

METODOLOGIJA PROJEKTOVANJA NADOGRAĐNJE ZIDANIH OBJEKATA

DESIGN METHODOLOGY OF VERTICAL EXTENSION FOR MASONRY BUILDINGS

UDK: 624:728
Stručni rad

Prof. dr Ratko SALATIĆ, dipl. inž. građ.
Prof. dr Rastislav MANDIĆ, dipl. inž. građ.
Marko MARINKOVIĆ, mast. građ. inž.

REZIME

Nadogradnja zidanih objekata je česta potreba u izgrađenim zonama starih delova gradova. Projektovanje nadogradnje je poseban zadatak za konstruktivnog inženjera, koje se odlikuje dodatnim specifičnostima u odnosu na standardna projektovanja konstrukcije. U radu je predstavljena metodologija projektovanja, koja definiše sve neophodne korake za uspešnu nadogradnju, od inicijalnog stanja objekta do programa geodetskog osmatranja. Svaki korak je analiziran, objašnjena njegova svrha i neophodnost, kao i naglašene posledice ako se izostavi u procesu projektovanja. Takođe, u radu su navedene i greške koje se često pojavljuju u inženjerskoj praksi i koje u određenim uslovima mogu dovesti do neželjenih posledica. Izložena procedura predstavlja nacrt stručnog uputstva za inženjere koje bi trebalo urediti stručnom regulativom.

Cljučne reči: nadogradnja, metodologija projektovanja, zidane konstrukcije

SUMMARY

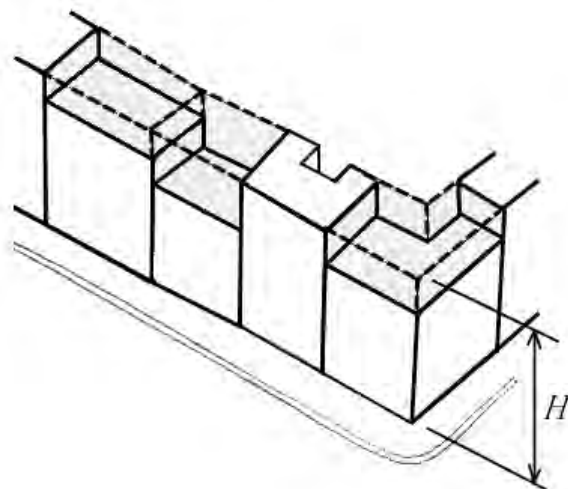
The vertical extension of masonry buildings is a common need in built-up areas of the old city zones. The design of vertical extension is a special task for structural engineers, characterized by additional specifics in relation to a standard structural design. This paper presents a design methodology with all necessary steps for a successful design, starting from the initial state of the building to the program of geodetic monitoring. Each step is analysed, its purpose and necessity is explained. The consequences, if any step is omitted in the design process, are highlighted. The paper also specifies the errors in the engineering practice, which in certain circumstances, can lead to unexpected consequences. The presented procedure represents a draft manual to professional engineers that should be part of design regulations.

Key words: vertical extension, design methodology, masonry buildings

1. UVOD

Nadogradnja objekata pojavljuje se kao realna potreba urbanističko arhitektonskih intervencija prilikom visinske regulacije postojećih objekata u urbanim starim gradskim zonama (slika 1). U Srbiji, u većim gradovima, ekspanzija nadogradnje se značajno javila u vreme ekonomske krize. Ekonomska kriza je usloвила da su investitori insistirali na što jeftinijem rešenju, koje je veoma često ugrožavalo i osnovna pravila struke (slika 2). Prihvatanje takvih rešenja od strane projektanata je direktna odgovornost i stručna savest inženjera.

Praksa u projektovanju nadogradnje objekata u poslednjih dvadesetak godina pokazala je mnoge slabosti. Sa konstruktorskog aspekta gledišta, pravilna nadograd-



Slika 1. Nadogradnja kao posledica urbanističke regulacije visine objekata

Adresa autora: Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd
E-mail: salatic@grf.bg.ac.rs
rale@grf.bg.ac.rs
mmarinkovic@grf.bg.ac.rs

nja objekata je izuzetno značajna naročito u seizmičkim područjima. Mnoge slabosti koje su uočene u procesu projektovanja i izvođenja mogu biti fatalne kako za pojedinca, tako i za širu društvenu zajednicu.

U današnje vreme pojam „nadogradnja objekata“ ima, po pravilu, negativnu konotaciju. Pozitivna i uspešna rešenja, kako u arhitektonskom tako i u konstrukcijskom smislu (slika 3 i slika 4) u potpunosti su zasjenjena preovlađujućom praksom u visokogradnji (slika 2). U svakom slučaju, nadogradnja objekata je specifičan konstrukcijski zadatak, pa je namera da se u radu predloži postupak (metodologija) proračuna za potrebe projektovanja nadogradnje objekata u seizmički aktivnim područjima. Taj postupak prati i odgovarajući sadržaj tehničke dokumentacije za proračun građevinske konstrukcije, kojoj prethodi pribavljanje i definisanje neophodnih podataka za proračun.

