

KLASA: 644-01/20-18/112

URBROJ: 251-64-20-21-3

Mjesto i datum: Zagreb, travanj 2021. godine

# PROGRAM CJELOVITE OBNOVE POVIJESNE JEZGRE GRADA ZAGREBA **Konstruktorski modeli obnove**

Naručitelj: **GRAD ZAGREB,**  
**ZAVOD ZA PROSTORNO UREĐENJE GRADA ZAGREBA**  
Ulica Republike Austrije 18, 10 000 Zagreb

Narudžbenica br.: 2020-42123

Voditelj tima: Izv.prof.dr.sc. Josip Atalić, dipl.ing.građ.

Suradnici: prof.dr.sc. Stjepan Lakušić  
Miljenko Srkoč, dipl.ing.građ.

Izv.prof.dr.sc. Mario Uroš, dipl.ing.građ.  
Maja Baniček, mag.ing.aedif.  
Tea Žagar, mag.ing.aedif.  
doc. dr.sc. Zvonko Sigmund, dipl.ing.građ.  
doc. dr.sc. Marta Šavor Novak, dipl.ing.građ.

Voditelj Hrvatskog centra za potresno inženjerstvo:

Izv.prof.dr.sc. Josip Atalić, dipl.ing.građ.

---

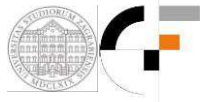


## SADRŽAJ

1	SAŽETAK.....	4
2	UVOD.....	6
3	POSTOJEĆA ISTRAŽIVANJA.....	9
3.1	Uvod.....	9
3.2	RIZIK OD POTRESA .....	9
3.3	STUDIJE ZA SANIRANJE POSLJEDICA POTRESA .....	14
4	REZULTATI PROCJENE OŠTEĆENJA I UPORABLJIVOSTI ZGRADA NAKON POTRESA U ZAGREBU .....	18
4.1	Uvod.....	18
4.2	Metodologija .....	18
4.3	Rezultati .....	21
4.4	Primjer rezultata procjene oštećenja i uporabljivosti zgrada.....	24
4.5	Zaključak.....	27
5	INICIJALNA PROCJENA POTRESNE OŠTETLJIVOSTI .....	28
5.1	Uvod.....	28
5.2	Općenito o metodi .....	28
5.3	Metodologija .....	29
5.4	Rezultati .....	32
5.5	Zaključak.....	37
6	DETALJNIJE ANALIZE ODABRANIH GRAĐEVINA UNUTAR BLOKA19 .....	38
6.1	Uvod.....	38
6.2	Modeliranje i pretpostavke proračuna .....	38
6.3	Odabrani primjeri karakterističnih zgrada .....	40
6.3.1	Građevina na adresi Ilica 51-53-53a.....	40
6.3.2	Građevina na adresi Frankopanska 4.....	45
6.3.3	Građevina na adresi Frankopanska 2 / Ilica 41.....	48
6.3.4	Građevina na adresi Dalmatinska 10 .....	51
7	INAČICE OBNOVE .....	54
7.1	Uvod.....	54
7.2	Općenito o obnovi .....	54
7.3	Metodologija .....	56
▪	Elaborat ocjene postojećeg stanja .....	56
	Prikaz tehničkog stanja postojeće zgrade. ....	57
	Program potrebnih istražnih radova i ispitivanja konstrukcije.....	58
	Provjera i analiza ispunjavanja temeljnog zahtjeva mehaničke otpornosti i stabilnosti te potresne otpornosti. ....	59
	Elaborirana ocjena postojećeg stanja. ....	59
7.4	Konceptualna rješenja.....	60
	Pregled konceptualnih rješenja .....	60



Financijska složenost i ekonomska analiza isplativosti .....	65
<b>8 PROBLEMATIKA SEIZMIČKIH RAZDJELNICA ZGRADA U BLOKU.....</b>	<b>66</b>
8.1 Uvod.....	66
8.2 Općenito o razdjelnicama .....	66
<b>9 TRENUTNI ZAKLJUČCI O SMJERU OBNOVE .....</b>	<b>74</b>
<b>10 REFERENCE.....</b>	<b>78</b>
<b>11 POPIS SLIKA .....</b>	<b>82</b>
<b>12 POPIS TABLICA.....</b>	<b>84</b>



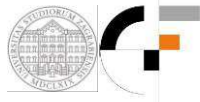
## 1 SAŽETAK

Potresi u Zagrebu (ožujak 2020), a potom i potresi kod Petrinje (krajem 2020) su bolno razotkrili brojne probleme vezane za svojstva građevnog fonda (posebice konstrukcijska) pri čemu je povijesna urbana jezgra grada Zagreba posebice istaknuta. Sigurnost konstrukcije je jedan od termina kojeg su potresi "probudili", ali ključno je ne zaboraviti (opet) već djelovati sukladno znanju koje se krije iza tog termina. Ukoliko intervencijama unutar Bloka19 osiguramo odnosno budemo mogli garantirati građanima određenu razinu sigurnosti s time ih možemo motivirati za povratak u njihove domove (spriječiti iseljavanje), ali i pokušati umanjiti njihove traume (strahove) od potresa. Takav projektni zadatak je vrlo zahtjevan jer govorimo na građevnom fondu koji je stariji od 100 godina (više od dva puta od uobičajenog projektiranog vijeka trajanja konstrukcija po važećim propisima), dotrajavao (materijali su izgubili svoja svojstva), uglavnom neodržavan te višestruko rekonstruiran (veliki problem) i slično.

Početno su postavljeni ciljevi da treba jasno odrediti postojeću razinu sigurnosti, definirati plan podizanja razine sigurnosti težeći prema zahtjevima suvremenih propisa, iskoristiti suvremena znanja i tehnička rješenja (primjerice materijala) s ciljem podizanja sigurnosti (ali i kvalitete života), definirati procese održavanja građevina kroz praćenje i dokumentiranje svih budućih aktivnosti i u konačnici jasno komunicirati s ciljem podizanja razine svijesti o riziku od potresa (primjerice, osvijestiti o štetnosti nezakonitih rekonstrukcija). Za ostvarenje postavljenih ciljeva iskorištena su postojeća znanja i metodologije koje obuhvaćaju:

- detaljnu analizu raspoložive dokumentacije,
- vizualni pregled zgrada i razvrstavanje po karakterističnim kategorijama zgrada i kategorijama oštećenja koristeći podatke iz brzog/preliminarnog pregleda volontera,
- inženjersku preliminarnu procjenu otpornosti zgrada korištenjem analitike razvijene unutar Studija za saniranje posljedica potresa (2014-2021) koja se temelji na pridodavanju težinskih faktora karakterističnim elementima/atributima zgrada.
- detaljnu analizu odabranih karakterističnih zgrada koje uključuju i izradu numeričkog modela.

Prelimnarni rezultati pokazuju veliku ugroženost zgrada s obzirom na potrese koje očekujemo na području grada Zagreba. Na temelju provedenih analiza različite složenosti razmatrani su i različiti tipovi konstruktorskog modela obnove što je uključivalo široki spektar pristupa: od minimalnih intervencija do uklanjanja zgrade. Specifičnost analiza zgrada u bloku je da ih se ne može razmatrati neovisno (što je uobičajeno u projektantskoj praksi) već je potrebno analizirati međudjelovanje zgrada (utjecaj jedne na drugu). Takav pristup otvara jednu novu dimenziju i mogućih intervencija koje se ne moraju fokusirati na pojedinačne zgrade već se izdvajanjem karakterističnih dijelova bloka može djelovati na blok (ili dio bloka) u cjelini što se pokazalo efikasnije. Primjerice, povezivanje zgrada, izvedba zajedničkih ploča, povezivanje karakterističnih osi zidova što nisu uobičajena rješenja, ali potres u Zagrebu je istaknuo povoljnije ponašanje zgrada u nizu. Dodatni



aspekt je pokušati "iskoristiti" predložene arhitektonske koncepte (interpolacije, aneksi, liftovi i slično) za povećanje sigurnosti konstrukcija odnosno građana. Na istom tragu se mogu "iskoristiti" intervencije vezane za energetske obnovu, neko prometno rješenje i slično.

Program cjelovite obnove povijesne jezgre Zagreba, gdje je konstruktorska obnova samo jedan od aspekata, je izvrstan prvi korak u kojem se konceptualno sveobuhvatno sagledava problematika. U konačnici treba imati na umu da je sigurnost, kao jedan od temeljnih tehničkih zahtjeva za građevine, samo jedna od ishodišnih točaka djelovanja, ali ključno je povezati se s dobrobitima interdisciplinarnog pristupa odnosno razmotriti, pa i iskoristiti, sve aspekte cjelovite obnove.

