

Primljen / Received: 11.12.2024.

Ispravljen / Corrected: 7.3.2025.

Prihvaćen / Accepted: 12.3.2025.

Dostupno online / Available online: 10.4.2025.

# Zašto smo morali srušiti stambeni blok oštećen u potresu u Ulici Hrvatskog narodnog preporoda u Sisku

## Autori:



Mr.sc. **Dragan Kovač**, dipl.ing.građ.  
Capital Ing d.o.o., Zagreb, Hrvatska  
[dragan.kovac@capitaling.hr](mailto:dragan.kovac@capitaling.hr)  
Autor za korespondenciju



**Juraj Herenda**, mag.ing.aedif.  
Capital Ing d.o.o., Zagreb, Hrvatska  
[juraj.herenda@capitaling.hr](mailto:juraj.herenda@capitaling.hr)

Stručni rad

**Dragan Kovač, Juraj Herenda**

## Zašto smo morali srušiti stambeni blok oštećen u potresu u Ulici Hrvatskog narodnog preporoda u Sisku

Stambeni blok u Ulici Hrvatskog narodnog preporoda u Sisku najveća je u potresu oštećena zgrada koja je u cijelosti uklonjena nakon Petrinjskog potresa 2020. Nakon potresa zgrada je zbog utvrđenih oštećenja ocijenjena kao neuporabljiva te je iseljena i više se ne koristi. Stupanj oštećenja zgrade utvrđen je u skladu sa smjernicom EMS-98 odnosno u skladu s Tehničkim propisom za građevinske konstrukcije (NN 7/22, članak 24.). U radu pojašnjeno je zbog čega je za zgrade takve tipologije, iz tog perioda gradnje i s takvim brojem izvornih nedostataka u odnosu na seizmičku otpornost neophodno utvrditi stupanj zatečene potresne otpornosti. Stupanj potresne otpornosti postojeće zgrade može se odrediti jedino proračunom konstrukcije na potresno djelovanje. Osim uobičajenih metoda proračuna konstrukcije linearno elastičnim proračunom (spektralna analiza) poželjno je provesti nelinearni proračun metodom postupnoga guranja (pushover analiza). Stupanj oštećenja zgrade i njezina zatečena otpornost određuju razinu i koncept obnove. U radu prikazani su ocjenjivanje stanja oštećenja konstrukcije, izrada elaborata ocjene postojećeg stanja konstrukcije te analize koje su dovele do donošenja konačne odluke o uklanjanju zgrade.

### Ključne riječi:

Petrinjski potres, pregled oštećenja, konstrukcijska obnova, nearmirano žiđe, armiranobetonska konstrukcija

Professional paper

**Dragan Kovač, Juraj Herenda**

## Why did residential block in Croatian national revival street in Sisak damaged in earthquake had to be demolished

Residential block located in Croatian national revival street in Sisak is the largest building demolished after being damaged by Petrinja earthquakes in 2020. After the earthquake building was declared unsuitable for housing because of damage. All residents had to move out and since then the building is not in use. Classification of damage to building was determined according to The European Macroseismic Scale (EMS-98) and Technical Regulations for Structures (NN 7/22, article 24). In this paper is explained why is it necessary to determine the level of actual earthquake resistance for buildings of this type, period of construction and initial seismic flaws. Earthquake resistance level of existing building can be determined only by seismic design calculations. Except for standard methods of calculations, such as linear-elastic calculation using response spectrum, it is necessary to calculate structures using nonlinear methods, such as pushover analysis. Reconstruction level and concept are defined by buildings damage level and determined earthquake resistance of the building. Course of procedures, such as evaluation of damage, study of state of existing structure and finally building design, which led to decision to demolish the building will be shown in this paper.

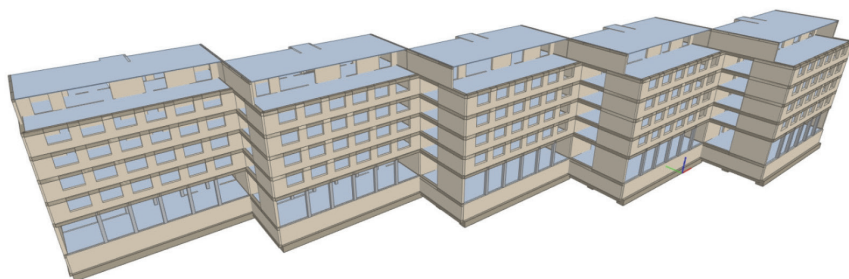
### Key words:

Petrinja earthquake, damage assessment, structural reconstruction, unreinforced masonry, reinforced concrete structures

### 1. Uvod

Stambeno-poslovni blok u Ulici Hrvatskog narodnog preporoda 2-10 u Sisku izgrađen je početkom šezdesetih godina prošlog stoljeća. Blok je podijeljen na pet konstruktivnih dilatacija. Dilatacije su pravilnoga tlocrtnog oblika, tlocrtnih dimenzija 22,25 x 15,50 m, katnosti sedam etaža (podrum, prizemlje i pet nadzemnih etaža). Na slici 1. prikazan je prostorni model bloka zgrada.

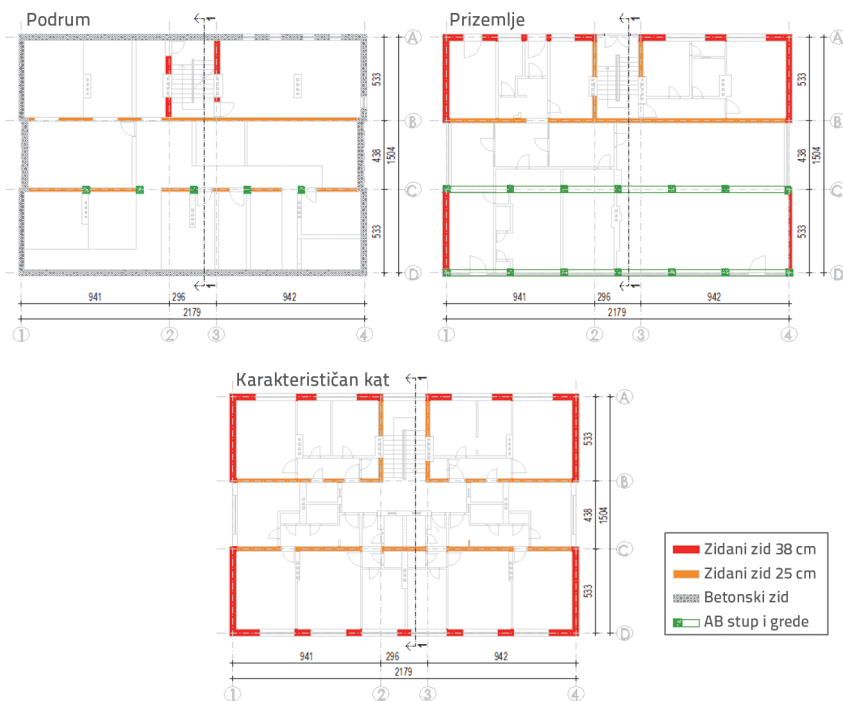
Ukupna bruto površina stambenog bloka iznosi 10.667 m<sup>2</sup>. Nosivu konstrukciju zgrada čine zidovi od pune opeke, koji nisu



Slika 1. 3D prikaz modela bloka zgrada



Slika 2. Pročelja bloka zgrada



Slika 3. Vertikalni nosivi elementi konstrukcije

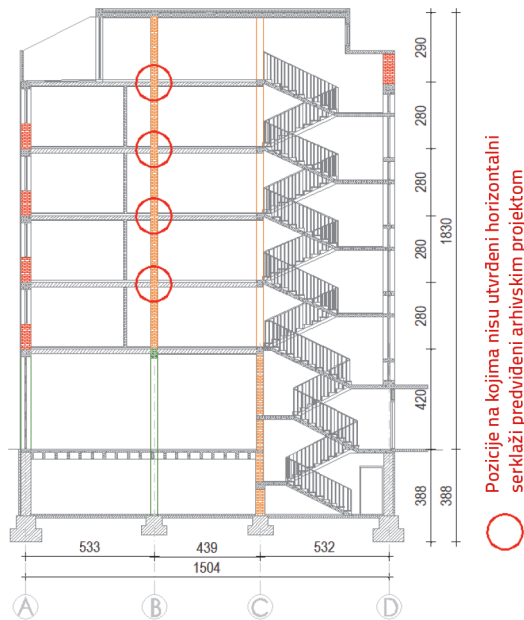
armirani ni omeđeni vertikalnim serklažima. Pojedini zidovi prekinuti su u prizemlju te se oslanjaju na armiranobetonske grede i stupove. Blok zgrada znatno je oštećen u potresu 29. prosinca 2020. Nakon stručnih pregleda radi ocjene uporabivosti stambeno-poslovni blok je zbog utvrđenih oštećenja ocijenjen kao neuporabljiv. Zgrade su iseljene i ne koriste se. Na slici 2. prikazana su pročelja bloka zgrada.