Postojeće konstrukcije planirane za nadogradnju odražavaju praksu i saznanja u trenutku njihove izgradnje sa rizikom mogućih skrivenih grešaka i defekata od pretrpljenih prethodnih zemljotresa ili drugih incidentnih



Slika 2. Paradigma prakse nadogradnje objekata poslednjih dvadeset godina



Slika 3. Nadogradnja zgrade Istorijskog muzeja Srbije (zgrada bivše Agrarne banke)



Slika 4. Nadogradnja zgrade tehničkih fakulteta u Beogradu

dejtava (bombardovanje, požar i sl.). Konstruktivne procene i intervencije su najčešće podložne drugačijem stepenu nepouzdanosti nego pri projektovanju novih konstrukcija. Zbog toga je potrebno definisati drugačije skupove faktora sigurnosti za materijale i konstrukcije, kao i drugačije postupke analize u zavisnosti od kompletnosti i pouzdanosti dostupnih podataka (Evrokod 8 EN 1998-3, 2005).

2. POJAM I ZNAČENJE NADOGRAĐNJE OBJEKATA

Nadogradnja objekata je vrsta rekonstrukcije objekata pri kojoj dolazi do dogradnje objekata, to jest izgradnje novog prostora nad postojećim objektom sa kojim čini funkcionalnu ili konstruktivnu celinu.

Nova konstruktivna celina po pravilu ima veću visinu objekata (konstrukcije) i veću masu, a samim tim i veća vertikalna opterećenja. Nova opterećenja na većoj visini u seizmičkim područjima zahtevaju kompletnu seizmičku analizu objekata. Veoma često rezultat te analize je potreba za sanacijom i ojačanjem konstrukcije. Pod sanacijom podrazumeva se izvođenje građevinskih radova na postojećem objektu kojima se vrši popravka ili zamena konstruktivnih elemenata objekata. Ojačanje konstrukcije je povećanje lokalnog ili globalnog kapaciteta nosivosti i/ili graničnog stanja upotrebljivosti konstrukcije ili elementa konstrukcije.

3. KOMENTAR AKTUELNE ZAKONSKE REGULATIVE

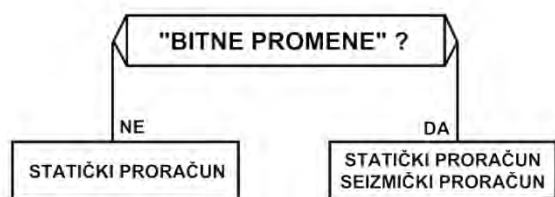
Aktuelna domaća tehnička regulativa koja definiše ovu oblast je izuzetno skromna, ali je definisana jasnim stavovima. Data je samo u jednom članu 115a važećeg Pravilnika o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima (u daljem tekstu Pravilnik). Članom Pravilnika, koji se odnosi na adaptaciju i rekonstrukciju postojećih objekata, definiše se zahtevana seizmička otpornost postojećih objekata posle adaptacije i rekonstrukcije, koja mora biti ispunjena po jednom od dva kriterijuma:

1. objekti kod kojih izvođenjem adaptacije i rekonstrukcije ne nastaju bitne promene moraju posle izvedenih radova biti seizmički otporni kao što su bili pre izvedenih radova;

2. objekti kod kojih izvođenjem adaptacije i rekonstrukcije nastaju bitne promene moraju posle izvedenih radova biti seizmički otporni u smislu odredaba Pravilnika.

Pod "bitnim promenama", u smislu odredbe Pravilnika, podrazumeva se podizanje jednog sprata ili više spratova, dogradnja uz postojeći objekat površine veće od 10% površine objekta, rekonstrukcija ili adaptacija objekta čija se postojeća površina smanjuje za 10%, i ako se masa objekta povećava ili smanjuje za više od 10%.

Drugim rečima, ako nije ispunjen uslov "bitnih promena", nije potreban seizmički proračun za dograđeni objekat i seizmička otpornost objekta se zadržava na postojećem nivou, ne utvrđujući da li je dovoljna ili ne za ustanovljenu seizmičnost. U protivnom, ako je uslov ispunjen, dograđeni objekat mora da ispuni uslove seizmičke otpornosti kao da je u pitanju izgradnja novog objekta, odnosno sve odredbe Pravilnika (slika 5). U drugom slučaju, sa konstruktorskog aspekta, problem se znatno komplikuje, jer postojeći objekat možda nije seizmički otporan u smislu Pravilnika. Posledica je da, dogradnjom objekta treba izvršiti rekonstrukciju tako da objekat kao celina ispunjava zahteve seizmičke otpornosti. U slučaju kada postojeći objekat nije izgrađen u skladu sa principima projektovanja aseizmičkih objekata, javlja se potreba za značajnim obimom građevinskih radova na sanaciji i ojačanju konstrukcije. Ovaj činjenica može biti odlučujuća za procenu opravdanosti investicije nadogradnje objekta.

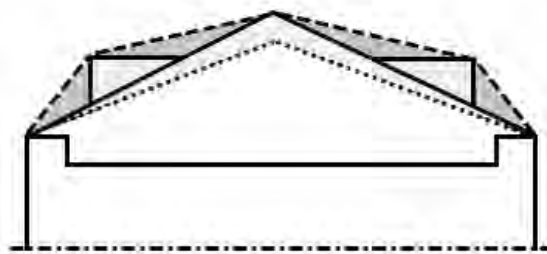


Slika 5. Kriterijum za vrstu proračuna

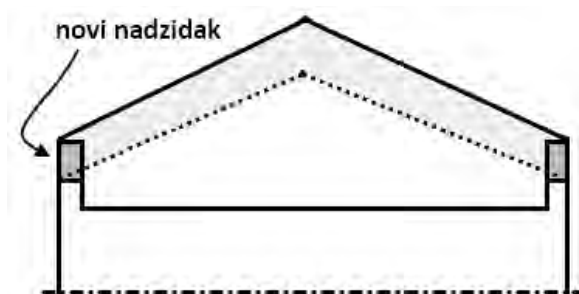
Iako su odredbe Pravilnika jasne, one se često pogrešno tumače u cilju da se izbegnu značajni troškovi eventualne sanacije i rekonstrukcije postojećeg objekta. Stav "da se masa objekta ne povećava za više od 10%" se često zloupotrebljava nekorektnim računicama, kako bi on bio osnov da se izbegne kompletan seizmički proračun, odnosno da se izbegne veći obim radova koji je relevantan za odluku o nadogradnja objekta.