**Ključne riječi:** konstruktorski pristup, sigurnost, otpornost građevine, zgrade u bloku ili nizu, međudjelovanje zgrada, povezivanje intervencija.

## 2 UVOD

U uvodnom poglavlju će se pokušati približiti **cjelovita slika** rizika od potresa i upravljanja rizikom od potresa povezujući nekoliko postojećih aktivnosti i postavljajući smjernice za buduće aktivnosti jer je jedna od osnovnih ideja *Programa cjelovite obnove povijesne jezgre grada Zagreba (PCOPJGZ)* da bude sveobuhvatan i široko primjenjiv. Prilikom postavljanja temelja osvrnuti ćemo se na *Studije za saniranje posljedica potresa* koje se već 9 godina izrađuju za grad Zagreb i *Procjene rizika od katastrofa* na razini države koje su razmatrale scenarije za grad Zagreb povezujući, ali i niz ostalih aktivnosti u području potresnog inženjerstva ciljajući približiti cjelovitu sliku i što sveobuhvatnije rješenje u PCOPJGZ.

Proteklih godina se kontinuirano upozoravalo da podrhtavanje tla uzrokovano djelovanjem potresa može uzrokovati **katastrofalne posljedice** s obzirom na ljudske i materijalne gubitke, a ove godine smo to i doživjeli. Potres u Zagrebu, nije prvi potres koji je zadesio Hrvatsku, ali karakteristično je da se svi potresi relativno brzo zaboravljaju odnosno razina svijesti o riziku od potresa vrlo brzo opada. Potresi su tijekom povijesti uništavali dijelove gradova, čitava naselja, a ponekad mogu izazvati potpuni poremećaj gospodarskih i društvenih odnosa u zajednici (4). Zagreb je pogodio potres samo umjerene magnitude, ali je uzrokovao velike štete pa će proces obnove biti izrazito skup i dugotrajan. I diljem svijeta su, u posljednjim desetljećima, ustanovljeni značajni gospodarski i društveni gubici radi djelovanja potresa (5). Nakon potresa u Zagrebu svi smo se najednom prisjetili posljednjeg značajnijeg potresa u Zagrebu koji se dogodio se još davne 1880. godine kada je oštećen veći dio grada (Slika 2.1) i posljedično je došlo do masovnog iseljavanja stanovništva. Više puta se isticala činjenica da se može očekivati ponavljanje razornog potresa na istom mjestu i da je bitno raditi na podizanju **svijesti o potresima** (i mogućim posljedicama) među građanima da pokušamo umanjiti potencijalne posljedice.



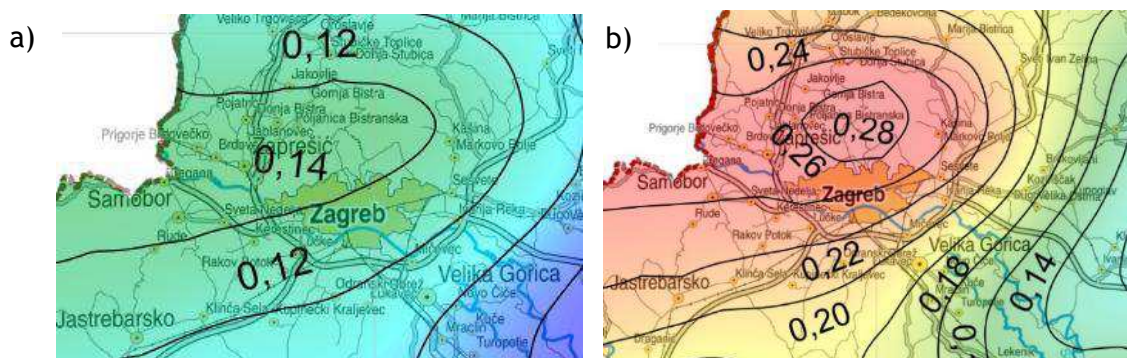
Slika 2.1 Nakon zagrebačkog potresa 1880. godine: a. Vlaška ulica, stara vojna bolnica i Petrova crkva, b. Gornji grad, Popov toranj - zvjezdarnica; c. Zrinjevac, Arheološki muzej (6)

S obzirom da su novčani gubitci i ljudske žrtve zbog potresa uglavnom povezani s **oštećenjima na građevinama** vrlo je bitno posvetiti posebnu pažnju na detaljniju analizu postojećeg fonda građevina i procjenu potresne otpornosti. Takve analize bi rezultirale bazom podataka koja se u konačnici može iskoristiti za preciznije procjene rizika, seizmička pojačanja građevina, dimenzioniranje kapaciteta za zaštitu i spašavanje, procjene oštećenja u pregledima građevina nakon potresa odnosno općenito stvaranje politika i strategija vezano za aktivnosti prije i poslije potresa.

Trenutno postoji nekoliko **procjena rizika od potresa za Grad Zagreb**, ali bitno je istaknuti da su sve procjene suočene s problemom manjkavih baza podataka o konstrukcijama što predstavlja ključni element za preciznost procjena, stoga je na tome nužno sustavno raditi. Manjkavost baza podataka se pokazala kao veliki problem i kod procjena oštećenja nakon potresa, ali pokrenuto je nekoliko inicijativa koje bi mogle u sljedećim godinama napraviti velike korake naprijed. Ured za upravljanje u hitnim situacijama kontinuirano izrađuje (ažurira) "**Procjene ugroženosti stanovništva, materijalnih i kulturnih dobara i okoliša od katastrofa i velikih nesreća za područje Zagreba**" (primjerice 2011., 2016. i 2018. godine) (7). Navedene procjene su temelj i podloga za izradu planova zaštite i spašavanja, a dio procjene ugroženosti odnosi se i na potres kao potencijalno najveću katastrofu koja može zadesiti građane Grada Zagreba.

Na državnoj razini na sastanku Glavne radne skupine za izradu **Procjene rizika od katastrofa u Republici Hrvatskoj** u svibnju 2014. godine, potres je uz poplave identificiran kao jedan od glavnih rizika. Pri odabiru scenarija na razini Republike Hrvatske odabran je onaj pod nazivom: **Podrhtavanje tla u Gradu Zagrebu uzrokovano potresom na razini povratnog perioda usklađenog s propisima za projektiranje potresne otpornosti** (6) s obzirom na važnost Grada. Slično kao i prethodno spomenuta procjena ugroženosti za područje Grada Zagreba, scenarij je pokazao katastrofalne posljedice za život i zdravlje ljudi, za gospodarstvo pa i za društvenu stabilnost i politiku (kroz štete na stambenim građevinama i onim od javnog i društvenog značaja te oštećenoj infrastrukturi).

Ažuriranje procjene (6) napravljeno je 2018. godine (8), pri čemu je velik iskorak napravljen prema preciznijoj procjeni konstrukcijskih svojstava fonda stambenih zgrada koja utječe na definiranje **izloženosti fonda građevina**, jednog od glavnih faktora o kojima ovisi rizik od potresa (6). U dokumentu je istaknuto da je za nove iskorake prema preciznijim procjenama nužno predvidjeti značajna istraživanja koja bi omogućila podatke koji nedostaju.



Slika 2.2 Horizontalna ubrzanja tla za Zagreb i okolicu  
a) povratno razdoblje 95 godina, b) povratno razdoblje 475 godina (10)

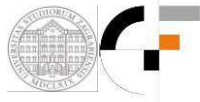
S obzirom da se Zagreb nalazi na jednom od seizmički najaktivnijih područja u državi (Slika 2.2) i s obzirom na važnost Grada Zagreba kao glavnog grada, središta državne uprave, gospodarskog središta (oko trećine gospodarstva Republike Hrvatske), regionalnog središta (oko 20 % stanovništva Republike Hrvatske), ali i kulturnog, umjetničkog, obrazovnog i zdravstvenog središta bitno je kontinuirano raditi i ulagati u procjene rizika od potresa te aktivnosti koje upravljaju tim rizikom.

Treba istaknuti da infrastrukturne i strateške građevine nije moguće obuhvatiti grubim procjenama rizika na razini grada već u pravilu zahtijevaju prilagođen ili individualan pristup ovisno o važnosti građevine, a takve analize su često rađene u Studiji. Također, treba imati na umu na postojeće pravilnike koji se odnose na zgrade kritične infrastrukture. Općenito bitno je istaknuti da će su analizama konstruktorskih modela obnove **opisati i koristiti svi raspoloživi pristupi**, a potom ovisno o rubnim uvjetima (raspoloživim sredstvima i vremenu) rješenja postupno prilagođavati.



