

doi: 10.67563/ASESCONF2026075J

Đorđe Jocković¹, Marko Marinković²

RETROFIT OF THE MASONRY STRUCTURE OF THE HOTEL: ASPECTS OF SEISMIC DESIGN AND STRENGTHENING MEASURES

Summary: The paper deals with the reconstruction of the masonry structure of the existing hotel building from the aspect of seismic calculation and definition of adequate strengthening measures. The existing state of the structure, the identification of critical zones and the assessment of load capacity according to current regulations were analyzed. Special focus is on the modeling of the masonry structure and the impact of irregularities on the seismic response of the building. The key steps in the calculation are presented, including the selection of the appropriate model and seismic loading. Proposed strengthening measures include improvement of connections between walls and mezzanine structures, local and global strengthening of walls, as well as application of modern materials and techniques. The aim of the paper is to present the calculation approaches as well as the details of the implementation of constructive strengthening measures that are specific to reconstruction projects.

Keywords: unreinforced masonry, confined masonry, strengthening, connection details

REKONSTRUKCIJA ZIDANE KONSTRUKCIJE HOTELA: ASPEKTI SEIZMIČKOG PRORAČUNA I MERA OJAČANJA

Rezime: Rad se bavi rekonstrukcijom zidane konstrukcije postojećeg hotelskog objekta sa aspekta seizmičkog proračuna i definisanja adekvatnih mera ojačanja. Analizirani su postojeće stanje konstrukcije, identifikacija kritičnih zona i procena nosivosti prema aktuelnim propisima. Poseban fokus je na modeliranju zidane konstrukcije i uticaju nepravilnosti na seizmički odgovor objekta. Prikazani su ključni koraci u proračunu, uključujući izbor odgovarajućeg modela i seizmičkog opterećenja. Predložene mere ojačanja obuhvataju unapređenje veza između zidova i međuspratnih konstrukcija, lokalno i globalno ojačanje zidova, kao i primenu savremenih materijala i tehnika. Cilj rada je da se predstave pristupi u proračunu kao i detalji izvođenja konstruktivnih mera ojačanja koji su specifični za projekte rekonstrukcije.

Ključne reči: nearmirana zidarija, zidarija sa serklažima, ojačanja, detalji veza

¹ Congroup d.o.o, Belgrade, Serbia

² University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, Belgrade, Serbia, mmarinkovic@grf.bg.ac.rs

1. UVOD

Rekonstrukcija postojećih zidanih zgrada postaje sve značajniji deo projektantske prakse. Veliki broj objekata u centralnim gradskim zonama izgrađen je pre uvođenja savremenih seizmičkih propisa, a tokom dugog perioda korišćenja na njima su izvođene adaptacije različitog obima i kvaliteta. U takvim zgradama nosivost ne zavisi samo od prvobitnog sistema, već i od stanja materijala, rasporeda otvora, veze zidova sa međuspratnim konstrukcijama i posledica naknadnih intervencija. Zbog toga se postojeći objekat ne može pouzdano oceniti samo na osnovu arhivskih crteža ili tipičnih vrednosti mehaničkih karakteristika.

Zidane konstrukcije su posebno osetljive na seizmička dejstva zbog male zatezne čvrstoće, ograničene duktilnosti i izražene zavisnosti odgovora od prostorne povezanosti zidova i tavanica. Nepravilnosti u osnovi i po visini, mešoviti sistemi tavanica, veliki otvori i slabe veze mogu dovesti do nepovoljne raspodele sila, lokalnog prekoračenja nosivosti i mehanizama van ravni. Evrokod 8, deo 3, zato procenu postojećih zgrada zasniva na nivou poznavanja konstrukcije, obimu istražnih radova i odgovarajućim faktorima poverenja [3].

U radu je prikazan postupak primenjen pri rekonstrukciji Hotela Union u Beogradu. Cilj nije bio samo da se prikaže konačno rešenje ojačanja, već redosled odluka koje su do njega dovele: od pregleda i ispitivanja, preko formiranja modela i definisanja seizmičkog dejstva, do provere pojedinačnih zidova i projektovanja konstruktivnih detalja. Ovakav prikaz je važan jer se kod složenih rekonstrukcija proračun i projektovanje ne odvijaju linearno. Rezultati jedne faze često zahtevaju korekciju prethodne pretpostavke, dopunsko ispitivanje ili izmenu planirane intervencije.