Primećeno je u praksi, da projektant dokazuje da je opterećenje postojeće tavanice manje od opterećenja tavanice nakon dogradnje. Ova konstatacija, iako može biti u određenim slučajevima tačna, nije jedino relevantna za ponašanje celokupne konstrukcije objekta i primenu kriterijuma da nije došlo do "bitnih promena". Nadogradnja, odnosno adaptacija objekta, samo izuzetno može

usloviti smanjenje ukupnog vertikalnog opterećenja, ako je poslednja tavanica bila opterećena većim balastom i ako se primenju savremeni izuzetno laki materijali. To eventualno može biti u retkim slučajevima adaptacije potkrovlja kao što je prikazano na slici 6 ili sa veoma malim nadzirkom (slika 7). Takođe, prenebregava se jasan stav "podizanje jednog sprata ili više spratova", odnosno da povećanje spratnosti zahteva detaljnu i kompletnu seizmičku analizu integralnog objekta. U konstruktorskom smislu reči, ovaj stav podrazumeva projektovanje bilo koje dodatne tavanice, etaže ili međuetage, koje su opterećene korisnim opterećenjem, jer se na taj način formira nova masa u dinamičkom proračunu.



Slika 6. Adaptacija potkrovlja sa badžama ili promenama krovnih ravni



Slika 7. Nadogradnja potkrovlja sa nadzirkom

U okviru Evrokoda 8, Deo 3, razmatraju se konstrukcijski aspekti seizmičke procene i ojačanja objekata. Kako se pri projektovanju nadogradnje obavezno vrši seizmička procena objekta, a veoma često se javlja i potreba za ojačanjem, odgovarajuće odredbe ovog propisa se mogu primeniti. Evrocod 8 u delu koji se odnosi na seizmičku procenu stanja i ojačanja zgrada predlaže proveru tri granična stanja za nadograđene objekte, kao odgovor zgrade na seizmičko dejstvo:

- granično stanje blizu rušenja;
- granično stanje značajnog oštećenja;
- granično stanje ograničenih oštećenja.

Pored toga, u zavisnosti od nivoa saznanja o geometriji objekta, detaljima objekta i materijalima, propisuje se vrsta seizmičkog proračuna kao i faktori pouzdanosti, koje treba primeniti u proračunu.

4. OPŠTI PRINCIPI NADOGRAĐNJE

Za pravilnu i uspešnu nadogradnju treba se pridržavati sledećih opštih principa nadogradnje:

– nadogradnja objekta ne sme ni na koji način da ugrožava susedne objekte i postojeću infrastrukturu;

– nadogradnja objekta ne sme pogoršati upotrebljivost pojedinih delova objekta za svrhe kojima služe i druge uslove korišćenja objekta;

– nadogradnja objekta ne sme smanjiti seizmičku otpornost objekta;

– elementi konstrukcije, razmatrajući ih globalno i lokalno, po dovršenoj nadogradnji treba da ispunjavaju zahteve nosivosti, stabilnosti i upotrebljivosti.

Treba imati u vidu da za veliki broj starijih objekata sa zidanom konstrukcijom, namenjenih za nadogradnju, nije razmatrana seizmička otpornost objekta u vreme projektovanja i izgradnje. U seizmički aktivnim područjima neophodno je sprovesti i analizu kriterijuma za evaluaciju mogućnosti uspešne nadogradnje, sa aspekta seizmičke otpornosti postojećeg objekta. Ti principi su zasnovani na osnovnim principima projektovanja aseizmičkih objekata. Utvrđivanje da li su principi ispoštovani, sprovodi se analizom karakteristika objekta za nadogradnju, i to:

- analizom lokacije;
- analizom regularnosti osnove objekta;
- analizom regularnosti vertikalne dispozicije;
- analizom veličine i rasporeda masa;
- analizom diskontinuiteta krutosti objekta;
- analizom konstruktivnog sistema.

Ukoliko se analizom utvrdi da se značajno odstupa od nekog principa, dogradnja objekta verovatno neće imati ekonomsku opravdanost.

5. FAZE PROJEKTOVANJA NADOGRAĐNJE

Faze izrade tehničke dokumentacije nadogradnje su znatno zahtevnije u poređenju sa tehničkom dokumentacijom sličnog novog objekta. Nemogućnost naplate pune cene troškove izrade projektne dokumentacije, dovodi do loše prakse i smanjivanja obima neophodne dokumentacije. Na slici 8 prikazan je pregled neophodnih faza izrade projektne dokumentacije za nadogradnju objekta. Izbegavanje nekih od faza proračuna dovodi do nekvilitetnih projektata i neženjenih posledica. Samo tehnička regulativa koja bi propisala minimalni sadržaj tehničke dokumentacije nadogradnje rešila bi lošu praksu.

U projektu nadogradnje ne moraju sve faze izrade tehničke dokumentacije biti podjednako značajne za konkretnu nadogradnju objekta, ali je izuzetno važno svakoj fazi pristupiti temeljno i analitički. Jedan naizgled nebitan podatak može biti odlučujući za uspešnost projekta nadogradnje.