**Slika 2.3** Učinci potresa na povijesni centar grada (autori fotografija: AIR-RMLD d.o.o. [www.air-rmld.com](http://www.air-rmld.com), Filip Foretić, Karlo Jandrić) [X]

Zaključno, s obzirom da potrese nije moguće spriječiti, **provođenje mjera za ublažavanje posljedica** potresa i pripremljenost društvene zajednice u slučaju njegove pojave od iznimne su važnosti. S obzirom na posljedice nedavnog potresa u Zagrebu pokazala se važnost investiranja u istraživanja, a rezultati ovakvih istraživanja mogu biti osnova za definiranje strategija za budućnost. U nastavku će se istaknuti aktivnosti u proteklim fazama Studije kao temelj za potencijalne naredne faze (buduća djelovanja).



### 3 POSTOJEĆA ISTRAŽIVANJA

#### 3.1 Uvod

U ovom poglavlju će se pokušati dati šira slika s obzirom na rizik od potresa i upravljanje rizikom od potresa. Analizirajući problematiku Bloka 19 očito je da ga je teško promatrati kao izdvojeni element odnosno da je ključno sagledati i perspektivu rizika od potresa za cijeli Grad Zagreb, a potom se spustiti na tradicijsku jezgru odnosno na specifičan blok. Dodatni (konačni) korak je analiza pojedinačnih zgrada, ali posve je očito da analiza svih zgrada unutar bloka nije ostvariva u kratkom roku i ograničenim ulaznim podacima. Taj prijelaz od procjena rizika za cijelo gradsko područje prema pojedinačnim analizama, a sve s ciljem sagledavanja cjelovite slike je osnovna tema ovog poglavlja.

#### 3.2 RIZIK OD POTRESA

Rizik od potresa opisuje negativne posljedice izazvane potresom (žrtve, štete i dr.) i vjerojatnost njihove pojave za određenu razinu seizmičkog hazarda. Procjenjuje se na osnovi očekivanog oštećenja postojećeg fonda građevina temeljem kojeg se zatim proračunavaju moguće opasnosti za ljudsko zdravlje i život te odgovarajući financijski gubici, izravni i neizravni, zbog nastale štete [Calvi et al. 2006]. Faktori koji utječu na rizik od potresa su seizmički hazard, izloženost i oštetljivost.

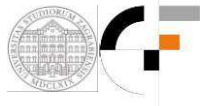
Seizmički hazard ili potresna opasnost obuhvaća potencijalno razorne učinke potresa (primjerice podrhtavanje tla, likvefakcija, odroni i slično) na promatranoj lokaciji. Izražava se statističkom vjerojatnošću premašivanja odabranog parametra u zadanom razdoblju, primjerice vršnog ubrzanja tla ili spektralnog ubrzanja.

Izloženost se može definirati kao razmjer ljudske aktivnosti (primjerice prisutnost građevina) u područjima izloženim seizmičkom hazardu. Najvažniji dio podataka o izloženosti odnosi se na bazu podataka o postojećim građevinama (fond) jer oštećenje ili uništenje građevina prilikom djelovanja potresa značajno doprinosi društvenom i ekonomskom riziku [Spence et al. 2012]. Na popis zgrada se veže popis stanovnika, način njihova korištenja (stambene, industrijske, kritična infrastruktura itd.), trošak zamjene zgrada (temelj proračuna financijskih gubitaka) i slično.

Fizička oštetljivost se može definirati kao podložnost izloženih građevina učincima potresa (oštećenjima), a cilj njene procjene je odrediti vjerojatnost pojave zadane razine oštećenosti kod određenog tipa građevine zbog djelovanja potresa.

Ako se osvrnemo na Grad Zagreb, poznato je da se nalazi u seizmički aktivnom području, pri čemu se ističe povijesni potres iz 1880. godine, procijenjene magnitude 6,2 te nedavni potresi iz 2020. godine. Iako je intuitivno jasno da je rizik od potresa grada velik jer se uz dokazanu seizmičnost lokacije radi o glavnom gradu s gotovo 20 % stanovništva cijele države, visoke gustoće naseljenosti te relativno starog stambenog fonda, ipak će se ta tvrdnja detaljnije obrazložiti u daljnjem tekstu.

Što se tiče seizmičkog hazarda, on je na području Republike Hrvatske definiran je važećom kartom potresnih područja [Herak et al. 2011], prema kojoj se u Zagrebu i okolici mogu



očekivati vršna ubrzanja tla na osnovnoj stijeni od 0,20-0,28g za povratno razdoblje od 475 godina. Iako se seizmičko mikrozoniranje nije provelo na cijelom području grada Zagreba [Jurak et al. 2008, Herak et al. 2013, Miklin et al. 2019, Sović et al. 2019], može se pretpostaviti da većina tala odgovara tipovima B i C prema klasifikaciji u skladu s normom za projektiranje potresne otpornosti HRN EN 1998. Seizmička opasnost Zagreba potječe uglavnom iz Medvedničkog epicentralnog područja, iako se ne mogu zanemariti niti utjecaji potresa u okolici Ivančice, Brežica, Krškog pa i udaljenijih područja poput Pokuplja ili Žumberka.

Ako se osvrnemo na izloženost i oštetljivost fonda građevina, treba istaknuti da je skoro trećina svih stambenih jedinica izgrađena prije donošenja prvih propisa za protupotresno projektiranje 1964. godine, a dodatno oko polovica svih jedinica izgrađenih nakon 1964. godine je projektirana na potresno opterećenje koje je značajno manje od opterećenja prema trenutno važećim propisima. Uz starost stambenog fonda, treba imati na umu i često lošu kvalitetu izvedbe, loše održavanje i naknadne nestručne preinake (rekonstrukcije).

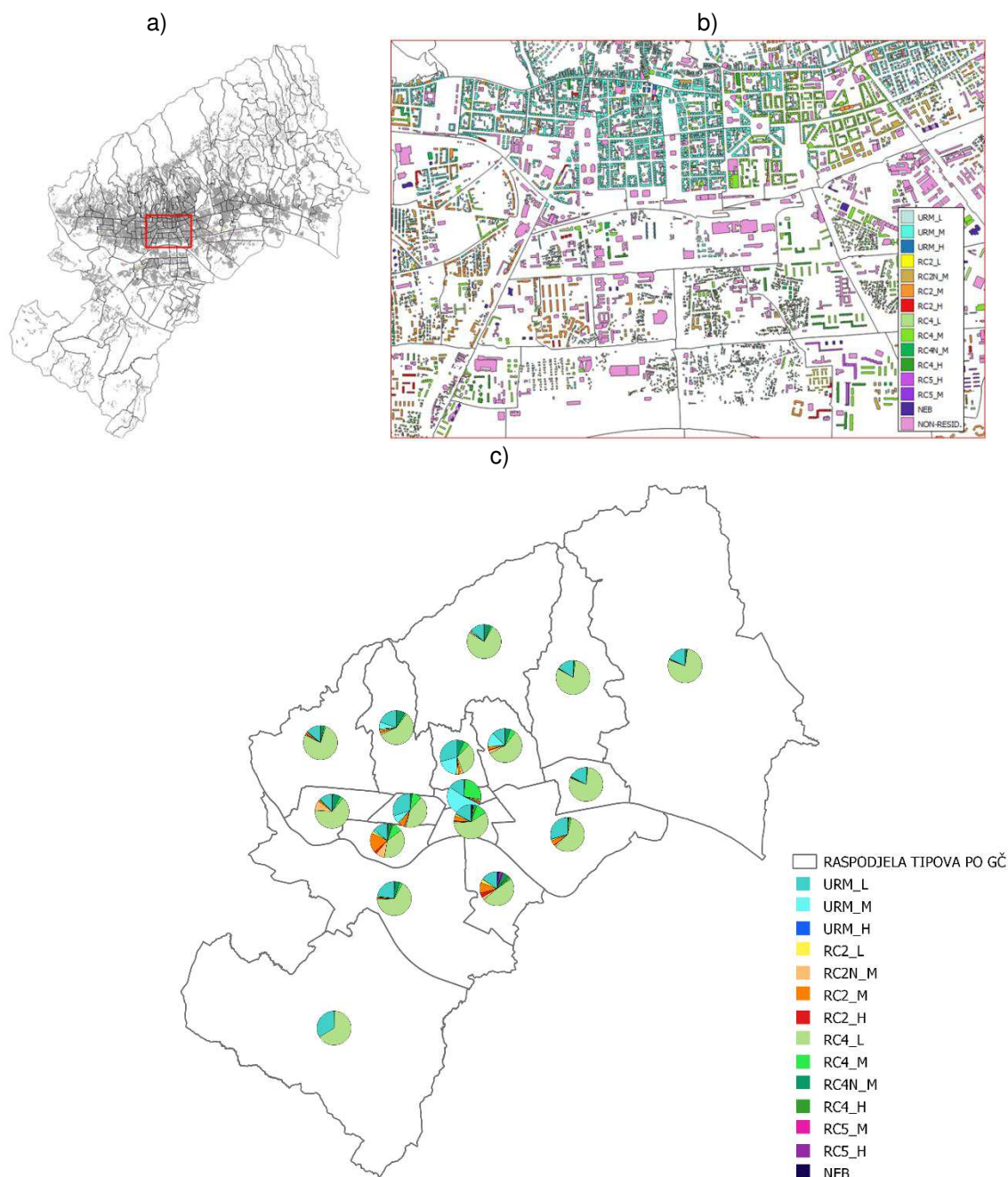
Osnovni problem procjena izloženosti i oštetljivosti fonda građevina jest nepostojanje službene baze podataka o građevinama u Republici Hrvatskoj koja bi sadržavala osnovne podatke o građevinama kao što su njihov ukupni broj, namjena, godina izgradnje, materijal, konstrukcijski sustav, dimenzije, visina, katnost i drugo. Nažalost, službeni podaci se veću za stambene jedinice (stanove), a razvidno je da se ne može procijeniti potresna oštetljivost pojedinog stana, već se ona odnosi na cijelu zgradu.