2. OBJEKAT I ZATEČENO STANJE

Hotel Union nalazi se u Kosovskoj ulici broj 11, u zaštićenom gradskom tkivu Beograda. Objekat je spratnosti Po+Su+Pr+5+Pk, uz galeriju i mezanin kao međunivoe. Konstrukcija je nastajala u fazama, a dominantni vertikalni noseći sistem čine masivni zidovi od pune opeke. Geometrija objekta je izdužena, sa više spojenih celina i različitim nivoima oslanjanja, što je zahtevalo pažljivo povezivanje arhitektonskih osnova, snimljenog stanja i konstruktivne dispozicije [1,2].



a)



b)

Slika 1: Hotel Union: (a) ulična fasada; (b) zatečeno stanje galerije

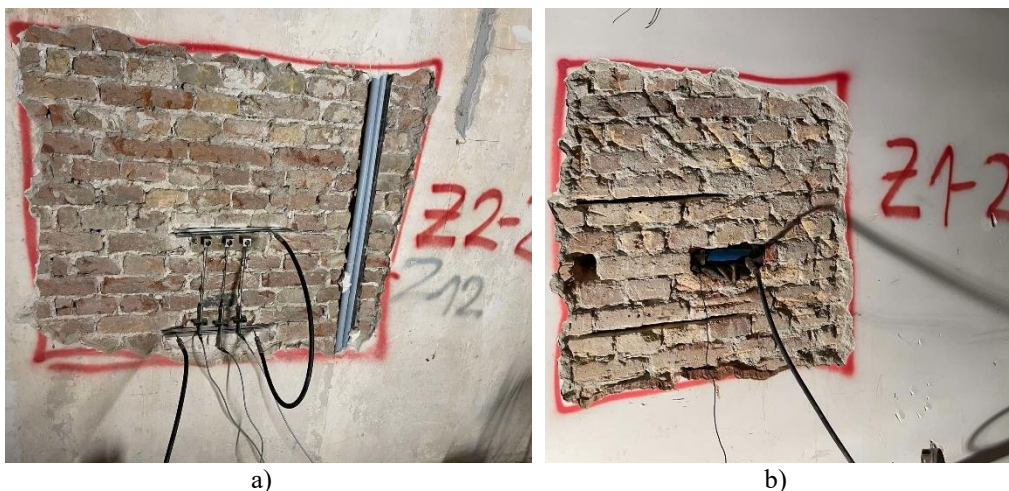
Zatečeno stanje (Slika 1) pokazalo je izrazitu heterogenost međuspratnih konstrukcija. Na nižim nivoima prisutne su rebraste tavanice, pune AB ploče i sistemi čeličnih greda, dok su na višim etažama zastupljene tavanice tipa „Avramenko“ i drvene tavanice. U prizemlju i galeriji ranije su izvođene intervencije radi promene funkcije prostora; pojedini čelični profili su presečeni radi instalacija, a lokalno su dodavani zidani stubovi i oslonci. Takve intervencije nisu bile sistemski povezane i otežavale su pouzdano praćenje prenosa opterećenja.

Planirana rekonstrukcija obuhvatila je promenu organizacije prostora, zamenu ili ojačanje tavanica, formiranje novih otvora, uvođenje novih AB elemenata i uređenje potkrovlja i krova. Veći deo postojećih nosećih zidova trebalo je zadržati, ali uz dokaz da mogu da prihvate nova gravitaciona i seizmička dejstva. Zbog toga je projektni zadatak istovremeno obuhvatio procenu postojeće zidarije, projektovanje novih AB elemenata i razradu njihovih veza sa starom konstrukcijom.

3. ISPITIVANJA I ULAZNI PODACI

Prvi korak bio je pregled raspoložive dokumentacije i vizuelni pregled svih dostupnih etaža. Evidentirani su tipovi tavanica, debljine i pravci zidova, položaj otvora, promene sloga zidarije, zone naknadnog betoniranja i čelični elementi. Na osnovu pregleda definisan je program ispitivanja koji je obuhvatio karakterizaciju opeke i maltera, in-situ određivanje naprezanja i deformabilnosti zidova, ispitivanje početne nosivosti zida na smicanje, kao i provere geometrije i armiranja karakterističnih AB elemenata [1].

Kod masivnih zidanih objekata posebno je važno da se vrednosti ne usvoje samo na osnovu pretpostavke i godine gradnje. Ispitivanja Hotela Union (Slika 2) pokazala su veliku razliku između donjih i gornjih etaža. Opeka je zadržala relativno povoljne vrednosti čvrstoće, dok je kvalitet maltera na višim spratovima bio znatno niži. Posledica je pad karakteristične čvrstoće zida sa 4,0–4,4 MPa u podrumu i prizemlju na 1,9–2,1 MPa na višim etažama. Upravo ova razlika bitno utiče na rezultate provere, naročito na zidove koji pored gravitacionog opterećenja prihvataju i velike seizmičke sile.



