Primljen / Received: 25.2.2021.
Ispravljen / Corrected: 20.5.2021.
Prihvaćen / Accepted: 27.5.2021.
Dostupno online / Available online: 10.6.2021.

Obnova građevinske konstrukcije stambene zgrade u Zagrebu nakon potresa 22. ožujka 2020.

Autori:

Juraj Pojatina, dipl.ing.građ.
Studio Arhing d.o.o., Zagreb
juraj@studio-arhing.com
Autor za korespondenciju

Dunja Barić, mag.ing.aedif.
Studio Arhing d.o.o., Zagreb
dunja@studio-arhing.com

David Anđić, mag.ing.aedif.
Studio Arhing d.o.o., Zagreb
david@studio-arhing.com

Prof.emer.dr.sc. **Dubravka Bjegović**, dipl.ing.građ.
Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet
dubravka.bjegovic@grad.unizg.hr

Stručni rad

Juraj Pojatina, Dunja Barić, David Anđić, Dubravka Bjegović

Obnova građevinske konstrukcije stambene zgrade u Zagrebu nakon potresa 22. ožujka 2020.

Rad detaljno prikazuje faze koje je potrebno proći kako bi se zgrada oštećena u potresu koji je pogodio Zagreb 22. ožujka 2020. obnovila i pojačala do zahtijevane razine potresne otpornosti. Prikazane su sve faze počevši od preliminarnog pregleda pa potom i detaljnog pregleda, izrade elaborata ocjene stanja građevinske konstrukcije, projekta obnove te konačno izvođenja radova obnove uz stručni nadzor. Posebna je pozornost usmjerena na proračun građevine nelinearnom statičkom metodom koja se temelji na pomacima, tzv. "pushover analysis" ili metoda postupnog guranja, za koju se smatra da je jedna od najprimjerenijih metoda za seizmičku analizu postojećih zidanih konstrukcija. Svi postupci koji su provedeni u sklopu ove obnove su provedeni u skladu sa zakonskom regulativom koja je stupila na snagu nakon potresa.

Ključne riječi:
potres, obnova građevinske konstrukcije, pojačanje, popravak, metoda postupnog guranja

Professional paper

Juraj Pojatina, Dunja Barić, David Anđić, Dubravka Bjegović

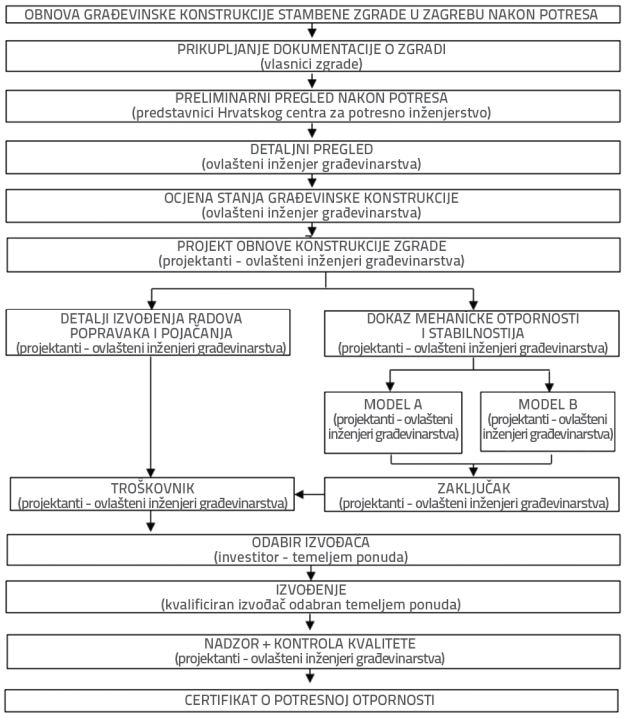
Structural renovation of residential building in Zagreb after the 22 March 2020 earthquake

The phases that must be completed so that a building damaged in earthquake that struck Zagreb on 22 March 2020 can be renovated and strengthened to the required level of seismic resistance are presented in the paper. All phases are therefore presented, starting from the rapid and then detailed inspection, and continuing with preparation of the structural condition assessment report, preparation of renovation design and, finally, ending with realisation of work with expert supervision. A special attention is paid to structural analysis that is conducted using a nonlinear static method based on displacements, the so called pushover analysis, which is considered to be one of the most appropriate methods for seismic analysis of existing masonry structures. All procedures conducted in the scope of this renovation were realised in accordance with legislation that entered into force after the earthquake.

Key words:
earthquake, renovation of building structure, strengthening, repair, pushover method

1. Uvod

Potres u Zagrebu, koji se dogodio u jutarnjim satima 22. ožujka 2020. godine prouzročio je značajnu štetu na brojnim javnim i stambenim zgradama grada Zagreba, posebice u Donjem gradu i ostalim dijelovima grada gdje prevladavaju zgrade izgrađene krajem 19. i početkom 20. stoljeća, što je detaljno predstavljeno u radu [1]. Jedna od takvih građevina je i stambena zgrada na adresi Medveščak 106 u Zagrebu čiji će se put od nastanka oštećenja do potpune uporabivosti prikazati u ovom radu. Do krajnjeg cilja se došlo pravilnom i brzom intervencijom svih sudionika u gradnji čime se u relativno kratkom roku građevinu uspjelo pregledati, izraditi svu potrebnu dokumentaciju te u konačnici izvesti i sve predviđene radove na popravku i pojačanju konstrukcije, shodno radovima prikazanim u dijagramu na slici 1.



Slika 1. Dijagram toka radova pri obnovi građevinske konstrukcije stambene zgrade nakon potresa

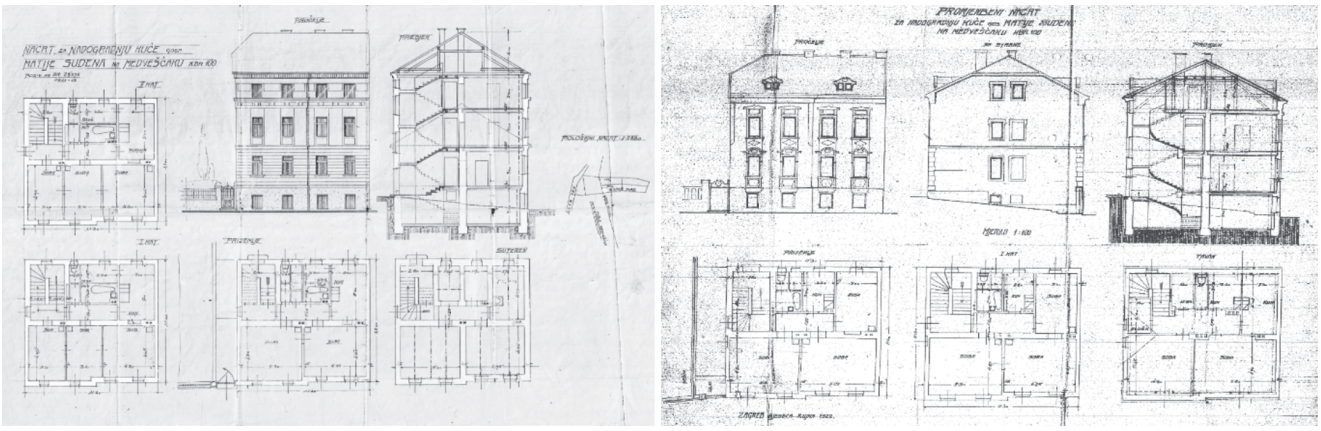
2. Povijest zgrade

Vlasnici obiteljske kuće u ulici Medveščak 106 posjeduju dva nacrta zgrade koji su prikazani na slici 2. Jedan nacrt potječe iz 1910. godine, a drugi iz 1922. godine.

Prema navodima pokojnog prvotnog vlasnika, koji je i sam bio graditelj, najprije je bila izgrađena prizemnica, koja je vlasnicima služila kao kuća za odmor. Početkom dvadesetih godina prošlog stoljeća izvršena je nadogradnja prema nacrtima sa slike 2. desno, na osnovi kojih je i dobivena Građevna dozvola br. 45025 od 18. kolovoza 1922. godine. Nakon toga je prema zapisniku o povjerenstvenom očevidu na licu mjesta od 7. studenog 1922. godine izdana i Stambena dozvola. Na oba nacrta, a potom i u izvedbi, predviđena je zidana konstrukcija zgrade s uzdužnim nosivim zidovima pročelja i središnjim nosivim zidom koji su izvedeni u debljini od 50 cm. Glavna pročelja su ulično, prikazano na slici 2., koje je orijentirano na zapad, te dvorišno orijentirano na istok na kojem je ujedno smješten i ulaz u zgradu. Na nosive zidove oslanjaju se drvene stropne grede, osim u stropnoj konstrukciji suterena gdje su izvedeni čelični I profili. Razmak nosivih zidova je 5,0 m. Zgrada je zidana punom opekom, dimenzija 25 x 12 x 6,5 cm, pretpostavljeno s vapnenim mortom, a reške u dva sloja se ne poklapaju, već su razmaknute između četvrtine i/ili polovine opeke. Opeke su slagane u slojevima po pravilima za vezove opeke tako da su na uzdužnim zidovima opeke nizane svojim dužim stranama. U uglovima zgrade opeke su povezane naizmjeničnim vezom opeke bez stupova, odnosno vertikalnih serklaža.

Pročelje zapadne fasade je pedesetih godina prošlog stoljeća obnovljeno, ožbukano hirofom zidarskom tehnikom ručnog nabacivanja.

Žbuka na sjevernoj i istočnoj fasadi je obnovljena devedesetih godina prošlog stoljeća na način da je stara žbuka skroz otučena do opeke, a sljubnice su čišćene do dubine 2 do 3 cm. Prvi sloj žbuke se ručno nabacivao tako da žbuka ulazi u sljubnice. Današnji izgled pročelja zgrade, prikazan na slici 3., tijekom održavanja doživljava izmjene u odnosu na nacrte, no uglavnom samo u pogledu štukatura.