Kako bi se detaljnije utvrdile karakteristike fonda zgrada na području Zagreba i analizirala njihova oštetljivost, na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu su inicirana dodatna istraživanja (npr. u sklopu izrade Studija za saniranje posljedica potresa u Gradu Zagrebu te službenih procjena rizika od potresa za RH 2014. godine i ažuriranja 2018. godine), o čemu se detaljnije može pronaći u radu [Atalić et al. 2019], a ovdje će se detaljnije pojasniti samo zadnja ažurirana službena procjena rizika od potresa za RH [Atalić et al. 2018].

U sklopu njene izrade su definirani najčešći tipovi konstrukcijskih sustava (njih 14) u Zagrebu. Zatim je za svaki mjesni odbor određeno učešće svakog pojedinog tipa u ukupnom broju stambenih zgrada. Postupak se provodio u GIS sučelju, koristeći najnoviju ortofoto kartu Grada iz 2018. godine kao podlogu na način da je svakoj vizualno identificiranoj zgradi na mapi pridružen određeni tip što je omogućilo i da se odredi broj zgrada (jer službeni podaci postoje samo za stambene jedinice). Također, na razini mjesnog odbora je svakom tipu konstrukcijskog sustava pridružen broj stanovnika kako bi se u konačnici mogao procijeniti broj mogućih žrtava s obzirom na procjenu očekivanog broja teško oštećenih i srušenih zgrada.

Na sljedećoj slici mogu se vidjeti podaci o konstrukcijskim sustavima zgrada za neke mjesne odbore i raspodjelu po gradskim četvrtima, unesene u GIS sustav. Oznake tipova konstrukcijskih sustava URM se odnose na zidane zgrade bez serklaža, RC2 na zgrade sa armiranobetonskim zidovima, RC4 na zgrade kojima je dominantan konstrukcijski sustav

okvir s ispunom i omeđeno zide, RC5 na tipske armiranobetonске zgrade (tzv. limenke) i NEB na armiranobetonске tornjeve. U svim oznakama L, M i H se odnose na broj katova.



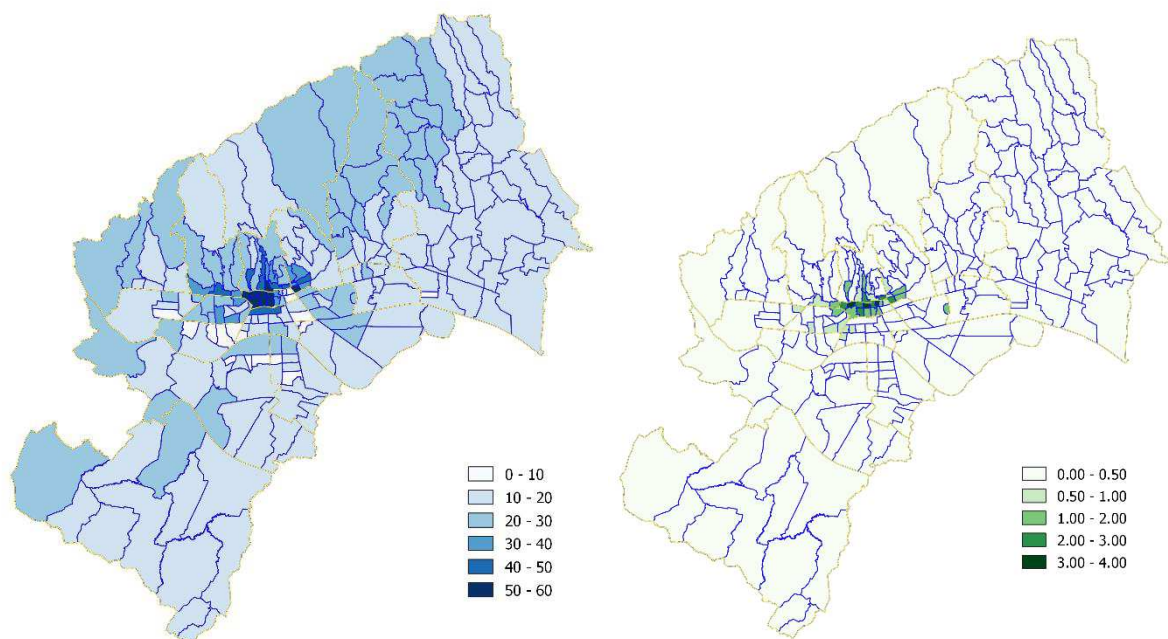
Slika 3.1 a) Karta Zagreba s granicama mjesnih odbora i gradskih četvrti, b) tipovi konstrukcija označeni na karti [Atalić et al. 2018a], c) raspodjela tipova konstrukcija po gradskim četvrtima

Ako se detaljnije razmotri gradska četvrt (GČ) Donji grad, uočava se da prevladavaju zidane zgrade bez serklaža niže i srednje katnosti. To su većinom zgrade izgrađene krajem 19. i početkom 20. stoljeća. Treba istaknuti, tijekom godina zgrade su često rekonstruirane, ne uvijek u skladu s pravilima struke i na taj su način dodatno oslabljene.

Također, materijali nosivih elemenata, primjerice mort i opeka, s vremenom degradiraju i gube mehanička svojstva.

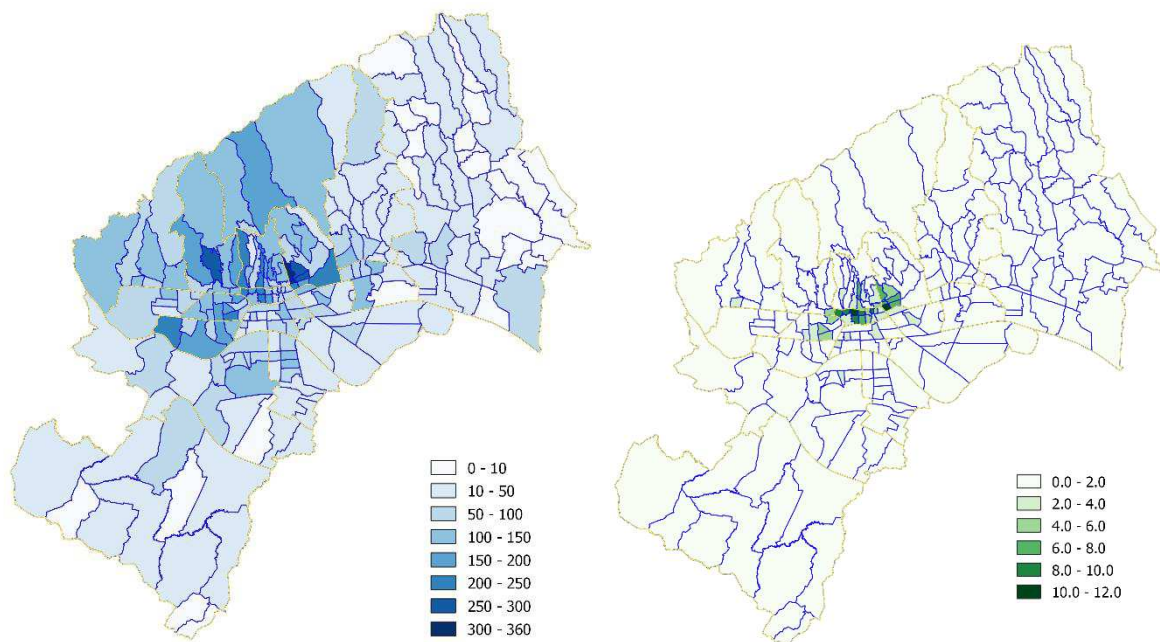
Kako bi se provela analiza oštetljivosti stambenog fonda, u ažuriranoj procjeni rizika su sukladno trenutnom stanju područja korištene krivulje vjerojatnosti oštećenja, često zvane i krivulje ranjivosti (engl. fragility curve), i krivulje oštetljivosti (engl. vulnerability curve). Krivulje vjerojatnosti oštećenja daju ovisnost očekivanih oštećenja pojedinog tipa zgrade o mjeri intenziteta potresnog gibanja. Određeno je ukupno 14 nizova takvih krivulja za najčešće tipove nosivih sustava zgrada u Zagrebu. Klasifikacija oštećenja je napravljena prema EMS-98 ljestvici [Grünthal 1998] s 5 stupnjeva oštećenja (I: neznatno do blago oštećenje, II: umjereno oštećenje, III: značajno do teško oštećenje, IV: vrlo teško oštećenje i V: rušenje). U procjeni rizika od potresa nužno je povezati očekivana oštećenja zgrada s nastalom štetom, što se može izraziti relativnim financijskim gubicima zbog oštećenja u odnosu na vrijednost građevine, izražene omjerom troškova potrebnih popravaka i troškova zamjene objekta. Koristeći takav postupak, proračunati su ukupni novčani gubitci za svaki mjesni odbor grada uslijed zadanih scenarija djelovanja potresa. Napominje se da su uzeti u obzir samo izravni gubici nastali uslijed oštećenja/rušenja stambenih zgrada. Procijenjeno je da će za scenarij pojave potresa s povratnim razdobljem od 475 godina novčani gubici doseći oko 15,6 milijardi EUR, dok će za scenarij pojave potresa od 95 godina gubici biti oko 6,1 milijardi EUR.