5.1. Inicijalno stanje objekta

Potrebno je utvrditi inicijalno stanje objekta, tj. originalno projektovanu konstrukciju i inicijalno projektovano opterećenje. U svom veku objekta dešava se da se više puta interveniše na nosećim elementima konstrukcije, ili čak da se više puta sprovede i nadogradnja. Konstrukcija se nakon svih tih intervencija, ukoliko ima rezerve u kapacitetu nosivosti, ponaša kao živ organizam,

1	Inicijalno stanje objekta	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Snimak postojećeg stanja objekta	<input type="checkbox"/>
	▪ Dimenzije i geometrija objekta	<input checked="" type="checkbox"/>
	▪ Konstruktivni sistem objekta	<input checked="" type="checkbox"/>
	▪ Mehaničke karakteristike materijala	<input checked="" type="checkbox"/>
	▪ Stvarna opterećenja	<input checked="" type="checkbox"/>
	▪ Defektoskopija objekta	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Snimak susednih objekata	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Snimak okolne infrastrukture	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Geomehanički elaborat	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Mikroseizmička rejonizacija	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Utvrđivanje intenziteta vertikalnih sila	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Provera nosivosti postojeće konstrukcije	<input checked="" type="checkbox"/>
9	Provera nosivosti tla	<input checked="" type="checkbox"/>
10	Provera sleganja	<input type="checkbox"/>
	▪ Nadograđenog objekta	<input checked="" type="checkbox"/>
	▪ Susednih objekata	<input checked="" type="checkbox"/>
	▪ Okolne infrastrukture	<input checked="" type="checkbox"/>
11	Proračun novih elemenata konstrukcije	<input checked="" type="checkbox"/>
12	Seizmički proračun	<input checked="" type="checkbox"/>
13	Ojačanje i sanacija	<input checked="" type="checkbox"/>
14	Program geodetskog osmatranja objekta	<input checked="" type="checkbox"/>

Slika 8. Kontrolna lista faza izrade tehničke dokumentacije za nadogradnju objekta

dešava se preraspodela opterećenja, kako u nosećim tako i u nenosećim elementima objekta.

Pouzdanije informacije moguće je jednostavnije pribaviti samo u slučaju postojanja originalne projektne dokumentacije. U protivnom treba to utvrditi sa detaljnim pregledom i pažljivom analizom postojećeg stanja. Često se pravi greška da je zatečeno postojeće stanje polazna tačka za planiranu nadogradnju. Takođe, pogrešno se primenjuje kriterijum “bitnih promena”, jer se on odnosi na inicijano projektovanu i izvedenu konstrukciju, a ne na postojeće stanje objekta. Pored, navedenog treba imati u vidu i mogućnost da objekat nije u potpunosti izveden prema inicijalnom projektu, a da ne postoji neki pisani dokaz o tome, kao što su građevinski dnevnik ili projekat izvedenog stanja.

5.2. Snimak postojećeg stanja objekta

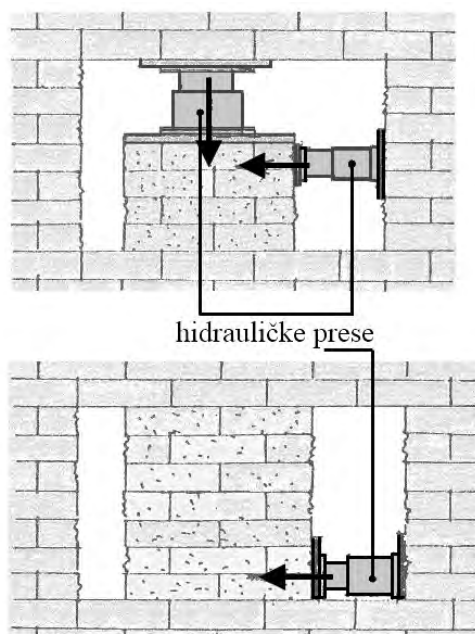
Snimak postojećeg stanja je obavezna podloga za projektovanje. Potrebno je uporediti pribavljenu arhivsku dokumentaciju sa postojećim stanjem, i to geometriju elemenata konstrukcije, mehaničke karakteristike ugrađenog materijala, stvarna opterećenja i defektoskopija objekta. Ova faza je veoma zahtevna, a obim prikupljanja podataka prema podfazama je određen iskustvom inženjera projektanta. Za manje iskusne inženjere preporučuje se primena kriterijuma o identifikaciji nivoa znanja o objektu datih u Evrokodu EN 1998-3.

5.2.1. Dimenzije i geometrija objekta

Utvrđivanje dimenzija i geometrije objekta, podrazumeva pribavljanje ili izradu svih osnova objekta i karakterističnih preseka, odnosno utvrđivanje dimenzija svih bitnih elemenata konstrukcije objekta, kako nosećih tako i nenosećih elemenata. U snimanju geometrije obično najveći problem je snimanje temelja, pa po potrebi treba sprovesti i kontrolna iskopavanja, jer tačnost dimenzija temelja ima bitnu ulogu u proračunu.

5.2.2. Konstruktivni sistem objekta

Na osnovu svih podataka o geometriji i položaju elemenata konstrukcije potrebno je utvrditi konstruktivni sistem objekta i identifikovati kako noseće elemente tako i nenoseće elemente. Posebnu pažnju treba obratiti i na tip fundiranja objekta i temeljnu konstrukciju.



