

## METODE OBNOVE KONSTRUKCIJE ZGRADA NAKON POTRESA U ZAGREBU

### *METHODS OF RECONSTRUCTION OF BUILDING STRUCTURES AFTER THE EARTHQUAKE IN ZAGREB*

Jure Galić<sup>1</sup>, Donka Würth<sup>1</sup>, Martina Huljev<sup>1</sup>, Marko Jerbić<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tehničko veleučilište u Zagrebu, Vrbik 8, 10 000 Zagreb, Croatia

<sup>2</sup> Tehničko veleučilište u Zagrebu, Vrbik 8, 10 000 Zagreb, Croatia, student

#### SAŽETAK

U radu je dat opis metoda ojačanja zidanih konstrukcija nakon potresa u 2020. godini koji je pogodio grad Zagreb. Opisani su najčešće korišteni sustavi i materijali te sami način ugradnje, od pripremnih do završnih radova. S obzirom na vrstu oštećenja i ovisno o konstruktivnom elementu, izrađena su ojačanja dijelova objekta kao cjeline. Postupci i metode ojačanja izvode se modernom tehnologijom jako su učinkoviti jer konstrukciji i njenim dijelovima daju potrebnu stabilnost, čvrstoću i trajnost. Prilikom obnove cilj je projektanata povećati seizmičku razinu otpornosti objekata kako prilikom sljedećih mogućih potresa objekti ne bi zadobili veća konstruktivna oštećenja. U nastavku su dani i detaljno objašnjeni pojedini postupci ojačanja zidova: injektiranje, ojačavanje karbonskim tkaninama i karbonskim užadima te ojačavanje nosivih zidova od opeke (mlaznim betonom) torkretom.

**Ključne riječi:** Protupotresna ojačanja konstrukcije, torkretiranje, FRCM sustav, injektiranje

#### ABSTRACT

The paper presents the strengthening of masonry structures after the 2020 earthquake that hit the city of Zagreb. The most commonly used systems and materials are described, as well as the method of installation itself, from preparatory to final works. Considering the type of damage and depending on the structural element, the parts of the building as a whole were reinforced.

Reinforcement procedures and methods are carried out using modern technology, they are very effective because they give the structure and its parts the necessary stability, strength and durability. During the renovation, the goal of the designers is to increase the seismic resistance level of the buildings, thus ensuring that the buildings do not suffer major structural damage during the next possible earthquakes. In the following, individual wall strengthening procedures are given and explained in detail: grouting, strengthening with carbon fabrics and carbon ropes, and strengthening load-bearing brick walls (with shotcrete) with shotcrete.

**Keywords:** Anti-seismic structural reinforcement, shotcrete, FRCM system, injection

#### 1. UVOD

##### 1. INTRODUCTION

Seizmografi Seizmološke službe Republike Hrvatske zabilježili su 22. ožujka 2020. u 6.24 vrlo jak potres s epicentrom kod Markuševca u Zagrebu. Magnituda potresa iznosila je 5.5 prema Richteru, a intenzitet u epicentru bio je VII stupnja MCS ljestvice [1]. U zagrebačkom potresu oštećen je veliki broj zgrada. Većina oštećenih zgrada je izvedena od opeke, često puta nađen je i kamen u strukturi zida. Nakon potresa neuporabljivo je, ili privremeno neuporabljivo, više od 6000 zgrada, među kojima su dječji vrtići, osnovne i srednje škole, fakulteti, stambene zgrade, znanstvene ustanove i ustanove kulture. Razlog takvog stradavanja zastarjeli je način gradnje zidanih

konstrukcija, drvene međukatne konstrukcije, nepravilne izvedbe zidarskog veza, nadvoja i temeljenja te generalno bez proračuna otpornosti konstrukcije na horizontalne sile od potresa. Na mnogim zgradama narušena je stabilnost konstruktivnih elemenata, oštećeni su pregradni i nosivi zidovi od opeke, dimnjaci, te drvena međukatna konstrukcija. Sa svakim sljedećim manjim podrhtavanjem tla postoji opasnost od urušavanja jednog ili više dijelova konstrukcije što ujedno predstavlja i opasnost za život stanara.

Stare zidane konstrukcije posjeduju nisku ili gotovo nikakvu razinu potresne otpornosti. Često ih karakterizira velika težina i krutost te mala duktilnost što dovodi do sloma pri određenim silama. Sile potresa otkrile su nam slabosti starijih zidanih građevina, podsjećajući nas na važnost održavanja i jačanja takvih konstrukcija.

