjeverozapadnog krila, nizom prozora komponiranih u artikulaciji istaknutih i uleknutih žbukanih ploča, a središnje osi nadvisuje trokutasti zabat. Unutrašnjost zgrade odlikuje se pomalo nekoherentnom prostornom situacijom, gdje dvorište predstavlja središnju horizontalnu komunikaciju prizemlja jer se u većinu prostorija ulazi izravno iz njega. Na katu je u toj funkciji ganjak s hodnikom. Glavna vertikalna komunikacija je reprezentativno glavno stubište, kojemu se pristupa i sjeverne veže te, po nekoliko stuba, uspinje na prvi podest, a odande kamenim stubišnim krakom u prostor kata. Zidovi stubišta osvjetljeni su velikim polukružnim prozorima između kojih je artikulacija zida kamenim jonskim pilastrima, što predstavlja najvrjedniji arhitektonski segment interijera građevine. Još jedno manje stubište nalazi se u istočnom krilu, koje spaja izravno dvorište s hodnikom kata. U interijeru je na više mjesta sačuvana vrijedna povijesna stolarija, među kojom možemo izdvojiti prozore koji i vrata koji omeđuju stubište te dva veća prozora u prostorijama prvog kata iznad veža, koji imaju dekorativnu mrežu letvica i ostakljenja, mjestimično čak s izvornom bravarijom. Na više mjesta između soba i prema hodniku sačuvana su dvokrilna uklađena vrata s oplatama unutar niša. Ispod ganjka su ugrađene betonske ploče različitih formata koja završava u ravnini stupova. Hortikulturno uređenje

sastoji se od autohtonog zelenila: grmlja, stabala koja su grupirana u sjeverozapadnom uglu dvorišta i cvijeća. (Tarnik,2022)

Na slikama 1, 2 i 3 se mogu vidjeti oštećenja po etažama koja je zgrada pretrpjela uslijed potresa te nakon kojih je u što hitnijem roku bilo odrađeno podupiranje konstrukcije na kritičnim mjestima.



*Slika 1 Pukotine, oštećenja i opadanje žbuke u prizemlju(Duvnjak,2021)*



*Slika 2 Pukotine i oštećenja na svodovima 1. kata zgrade (Duvnjak, 2021)*



*Slika 3 Pukotine, oštećenja i opadanje žbuke na 2. katu zgrade (Duvnjak, 2021)*

## **2.1 Konzervatorska dokumentacija**

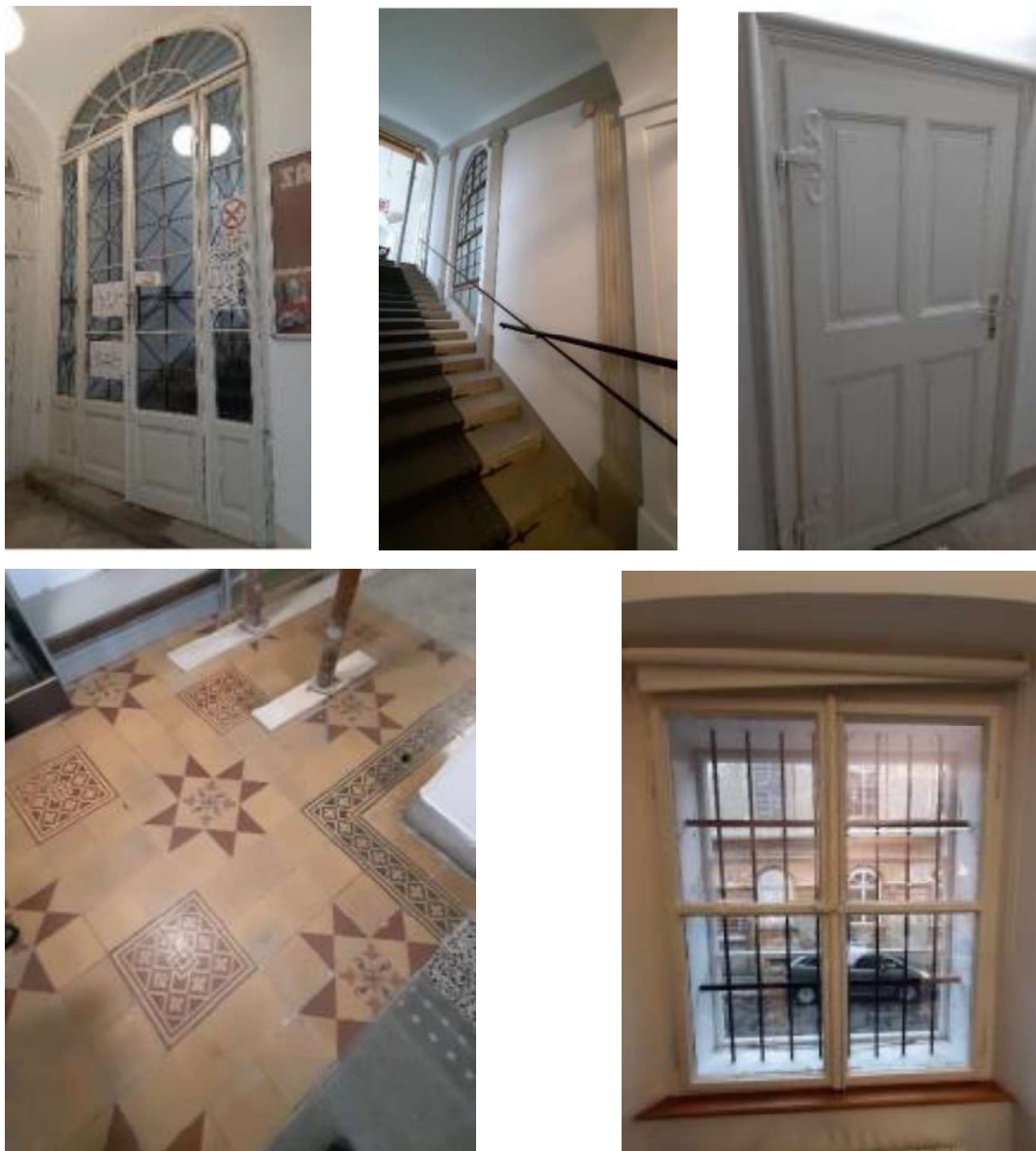
Državni arhiv u Zagrebu smješten na k. č. br. 1452, k.o. Centar, nalazi se na području kulturnog dobra – Povijesna urbana cjelina Grad Zagreb, upisanog u Registar kulturnih dobara RH, Listu zaštićenih kulturnih dobara pod reg. br. Z-1525, u dijelu za koji je utvrđen sustav zaštite “A” – Područje izuzetno dobro očuvane i osobito vrijedne povijesne strukture te je zaštićen kao spomenik kulture rješenjem Zavoda za zaštitu spomenika kulture grada Zagreba,

Z-2582. Zbog sačuvane povijesne arhitektonske vrijednosti Zavod za zaštitu spomenika kulture Grada Zagreba već je 1963. godine zgrade Arhiva upisao u Registar nepokretnih spomenika kulture Grada Zagreba pod brojem 53. U sklopu obrazloženja Rješenja je napravljen opis građevine u kojemu se navodi: „Zgrada DAZ-a sastoji se od objekta u Opatičkoj 29 na uglu Demetrove ulice i objekta u Demetrovoj ulici 15, koji su međusobno spojeni. Sjeverozapadnim pročeljem obadva su objekta podignuta na gradskom bedemu. Objekt u Opatičkoj 29 sastoji se od dvokatnice (na bedemu) i ugaone jednokatnice Demetrova 17, koje zajedno zatvaraju dvorište

nepravilnog oblika. Građevna povijest tih zgrada do danas nije istražena. Može se, prema dosad poznatim arhivskim podacima pretpostaviti, da je dvokatni objekt građen na prijelazu 18. na 19. stoljeće (u vrijeme vlasnika grofa Aleksandra Erdödyja), a da je ugaona jednokatnica, koje se po stilskim karakteristikama češće pripisivala Felbingeru, podignuta oko 1835-1840 godine, kad je vlasnik postao grof Franjo Drašković, pa su tada možda obje zgrade povezane u jedan kompleks. Današnji svoj oblik zgrade je, prema tradiciji, dobila nakon adaptacije 1889. godine. Susjedna kuća u Demetrovoj ulici 15 danas je dvokatna prema ulici i prema Tuškancu, a prostrana krila su trokatna, te zatvaraju četverokatno dvorište. Prema tradiciji izgrađivana je u više navrata u toku 19. stoljeća i početkom 20. stoljeća na mjestu starijeg objekta, koji je imao staju prema ulici, a stambenu zgradu na gradskom bedemu, od koje su sačuvani nadsvodeni podrumi. Zgrada u Opatičkoj 29 služila je od 1851. do oslobođenja financijskom ravnateljstvu, a ona u Demetrovoj 15 pripadala je obiteljima Puc i Breščenski. Od 1947. obje služe Državnom arhivu u Zagrebu. S gledišta povijesti umjetnosti značajniji je objekt u Opatičkoj 29 – po kombinaciji dvokatne kasnobarokne zgrade (valjda kasnije prilagođene klasicizmu) i izrazito klasicističke ugaone jednokatnice. Kako međutim, Državni arhiv zaprema i susjednu zgradu u Demetrovoj ulici 15, a i oba u sebi sadržava elemente starije izgradnje na gradskim bedemima, te se sav kompleks proglašuje spomenikom kulture.“

Obzirom na Zonu zaštite "A" u kojoj se predmetna zgrada nalazi propisano je sljedeće: 'Potpuna konzervatorska zaštita odnosi se na povijesnu graditeljsku cjelinu ili njezine dijelove koja sadrži iznimno dobro očuvane i osobito vrijedne povijesne strukture. Sustavom mjera zaštite u ovoj zoni utvrđuju se mjere cjelovite zaštite i očuvanja svih kulturno-povijesnih vrijednosti uz najveće moguće poštivanje tradicije, namjene i sadržaja prostora. Na području ove zone strogo se kontrolira unošenje novih struktura i sadržaja neprikladnih sačuvanim kulturnopovijesnim vrijednostima. Prilagođavanje postojećih povijesnih funkcija i sadržaja suvremenim potrebama može se prihvatiti uz minimalne intervencije u povijesne strukture.

Prihvatljive su metode konzervacije, sanacije, restauracije, konzervatorske rekonstrukcije i prezentacije.(Suljić,2021)



*Slike 4 Elementi zgrade za očuvanje*

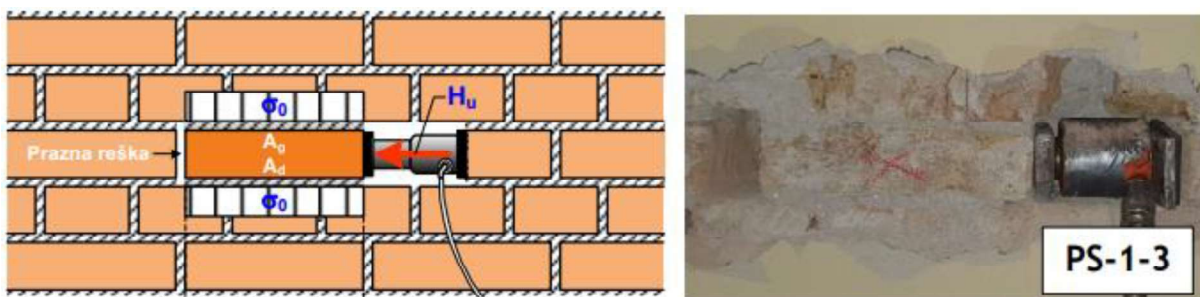
### 3 Projektna definicija ojačanja

Za potrebe obnove zgrada trebalo je provesti odgovarajuća istraživanja konstrukcije in situ metodom. Obzirom na površinske obloge zidova, podova i stropova u većini zgrada nije moguće utvrditi dovoljno podataka o tim sklopovima i njihovim elementima, vrsti gradiva (stropovi), debljini zidova, strukturi i vrsti nadvoja (istaknuto za nadvoje većih raspona) te strukturi, gradivima, detaljima spojeva i kvaliteti izvedbe intervencija u konstrukciji pri provedbi rekonstrukcija. Radi svega navedenoga bilo je potrebno izvesti istražne radove kako bi se utvrdila vrsta gradiva, opterećenja, intervencije te ostali nedovoljno poznati podaci o konstrukciji koji su vidljivi u idućim poglavljima.

#### 3.1 Opis istražnih radova

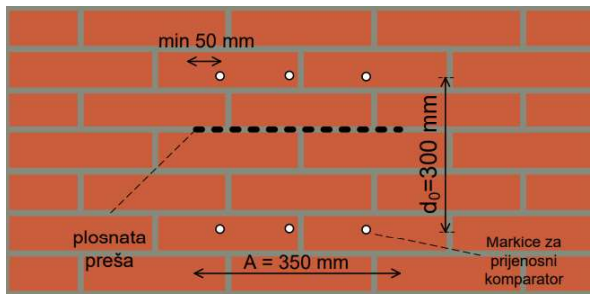
U svrhu ocjene stanja konstrukcije zgrade nakon potresa, izrade elaborata ocjene postojećeg stanja građevinske konstrukcije i građevinskog projekta obnove, odnosno pojačanja na zahtjevanu razinu potresne otpornosti u skladu s važećim zakonom, propisima i normama na zgradi Državnog arhiva u Zagrebu su provedeni istražni radovi koji su obuhvatili:

a) Utvrđivanje posmične čvrstoće zida (morta u sastavu nosivog zida) od pune opeke. Ispitivanje je provedeno "in situ" pomoću male hidraulične preše "Holmatro" nosivosti 200 kN. Tom prilikom vršeno je horizontalno pomicanje morta u okolini jedne opeke radi određivanja posmične čvrstoće (slika 5) pri čemu je minimalno oštećena struktura postojećeg zida. Za ispitivanje posmične čvrstoće zida odabrano je ukupno 10 mjesta na nosivim zidovima.