Slika 9. Čvrstoća na smicanje "in situ"

5.2.3 Mehaničke karakteristike ugrađenog materijala

Kao sastavni deo snimka postojećeg stanja objekta je i utvrđivanje mehaničkih karakteristika ugrađenog materijala. Ispitivanje se može sprovesti "in situ" ili u laboratoriji, ali u svakom slučaju treba izdvojiti finansijska sredstva još u proceduri projektovanja. Prilikom ispitivanja zidanih konstrukcija prednost imaju ispitivanja "in situ", pre svega zbog otežanog manipulisanja uzorcima, kao i očuvanja njihove celovitosti, u cilju dobijanja realnih karakteristika. Na slici 9. prikazan je postupak "in situ" ispitivanja nosivosti na smicanje zida, gde se jasno može uočiti obim i složenost radova pri ispitivanju. U slučaju ispitivanja temelja zidanih konstrukcija koji su izvedeni od betona, primerenija je metoda sa razaranjem na određenom broju kernova, na mestima na kojima se svakako vrši otkopavanje temelja sa ciljem njihovog snimanja.

Za dogradnje manjeg obima ili "značajaj", kad se ne sprovede detaljna eksperimentalna istraživanja, karakte-

ristike materijala se usvajaju u preporučenim opsezima. Kako taj postupak nije jednoznačan, treba biti iskusan i pažljiv pri usvajanju vrednosti, jer su za zidane konstrukcije dosta veliki intervali mehaničkih karakteristika primenjenih materijala. Pored toga, stepen nepouzdanosti podataka o karakteristikama materijala je znatno veći nego pri projektovanju novih konstrukcija. Osnovne veličine koje treba utvrditi su: čvrstoća pri pritisku zida i čvrstoća pri smicanju zida.

5.2.4. Stvarna opterećenja

Utvrđivanje stvarnih opterećenja i definisanje intenziteta korisnog opterećenja je takođe veoma bitan podatak u snimku postojećeg stanja objekta. U svom veku, koji je veoma često za zidane zgrade i preko 50 godina, često se dešava da je došlo do prenamena prostora i slično, što ima za posledicu i promenu stalnog i korisnog opterećenja, kao i šeme opterećenja. U analizi snimka stvarnog opterećenja, uzimajući u obzir i konstruktivni sistem, potrebno je utvrditi i tok prenosa vertikalnog opterećenja.

5.2.5. Defektoskopija objekta

Posebnu pažnju treba posvetiti snimku defektoskopije celog objekta, tj. identifikaciji oštećenja. Snimak defektoskopije daje najbolju sliku stanja objekta. Nakon snimka defektoskopije treba napraviti klasifikaciju prslina i pukotina i analizirati uzroke njihovog nastanka. Defektoskopija je značajna i u pravnom smislu, kako bi se nakon sprovedene nadogradnje tačno znalo koje su pukotine nastale pre, a koje posle nadogradnje. U tom smislu dokumentacija treba da bude uredna, precizna, jasna, detaljna, sa podacima koji mogu poslužiti za eventualno veštačenje.

Zahvaljujući razvoju tehnologije i tehnike danas postoji veći broj metoda za izradu snimka defektoskopije. Sve metode mogu se podeliti u tri osnovne grupe: destruktivne, poludestruktivne i nedestruktivne metode. Zavisno od mogućnosti i slučaja zidane konstrukcije, mogu se primeniti: endoskopsko ispitivanje, zvučna i ultrazvučna testiranja, flat-jack test, test povlačenja, sklerometar, dinamičko ispitivanje. Zadatak snimanja defekata objekta kod izuzetno oštećenih zgrada može biti veoma komplikovan, pa ga po potrebi treba prepustiti specijalizovanoj kompaniji koja raspolaže potrebnim praktičnim iskustvom i opremom za ispitivanje. Preporučuje se kombinovana primena destruktivnih i nedestruktivnih metoda, jer daje veću pouzdanost pribavljenih podataka.

Pretpostavka je se prikupljanje podataka i ispitivanje konstrukcije ili materijala obavlja od strane iskusnog stručnog osoblja i inženjera, koji je odgovoran za projektovanje nadogradnje.

5.3. Snimak susednih objekata

Utjecaj nadgradnje može biti i na susedne objekte. Zato se predlaže generalni snimak i defektoskopija spoljnih zidova susednih objekata, ako su objekti jedan do drugog, ili ako je rastojanje između njih malo. Ovaj

snimak može biti izuzetno koristan ako ga je potrebno uporediti sa snimkom nakon završene nadogradnje predmetnog objekta.

5.4. Snimak okolne infrastrukture

Takođe treba pribaviti podatke o infrastrukturi koja je u dodiru ili se nalazi u neposrednom okruženju objekta planiranog za nadogradnju. Uticaj sleganja može imati izuzetno nepovoljan uticaj, naročito na vodovodnu i kanalizacionu mrežu. Eventualna havarija ove infrastrukture ima često prouzrokuje dodatna sleganja, kako na nadograđenog objekta, tako i na njemu susednih objekata.

5.5. Geomehanički elaborat

Obavezna podloga za projektovanje je svakako i geomehanički elaborat. Na osnovu podataka iz elaborata određuju se bitni parametri za nadogradnju: sleganje tla i nosivost tla. Po pravilu neophodno je sprovesti terenska istraživanja, a ne koristiti samo podatke iz geoloških karata uže zone objekta. Nepovoljan nivo podzemne vode, kao i opasnost od vlaženja lesnih slojeva, mogu biti odlučujući faktori za stabilnost nadograđenog objekta.