Slika 2: Primeri in-situ ispitivanja zidarije: (a) ispitivanje modula elastičnosti; (b) ispitivanje početne nosivosti spojnica na smicanje

Za globalni model usvojeni su (Tabela 1) modul elastičnosti zidarije $E=3700$ MPa, Poasonov koeficijent 0,10, specifična težina $14,28$ kN/m³ i početna karakteristična čvrstoća na smicanje $f_{vk0}=0,18$ MPa. Za nove AB elemente usvojeni su beton C30/37 i armatura B500, a za čelična ojačanja čelik S235. U projektantskom smislu, rezultati ispitivanja imali su dvostruku ulogu:

sprečili su precenjivanje zidova na gornjim etažama, ali su istovremeno omogućili da se povoljnije vrednosti donjih zidova iskoriste u proračunu. Pored navedenih rezultata, ispitana su i svojstva betona i armature, položaj i prečnik armature, kao i debljina zaštitnog sloja i dimenzije AB tavanica (korišćenjem radara i ultrazvuka). Zbog ograničene dužine rada, ti detalji nisu prikazani.

Tabela 1: Usvojene karakteristike zidarije na osnovu ispitivanja [1,2]

Etaža	Normalizovana čvrstoća opeke f_b [MPa]	Čvrstoća maltera f_m [MPa]	Karakteristična čvrstoća zida f_k [MPa]
Podrum	11,3	4,9	4,0
Prizemlje	11,3	7,7	4,4
I sprat	9,4	0,7	2,1
II sprat	9,4	0,6	2,1
III sprat	9,4	0,5	1,9

4. KONCEPCIJA REKONSTRUKCIJE

Koncepcija rekonstrukcije (Tabela 2) formirana je tako da se postojeći zidani sistem zadrži kao glavni vertikalni noseći sistem kome se dodaju AB serklaži i konstrukcija postaje zidana sa serklažima, dok se prostorna povezanost i prenos horizontalnih sila unapređuju novim tavanicama i ciljanim AB ojačanjima. Sve drvene tavanice se uklanjaju i zamenjuju punim AB pločama debljine 20 cm. Kod tavanica tipa „Avramenko“ uklanjaju se dva rebra i ploča između njih, dok se svako treće rebro zadržava i koristi kao privremeni razupirač dok se ne izlije nova AB ploča. Na taj način se smanjuje obim rušenja, ali se dobija kontinuirana horizontalna dijafragma kruta u svojoj ravni.

Tabela 2: Uloga glavnih intervencija u ukupnoj koncepciji rekonstrukcije

Element / intervencija	Osnovna funkcija	Uticaj na proračunski model
Nove AB ploče 20 cm	Zamena dotrajalih tavanica i formiranje krutih dijafragmi	Povećanje mase i krutosti; pouzdaniji prenos horizontalnih sila
AB ramovi i stubovi	Preuzimanje velikih gravitacionih opterećenja i ukrućenje nižih etaža	Promena raspodele sila i rasterećenje kritičnih zidova
Horizontalni i vertikalni serklaži	Povezivanje zidova i povećanje nosivosti na savijanje (zatezanje) i smičuće nosivosti	Doprinos lokalnoj nosivosti i prostornoj stabilnosti
FRCM ojačanje	Povećanje nosivosti odabranih zidova bez velikog povećanja mase, i povećanje duktilnosti	Lokalno povećanje V_{Rd} i otpornosti u/van ravni
Čelični profili	Ojačanje zadržanih delova tavanica	Lokalni prenos opterećenja bez potpunog rušenja

U nižem delu objekta (Slika 3a), gde su rasponi veći i gde se formiraju otvoreni hotelski sadržaji, predviđeni su novi AB ramovi sa obe strane postojećih AB ramova u osama 5, 6 i 7, novi stubovi u osama 2, 3 i 4 i lokalne AB grede iznad velikih otvora. Postojeće temelje u zonama novih ramova potrebno je proširiti i ojačati. Zidovi koji ne zadovoljavaju proveru ili su važni za prostornu stabilnost ojačavaju se serklažima i FRCM sistemom.