Na sljedećoj slici je prikazan postotak srušenih zgrada u odnosu na ukupan broj zgrada u mjesnom odboru i broj srušenih zgrada po hektaru za scenarij pojave potresa s povratnim razdobljem od 475 godina. Može se uočiti da se najveći postotak srušenih zgrada očekuje baš u mjesnim odborima gradske četvrti Donji grad.



Slika 3.2 Postotak srušenih zgrada u odnosu na ukupan broj zgrada u mjesnom odboru i broj srušenih zgrada po hektaru (475 PP)

Ako se pogledaju ukupni novčani gubici po mjesnim odborima, Donji grad se ne izdvaja zbog malog broja zgrada u odnosu na ukupni broj zgrada u Zagrebu. Prema procjeni, svega 2 % stambenih zgrada se nalazi u toj četvrti, no njihovo oštećivanje/rušenje uzrokuje gotovo 11 % svih novčanih gubitaka u gradu. Ako se razmotre rezultati po hektaru (desna slika), uočava se ipak da Donji grad prednjači po gubicima.



Slika 3.3 Troškovi u milijunima EUR i troškovi u milijunima EUR po hektaru (475 PP)

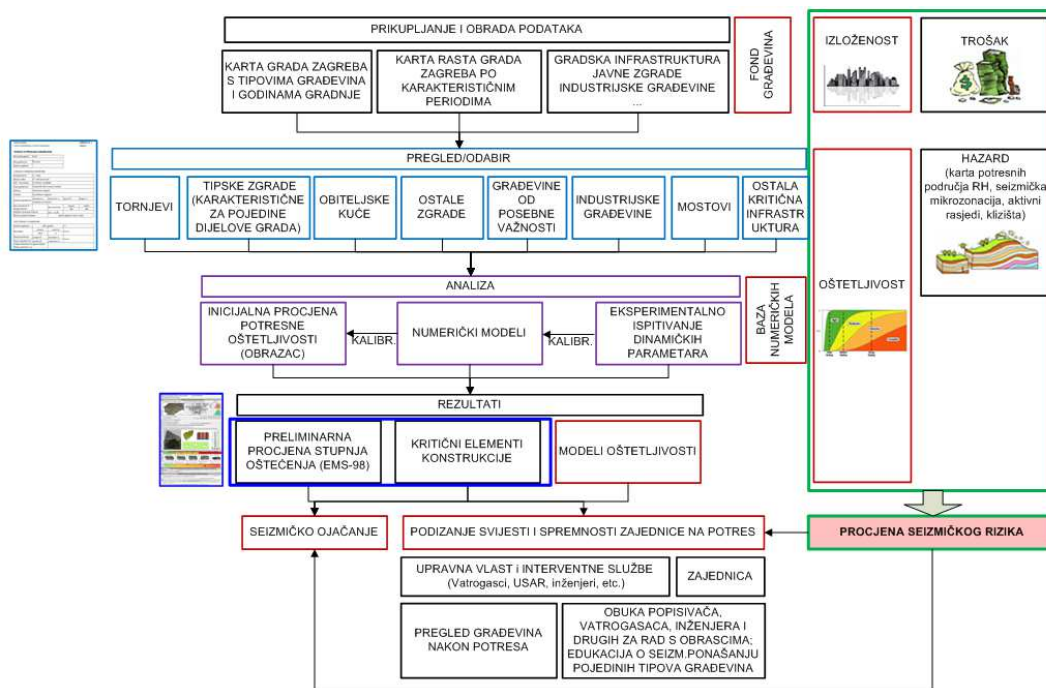
Osim velike oštetljivosti fonda zgrada, riziku od potresa te četvrti značajno doprinosi i velika gustoća naseljenosti. Naime, GČ Donji grad je je najgušće naseljeni dio Zagreba s više od 12.000 stanovnika/km<sup>2</sup>. Od ukupno 2600 stradalih osoba u gradu (prema procjeni napravljenoj u ovisnosti o pretpostavljenom broju osoba u procjenom dobivenim srušenim zgradama u vrijeme djelovanja potresa) za scenarij potresa s povratnim periodom od 475 godina, oko 12 % odnosi na GČ Donji grad.

**Zaključno, potresni rizik grada Zagreba je vrlo velik zbog umjerenog do visokog potresnog hazarda, velike izloženosti (zbog guste naseljenosti, kulturnog naslijeđa, važnosti grada) i velike oštetljivosti građevina (zbog nepovoljnog koncepta nosive konstrukcije, starosti, lošeg održavanja, nezakonitih izvedbi i rekonstrukcija). GČ Donji grad, iako zauzima svega 0,5 % površine grada, značajno doprinosi riziku, prvenstveno zbog lošeg fonda zgrada i velike gustoće naseljenosti.**

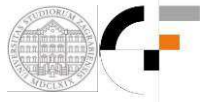
### 3.3 STUDIJE ZA SANIRANJE POSLJEDICA POTRESA

Studije za saniranje posljedica potresa je dio realizacije projekta br. 11, Ureda za upravljanje u hitnim situacijama "Izrada studija za saniranje posljedica potresa" gdje se nastoje stvoriti realne pretpostavke za ublažavanje i saniranje posljedica potresa kao jedne od potencijalno najvećih katastrofa koje mogu zadesiti Grad Zagreb. Navedena Studija provodi se u okviru Razvojne strategije Grada Zagreba u skladu s važećim propisima, a trenutno je deveta godina rada na studiji odnosno **9. faza**. Sve faze studije su uglavnom povezane odnosno nadovezuju se u ostvarivanju početno postavljenog cilja: saniranja posljedica potresa. Studija je prvotno zamišljena kao podrška opsežnijem projektu unutar kojeg je planirano napraviti procjenu rizika za grad Zagreb [X].