Slika 2. Arhivski nacrti zgrade iz 1910. godine (lijevo) i nacrti iz 1922. godine (desno)

Slika 3. Izgled obiteljske kuće na Medveščaku iz 2020. godine (lijevo) i fotografija iz prve polovine 20. stoljeća dok nije bilo susjedne kuće (desno)

3. Preliminarni i detaljni pregled građevine

Nakon potresa 22. ožujka i brzog organiziranja Hrvatskog centra za potresno inženjerstvo pri Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, zgradu o kojoj je riječ pregledali su građevinski stručnjaci u sklopu preliminarnih (brzih) pregleda koji su obuhvaćali procjenu oštećenja i uporabljivost zgrada, te joj je tom prilikom dodijeljena zelena naljepnica koja je značila da je zgrada uporabljiva.

Ubrzo nakon provedenog brzog pregleda, pristupilo se detaljnom vizualnom pregledu cijele zgrade koji je obuhvaćao pregled svih nosivih zidova, pregled stropova i pročelja te svih ostalih nekonstrukcijskih elemenata. Izrađena je i fotodokumentacija pregledane građevine s naznačenim svim uočenim oštećenjima. Za potrebe izrade nacrta postojećeg stanja provedena su mjerenja geometrije svih elemenata građevine. Nakon provedenog detaljnog pregleda zaključilo se da je, iako joj je prvotno dodijeljena zelena naljepnica, zgrada ipak pretrpjela značajnija oštećenja koja su se tek mogla uočiti istražnim radovima kao što je uklanjanje žbuke s pojedinih dijelova zidova, uklanjanje podgleda stropova i slično. Neka od karakterističnih oštećenja prikazana su na slici 4. Lijevo gore na slici 4. uočava se dijagonalna pukotina u nosivom zidu koja se nastavlja u vertikalnu pukotinu na spoju s pregradnim zidom. Lijevo dolje na slici 4. prikazane su dijagonalne pukotine u nadvoju središnjeg nosivog zida. Desno gore vidljive su pukotine na sjevernom pročelju, a desno dolje su prikazane pukotine u podgledu stubišnog kraka.

Slika 4. Karakteristična oštećenja nosive konstrukcije

4. Elaborat ocjene postojećeg stanja građevinske konstrukcije

Nakon detaljnog pregleda sljedeći korak obuhvaćao je izradu Elaborata ocjene stanja građevinske konstrukcije koji je izrađen na temelju prikupljenih podataka iz detaljnog pregleda. Elaborat sadržava opće podatke o građevini, opis postojećeg stanja s pripadajućim nacrtima i prostornim modelom građevine na kojima su ucrtane pozicije oštećenja i priložene fotografije. Na slici 5. prikazan je prostorni model građevine izrađen u programskom paketu Tower 8.3 [2] i karakteristični zid s ucrtanim oštećenjima. Glavnina oštećenja odnosi se na vertikalne, horizontalne i dijagonalne pukotine na vanjskim stranama zidova sjevernog i istočnog pročelja, većinom u prizemlju i na prvom katu, te na značajnije pukotine u nadvojima središnjeg nosivog zida. Osim toga, oštećeno je i stubište gdje se uočavaju pukotine u podgledu stubišnih krakova te mrežaste pukotine na središnjem stubišnom zidu. U etaži suterena nisu uočena konstrukcijska oštećenja. Pregledom konstrukcije drvenog krovišta nisu utvrđena nikakva oštećenja te se njezina mehanička otpornost i stabilnost ocjenjuje zadovoljavajućom. Sastavni dio elaborata je i preliminarna analiza potresne otpornosti zgrade na osnovi koje se ocijenilo u kojoj mjeri zgrada ispunjava zahtjeve sadašnjih propisa i normi te je li prikladna za obnovu i pojačanja konstrukcije. Nakon provedenih preliminarnih proračuna zaključilo se da, iako zgrada posjeduje određen postotak zidova u oba smjera koji bi se mogao smatrati zadovoljavajućim u određenim uvjetima, zgrada ima velike nedostatke vezane za seizmičku otpornost. Glavni nedostatak je taj što se u glavnim nosivim zidovima, tj. zidovima na koje se oslanjaju čelični nosači i drveni grednici međukatnih konstrukcije, nalazi velik broj otvora što značajno smanjuje krutost i otpornost tih zidova. Od ostalih bitnih nedostataka treba spomenuti međukatne konstrukcije izgrađene od drvenih grednika, koje nemaju dovoljnu krutost u svojoj ravnini da bi se mogle promatrati kao krute dijafragme, što je jedan od bitnih zahtjeva kod seizmičkog proračuna čime se ujednačavaju pomaci svih točaka konstrukcije i ostvaruje pravilnija preraspodjela sila u nosivim elementima. Nedostatak je i nedovoljna povezanost drvenih grednika s nosivim zidovima, te zabatni zidovi koji su nepridržani cijelom visinom jer se na njih ne oslanjanu međukatne konstrukcije. S obzirom na sve navedeno, zaključeno je da je zgrada pogodna za obnovu, te je prema [3- 5], a s obzirom na svoju namjenu, odabrana razina obnove 3 - pojačanje konstrukcije. U sklopu elaborata, a u skladu s odabranom razinom obnove, predloženi su zahvati na popravku i pojačanju konstrukcije.

5. Projekt obnove konstrukcije zgrade

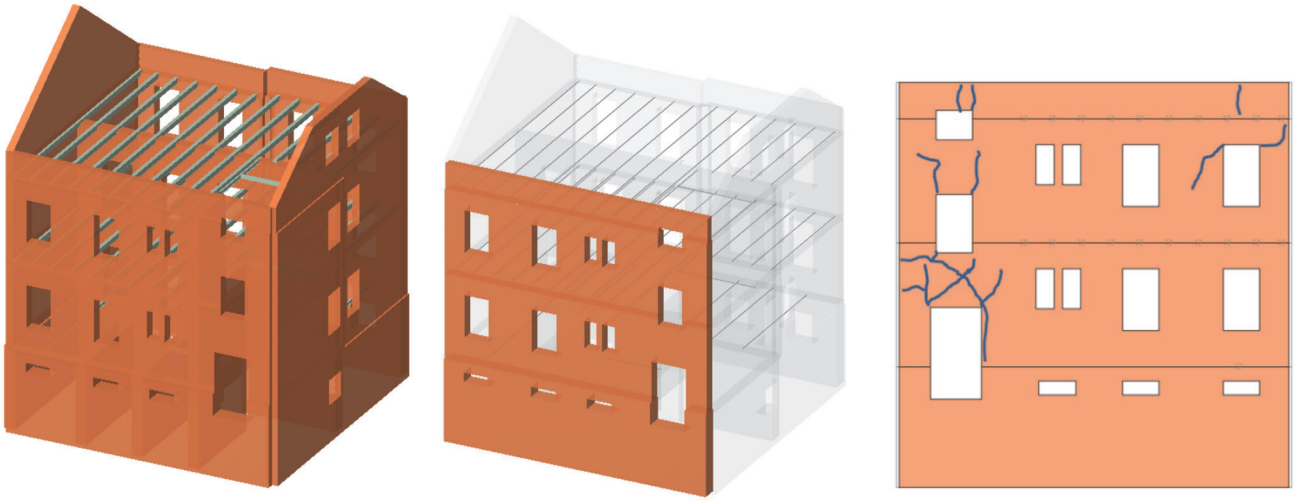
Uslijedila je izrada projekta obnove konstrukcije zgrade kojim su se razradili detalji izvođenja svih predloženih radova popravaka i pojačanja građevinske konstrukcije, te kojim se dokazala mehanička otpornost i stabilnost pojačane građevine za potresno djelovanje, koja se za razinu obnove 3 provodi za potresno djelovanje za poredbenu vjerojatnost premašaja od 20 % u 50 godina (povratni period 225 godina) za granično stanje znatnog oštećenja.

Dokazi mehaničke otpornosti i stabilnosti te procjena seizmičke otpornosti zgrade provedeni su u programskom paketu 3Muri v.12 [6]. Za potrebe ovog rada bit će opisana primijenjena metoda proračuna te će se prikazati dobiveni rezultati za neojačanu zgradu (zgrada prije potresa) i za popravljenu i pojačanu zgradu, koji će se međusobno usporediti da se dobije uvid u razinu pojačanja konstrukcije. Ukratko se donosi pregled provedenih zahvata na građevinskoj konstrukciji čiji je utjecaj uzet u obzir u proračunu popravljene i pojačane zgrade.

5.1. Pojačanje konstrukcije

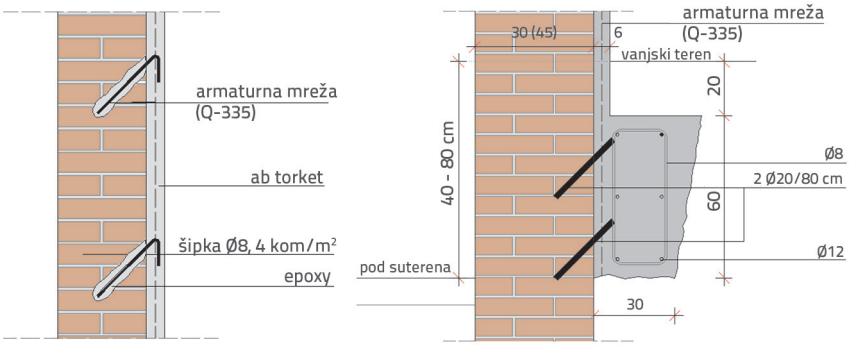
5.1.1. Torkretiranje nosivih zidova

Zahvati na povećanju nosivosti zidova obuhvaćali su izvođenje jednostranog torkreta zidova pročelja u debljini od 6 cm. Zid južnog pročelja se zbog poluugrađenosti zgrade torkretirao



Slika 5. Prostorni model (lijevo), izdvojeni zid istočnog pročelja (u sredini) i ucrtana oštećenja na zidu istočnog pročelja (desno)

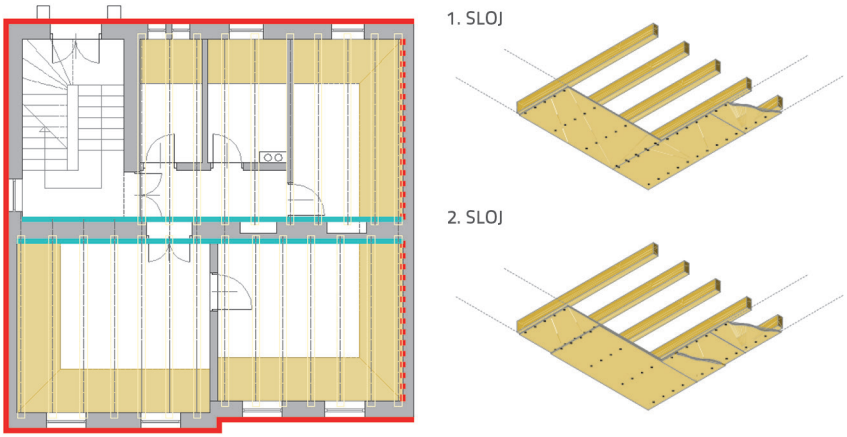
s unutarnje strane, a svi ostali zidovi pročelja torkretirani su izvana uz izvođenje novih temeljnih traka torkreta. Detalji izvođenja torkreta prikazani su na slici 6.