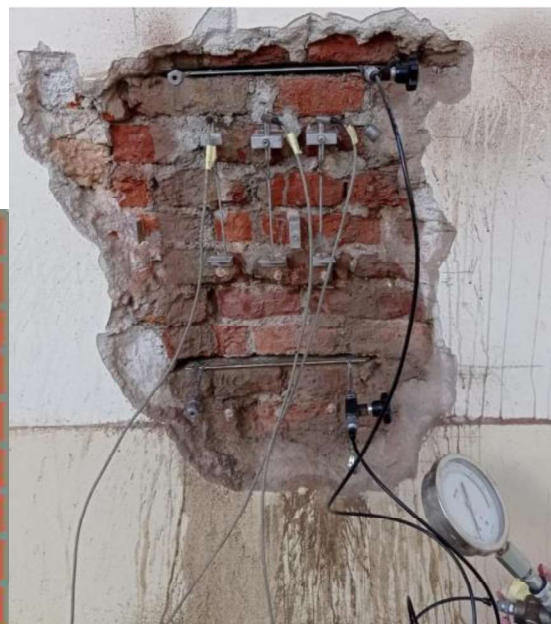
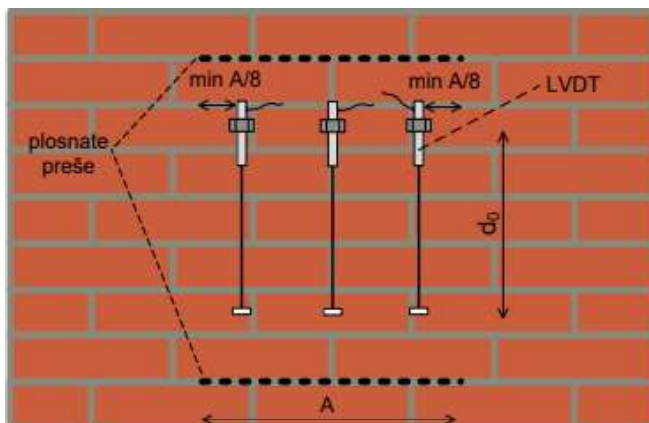


Slika 5 Način ispitivanja posmične čvrstoće zida(Duvnjak,2021)

b) Ispitivanje mehaničkih svojstava zida od pune opeke plosnatim pločama - Flat Jack: određivanje postojećeg tlačnog naprezanja u zidu od pune opeke(slika 6), određivanje modula elastičnosti(slika 7) i ispitivanje posmične čvrstoće uz kontrolu vertikalnog naprezanja (slika 8). Ispitivanje je provedeno na jednom mjestu u prizemlju zgrade.

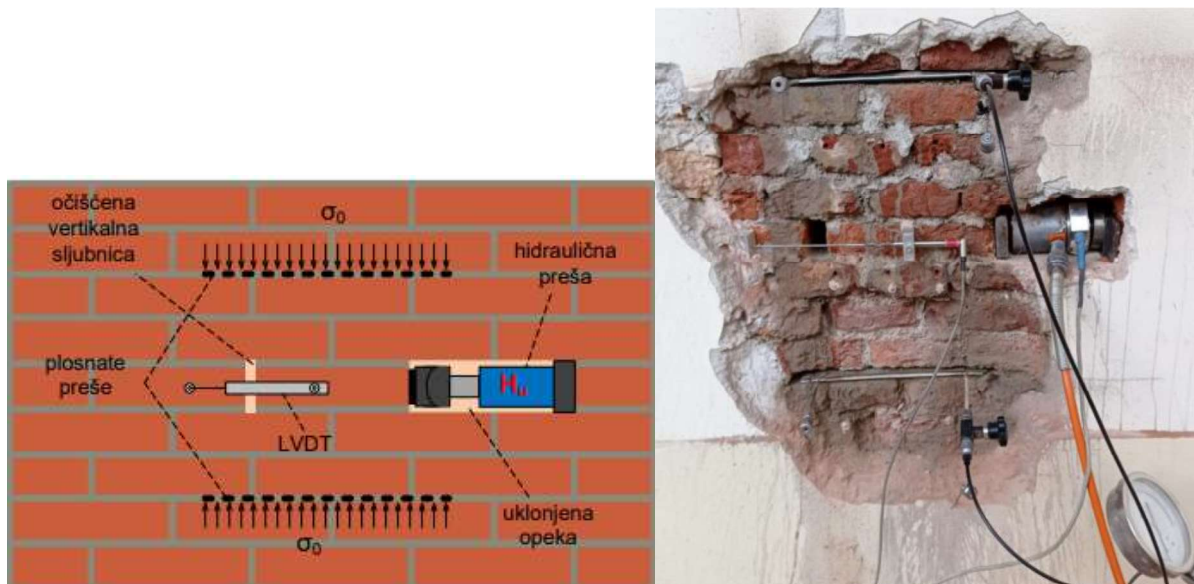


Slika 6 Određivanje vertikalnog naprezanja u zidu (Duvnjak, 2021)



Slika 7 Određivanje modula elastičnosti u zidu (Duvnjak, 2021)





Slika 8 Određivanje posmične čvrstoće zida (Duvnjak,2021)

c) Uzimanje uzoraka betona bušenjem valjaka i ispitivanje tlačne čvrstoće betona ugrađenog u armiranobetonske stupove u prizemlju. Utvrđivanje tlačne čvrstoće betona ugrađenog u ab ploču provedeno je na izvađenim uzorcima (valjcima) promjera  $\phi 100$  mm. Uzimanje, pregled, priprema, ispitivanje i ocjena tlačne čvrstoće ugrađenog betona provedeno je u skladu s normama:

- HRN EN 12504-1:2019 - Ispitivanje betona u konstrukcijama - 1. dio: Izvađeni ispitni uzorci- Uzimanje, pregled i ispitivanje tlačne čvrstoće;
- HRN EN 12390-3:2019 - Ispitivanje očvrnuloga betona - 3. dio: Tlačna čvrstoća ispitnih uzoraka;
- HRN EN 13791:2019 - Ocjena in-situ tlačne čvrstoće u konstrukcijama i predgotovljenim betonskim dijelovima;
- HRN EN 206:2016 - Beton - Specifikacija, svojstva, proizvodnja i sukladnost.

Za ovu metodu ispitivanja prema HRN EN 12504-1:2019 Laboratorij za ispitivanje konstrukcija Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu je akreditirani ispitni laboratorij prema normi HRN EN ISO/IEC 17025:2017 od strane Hrvatske akreditacijske agencije u području opisanom u prilogu potvrde o akreditaciji broj 1243. Za ocjenu tlačne čvrstoće betona ugrađenog u armiranobetonske stupove u prizemlju izvađena su ukupno tri valjaka, a iz dva valjka izrezana su još dva uzorka tako da je kvaliteta betona ispitana na 5 uzoraka.

d) Za dodatnu ocjenu kvalitete betona ugrađenog u armiranobetonske elemente zgrade provedeno je i ispitivanje nedestruktivnom metodom – sklerometrom (slika 9). Ovo ispitivanje je provedeno u skladu s normom:

- HRN EN 12504-2:2012 - Ispitivanje betona u konstrukcijama - 2. dio: Nerazorno ispitivanje
- Određivanje indeksa sklerometra.

Ispitivanje sklerometrom je provedeno na tri armiranobetonska stupa u prizemlju zgrade, svukupno 6 mjesta.



*Slika 9 Ispitivanje kvalitete betona sklerometrom(Duvnjak,2021)*

e) Eksperimentalno određivanje dinamičkih parametara konstrukcije zgrade (vlastitih frekvencija, modalnih oblika titranja i koeficijenta prigušenja) provedeno je metodom operativne modalne analize (OMA). Eksperimentalno dobiveni dinamički parametri služe za provjeru pouzdanosti numeričkog modela, usporedbom eksperimentalno određenih vrijednosti dinamičkih parametara s numeričkim. Usporedbom rezultata prije i nakon obnovemože se utvrditi promjena krutosti konstrukcije, odnosno uspješnost provedene obnove i ojačanja.

f) Utvrđivanje sastava tla te proračun nosivosti tla za osnovna i dopunska opterećenja. Izračunavanje maskimalnog slijeganja konstrukcije te izračunavanje koeficijenta reakcije sve sukladno normi EN 1997. Potrebno izvršiti i klasifikaciju tla prema kriterijima EN 1998.

g) Sondiranje stropova se izvodi na način da se lokalno otvore stropovi radi utvrđivanja slojeva poda, njihovih dimenzija te promatranja glavnog nosivog sustava stropne konstrukcije. Također je potrebno izvršiti trakasto otvaranje stropa da se dobije raster postojećih greda, kao i

mjesto nalijeganja greda na nosivu konstrukciju. Lokalno je potrebno otvoriti, odnosno borerom probiti zid radi utvrđivanje njegove debljine. (Duvnjak,2021)

S obzirom na provedene istražne radove i na vrijeme gradnje konstrukcija zgrade Državnog arhiva u Zagrebu nema zadovoljavajuću razinu potresne otpornosti sukladno važećem Tehničkom propisu za građevinske konstrukcije (NN 17/17 i NN 75/20) i normama HRN EN. Zbog toga je bilo potrebno izraditi Elaborat ocjene postojećeg stanja građevinske konstrukcije i na temelju njega projekt obnove konstrukcije zgrade, odnosno pojačanja na zahtjevanu razinu potresne otpornosti u skladu s važećim zakonom, propisima i normama.

### **3.2 Prijedlozi ojačanja konstrukcije**

Glavni građevni materijali korišteni za izgradnju objekta su opeka i kamen te drvena građa za krovšte. Zidovi suterena starog dijela građevine su izgrađeni od kamena s umetnutim dijelovima opeke, ožbukani izvana i iznutra. Ostali zidovi su zidani u vapnenom mortu. Debljina zidova se smanjuje s visinom etaža te se kreće od 20-200 cm. Svodovi su izvedeni od opeke te su križnog oblika. Svodovi se oslanjaju na zidove koji su na mjestima unosa sila zadebljani te oblikovani kao stupovi u zidu. Trenutno zidovi nemaju izvedene nikakve omeđujuće elemente. Krovšte je drveno s daščanom oplatom. Rogovi su dimenzija 16×16 cm, stup visulje 16×16 cm, dok je greda 26×26 cm. Prema elaboratu ocjene stanja postojeće konstrukcije zgrada ima tlocrtnih nepravilnosti, nepravilna je po visini, ali i tlocrtu stoga postoji znatna ekscentričnost centra krutosti i centra masa koja uzrokuje torzijske učinke pa imamo za posljedicu dodatno opterećenje na rubne elemente, što je izrazito nepovoljno pri potresnoj otpornosti. Proračunima se i pokazalo da je u konstrukciji izražen translatorni pomak u oba smjera te torzijski učinak. Trenutačno je stanje građevine takvo da je ona različito oštećena u svojim povijesnim i konstrukcijskim dilatacijama. U nižem dijelu na jugu kompleksa, zgrada nije pretrpjela teška oštećenja dok je na sjeveru kasnobarokna palača znatno oštećena u potresu te se može reći da je ukupna ocjena da je zgrada pretrpjela umjerena oštećenja. Uzrok nastalih oštećenja je uglavnom nepostojanje krutih ili barem djelomično krutih dijafragmi (stropnih ploča) na katovima koje su kvalitetno povezane s okolnim zidovima što je iniciralo pojavu lokalnih mehanizama otkazivanja zidova izvan ravnine. To je osobito nepovoljno u zidovima u smjeru jugoistok-sjeverozapad kojih nema dovoljno za takvu površinu zgrade. Osim lokalnih mehanizama otkazivanja, najozbiljnije oštećenje je u sjeverozapadnim zidovima u kasnobaroknom dijelu građevine na području stubišta, u dvoranama i hodnicima na kojima su se javile značajne dijagonalne pukotine i ispadanje tjemena (zaglavnog kamena) lukova i

svodova. Zgrada je poluugrađena te u smjeru sjeveroistok-jugozapad ona radi zajedno sa blokom što je izrazito povoljno, no u drugom smjeru konstrukcija ima najveći zahtjev za pomakom koji ne može ostvariti te su u tom smjeru zidovi pretrpjeli i najviše oštećenja i to od podruma do potkrovlja. Analogija s rešetkom i pravilnim tokom potresne sile s etaže na etažu do temelja ne može biti ostvarena, jer se dijagonalna tlačna sila koju zid prenosi ne može uravnotežiti u razini kata s horizontalnom vlačnom silom koja je treba prenijeti na početak zida. Time dolazi do prekoračenja vlačne čvrstoće zida i otvaranja pukotina. Kako bi se ispunili zahtjevi mehaničke otpornosti i stabilnosti građevine i ispravili izvorni nedostaci građevine predviđene su mjere pojačanja:

- izvedba krute ili polukrute dijafragme u svim etažama objekta sustavom spregnutih stropova postojećih drvenih grednika ili novopostavljenih čeličnih greda.
- kompletna rekonstrukcija središnjeg atrija (postojeći sustav stupova i greda) koji se izvodi kao sustav AB okvira međusobno spojeni AB pločama s postojećim objektom
- izvedba krutih AB jezgri dizala i stubišta sa svojim temeljima
- pojačanje vanjskih zidova atrija izvedbom torkterbetona
- pojačavanje zidova 2.kata sustavom ojačane žbuke (Napomena: ukoliko se prilikom premještanja arhive i ugrađenih ormara utvrdi da su oštećenja veća od predviđenih, moguća izvedba novih zidova u sustavu omeđenog zida iz šuplje opeke jedinične težine  $< 8\text{kN/m}^3$ )
- izvedba AB grednog prstena po obodu svih novih ploča za spoj postojećih zidova s tlačnom pločom
- međusobno povezivanje postojećih zidova sidrenim šipkama na svim etažama
- pojačanje postojećih svodova stropova ojačanom žbukom CRM na ekstradosima

Prema Tehničkom propisu za građevinske konstrukcije (NN75/2020, 7/22), građevina Državnog arhiva spada pod Razinu 3 obnove - cjelovitu obnovu. Zbog javne namjene građevine, projektira se na uporabni vijek od 50 godina, no zbog statusa kulturnog dobra ne moraju biti ispunjeni svi uvjeti navedeni Tehničkim propisom za razinu 3 te će se ista obnoviti na maksimalnu moguću razinu s obzirom na konzervatorske smjernice. Konzervatorskim smjernicama nije dopušteno intervenirati na zidovima svih etaža stoga je proračun pojačanja proveden samo za zidove 2.kata. Proračunom je dokazano da zidovi 2.kata mogu zadovoljiti razinu 2 no u međudjelovanju s krutim jezgrama te unutrašnjim AB prstenom atrija, stoga se smatra da predmetna građevina ima dostatnu razinu otpornosti razine 3.