Proces utvrđivanja stupnja oštećenja, a slijedom toga i proces utvrđivanja potrebne razine obnove, bio je složen i mukotrpan. Radi ocjenjivanja postojećeg stanja konstrukcije provedeno je geodetsko snimanje kako bi se utvrdila deformacija konstrukcije.

Za potrebe ocjenjivanja postojećeg stanja konstrukcije provedeno je više proračunskih analiza. Provedeni su linearno elastični proračun i nelinearni spektralnom analizom te nelinearni proračun metodom postupnoga guranja. Geodetskim snimanjem, detaljnom analizom oštećenja, istražnim radovima te naposljetku linearnim i nelinearnim proračunima utvrđeno je da postojeća zgrada ima daleko manju razinu otpornosti na djelovanje potresa nego što to izgleda na prvi pogled, odnosno kako to pokazuju oštećenja zgrade. Istražnim radovima na konstrukciji utvrđeni su puno veći opseg izvornih nedostataka u pogledu seizmičke otpornosti te znatna odstupanja u gradnji u odnosu na izvorni glavni projekt po kojemu je zgrada izgrađena. S obzirom na to da je zgrada projektirana i sagrađena krajem pedesetih godina prošlog stoljeća, odnosno prije donošenja prvih seizmičkih propisa 1964., to je jasno da nije ni konstruirana tako da može preuzeti horizontalna djelovanja. Građevine sagrađene u tome periodu (između 1945. i 1964.) mogu biti iznimno opasne pri djelovanju potresa. U ovome radu pojasnit će se zašto je bilo neophodno ukloniti sve zgrade stambenog bloka te prikazati svi koraci u projektiranju koji su prethodili donošenju te odluke.

### 2. Opis postojeće konstrukcije građevine

Stambeno-poslovni blok podijeljen je na pet konstruktivno neovisnih dilatacija. Vertikalnu konstrukciju svih dilatacija čine nearmirani i neomeđeni zidovi od pune opeke. Vanjski su zidovi debljine 38 cm, unutarnji 25 cm, a pregradni



Slika 4. Poprečni presjek postojećeg stanja



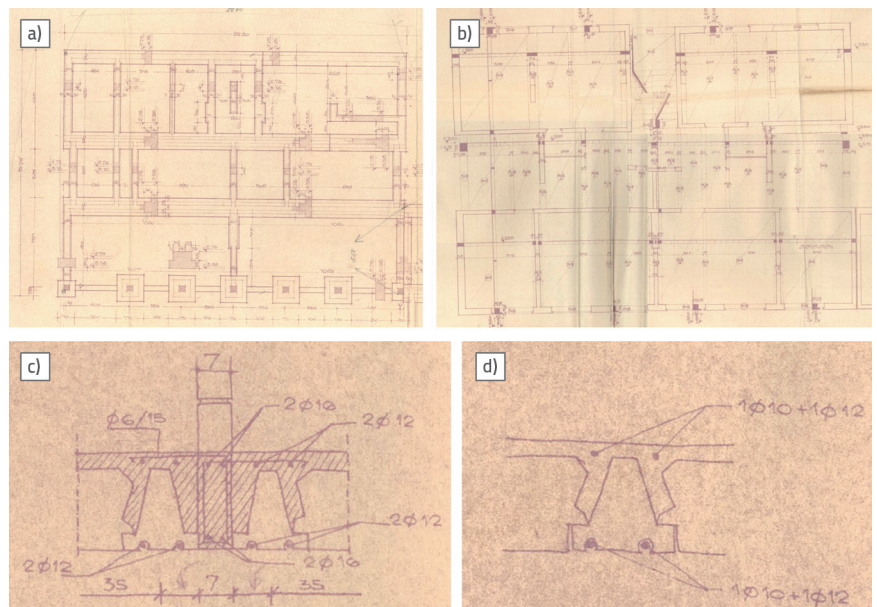
Slika 5. Istražna sonda stupa prizemlja

6,5 cm. Vanjski podrumski zidovi su betonski. Pojedini zidovi u prizemlju prekinuti su te se oslanjaju na armiranobetonske grede i stupove. Na slici 3. prikazani su vertikalni nosivi elementi konstrukcije.

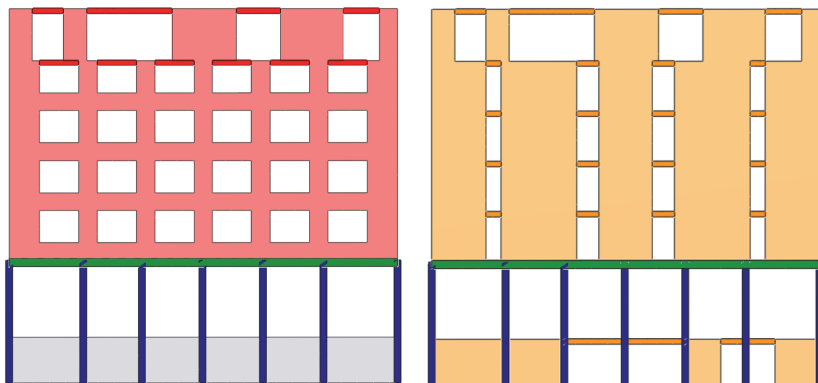
Već na prvi pogled može se uočiti da su mjere elemenata nedostane za katnost zgrade od ukupno sedam etaža. Stropne konstrukcije izvedene su od polumontažnog "monta" sustava nosivog u poprečnome smjeru građevine. Prema izvornome projektu, sustav se sastoji od armiranih gredica između kojih su upušteni opečni elementi te se iznad njih nalazi armiranobetonska ploča. Na slici 4. prikazan je poprečni presjek zgrade, a na slici 5. istražna sonda na stupu prizemlja.

Dostupnu arhivsku dokumentaciju postojeće zgrade činili su izvorni statički proračuni, planovi oplata i armaturni nacrti. Dio dokumentacije prikazan je na slici 6. S obzirom na to da je ta dokumentacija iznimno opsežna, to je prvotno bio predviđen manji broj istražnih sonda, čija je svrha utvrditi usklađenost stvarno zatečenog stanja s dostupnom dokumentacijom. Međutim, na kontrolnim sondama utvrđene su znatne razlike u odnosu na izvorni projekt. Utvrđeno je da nisu izvedeni horizontalni serklaži nad unutarnjim zidovima te da je umjesto armirane tlačne ploče na "monta" stropu izvedena nearmirana trošna glazura. U dvije središnje uzdužne

osi izvornim su projektom predviđeni trakasti temelji, no istražnim radovima utvrđene su temeljne stope. S obzirom na to da je utvrđeno da tako važni elementi konstrukcije nisu izvedeni prema projektu, to se općenito posumnjalo u kvalitetu gradnje. Na slici 6. prikazani su izvorni arhivski nacrti. Na slici 6.a prikazan je nacrt temelja, na slici 6.b plan oplata stropne ploče kata, na slici 6.c detalj armiranja horizontalnog serklaža ispod pregradnog zida, a na slici 6.d detalj armiranja gredice montažnog stropa.



Slika 6. Arhivski nacrti: a) nacrt temelja; b) plan oplata stropne ploče kata; c) detalj armiranja horizontalnog serklaža ispod pregradnog zida; d) detalj armiranja gredice montažnog stropa



Slika 7. Pogled na zidove prekinute u etaži prizemlja

Zbog uočenoga znatnog odstupanja u odnosu na izvorni projekt provedeni su dodatni istražni radovi, odnosno morao je biti izveden znatno veći broj istražnih sondi. Ukupno je izvedeno 60 istražnih sondi na stropnim i vertikalnim konstrukcijama te 10 istražnih iskopa temeljne konstrukcije, odnosno ukupno 70 istražnih sondi. Na postojećoj konstrukciji utvrđen je velik broj izvornih seizmičkih nedostataka zgrade, i to:

- nedostatak horizontalnih i vertikalnih serklaža
- veća katnost od dopuštene za nearmirano i neomeđeno zide
- nedovoljna površina nosivih zidova u odnosu na tlocrtnu površinu zgrade (manje od 3 % u uzdužnome smjeru)
- iznimno tanki zidovi u odnosu na visoku katnost građevine
- velika vitkost zidova prizemlja
- nepostojanje tlačne ploče na "monta" stropovima
- nepostojanje kontinuiteta nosivih zidova kroz sve etaže jer su u razini prizemlja zidovi oslonjeni na grede i stupove
- relativno velika visina mekane etaže prizemlja (4,20 m).