Slika 6. Detalj povezivanja ab torkreta s opečnim zidom (lijevo), detalj temelja torkreta (desno)

5.1.2. Pojačanje međukatnih konstrukcija

Kako bi se ostvarilo djelovanje međukatnih konstrukcije kao krutih dijafragmi te kako bi se zabatni zidovi pridržali u slučaju horizontalnih djelovanja, izvedena su pojačanja međukatne konstrukcije na način da su se s donje strane drvenih grednika u stropu prizemlja i prvoga kata postavljala dva reda furnirskih ploča debljine 1,2 cm u širini od 125 cm, koje su se posebnim detaljima spajale za zidove. Tlocrtni raspored postavljanja ploča prikazan je na slici 7., na kojoj se ujedno vide i pozicije izvedenih torkreta te uzdužnog L profila na središnjem zidu koji je opisan u nastavku.



Slika 7. Tlocrt karakteristične etaže s ucrtanim rasporedom ugradnje furnirskih ploča (oker boja), ugradnje čeličnog profila uz središnji zid (tirkizna boja) i ugrađenog ab torkreta (crvena boja) (lijevo) te prikaz polaganja slojeva furnirskih ploča (desno)

Predviđeno je i prihvaćanje zabatnih i uzdužnih fasadnih zidova za drvene grede stropa. Na slici 8.a je prikazan detalj prihvaćanja uzdužnih zidova za stropnu konstrukciju ugradnjom sidrenih ankera M16. Ti su ankeri na jednom svojem kraju zavareni za sidrenu pločicu i pričvršćeni za drvenu gredu vijcima za drvo, a na drugom su kraju provučeni kroz opečni zid i usidreni s njegove vanjske strane preko podložne pločice i navojne matice. Takav prihvat izvodi se na svakoj drugoj gredi. Zabatni zidovi prihvaćaju se na sličan način, ali u ovom slučaju sidreni anker prolazi kroz rubnu drvenu gredu i sidri se s druge strane. Na slici 8.b prikazano je povezivanje središnjeg nosivog zida s drvenim grednicima stropa ugradnjom dvaju uzdužnih čeličnih L profila s obje strane zida koji su međusobno povezani provlačnim sidrima na razmacima od 150 cm.

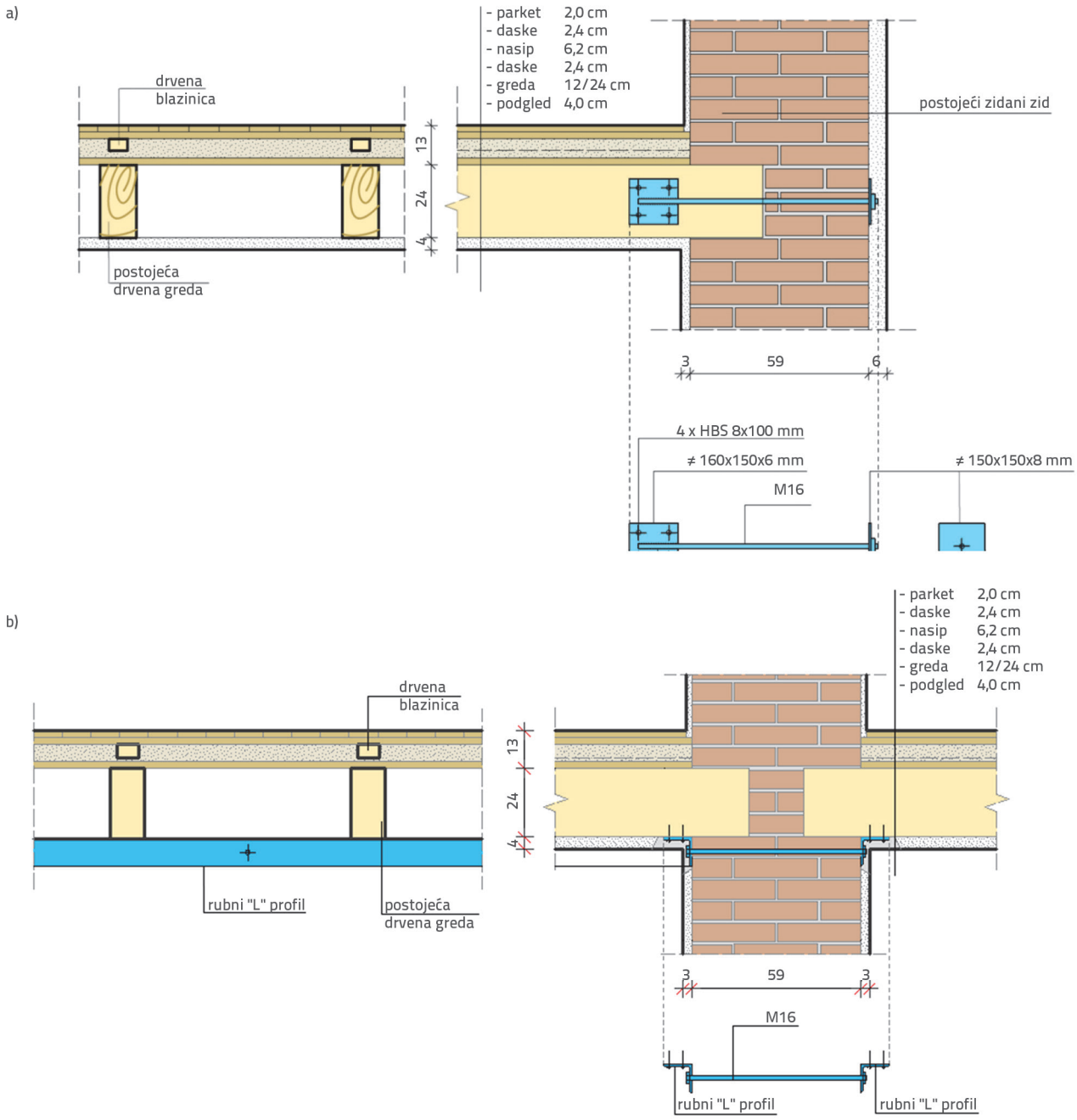
5.1.3. Popravak pregradnih zidova

Pojačanje pregradnih zidova izvodi se ugrađivanjem mreže od staklenih vlakana koja se polaže u specijalni mort tvornički pripremljen, a na gradilištu se samo dodavala voda uz mehaničko miješanje smjese.

5.2. Dokaz mehaničke otpornosti i stabilnosti

5.2.1. 3Muri i metoda postupnog guranja

3Muri je inženjerski program [6] za seizmičku analizu zgrada čiji se nosivi sustav sastoji od opečnih zidova. Program koristi nelinearnu statičku metodu proračuna temeljenu na pomacima, tzv. "*pushover analysis*" ili metodu postupnog guranja, za koju se smatra da je jedna od najprimjerenijih metoda za seizmičku analizu postojećih zidanih konstrukcija [7]. Metoda postupnog guranja provodi se na način da je konstrukcija podvrgnuta opterećenju horizontalnim silama koje predstavljaju inercijske sile koje konstrukciju mogu zadesiti za vrijeme potresa. Proračun se sastoji od niza nelinearnih statičkih proračuna za monotono rastuće horizontalne sile koje dovode do plastičnog tečenja pojedinih presjeka, povećanja deformacija konstrukcije i promjene u krutosti cijelog sustava koji je prethodno opterećen vertikalnim djelovanjima. Plastificiranjem presjeka, odnosno dostizanjem plastične vrijednosti otpornosti, unutarnja sila u elementu ne može više rasti, ali element se nastavlja deformirati. Postupak se ponavlja do otkazivanja konstrukcije ili do dostizanja maksimalnog pomaka. Najveća sposobnost pomaka odgovara pomaku kontrolnog čvora, koji se nalazi na najvišoj međukatnoj konstrukciji, pri kojem je ukupna poprečna sila u podnožju pala ispod 80 % svoje najveće vrijednosti, odnosno otpornosti konstrukcije. Cilj je metode postupnog guranja odrediti odnos između poprečne sile u podnožju i pomaka kontrolnog čvora, što se grafički prikazuje krivuljom sposobnosti nosivosti, odnosno tzv. "*pushover curve*".



Slika 8. Detalj povezivanja: a) vanjskih zidova; b) središnjeg zida s međukatnom konstrukcijom

Odabir odgovarajućeg modela raspodjele horizontalnih (bočnih) sila po visini konstrukcije važan je korak metode postupnoga guranja. Programski paket 3Muri [6] koristi dva modela raspodjele horizontalnih sila (implementirana N2 metoda):

- jednoličnu raspodjelu koja se temelji na bočnim silama proporcionalnima masi, a neovisno o visini
- modalnu raspodjelu koja se temelji na bočnim silama proporcionalnim s prvim oblikom titranja konstrukcije.

Osim odabira raspodjele bočnih sila, potrebno je odrediti tzv. kontrolni čvor, na osnovi čijeg se pomaka konstruira krivulja sposobnosti. Kontrolni čvor se odabire na zadnjem katu zgrade, što bliže središtu masa. Sam proračun metodom postupnoga guranja temelji se na pretpostavci da se neelastični odgovor konstrukcije može usporediti s odgovorom ekvivalentnog sustava s jednim stupnjem slobode (ESDOF). Konstrukcija se modelira kao sustav s više stupnjeva slobode (MDOF) koji je podvrgnut nelinearnom statičkom proračunu, u sklopu kojeg

se izvodi pretvorba iz sustava s više stupnjeva slobode (MDOF) u ekvivalentni sustav s jednim stupnjem slobode (ESDOF), pod pretpostavkom jednakog oblika deformiranja uslijed seizmičkih sila. Maksimalni pomak određuje se iz nelinearnog proračuna ekvivalentnog sustava s jednim stupnjem slobode (ESDOF).