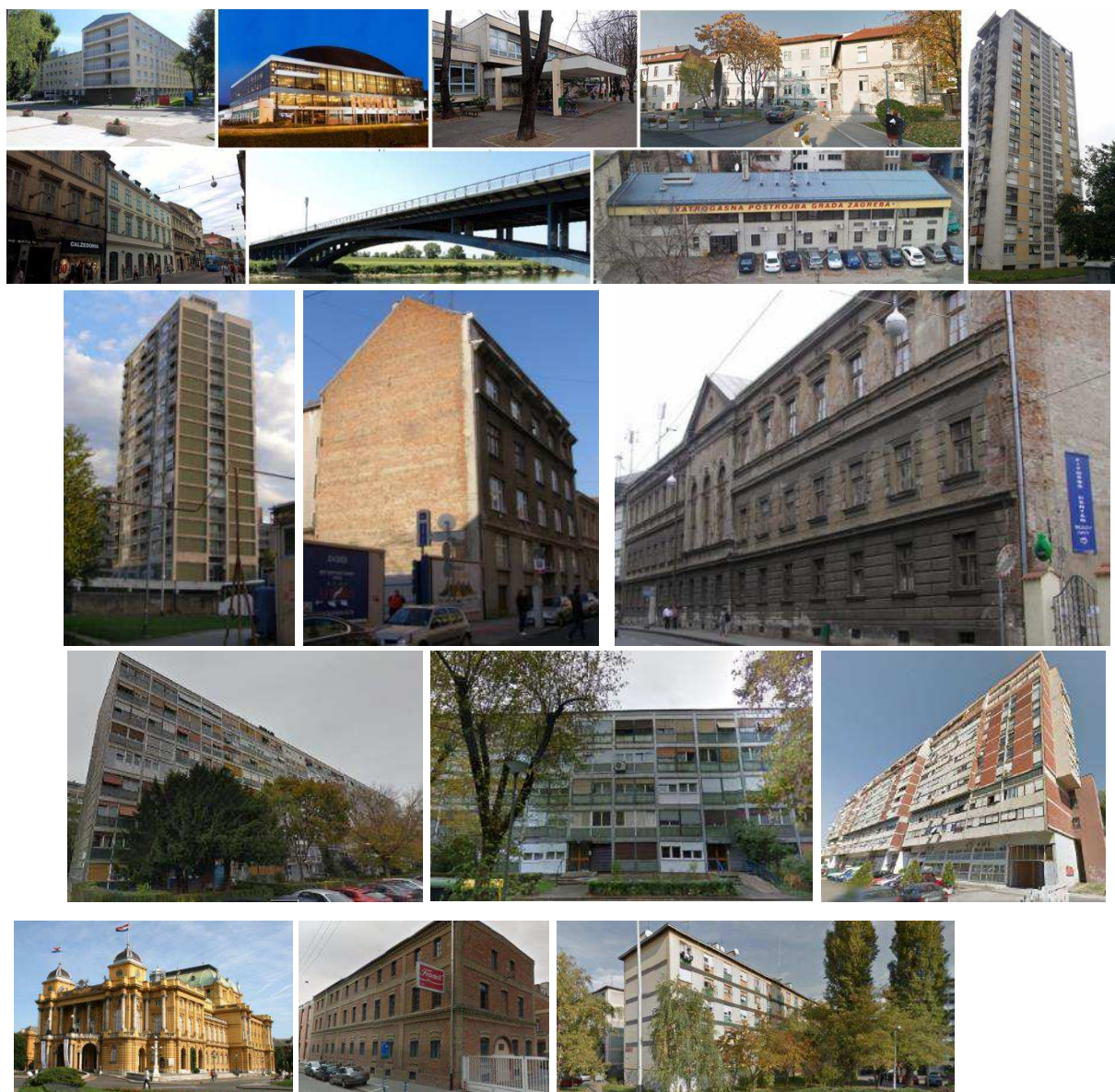
Tijekom devet godina rada na Studiji, u kojoj je sudjelovalo mnogo stručnjaka, obrađene su brojne teme vezane za aktivnosti prije i poslije potresa koje obuhvaćaju: kreiranje kvalitetne baze podataka o građevinama (definiranje metodologije, obrazaca, ključnih atributa, podjela grada na karakteristične dijelove - izrada karte (Slika 6.a), obuka popisivača itd.), razvoj metodologije brze inicijalne procjene potresne oštetljivosti (identifikacija ključnih parametara, kreiranje obrasca, itd.), detaljne procjene potresne otpornosti građevina na temelju eksperimentalnih i numeričkih analiza uz identifikaciju kritičnih mjesta, prijedloge seizmičkih pojačanja, organizaciju pregleda oštećenih građevina nakon potresa (izrada obrazaca za preglede, organizacija sustava, edukacije, sudjelovanje na vježbama, itd.) i drugo (slika 14). Ključna je implementacija rezultata u postojeće sustave stoga se tijekom 2020. godine analizirala primjena svih raspoloživih rezultata za potrebe interventnih postrojbi. U konačnici je cilj da sve navedene teme doprinose umanjenju rizika od potresa, a većina ih se može primijeniti i na druga područja u Hrvatskoj [82].



Slika 3.4 Shematski prikaz aktivnosti unutar Studije [82,83]

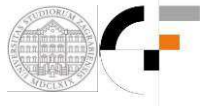


Od brojnih obrađenih tema bitno je istaknuti detaljne eksperimentalne i numeričke analize odabranih zgrada jer rezultati mogu biti višestruko iskoristivi. Prilikom odabira zgrada nastojalo se obuhvatiti karakteristične tipove zgrada prema razdobljima izgradnje, korištenim materijalima, visini građevine te primijenjenim propisima, zatim zgrade sa specifičnim lokalnim značajkama (primjerice, „limenke“, zgrade izvedene tunelskom gradnjom i slično), tornjeve, važne zgrade (povijesne, vatrogasne postaje, bolnice, industrijske, studentski domovi, koncertne dvorane, kazališta, škole, druge javne zgrade, itd.) i ostale elemente kritične infrastrukture (slika 15). Takva **eksperimentalna analiza** bi bila od presudne važnosti za analizu zgrada u Bloku 19 posebice s obzirom na izraziti problem odnosno nedoumicu tretiranja seizmičkih razdjelnica između zgrada (detaljnije obrađeno u poglavlju 8).

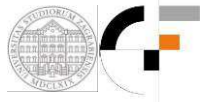


Slika 3.5 Izabrani primjeri zgrada detaljno analiziranih u Studiji





detaljne analize bolnica Sv. Duh (slika 15) i KBC-a Sestre milosrdnice i Fran Mihaljević. Zaključno, unutar Studije se provode brojne aktivnosti kojima se iz različitih aspekata pokušava obraditi problematika rizika od potresa i takvi rezultati odnosno iskustva su od izrazite važnosti za analize kakve se provode i kakve se planira provoditi unutar Bloka19.



## 4 REZULTATI PROCJENE OŠTEĆENJA I UPORABLJIVOSTI ZGRADA NAKON POTRESA U ZAGREBU

### 4.1 Uvod

U ovom poglavlju će se ukratko opisati procjene oštećenja i uporabljivosti zgrada provedene nakon potresa jer su iste bile jedna od početnih točaka za sve daljnje analize. Štoviše, oštećenja zgrada nakon potresa samo umjerene jakosti su ukazala na važnost prethodno spomenutih procjena rizika te ključne uloge upravljanja rizikom od potresa koji mora imati jedan od ključnih ciljeva, a to je zaštita ljudskih života u slučaju razornih potresa. S obzirom da je sigurnost građana postavljena kao jedan od osnovnih ciljeva i ovog projekta, a rezultati procjena oštećenja i uporabljivosti zgrada predstavljaju jedan vrlo važan korak pa će se u nastavku malo detaljnije opisati.

### 4.2 Metodologija

Cilj procjene uporabljivosti oštećenih građevina utvrđivanje sigurnosti korištenja građevina kako bi se prije svega zaštitili ljudski životi, ali i sačuvala imovina. Organizacija pregleda nastalih oštećenja i procjena uporabljivosti građevina u pogođenom području je od posebnog značaja za sigurnost stanovništva te ih je potrebno nakon razornog potresa u što kraćem vremenu izvršiti imajući u vidu da nije moguće ostvariti detaljnu procjenu odnosno ista je predviđena u sljedećim fazama reakcije nakon potresa.

Cilj je ispravna i ujednačena ocjena uporabljivosti građevine na temelju koje se određuje može li promatrana građevina uz trenutačnu razinu oštećenja zadovoljiti uvjete nosivosti, uz zadovoljavajuću razinu sigurnosti, vodeći računa o mogućnosti ponovne pojave potresa. Prema (18), u kontekstu hitne situacije nakon potresa, ocjena uporabljivosti se može definirati kao privremeno i približno određivanje sposobnosti građevine da u slučaju ponovnoga potresa zadrži dovoljnu razinu nosivosti i uporabljivosti kako ne bi ugrozila sigurnost života, pri čemu se ocjena vrši na temelju stručne prosudbe u kratkom vremenskom roku, pomoću vizualne inspekcije i podataka koje je jednostavno prikupiti. Procjene nastalih oštećenja i uporabljivosti građevina izvode se pregledima s različitim razinama detalja, a provode ih stručne radne skupine s potrebnom razinom znanja u skladu s temeljnim obrazovanjem i stručnim iskustvom, uz preporučeno posebno stručno usavršavanje.

Pregledi potresom oštećenih građevina mogu se podijeliti prema hitnosti, vremenu trajanja, opsegu i službama koje ga provode [Vidal et al. 2009]. U prvim satima nakon potresa treba provesti inicijalne preglede kojima će se otkriti teško oštećene građevine, a upotrijebit će se i za grubu procjenu ukupne štete na pogođenom području. Provode ih hitne službe i izvidnički timovi, a primjenom suvremenih tehnologija uključuju se i satelitski snimci te bespilotne letjelice (dronovi). Tijekom provedbe spasilačkih akcija za koje su zadužene vatrogasne i ostale interventne službe, spasilački timovi, a prema potrebi i inženjeri, treba provoditi takozvane spasilačke preglede kojima se utvrđuju eventualne opasnosti za žrtve i spasilačke službe.