Iz nepostojanja kontinuiteta dijela nosivih zidova u razini prizemlja (oslanjanje na grede i stupove) neophodno proizlaze i dodatni konstrukcijski nedostaci. Jedan od većih jest velika promjena krutosti u etaži prizemlja. Na slici 7. prikazan je pogled na zidove u osima C i D koji su prekinuti u etaži prizemlja.

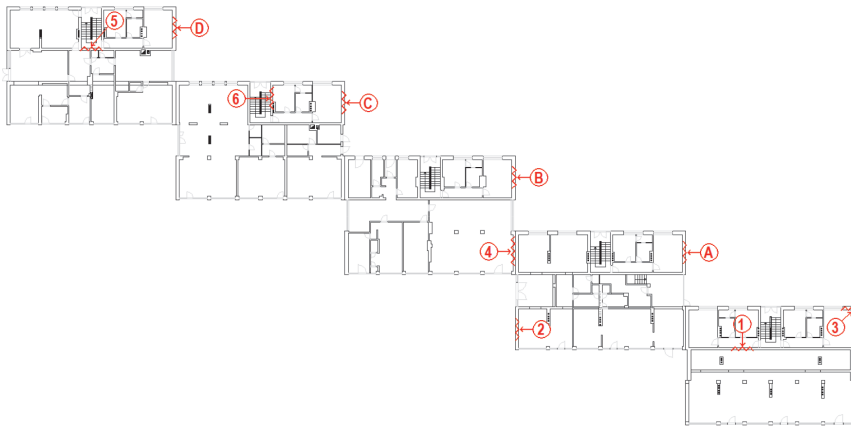
Utvrđeni su i izvorni nedostaci koje nije moguće utvrditi samo pregledom postojeće dokumentacije i zgrade, već je potrebno provesti i proračune konstrukcije. Proračunom je utvrđeno kako je prvi oblik titranja konstrukcije translacija u poprečnome smjeru, a

### 3. Utvrđivanje stupnja oštećenja konstrukcije prema EMS-98

Epicentri potresa koji su 28. i 29. prosinca 2020. pogodili Petrinju nalazili su se jugozapadno od središta grada. Zbog relativno velike udaljenosti od epicentara potresa u Sisku uglavnom nije bilo teško oštećenih konstrukcija. Odmah nakon potresa obavljen je brzi pregled zgrade, a sve dilatacije ocijenjene su kao



Slika 8. Pukotine nosivog zida: a) oštećenje uzdužnog zida POZ 1, b) oštećenje poprečnog zida POZ 2, c) oštećenje ugla zida POZ 3, d) oštećenje poprečnog zida POZ 4, e) oštećenje uzdužnog zida POZ 5, f) oštećenje poprečnog zida POZ 6



Slika 9. Tlocrt prizemlja – pozicije (POZ) prikazanih oštećenja (POZ A do POZ D)

neuporabljive zbog utvrđenih oštećenja te su iseljene. Utvrđena su znatna oštećenja na nosivim elementima i teška oštećenja

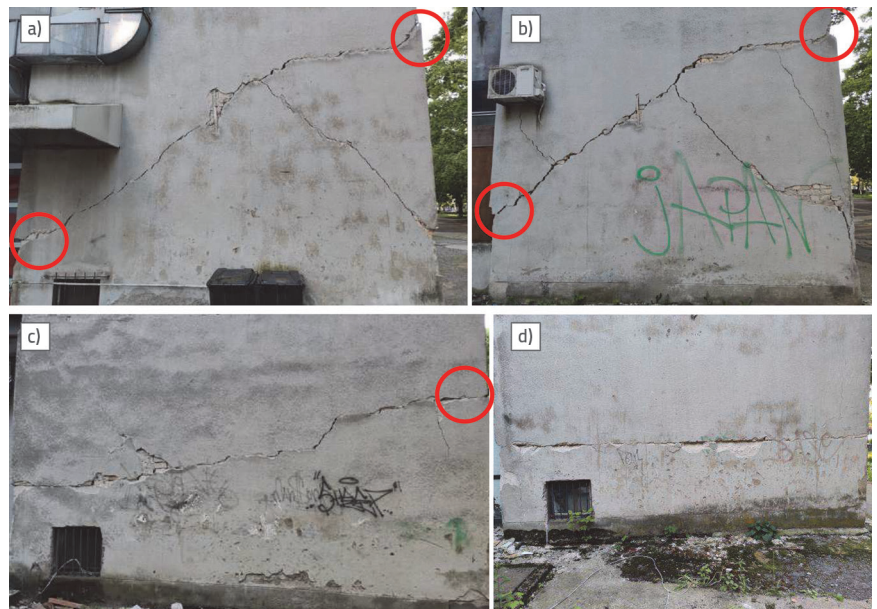
na nenosivim elementima konstrukcije. Na slici 8. prikazan je dio znatnih oštećenja na nosivim zidovima, a na slici 9. tlocrt prizemlja s oznakama prikazanih oštećenja. Na fotografijama vidljivi su karakteristični oblici sloma zida, odnosno dijagonalni vlačni slom i slom klizanjem. Teška oštećenja uočena su na rubnim nosivim fasadnim zidovima. Takve znatne dislokacije zida pokazuju prekomjernu deformaciju konstrukcije. Kako je vidljivo na slici 10., izmjereni pomaci na mjestu sloma zida (donji dio zida u odnosu na gornji) i veći su od 10 cm. Položaj prikazanih oštećenja vidljiv je na slici 9.

Za znatno oštećene zidove može se zaključiti da nemaju preostalog kapaciteta nosivosti. Zbog utvrđenih znatnih deformacija te potencijalnih odvajanja stropova od zidova već nakon potresa provedeno je geodetsko snimanje vertikalnosti konstrukcije koje je prikazano u Stručnome mišljenju o stanju nosive konstrukcije građevine [9]. Geodetskim snimanjem zgrada izmjereni su horizontalni pomaci od 24 cm, što je prikazano na slici 11. Prema Stručnome mišljenju, u izmjenim pomacima u manjoj su mjeri sadržana i početna (izvedbena) odstupanja od vertikalnosti bridova zgrada o kojima nema podataka, ali činjenica da postoje izmjereni pomaci i od 24 cm upućuje na to da su zgrade u potresu izgubile vertikalnost i da je došlo do rotacija i razdvajanja zidova.

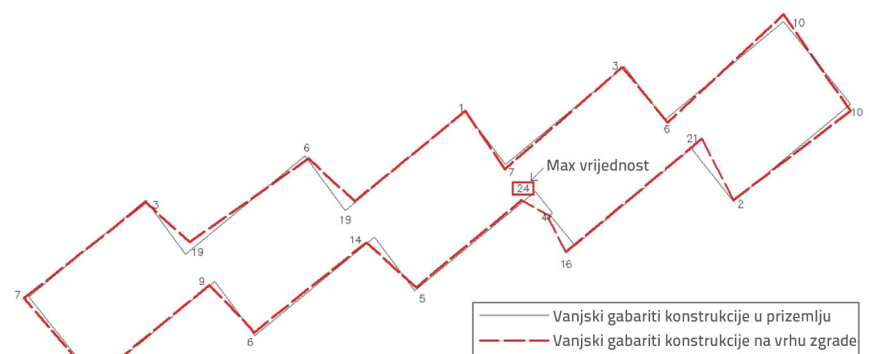
i namjeni zgrade. Naprimjer, obiteljske kuće obnavljaju se na razinu 3 bez obzira na stupanj oštećenja. Odabir razine na koju

Geodetski snimak kojim se utvrđuje odstupanje od vertikalnosti zgrade nije sam po sebi dovoljan dokaz deformacije nedopuštenog stupnja. Izmjereni pomaci mogu biti proizvod nepravilnosti u gradnji. Zbog toga je geodetski snimak potrebno promatrati zajedno s utvrđenim oštećenjima na konstrukciji te s pojavama odvajanja stropova i zidova (gubitak stabilnosti izvan ravnine).