U konačnici, za procjenu seizmičke otpornosti zgrade koriste se dobivene krivulje sposobnosti za svaki od glavnih smjerova, a smatra se da je mjerodavna ona krivulja sposobnosti koja rezultira manjom sposobnošću konstrukcije u pogledu deformacije, krutosti i nosivosti.

Pravilno modeliranje konstrukcije od iznimne je važnosti za dobivanje što točnijih rezultata. Preporučljivo je konstrukciju što više pojednostavniti, uz zadržavanje potrebne točnosti modela. 3Muri je baziran na modeliranju zidova kao makroelemenata koji omogućuju dva osnovna oblika otkazivanja zidova u ravnini: otkazivanje uslijed savijanja i otkazivanje uslijed posmika. Makroelementi su podijeljeni u tri podelementa: gornji i donji sloj, gdje su koncentrirani utjecaji od savijanja i uzdužne sile, i središnji sloja koji prima posmične deformacije. Uslijed toga, program dijeli svaki zid prema navedenom uzorku te ga idealizira ekvivalentnim okvirom kojeg čine deformabilni stupovi (*piers*) i nadvoji i/ili parapeti (*spandrels*) i kruti elementi između njih koji nisu osjetljivi na oštećenja (*rigid joints*) [8].

Pojedini konstrukcijski elementi koji nemaju značajnijeg utjecaja na odgovor i otpornost konstrukcije (npr. balkoni, pregradni zidovi, stubišta) ne modeliraju se kako bi se izbjegli poremećaji u vlastitim frekvencijama konstrukcije i raspodjeli mase. U svrhu pojednostavnjenja modela, krov se može aproksimirati kao dodatno opterećenje na zadnjem katu ili se, kao u uvom slučaju, njegov izgled pojednostavni neuključivanjem krovnih kućica i lastavice na sjevernom pročelju u numerički model. Izrazito uski zidni elementi, kao što su dijelovi zida između dva bliska otvora koji imaju zajednički nadvoj, odnosno zidni elementi na koje se ne oslanjaju međukatne konstrukcije, obično otkazuju prvi, pa ako nisu od presudne važnosti, trebaju se izbjegavati [9].

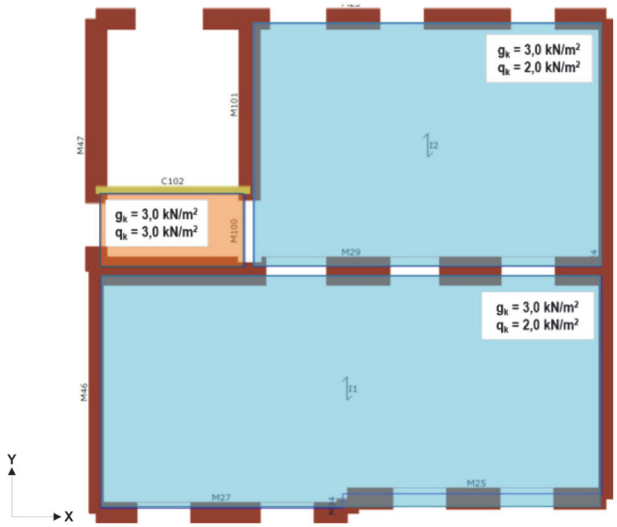
5.2.2. Ulazni parametri

U modeliranju konstrukcije korišteni su materijali čije su karakteristike pretpostavljene na temelju dosadašnjih ispitivanja i proračuna zgrada slične geometrije i približne godine izgradnje [10]. Karakteristike materijala od kojih su izgrađeni zidovi prikazane su u tablici 1.

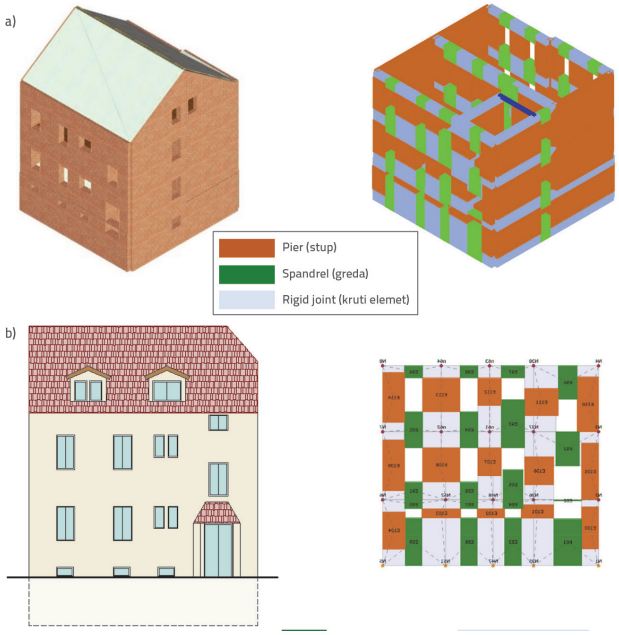
Tablica 1. Karakteristike nosivih elemenata (N/mm²)

Vrsta materijala	Modul elastičnosti [N/mm²]	Modul posmika [N/mm²]	Srednja posmična čvrstoća [N/mm²]
Opeka	800,00	250,00	0,10

U modelu je potrebno zadati vertikalna opterećenja (stalno i uporabno opterećenje) na međukatnim konstrukcijama. Proračun se provodi za seizmičku kombinaciju opterećenja prema normi HRN EN 1990, točka 6.4.3.4. [11] Na slici 9. grafički je prikazana karakteristična etaža s pripadajućim opterećenjima i smjerom nosivosti međukatnih konstrukcija. Za potrebe seizmičkog proračuna odabrana je kategorija tla C. Za kontrolu graničnog stanja znatnog oštećenja (SD) korišteno je vršno ubrzanje tla za povratni period od 475 godina u iznosu od 2,56 m/s² (0,26g), a za kontrolu graničnog stanja ograničenog oštećenja (DL) korišteno je vršno ubrzanje tla za povratni period od 95 godina u iznosu od 1,28 m/s² (0,13g), prema normi HRN EN 1998-3. [12].

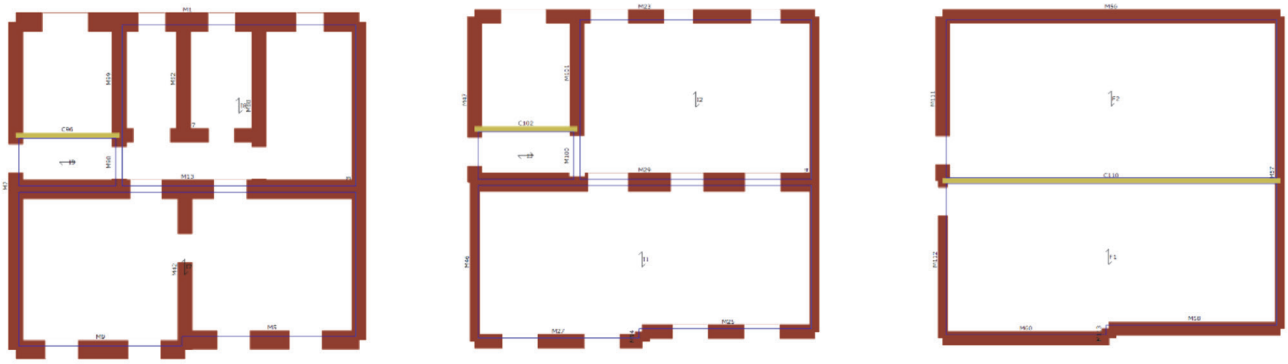


Slika 9. Prikaz opterećenja na karakterističnoj etaži



Slika 10. a) Prikaz 3D modela zgrade i zamjenskog modela s okvirima; b) prikaz istočnog zida modeliranog zamjenskim okvirima

Zgrada je modelirana već opisanim postupkom u kojem se zidovi modeliraju kao makro-elementi i za potrebe proračuna



Slika 11. Tlocrt suterena (lijevo), prizemlja i prvog kata (sredina) i mansarde (desno)

zamjenjuju se ekvivalentnim okvirima [13]. S obzirom na to da etaža suterena nije značajno ukopana u tlo, osim na dvorišnoj strani zgrade, odlučeno je da će se i ona modelirati i uključiti u procjenu seizmičke otpornosti. Na slici 10.a je prikazan 3D model zgrade i zamjenski model s okvirima, a na slici 10.b izdvojen je jedan karakteristični zid smjera X gdje se uočavaju glavni elementi ekvivalentnih okvira (*piers, spandrels* i *rigid joints*). Na slici 11. prikazani su svi tlocrti etaža s pripadajućim nosivim zidovima.

5.2.3. Proračun

3Muri provodi ukupno 24 *pushover* analize definirane s četiri smjera djelovanja bočnih sila (+X, -X, +Y i -Y), s dvije vrste raspodjele bočnih sila (jednolika raspodjela i modalna raspodjela), te bez pozitivnog ili negativnog ekscentriciteta djelovanja bočnih sila, ili pak s takvim djelovanjem. Slučajni ekscentricitet na svakoj etaži se koristi kako bi se uzeli u obzir slučajni torzijski efekti, a iznosi 5 % najveće dužine zgrade ortogonalne sa smjerom djelovanja bočnih sila za određenu analizu. Kao kontrolni čvor odabran je čvor broj 34 koji se nalazi na zadnjoj etaži zgrade, blizu središta mase [6].
Prema HRN EN 1998-3/NA, točka 2.2, potrebno je kontrolirati granično stanje znatnog oštećenja (SD) i granično stanje ograničenog oštećenja (DL). Povratno razdoblje graničnog stanja znatnog oštećenja je 475 godina, a povratno razdoblje graničnog stanja ograničenog oštećenja 95 godina.