U roku od 10-ak dana od potresa treba provesti takozvane ubrzane preglede kojima se određuje uporabljivost građevina, stupanj oštećenja i eventualne potrebe za osiguranjem

od urušavanja. Ta je vrsta pregleda od iznimne važnosti, jer izravno utječe na sigurnost stanovništva i u velikoj mjeri određuje broj osoba koje treba privremeno stambeno zbrinuti. Provode je inženjeri i obučeni spasioци. Detaljni pregledi provode se u razdoblju do 20 dana nakon potresa kao dopuna ubrzanim pregledima, posebice u složenijim slučajevima koji zahtijevaju veću razinu detalja za uspješnu ocjenu uporabljivosti te za građevine od iznimne važnosti. Za te preglede konstruktori i arhitekti mogu zatražiti pomoć posebnih specijaliziranih stručnjaka, primjerice za područje geotehnike, opasne materijale ili sl. Kako bi se odredilo dugoročno postupanje s oštećenom građevinom, završetkom kriznoga razdoblja neposredno nakon potresa provode se inženjerski pregledi za koje su u pravilu zaduženi konstruktori, arhitekti i procjenitelji šteta.

Razvoj metodologije pregleda oštećenja građevina u Hrvatskoj nije započeo s potresom u Zagrebu. Tijekom pregleda nakon potresa u svijetu se uobičajeno upotrebljavaju inspekcijski obrasci koji vode stručnjake, koji provode preglede, kroz pojedine točke na koje moraju obratiti pozornost nastojeći osigurati ujednačenost ocjene oštećenja za cijeli fond postojećih građevina. Ovisno o specifičnim lokalnim uvjetima, očekivanoj seizmičkoj aktivnosti, načinima gradnje i uobičajenim postupcima sanacije, smjernice za način postupanja nakon potresa, uključujući upute i odgovarajuće obrasce za pregled građevina, u pravilu se razvijaju iskustveno za pojedina područja ili cijelu državu i nadopunjavaju odnosno kontinuirano unapređuju ovisno o novim raspoloživim podacima prikupljenima tijekom aktualnih kriznih situacija.

Kategorizacija	I	II	III	IV	V
	Blago oštećenje	Umjereno oštećenje	Značajno oštećenje	Vrlo teško oštećenje	Otkazivanje
AB					
zidane					
opis	zanemarivo konstrukcijsko oštećenja i blago nekonstrukcijsko oštećenje	blago konstrukcijsko oštećenje i umjereno nekonstrukcijsko oštećenje	umjereno konstrukcijsko oštećenje i teško nekonstrukcijsko oštećenje	teško konstrukcijsko oštećenje i vrlo teško nekonstrukcijsko oštećenje	vrlo teško konstrukcijsko oštećenje

Slika 4.1 Kategorije oštećenja (I-V) prema EMS-98

Procjene uporabljivosti ovisne su o razini oštećenja zgrade od I do V prema europskoj makroseizmičkoj ljestvici, EMS-98 (Slika 4.1) (12). Kao što je već rečeno, u najkraćem roku nakon potresa provode se inicijalni pregledi koji se temelje na vizualnim pregledima bez ulaženja u samu zgradu. U toj fazi oštećene građevine svrstavaju se u dvije kategorije, one s niskom i srednjom razinom (I do III) ili one s visokom razinom (IV i V) oštećenja. Ti pregledi daju preliminarnе podatke o broju urušenih i teško oštećenih zgrada. Po potrebi

za visoko oštećene zgrade dodatno se provode spasilački pregledi kako bi se osigurala sigurnost spasilačkih ekipa i žrtava eventualno zarobljenih unutar ruševine. Također je moguće ocijeniti treba li izvesti osiguranja od urušavanja ili ojačanje konstrukcije da bi se omogućio siguran pristup. Ubrzani pregledi povezani su s kategorizacijom koja uzima u obzir svih pet stupnjeva oštećenja i temelje se na primjeni standardiziranih obrazaca za ocjenu oštećenja i uporabljivosti. Za građevine od posebne važnosti kod kojih je potrebna dodatna procjena sigurnosti izvode se i detaljni pregledi. Kao podrška tijekom detaljnih pregleda također se mogu primijeniti standardizirani obrasci, ali uz veći potrebnim utrošak vremena i prisutnost specijaliziranih stručnjaka, ovisno o posebnim potrebama pri ocjeni pojedinih građevina. Kod tih pregleda može doći do promjene kategorije za neke građevine. U konačnoj fazi radi prikupljanja podataka za izradu projekta sanacije provode se takozvani inženjerski pregledi.

Obrazac za pregled građevina u hitnoj situaciji nakon potresa pomoću kojeg se vrši ocjena oštećenja i uporabljivosti predložen je u [Atalić et al. 2013-2019] prilagodbom obrazaca koji su se rabili u Italiji. Obrazac je definiran 2014. godine kao podloga za detaljno razrađivanje obrasca koji bi bio službeno prihvaćen. Nakon potresa u Zagrebu odmah prvi dan su pokrenuti ubrzani pregledi prema unaprijed definiranoj metodologiji i predloženom obrascu, jer je bio jedini obrazac primjenjiv za kriznu situaciju. Treći je dan napravljena prilagodba obrasca s obzirom na povratne informacije s terena i uvođenje aplikacije za mobitele u sustavu GIS (geografsko informacijski sustav), čime je u svakom trenutku bilo omogućeno praćenje stanja obrađenih prijava zgrada, ali i statistička obrada ostalih podataka iz obrasca. Ista metodologija i isti obrazac korišteni su za brze preglede nakon potresa kod Petrinje. Obrazac se može upotrebljavati za ubrzane i detaljne preglede uobičajenih zgrada razne namjene i veličine. Namijenjen je ponajprije za ocjenu zidanih i armiranobetonskih zgrada, ali može se primijeniti i za druge tipove građevina, primjerice čeličnih konstrukcija ili zgrada s mješovitim nosivim sustavom. Pri odabiru pojedinih značajki obrasca obuhvaćene su specifičnosti tipova zgrada i karakterističnih načina gradnje zastupljenih u Hrvatskoj i posebice u Gradu Zagrebu.

Ispunjavanjem obrasca te temeljem kategorizacije oštećenja nakon potresa u Zagrebu i ocjene očekivanog ponašanja konstrukcije u slučaju ponovljenog potresa određenog referentnog intenziteta pregledana građevina svrstana je u jednu od šest mogućih ocjena uporabljivosti. Budući da je nakon potresa u Zagrebu bilo određeni broj prijavljenih zgrada koje nisu imale nikakva oštećenja, nakon potresa kod Petrinje dodana još jedna kategorija uporabljivosti U0.



Slika 4.2 Oznake uporabljivosti zgrada

Značenje pojedinih kategorija uporabljivosti:



**N1:** Neuporabljivo - zbog vanjskih utjecaja Zgrada je opasna zbog mogućnosti urušavanja masivnih dijelova susjedne zgrade (najčešće zabatni zidovi i masivni dimnjaci). Zbog takve opasnosti preporuka je da se nikako ne boravi u takvim zgradama (posebice s obzirom na veliki broj ponavljanja potresa).

**N2:** Neuporabljivo - zbog oštećenja Zgrada ima velika oštećenja u nosivom sustavu, postoje urušavanja nosivih i nenosivih elemenata. Preporuka je da se ne ulazi i boravi u zgradi. To nužno ne znači da se zgrada mora rušiti - takve odluke se donose u sljedećim fazama.

**PN1:** Privremeno neuporabljivo - potreban detaljan pregled Zgrada ima umjerena oštećenja bez opasnosti od urušavanja. Nosivost zgrade djelomično je narušena. Ne preporučuje se boravak u zgradi, odnosno građani u takvoj zgradi borave na vlastitu odgovornost. Kraći je boravak u zgradi moguć, uz savjete građevinskoga stručnjaka koji se odnose na potrebne mjere i ograničenje boravka (ovisno o opasnosti). Građevinski stručnjak daje preporuke za uklanjanje opasnosti.

**PN2:** Privremeno neuporabljivo - potrebne mjere hitne intervencije Zgrada ima umjerena oštećenja bez opasnosti od urušavanja, ali ne može se upotrebljavati zbog potencijalne opasnosti urušavanja pojedinih elemenata sa same zgrade. Građevinski stručnjak utvrđuje hitne mjere intervencije i daje upute korisnicima. Privremena neupotrebljivost može se odnositi samo na neke dijelove zgrade (potkrovlje, pojedini kat, stan itd.).

**U1:** Uporabljivo bez ograničenja Zgrada se može upotrebljavati. Zgrada nema oštećenja ili ima mala oštećenja koja nisu opasnost za nosivost i uporabljivost zgrade.