Prema EMS - European Macroseismic Scale 1998 [4], oštećenja zgrade klasificiraju se u pet kategorija prema tablici 1. Tehničkim propisom za građevinske konstrukcije [5] razine obnove temelje se na utvrđenoj stupnju oštećenja








Slika 10. Slom i dislokacija fasadnih zidova: a) oštećenje poprečnog zida POZ A, b) oštećenje poprečnog zida POZ B, c) oštećenje poprečnog zida POZ C, d) oštećenje poprečnog zida POZ D




Slika 11. Prikaz deformacija vertikalnih bridova zgrade

Tablica 1. Razredba oštećenja zgrade prema EMS-98 i shematski prikaz odabira razina obnove

Razredba oštećenja za zidane zgrade		Potrebna razina obnove ovisno o stupnju oštećenja	
	Stupanj 1: Zanemarivo do malo oštećenje ▪ nema konstrukcijskog oštećenja ▪ malo nekonstrukcijsko oštećenje		RAZINA 1 sve zgrade
	Stupanj 2: Zanemarivo do malo oštećenje ▪ malo nekonstrukcijsko oštećenje ▪ umjereno nekonstrukcijsko oštećenje		RAZINA 2 IZO najmanje 0,5
	Stupanj 3: Zanemarivo do malo oštećenje ▪ umjereno nekonstrukcijsko oštećenje ▪ teško nekonstrukcijsko oštećenje	ODREĐUJE PROJEKTANT	RAZINA 3 IZO najmanje 0,75
	Stupanj 4: Zanemarivo do malo oštećenje ▪ teško nekonstrukcijsko oštećenje ▪ vrlo teško nekonstrukcijsko oštećenje	ODREĐUJE PROJEKTANT	RAZINA 4 IZO najmanje 1,00
	Stupanj 5: Razaranje ▪ vrlo teško konstrukcijsko oštećenje		RAZINA 4 IZO najmanje 1,00

IZO - Indeks znatnog oštećenja

Tablica 2. Smjernice za razradu oštećenja zidanih zgrada [6]

 <p><b>Znatno do teško oštećenje</b> je oštećenje koje značajno mijenja kapacitet konstrukcije, ali ne blizu granici djelomičnog urušavanja glavne konstrukcije. Mogući je pad nekonstrukcijskih elemenata.</p>	<p><b>Stupanj 3: Znatno do teško oštećenje</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• umjereno konstrukcijsko oštećenje,</li> <li>• teško nekonstrukcijsko oštećenje),</li> <li>• široke i brojne pukotine u većini zidova,</li> <li>• Otpadanje crijeva,</li> <li>• Lomovi dimnjaka u ravni krova</li> <li>• slom pojedinih nekonstrukcijskih elemenata (pregradnih zidova, zabata).</li> </ul>	<p>Ovaj stupanj oštećenja uključuje oštećenja veća od stupnja 2 i može uključivati i stupanj oštećenja 1b, ali ne nužno. Nekonstrukcijsko oštećenje ne može biti mjerodavno za ocjenu stupnja oštećenja ako nema konstrukcijskog oštećenja stupnja 3.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ova oštećenja su praćena velikim nekonstruktivnim oštećenjima.</li> <li>• Temelji (trajne deformacije u tlu koje su uzrokovale značajna oštećenja zidova i za što je potrebno ojačanje temelja).</li> <li>• Značajni odmak između podova i/ili stepenica i zidova i između okomitih zidova do cca 1 cm uz vidljive dislokacije.</li> <li>• Vertikalne pukotine na kutovima zidova do 5 mm.</li> <li>• Otklon nosivog zida izvan ravnine na način da je vidljiv mehanizam otkazivanja i da su se otvorile značajne pukotine na mjestima spojeva zida sa stropovima i okomitih zidovima na duljem području tlocrta (često je aktiviran samo parapet u potkrovlju što ne vodi na stupanj oštećenja 3). Napomena: Geodetski snimak nije dokaz zaostalog pomaka već je nužno odrediti pomak iz pukotina.</li> <li>• Moguća manja djelomična urušavanja u sporednim gredama katova.</li> <li>• Pukotine od nekoliko mm u svodovima</li> </ul> <p><b>Nearmirano žiđe s drvenim grednicima</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• U više od 60% nosivih zidova velike i duge pukotine (manje od 0,5 cm na žiđu – ne žbuci).</li> <li>• Od 30% do 60% nosivih zidova ima velike pukotine (do 1 cm) gdje je zid pred slomom. U istim tim zidovima može biti otklona (dislokacije) zida izvan ravnine (do najviše 1,0 cm).</li> <li>• Do 20% nosivih zidova (minimalno 2 nosiva zida – ne nadvoja) ima jako velike pukotine (veće od 1 cm). U istim tim zidovima može biti otklona (dislokacije) zida izvan ravnine (do najviše 1 cm).</li> <li>• Lokalno moguće široke pukotine na jednom nosivom zidu uz dislokaciju izvan ravnine, ali da ne ugrožava globalnu stabilnost zgrade (zablatni zid ili zid u ravni u kojoj je moguća značajna preraspodjela unutarnjih sila).</li> </ul> <p><b>Napomena:</b> Pod postotak idu sve nosive komponente (zidovi, nadvoji, svodovi, stubišta). Potrebno je izračunati (procijeniti) postotak za svaki kat i onda kumulativno za cijelu zgradu. Konačni postotak se odnosi na cijelu zgradu.</p> <p><b>Nearmirano žiđe s krutim stropovima</b></p> <p>Posebno promatrati kritični kat (ne potkrovlje i najviši kat, obično kritično prizemlje ili prvi kat iznad tla) i raspodjelu pukotina za svaki smjer konstrukcije.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• U više od 60% nosivih zidova postoje velike i duge pukotine (oko 0,5 cm na žiđu – ne žbuci).</li> <li>• Od 30% do 60% nosivih zidova ima jako velike pukotine gdje je zid pred slomom (oko 1 cm). U istim tim zidovima može biti otklona (dislokacije) zida izvan ravnine (do najviše 1,0 cm).</li> <li>• Do 30% nosivih zidova (minimalno 2 nosiva zida – ne nadvoja) ima jako velike pukotine (veće od 1 cm). U istim tim zidovima može biti otklona (dislokacije) zida izvan ravnine (do najviše 1 cm).</li> <li>• Lokalno moguće široke pukotine na jednom nosivom zidu uz dislokaciju izvan ravnine, ali da ne ugrožava globalnu stabilnost zgrade (zablatni zid ili zid u ravni u kojoj je moguća značajna preraspodjela unutarnjih sila).</li> </ul> <p><b>Napomena:</b> Za kriterij da zgrada ima krute dijafragme je potrebno da je na cijelom tlocrtu kata izvedena kruta dijafragma (ne u slučaju parcijalne rekonstrukcije). Ako zgrada ima različite stropove po katovima treba je kombinirati 2 kriterija. Za zgrade s krutim stropovima izabrati stroži kriterij.</p>
---	--	---

se obnavljaju višestambene zgrade kao što je predmetna nešto je složenija. Zgrade stupnja oštećenja 2 obnavljaju se na razinu 2 obnove. Zgrade stupnja oštećenja 3 mogu se obnavljati na razine 2 ili 3, a zgrade stupnja oštećenja 4 mogu se obnavljati na razine 3 ili 4 prema shematskome prikazu uz tablicu 1. Odluku o tome na koju će se razinu zgrada obnavljati donosi projektant. U praksi su se nakon potresa stupanj oštećenja zgrade i razina obnove određivali izradom nalaza postojećeg stanja konstrukcije prije izrade elaborata i projekta. Stupanj oštećenja i potrebna razina obnove određivali su se isključivo vizualno, prema utvrđenim vidljivim oštećenjima te donekle subjektivno prema iskustvu projektanata. U skladu s navedenim, prema vidljivim oštećenjima, stupanj oštećenja utvrđen je kao stupanj 3 – znatno do teško oštećenje.