## 2. ZIDANE KONSTRUKCIJE

### 2. MASONRY STRUCTURES

Zidane konstrukcije su konstrukcije koje nastaju naizmjeničnim polaganjem zidnih elemenata između vezivnog materijala, što omogućava postizanje raznovrsnih struktura i tekstura.

Prvi početci čovjekovog bavljenja zidanim konstrukcijama, sudeći prema ostacima kamenih zidanih konstrukcija sežu 9000 godina pr.n.e., premda postoje dokazi da je glina pečena i prije 25 000 godina. Veliki dio povijesnih građevina izveden je zidanjem blokova od kamena ili opeke koji su međusobno povezani tradicionalnim spojevima [2]. U današnje vrijeme kada dominiraju konstrukcije od čelika i betona odnosno modernih materijala s izuzetnim mogućnostima, zidane konstrukcije ne gube na važnosti te su veoma korišten tip konstrukcija. Sa strukturalnog aspekta velika prednost im je jednostavnija i brža izgradnja, dobra zaštita od požara, temperature i zvuka te niska cijena. Također, veoma su otporne na vertikalna opterećenja, ali ne i na horizontalna djelovanja, što posebno dolazi do izražaja pri potresu zbog mehaničkih svojstava zidanog materijala, geometrijske konfiguracije te nedostatne učinkovitosti spojeva između vertikalnih i horizontalnih konstrukcijskih elemenata. Za proračun konstrukcija na potresno djelovanje primjenjuje se Eurocode 8 [3].

## 2.1. VRSTE ZIDANIH ELEMENATA

### 2.1. TYPES OF MASONRY ELEMENTS

Zidani elementi su predgotovljena komponenta namijenjena izvedbi zida. Mogu se podijeliti na više različitih skupina od kojih je najznačajnija podjela prema vrsti materijala od kojeg su izrađeni.

Prema normi HRN EN 771 Specifikacije za zidne elemente – sa svojim dijelovima, prikazuje zidne elemente [4]:

1. dio: Opečni zidni elementi koji nastaju pečenjem elemenata oblikovanih od sirove gline.
2. dio: Vapnenosilikatni zidni elementi proizvode se od smjese silicijskog agregata, vapna, izrađeni pod tlakom i zaparaivanjem
3. dio: Betonski zidni elementi proizvode se od smjese agregata normalne težine (kamena) i cementa, izvedene u kalupima, vibriranjem
4. dio: Zidni elementi od porastoga betona - proizvode od smjese finog silicijskog agregata, cementa, vapna i dodatka za stvaranje mjehurića (porobetoni)
5. dio: Zidni elementi od umjetnoga kamena
6. dio: Zidni elementi od prirodnog kamena

Kao glavni materijali za izvođenje nosive vertikalne i horizontalne konstrukcije objekta u prošlosti kada je građen stari dio grada Zagreba bili su kamen, opeka, drvo i željezo, a tek pred Prvi svjetski rat za izradu nosivih i nenosivih konstrukcija zgrada počeli su se primjenjivati beton i armirani beton. Dimenzije tadašnje opeke razlikuju se od dimenzija današnje opeke, tako da je prilikom sanacije bilo potrebno prilagoditi svako ziđe dimenzijama opeke iz pojedinog doba (Slika 1).



**Slika 1** Dimenzije pune austrijske opeke iz ciglane Augusta Brauna [5]

**Figure 1** Dimensions of solid Austrian brick from the August Braun brickyard [5]

## 2.2. VRSTE MORTOVA ZA ZIDE

### 2.2. TYPES OF MASONRY MORTARS

Mort je materijal koji se koristi za povezivanje zidnih elemenata. Sastoji se od mješavine anorganskog veziva, agregata i vode te aditiva po potrebi. U zidanim konstrukcijama razvrstava se prema mehaničkim svojstvima i prema sastojcima prema normi HRN EN 998-2- Specifikacija morta za zide -- 2. dio: Mort za zide [6].

Za zidane konstrukcije koriste se sljedeći mortovi [6]:

- **cementni mort:** priprema se u određenom omjeru cementa i pijeska, s dodavanjem aditiva po potrebi
- **cementno-vapneni mort:** sastoji se mješavina određene količine cementa, vapna i pijeska
- **vapneni mort:** dobiva se miješanjem određene količine hidratiziranog vapna i pijeska
- **tankoslojni mort:** koristi se s brušenom opekom i porobetonskim blokovima, maksimalnog zrna pijeska 0,1 mm, uz dodavanje kemijskih dodataka.
- **lakoagregatni mort:** dobiva se od lakog agregata koji može biti perlit, plovučac te ekspanzirana glina. Gustoća agregata je obično manja od 1000 kg/m<sup>3</sup>.