Preduvjet razine 3 je:

- Faktor važnosti građevine prema EC8 je 1,0 ( uredska zgrada – manji broj okupljanja ljudi);
- Arhiva se ne smije držati na etažama višim od prizemlja.

Prilikom izvođenja radova na pojačanju i obnovi građevine, potrebno se pridržavati svih normi i propisa navedenih u Programu kontrole i osiguranja kvalitete. Građevina je u vrijeme izvođenja radova van uporabe te se radovi na svim etažama mogu izvoditi istovremeno. Obzirom na to da se većina zahvata izvodi u unutrašnjosti građevine, okoliš nema utjecaj na svojstva ugrađenih proizvoda te na tehnička svojstva projektiranog dijela građevine, odnosno, građevine u cjelini. Sav ugrađeni materijal treba odgovarati važećim standardima te posjedovati ateste, a moraju se izvoditi prema uputama proizvođača ili tehničkim rješenjima danim u projektu. Važno za naglasiti je da se prilikom izvedbe radova radnici pridržavaju mjera zaštite na radu. (Tarnik,2022)

## **4 Proces izvedbe ojačanja**

Gradilište je otvoreno 30.11.2022. kada se krenulo s pripremom i organizacijom gradilišta na način da se u početku postavljala zaštitna ograda na gradilištu i izvodili svi potrebni radovi za postavljanje kрана. Važno je naglasiti da su nakon početka radova službenici Državnog arhiva i dalje boravili u samoj zgradi te obavljali završne poslove za svoj iseljaj, dok su izvođači krenuli s radovima demontaže starog namještaja. Tek nakon što su se svi članovi Državnog arhiva iselili, moglo se krenuti s procesom rušenja i demontaže kako bi sve bilo pravovremeno izvedeno i kako bi se konstrukcija mogla adekvatno ojačati. Procesi rušenja i demontaže te samog redoslijeda izvedbe ojačanja konstrukcije prikazani su u idućim poglavljima.

### **4.1 Proces rušenja**

Nakon iznošenja svih nepotrebnih dijelova namještaja, krenulo se u proces rušenja i demontaže. Kada je u pitanju stolarija, u projektu stoji da sva stolarija ostaje nepromijenjena te je u procesu demontaže posebnu pozornost trebalo posvetiti skidanju vrata i prozora pazeći da ne bi došlo do oštećenja jer je po konzervatorskom nalogu planirano da se vrata i prozori vraćaju. Nakon demontaže stolarije uslijedilo je obijanje žbuke sa svih zidova i stropova od podruma do 2. kata, što se može vidjeti na slici 10, osim na onim mjestima gdje se nalaze oslici koji se po konzervatorskom nalogu moraju sačuvati (slike 11 i 12). U isto vrijeme su se sanirali dimnjaci koji predstavljaju opasnost od urušavanja, a koji više nemaju nikakvu funkciju jer je u zgradi provedeno centralno grijanje.



*Slika 10 Obijanje žbuke na 1.katu*



*Slika 11 Zaštita oslika na stropu 1.kata*



*Slika 12 Zaštita oslika na zidovima 1.kata*

Kada je završeno obijanje žbuke, uslijedio je proces skidanja slojeva poda koji se razlikuju od etaže do etaže. Pa se tako pod potkrovlja sastojao od ciglenih ploča i nasipa šute, na nekim mjestima i do 13 cm, a sve to su držali drveni grednici koji se ne diraju nego ostaju sastavni

dio konstrukcije (slika 13). Slojevi poda 2. kata sastoje se od parketa koji leže na daskama, drvenih grednika koji se u ovom slučaju uklanjaju i nabačaja šute, na nekim mjestima i do 60 cm (slikama 14 i 15). Slojevi 1. kata slični su slojevima 2. kata, ali je debljina šute znatno manja i ne prelazi nigdje 20cm.(slika 16). Slojevi u prizemlju se sastoje od dva sloja betona između kojih se nalazi hidroizolacija, a koji leže na nabačaju šute visine 25 cm (slika 17). Podove prizemlja ispod kojih se nalazi podrum je potrebno očistiti do razine svodova, a ostatak prizemlja je obložen daskama i parketom. Najprije su se skidali slojevi poda kako bi se što ranije olakšalo konstrukciju od nepotrebnog tereta te kako bi se mogao započeti proces ojačavanja svodova s gornje strane. Za vrijeme skidanja podova paralelno su se rušili stropovi na mjestu novog armirano betonskog stubišta koje je projektirano kako bi dodatno učvrstilo konstrukciju. Dodatnom učvršćivanju konstrukcije doprinijet će i betonsko okno dizala, ali se u izradu dizala i samog rušenja stropova na mjestu izrade dizala krenulo tek nakon što je stubište izbetonirano do samog kraja zbog sigurnosti konstrukcije.



*Slika 13 Slojevi poda potkrovlja*

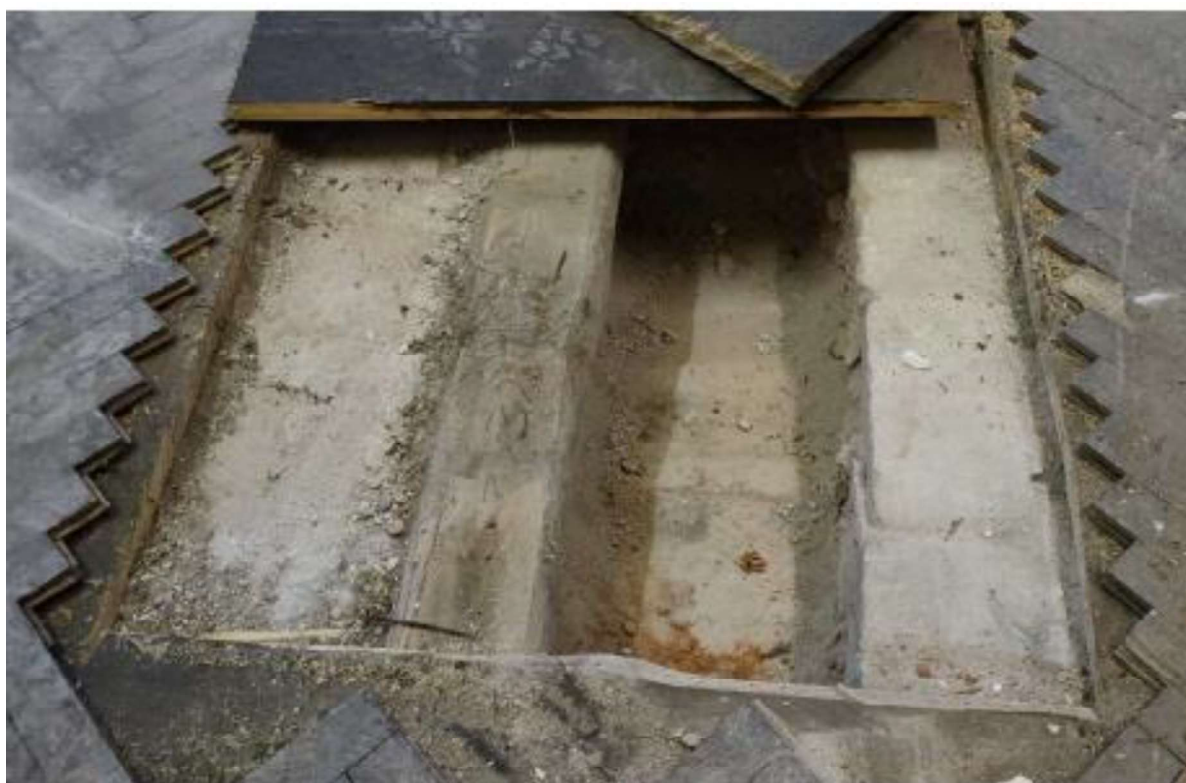




*Slika 14 Slojevi poda 2.kata*



*Slika 15 Proces uklanjanja šute na 2. katu*



*Slika 16 Slojevi poda 1.kata*



*Slika 17 Slojevi poda prizemlja*

## **4.2 Redoslijed izvedbe ojačanja**

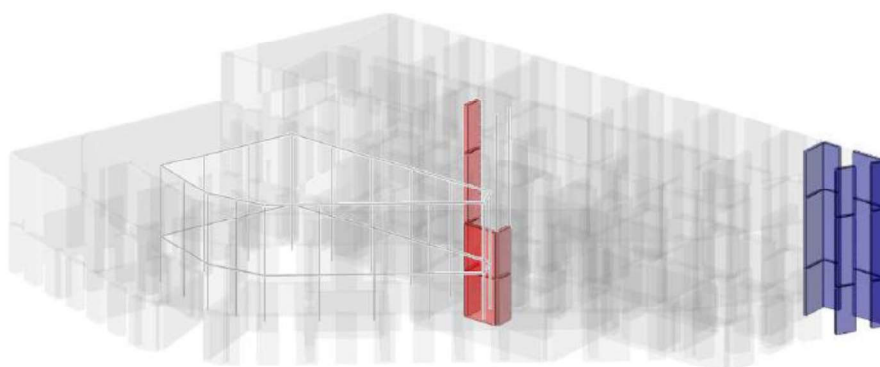
Kako teče proces rušenja i demontaže starih i nepotrebnih dijelova građevine tako je taj proces popraćen ojačavanjem konstrukcije umetanjem betonskih elemenata. Građevina je izgrađena prije saznanja o potresnom inženjerstvu pa je tako puna nedostataka, a pogotovo betonskih elemenata. Najprije su se ugrađivali vertikalni serklaži, armirano-betonski elementi čija je osnovna uloga ukrućivanje zidanih zidova i omogućavanje ravnomjernog raspoređivanja opterećenja koje se prenosi s međukatne konstrukcije na zidane zidove. Serklaži mogu biti vertikalni i horizontalni i zajedno čine prstenaste strukture čija je uloga povećanje krutosti zidanih zidova.

### **4.2.1 AB jezgre stubišta i dizala**

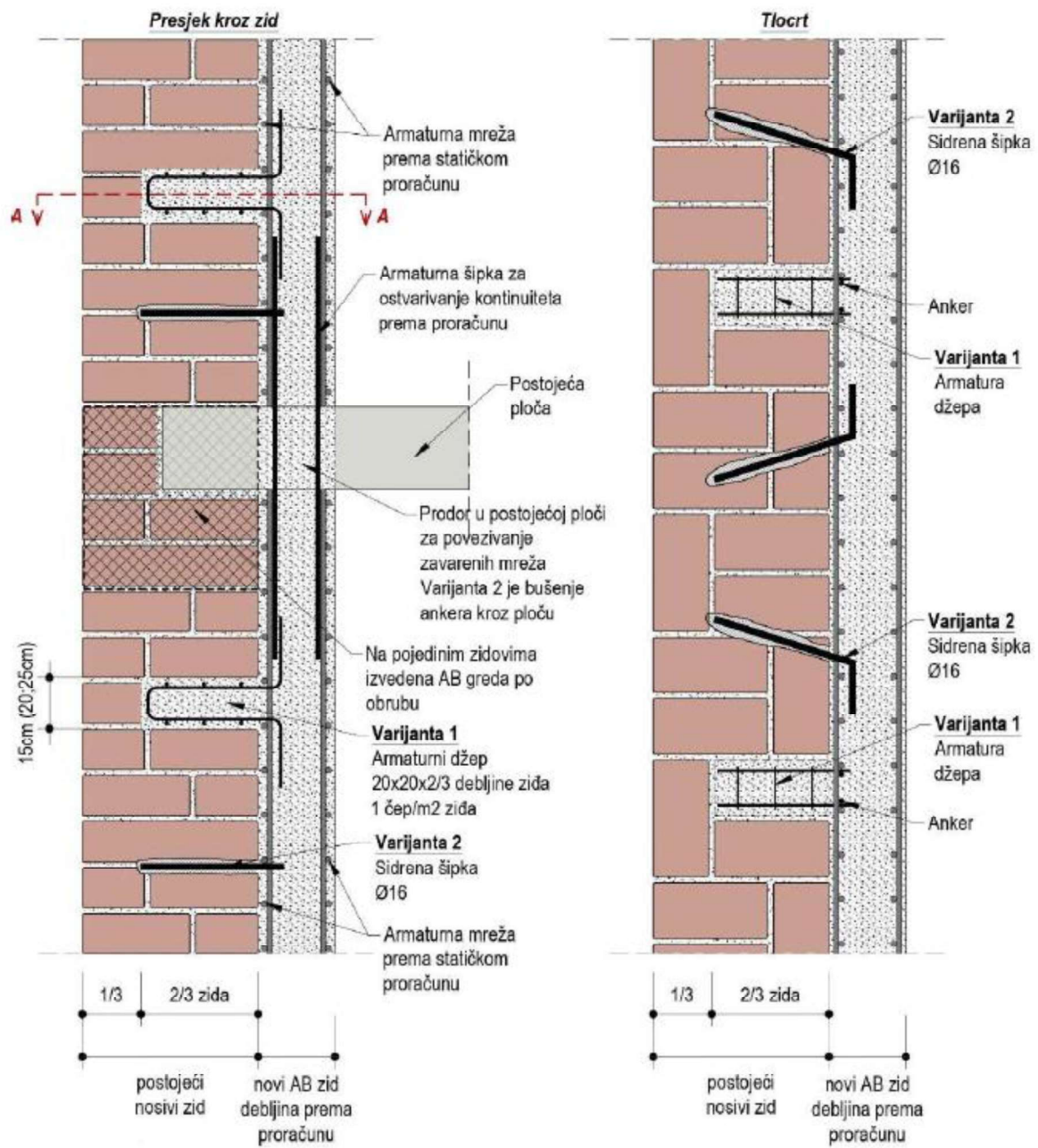
Vizualnim pregledom pojedini zidani zidovi na predmetnoj građevini pokazali su značajne kose pukotine iz oba smjera što je znak potpunog otkazivanja njihove nosivosti. Statičkim proračunom i analizom konstrukcije također se dokazalo otkazivanje istih. Predmetni zidovi nemaju dovoljno tlačno opterećenje na sebi od međukatne konstrukcije, obzirom na to da je ista usmjereni sustav AB greda s tlačnom pločom koja nije dostatna kruta horizontalna dijafagma za preraspodjelu opterećenja vertikalnih zidova. Također, sidrenje međukatne

konstrukcije nije dostatno na ovim zidovima te se isti ponašao kao veliko zidano platno koje nije duktilno na djelovanje seizmičkih sila. Na tim pozicijama zidova izvodi se novo AB platno unutar postojeće konstrukcije koja zadovoljava današnje seizmičke propise. Debljina novih AB zidova je 20cm te se izvode s jedne strane postojećih zidova. Klasa betona je C30/37. Postojeći zid i novo betonsko platno obavezno treba povezati varijantom AB čepova usječenim u zide prema prikazanim detaljima (1kom/m<sup>2</sup> ziđa) ili varijantom sa sidrenim šipkama te zapuniti masom za sidrenje (4sidra/m<sup>2</sup> ziđa). Radi jednostavnosti izvedbe i smještanja armature u njega, armaturni džep je minimalno dimenzija 20x20cm.(slika 19) Zid je armiran armaturnim mrežama i šipkama klase B500 B prema statičkom proračunu. (Tarnik,2022).