Na zgradama koje su znatno do teško oštećene uvijek treba provesti detaljan pregled mogućih odvajanja stropova od zidova odnosno gubitka vertikalnosti zidova. Takva oštećenja (znatne deformacije) upućuju na problem gubitka stabilnosti zidova izvan njihove ravnine. U skladu sa smjernicama o primjeni tablice EMS-98, prema Uroš i dr. [6], u slučaju da se utvrde deformacije nedopuštenog stupnja moguće je odrediti viši stupanj oštećenja. Deformacija utvrđena geodetskim mjerenjem ne može biti jedini razlog klasifikacije višeg stupnja oštećenja, ali u kombinaciji s ostalim utvrđenim oštećenjima i rezultatima proračuna svakako je dobra smjernica za klasificiranje stupnja oštećenja konstrukcije kao stupanj 4 – vrlo teško oštećenje. U tablici 2. dan je primjer smjernica za stupanj oštećenja 3.

Stupanj oštećenja i potrebna razina obnove određuju se laboratorom ocjene postojećeg stanja konstrukcije zato što se njime utvrđuje razina zatečene otpornosti u odnosu na punu otpornost prema važećim propisima. Kako bi se odredila stvarna razina otpornosti na seizmička djelovanja, potrebno je provesti proračun konstrukcije postojeće zgrade.

Uvjet za ispravno utvrđivanje razine obnove jest stupanj zatečene otpornosti postojeće konstrukcije. Otpornost postojeće konstrukcije ustvari određuje koncept ojačanja konstrukcije. Može se očekivati da je, ako je zatečena razina otpornosti relativno blizu potrebnoj za ostvariti razinu 2, to moguće postići ojačanjem postojećih elemenata konstrukcije. Međutim, postojeće elemente konstrukcije, ako je zatečena otpornost jako mala kao na primjeru predmetne zgrade, nije moguće ojačati do te razine da se ostvari otpornost konstrukcije potrebna za razinu 3. Za takvo višestruko povećanje stupnja otpornosti postojeće zgrade u postojeću konstrukciju potrebno je ugraditi novu konstrukciju za prihvatanje tolike razine potresnog djelovanja.

#### 4. Izračun otpornosti postojeće zgrade na potresno djelovanje

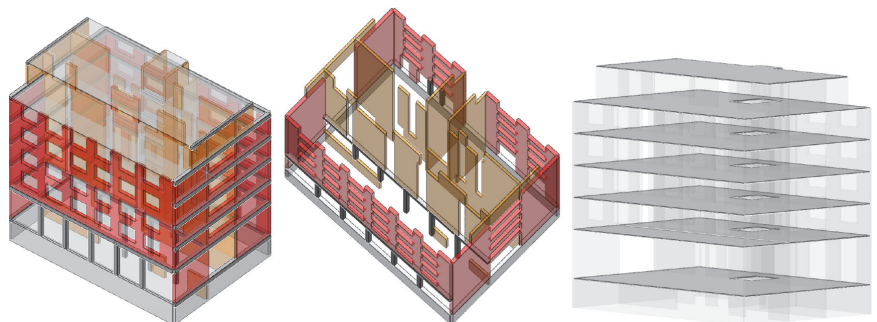
Jedan od najvećih nedostataka na ovom bloku zgrada iznimno je mala ploština

ziđa u odnosu na tlocrtnu površinu zgrade. Ploština nosivog ziđa prizemlja za svaki smjer iznosi oko 10,5 m<sup>2</sup>, odnosno oko 3 % bruto površine etaže. Iz tog je podatka već moguće steći dojam o očekivanoj razini otpornosti, što je prikazano u nastavku rada. Proračun konstrukcije postojećeg stanja proveden je kao linearno elastični proračun spektralnom analizom. S obzirom na to da je svih pet konstruktivnih dilatacija gotovo jednako, proračun postojećeg stanja proveden je samo za jednu. Ubrzanje tla za 475-godišnje povratno razdoblje iznosi 0,15 g. Zide je zidano od pune opeke u vapneno-cementnome mortu pa su korištena odgovarajuća svojstva za takvu vrstu ziđa (modul elastičnosti, modul posmika, tlačna čvrstoća i drugi parametri). Mehanička svojstva utvrđena su na temelju provedenih istražnih radova i preporučenih vrijednosti prema talijanskoj smjernici NTC 2018 [8] za zide od pune opeke u vapneno mortu te su dana u nastavku:

- zide: modul elastičnosti 1500 MPa
- modul posmika 500 MPa
- karakteristična tlačna čvrstoća 2,40 MPa
- karakteristična posmična čvrstoća 0,09 MPa
- beton klase čvrstoće MB 30 (odgovara današnjoj klasi čvrstoće C25/30)
- armatura: glatka oznake GA 240/360.

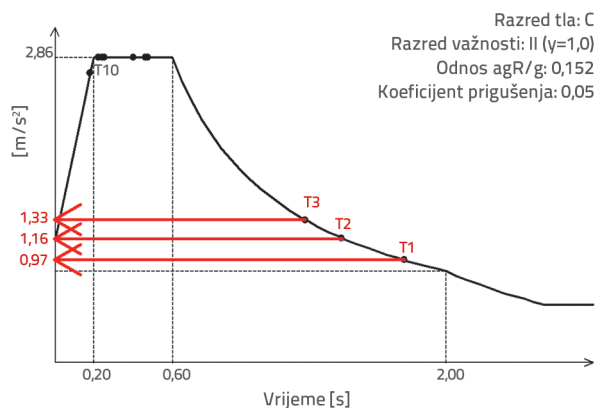
Zbog raspucanosti krutost svih elemenata na savijanje umanjena je za 50 %. Faktor važnosti uzet je u iznosu od 1,0 jer se radi o zgradi uobičajene važnosti. Faktor ponašanja iznosi 1,50 u skladu s HRN EN 1998-1 [7] za sustav neomeđenog ziđa. S obzirom na to da neomeđeno zide nije duktilno i da ne postoji mogućnost disipacije seizmičke energije, to se u proračunu ne bi trebao odabirati veći faktor ponašanja. Kategorija tla uzeta u proračun jest C. Vrijednost modula reakcije tla prema geotehničkomu elaboratu iznosi 6300 kN/m<sup>3</sup>, a modalna analiza provedena je na modelu gdje su oslonci zadani kao beskonačno kruti. Na slici 12. prikazani su elementi konstrukcije proračunskog modela.

Modalnom analizom utvrđeno je kako prva tri perioda titranja konstrukcije redom iznose  $T_1 = 1,79$  s,  $T_2 = 1,47$  s i  $T_3 = 1,28$  s. Prvi oblik titranja translacijski je u poprečnome smjeru, drugi je torzijski, a treći translacijski u uzdužnome smjeru. Utvrđena oštećenja na konstrukciji u skladu su s dobivenim rezultatima proračuna. Utvrđena teška oštećenja fasadnih nosivih



Slika 12. Proračunski model konstrukcije

zidova odgovaraju prvome, translacijskome obliku titranja u poprečnome smjeru građevine, odnosno u smjeru tih zidova, dok razdvajanja bridova zgrade utvrđena geodetskim mjerenjima odgovaraju drugome, torzijskome obliku titranja. Zbog velikih perioda titranja na silaznoj grani spektra odziva seizmičke sile koje djeluju na elemente konstrukcije znatno su umanjene, što je prikazano na slici 13.