## 3. METODE SANACIJE I OJAČANJA KONSTRUKCIJE

### 3. METHODS OF REPAIR AND STRENGTHENING OF THE STRUCTURE

Kada se radi o protupotresnim ojačanjima konstrukcije u cjelini i/ili njenih pojedinih elemenata, najučinkovitije su metode sanacije: izvedbom mlaznog betona, FRCM sustav, FRP tkanina, FRP lamele te injektiranje zida. Takvi moderni sustavi i tehnologija kojom se izvode daju konstrukciji potrebnu čvrstoću, duktilnost i otpornost na seizmičke sile koje uzrokuju potres.

#### Torkretiranje

Torkretiranje je metoda koja se koristi pri sanaciji i ojačavanju zidanih konstrukcija. Riječ je o primjeni mlaznog betona pod tlakom. Pripremljena betonska smjesa kroz cijev se dovodi betonskom

pumpom do mlaznice koja raspršuje beton uz pomoć tlaka zraka [7]. Brzina strujanja mlaza betona osigurava njegovo dobro prijanjanje na podlogu. Takvim se načinom povećava tlačna, vlačna i posmična čvrstoća zida kao i otpornost cijele konstrukcije na protupotresne sile. Beton koji se najčešće primjenjuje razreda je tlačne čvrstoće C25/30 i C30/37. Prednost torkretiranja je što nema postavljanja oplata nego se beton pod tlakom raspršuje direktno na zid i time se štedi vrijeme ugradnje. Prije samog izvođenja torkreta potrebno je dobro pripremiti podlogu, odnosno površinu zida. Prvi je postupak potpunog uklanjanja žbuke sa zidova sve do zdrave gotove podloge. Nakon toga potrebno je očistiti sljubnice, odnosno skinuti ostatke starog morta sa zida te ga ispuhati zrakom kako bi se zid očistio od prašine. Poželjno je navlažiti površinu zida jer se time uklanjaju ostatci prašine koji nisu nestali prilikom ispuhivanja te se omogućava bolje prijanjanje betona i zida. Zatim slijedi postavljanje armaturene mreže na zid, čija je funkcija prijenos vlačnih naprežanja. Najčešće se koriste mreže tipa Q385, Q335 i Q424. Nakon postave armaturene mreže, potrebno je u zid ubušiti rupe za sidra koja će držati armaturnu mrežu. Radi se o armaturnim šipkama kosog L oblika  $\Phi 8$  mm koje se s jedne strane buše u zid pod kutom, a s druge se strane savijaju kako bi se povezali s mrežom. Rupe u koje se buše sidra zapunjuju se epoksidnim ljepilom. Gustoća postavljanja sidara je 5-6 kom/m<sup>2</sup> zida. Odmak armature od zida mora biti ostavljen minimalno 2-3 cm preko distancera zbog zaštitnog sloja betona (Slika 2).



*Slika 2 Ugrađeni ankeri i postavljena mreža prije nanošenja betona [izvor: fotografija autora D.W]*

*Figure 2 Installed anchors and mesh in place prior to concrete application [source: author's photograph, D.W.]*