Zbog sigurnosti zgrade je prvo izrađeno betonsko stubište. Tek kad je armirano betonsko stubište(slika 20) sa svojim temeljem izgrađeno do kraja, krenula je izrada betonskog okna dizala i pripadajuće temeljne ploče. Na slici ispod može se vidjeti pozicija betonskih jezgri u zgradi, gdje je crvenom bojom označeno okno dizala, dok plava boja predstavlja poziciju novog armirano betonskog stubišta.



*Slika 18 Položaj AB stubišta i AB okna dizala*



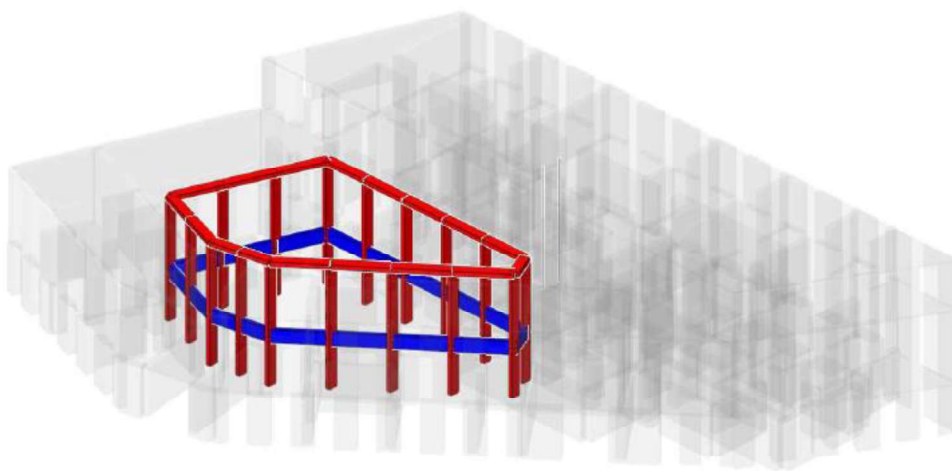
Slika 19 Detalj izvedbe novog AB zida uz postojeći (Tarnik, 2022)



*Slika 20 Prikaz izrade AB stubišta*

#### **4.2.2 AB okvirna konstrukcija atrija**

U dvorištu se izvodi kompletna rekonstrukcija središnjeg atrija (postojeći sustav stupova i greda) koji se izvodi kao sustav AB okvira međusobno spojeni AB pločama s postojećim objektom i na taj način doprinosi dodatnom učvršćenju konstrukcije zajedno s AB oknom dizala i stubištem. Ova 3 elementa zajedno predstavljaju vertikalno ojačanje konstrukcije, a na slici ispod se može vidjeti gdje se nalazi okvirna konstrukcija atrija. Nakon završetka izrade okvirne konstrukcije krenulo se s dodatnim ojačanjem vanjskih zidova, a to se postiže torkretiranjem.



*Slika 21 Položaj AB okvirne konstrukcije atrija*

### **4.2.3 Torkretiranje**

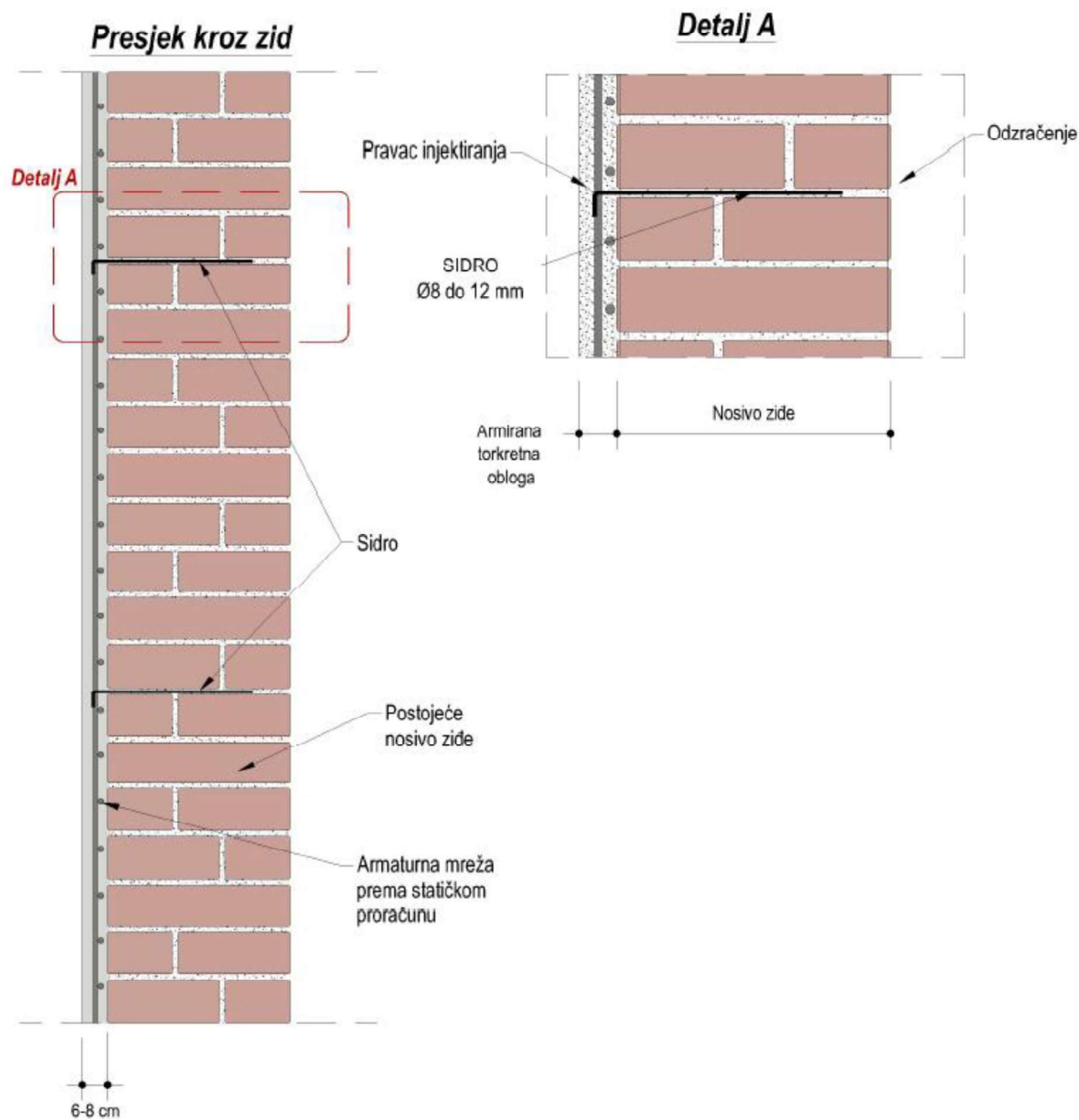
Tehnike ojačanja armiranim cementnim slojevima su jedne od najčešće primjenjivanih tehnika ojačanja zidanih konstrukcija. Primjena mlaznog betona, odnosno torkretiranje, u kombinaciji s prethodno postavljenom armaturom je tradicionalna, najčešće primjenjivana metoda u sanacijama i ojačanjima zidanih konstrukcija. Takvim se načinom povećava tlačna, vlačna i posmična čvrstoća zida kao i otpornost čitave konstrukcije na potresna opterećenja. Torkret beton se sve više koristi u sanaciji konstrukcija kojom se podiže razina nosivosti čime se može postići puna potresna otpornost. Torkretiranje odlikuje brzina i jednostavnost izvedbe jer se ugrađivanje torkret betona vrši bez oplata što je i prednost torkretiranja u usporedbi s izvedbom novih armirano-betonskih zidova. (Jakopač, 2022)

Mlazni beton ili torkret je vrsta betona koja se ugrađuje prskanjem pod tlakom pri čemu se beton zbija uz površinu u samonosivom sloju do 50 mm i to na vertikalnoj i stropnoj površini, a u sustavu s armaturnom mrežom mogu se postići veće debljine ovisno o projektiranom zahtjevu kako je to u ovom slučaju gdje je predviđena debljina torkretiranja 6-8 cm. Prolaskom torkret betona kroz mlaznice stroja pod tlakom na površinu omogućava se prionjivost nabačenog sloja i time dobivamo kompozitni zid u kojem vanjski, armirano-betonski sloj omogućava prihvat posmičnih sila i osigurava kompaktnost zida.

#### **4.2.3.1 Postupak izvedbe**

Prije izvedbe ovakvog ojačanja potrebno je skinuti svu žbuku sa zida, a labave i odlomljene elemente opeke potrebno je ukloniti i sve postojeće pukotine injektirati mortom. Na očišćen zid se stavlja armaturna mreža, a povezivanje armaturne mreže i zida se ostvaruje

pomoću sidara kako je prikazano na detalju A (slika 22). Nakon postave sidara, rupe je potrebno naknadno injektirati cementnim mortom. Šipke za povezivanje postavljaju se 9 kom/m<sup>2</sup>, a nakon pravilnog vezivanja slijedi nanošenje betona kvalitete C30/37 debljine 6-8 cm.



Slika 22 Prikaz ojačanja jednostranim torkretom (Tarnik, 2022)

Razlikuju se dva tehnološka postupka ugradnje torkret betona:

- Suhi postupak – Kod suhog postupka, torkret beton se ugrađuje tako da se na mlaznice stroja dovodi suha, homogena smjesa betona. Na samoj mlaznici se dodaje i raspršuje voda pod tlakom (zajedno s ubrzivačem) koja se na taj način miješa sa suhom smjesom. Onog trenutka kad se na šprici mlaznice spoje beton, voda i ubrzivač, dolazi do hidratacije betona u roku minute ili dvije (vrijeme upotrebe je 10 minuta).

- Mokri postupak – Kod mokrog postupka cijela mješavina se priprema i prethodno homogenizira u miješalicama, doprema u posude iz kojih se pod tlakom transportira u crijevo, te nabacuje mlaznicom na mjesto ugradnje.

Mokri postupak je osobito pogodan kod velikih zidanih zgrada s uskim stubištima, objekata javne namjene i slično, kod kojih nije moguć pristup velikih strojeva. Mokri postupak ima niz prednosti kao što su veliki kapacitet izvedbe (oko 25 m<sup>3</sup>/h), manja veličina odskoka nego pri suhom postupku, povoljniji uvjeti rada zbog manjeg prašenja, manji troškovi opreme, potreban je manji pritisak zraka, a beton je visoke kvalitete. Nedostatak mu je što zahtijeva više njege od postizanja propisane čvrstoće, a i količina otpada koji je nakon nanošenja prskanog betona potrebno očistiti je veća. Prskani se beton mora ugraditi u roku od 90 minuta od vremena miješanja, a u razdoblju visokih temperatura zraka ili velike vlažnosti i u kraćem vremenu.

Pored kvalitete samog materijala koji se ugrađuje, uspjeh izvedbe torkret betona uvelike ovisi o vještinama i sposobnosti mlazničara. Zbog svega navedenoga, na zgradi Državnog arhiva je odabran mokri postupak.