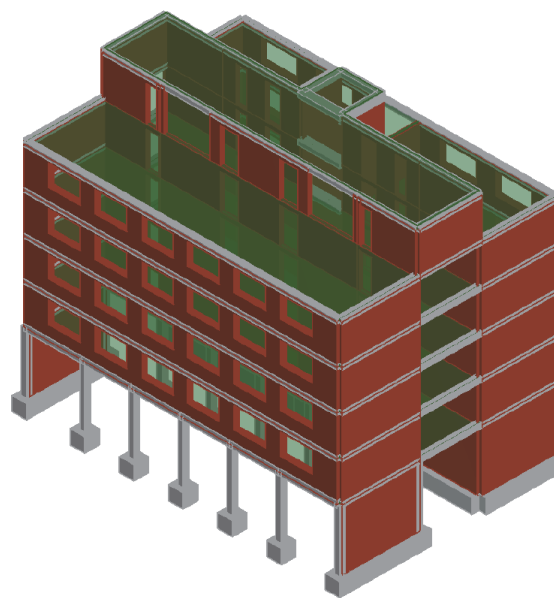
Slika 13. Projektni spekatar

Linearno elastičnim proračunom za ubrzanje tla s 475-godišnjem povratnim razdobljem, odnosno za 0,15 g, dobivene su unutarnje sile u zidovima te je provedeno dimenzioniranje zida. Ukupna težina jedne dilatacije iznosi 34.000 kN. Linearno elastičnim proračunom metodom spektra odziva u prizemlju dobivena je vrijednost poprečne sile od 4400 kN u uzdužnome smjeru te od 3100 kN u poprečnome. Dakle, poprečna sila u uzdužnome smjeru građevine iznosi 13 % mase, a u poprečnome 9 %, što je znatno više od sila na koje su građevine građene u tome periodu proračunane i dimenzionirane. S obzirom na to da su elementi kruti, odnosno da nemaju dostatnu duktilnost, te da uz to imaju nedostatnu nosivost, otkazuju na relativno malim vrijednostima unutarnjih sila u elementima, odnosno granično stanje znatnog oštećenja doseže se pri znatno manjemu ubrzanju. Zbog toga provjeru graničnog stanja znatnog oštećenja odnosno određivanje IZO faktora nije moguće provoditi linearno elastičnim proračunom za punu vrijednost ubrzanja tla. U pravilu bi za takve konstrukcije utvrđivanje zatečene otpornosti trebalo dokazivati tako da se provodi više iterativnih linearnih proračuna smanjujući ubrzanje tla dok svaki element konstrukcije ne zadovolji. U skladu s točkom 9.4 (6) norme HRN EN 1998-1 moguće je uzeti u obzir i mogućnost preraspodjele sila na ostale zidane elemente konstrukcije do 25 %. Omjer dosegnute proračunske potresne otpornosti konstrukcije (djelovanje iskazano kao vršno ubrzanje tla tipa A) i zahtjeva za konstrukciju za granično stanje znatnog oštećenja (vršno ubrzanje tla tipa A za povratno razdoblje od 475 godina) predstavlja indeks znatnog oštećenja (IZO). Provedbom iterativnog postupka linearno elastičnim proračunom (spektralna analiza) za predmetnu zgradu utvrđena je vrijednost IZO = 0,15.

Linearno elastični proračun konzervativan je jer se kao djelovanje pri kojemu otkazuje čitava konstrukcija uzima ono pri kojemu otkazuje prvi primarni seizmički element. U linearnome proračunu u obzir nisu uzeti preraspodjela sile na ostale elemente konstrukcije ni nelinearni doprinos pojedinih elemenata u plastičnome području, odnosno njihova duktilnost. Nelinearnim proračunom preraspodjela sila i nelinearni doprinos uzeti su u obzir.

Za proračun predmetne zgrade proveden je nelinearni proračun metodom postupnoga guranja (*Pushover*). Materijalna nelinearnost uzeta je u obzir na razini elementa preko odgovarajućih krivulja kapaciteta nosivosti. Usvojena je bilinearna krivulja ponašanja materijala (naprezanje – deformacija). Mehanička svojstva materijala korištenih u modelu za nelinearni proračun nisu jednaka jer se u nelinearnome proračunu uzimaju srednje vrijednosti, a u linearnome karakteristične vrijednosti. Model konstrukcije prikazan je na slici 14., a primijenjene vrijednosti su sljedeće:

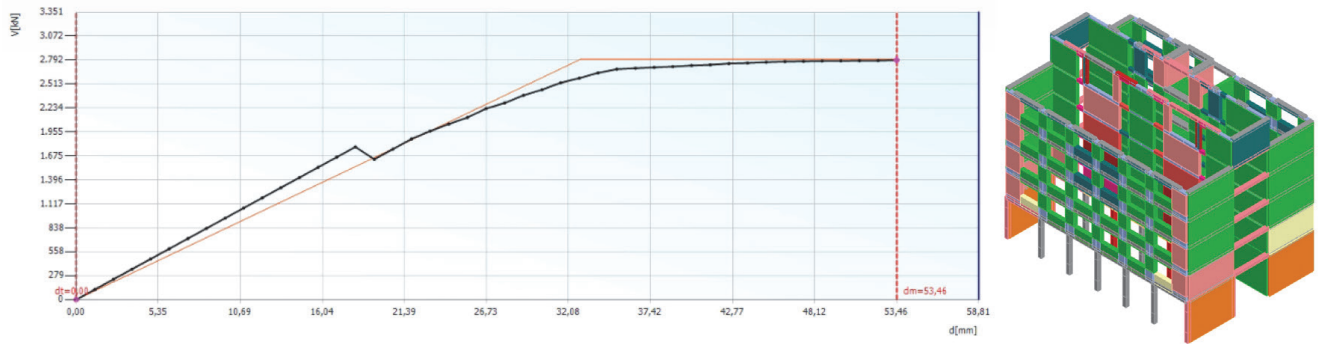
- žiđe: modul elastičnosti 1500 MPa
- modul posmika 500 MPa
- srednja tlačna čvrstoća 3,40 MPa
- srednja posmična čvrstoća 0,16 MPa
- beton klase čvrstoće MB 30 (odgovara današnjoj klasi čvrstoće C25/30)
- armatura: glatka, GA 240/360.



Slika 14. Proračunski model konstrukcije

Potrebno je kontrolirati granično stanje znatnog oštećenja (ZO) i granično stanje ograničenog oštećenja (OO). Ubrzanje tla za granično stanje znatnog oštećenja (ZO) odgovara vrijednosti ubrzanja tla za potresno djelovanje povratnog razdoblja od 475 godina te za predmetnu lokaciju iznosi  $a_g = 0,152$  g. Ubrzanje tla za granično stanje ograničenog oštećenja (OO) odgovara povratnome razdoblju od 95 godina te iznosi  $a_g = 0,072$  g.





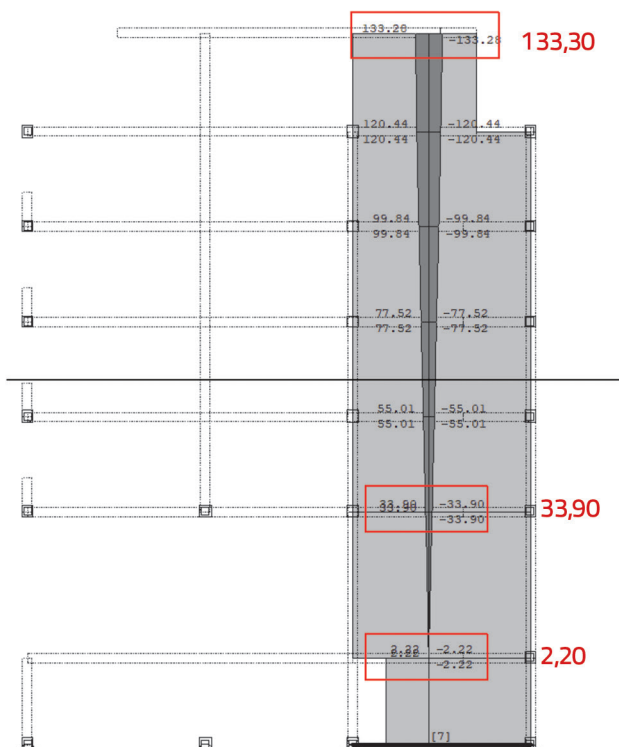
Slika 15. Mjerodavna proračunska krivulja s prikazom oštećenja u zadnjemu koraku analize (posmična sila  $V = 2792$  kN, pomak  $d_m = 53,46$  mm)

Nelinearnim proračunom postupnoga guranja dobivena je zatečena otpornost konstrukcije od 35 % odnosno indeks znatnog oštećenja iznosi  $IZO = 0,35$ . Indeks znatnog oštećenja konstrukcije omjer je proračunske otpornosti na potres i otpornosti za granično stanje potresnog djelovanja za povratno razdoblje od 475 godina. Važno je istaknuti kako se dobivena otpornost predmetnog modela odnosi na neoštećenu idealiziranu konstrukciju. Stvarna otpornost konstrukcije oštećene potresom znatno je manja.

Proračunom je dobivena manja nosivost zgrade u poprečnome smjeru, što je u skladu s oštećenjima na konstrukciji, odnosno vidljiva su veća oštećenja i deformacije na zidovima u poprečnome smjeru.

Nelinearnim proračunom dobivena je veća otpornost u odnosu na linearno elastični proračun. Indeks znatnog oštećenja prema linearnome proračunu iznosi 0,15. Prema Tehničkom propisu za građevinske konstrukcije, za obnove na razine 3 i 4 potrebno je provjeriti granično stanje ograničenog oštećenja za potresno djelovanje koje odgovara povratnome razdoblju od 95 godina, odnosno potrebno je provjeriti kriterij graničnog stanja uporabivosti.