## FRCM sustav

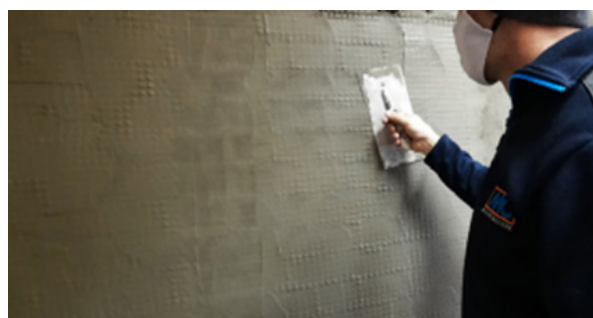
FRCM (engl. *fabric-reinforced cementitious matrix*) ili tkaninom armirani mort sustav je za ojačanje zidanih konstrukcija sastavljen od anorganske matrice i mrežice proizvedene od ugljičnih, alkalno-otpornih staklenih vlakana [7]. Anorgansku matricu čini mort na bazi hidrauličkog vapna ili trass cementa, a prijenos naprezanja postiže se prijanjanjem matrice na podlogu i mehaničkim učvršćivanjem matrice (morta) i mrežice. Ova vrsta ojačanja najveći doprinos ostvaruje u području vlačnih naprezanja. Funkcija vlakana je prijenos vlačnih naprezanja, dok je funkcija matrice zaštita vlakana (mreže) te prijenos naprezanja s betonske ili zidane podloge na vlakna. Prijenos naprezanja postiže se lijepljenjem između podloge i matrice te međusobnim mehaničkim povezivanjem između tkanine i matrice. Mort se ne bi trebao skupljati, trebao bi biti obradiv, lako se nanositi gleterom te prodirati kroz otvore mreža [8]. FRCM sustav može se ukrutiti ugradnjom užadi, tj. sidara. Uže od polimera ojačanog ugljičnim (karbonskim) vlaknima razvijeno je za sidrenje mreža i elementa koji se ojačava. Za sidrenje na jednoj strani zida koristi se karbonsko uže koje je ukrućeno epoksdnim ljepilom na jednoj strani, dok su na drugoj strani vlakna slobodna. Za sidrenje na obje strane zida koriste se karbonska užad koja su na dva kraja slobodna dok su u sredini ukrućena. Prije samog ojačanja zida FRCM sustavom, potrebno je ukloniti nevezane dijelove žbuke i opeke lakim ručnim alatima. Površine se čiste zrakom pod pritiskom radi uklanjanja ostatka žbuke, ulja, masnoća i ostalih sastojaka koji onemogućuju kvalitetno prijanjanje podloge (Slika 3). Zatim je potrebna djelomična zamjena morta u sljubnicama i/ili izravnavajući sloj koji se izvodi reparaturnim mortom u debljini 5 do 6 mm.



**Slika 3** Pripremljena podloga za postavu FRCM-a: nanošenje prvog sloja morta [8]

**Figure 3** Prepared substrate for FRCM installation: application of the first mortar layer [8]

U svježi mort utiskuje se karbonska ili staklena mrežica. Mrežicu je potrebno lagano utisnuti u mort gleterom da se osigura potpuna impregnacija. Drugi sloj reparaturnog morta debljine 5 do 6 mm nanosi se dok je prvi sloj još u svježem stanju (Slika 4).



**Slika 4** Utiskivanje karbonske mrežice, nanošenje drugog sloja morta [8]

**Figure 4** Embedding of the carbon mesh, application of the second mortar layer [8]

FRCM sustav sidrima povezuje s podlogom. Rupe sidara se buše u rasteru prema projektu u minimalnoj dubini 30 cm. Nakon bušenja rupe

se čiste zrakom pod pritiskom. Pripremljene rupe zapunjuju se epoksidnim ljepilom te se umeće kruti dio karbonske užadi. Slobodna vlakna užadi se raspliću i ugrađuju u epoksidno ljepilo (Slika 5). U svježem stanju potrebno je nanijeti kvarcni pijesak kako bi se stvorila veza za daljnju završnu obradu [8].



*Slika 5 Ugrađena sidra s kvarcnim posipom [izvor: fotografija autora D.W.]*

*Figure 5 Installed anchors with quartz sand coating [source: author's photograph, D.W.]*

Jedno od rješenja ojačanja konstrukcija na sličnom principu izvedbe kao FRCM sanacija je FRP tkaninama (eng., *fiber reinforced polymer*) i FRP lamelama (Slika 6). Način ojačavanja karbonskim (FRP) tkaninama ovisi o vrsti konstruktivnog elementa [9]. Glavni konstruktivni elementi koji se obično ojačavaju karbonskim tkaninama su stupovi, grede i ploče. Ojačanje grednih konstrukcija provodi se lijepljenjem karbonskih traka na donji rub grede s vlaknima okrenutim duž osi grede i lijepljenjem vertikalnih i nagnutih karbonskih traka na krajevima grede okrenutim okomito ili pod kutom od 45° od osi grede. Lijepljenjem pod kutom od 45° povećava se površina nalijeganja čime se stvara čvrsta veza epoksidnog ljepila i podloge. Ojačanjem stupova karbonskim trakama omogućuje se bočna potpora uzdužnoj armaturi i povećanje čvrstoće i deformacijske sposobnosti betona. Omatanjem stupova karbonskim tkaninama povećavamo njihovu čvrstoću i duktilnost te nosivost i sposobnost apsorpcije

energije. Karbonske trake na zidane zidove mogu biti postavljene vertikalno, horizontalno ili dijagonalno. Horizontalnim postavljanjem traka preuzima se poprečna sila, odnosno sprječava se slom te nastanak dijagonalnih pukotina. Vertikalnim postavljanjem preuzimaju se naprezanja od savijanja [9].