Slika 3: (a) Osnova prizemlja: novoprojektovano stanje sa novim nosećim elementima; (b) trodimenzionalni model konstrukcije Hotela Union

5. NUMERIČKI MODEL I SEIZMIČKO DEJSTVO

Trodimenzionalni model (Slika 3b) formiran je u programu MINEA i prenet u InfoCAD za metodu konačnih elemenata. Zidovi su modelirani površinskim shell elementima sa stvarnim otvorima i promenama debljine, dok su ploče takođe modelirane shell elementima. Grede, stubovi i novi ramovi predstavljeni su linijskim elementima. S obzirom na to da je podrum znatno krući i ukopan, seizmički deo modela obuhvatio je zidove od prizemlja do poslednje etaže, a oslonci su postavljeni duž donjih ivica zidova i stubova prizemlja [2].

Seizmičko dejstvo (Tabela 3) definisano je multimodalnom spektralnom analizom prema SRPS EN 1998-1 [4]. Za lokaciju u Beogradu usvojeno je referentno ubrzanje tla $a_{gr}=0,10g$ za povratni period od 475 godina, faktor značaja $\gamma_I=1$, kategorija tla B i elastični spektar tipa 1. Za zidani sistem sa serklažima usvojen je faktor ponašanja $q=2$. Kombinovanje modalnih odziva izvršeno je SRSS postupkom, a dve horizontalne komponente kombinovane su pravilom 30%.

Tabela 3: Osnovni parametri seizmičke analize [2,4]

Parametar	Usvojena vrednost
Ukupna masa modela	3077,7 t
Prva tri perioda	$T_1=1,204$ s; $T_2=0,568$ s; $T_3=0,462$ s
Broj modova	20
Projektno ubrzanje tla	$a_g=0,10g$
Kategorija tla / spektar	B / tip 1
Faktor ponašanja	$q=2,0$
Kombinovanje pravaca	$\pm E_x \pm 0,3 E_y$ i $\pm E_y \pm 0,3 E_x$

Prvi ton dominantno aktivira masu u kraćem horizontalnom pravcu (u ovom pravcu konstrukcija ima daleko manje zidova), dok treći ton dominantno aktivira drugi pravac; između njih se javlja kombinovani translaciono-torzioni odgovor. To je očekivano za izduženu i

nepravilnu osnovu sa promenljivim rasporedom zidova. Zbog toga nije bilo opravdano svesti proveru na pojednostavljen etažni proračun. Prostorni model je bio potreban da bi se utvrdili zidovi koji realno prihvataju seizmičke sile i zone u kojima se javljaju nepovoljna zatezanja i smicanja.

6. POSTUPAK PROVERE ZIDANIH ZIDOVA

Pre provere nosivosti zidovi su razvrstani na primarne i sekundarne seizmičke elemente. Provereni su geometrijski uslovi za minimalnu debljinu, vitkost i odnos dužine zida prema visini susednog otvora prema SRPS EN 1998-1 [4]. Kratki zidovi koji ne mogu pouzdano da učestvuju u prijemu horizontalnih sila tretirani su kao sekundarni, ali je njihova stabilnost i veza sa tavanicama i dalje morala biti obezbeđena.

Za svaki primarni zid očitane su presečne sile u dnu, sredini i vrhu etažne visine. Provera na pritisak sprovedena je prema SRPS EN 1996-1-1 [5]:

$$N_{Rd} = f_k \cdot t \cdot l \cdot \Phi / \gamma_M \geq N_{Ed} \quad (1)$$

gde su f_k karakteristična čvrstoća zida, t i l debljina i efektivna dužina preseka, Φ faktor redukcije zbog vitkosti i ekscentriciteta, a γ_M parcijalni koeficijent materijala. Smičuća nosivost određena je na osnovu pritisnute dužine zida l_c i projektne čvrstoće f_{vd} :

$$V_{Rd} = f_{vd} \cdot t \cdot l_c / \gamma_M \geq V_{Ed} \quad (2)$$

Pored klasične provere klizanja i smicanja, analizirano je prekoračenje glavnih zateznih napona, jer ono kod starih zidova često određuje pojavu prslina po dijagonali pre dostizanja nominalne smičuće nosivosti. Za svaki zid razmatrano je osam seizmičkih kombinacija: četiri sa dominantnim dejstvom u X pravcu i četiri sa dominantnim dejstvom u Y pravcu, uz oba znaka horizontalnih komponenti.