Zahtjev za granično stanje znatnog oštećenja (SD):

$$d_t^{SD} \leq d_m^{SD} \tag{1}$$

gdje je d_t^{SD} ciljani ili zahtijevani pomak, a d_m^{SD} sposobnost pomaka za granično stanje znatnog oštećenja [6].

Zahtjev za granično stanje ograničenog oštećenja (DL):

$$S_d(T^*) \leq d_y^* \tag{2}$$

gdje je $S_d(T^*)$ ciljani pomak zahtijevan u normi za $T = T^*$ (*T* je period ESDOF-a*), a d_y^* sposobnost plastične deformacije ekvivalentog sustava s jednim stupnjem slobode (ESDOF [5]).
Za svako granično stanje izračunat će se faktor ispunjenja *a* koji predstavlja omjer kapaciteta akceleracije i pripadnog vršnog ubrzanja. Pojam faktora ispunjenja označava maksimalnu vrijednost opterećenja, uzetih u obzir u odgovarajućim graničnim stanjima, a koje je konstrukcija odnosno zgrada sposobna izdržati [4].

$$a_{SD} = PGA_{CSD} / PGA_{DSD} \tag{3}$$

$$a_{DL} = PGA_{CDL} / PGA_{DDL} \tag{3}$$

gdje je PGA_{CSD} kapacitet akceleracije koji odgovara graničnom stanju znatnog oštećenja, PGA_{CDL} kapacitet akceleracije koji odgovara graničnom stanju ograničenog oštećenja, PGA_{DSD} vršno ubrzanje tla koje odgovara graničnom stanju znatnog oštećenja, a PGA_{DDL} vršno ubrzanje tla koje odgovara graničnom stanju ograničenog oštećenja [6].
Ovdje će biti prikazani rezultati proračuna dvaju modela iste zgrade: *model A* i *model B*. *Model A* predstavlja konstrukciju u izvornom stanju, tj. u stanju prije potresa 22. ožujka 2020. *Model B* predstavlja konstrukciju nakon provedenih radova popravka i pojačanja konstrukcije tijekom ljeta i jeseni 2020. godine. Osim globalnog odziva konstrukcije, promatrat će se i izdvojeno jedan karakteristični zid (zid zapadnog pročelja) na kojem će biti prikazano kako je pojačanje utjecalo na otkazivanje pojedinih elemenata zida. U konačnici će se usporediti dobiveni rezultati na osnovi čega će se utvrditi u kojem razmjeru je provedenim postupcima pojačanja povećana globalna seizmička otpornost zgrade.

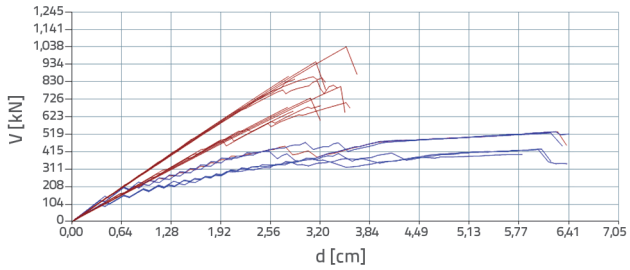
a) Model A
Proračun se provodi na ekvivalentnom sustavu s jednim stupnjem slobode (ESDOF) sa sljedećim proračunskim parametrima: period titranja ekvivalentnog sustava T* = 0,764 s, faktor pretvorbe Γ = 1,25, sila pri popuštanju ekvivalentnog sustava (granična čvrstoća) F_y^* = 542 kN, pomak pri popuštanju ekvivalentnog sustava d_y^* = 2,2 cm i maksimalni pomak ekvivalentnog sustava d_m^* = 2,23 cm.

Tablica 2. Prikaz faktora ispunjenja za nepojačanu konstrukciju

Br.	Smjer seizmičke sile	Vrsta raspodjele	Ekscentricitet [cm]	α SD	α DL
1	+X	jednolika	0,0	6,232	0,417
2	+X	modalna	0,0	8,734	0,420
3	-X	jednolika	0,0	0,401	0,441
4	-X	modalna	0,0	0,347	0,399
5	+Y	jednolika	0,0	0,257	0,559
6	+Y	modalna	0,0	0,228	0,462
7	-Y	jednolika	0,0	0,257	0,619
8	-Y	modalna	0,0	0,224	0,534
9	+X	jednolika	52,9	1,626	0,427
10	+X	jednolika	-52,9	4,711	0,399
11	+X	modalna	52,9	13,007	0,483
12	+X	modalna	-52,9	9,176	0,465
13	-X	jednolika	52,9	0,406	0,420
14	-X	jednolika	-52,9	0,396	0,456
15	-X	modalna	52,9	0,344	0,372
16	-X	modalna	-52,9	0,357	0,402
17	+Y	jednolika	54,0	0,228	0,540
18	+Y	jednolika	-54,0	0,268	0,535
19	+Y	modalna	54,0	0,203	0,454
20	+Y	modalna	-54,0	0,243	0,579
21	-Y	jednolika	54,0	0,221	0,590
22	-Y	jednolika	-54,0	0,286	0,686
23	-Y	modalna	54,0	0,196	0,514
24	-Y	modalna	-54,0	0,243	0,598

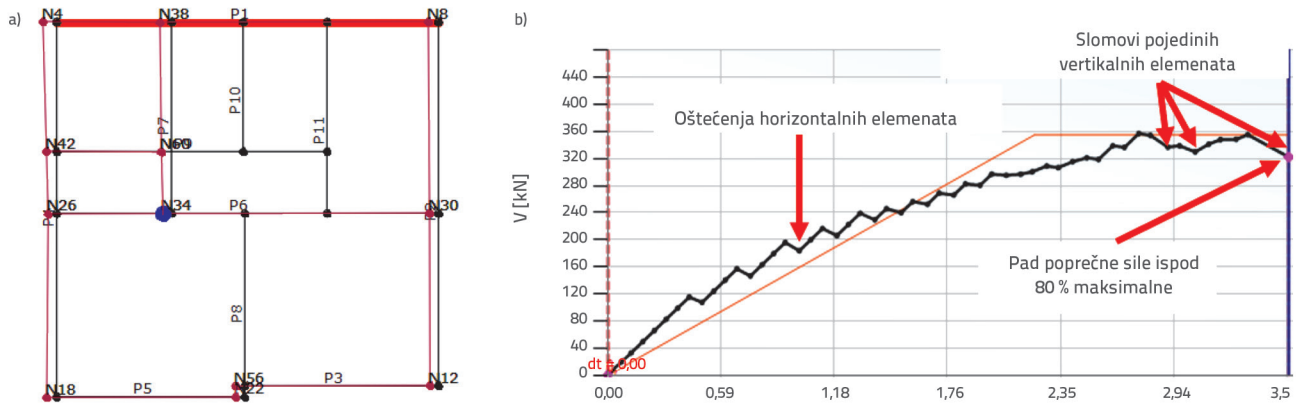
Nakon provedenog proračuna, program tablično prikazuje faktore ispunjenja za svaku analizu i za oba granična stanja (tablica 2.). U slučaju vrijednosti faktora ispunjenja koja je veća od 1, smatra se da je uvjet nosivosti zadovoljen i da konstrukcija posjeduje zadovoljavajuću sposobnost za preuzimanje seizmičkih sila, odnosno da su pomaci konstrukcije manji od graničnih pomaka za odgovarajuće granično stanje definiranih normom. Žutom bojom označene su dvije mjerodavne analize, po jedna za svaki smjer, zelena boja označava analizu koja je zadovoljila uvjete, a crvena boja označava analizu koja nije zadovoljila uvjete proračuna.

Prikazom svih krivulja kapaciteta na zajedničkom dijagramu (slika 12.) očito je da konstrukcija u smjeru X ima veću deformacijsku sposobnost od one u smjeru Y (do 2 puta). Razlog tome je što u smjeru Y prevladavaju posmični zidovi s manjim otvorima, a u smjeru X prevladavaju veliki i brojniji otvori uslijed kojih se takvi zidovi više ponašaju kao okviri i primarno nose na savijanje. Granična nosivost na poprečnu silu za smjer X iznosi 534 kN, a za smjer Y 1038 kN. S obzirom na to da je u metodi postupnoga guranja deformacijska sposobnost konstrukcije važnija od granične nosivosti, može se zaključiti da konstrukcija ima veću otpornost u smjeru X. To se uočava u tablici 2., gdje su vrijednosti faktora ispunjenja veće u analizama u kojima je seizmička sila zadana u smjeru X u odnosu na analize u smjeru Y. Najmanja vrijednost faktora ispunjenja je ona iz analize broj 23 i iznosi 0,196, što bi značilo da konstrukcija ima sposobnost izdržati 19,6 % projektiranog vršnog ubrzanja tla za povratni period od 475 godina. Na slici 12. prikazan je zajednički dijagram svih krivulja kapaciteta, na kojem os x označava pomak konstrukcije, a os y prikazuje poprečnu silu u tlocrtu.



Slika 12. Krivulje kapaciteta za oba smjera djelovanja seizmičkih sila (plava boja označava smjer X, a crvena boja smjer Y)

Kao izdvojeni zid promatra se zid zapadnog pročelja u sklopu mjerodavne analize za smjer X (analiza br. 15).



Slika 13. a) Tlocrt nosivih zidova s deformacijskom linijom; b) krivulja kapaciteta zgrade za analizu br. 15

Na slici 13. prikazan je tlocrt s označenim promatranim zidom te krivulja kapaciteta cijele zgrade dobivena u sklopu analize br. 15. U početku proračuna, odgovor konstrukcije je približno elastičan uz zig-zag liniju koja je karakteristična za opečne konstrukcije. Kako se pomak, odnosno deformacija povećava, krivulja se počinje izravnavati, a ponašanje konstrukcije prelazi u nelinearno. Oštećenja elemenata uzrokuju veće izravnavanje krivulje ili njezin negativni prirast, nakon čega slijedi redistribucija opterećenja na preostale elemente i neznatno povećavanje sile u sljedećem koraku. Proračun staje kad sila padne na 80 % maksimalne poprečne sile. Na slici 14.a prikazan je karakterističan zid i razvoj oštećenja u njemu s napredovanjem proračuna. Već u početnim koracima nanošenja bočnih sila, na pojedinim horizontalnim elementima se pojavljuju oštećenja uslijed savijanja. S obzirom na to da se oštećenje tih elemenata može smatrati prihvatljivim, proračun se nastavlja do sloma globalnog sustava.