Priprema podloge započinje označavanjem linija na konstrukciji prema projektu sanacije. Površina se mora očistiti od boje, ulja, cementnog mlijeka i drugih prljavština. Čišćenje se vrši metalnim četkama ili vodom pod pritiskom. Ukoliko je podloga neravna potrebno ju je izravnati reparaturnim mortom. Ugradnja FRP tkanina vrši se nanošenjem epoksidnog ljepila valjkom. Nakon nanosa ljepila ugrađuje se tkanina. Tkanina se utiskuje valjkom u prethodno nanoseni sloj epoksidnog ljepila kako bi se istisnuli zaostali mjehurići zraka. Završni sloj epoksidnog ljepila u svježem stanju posipava se kvarcnim pijeskom kako bi se mogli nanositi sljedeći slojevi.



*Slika 6 Ojačanje FRP tkaninama [11]*

*Figure 6 Strengthening with FRP fabrics [11]*

## Injektiranje

Injektiranje je tehnika koja se koristi za konsolidaciju i ojačavanje zida. Tehnologija injektiranja bazira se na ispunjavanju pora i pukotina kako bi se ostvario ponovni kontinuitet između ziđa i poboljšala kohezija konstrukcije. Injektiranje se koristi za povećanje protutopresne otpornosti konstrukcije, kao i za povećanje nosivosti pri djelovanju statičkog opterećenja [8]. Kvaliteta injektiranja smjese za učvršćivanje starog ziđa ovisi uglavnom o prijanjanju između injekcijske smjese i materijala ziđa [10].

Prije početka injektiranja zida potrebno je uklanjanje žbuke koje se provodi po cijeloj površini zida ili uzduž pukotine u širini od 60 cm, odnosno 30 cm lijevo i desno od pukotine. Žbuka se uklanja lakim ručnim alatima. Površine se čiste zrakom pod pritiskom radi uklanjanja ostatka žbuke, ulja masnoće i ostalih sastojaka koji onemogućuju kvalitetno prijanjanje morta. Izravnavajući sloj morta izvodi se u širini 20 do 30 cm većoj od rastera pakera te služi kao zaštita od procurivanja injekcijske smjese izvan ravnine zida. Rupe za pakere buše se u pravilnom rasteru i dubini minimalno  $\frac{2}{3}$  širine zida. Raster i promjer rupa određuju se ovisno o vrsti i širini zida. Nakon bušenja pripremljene rupe čiste se zrakom pod pritiskom. U pripremljene rupe ugrađuju se plastični pakeri s razmakom od 20 do 40 cm kod cjelovite konsolidacije zida ili naizmjenično sa svake strane pukotine. Prije injektiranja kroz pakere se pukotine ispiru vodom kako bi se uklonila prašina i nečistoće, ali i osigurala zasićenost zida i time smanjilo upijanje vode iz injekcijske smjese. Injektiranje se provodi metodom niskotlačnog injektiranja pumpom do maksimalno 3 bara. Postupak se provodi od niže kote prema višoj, uz kontrolu ispunjenosti, odnosno prelaska na sljedeći paker u trenutku kada na gornjem pakeru dođe do istjecanja injekcijske smjese (Slika 7). Nakon očvršćivanja injekcijske smjese provodi se uklanjanje pakera. Na mjestu uklanjanja rupe se zatvaraju sa reparaturnim mortom.