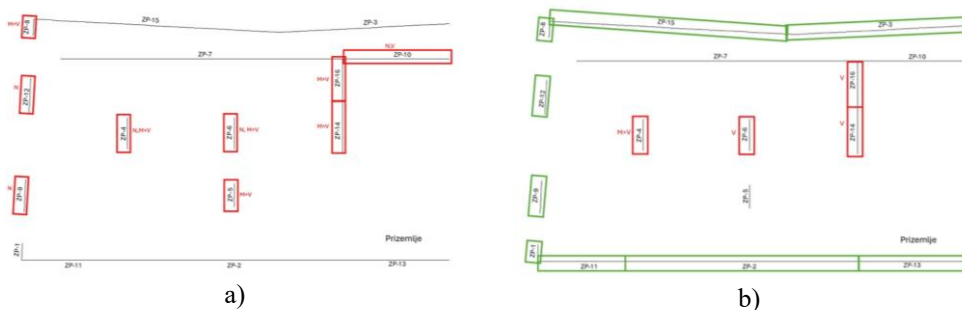
Praktičan redosled provere bio je sledeći: 1) usklađivanje oznaka zidova u modelu i crtežima; 2) izdvajanje merodavnih presečnih sila za stalnu i seizmičku situaciju; 3) provera pritiska i ekscentriciteta; 4) određivanje pritisnute dužine i provera smicanja; 5) provera glavnih zateznih napona; 6) klasifikacija nedostatka i izbor mere. Ovakva sistematizacija je bila neophodna jer se u modelu nalazi veliki broj zidnih segmenata, a isti zid može biti merodavan po različitom kriterijumu u različitim kombinacijama.

7. REZULTATI ANALIZE

Analiza je pokazala da nedovoljna nosivost nije koncentrisana samo na jednu etažu ili jedan tip zida. Na nižim etažama pojedini zidovi su bili merodavni zbog kombinacije savijanja i smicanja, dok su na višim etažama češće bili merodavni zbog zatezanje, koje direktno smanjuje pritisnu dužinu i samim tim nosivost na smicanje, što je još i povezano sa slabijim malterom i manjom karakterističnom čvrstoćom zidarije. Kritični elementi označeni (Slika 4) su prema dominantnom mehanizmu: V – smicanje, M+V – kombinovano savijanje i smicanje, Z – zatezanje i N – pritisak.

Početna analiza bez doprinosa novih serklaža izdvojila je veći broj zidova u prizemlju, galeriji, mezaninu i spratnim etažama. Nakon uvođenja horizontalnih i vertikalnih serklaža broj lokalno neadekvatnih zidova se smanjio, ali su ostali zidovi koji zahtevaju direktno ojačanje. Pored njih, odabrani su i zidovi kod kojih iskorišćenje nije formalno prekoračeno, ali čije ojačanje obezbeđuje kontinuitet po visini i povoljniju raspodelu seizmičkih sila (Slika 4).

Rezultati potvrđuju da sama provera pojedinačnog zida nije dovoljna za donošenje odluke. Na primer, lokalno ojačanje kratkog zida može povećati njegovu nosivost, ali ne mora poboljšati globalni tok sila ukoliko zid nema kontinuitet po visini ili odgovarajuću vezu sa dijafragmom. Zbog toga su mere definisane kombinovanjem lokalne potrebe i globalne uloge elementa u konstrukciji.



Slika 4: Primer rezultata za prizemlje: (a) zidovi sa nedovoljnom nosivošću pre uvođenja vertikalnih serklaža; (b) konačan izbor zidova za ojačanje (crveno – proračunski zahtev, zeleno – zahtev prostorne stabilnosti)

8. MERE OJAČANJA

8.1. SERKLAŽI I FRCM OJAČANJE ZIDOVA

Vertikalni serklaži predviđeni su na slobodnim krajevima zidova, sa obe strane većih otvora, na ukrštanjima i unutar dugih zidova kada je razmak između serklaža veći od 5 m. Horizontalni serklaži povezuju zidove sa novim tavanicama i omogućavaju zatvaranje prostornog sistema. Njihov doprinos je uključen u proveru savijanja i smicanja, nakon čega su izdvojeni zidovi koji i dalje zahtevaju kompozitno ojačanje.

Za odabrane zidove primenjen je SIKA FRCM sistem sa alkalno otpornom dvosmernom mrežom u mineralnom malteru. U odnosu na klasično torkretiranje sa čeličnim mrežama, FRCM manje povećava masu, krutost i debljinu zida, lakše se prilagođava neravnim površinama i kompatibilniji je sa starom zidarjom. Sistem se izvodi (Slika 5) nanošenjem prvog sloja maltera, utiskivanjem mreže i nanošenjem završnog sloja dok je prethodni sloj još svež. Kada se ojačanje izvodi samo sa jedne strane, obavezno je mehaničko povezivanje sa zidom, a nosivost se redukuje prema smernicama [9]. Broj slojeva određen je za svaki zid prema potrebnom povećanju smičuće nosivosti. Za primenjeni sistem detaljisan su ankerni elementi i preklopi mreže; u projektu je usvojen raspored ankera približno 1,20 m, uz prilagođavanje geometriji zida i otvorima.