#### **4.2.4 Ojačanje neomeđenih zidova i svodova CRM sustavom**

Kontinuiran razvoj tehnologija i standarda vezanih za sanaciju i obnovu zgrada doveo je do šire upotrebe inovativnih materijala za konstrukcijska ojačanja postojećih zgrada. Među svim novim tehnologijama sustavi CRM (mort ojačan kompozitnim materijalima) sada su u širokoj primjeni kao alternative tradicionalnoj tehnici ojačanja (torkretiranjem) te, zapravo, predstavljaju evoluciju te tehnike. CRM sustavi su ojačane žbuke koje se sastoje od strukturnih mortova koji se nanose u slojevima debljine 3 – 5 cm, a upotrebljavaju se u kombinaciji s prethodno oblikovanim mrežom od kompozitnih materijala sa staklenim vlaknima (GFRP). Ove se mreže mehanički povezuju sa zidom koji se ojačava te se pričvršćuju posebnim konektorima koji su također izrađeni od kompozitnih materijala. Njihova je funkcija prijenos naprezanja s podloge na sustav ojačanja. U ovakvom je sustavu funkcija mreže apsorpcija vlačnih naprezanja, dok mort pomaže pri apsorpciji tlačnih sila. Svrha ove tehnologije je poboljšanje mehaničkih svojstava zida te povećanje međusobnog djelovanja različitih elemenata od kojih je napravljeno zide. To znači da se ovi sustavi preporučuju za poboljšanje i povećanje seizmičkog kapaciteta povijesnih zgrada te za homogenije i proširenije učvršćivanje svih vrsta oslabljenog zida. Upotrebljavaju se i za povećanje ukupne nosivosti nosivih zidova ili svodova dodavanjem estriha koji je kompatibilan s drugim elementima te za oblikovanje sustava za sprečavanje urušavanja stropova.(Idžotić,2022)



#### 4.2.4.1 Postupak izvedbe

Nakon što je konstrukcija ojačana s betonskim elementima, uslijedilo je ojačanje zidova CRM sustavom. Nakon što je sa zidova skinuta sva žbuka, započet je postupak čišćenja sljubnica (slika 23). Kada su se sve sljubnice detaljno očistile, uslijedio je pregled oštećenih dijelova zidova koje je trebalo ponovno zazidati. U prošlosti je ova zgrada više puta renovirana pa se tako na nekim dijelovima, osim oštećene klasične opeke, moglo pronaći i novije blok opeke koje su poslužile za jeftinije zidanje. Kako je po projektu ugovoreno da se svi oštećeni dijelovi neomeđenog zida moraju sanirati, to isto vrijedi i za zamjenu blok opeke novom. Nakon sanacije svih oštećenih dijelova zida i zamjene blok opeke, započelo je pranje zidnih ploha. Na zidovima je bitno izvesti pranje vodom pod visokim tlakom do potpunog uklanjanja svih tragova nečistoće, slabih ili nenosivih dijelova ili bilo koje tvari koja bi mogla utjecati na prijanjanje novog sloja žbuke. Nakon detaljnog pranja sljubnica uslijedilo je njihovo popunjavanje mortom, što je vidljivo na slici 24. Mort se nanosi između elemenata zida lopaticom, lagano pritiskajući kako bi poboljšali čvrstoću prijanjanja. Višak morta se uklonio odmah po ugradnji kako ne bi stvarao dodatne poteškoće kasnije. Nakon što su sve sljubnice bile popunjene, uslijedio je postupak injektiranja zidova. Prije samog injektiranja pripremljene mješavine, unutrašnjost strukture koja se učvršćuje mora se potpuno zasititi vodom. Dan prije izvođenja radova nužno je dobro natopiti vodom unutrašnjost strukture kroz iste rupe kroz koje će se kasnije injektirati mješavina. U međuvremenu će sav višak vode u unutrašnjosti ispariti. Sva mjesta gdje bi mješavina mogla curiti prethodno se trebaju zatvoriti brzovezujućim cementom koji se nakon injektiranja odstranjuje. Provedba injektiranja pripremljenom smjesom izvodi se pod pritiskom. Nakon što je obavljeno čišćenje sljubnica, njihovo pranje, popunjavanje istih mortom te nakon kojeg je uslijedilo dodatno injektiranje zida, još uvijek nije sve bilo spremno za postavljanje mreža. Prije postavljanje mreža potrebno je ubušiti čelične šipke, koje bi mreže sa zidova povezala s podom (slika 25), a mreže sa svodova povezala sa zidovima (slika 26) kako bi se cijela konstrukcija dodatno povezala i učvrstila. Na taj se način prostorije povezuju u horizontalnom i vertikalnom smjeru. Nakon ugrađenih čeličnih šipki slijedi postavljanje mreža na svodove i zidove. Mreže se učvršćuju postavljanjem konektora 5 kom/m<sup>2</sup>, a ispod svakog konektora se postavlja manji dio mreže dimenzija 15x15cm kako bi dodatno pričvrstio mrežu za zid ili svod što se može vidjeti na slikama 27 i 28. Nakon postavljanja mreže i konektora slijedi završno nanošenje sloja žbuke debljine 3-5cm (slike 29 i 30). Kada je sve izvedeno po navedenom redoslijedu može se reći da je CRM sustav izveden pravilno i da će izvršavati svoju funkciju ojačanja zgrade. Nakon što su radovi na ojačanju svodova završeni, sve je spremno za radove namjenjene izradi spregnutih stropova.



*Slika 23 Čiščenje sljubnica*



*Slika 24 Popunjavanje sljubnica mortom*



*Slika 25 Čelične šipke za mreže svodova*



*Slika 26 Sidrene šipke za mreže zidova*



*Slika 27 Postavljanje mreža i konektora na zidove*



*Slika 28 Postavljanje mreža i konektora na svodove*



*Slika 29 Nanošenje slojeva žbuke na zidove*



*Slika 30 Nanošenje slojeva žbuke na svodove*

#### **4.2.4.2 Usporedba metoda ojačanja neomeđenih zidova**

U ovom poglavlju je prikazana usporedba CRM metode jačanja koja je već opisana ranije, te odabrana na zgradi Državnog arhiva, sa sličnim metodama koje se koriste u ojačanju neomeđenih zidanih konstrukcija. Uz odabranu CRM metodu, uspoređivati će se i FRCM metoda koja je dio FRG sustava te će se uz sve njihove prednosti i mane navesti i FRP sustav sa svim svojim obilježjima.

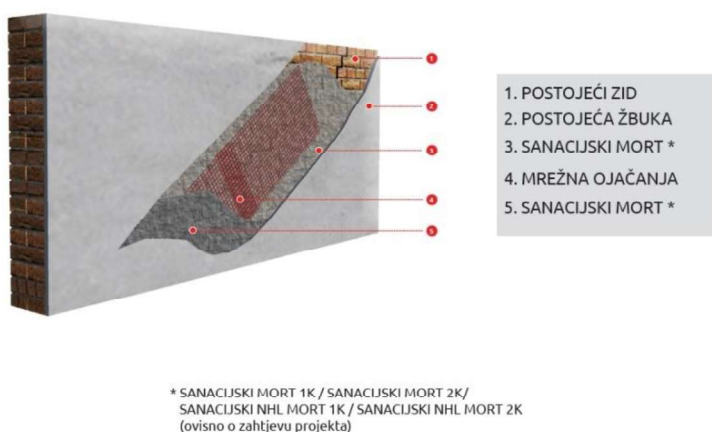
Tradicionalna tehnika učvršćivanja zidanih elemenata je oblaganje zida slojem torkret betona. Tehnika se sastoji od nanošenja cementne žbuke u dva sloja, ukupne debljine najmanje 5 cm. Između prvog i drugog sloja na prethodno izrađena čelična sidra postavlja se armaturna mreža. Unatoč činjenici da ova tehnika povećava otpornost kao i duktilnost te sposobnost raspršivanja energije, njezina uporaba uzrokuje niz problema poput značajnog povećanja krutosti ojačanih elemenata zbog visokog modula elastičnosti betona (čiji je sastavni dio obično cement te stoga nije kompatibilan s podlogom), povećanja mase i korištenja armaturne mreže koja često ima problem s korozijom. Ograničenje armaturne mreže također predstavlja tešku ugradnju, osobito na neravnim ili nepravilnim površinama. Uz sva ova ograničenja, razvio se tzv. FRG sustav. (Vukić,2020)

FRG sustave, koji čine specijalni mortovi i mrežice za ojačanja izrađene od staklenih ili karbonskih vlakana, odlikuje velika mehanička čvrstoća, neznatan utjecaj na arhitekturu građevine, dugotrajnost, jednostavna ugradnja kao i eventualno uklanjanje. Uz pravilnu ugradnju svih elemenata sustava osiguravaju odličnu povezanost s tradicionalnim materijalima za zidanje – opekam i kamenom. Mortovi koji se uz odgovarajuću mrežicu za ojačanje koriste u sustavima, visoke su duktilnosti što osigurava savladavanje vlačnih i posmičnih naprezanja kod zidanih objekata. Formulirani su na bazi hidrauličkih veziva – prirodnog hidrauličnog vapna i eko-pucolana što ih čini posebno pogodnima za sanaciju građevina od povijesnog značenja. (Šimunec,2022)

FRG sustav dijeli se u dvije podskupine:

- CRM sustav (Composite Reinforced Mortar/ mort ojačan kompozitnim materijalima)
- FRCM sustav (Fiber Reinforced Cementitious Matrix/ cementna matrica ojačana vlaknima).

FRCM – vlaknima ojačana anorganska matrica, također nazvana tekstilom ojačan mort (TRM), tanki je strukturni sloj koji čine posebno formulirani mikroarmirani mortovi u kombinaciji s armaturnom mrežicom od karbonskih ili staklenih vlakana. U slučaju potrebnog sidrenja izvedeni FRCM sustav dodatno se učvršćuje na podlogu primjenom užadi kao i gotovim jednostrukim ili dvostrukim sidrima od staklenih ili karbonskih vlakana.(slika 31)



Slika 31 Prikaz FRCM sustava

## Usporedba FRCM i CRM sustava:

1. Ključna razlika između CRM i FRCM – vrsta smole u kojoj je mrežica impregnirana
  - FRCM je impregniran sa stirene butadien smolom što za posljedicu ima nešto slabije povezivanje sa mortom u kojeg se ugrađuje, ali omogućuje mrežici da ostane savitljiva što pojednostavljuje ugradnju
  - CRM je impregniran sa epoksi smolom zbog čega gubi savitljivost kakvu ima FRCM te se njime ne može obilaziti oko kutova pod  $90^\circ$ , već su potrebni kutni elementi
2. Druga razlika: debljina sloja mort u kojeg se mrežica ugrađuje
  - FRCM – dva sloja ukupne debljine do 2 cm
  - CRM - dva sloja ukupne debljine 2-5 cm
3. Poboljšano svojstvo vezivanja mrežice i morta sa saniranom površinom kod CRM sustava u odnosu na FRCM

FRP ili vlaknima armirani polimer je vlaknasti kompozitni materijal gdje su određena vlakna u funkciji armature ugrađena u polimernu matricu koja omogućuje finalni oblik (slika 32). Vrsta i orijentacija vlakana, sastav i količina matrice te način proizvodnje bitno utječu na karakteristike finalnog proizvoda. Proizvodni proces sastoji se od proizvodnje tekstila koji se zatim spajaju s polimernom matricom ručno, poluautomatski ili automatski. Kako bi se ostvarila kvalitetna veza između FRP-a i površine zida, iznimno su važni uvjeti na mjestu ugradnje te kvalitetna obrada površine zida. Potrebno je i paziti na kvalitetu i potpunu kompatibilnost svih komponenata kako bi se izbjeglo odvajanja FRP-a od podloge. Razlikuje se više načina ugradnje a to su:

- Sustav s mokrim polaganjem (Wet lay-up) najčešće se primjenjuje zbog svoje jednostavnosti, ekonomičnosti i svestranosti. Kako bi se ostvarila dobra veza između zida i FRP-a, na površinu zida se prije ljepila nanosi temeljni sloj tzv. primer.
- Predgotovljeni FRP sustavi su najčešće u obliku trake ili lamele i koriste se uglavnom za pojačanje elemenata opterećenih na savijanje.
- Specijalni FRP sustavi se koriste u situacijama kada standardni sustavi FRP pojačanja nisu mogući ili nisu ekonomični. Takvi sustavi su npr. sustavi s automatskim ovijanjem koji se uglavnom koriste za stupove, sustavi s umetnutim FRP trakama i sustavi s prednapetim FRP trakama gdje se prije lijepljenja i sidrenja FRP trake prednapinju te se tako poboljšava učinak pojačanja



*Slika 32 Primjeri ugradnje FRP sustava*

Usporedba FRG(FRCM i CRM) i FRP sustava:

Oba sustava značajno pridonose duktilnosti, nosivosti te u manjoj mjeri krutosti zida izvan ravnine i u ravnini, ali postoje i određene razlike. FRP-om i FRG -om moguće je pojačati zidove jednostrano ili obostrano gdje će obostrano značajno povećati nosivost, ali i osigurati simetričnost krutosti zida. S druge strane jednostrana primjena pojačanja dovodi do različite krutosti na pojačanoj i nepojačanoj strani zida. Takva razlika u krutosti dovodi do savijanja zida izvan ravnine te mogućeg sloma izvan ravnine. Oba načina pojačavanja iznimno pridonose otpornosti na savijanje i posmik zida, međutim, preuranjeno odvajanje FRP ili FRG traka ili mreža s površine zida ograničavaju ove tehnike. Kako bi se riješilo ili ublažilo odvajanje, potrebno je omogućiti odgovarajuće sidrenje FRP-a ili FRG-a. Prema ICOMOS (International Council of Monuments and Sites) smjernicama, prihvatljivije je koristiti CRM zbog niza konzervatorskih uvjeta. (Kišiček,2020)

Prednosti FRCM/CRM sustava:

- zanemarivo povećanje krutosti i mase konstrukcije (debljina nanošenja <5 cm)
- povećana otpornost zidova na posmik i tlak
- značajno povećanje duktilnosti
- zbog povećanja otpornosti na posmik i povećanja duktilnosti možemo govoriti o značajnom povećanju sposobnosti raspršivanja energije
- izvrsna kemijska i mehanička kompatibilnost s podlogom



- bescementni mort i nizak modul elastičnosti
- u nekim slučajevima nije potrebno koristiti vodoravna sidra – visoka adhezija s podlogom
- alkalnootporne mreže – nema korozije
- jednostavna ugradnja – rad i manipulacija staklenom ili karbonskom mrežom lakši su nego s armaturnom mrežom
- brzo izvođenje – osobito na neravnim površinama poput lukova
- paropropusnost
- reverzibilnost
- minimalan utjecaj na arhitekturu (debljina konačnog sloja FRCM sustava ne prelazi 20 mm)
- povoljniji za konstrukcijska pojačanja i obnove zidanih građevina
- dopušta se ugradnju čak i pri nepovoljnim uvjetima poput hladne i vlažne površine zida
- bolje reagira na visoke temperature
- nezapaljivost i netoksičnost