*Slika 7 Pogled na zid prije i nakon injektiranja [11]*

**Figure 7** View of the wall before and after injection grouting [11]

## 4. PRIMJERI IZ PRAKSE

### 4. PRACTICAL EXAMPLES

#### 4.1. OJAČANJE VANJSKOG DIJELA KONSTRUKCIJE TORKRETOM

#### 4.1. STRENGTHENING OF THE EXTERNAL PART OF THE STRUCTURE WITH SHOTCRETE



*Slika 8 Zid prije nanošenja mlaznog betona i postupak torkretiranja [11]*

**Figure 8** Wall before the application of shotcrete and the shotcreting process [11]

Ojačanja konstruktivnih elemenata stambene zgrade u ulici Donji Prečac 18 koja ima 2 kata, provedena je ojačanjem vanjskog dijela konstrukcije nanošenjem mlaznog betona na sva tri pročelja zgrade, četvrta istočna strana spojena je sa susjednim objektom. Ojačanje se izvodi i s unutarnje strane po cijeloj visini zgrade (Slika 8). Potrebno je dobro usidriti vanjski dio izveden u torkretu, odnosno napraviti temeljni zid sa sve tri strane objekta gdje je predviđena sanacija mlaznim betonom. Na zid je postavljena mreža Q385 te od U vilica  $\Phi 8$  mm/15 cm. Tlačna čvrstoća betona za prošireni temeljni zid je C30/37.

#### 4.2. OJAČANJE SPAHIJSKOG PODRUMA U PAKRACU

##### 4.2. STRENGTHENING THE SPAHIJSKI PODRUM IN PAKRAC

Spahijski podrum nalazi se u Pakracu (Slika 9) kao jedna od impozantnijih građevina Slavonije. Građen je u svrhu skladišta pakračkog vlastelinstva, a postoje teze da je izgrađen još u srednjem vijeku te da je u njemu bila kovnica novca (Slavonski Banovac, prva kovnica novca u Hrvatskoj 1256-1260.) [12].



Slika 9 Zapadno i južno pročelje 2021. [12]

Figure 9 West and south façades, 2021 [12]

Zidovi podruma ojačani su izvedbom FRCM sustavom s mort mrežicom od karbonskih vlakana (Slika 10).



Slika 10 Spahijski podrum: FRCM sustav (podrumski svod) [12]

Figure 10 Spahija cellar: FRCM system (basement vault) [12]

#### 4.3. OJAČANJE ZIDOVA NA ZGRADI PRAVNOG FAKULTETA SVEUČILIŠTA U ZAGREBU, NA LOKACIJI ĆIRILOMETODSKA 4 – JEZUITSKI TRG 2

##### 4.3. STRENGTHENING THE WALLS OF THE FACULTY OF LAW OF UNIVERSITY IN ZAGREB BUILDING AT ĆIRILOMETODSKA 4 – JEZUITSKI TRG 2

Sanacija zidova kod kojih je došlo do pojave pukotina uslijed potresa na zgradi Pravnog fakulteta na lokaciji Ćirilometodska 4 – Jezuitski trg 2 u Zagrebu, izvedena je ojačavanjem zidova

od opeke spirala ankerima i mortom (Slika 11) te njihovim injektiranjem (Slika 12).



*Slika 11* Postavljanje spiral ankeri i popunjavanje mortom [izvor: fotografija autora D.W.]

**Figure 11** Installation of helical anchors and mortar filling [source: author's photograph, D.W.]



*Slika 12* Injektiranje žida [izvor: fotografija autora D.W.]

**Figure 12** Masonry injection grouting [source: author's photograph, D.W.]

## 5. ZAKLJUČAK

### 5. CONCLUSION

Tradicionalna gradnja u našem podneblju kroz povijest bila je zidom od opeke. Potresi koji su pogodili grad Zagreb i okolice 2020. godine uzrokovali su oštećenja konstrukcijskih i nekonstruktivnih elemenata na zgradama građenim krajem 19. stoljeća i početkom 20. stoljeća te su doveli do toga da je potrebno intenzivnije razmišljati o utjecaju potresa na te građevine. Pristup sanaciji morao bi biti cjelovit,

što znači da djelomična lokalna sanacija nije rješenje za zaštitu od potresa. Tako je zadatak projektiranja određen kao cjelovita obnova potresenih zgrada i povećane otpornosti na buduće potrese. Moderni sustavi protupotresnih ojačanja kao što su torkretiranje, injektiranje, FRCM i FRP sustav, imaju značajnu ulogu kod obnove konstrukcije od potresa. Takvi sustavi doprinose većoj duktilnosti odnosno povećavaju otpornost na horizontalne sile koje uzrokuju potres. Njihova ugradnja je brza i jednostavna, bez potrebe za izvođenjem većih zahvata na određenim konstruktivnim elementima. Svrha ojačanja preusmjeravanje je, odnosno preuzimanje vlačnih naprezanja koje se pojavljuje u zidu, gredi ili nekom drugom konstruktivnom elementu. Od velike je važnosti nakon vizualnog pregleda i analize stanja konstrukcije pažljivo pristupiti postupku ojačanja te, s obzirom na stupanj oštećenja, primijeniti određenu metodu ojačanja. Nakon izvedbe projektiranih ojačanja, konstrukcija je otporna na djelovanje vanjske sile puno većeg intenziteta te je samim time sigurna za korisnike koji u njoj borave. Osim povećanja otpornosti konstrukcije kao i sigurnosti, metode protupotresnih ojačanja imaju i važan ekonomski značaj. Stambeni objekti nakon konstrukcijske obnove vrijede više nego prije, odnosno cijena nekretnine raste što je zgrada potresno otpornija.