Dobiveni ukupni elastični pomak vrha zgrade iznosi 13,3 cm, dok je dopušteni ukupni pomak 9,2 cm. Najveći međukatni pomak dobiven je za etažu prizemlja te iznosi 3,1 cm, a najveći dopušteni međukatni pomak je 2,2 cm. Na slici 16. prikazani su mjerodavni elastični pomaci konstrukcije za potresno djelovanje na odabranome okviru.

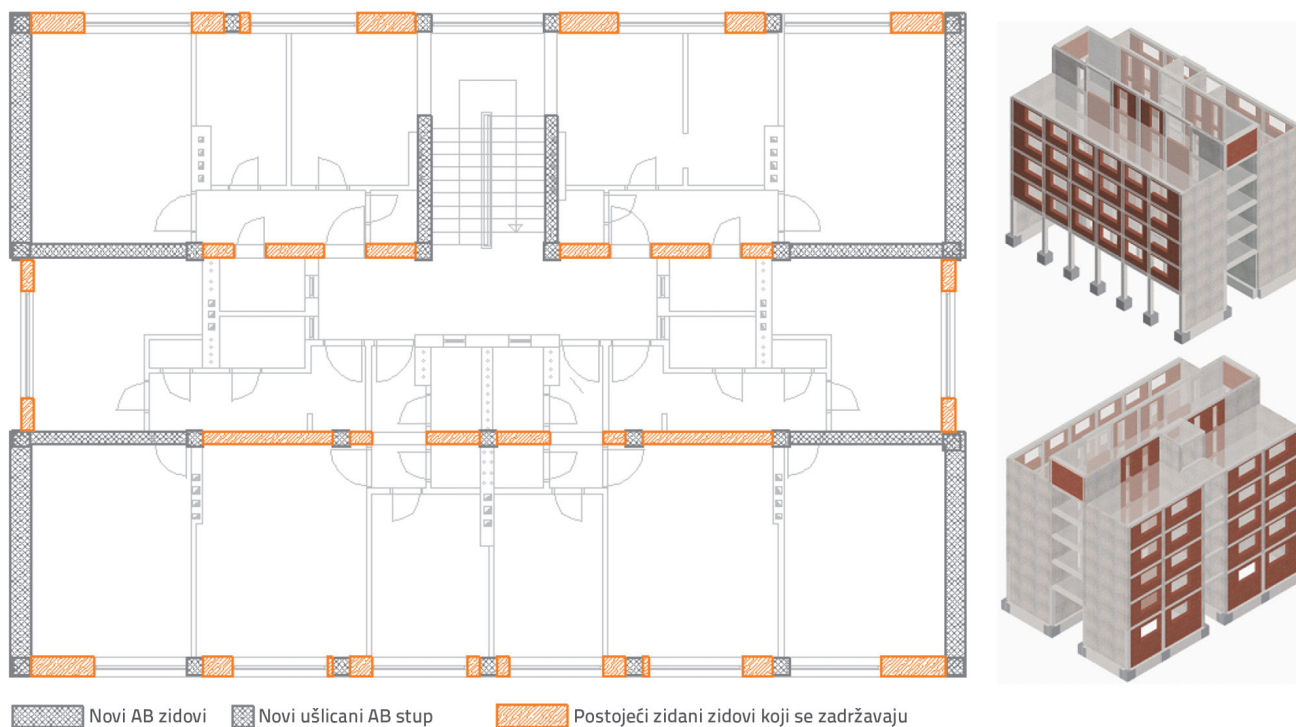


Slika 16. Međukatni pomaci

## 5. Uklanjanje građevine

Kao što je navedeno u prethodnome poglavlju, tijekom izrade elaborata postojećeg stanja građevinske konstrukcije razmatrana je mogućnost da se postojeća konstrukcija zadrži i ojača na razinu 3. Takvom razinom obnove potrebno je postići indeks znatnog oštećenja konstrukcije ( $IZO$ ) od najmanje 0,75, odnosno potrebno je ostvariti najmanje 75 % otpornosti u odnosu na punu traženu otpornost prema normi HRN EN 1998-1. Zatečena otpornost postojeće konstrukcije iznimno je niska. Kako bi se razina otpornosti konstrukcije znatno povećala, potrebno je ugraditi nove elemente za prihvat potresnog djelovanja. Najučinkovitiji način za znatno povećanje otpornosti konstrukcije na seizmičke sile izvedba je krute armiranobetonske konstrukcije u oba smjera građevine.

Za predmetnu zgradu razmatrano je takvo rješenje ojačanja konstrukcije da se ukloni dio zidanih zidova te da se na njihovim mjestima izvedu armiranobetonski, dok bi se na pojedinim pozicijama ušlicavali stupovi i vertikalni serklaži. To je rješenje prikazano na slici 17. Uz takve zahvate, koji prema TPGK-u pripadaju među zahvate razine 3, proveden je linearno elastični proračun (spektralnom analizom) te je proračunski bilo moguće postići  $IZO$  viši od 0,75.



Slika 17. Prijedlog tehničkog rješenja ojačanja postojeće konstrukcije na razinu 3

Međutim, uklanjanje zidanih zidova te njihova postupna zamjena armiranobetonskima iznimno je složen zahvat. S obzirom na to da je istražnim radovima utvrđeno da nad unutarnjim zidovima ne postoje horizontalni serklaži ni na "monta" stropovima tlačne ploče, a geodetskim mjerenjem da su zgrade pretrpjele znatne trajne deformacije, radovi bi uvjetovali složena prostorna podupiranja ostatka konstrukcije te bi tijekom tako složenih zahvata postojao velik rizik gubitka stabilnosti elemenata konstrukcije.

Prema članku 7. Tehničkog propisa za građevinske konstrukcije projektant je odgovoran za osiguranje nosivosti i stabilnosti i tijekom faze gradnje, a ne samo za konačno projektirano stanje. Osiguranje nosivosti i stabilnosti u fazi gradnje za predmetnu zgradu i koncept zahvata prema kojemu bi se uklanjali postojeći nosivi zidovi i na njihovu mjestu izvodili novi armiranobetonski bilo bi iznimno složeno, dugotrajno i opasno po život radnika. S obzirom na stanje postojeće zgrade te na iznesene okolnosti projektant nije mogao osigurati nosivost i stabilnost konstrukcije u fazi gradnje i jamčiti za to, odnosno prihvatiti zahtjev iz tehničkog propisa. To je bio završni tehnički razlog odluke projektanta da se postojeća konstrukcija obavezno mora ukloniti.

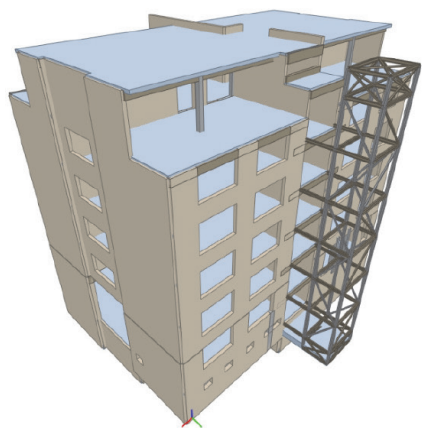
Osim prethodno navedenog provedena je usporedna financijska analiza obnove zgrade znatnom rekonstrukcijom i izvedbe zamjenske zgrade. Analizom je utvrđeno kako bi obnova zgrade znatnim zahvatima rekonstrukcije bila skuplja i dugotrajnija od uklanjanja postojeće i izvedbe nove AB konstrukcije. Izračunom cijene građenja zahvatom znatne rekonstrukcije utvrđeno je da bi cijena gradnje iznosila više od 2000 EUR/m<sup>2</sup>, a gradnja nove

zgrade ne više od 1500 EUR/m<sup>2</sup>. Osim navedenog ugovorena cijena građenja provjerena je na javnim natječajima za obnovu sličnih građevina. Nova bi zgrada u konačnici u puno većoj mjeri zadovoljavala i ostale temeljne zahtjeve za građevinu, uz osiguranje mehaničke otpornosti i stabilnosti prema svim važećim propisima, nego što bi to bio slučaj s obnovom postojeće. Olakotna je okolnost bila to što zgrada nije kulturno dobro niti se nalazi u kulturno povijesnoj cjelini.