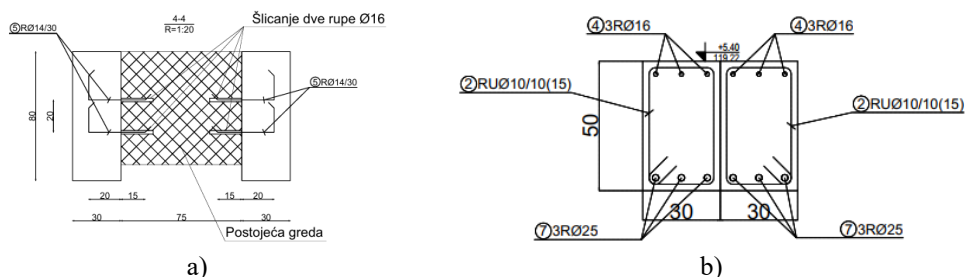


Slika 5: Redosled izvođenja FRCM ojačanje

8.2. GLOBALNE AB I ČELIČNE INTERVENCIJE

Lokalno ojačanje zidova nije moglo da reši sve posledice novog arhitektonskog programa i zamene tavanica. Zbog velikih raspona u nižem delu objekta projektovani su novi AB ramovi preseka 30×80 cm u osama 5, 6 i 7. Ramovi se protežu od podruma do mezanina, ukupne visine 12,65 m, a rasponi su 11,44 m i 12,34 m. Izvode se sa obe strane postojećih greda (Slika 6a) i ankerišu tako da se uspostavi zajedničko delovanje. U zonama novih ramova temelji se proširuju i ojačavaju. U zonama otvora izvode se nove AB grede koje se usecaju u zidove (Slika 6b).

Novi AB stubovi preseka 60×60 cm u osama 2, 3 i 4 preuzimaju opterećenja od novih tavanica i prenose ih na postojeće temeljne trake. Iznad otvora predviđene su AB grede, dok se deo postojeće tavanice u koridoru ojačava profilima HEA 180. Na potkrovnjoj i krovnoj etaži uvedene su nove grede 30×60 cm za oslanjanje ploča i opreme.



Slika 6: Globalne mere: (a) veza novog rama sa postojećom gredom; (b) izvođenje AB grede unutar zidanog zida (pola sa jedne strana pa pola sa druge strane zida)

Redosled izvođenja je sastavni deo konstruktivnog rešenja. Pre uklanjanja tavanica i zidnih segmenata potrebno je privremeno podupiranje, zatim izvođenje temelja i vertikalnih elemenata, povezivanje novih greda sa postojećom konstrukcijom, betoniranje dijafragmi i tek nakon postizanja potrebne čvrstoće prenos opterećenja. FRCM ojačanje se izvodi na pripremljenoj i saniranoj podlozi, nakon završetka grubih intervencija koje mogu izazvati dodatne deformacije zida.

9. REDOSLED IZVOĐENJA I KONTROLA KVALITETA

Kod ovako složene rekonstrukcije redosled radova nije samo organizaciono pitanje, već deo dokaza stabilnosti. Uklanjanje tavanice ili segmenta zida trenutno menja statički sistem i može aktivirati mehanizam koji nije obuhvaćen proračunom konačnog stanja. Zbog toga je pre početka radova potrebno izraditi plan (Tabela 4) privremenog podupiranja i jasno definisati zone koje se mogu istovremeno otvoriti. Radove treba izvoditi u ograničenim poljima, uz stalno praćenje prslina i deformacija susednih elemenata.

Prva faza obuhvata otkrivanje konstrukcije, proveru pretpostavljenih dimenzija, položaja oslonaca i stanja zidova u zonama veza. Kada se stvarno stanje razlikuje od podloga, projektant mora da proceni da li je razlika lokalna ili zahteva korekciju globalnog modela. Tek nakon potvrde geometrije izvode se proširenja temelja i novi vertikalni elementi, jer oni moraju biti spremni da prime opterećenje pre uklanjanja postojećih oslonaca i tavanica. Treba napomenuti da su drvene tavanice prve uklonjene jer ne pružaju krutu dijafragmu u ravni, ali se u uglovima prostorija, na sučeljavanjima zidova postavljeni čelični profili koji formiraju trougao, sa svrhom pružanja osiguranja i stabilnosti zidova van ravni.