## 7. REFERENCE

### 7. REFERENCES

- [1.] Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine. Dostupno na: <https://mgipu.gov.hr/o-ministarstvu-15/djelokrug/graditeljstvo-98/obnova-zgrada-ostecenih-potresom-na-podrucju-grada-zagreba-i-okolice/10668>, pristupljeno: 06.08.2020.
- [2.] Amir Čaušević, Nerman Rustempašić (2014): Kratak historijski pregled razvoja zidanih konstrukcija (neobjavljeni rad)
- [3.] Radić, Jure i sur. (2007): Zidane konstrukcije 1. Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb.
- [4.] HRN EN 771 (1-5): Specifikacije za zidane elemente (opečni, vapnenosilikatni, betonski, zidani elementi od porastog betona, zidni elementi od umjetnog i prirodnog kamena).

- [5.] Amir Čaušević, Neriman Rustenpašić (2014): Rekonstrukcije zidanih objekata visokogradnje, Univerzitet u Sarajevu, Arhitektonski fakultet, Sarajevo 2014. ISBN 978-9958-691-33-1
- [6.] HRN EN 998-2:2016 Specifikacija morta za zide -- 2. dio: Mort za zide (EN 998-2:2016)
- [7.] De Felice, G., De Santis, S., Roscini, F., Panto', B.: Compositi a matrice inorganica per il rinforzo sostenibile del patrimonio architettonico, Università degli studi Roma Tre, Italian Ministry for Foreign Affairs (MAECI 2016-2018)
- [8.] Časopis MC Bauchemie, tvrtka MC Bauchemie, Sustavi za protupotresna ojačanja, pristupljeno. Dostupno na: <https://www.mc-bauchemie.hr>, pristupljeno: 06.03.2026.
- [9.] Kišićek, T., Stepinac, M., Renić, T., Hafner, I., Lulić, L. (2020): Pojačanje zida na posmik pomoću FRP-a ili TRM-a, Građevinar, 72, 10 pp. 937-953.
- [10.] Josip Galić, Hrvoje Vukić, Davor Andrić, Lucija Stepinac (2020): Priručnik za protupotresnu obnovu postojećih zidanih zgrada Arhitektonski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb 2020, ISBN: 978-953-8042-53-9. Dostupno na: <https://www.arhitekt.hr/hr/radovi/rad/prirucnik-za-protupotresnu-obnovu-postojecih-zidanih-zgrada,347.html>, pristupljeno: 07.08.2020.
- [11.] Jerbić, Marko (2024): Obnova konstrukcije zgrade nakon potresa: završni rad. Tehničko veleučilište u Zagrebu, Zagreb.
- [12.] Di Zepp, Anna (2024): FRCM sustav: diplomski rad. Tehničko veleučilište u Zagrebu, Zagreb.
2004. godine prelazi u tvrtku Mostprojekt d.o.o. gdje kao projektant suradnik sudjeluje na izradi niza složenih inženjerskih projekata, a ujedno obavlja i poslove projektantskog nadzora. 2005. godine polaže stručni ispit, te u tvrtci IPZ d.d. djeluje kao ovlaštenu projektant. Magistarski rad uspješno brani 2005. godine i stječe akademski stupanj magistra tehničkih znanosti iz polja Građevinarstva. 2008. godine prelazi u tvrtku Konstrukcije d.o.o. (dio grupe VibroBETON d.d.) te obavlja poslove direktora sektora Zagreb. Imenovan je stalnim sudskim vještakom za graditeljstvo 2009. godine, te izrađuje niz elaborata procjena vrijednosti nekretnina, te osiguranja dokaza u sudskim postupcima. 2009. preuzima vođenje tvrtke VG Vodoopskrba d.o.o. u svojstvu direktora društva, a kasnije i Predsjednika Uprave. 2011. biran je u naslovno nastavno zvanje PREDAVAČ za područje tehničke znanosti, polje građevinarstvo, grana konstrukcije na Veleučilištu Hrvatsko zagorje Krapina. 2015. godine radi u Institutu IGH kao specijalist – voditelj ispitivanja na području sanacija zahtjevnih inženjerskih konstrukcija (NE Krško, HE Gojak, nadvožnjak Petlja Držićeva...) 2017. godine ponovno je izabran u nastavno zvanje PREDAVAČ za područje tehničke znanosti, polje građevinarstvo, grana konstrukcije na Tehničkom Veleučilištu Zagreb. Član je Hrvatske komore inženjera građevinarstva, Inženirske zbornice Slovenije. Član je Hrvatskog društva sudskih vještaka i Politehničkog društva vještaka i procjenitelja gdje obavlja i ulogu mentora novim kandidatima zbog dugogodišnjeg i bogatog iskustva. Koristi se engleskim i njemačkim jezikom. Oženjen je i otac dvoje djece.