#### Prednosti FRP sustava:

- otpornost na koroziju
- visoka vlačna čvrstoća
- dobro ponašanje pod dinamičkim djelovanjem (proizvodi od ugljičnih vlakana)
- otpornost na većinu lužina i kiselina
- mogućnost prigušenja vibracija te izrazito dobar odnos čvrstoće i vlastite težine (40-50 puta veći nego kod čelika)
- povoljniji za beton
- omogućuje lakšu primjenu FRP-a u skućenim prostorima te eliminira potrebu za oplatom što dovodi do smanjenja troškova rada
- dobro ponašanje pod dinamičkim opterećenjem
- neosjetljivost na magnetizam,
- neprovođenje električne struje
- jednostavnost i brzina primjene

Nedostaci FRP sustava:

- elastično ponašanje do sloma
- malo istežanje pri slomu (osobito kod proizvoda od ugljičnih vlakana)
- velika razlika u svojstvima uzduž i poprijeko na smjer pružanja vlakana
- slom zbog popuštanja pod dugotrajnim naprežanjima (zbog smanjene čvrstoće pod dugotrajnim djelovanjem)
- proizvodi nisu duktilni
- paronepropusnost
- degradacija materijala pri visokim temperaturama
- cijena materijala relativno visoka

#### **4.2.5 Izvedba spregnutih stropova**

Izvedba krutih dijafragmi u nekorištenim tavanskim prostorima ili potkrovljima jednostavnija je, a uklanjanjem postojećih slojeva poda i bez povećanja mase zgrade. Diјаfragma, koja se može realizirati izvedbom tanke armiranobetonske ploče spregnute s drvenim grednikom, povezala bi nosive zidove i ujednačila njihove pomake, a pridržanjem zidova znatno bi se povećala njihova nosivost izvan ravnine zida. Također, u tanku armiranobetonsku ploču elastično bi se mogli upeti horizontalni serklaži ispod zabatnih zidova i dodatno osigurati od prevrtanja izvan ravnine. Postojeće slojeve poda potkrovlja koji znaju činiti i znatnu masu (šuta, podne opeke) moguće je zamijeniti novom armiranobetonskom tankom pločom kao krutom diјаfragmom, bez povećanja mase. Ta se armiranobetonska ploča može izvesti sprežanjem s drvenim grednikom kao što je to slučaj u potkrovlju ili se mogu ugraditi dodatni čelični profili na mjestima gdje je to moguće. Na taj se način povećava i zvučna izolacija između etaža. (Tarnik,2022)

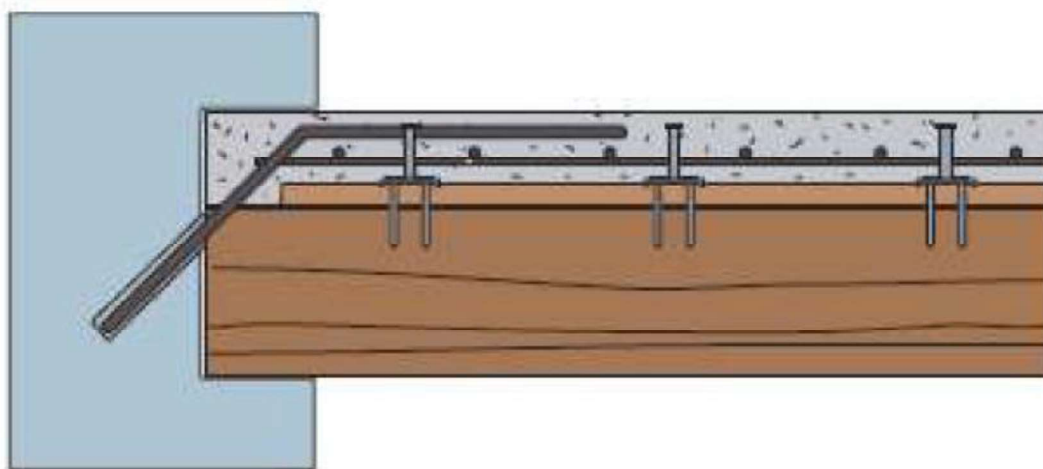
##### **4.2.5.1 Postupak izvedbe**

Postupak izvedbe spregnutih stropova razlikuje se u potkrovlju i na svim ostalim etažama. U potkrovlju se nalaze drveni grednici koji će činiti oplatu za podnu ploču potkrovlja, odnosno spregnuti strop 2. kata. Važno je napomenuti da je drvene grednike potrebno poduprijeti prije betoniranja. Najprije je potrebno odštemati zidove cijelom dužinom kako bi se mogli napraviti horizontalni serklaži koji bi služili za spoj ploče i zidova. Povezivanje ploče sa zidovima se vrši na način da se pod određenim kutom ubuše čelične šipke u zid i tako povežu s pločom. Nakon ugradnje potrebne armature i čeličnih šipki, što se može vidjeti na slici 33, na drvene grednike se postavlja sloj laganog betona koji služi za izravnavanje plohe jer nisu svi

drveni grednici potpuno ravni, a zatim slijedi postavljanje armature prema nacrtu. Nakon što je postavljena armatura, ugrađuju se vijci za sprezanje s drvenim grednicima. Na samom kraju se radi betoniranje tlačne ploče debljine 8 cm. Presjek tlačne ploče potkrovlja je vidljiv na slici 34.



*Slika 33 Armatura za horizontalne serklaže i sidrene šipke*



*Slika 34 Presjek tlačne ploče potkrovlja(Tarnik,2022)*

Za razliku od tlačne ploče potkrovlja koja iznosi 8 cm, na ostalim etažama će tlačna ploča iznositi 12 cm. Prije izvedbe tlačne ploče bilo je potrebno ukloniti sve slojeve poda uključujući i šutu koja je na nekim mjestima iznosila čak i do 1 m (slika 35). Nakon uklanjanja šute započelo je štemanje zidova kako bi se mogli ugraditi čelični nosači za koje je bilo potrebno izbetonirati ležajeve te ostaviti otvore u zidovima kako bi se horizontalni serklaži međusobno povezali (slika 36). Također, serklaži služe i za povezivanje tlačne ploče sa zidovima. Nakon ugradnje čeličnih nosača na mjestima gdje je to bilo moguće zbog visine gotovog poda, slijedi

popunjavanje praznog prostora sa laganima betonom koji osim uloge popunjavanja praznog prostora ima i ulogu oplata za buduću tlačnu ploču. Nakon popunjavanja prostora laganim betonom i ugradnjom armature za ploču i horizontalne serklaže slijedi betoniranje tlačne ploče koja je spregnuta sa čeličnim nosačima(slika 37).



*Slika 35 Uklanjanje slojeva šute na 2.katu*



*Slika 36 Štamanje zida za horizontalne serklaže i betonirani ležajevi za čelične nosače*



*Slika 37 Presjek tlačne ploče 2.kata(Tarnik,2022)*

### **4.3 Kontrola izvedbe elemenata ojačanja**

Kontrola kvalitete i izvedbe elemenata ojačanja ključna je za sigurnost i trajnost građevinskih konstrukcija. Njihova nepravilna izvedba može dovesti do neadekvatnog ojačanja konstrukcije, stoga je važno strogo se pridržavati glavnog projekta, građevinskih standarda i specifikacija te konstantno biti u komunikaciji sa projektantom i nadzornim inženjerom.

Kontrola izvedbe elemenata ojačanja, kao što su armatura i beton, ključna je za osiguranje sigurnosti i trajnosti konstrukcije. Najveća pozornost je usmjerena na:

#### **Praćenje tijekom postavljanja armature**

Radnici su tijekom postavljanja armature kraj sebe imali armaturne nacрте kako bi se točno držali predviđenih specifikacija. Sva ugrađena armatura bila je po projektu i u točno određenim količinama. Razmak čeličnih šipki, promjer armature i njihova položajna točnost je odmah na mjestu ugradnje bila kontrolirana.

#### **Kontrola kvalitete betona**

Prilikom betoniranja posebno se pazilo da temperatura i vlažnost okoline budu unutar prihvatljivih granica tijekom stvrdnjavanja betona kako bi se spriječilo moguće oštećenje. Tijekom izlivanja betona koristili su se vibratori kako bi se uklonile zračne rupe i osigurali ravnomjerno raspoređivanje betona unutar oplata. Kontrolni postupak utvrđivanja tlačne čvrstoće očvrstelog betona provodio se na uzorcima koji se uzimaju neposredno prije ugradnje betona. Može se zaključiti da su poduzete sve mjere kako bi beton traženih karakteristika bio ugrađen na ispravan način.

## **Kontrola visina**

Mjerenje položaja i oblika građevine podrazumijeva stalno mjerenje i nadziranje geodetskim mjernim instrumentima, a osobito stalnu kontrolu visina tijekom građenja. Visina tlačnih ploča vrlo je važna za nastavak projekta kako bi u idućoj fazi razina gotovog poda bila na projektiranoj visini. Također se provodila kontrola visine stubišta kako bi zadnja stuba bila na projektiranoj visini zbog podudaranja s visinom tlačne ploče. Iz tog razloga je neizmjerljivo važno više puta prekontrolirati visine prije nego dođe do izlivanja betona.

## **Sukladnost materijala**

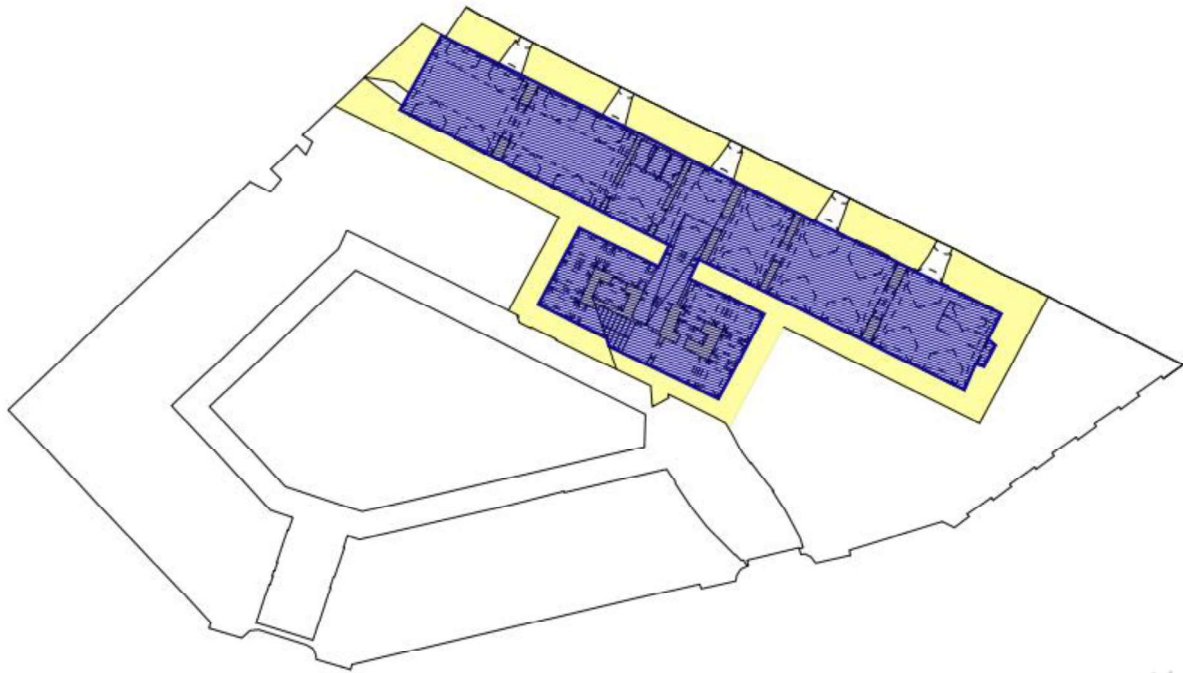
Potrebno je provjeravati je li materijal koji se ugrađuje predviđen projektom te dostaviti ateste proizvođača za svaki ugrađeni materijal. Ovo je posebno važno za CRM sustav ojačanja u kojem je projektom propisano koji se točno materijal i od kojeg proizvođača mora koristiti pri ugradnji. Prilikom kontrole radova prikupljale su se sve potrebne potvrde i atesti koji su potrebni za završno izvješće o osiguranju kvalitete izvedenih radova. Provedbom programa kontrole, sastavljanjem kompletne dokumentacije o izvršenim pregledima, atestima i potvrdama, uključujući i završni izvještaj o pregledu, dokazuje se osiguranje kvalitete izvedenih radova.

## 5 Problematika pri izvedbi ojačanja

Zgrada Državnog arhiva u Zagrebu se nalazi na području kulturnog dobra – Povijesna urbana cjelina Grad Zagreb, upisanog u Registar kulturnih dobara RH. Osnovni izvor informacija nalazi se u samom Državnom arhivu u Zagrebu gdje se nalazi dokumentacija o zgradi od početka 20. stoljeća do danas, među kojom se ističu nacrti Filipa Sorga iz 1903. godine i projekt Aleksandra Freudenaicha iz 1949. godine, no ne i projektna dokumentacija za samu izgradnju zgrade, bilo s kraja 18. stoljeća ili dogradnje krila 1830-ih godina. (Suljić,2021) Zbog nepotpune projektne dokumentacije se nije moglo odmah predvidjeti radove koje je potrebno izvesti na sanaciji, nego se tek kroz proces rušenja nailazilo na nepredviđene probleme, koji su se odmah rješavali u dogovoru s projektantom, što je uzrokovalo nove radnje u projektu.