Slika 14. Razvoj oštećenja u karakterističnom zidu u analizi broj 15: a) na početku proračuna, b) na kraju proračuna

Na slici 14.b prikazan je kraj analize broj 15 gdje se uočava da je većina horizontalnih elemenata (eng. *spandrels*) otkazala ili je oštećena uslijed savijanja. Dio vertikalnih elemenata (eng. *piers*) pretrpio je oštećenja uslijed savijanja (E30, E27, E28), zidovi E26 i E20 su na početku otkazivanja uslijed savijanja, a zidovi E21, E22 i E23 već su otkazali uslijed savijanja. Otkazivanje zidova vidljivo je kao nagli pad krivulje kapaciteta na slici 14.b.

b) Model B

Model B odnosi se na pojačanu konstrukciju. Zahvati kojima se pojačavala konstrukcija opisani su u prethodnim poglavljima ovog rada. Model B je stoga korigiran u skladu s navedenim zahvatima na način da se postojećim opečnim zidovima dodao sloj armature koja odgovara ugrađenoj armaturi torkreta (Q-335). U međukatnim konstrukcijama dodana su dva sloja furnirskih ploča za povećanje krutosti veze između drvenih grednika i nosivih zidova (u poprečnom smjeru). Dodavanjem dvaju slojeva furnirskih ploča, uz već postojeće jednostrano, odnosno u stropu suterena i obostrano podaskanje međukatne konstrukcije, postignuta je takva krutost međukatnih konstrukcija da se one mogu smatrati dostatno krutim dijafragmama u svojoj ravnini za dispoziciju nosivih zidova.

Kako u programu nije bilo moguće dodati torkret kao ojačanje na zidove, simuliran je dodavanjem armaturnih šipki na opečne zidove u količini koja je definirana projektom sanacije i koja je ugrađena (mreža Q-335 s ojačanjima oko otvora uzdužnim šipkama Φ12), a u izborniku materijala korigirane su vrijednosti modula elastičnosti i posmika. U ovom trenutku izvršeno je više proračuna istog modela s različitim vrijednostima modula elastičnosti i pomaka, kako bi se odabrale vrijednosti tih parametara koje bi najbolje opisale novo pojačano stanje konstrukcije. Izračun vrijednosti modula elastičnosti i modula posmika temeljio se na krutosti pojačanog zida koja je jednaka zbroju krutosti opečnog zida i krutosti armiranobetonskog torkreta [10]. S obzirom na to da je krutost torkreta višestruko veća od krutosti opečnog zida, može se smatrati da cjelokupnu horizontalnu silu preuzima torkret [14]. U konačnici su odabrane sljedeće vrijednosti karakteristika materijala koje su prikazane u tablici 3.

Tablica 3. Karakteristike nosivih elemenata (N/mm²)

Vrste materijala	Modul elastičnosti [N/mm²]	Modul posmika [N/mm²]	Srednja posmična čvrstoća [N/mm²]
Opeka + torkret	3000,00	1000,00	0,10

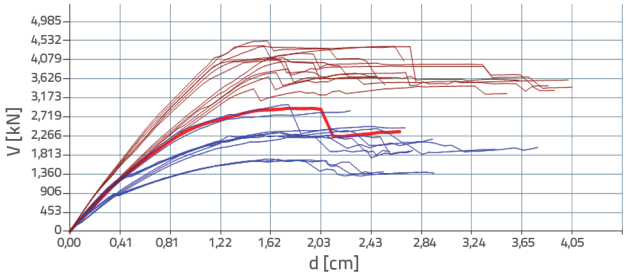
Tablica 4. Prikaz faktora ispunjenja za pojačanu konstrukciju

Br.	Smjer seizmičke sile	Vrsta raspodjele	Ekscentricitet [cm]	α SD	α DL
1	+X	jednolika	0,0	1,224	1,840
2	+X	modalna	0,0	1,127	1,448
3	-X	jednolika	0,0	1,009	1,467
4	-X	modalna	0,0	0,835	1,094
5	+Y	jednolika	0,0	1,508	2,440
6	+Y	modalna	0,0	1,587	2,190
7	-Y	jednolika	0,0	1,686	2,767
8	-Y	modalna	0,0	1,716	2,359
9	+X	jednolika	52,9	1,254	1,842
10	+X	jednolika	-52,9	1,093	1,784
11	+X	modalna	52,9	1,057	1,503
12	+X	modalna	-52,9	1,153	1,343
13	-X	jednolika	52,9	1,052	1,411
14	-X	jednolika	-52,9	1,046	1,488
15	-X	modalna	52,9	0,861	1,066
16	-X	modalna	-52,9	0,768	1,060
17	+Y	jednolika	54,0	1,501	2,515
18	+Y	jednolika	-54,0	1,458	2,375
19	+Y	modalna	54,0	1,557	2,272
20	+Y	modalna	-54,0	1,453	2,075
21	-Y	jednolika	54,0	1,661	2,691
22	-Y	jednolika	-54,0	1,672	2,696
23	-Y	modalna	54,0	1,707	2,443
24	-Y	modalna	-54,0	1,666	2,233

Proračun se provodi na ekvivalentnom sustavu s jednim stupnjem slobode (ESDOF) sa sljedećim proračunskim parametrima: period titranja ekvivalentnog sustava T* = 0,282 s, faktor pretvorbe Γ = 1,24, sila pri popuštanju ekvivalentnog sustava (granična čvrstoća) F_y^* = 1326 kN, pomak pri popuštanju ekvivalentnog sustava d_y^* = 0,79 cm i maksimalni pomak ekvivalentnog sustava d_m^* = 2,05 cm.

U tablici 4. prikazani su faktori ispunjenja za svaku analizu i za oba granična stanja nakon provedenog ponovnog proračuna.

Prikazom svih krivulja kapaciteta na zajedničkom dijagramu na slici 15. uočava se da konstrukcija u oba smjera ima približno jednaku deformacijsku sposobnost. Granična nosivost na posmičnu silu za smjer X iznosi 3132 kN, a za smjer Y iznosi 4450 kN. Iz podataka u tablici 4. i prema krivuljama kapaciteta na slici 15. može se zaključiti da su provedeni zahvati na konstrukciji značajno doprinijeli povećanju sposobnosti konstrukcije u oba smjera, a posebice u smjeru Y, gdje je deformacijska sposobnost konstrukcije povećana barem dva puta. Najmanja vrijednost faktora ispunjenja je ona iz analize broj 16 i iznosi 0,768, što bi značilo da konstrukcija ima sposobnost izdržati 76,8 % projektiranog vršnog ubrzanja tla za povratni period od 475 godina. Na slici 15. prikazan je zajednički dijagram svih krivulja kapaciteta, na kojem os x označava pomak konstrukcije, a os y poprečnu silu u tlocrtu.



Slika 15. Krivulje kapaciteta za oba smjera djelovanja seizmičkih sila (plava boja označava smjer X, a crvena boja smjer Y)

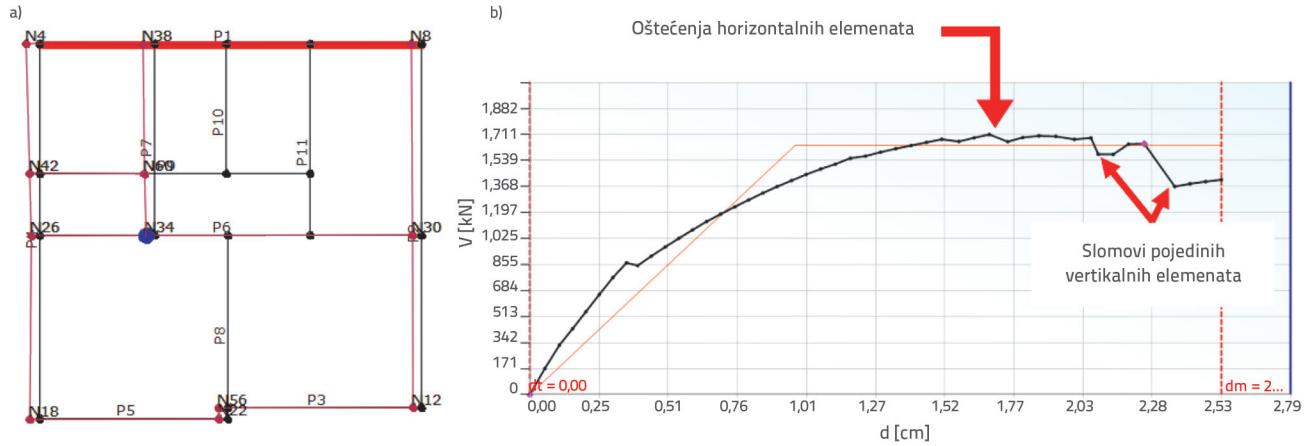
Promatra se ponovo karakteristični zid na kojem su provedeni zahvati pojačanja. Pripadajuća krivulja kapaciteta cijele zgrade na slici 16. pokazuje značajno veći period djelovanja u kojem se konstrukcija još uvijek ponaša elastično. Nakon pomaka od približno 1,7 cm, dolazi do oštećenja pojedinih elemenata i preraspodjele sile na preostale elemente te do konačnog otkazivanja prilikom pomaka od 2,5 cm.

Na slici 17.a prikazan je karakterističan zid i razvoj oštećenja u njemu s napredovanjem proračuna. Prvo otkazivanje horizontalnih elemenata uslijed posmika (*spandrels E59 – nadvoj iznad prozora na prvom katu*) događa se pri pomaku od 1,86 cm. Uz to, javljaju se i oštećenja uslijed savijanja i posmika i u parapetima i nadvojima nižih etaža. Vertikalni elementi (*piers*) još nisu počeli otkazivati, ali pokazuju određena oštećenja uslijed savijanja (E63 i E64).