5.6. Mikro seizmička rejonizacija

U zavisnosti od obima i značaja nadogradnje treba obezbediti i mikro seizmičku rejonizaciju. Trošak izrade ove studije je beznačajan u poređenju sa značajem pouzdanijih ulaznih podataka za seizmički proračun. Tu se pre svega misli da podatak maksimalnog očekivanog ubrzanja tla na nivou temeljne konstrukcije.

5.7. Određivanje intenziteta dodatnih vertikalnih sila

Dogradnjom objekta dolazi do dodatnog vertikalnog opterećenja objekta. Ovo opterećenje predstavlja stalno i korisno opterećenje i nije ga komplikovano odrediti. Dodatno vertikalno opterećenje deluje na sve vertikalne elemente konstrukcije i temeljnu konstrukciju postojećih objekta. Promena vertikalnog opterećenja (smanjenje ili povećanje) postoji i na poslednjoj tavanici objekta postojećeg objekta.

5.8. Provera nosivosti postojeće konstrukcije usled povećanog vertikalnog opterećenja

Provera obuhvata proveru svakog vertikalnog elementa postojeće konstrukcije za ukupno vertikalno opterećenje, postojeće i dodatno usled nadogradnje. Na osnovu ove provere može se proceniti obim potrebne sanacije i ojačanja postojećih elemenata konstrukcije za povećano vertikalno opterećenje. Saznanje o troškovima sanacije i ojačanje može uticati na odluku da li će se ostati pri odluci o investiranju u nadogradnju. Uobičajena praksa je da se razmatra investicija nadogradnje samo na osnovu troškova nadograđenog dela objekta, a ne i na osnovu intervencija na postojećoj konstrukciji.

5.9. Provera nosivosti tla

Povećanje ukupnog vertikalnog opterećenja izaziva povećano naprezanja i temeljnog tla, što treba proveriti

da li je u dozvoljenim granicama. Kod starijih objekata, tlo ispod postojećih temelja je završilo proces konsolidacije, što treba uzeti u proračunu pri određivanju nosivosti tla, kao pri proračunu sleganja tla.

5.10. Proračun sleganja

Teoretski gledano u svakom slučaju za dodatno vertikalno opterećenje pojavice se i dodatno sleganje. Da li je nivo dobijenog dodatnog sleganja prihvatljiv ili ne, zavisi prvenstveno od osetljivosti konstrukcije na sleganje, kao i da li se očekuje pojava nejednakog sleganja. Dodatno naprezanje usled nadogradnje po pravilu izaziva vertikalna pomeranja konstrukcije usled sleganja, koja uslovljavaju određene veće ili manje pukotine. Pojava pukotina je skoro obavezna u malterisanim zidovima debljeg sloja. Nisu sve pukotine "opasne", već samo one koje se pojavljuju u nosećim elementima. Posledice sleganja se lako se uočavaju ako su veća, jer obično poremete neke elemente objekta, zatvaranje vrata ili prozora, prouzrokuju pucanje keramičkih pločica ili pucanje kruto zalivenih kanalizacionih cevi. Kao primer takvih događaja, na slici 10 prikazano je izvijanje letvica u podrumskim ostavama usled sleganja temelja nakon dogradnje objekta.



Slika 10. Izvijanje drvenih letvica u podrumskim ostavama

Proračun sleganja je takođe bitan za susedne objekte i infrastrukturu. Na taj podatak treba obratiti posebnu pažnju, jer eventualno pucanje cevi može dovesti do velike materijalne štete, a posledično i do uticaja na konstrukciju, pogotovo za tla koja su osetljiva na vlaženje.

5.11. Proračun novih konstruktivnih elemenata

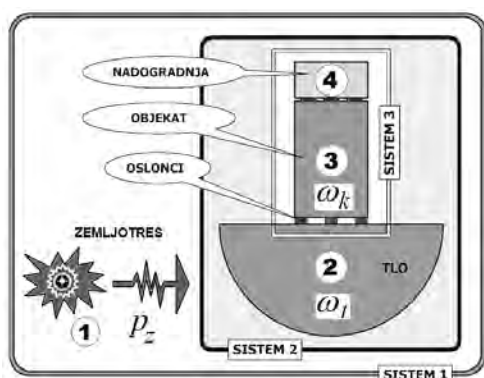
Konstruktivni inženjer treba da utiče na rešenje arhitektonskog projekta nadogradnje tako da ono bude u skladu sa glavnim opštim principima: što lakša konstruk-

cija, jasan konstruktivni sistem, poštovanje kontinuiteta slične horizontalne krutosti po visini objekta.

Za uobičajenu analizu opterećenja zgrada treba izvršiti dimenzionisanje novih elemenata konstrukcije u dograđenom delu objekta i proveriti njihovu nosivost i upotrebljivost.

5.12. Seizmički proračun

Seizmički proračun je bitno složeniji od proračuna za statičko opterećenje, pa je neophodno na početku seizmičkog proračuna usvojiti određene pretpostavke. To pre svega znači definisati opštost primene proračuna (slika 11). Od prikazanih sistema koji se mogu razmatrati, uobičajeno se u proračunima primenjuje najjednostavniji "Sistem 3", koji predstavlja objekat sa nadogradnjom oslonjen na fiksni (krutim) oslocima. S obzirom na činjenicu da su zidane konstrukcije krute konstrukcije, deformabilnost posloge može uticati na period oscilovanja.