U drugoj fazi izvode se AB ramovi, stubovi i glavne grede, sa projektovanim ankerisanjem u postojeće elemente. Posebno je važna priprema kontaktnih površina: uklanjanje slabih slojeva, hrapavljenje betona, čišćenje i pravilno postavljanje ankera. Kod novih ploča potrebno je obezbediti vezu sa obodnim zidovima i serklažima tako da ploča nakon očvršćavanja zaista funkcioniše kao horizontalna dijafragma, a ne samo kao novi gravitacioni element. AB grede su

izvođenje usecanjem do polovine debljine zida sa jedne strane, pa nakon očvršćavanja betona isto tako sa druge strane. Veza te dve polovine grede je ostvarena ili uzengijom koja se otvara ili ankerima.

FRCM ojačanje izvodi se nakon završetka grubih radova koji mogu izazvati dodatnu pojavu prslina. Površina zida mora biti očišćena od prašine, rastresitog maltera i nekompatibilnih premaza, a veće neravnine i oštećene fuge prethodno sanirane. Pre serijske primene korisno je izvesti probno polje, proveriti obradivost mineralne matrice, utiskivanje mreže i način postavljanja ankera. Kontrola ne sme da se svede na vizuelni pregled završne površine; potrebno je evidentirati položaj i broj slojeva mreže, dužine preklopa, raspored ankera i uslove nege maltera.

Rasterećenje privremenih podupirača vrši se postepeno, nakon potvrde postignute čvrstoće novih elemenata. U toj fazi kontrolišu se deformacije, pojava novih prslina i ponašanje spojeva između starog i novog dela. Dokumentovanje otkrivenog stanja, izmena i rezultata kontrolnih ispitivanja omogućava da izvedeno stanje bude pouzdana osnova za buduće preglede i održavanje objekta.

Tabela 4: Predloženi redosled izvođenja i ključne kontrolne tačke

Faza	Osnovne aktivnosti	Kontrolna tačka pre nastavka radova
1. Otkrivanje i podupiranje	Sondažna otvaranja, privremeni oslonci, geodetsko i vizuelno praćenje	Potvrđena geometrija, stabilno privremeno stanje i odobren plan rušenja
2. Temelji i vertikalni elementi	Proširenje temelja, novi stubovi i ramovi, ankerni spojevi	Kontrola podloge, armature, ankera i postignute čvrstoće betona
3. Grede i dijafragme	Lokalno rušenje tavanica, nove grede i AB ploče, obodni serklaži	Provera oslanjanja, kontinuiteta armature i veza ploča-zid
4. Ojačanje zidova	Sanacija podloge, FRCM slojevi, preklopi i ankere	Probna polja, kontrola debljine, položaja mreže i nege maltera
5. Rasterećenje podupirača	Postepeno aktiviranje novog sistema i završni pregled	Potvrđena čvrstoća, prihvatljive deformacije i zapisnik projektantskog nadzora

10. DISKUSIJA

Primer Hotela Union pokazuje da je najvažniji deo rekonstrukcije usklađivanje podataka iz ispitivanja sa modelom i stvarnim redosledom građenja. Razlika u čvrstoći maltera između prizemlja i gornjih etaža bila je veća od jednog reda veličine. Da su za sve zidove usvojene tipične ili prosečne vrednosti, pojedini gornji zidovi bili bi precenjeni, dok bi se donji zidovi nepotrebno ojačavali. Ispitivanja zato nisu samo formalni uslov, već direktno utiču na obim i cenu intervencija.

Zamena tavanica novim AB pločama ima povoljan efekat na prostornu povezanost, ali istovremeno povećava masu i menja raspodelu seizmičkih sila. Zbog toga se nova dijafragma ne može posmatrati odvojeno od zidova i temelja. Isto važi za nove ramove: oni rešavaju velike raspone i rasterećuju određene zidove, ali menjaju krutost nižih etaža i zahtevaju proveru prenosa sila na postojeće temelje. Povoljna situacija na ovom objektu je bila to što su slojevi tavanica bili jako debeli i velike mase, tako da je njihovo uklanjanje dovelo da značajnog vertikalnog rasterećenja temelja, tako da svi dodati novi elementi konstrukcije su ukupne mase manje od uklonjene mase sa objekta.

Konačno rešenje kombinuje tri nivoa intervencije. Prvi nivo čine nove tavanice i veze koje obezbeđuju celovitost. Drugi nivo čine AB ramovi, stubovi i grede koji preuzimaju velika lokalna gravitaciona opterećenja i oblikuju globalni sistem. Treći nivo čine serklaži i FRCM ojačanje

zidova. Ovakav pristup je racionalniji od uniformnog ojačavanja svih zidova, jer se mera bira prema mehanizmu nedostatka i ulozi elementa u sistemu.