### 5.1 Podbetoniranje temelja podruma

Kao na većini projekata, i na ovome su se pojavile nove radnje koje su promijenile tijek gradnje. Prva od njih je bila podbetoniranje temelja podruma, što je na samom početku bilo predviđeno samo za novoprojektirano stepenište i okno dizala. Tijekom rušenja slojeva poda u podrumu, ustanovilo se da je postojeći sloj betona na koji treba doći izolacija preslab. Iz tog razloga je projektirana nova AB ploča koja bi dodatno ukrutila zidove podruma, ali kako je debljina nove ploče iznosila 20 cm, te kako bi ploča imala nekakav utjecaj na građevinu, bilo je potrebno ploču povezati na neki način sa zidovima. Pošto se ploča nalazila ispod razine zidova, a zidovi nemaju temelje, došlo se na ideju da se cijeli podrum dodatno podbetonira kako bi ojačali konstrukciju od samog dna, ali i kako bi se nova ploča povezala sa zidovima, odnosno temeljima zgrade. Proces podbetoniranje je dugotrajan i nimalo lak pa je utjecao na pomicanje ostalih radova kao i kašnjenje samog projekta. Prvo se moralo u cijelom podrumu doći na donju razinu temelja, a zatim se krenulo u potkopavanje zidova. Kako se radi o staroj građevini čiji su zidovi podruma građeni od cigle i kamena raznih veličina, moralo se pažljivo pristupiti potkopavanju da ne bi došlo do urušavanja. Dužina potrebnog potkopavanja po obodu prostorija podruma iznosi približno 80 metara. Na slici 38 je plavom bojom označena AB ploča podruma, uz koju se nalaze temelji.



Akt

*Slika 38 Prikaz novoprojektirane AB ploče podruma*

Iskop temelja se odvijao na način da se prvo iskopaju 3 kampade dužine 1 m, koje su međusobno udaljene najmanje 2 m, kako ne bi došlo do urušavanja. Nakon što su izbetonirana ta 3 temelja, ponovno se moglo iskopati 3 kampade koje su također međusobno udaljene minimalno 2 m, te ih izbetonirati. Postupak iskopa novih kampada i njihovog betoniranja se ponavljao dok cijeli podrum po obodu nije bio podbetoniran. Na slikama ispod se može vidjeti slijed izvedbe podbetoniranja.



*Slika 39 Slijed podbetoniranja temelja podruma*

Nakon što je cijeli podrum podbetoniran, uslijedilo je nasipavanje drobljenog kamena i pripreme podloge za betoniranje ploče. Na slikama od 40 do 43 se može vidjeti kako izgleda



kada je podrum sav podbetoniran, kako izgleda priprema podloge za izvedbu betonske ploče te slike armature i betonirane ploče podruma.



*Slika 40 Završetak podbetoniranja*



*Slika 41 Priprema podloge za betoniranje ploče*



*Slika 42 Armatura za betonsku ploču podruma*



*Slika 43 Betonska ploča podruma*

Kao glavni problem izvedbe svih ovih radova ključan je skućeni prostor, pošto se radi o podrumu. Sav iskop se odvijao ručno zbog nemogućnosti prolaska bagera u prostorije podruma. Također je i sav cakumpak bilo potrebno rasporediti ručno koristeći kolica, a kako bi se unijele armaturne mreže bilo je potrebno srušiti dio prozora koji se po završetku radova ponovno sazidao.

## **5.2 Ojačanje svodova CRM sustavom**

Sustav ojačanja svodova CRM sustavom je ranije opisan u ovom radu, a problem koji se pojavio pri njegovoj izvedbi tiče se ojačanja svodova koja nisu bila uočena tijekom istražnih radova. Primjer jednog takvog ojačanja je vidljiv na slici 44. Najveći problem je zapravo neelastičnost same mreže koja ne može cijeli luk obuhvatiti u cijelosti i izvršiti svoju funkciju ojačanja svoda. Iz tog razloga su se praznine između ojačanja popunile laganim betonom kako se luk ne bi previše opteretio, što je vidljivo na slici 45. Nakon popunjavanja praznina, dobila se fino zaobljena ploha te se mogao postaviti CRM sustav ojačanja, kao što je vidljivo na slikama 46 i 47.



*Slika 44 Ojačanje svoda*



*Slika 45 Popunjavanje praznina sa laganim betonom*



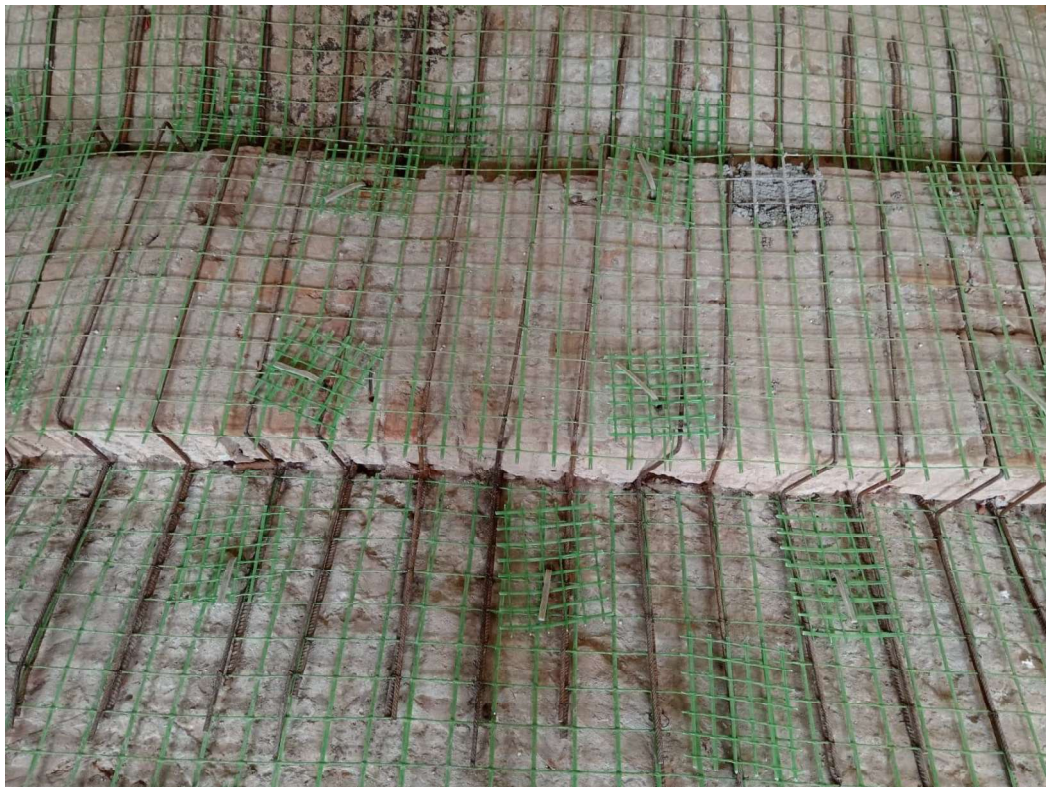
*Slika 46 Izvedba CRM sustava na svodovima*



*Slika 47 Završna obrada CRM sustava na svodovima*

Drugi primjer je ojačanje između dva svoda za koji je primjenjen drugi način rješavanja problema. Kako bi se premostilo ojačanje između dva svoda, napravljene su vilice od čelika koje služe za povezivanje mreža sa obje strane. Primjeri takvog ojačanja su vidljivi na slikama 48 i 49, dok je na idućoj slici prikazana završna obrada CRM sustava. Problematika kod

izvođenja ovog načina ojačanja je što se na odobrenje moralo čekati glavnog projektanta i sama izvedba zahtjeva puno više vremena i truda od ojačavanja običnih svodova bez ikakvog ojačanja.



*Slika 48 Vilice za premošćivanje ojačanja*



*Slika 49 Prikaz rješenja CRM sustava sa dodatnim ojačanjem*



*Slika 50 Završna obrada CRM sustava sa dodatnim ojačanjem*

### **5.3 Zaštita kulturne baštine**

Zgrada Državnog arhiva u Zagrebu nalazi se na području kulturnog dobra i zbog toga je upisana u Registar nepokretnih spomenika kulture Grada Zagreba. Iz tog razloga je na zgradi provedeno niz metoda očuvanja oslika (slike 51 i 52), te se moralo paziti na svaki prozor i vrata koja se ne smiju oštetiti jer ostaju u izvornom obliku i nakon završetka konstrukcijske obnove.



*Slika 51 Zaštita oslika na zidovima*



*Slika 52 Zaštita oslika na stropovima*

Na onim mjestima gdje su oslici morali biti sačuvani nije se izvodio CRM sustav ojačanja što nije utjecalo na proces izvođenja konstrukcijske obnove, dok se na drugom katu radio transfer oslika koji se nalazio na gotovo cijelom stropu jedne prostorije i on je u velikoj mjeri utjecao na radove. Dok transfer cijelog oslika nije završio, nije se moglo krenuti u betoniranje tlačne ploče potkrovlja. Razlog je što su se grede trebale poduprijeti kako bi držale svježi beton u potkrovlju, a nije se smijelo podupirati preko oslika kako ga se ne bi uništilo. To ne bi bio problem da transfer oslika nije toliko kompliciran i dugotrajan posao koji mogu obavljati samo ovlašteni restauratori. Proces transfera oslika se odužio, a samim time je kasnila betonaža tlačne ploče u potkrovlju, a ujedno se i ništa drugo osim toga nije moglo obavljati u toj prostoriji. Na slici 52 se može vidjeti površina stropa sa kojeg je trebalo obaviti transfer oslika, a na slici 53 su vidljivi gotovi komadi stropa koji su skinuti zajedno sa oslikom, kojeg će restauratori svojim metodama ponovno vratiti na strop. Ukupno je bilo 22 ovakva komada, a za svaki komad je bilo potrebno 3 do 5 dana ovisno o njegovoj veličini.



*Slika 53 Strop sa oslicima*



*Slika 54 Gotovi komadi transferiranog oslika*

## **5.4 Arheološko nalazište**

Prilikom zemljanih radova u atriju je pronađeno arheološko nalazište. Nekada davno je na ovom mjestu bilo naselje. Pronađeni su ostaci temelja nekadašnjih nastambi, nekadašnji



putevi između njih te razni predmeti od gline. Na slici 55 su vidljivi ostaci temelja. Problem kod arheoloških istraživanja je što se ona obavljaju istovremeno kad i konstrukcijska obnova. U isto vrijeme arheolozi su bili presretni kada su se našli ostaci bivšeg naselja, dok je to za izvođače bio još jedan dodatan problem zbog kojeg su iskopi u atriju odgođeni dok se istraživanja ne privedu kraju. Umjesto iskopa za temeljnu traku atrija, radovi su bili preusmjereni na radove u unutrašnjosti zgrade.



*Slika 55 Arheološko nalazište u atriju*

Nedugo nakon završetka arheoloških istraživanja u atriju, krenuli su radovi rušenja podne ploče prizemlja dok se nije ustanovilo da se ispod betonske ploče prizemlja nalazi bunar (slika 56). Na ponovno oduševljenje arheologa, krenulo je njihovo daljnje istraživanje u nadi da će pronaći nešto u bunaru, ali do toga nije došlo. Dok je trajalo njihovo istraživanje došlo je do izmjene projekta. U prostoriji u kojoj je pronađen bunar je trebao biti sanitarni čvor, ali je on premješten u drugu prostoriju, a u prostoriji s bunarom će se u budućnosti nalaziti soba za prezentaciju. Za

konstrukciju ovo nalazište nije imalo utjecaja, osim što je uzrokovalo neke sitne promjene u projektu i minimalno odstupanje od završetka radova u prizemlju.



*Slika 56 Novootkriveni bunar u prizemlju*

## **5.5 Analiza problematike**

U ovom poglavlju je prikazana analiza svih problema koji su se pojavili tijekom izvođenja. Neovisno o tome jesu li problemi tehničke ili neke druge prirode, ocijenit će se utjecaj tog problema na projekt, bilo to produljenje izvedbe, povećanje cijene ili samo tehnološki problem izvedbe radova. Četiri glavna problema s kojima se projekt suočio su objašnjena u ranijim poglavljima, a zajedno s njima u tablici ispod će biti spomenuti i oni problemi s manjim ili približno istim utjecajem na projekt. Ocijena utjecaja problema na projekt bit će opisana kao "jak utjecaj" ako se radi o problemu koji je utjecao na produljenje roka i na povećanje cijene izvedbe. Utjecaji opisani kao "slab utjecaj" imali su problem sa izvedbom, ali ne i na konačan ishod projekta. Ispod tablice se nalazi objašnjenje kako je svaki od tih problema utjecao na promjenu vremena, cijene i kvalitete.

Tablica 1 Utjecaj problema

| Naziv problema                   | Utjecaj problema |
|----------------------------------|------------------|
| Podbetoniravanje temelja podruma | JAK UTJECAJ      |
| Ojačanje svodova CRM sustavom    | JAK UTJECAJ      |
| Konzervatorski radovi            | JAK UTJECAJ      |
| Arheološki radovi                | SLAB UTJECAJ     |
| Manjak kvalitetne radne snage    | JAK UTJECAJ      |
| Komunikacija među sudionicima    | SLAB UTJECAJ     |
| Kratak rok završetka radova      | JAK UTJECAJ      |

### **Podbetoniravanje temelja podruma**

U tablici označeno kao jak utjecaj. Razlog tomu je što podbetoniravanje temelja podruma nije bilo ugovoreno, nego se izvodilo nakon revizije projekta. Zbog toga je narasla cijena samom projektu, a samim time se i rok pomaknuo za određeni period. Dakle, bilo je potrebno povećati vrijeme izvedbe kao i produžiti rok, a sve kako bi se osigurala kvalitetna izvedba ojačanja konstrukcije.

### **Ojačanje svodova CRM sustavom**

Kao i u prethodnom slučaju, jak utjecaj. Iz istoga razloga, osiguranja kvalitete izvedbe, neophodno je produljiti radove kao i njihov cijenovni rast koji je uslijedio zbog dodatnog utroška materijala. Također je presudila kvaliteta ojačanja naspram cijene i roka izvedbe.

### **Konzervatorski radovi**

Mogu se okarakterizirati kao radovi s jakim utjecajem. Konzervatorski radovi nisu premašili ugovorenu svotu novca, ali su svojom sporom izvedbom i produljenjem roka uzrokovali niz zastoja u projektu, te proces sanacije u određenom vremenskom periodu nije mogao ići po planu zbog konzervatora.