Slika 11. Opštost razmatranja u seizmičkom proračunu

Seizmičko opterećenje je po svojoj prirodi dinamičko opterećenje sa određenim frekventnim karakteristikama (predominantni period). Odnos tih frekventnih karakteristika prema dinamičkim karakteristikama objekta je važan faktor za veličinu zemljotresnog dejstva na objekat. Dogradnjom objekta se menjaju i/ili dodaju spratne mase, što utiče ne samo na intenzitet seizmičkog opterećenja već i na raspored seizmičkih sila po visini. Takođe, nagle promene međuspratnih krutosti dograđenih delova u odnosu na postojeće, mogu da utiču na značaj viših tonova u ukupnom odgovoru.

Na Slici 12 dat je pregled svih delova seizmičkog proračuna za slučaj izrade projekta nadogradnje.

12	SEIZMIČKI PRORAČUN	
12.1	Provera opštih kriterijuma Pravilnika	<input checked="" type="checkbox"/>
12.2	Ukupna seizmička sila	<input checked="" type="checkbox"/>
12.3	Proračun veze sa postojećim objektom	<input checked="" type="checkbox"/>
12.4	Provera nosivosti na smicanje zidova	<input checked="" type="checkbox"/>
12.5	Provera nosivosti pritisnutog dela zida	<input checked="" type="checkbox"/>
12.6	Provera bočne nosivosti zida	<input checked="" type="checkbox"/>
12.7	Provera nosivosti tla	<input checked="" type="checkbox"/>
12.8	Provera razdelnica sa susednim objektom	<input checked="" type="checkbox"/>

Slika 12. Kontrolna lista delova seizmičkog proračuna

Prvi korak u seizmičkom proračunu je je provera da li je nadograđeni objekat u saglasnosti sa odredbama aktuelnog Pravilnika. Veoma je teško ispuniti na postojećem objektu, koji nije građen po aseizmičkim pravilima, sve zahteve Pravilnika. Međutim, opšte, glavne odredbe moraju biti ispoštovane. Za pojedine stavove koji se nisu primenili, neophodno je dokazati da oni nisu od presudnog značaja za seizmičku otpornost nadograđenog objekta.

Prvi kriterijum, koji može biti ograničavajući za planiranu dogradnju, je dozvoljeni broj spratova za pojedine vrste zidanih konstrukcija (Tabela 1). Ovako definisan kriterijum spratnosti zidanih konstrukcije je strog i ograničavajući za veliki broj eventualno planiranih nadgradnji. Ukoliko se odstupa od ovog kriterijuma, neophodno je proračunom dokazati da je osnovni zahtev zadovoljen, što znači: "objekti visokogradnje se projektuju tako da zemljotresi najjačeg intenziteta mogu prouzrokovati oštećenja nosivih konstrukcija, ali ne sme doći do rušenja tih objekata".

Tabela 1. Dozvoljeni broj spratova za zidane zgrade (Pravilnik, 1981-90)

vrsta zidane konstrukcije	seizmički stepen		
	IX	VIII	VII
obične	—	P + 1	P + 2
sa vertikalnim serklažima	P + 2	P + 3	P + 4
armirane	P + 7	P + 7	P + 7

Osnovni sistem zidanih konstrukcija su noseći zidovi u dva ortogonalna pravca objekta, povezani u visini krutih međuspratnih konstrukcija horizontalnim serklažima. Međuspratne konstrukcije moraju biti krute u svojoj ravni, a temeljna konstrukcija treba da poseduje dovoljnu krutost u ravni temelja. Vertikalni serklaži obavezno se postavljaju na svim uglovima objekta, na mestima sučeljavanja nosivih zidova, kao i na slobodnim krajevima nosećih zidova. Sve ove zahteve, koji obezbeđuju seizmičku otpornost zidanih zgrada, moguće je ispuniti samo uz obimne intervencije na objektu.

U zavisnosti od seizmičnosti lokacije potrebno je odrediti seizmičko opterećenje, a zatim sprovesti seizmički proračun za celovitu konstrukciju. To podrazumeva proračun kapaciteta seizmičke otpornosti objekta i globalno i lokalno, za pojedine konstruktivne elemente. Ceo proračun zidova, što uključuje proveru nosivosti na smicanje, proveru nosivosti pritisnutog dela zida i proveru bočne nosivosti zida, može se sprovesti prema Pravilniku ili Evrokodu 6 i Evrokodu 8 (Salatić i dr., 2013). Posebnu pažnju treba posvetiti proračunu veze dograđenog dela objekta sa postojećim, koju treba dimenzionisati na horizontalnu inercijalnu silu u nivou veze.

Kod krutih konstrukcija treba proveriti i dodatno opterećenje tla usled rotacije konstrukcije, odnosno temelja, kao krutog tela.

Takođe treba proveriti i aseizmičke razdelnice sa susednim objektima i na taj način sprečiti eventualni sudar objekata.

5.13. Predlog sanacije i ojačanja

Kriterijumi za konstruktivnu intervenciju (sanaciju ili ojačanje) zasnivaju se na proceni stanja konstrukcije i sprovedenom seizmičkom proračunu integralnog objekta. Prema Evrokodu 8 kriterijumi se zasnivaju na razmatranju sledećih činjenica:

- sve uočene velike lokalne greške treba popraviti;
- kod izrazito neregularnih zgrada, regularnost zgrada treba poboljšati što je više moguće i po visini i u osnovi;
- povećanje lokalne duktilnosti treba izvesti gde god je to potrebno;
- povećanje nosivosti nakon intervencije ne sme da umanjuje raspoloživu globalnu duktilnost;
- zahtevane karakteristike regularnosti zgrade mogu se postići izmenom nosivosti i/ili krutosti određenog broja komponenti ili uvođenjem novih konstruktivnih elemenata;
- neduktilne nadvratne ili nadprozorne grede treba zameniti;
- neadekvatne spojeve između tavanica i zidova treba poboljšati;
- eliminisati mogućnost bočnog probijanja zida.