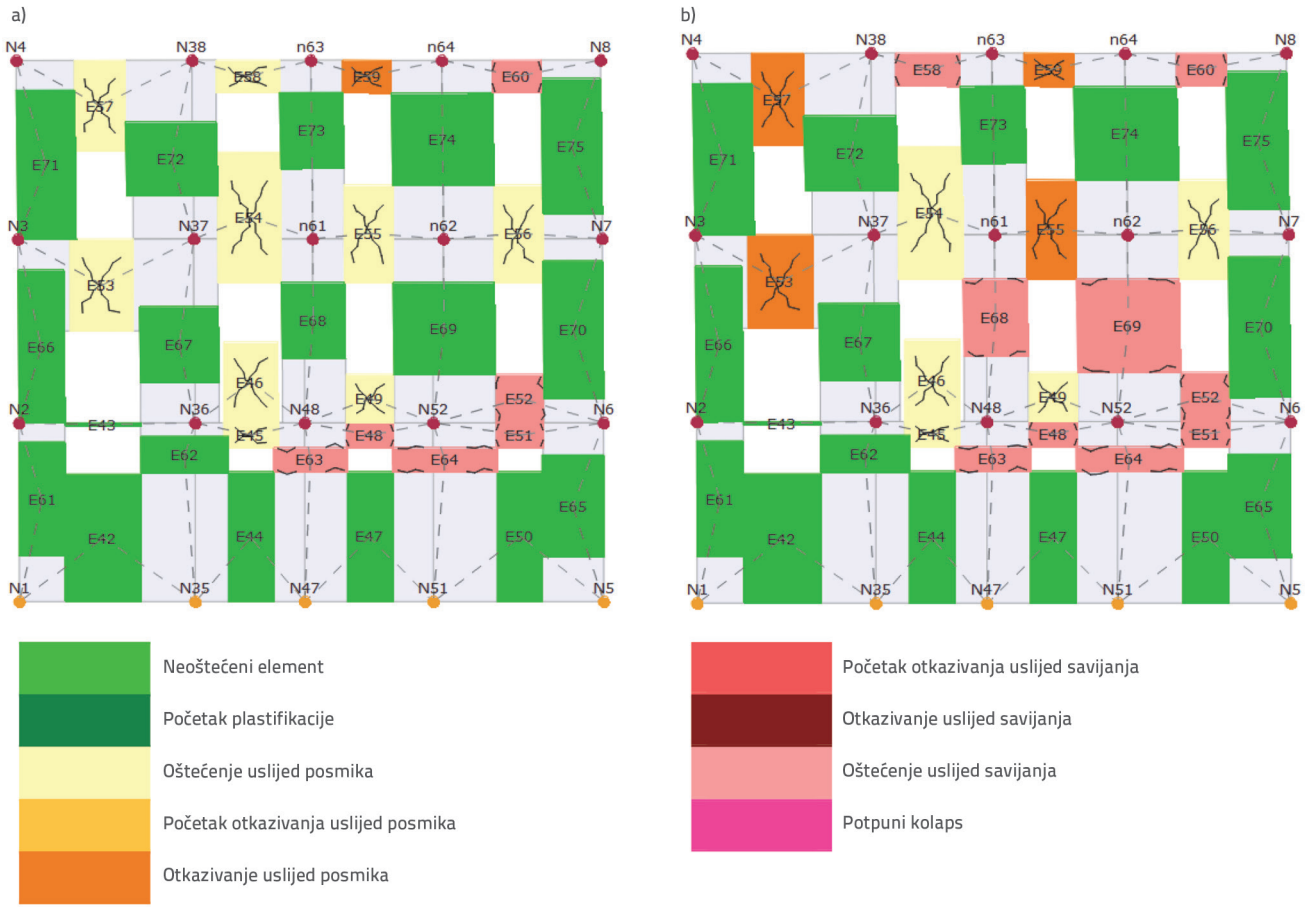
Na slici 17.b koja prikazuje stanje zida nakon završetka analize br. 16, vidljivo je da dostizanjem pomaka od 2,53 cm u promatranom zidu nije otkazao niti jedan vertikalni element, a pojedini su oštećeni uslijed savijanja (E63, E64, E68 i E69). Od horizontalnih elemenata otkazali su pojedini nadvoji i parapeti na višim katovima, dok je većina ostalih elemenata zadobila oštećenja uslijed savijanja i posmika. S obzirom da u promatranom zidu nije došlo do globalnog kolapsa, uzrok pada krivulje kapaciteta zgrade jest otkazivanje elementa u nekom drugom zidu.

5.2.4. Analiza provedenih proračuna

Kad je riječ o *modelu A,* konstrukcija nije zadovoljila ni u jednoj od 24 analize za granično stanje ograničenog oštećenja, a za granično stanje znatnog oštećenja zadovoljila je te uvjete u šest provedenih analiza. Pri tome je najnepovoljnija bila analiza u kojoj je konstrukcija imala sposobnost izdržati samo 19,6 % projektiranog vršnog ubrzanja tla za povratni period od 475 godina. Konstrukcija se pokazala značajno slabijom u smjeru Y u kojem je ostvareni pomak konstrukcije do dva puta manji od pomaka za smjer X.



Slika 16. a) Tlocrt nosivih zidova s deformacijskom linijom; b) krivulja kapaciteta zgrade za analizu br. 16



Slika 17. Razvoj oštećenja u karakterističnom zidu u analizi broj 16: a) na početku proračuna, b) na kraju proračuna

Kod *modela B* konstrukcija je zadovoljila uvjete deformabilnosti u svim analizama za granično stanje ograničenog oštećenja, a za granično stanje znatnog oštećenja zadovoljila je uvjete deformabilnosti u 21 provedenoj analizi. Pri tome je najnepovoljnija bila analiza u kojoj je konstrukcija imala sposobnost izdržati 76,8 % projektiranog vršnog ubrzanja tla za povratni period od 475 godina. Konstrukcija se pokazala nešto slabijom u smjeru X, ali je u ovom modelu deformabilnost konstrukcije u oba smjera približno jednaka (u smjeru Y se pomak povećao više od dva puta). Konstrukcija je zadovoljila uvjet za granično stanje znatnog oštećenja za smjer Y te se može smatrati da za taj smjer konstrukcija ima razinu nosivosti od 100 % na potresno djelovanje za poredbenu vjerojatnost premašaja od 10 % u 50 godina (povratni period 475 godina).

Maksimalni iznos poprečne sile u podnožju kod *modela A* iznosi 534 kN za smjer X, odnosno 1038 kN za smjer Y. Kod *modela B* vrijednosti poprečnih sila se značajno povećavaju te iznose 3132 kN za smjer X i 4450 kN za smjer Y. Povećanje poprečnih sila posljedica je povećanja krutosti i nosivosti konstrukcijskih elemenata uslijed njihovog pojačanja već navedenim zahvatima. U konačnici, kao ocjena povećanja seizmičke otpornosti konstrukcije nakon zahvata pojačanja, poslužit će usporedba vrijednosti faktora ispunjenja za oba modela prikazana u tablici 5. Prema podacima iz tablice 5. može se zaključiti da je navedenim zahvatima na nosivoj konstrukciji postignuta potrebna globalna seizmička otpornost konstrukcije na potresno djelovanje za poredbenu vjerojatnost premašaja od 10 % u 10 godina (povratni period 95 godina) za granično stanje ograničenog oštećenja. Provedenim zahvatima na nosivoj konstrukciji globalna seizmička otpornost konstrukcije za poredbenu vjerojatnost premašaja od 10 % u 50 godina (povratni period 475 godina) za granično stanje znatnog oštećenja nije postignuta u apsolutnom

Tablica 5. Usporedni prikaz faktora ispunjenja za oba modela

Granično stanje / Model	Granično stanje znatnog oštećenja			Granično stanje ograničenog oštećenja		
	PGA_{DSD} [m/s²]	PGA_{CSD} [m/s²]	a_{SD}	PGA_{DDL} [m/s²]	PGA_{CDL} [m/s²]	a_{DL}
A	2,56	0,501	0,196	1,28	0,658	0,514
B	2,56	1,967	0,768	1,28	1,357	1,060

iznosu od 100 %, ali je njezina otpornost povećana 3,9 puta u odnosu na nepojačanu konstrukciju. Razina otpornosti zgrade u odnosu na zahtijevanu otpornost za poredbenu vjerojatnost premašaja od 10 % u 50 godina iznosi 76,8 %. S obzirom na to da je u projektu obnove konstrukcije zgrade odabrana razina obnove 3 koja se provodi za potresno djelovanje za poredbenu vjerojatnost premašaja od 20 % u 50 godina (povratni period 225 godina), a za koju horizontalno vršno ubrzanje tla iznosi a_g=0,18g, što je 70 % horizontalnog vršnog ubrzanja tla za povratni period 475 godina, može se zaključiti da je pojačanjem konstrukcije ostvarena tražena razina obnove. Kao sastavni dio projekta obnove konstrukcije zgrade izrađen je i detaljan troškovnik u kojem su obrađeni svi radovi, te je investitor mogao pristupiti odabiru izvođača radova.

6. Izvođenje radova i nadzor nad izvođenjem

Već u ljeto 2020. godine započelo se s radovima na obnovi zgrade. Svi radovi su izvođeni u skladu s projektom obnove građevinske konstrukcije uz provođenje projektantskog i stručnog nadzora nad radovima. Prilikom izvođenja radova dolazilo se do veoma delikatnih izvođačkih detalja, naročito prilikom skidanja starih dijelova žbuke jer je u pojedinim dijelovima fasadnih zidova dolazilo i do mogućeg urušavanja zida zbog dotrajalosti opeke stare više od 100 godina. Treba napomenuti da su ovo radovi koji zahtijevaju vrlo osposobljene izvođače, što se u ovom slučaju i postiglo, naročito zahvaljujući dobroj suradnji izvođača radova i nadzornog osoblja. Zbog neravnina i nepravilnosti fasadnih zidova, umjesto predviđenih 6 cm torkreta, na pojedinim dijelovima fasada debljina torkreta dosezala je i 10-12 cm, pa se torkret izvodio strojnim nabacivanjem u tri sloja. Tijekom izvođenja provedena je povremena kontrola kvalitete betona za betoniranje temelja i izvedbu torkreta i gotovog tvornički spravljenog torkreta za ojačanje vanjskih zidova. Rezultati su prikazani u tablicama 6. i 7.