## **Arheološki radovi**

Slab utjecaj na projekt. Vrijeme odvijanja arheoloških radova se događalo na samom početku, pa kada je došlo do nepredviđenih radnji, radovi na sanaciji su premješteni u drugu prostoriju. Zbog arheoloških nalazišta je došlo do minimalnih promjena u projektu što je bilo vidljivo u povećanju cijene, ali kvaliteta radova i rok završetka su ostali nepromjenjeni.

## **Manjak kvalitetne radne snage**

Glavni problem u svim granama gospodarstva označen je s jakim utjecajem. Iz razloga smanjenja troškova cijene rada, kvaliteta izvedbe je smanjena, a rok završetka pomaknut što djelomično urokuje i nekvalitetna radna snaga. Puno vremena i novca je uloženo u dolazak stranih radnika pa je i sama ušteda na cijeni rada zapravo upitna.

## **Komunikacija među sudionicima gradnje**

U ovom slučaju je problem označen s malim utjecajem. Na projektu je bilo puno izmjena koje je trebalo od strane izvođača uočiti, a od strane projektanta i nadzornog inženjera odobriti. Proces komunikacije je tekao relativno brzo pa nije uzrokovao povećanje cijene, ali pošto je promjena bilo više od očekivanih, utjecao je na minimalno produljenje roka. Kvaliteta je ostala na vrhuncu.

## **Kratak rok završetka radova**

U početku se daje prekratak rok, što ima veliki utjecaj na cijenu projekta. Radi se o staroj građevni u kojoj ima puno nepredviđenih radnji, tako da je za očekivati da će se rok produljiti. To automatski povećava i cijenu projekta sa svakom novom nepredviđenom radnjom. Krajnji cilj obnove i kvaliteta izvođenja ostaje ista.

## 6 Zaključak

Poznato je da Zagreb, a i cijela Republika Hrvatska leži na seizmički aktivnom području. Početkom 2020.g. Zagreb i okolicu pogodio je snažan potres koji je uzrokoavao velike materijalne gubitke. Upravo taj potres je ukazao na sve probleme i nedostatke u građevinskom sektoru vezane za potresno inženjerstvo. Većina stradalih zgrada u potresu su bile one sagrađene prije ikakvog prethodnog znanja o potresnom inženjerstvu pa nije nikakvo čudo što je došlo do oštećenja. Zgrade u gradskoj jezgri tipične su zidane konstrukcije građene krajem 19.st. bez imalo betona što uvelike samanjuje čvrstoću same konstrukcije, a takva je i zgrada Državnog arhiva u Zagrebu na kojoj su odrađene razne metode ojačanja, od onih tradicionalnih do nekih novih modernijih metoda. Potresi diljem svijeta potaknuli su inženjere na dodatno razmišljanje kako spriječiti moguća oštećenja što je dovelo do razvoja brojnih sustava za ojačanje. Neki od njih su FRG sustavi koji se sve više koriste u građevinarstvu za statička i protupotresna ojačanja. Njihova jednostavna ugradnja, iznimna mehanička svojstva i trajnost te sve ostale prednosti ranije navedene dovode do zaključka da je uporaba ovih sustava najbolje moguće rješenje za ojačanje zidanih objekata i objekata kulturno-povijesne baštine. Uz CRM metodu, koja je primjenjivana na zgradi, koja svojim tankim slojem minimalno utječe na arhitekturu građevine, ugrađeno je niz armirano betonskih elemenata koji doprinose dodatnom ukrućenju građevine u horizontalnom i vertikalnom smjeru. Tijekom izvedbe elemenata ojačanja, najveća je pozornost usmjerena na kontrolu izvođenja radova. Količina materijala i način ugradnje su ključni kako bi konstrukcijska obnova opravdala svoj cilj. Važno je napomenuti da se u starim objektima, poput ovoga, ne mogu tijekom istražnih radova predvidjeti sve buduće radnje, nego se stvarno stanje vidi tek kada krenu radovi. Razlog tomu su brojne rekonstrukcije i adaptacije u prošlosti koje nisu dokumentirane i na koje se ne može utjecati. Zbog toga, i zbog brojnih restauracijskih radova koji se izvode zbog očuvanja kulturne baštine, rokovi za završetak konstrukcijskih i cjelovitih obnova ne mogu biti ispoštovani jer su prekratki i u obzir se ne uzimaju nepredviđene radnje do kojih dolazi tijekom projekta. Još jedan problem kašnjenja je nedostatak kvalitetne radne snage. Uvoze se radnici iz trećih zemalja koji nisu adekvatno obučeni za rad te se na taj način dobiva samo na broju radnika, ali kvaliteta samog rada ostaje upitna. Ovo je problem na razini države, a ne samo građevinskog sektora. Nadalje, u prošlosti se premalo pažnje posvećivalo potresnom inženjerstvu sve dok nije došlo do ovog jakog potresa. Važeća norma za projektiranje potresne otpornosti građevina HRN EN 1998 na čiju se primjenu poziva Tehnički propis za građevinske konstrukcije, trenutno je u fazi poboljšanja, odnosno izrade nove generacije normi koje će donijeti određene promjene glede ispunjavanja zahtjevanih svojstava i metoda proračuna konstrukcija. Nakon

potresa se i na fakultetima pojavilo niz novih predmeta vezanih uz potresno inženjerstvo, a sve kako bi se doprinijelo dizanju svijesti da se nalazimo na potresnom području i da se kroz učenje i dodatno istraživanje u budućnosti suzbiju potencijalne štete od potresa.

Na kraju se može zaključiti da bi u mnogim slučajevima ekonomski isplativije bilo srušiti postojeću zidanu građevinu i zamjeniti je novom, ali urbanistički planovi, kulturna baština i razni povijesni razlozi to ne dopuštaju, kao što je slučaj sa zgradom Državnog arhiva. Također se može zaključiti da sama sanacija nije dovoljna jer ona dovodi oštećenu konstrukciju u stanje prije potresa koje nije bilo zadovoljavajuće potresne otpornosti. Stoga je od iznimne važnosti u budućnosti povećati potresnu otpornost postojećih građevina i buduće građevine projektirati na zadovoljavajuću razinu potresne otpornosti kako ne bi došlo do istih pogrešaka. Po svemu sudeći, pred nama je dug proces sanacije i ojačanja oštećenih konstrukcija, kao i dodatne edukacije o potresnom inženjerstvu.

## 7 Literatura

Duvnjak, I. (2021) *Izješće o istražnim radovima na konstrukciji zgrade Državnog arhiva u Zagrebu*

Idžotić, Z. (2022) "Tehnologija CRM sustava ojačanja - inovativni sustavi za konstrukcijsko ojačanje postojećih zgrada", Webgradnja, [Online], Dostupno: <https://webgradnja.hr/clanci/tehnologija-crm-sustava-ojavanja-inovativni-sustavi-za-konstrukcijsko-ojavanje-postojecih-zgrada/4558>

Jakopač, D.(2022) "Torkret beton, cementne žbuke i reparaturni mortovi u protupotresnoj obnovi",Korak,[Online], Dostupno: <https://korak.com.hr/torkret-beton-cementne-zbuke-i-reparaturni-mortovi-u-protupotresnoj-obnovi/>

Kišiček, T. i dr (2020) "Pojačanje ziđa na posmik pomoću FRP-a ili TRM-a", Građevinar,vol. 72, br.10, str 937-953

Miletić, N.(2022) "Praktični primjeri seizmičkog ojačanja opečnog ziđa konstrukcije čeličnim okvirima i mrežama stakloplastike GFRP u mortu na zgradama grada Zagreba"

Suljić, A. (2021) *Konzervatorski elaborat za zgradu Državnog arhiva u Zagrebu, Opatička ulica 29 u Zagrebu*

Šimunec, J.(2022) "FRCM i CRM sustavi protupotresnih ojačanja",Korak,[Online], Dostupno: <https://korak.com.hr/samoborka-frcm-i-crm-sustavi-protupotresnih-ojavanja/>

Tarnik, K. (2022) *Građevinski projekt cjelovite obnove konstrukcije: Tehnički dio*

Todorić,M. i Crnogorac, M (2020) "Problematika obnove i mogući pristupi",Hrvatski centar za potresno inženjerstvo [Online]. Dostupno:

<https://www.grad.hr/potres.obnova/prez/05%20Todoric%20Crnogorac.pdf>

NN 01/07, Tehnički propis za zidane konstrukcije

NN 21/23, Zakon o obnovi zgrada oštećenih potresom na području Grada Zagreba, Krapinsko-zagorske županije, Zagrebačke županije, Sisačko-moslavačke županije i Karlovačke županije

NN 28/23 Program mjera obnove zgrada oštećenih potresom na području Grada Zagreba, Krapinsko-zagorske županije, Zagrebačke županije, Sisačko-moslavačke županije i Karlovačke županije

Vukić, H. (2020) "Konstrukcijska i protupotresna ojačanja zidanih građevina kompozitnim FRG materijalima", Webgradnja, [Online] , Dostupno:

<https://webgradnja.hr/clanci/konstruktivska-i-protupotresna-ujacanja-zidanih-gradevina-kompozitnim-frg-materijalima/4712>



## Popis slika

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 1 Pukotine, oštećenja i opadanje žbuke u prizemlju(Duvnjak,2021) .....                 | 9  |
| Slika 2 Pukotine i oštećenja na svodovim 1. kata zgrade (Duvnjak,2021).....                  | 10 |
| Slika 3 Pukotine, oštećenja i opadanje žbuke na 2. katu zgrade(Duvnjak,2021) .....           | 10 |
| Slike 4 Elementi zgrade za očuvanje .....                                                    | 12 |
| Slika 5 Način ispitivanja posmične čvrstoće zida(Duvnjak,2021) .....                         | 13 |
| Slika 6 Određivanje vertikalnog naprezanja u zidu (Duvnjak,2021).....                        | 14 |
| Slika 7 Određivanje modula elastičnosti u zidu (Duvnjak,2021) .....                          | 14 |
| Slika 8 Određivanje posmične čvrstoće zida (Duvnjak,2021).....                               | 15 |
| Slika 9 Ispitivanje kvalitete betona sklerometrom(Duvnjak,2021) .....                        | 16 |
| Slika 10 Obijanje žbuke na 1.katu .....                                                      | 21 |
| Slika 11 Zaštita oslika na stropu 1.kata .....                                               | 21 |
| Slika 12 Zaštita oslika na zidovima 1.kata.....                                              | 21 |
| Slika 13 Slojevi poda potkrovlja.....                                                        | 22 |
| Slika 14 Slojevi poda 2.kata.....                                                            | 23 |
| Slika 15 Proces uklanjanja šute na 2. katu.....                                              | 23 |
| Slika 16 Slojevi poda 1.kata.....                                                            | 23 |
| Slika 17 Slojevi poda prizemlja .....                                                        | 24 |
| Slika 18 Položaj AB stubišta i AB okna dizala.....                                           | 25 |
| Slika 19 Detalj izvedbe novog AB zida uz postojeći(Tarnik,2022) .....                        | 26 |
| Slika 20 Prikaz izrade AB stubišta.....                                                      | 27 |
| Slika 21 Položaj AB okvirne konstrukcije atrija.....                                         | 28 |
| Slika 22 Prikaz ojačanja jednostranim torkretom(Tarnik,2022).....                            | 29 |
| Slika 23 Čišćenje sljubnica .....                                                            | 32 |
| Slika 24 Popunjavanje sljubnica mortom .....                                                 | 32 |
| Slika 25 Čelične šipke za mreže svodova.....                                                 | 32 |
| Slika 26 Sidrene šipke za mreže zidova.....                                                  | 33 |
| Slika 27 Postavljanje mreža i konektora na zidove .....                                      | 33 |
| Slika 28 Postavljanje mreža i konektora na svodove.....                                      | 34 |
| Slika 29 Nanošenje slojeva žbuke na zidove .....                                             | 34 |
| Slika 30 Nanošenje slojeva žbuke na svodove .....                                            | 35 |
| Slika 31 Prikaz FRCM sustava .....                                                           | 36 |
| Slika 32 Primjeri ugradnje FRP sustava .....                                                 | 38 |
| Slika 33 Armatura za horizontalne serklaže i sidrene šipke .....                             | 41 |
| Slika 34 Presjek tlačne ploče potkrovlja(Tarnik,2022).....                                   | 41 |
| Slika 35 Uklanjanje slojeva šute na 2.katu .....                                             | 42 |
| Slika 36 Štemanje zida za horizontalne serklaže i betonirani ležajevi za čelične nosače..... | 42 |
| Slika 37 Presjek tlačne ploče 2.kata(Tarnik,2022) .....                                      | 43 |
| Slika 38 Prikaz novoprojektirane AB ploče podruma .....                                      | 46 |
| Slika 39 Slijed podbetoniranja temelja podruma .....                                         | 46 |
| Slika 40 Završetak podbetoniranja.....                                                       | 47 |
| Slika 41 Priprema podloge za betoniranje ploče.....                                          | 47 |

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 42 Armatura za betonsku ploču podruma.....                 | 48 |
| Slika 43 Betonska ploča podruma.....                             | 48 |
| Slika 44 Ojačanje svoda.....                                     | 49 |
| Slika 45 Popunjavanje praznina sa laganim betonom.....           | 49 |
| Slika 46 Izvedba CRM sustava na svodovima.....                   | 50 |
| Slika 47 Završna obrada CRM sustava na svodovima.....            | 50 |
| Slika 48 Vilice za premošćivanje ojačanja .....                  | 51 |
| Slika 49 Prikaz rješenja CRM sustava sa dodatnim ojačanjem ..... | 51 |
| Slika 50 Završna obrada CRM sustava sa dodatnim ojačanjem .....  | 52 |
| Slika 51 Zaštita oslika na zidovima .....                        | 53 |
| Slika 52 Zaštita oslika na stropovima .....                      | 53 |
| Slika 53 Strop sa oslicima.....                                  | 54 |
| Slika 54 Gotovi komadi transferiranog oslika .....               | 54 |
| Slika 55 Arheološko nalazište u atriju .....                     | 55 |
| Slika 56 Novootkriveni bunar u prizemlju.....                    | 56 |

## Popis tablica

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| Tablica 1 Utjecaj problema..... | 57 |
|---------------------------------|----|