Tip intervencije može se klasifikovati u nekoliko vrsta:

- lokalna ili celokupna promena (zamena) oštećenih i neoštećenih elemenata uzimajući u obzir krutost, nosivost ili duktilnost elemenata;
- dodavanje novih konstruktivnih elemenata;
- izmena konstruktivnog sistema u cilju dobijanja regularnijeg i duktilnijeg sistema;
- dodavanje novog konstruktivnog sistema za delimično ili potpuno prihvatanje seizmičkih uticaja;
- transformaciju nenosećih elemenata u noseće elemente konstrukcije;
- uvođenje pasivne kontrole ponašanja konstrukcije;
- redukcija masa;
- ograničenje ili promena namene zgrade;
- delimično rušenje elemenata ili zgrade.

Kod zidanih zgrada najčešće intervencije sanacije i ojačanja su sanacija pukotina, sanacija i ojačanje zidova, sanacija i ojačanje spojeva zidova, ukrućivanje tavanica i poboljšanje veze sa zidovima, sanacija ili ugradnja serklaža, ojačanje horizontalne krutosti objekta i ojačanje temeljne konstrukcije. Svaka od ovih intervencija je složena i može biti predmet posebnog rada.

5.14. Program geodetskog osmatranja objekta

Geodetsko osmatranje treba da potvrdi celovitog proračuna dogradnje objekta. Repere za geodetsko osmatranje treba postaviti pre početka izvođenja radova, kako bi se za vreme izvođenja radova pratila pomeranja pri različitim fazama opterećenja i po potrebi intervenisalo u proračunu i predloženom rešenju dogradnje. Preporučuje se praćenje sleganja i susednih objekata, dok ne dođe do stabilizacije vrednosti ukupnog sleganja nadograđenog objekta. Elaborat po potrebi može poslužiti i za proces veštačenja, pa ovu činjenicu treba imati u vidu od početka njegove izrade.

6. ZAKLJUČAK

Dogradnja zidanog objekta je specifičan konstrukterski zadatak pre svega zbog velikog broja nepoznatih podataka neophodnih za proračun. Nepoznate veličine su posledica vremenske distance u odnosu na vreme projektovanja i izgradnje objekta, kao i istorije incidentnih događaja u životnom veku objekta (zemljotresi, požari, bujice i sl.)

Za pravilnu i uspešnu nadogradnju preporučuje se:

- detaljnost i sistematičnost u postupku izrade projektno dokumentacije;
- posebna pažnja pri prikupljanju što pouzdanijih ulaznih podataka;
- poštovanje osnovnih principa i pravila projektovanja aseizmičkih objekata;
- obezbeđenje ponašanja celog sistema i elemenata sistema prema pretpostavkama proračuna;
- detaljna razrada detalja za izvođenje radova;
- kvalitetan nadzor nad izvođenjem radova.

U našoj sredini nadogradnja objekata je dugo prisutna u graditeljskoj praksi. Činjenica da postoji veliki broj nestručno izvedenih nadograđenih objekata ima poseban društveni značaj zbog nesagledivih posledica čak i u slučaju dejstva projektnog zemljotresa. Zbog toga je potrebno je da se precizira tehnička regulativa i izdaju posebne smernice sa preciznom metodologijom za projektovanje pri nadogradnji. Takođe, treba da se sagleda mogućnost preventivne sanacija loše izvedenih nadograđenih objekata.

LITERATURA

- [1] Aničić D., Fajfer P., Petrović B., Szavits – Nossan A., Tomažević M., Zemljotresno inženjerstvo – visokogradnja, Građevinska knjiga, Beograd, 1990.
- [2] Evrokodovi za konstrukcije Evrokod 2: EN 1992-1-1:2004, Proračun betonskih konstrukcija Deo 1-1: Opšta pravila i pravila za zgrade, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2006.
- [3] Evrokodovi za konstrukcije Evrokod 6: EN 1996-1-1:2005, Proračun zidanih konstrukcija Deo 1-1: Opšta pravila za armirane i nearmirane zidane konstrukcije, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2009.
- [4] Evrokodovi za konstrukcije Evrokod 8: EN 1998-1-1:2004, Proračun seizmički otpornih konstrukcija Deo 1-1: Opšta pravila, seizmička dejstva i pravila za zgrade, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2009.
- [5] Evrokodovi za konstrukcije Evrokod 8: EN 1998-3 2005, Proračun seizmički otpornih konstrukcija Deo 3: Proračun seizmički otpornih konstrukcija, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2009.
- [6] Muravljev M., Živković S. i Kovačević T., Metodologija ispitivanja kvaliteta materijala pri izvođenju zidanih zgrada, Savetovanje nadogradnja stambenih i javnih zgrada, Beograd, 2000.
- [7] Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima Službeni list SFRJ 35/81, 49/82, 29/83, 21/88, 52/90
- [8] Salatić R. Mandić R. i Marinković M., Seizmički proračun zidanih zgrada prema Evrokodu 8, Izgradnja, godina 67, broj 5-6, 2013
- [9] Čaušević A., Rustempašić N. i Skoko M, Destruktivne i nedestruktivne metode ispitivanja materijala kod zidanih konstrukcija, VII Naučno/stručni simpozij sa međunarodnim učešćem, Zenica, BiH, 2008.
- [10] Zakon o planiranju i izgradnji, Sl. glasnik RS”, br. 72/09, 81/09, 64/10 – odluka US, 24/11 i 121/12