Na fotografijama (slike 18., 19. i 20.) prikazani su pojedini detalji izvođenja. Vidljivo je da se kod nekih tehničkih rješenja u ostvarivanju potresne otpornosti koristio čelik zbog svojih brojnih prednosti sukladno [15]. Uz zajedničku koordinaciju svih sudionika u gradnji, od investitora, projektanta do izvođača, svi zahvati su uspješno privedeni kraju tijekom zime 2020. godine.

Tablica 6. Rezultati ispitivanja betona za betoniranje temelja torkreta

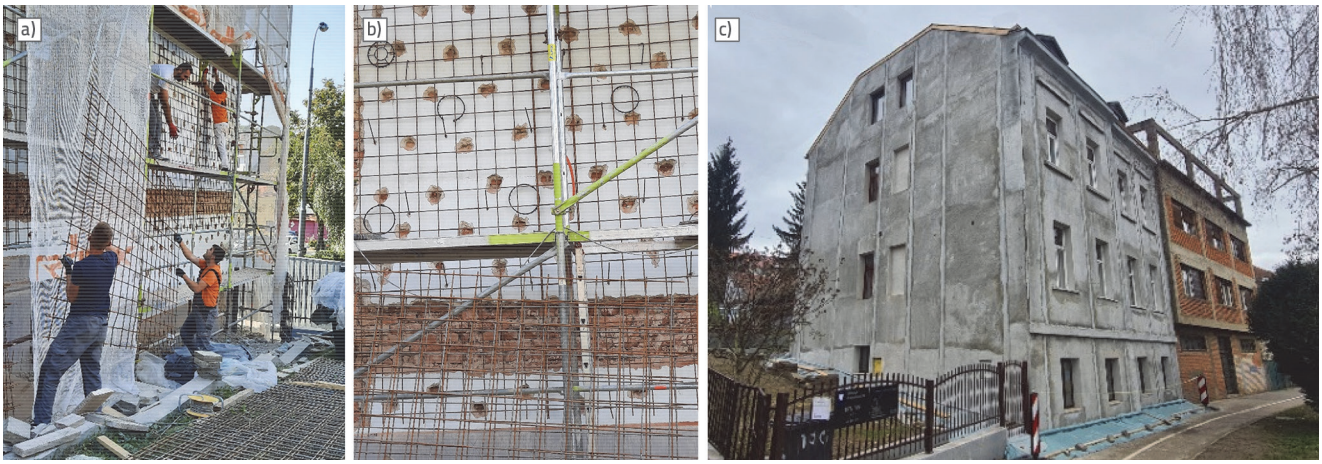
Oznaka uzorka	**Uzorkovanje** [datum]	**Sila loma** [kN]	**Tlačna čvrstoća** [N/mm²] na uzorcima	**Tlačna čvrstoća** [N/mm²] Srednja vrijednost
B1		694,38	30,90	28,74
B2	14.8.2020.	625,93	27,78	
B3		621,01	27,53	
B4		580,77	25,74	25,66
B5	20.8.2020.	572,43	25,41	
B6		585,34	25,83	

Tablica 7. Rezultati ispitivanja gotovog torkreta za ojačanje vanjskih zidova građevinske konstrukcije zgrade

Oznaka uzorka	**Dimenzije** [mm]			**Sila loma** savijanje [kN]	**Savojna čvrstoća** [N/mm²]	**Sila loma - tlak** [kN]		**Tlačna čvrstoća** [N/mm²]		
	b	h	d			Ispitivanje 1	Ispitivanje 2	Ispitivanje 1	Ispitivanje 2	Srednja vrijednost
TORKRET1 3d	41,5	40,1	160,5	2,18	4,90	50,22	53,27	31,39	33,29	32,34
TORKRET2 3d	41,0	40,5	160,4	2,32	5,17	52,76	53,96	32,98	33,73	33,35
TORKRET3 3d	39,9	41,0	160,5	2,44	5,45	53,98	52,21	33,74	32,63	33,18
TORKRET4 7d	40,1	40,8	160,6	2,38	5,35	66,65	66,17	41,66	41,63	41,51
TORKRET5 7d	40,9	40,0	160,1	2,55	5,85	66,61	67,82	41,63	42,39	42,01
TORKRET6 7d	40,6	39,7	160,0	2,96	6,94	67,51	67,25	42,19	42,03	42,11
TORKRET7 28d	40,3	40,7	160,2	2,23	5,01	81,18	80,85	50,74	50,53	50,63
TORKRET8 28d	40,1	40,6	160,2	2,93	6,65	79,92	80,80	49,85	50,50	50,23
TORKRET9 28d	40,2	39,8	160,2	2,27	5,35	79,72	85,32	49,83	53,33	51,58

Slika 18. a) Detalj prihvata drvenih grednika za vanjski zapadni zid ankerima; b) prihvat vanjskog zabatnog zida za drvene grednike; c) prihvat središnjeg zida L profilom za drvene grednike; d) postavljene furnir ploče u dva sloja

Slika 19. Izvođenje ojačanja nosivih zidova ugradnjom mrežice od staklenih vlakana i ankera od karbonskih vlakana ručno izrađenih na gradilištu i postavljenih po jedan na m²



Slika 20. Izvođenje torkreta: a) postavljanje armature torkreta; b) postavljanja podmetača; c) potpuno pojačana konstrukcija torkretom

7. Zaključak

Autori ovog rada željeli su i nastojali detaljno prikazati faze koje je potrebno proći kako bi se zgrada oštećena u potresu koji je pogodio Zagreb 22. ožujka 2020. obnovila i pojačala do zahtijevane razine potresne otpornosti. Svi postupci koji su provedeni u sklopu ove obnove provedeni su u skladu sa zakonskom regulativom koja je stupila na snagu nakon potresa, a obuhvaća: *Tehnički propis o izmjenama i dopunama Tehničkog propisa za građevinske konstrukcije - Prilog III. Razine obnove potresom oštećenih konstrukcija zgrada u odnosu na mehaničku otpornost i stabilnost (NN 75/20), Zakon o obnovi zgrada oštećenih potresom na području Grada Zagreba, Krapinsko-zagorske županije i Zagrebačke županije (NN 102/20)* te *Prvi program mjera obnove zgrada oštećenih potresom na području Grada Zagreba, Krapinsko-zagorske županije i Zagrebačke županije (NN 119/20).* Ovim primjerom htjelo se pokazati kako je u kratkom roku uz suradnju svih sudionika u gradnji, te postupanjem u skladu s navedenim zakonima i propisima, moguće obnoviti i znatno povećati seizmičku otpornost zgrade. Pravi ispit stručnosti u odabiru zahvata popravka i pojačanja te kvalitete izvedenih radova bio je potres koji se dogodio 29. prosinca 2020. s epicentrom u okolici Petrinje, uslijed kojeg obnovljena zgrada nije pretrpjela ni najmanja oštećenja. Stoga smatramo da je ovakav pristup obnovi oštećenih zgrada, počevši od brzih pregleda pa sve do izvođenja, jedini ispravni pristup kojem bi trebali težiti svi oni koji u obnovi sudjeluju, kako bi se cjelokupna predviđena obnova izvela u što kraćem roku uz cjelovito izrađenu dokumentaciju i kvalitetne radove.

LITERATURA

[1] Šavor Novak, M., Uroš, M., Atalić, J., Herak, M., Demšić, M., Baniček, M., Lazarević, D., Bijelić, N., Crnogorac, M., Todorić, M.: Zagreb earthquake of 22 March 2020 – preliminary report on seismologic aspects and damage to buildings, GRAĐEVINAR, 72 (2020) 10, pp. 843-867, doi: https://doi.org/10.14256/JCE.2966.2020

[2] Tower 8.1, Radimpex Software for Civil Engineers, 2020.

[3] Tehnički propis o izmjenama i dopunama Tehničkog propisa za građevinske konstrukcije - Prilog III. Razine obnove potresom oštećenih konstrukcija zgrada u odnosu na mehaničku otpornost i stabilnost (NN 75/20)

[4] Zakon o obnovi zgrada oštećenih potresom na području Grada Zagreba, Krapinsko-zagorske županije i Zagrebačke županije (NN 102/20),

[5] Prvi program mjera obnove zgrada oštećenih potresom na području Grada Zagreba, Krapinsko-zagorske županije i Zagrebačke županije (NN 119/20)

[6] 3Muri, S.T.A. DATA, Pushover and static analysis of masonry structures, 2018.

[7] Perić, L., Matorić, I.: Pouzdanost tradicionalnih zidanih građevina s drvenim stropovima na potresno djelovanje, GRAĐEVINAR, 72 (2020) 10, pp. 869-893, https://doi.org/10.14256/JCE.2965.2020

[8] Formisano, A.: Seismic behaviour and retrofitting of a school masonry building subject to the 2012 Emilia-Romagna earthquake, Italy, Naples, 2014, doi:10.4203/ccp.106.83

[9] Volken, N.: Evaluation of an existing masonry building with flexible diaphragms in Switzerland, Master thesis in structural engineering, Institute of structural engineering, Swiss Federal institute of technology in Zurich, Zurich, 2009.

[10] Sorić, Z.: Zidane konstrukcije, Zagreb, 2016. 544 str.

[11] HRN EN 1990:2011-Eurokod 0: Osnove projektiranja konstrukcija (EN 1990.2002+A1:2005+A1:2005/AC:2010); CEN: Brussels, Belgija, 2010.

[12] HRN EN 1998-3:2011/NA:2011-Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – 3.dio: Ocjenjivanje i obnova zgrada – Nacionalni dodatak); CEN: Zagreb, Hrvatska 2011.

[13] Mazziotti, A.: Structural analysis of historical masonry buildings, Ph.D Thesis, University of Naples Federico II, 2008.

[14] El Gawady, M., Lestuzzi, P., Badoux, M.: A review of conventional seismic retrofitting techniques for URM, 13th International Brick and Block Masonry Conference, Amsterdam, 2004.

[15] Skejić, D., Lukačević, I., Ćurković, I., Čudina, I.: Application of steel in refurbishment of earthquake-prone buildings, GRAĐEVINAR, 72 (2020) 10, pp. 955-966, https://doi.org/10.14256/JCE.2970.2020