Tokom izvođenja je potrebno kontinuirano upoređivati otkriveno stanje sa modelom, posebno u zonama skrivenih oslonaca, temelja i ranijih adaptacija. Kod starih zgrada projektantski model mora ostati otvoren za korekciju kada se konstrukcija u potpunosti otkrije. U skladu sa tim projekat rekonstrukcije ne može i ne sme se ni vremenski ni težinski porediti sa projektom nove konstrukcije, kako za projektovanje tako i za izvođenje.

11. ZAKLJUČAK

Rekonstrukcija Hotela Union sprovedena je kroz povezan niz aktivnosti: pregled dokumentacije i objekta, ispitivanje materijala, definisanje stvarnih ulaznih parametara, formiranje prostornog modela, seizmičku analizu, proveru svakog primarnog zida i projektovanje mera ojačanja. Ovakav redosled omogućio je da se nedostaci razlikuju prema uzroku i da se za svaki deo konstrukcije odabere odgovarajuća intervencija.

Ispitivanja su pokazala izrazitu neujednačenost zidarije po visini, pri čemu su karakteristične čvrstoće zidova na višim etažama približno dva puta manje od vrednosti u prizemlju. Uključivanje tih rezultata u proračun bilo je presudno za realno određivanje kritičnih zidova i izbegavanje i nedovoljnog i prekomernog ojačanja.

Konačno rešenje objedinjuje nove AB dijafragme, ramove, stubove i grede sa serklažima i FRCM ojačanjem odabranih zidova. Time su istovremeno rešeni globalna stabilnost, lokalna nosivost i zahtevi novog arhitektonskog programa. U radu je prikazan fokus na zidanu konstrukciju odnosno zidane zidove, ali značajan deo posla projektovanja i izvođenja je posvećen proračunu, sanaciji i ojačanju AB elemenata.

Prikazani primer potvrđuje da uspešna rekonstrukcija stare zidane zgrade nije rezultat jedne metode, već usklađenog rada na istraživanju, proračunu, detaljisanju i kontroli izvođenja.

REFERENCE

- [1] Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, Elaborat o ispitivanju stanja konstrukcije Hotela Union u Kosovskoj ulici u Beogradu, Beograd, 2025.
- [2] BUREAU CUBE PARTNERS d.o.o., PGD – Projekat konstrukcije za rekonstrukciju, adaptaciju i dogradnju Hotela Union, broj projekta BD I-571.1/26, Beograd, 2026.
- [3] SRPS EN 1998-3:2015, Evrokod 8 – Proračun seizmički otpornih konstrukcija – Deo 3: Procena stanja i ojačanje zgrada, Institut za standardizaciju Srbije.
- [4] SRPS EN 1998-1:2015 i SRPS EN 1998-1/NA:2018, Evrokod 8 – Opšta pravila, seizmička dejstva i pravila za zgrade, Institut za standardizaciju Srbije.
- [5] SRPS EN 1996-1-1:2005, Evrokod 6 – Projektovanje zidanih konstrukcija – Deo 1-1: Opšta pravila za armirane i nearmirane zidane konstrukcije.
- [6] SRPS EN 1992-1-1:2015, Evrokod 2 – Projektovanje betonskih konstrukcija – Deo 1-1: Opšta pravila i pravila za zgrade.
- [7] SRPS EN 1991-1-1:2012, Evrokod 1 – Dejstva na konstrukcije – Deo 1-1: Zapreminske težine, sopstvena težina i korisna opterećenja zgrada.
- [8] SRPS EN 1991-1-3:2012, Evrokod 1 – Dejstva na konstrukcije – Deo 1-3: Dejstva snega.
- [9] CNR-DT 215/2018, Guide for the Design and Construction of Externally Bonded Fibre Reinforced Inorganic Matrix Systems for Strengthening Existing Structures, CNR, Rome, 2018.
- [10] RILEM Recommendation MDT.D.4, In-situ stress tests based on the flat jack, Materials and Structures, Vol. 37, 2004, pp. 491–496.
- [11] RILEM Recommendation MDT.D.5, In-situ stress-strain behaviour tests based on the flat jack, Materials and Structures, Vol. 37, 2004, pp. 497–501.
- [12] ASTM C1531-15, Standard Test Methods for In Situ Measurement of Masonry Mortar Joint Shear Strength Index, ASTM International, 2015.