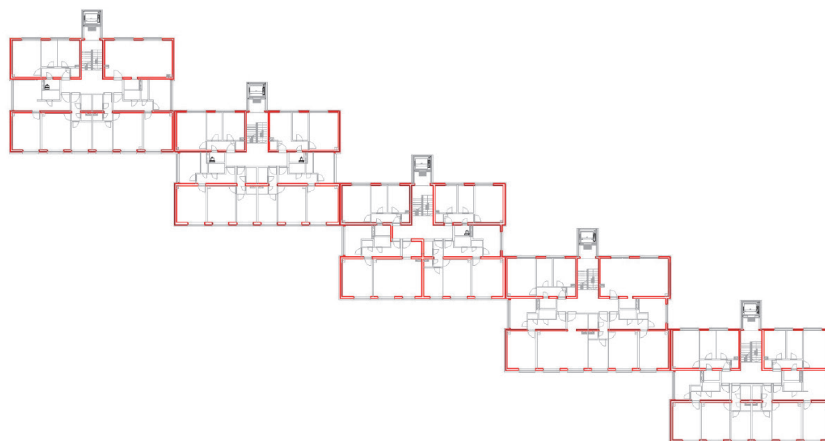
## 6. Nosiva konstrukcija zamjenske zgrade

Nova zamjenska zgrada izvodi se kao relativno jednostavna i tipična armiranobetonska konstrukcija. Na njoj su u najvećoj mogućoj mjeri ispravljeni izvorni nedostaci u konceptu konstrukcije. S obzirom na to da je u novoprojektiranoj zgradi potrebno zadržati postojeći raspored prostora, to su zadržani raster nosive konstrukcije te vanjski gabariti zgrade.

Nova je konstrukcija u cijelosti armiranobetonska. Nosivi su zidovi debljine 20 i 25 cm, ovisno o poziciji, čime je korisna površina dodatno povećana zbog manje debljine zidova u odnosu na izvorno stanje. Kako bi se spriječilo prekoračenje najveće dopuštene poprečne sile na gredama prizemlja, minimalno su povećane visine greda na kritičnim mjestima. Također, zbog prekoračenja dopuštenoga tlačnog naprezanja te zahtjeva zaštite od požara dimenzije stupova prizemlja povećane su, a primijenjeni je beton višeg razreda čvrstoće u odnosu na ostatak konstrukcije. Stropne su ploče debljine 20 cm, nosive u dva smjera, pa je i raspodjela opterećenja na vertikalne elemente jednolika u oba smjera. Na taj je način izbjegnuta pojava



Slika 18. Prikaz novoprojektirane dilatacije 6



Slika 19. Tlocrt novoprojektirane konstrukcije

torzije u drugome tonu titranja. Temeljenje je izvedeno preko temeljne ploče debljine 70 cm, čime su naprezanja na tlo znatno smanjena.

Kvaliteta zgrade povećana je u pogledu pristupačnosti jer je dodano dizalo. Kako ga zbog nedostatka prostora nije moguće smjestiti unutar zgrade, tako se izvodi izvana. Izvodi se kao čelična okvirna konstrukcija u razini podesta stubišta, spojeno na zgradu. Na slikama 18. i 19. prikazana je konstrukcija zamjenske zgrade.

## 7. Zaključak

Stambeni blok u Ulici Hrvatskog narodnog preporoda u Sisku građen je prije donošenja prvih seizmičkih propisa 1964. Relativno velika katnost, zidovi male debljine, nepostojanje vertikalnih serklaža, diskontinuitet zidova u prizemlju i ostali izvorni nedostaci u odnosu na potresnu otpornost dobar su pokazatelj kakvu opasnost predstavljaju građevine iz toga perioda gradnje. Istražni radovi koji podrazumijevaju uvid u postojeću dokumentaciju i terenska istraživanja neizostavan su korak u utvrđivanju stanja konstrukcije. Nakon potresa zgrade je potrebno pregledati te utvrditi sva oštećenja. Međutim, zatečena oštećenja nisu dovoljno dobar pokazatelj stvarnog stanja konstrukcije građevine. Kako bi se utvrdila stvarno zatečena otpornost građevine na djelovanje potresa, potrebno je izraditi proračun postojećeg stanja konstrukcije. Tek je po izradi proračuna postojećeg stanja moguće odrediti razinu na koju obnova može biti izvedena. Prema Tehničkom propisu

za građevinske konstrukcije, obveza je projektanta pri izradi projekata osigurati mehaničku otpornost i stabilnost građevine u fazi gradnje, a ne samo u njezinu konačnome stanju. Također je potrebno provesti sveobuhvatnu financijsku usporednu analizu složene rekonstrukcije postojeće građevine i izvedbe nove, zamjenske. Tek nakon pravilne provedbe svih navedenih koraka moguće je kvalitetno provesti projekt obnove.

Za predmetnu zgradu, zbog njezine iznimno niske razine zatečene otpornosti, za doseganje otpornosti konstrukcije koja se zahtjeva tehničkim propisom (razina 3) bilo bi potrebno provesti složene zahvate znatne rekonstrukcije građevine, odnosno u postojeću konstrukciju ubaciti novu armiranobetonsku konstrukciju. S obzirom na dispoziciju nosivih zidova postojećeg stanja, uvjetovanu gustim rasporedom (mali stanovi), nosivi su zidovi jedino mogli biti zamijenjeni armiranobetonskima na istim pozicijama. Takvi zahvati uvjetuju složeno podupiranje pri izvedbi. Glavni razlozi zbog kojih se odlučilo za izgradnju nove zgrade jesu obveza projektanta da osigura nosivost i stabilnost konstrukcije u fazi gradnje te financijska usporedna analiza složene rekonstrukcije i izgradnje nove zgrade. S obzirom na to da se radi o iznimno oštećenoj i deformiranoj konstrukciji, projektant nije mogao osigurati zahtjev iz članka 7. Tehničkog propisa za građevinske konstrukcije, odnosno nosivost i stabilnost u fazi gradnje te jamčiti za zdravlje i život radnika koji izvode radove. Usporedna financijska analiza ujedno je pokazala da bi cijena gradnje složene rekonstrukcije iznosila više od 2000 EUR/m<sup>2</sup>, a prema izračunu projektanta cijena gradnje nove građevine ne bi prekoračila iznos od 1500 EUR/m<sup>2</sup>.

## LITERATURA

- [1] Kovač, D.: Elaborat ocjene postojećeg stanja građevinske konstrukcije, 2023.
- [2] Kovač, D.: Projekt obnove konstrukcije zgrade, 2023.
- [3] Kovač, D.: Projektna i fotodokumentacija projektnog ureda Capital Ing d.o.o. Zagreb
- [4] Grünthal, G.: European Macroseismic Scale, Cahiers du Centre Europeen de Géodynamique et de Séismologie, Vol. 15, 1998.
- [5] Tehnički propis za građevinske konstrukcije (NN 17/17, 75/20 i 7/22)

- [6] Uroš, M., Atalić, J., Crnogorac, M., Kovač, D., Pojatina, J., Tarnik, K., Todorčić, M., Trogrlić, B.: Procjena oštećenja zidanih zgrada nakon potresa, 9. Sabor Hrvatskih graditelja, 2024.
- [7] HRN EN 1998-1 : Projektiranje potresne otpornosti , 1. dio – opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade, 2011
- [8] Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 C.S.LL.PP.
- [9] Frančišković, Ž.: Stručno mišljenje o stanju nosive konstrukcije građevine nakon potresa, 29.12.2020., 2021.
- [10] Radnić, J., Grgić, N., Buzov, A., Banović, I., Smilović Zulim, M., Baloević, G., Sunara, M.: Potres Petrinja magnitude Mw 6.4: glavni parametri potresa, utjecaj na građevine i preporuke za njihovu obnovu, GRAĐEVINAR, 73 (2021) 11, pp. 1109-1128, doi: <https://doi.org/10.14256/JCE.3243.2021>
- [11] Uroš, M., Šavor Novak, M., Atalić, J., Sigmund, Z., Baniček, M., Demšić, M., Hak, S.: Procjena oštećenja građevina nakon potresa – postupak provođenja pregleda zgrada, GRAĐEVINAR, 72 (2020) 12, pp. 869-893, doi: <https://doi.org/10.14256/JCE.2969.2020>
- [12] Perić, L., Matorić, I.: Pouzdanost tradicionalnih zidanih građevina s drvenim stropovima na potresno djelovanje, GRAĐEVINAR, 72 (2020) 10, pp. 869-893, doi: <https://doi.org/10.14256/JCE.2965.2020>