• **Donka Würth** - rođena je 21. listopada 1970. godine u Topuskom, Republika Hrvatska. U Zagrebu završava osnovnu i srednju školu. Maturirala je u Građevinskom obrazovnom centru Zvonko Brkić, u Zagrebu, 1989. godine i stekla zvanje građevinskog tehničara. Iste godine upisuje Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, gdje je diplomirala dana 09. lipnja 1997. godine. 1997. godine postaje zaposlenik Instituta građevinarstva hrvatske, gdje je radila u laboratoriju za beton 16 godina. 2013. godine postaje zaposlenica Tehničkog veleučilišta u Zagrebu, Graditeljskog odjela, na radnom mjestu predavač, na predmetu

## AUTORI • AUTHORS

• **Jure Galić** - rođen je u Zagrebu 1976. godine. Završava osnovnu školu i X gimnaziju u Zagrebu. Na Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu upisuje se 1995. godine, a diplomira 2001. godine. Od 2001. do 2004. godine radi kao znanstveni novak na zavodu za materijale Građevinskog fakulteta sveučilišta u Zagrebu. Istovremeno, upisuje poslijediplomski studij na Građevinskom fakultetu sveučilišta u Zagrebu.

Građevinski materijali. U međuvremenu je stekla akademski stupanj magistra znanosti 14. srpnja 2011. godine, na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu sa temom „Ovisnost sastava i svojstava samozbijajućeg betona“. Od 2013. godine vanjska je suradnica, tehnička ocjeniteljica za Hrvatsku akreditacijsku agenciju. 2016. godine birana je u naslovno nastavno zvanje VIŠI PREDAVAČ za područje tehničke znanosti, polje građevinarstvo na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu te drži nastavu iz kolegija Građevinski Materijali, Upravljanje kvalitetom i Moderne tehnologije građenja. Imenovana je stalnom sudskom vještakinjom za graditeljstvo i procjenu nekretnina 2018. godine te izrađuje niz elaborata te osiguranja dokaza u sudskim postupcima. Članica je Hrvatske komore inženjera građevinarstva. Aktivno vlada engleskim, a pasivno ruskim, makedonskim i španjolskim jezikom. Živi i radi u Zagrebu udana je i majka dvoje djece.

• **Martina Huljev, mag. ing. aedif** - rođena je 17.06.1989. godine u Zagrebu. U Zagrebu završava osnovnu i srednju školu. Maturirala je u Gimnaziji Lucijana Vranjanina, u Zagrebu, 2008. godine. Stručni studij graditeljstva završava na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu 2012. godine uspješno obranivši završni rad na temu „Procjena utjecaja na okoliš“. Specijalistički diplomski stručni studij završava izradom diplomskog rada na temu „Izbor lokacije za uređaj za pročišćavanje otpadnih voda Pula Centar“ 2016. godine na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu. Od 2014. do 2019. godine je zaposlena na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu kao viša laborantica, od 2019.-2023. godine radi u firmi Geoexpert-I.G.M. d.o.o. za ispitivanje građevinskih materijala i konstrukcija, projektiranje i nadzor kao voditeljica ispitivanja u području betona. U nastavno zvanje asistenta na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu izabrana je 2023. godine te drži nastavu iz kolegija Građevinski materijali, Upravljanje kvalitetom, Osnove procjena vrijednosti nekretnina, Trajnost i održavanje građevina te Sanacija i zaštita građevina. Područje interesa su joj građevinski materijali. Aktivno vlada engleskim, a pasivno turskim, španjolskim i slovenskim jezikom.