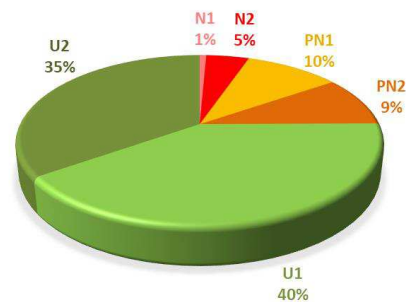
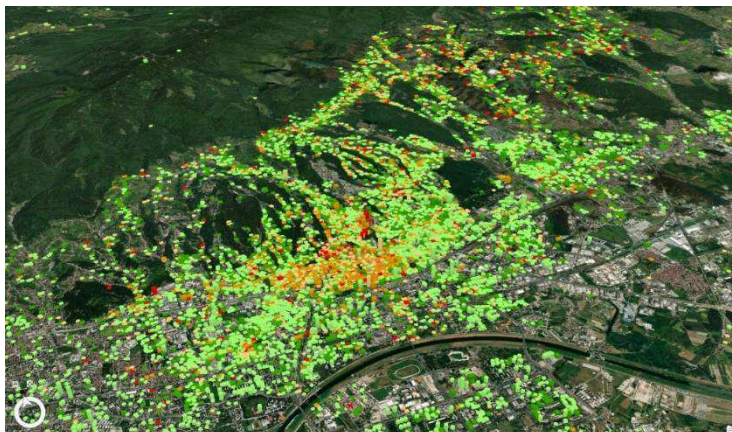
**U2:** Uporabljivo s preporukom o postupanju Zgrada se može upotrebljavati u skladu s predviđenom namjenom, osim u pojedinim dijelovima u kojima postoji neposredna opasnosti za dio zgrade. Građevinski stručnjak daje preporuke za uklanjanje opasnosti (primjerice dimnjaka) i preporuke korisnicima za privremeno ograničavanje boravka u pojedinim dijelovima zgrade. Nakon uklanjanja opasnosti zgrada se može upotrebljavati bez ograničenja.

**U0** (dodano nakon potresa kod Petrin: Uporabljivo bez oštećenja. Zgrada se može upotrebljavati. Zgrada nema oštećenja.

### 4.3 Rezultati

Nakon potresa u Zagrebu, a sa stanjem na dan 30.6.2020, obrađeno je ukupno 25528 prijava, od toga 19188 (oko 75 %) zgrada sa zelenom oznakom (U1 = 10309 i U2 = 8879), 4 998 (oko 20 %) zgrada sa žutom oznakom (PN1 = 2585 i PN2 = 2413) i 1342 zgrade (oko 5 %) s crvenom oznakom (N1 = 178 i N2 = 1164 - Slika 4.2 desno).

Budući da je većina zgrada koje se nalaze u povijesnim dijelovima grada Zagreba, Gornjem i Donjem gradu, izgrađeno prije prvih seizmičkih propisa, upravo je u tim dijelovima grada najveći broj oštećenih zgrada procijenjenih kao neuporabljive ili privremeno neuporabljive (Slika 4.4). Broj procjena i postotak po kategoriji uporabljivosti za Donji i Gornji grad prikazani su dijagramima (Slika 4.5).

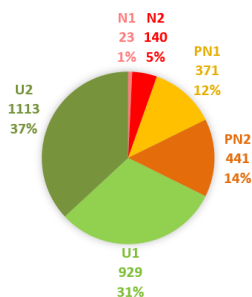


Slika 4.3 3D prikaz procjena uporabljivosti za cijeli grad Zagreb, lijevo; Prikaz obrađenih procjena uporabljivosti po postocima nakon potresa u Zagrebu, desno

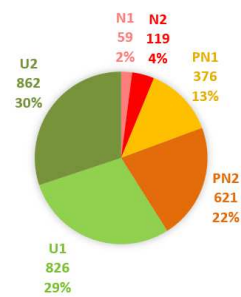


Slika 4.4 3D prikaz zgrada Donjeg grada i Gornjeg grada prema boji procjene uporabljivosti nakon potresa u Zagrebu

BROJ OBRADENIH PRIJAVA U GORNJEM GRADU

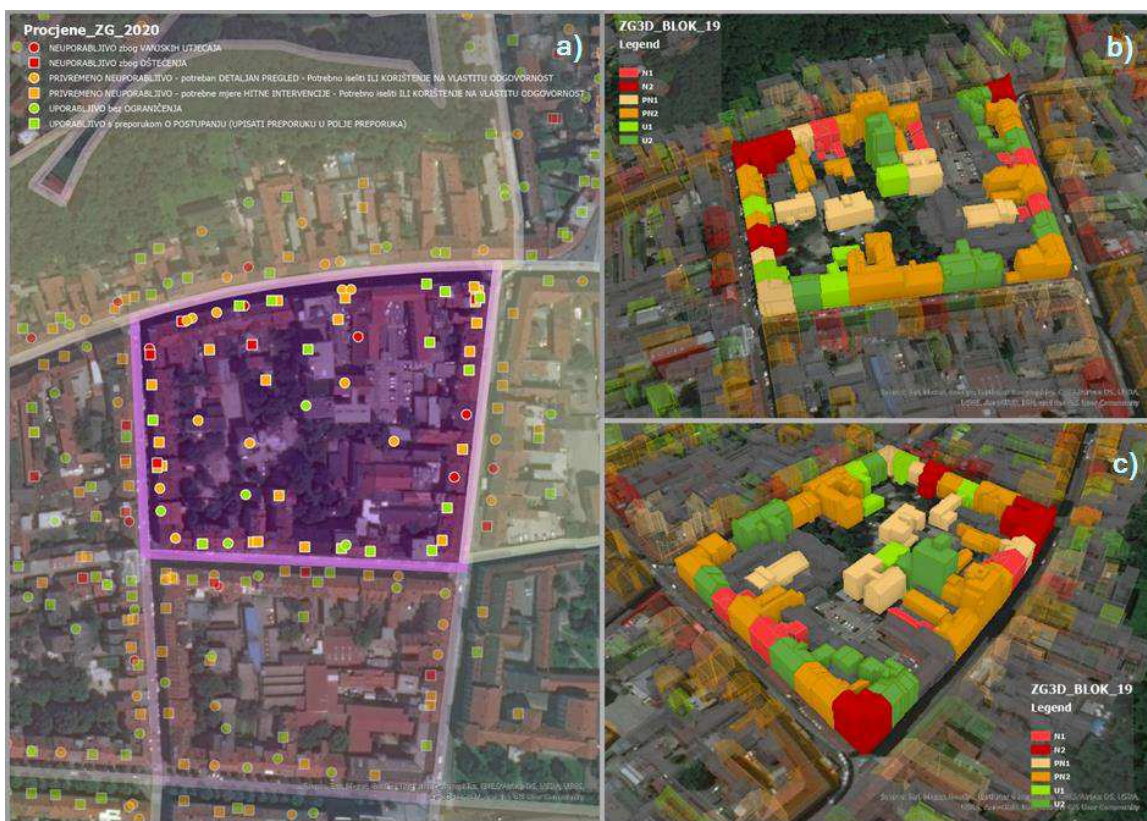


BROJ OBRADENIH PRIJAVA U DONJEM GRADU

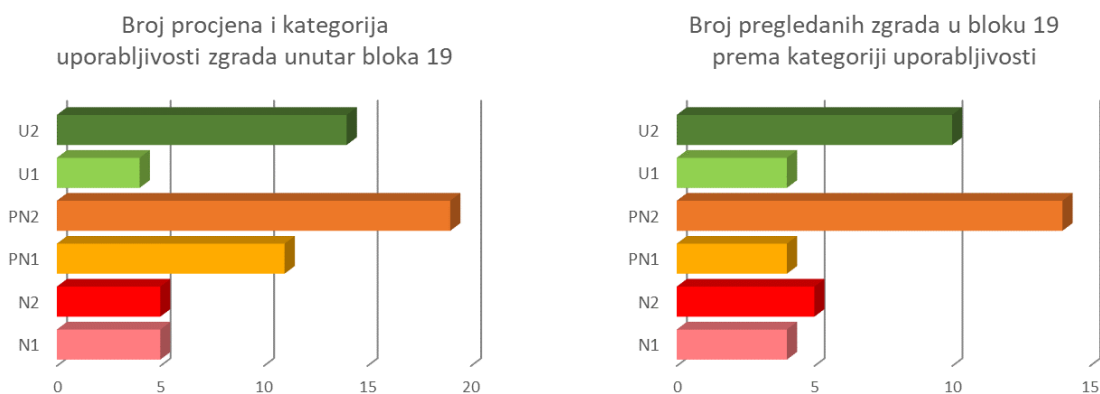


Slika 4.5 Prikaz broja i postotka uporabljivosti zgrada u Donjem i Gornjem gradu na dan 30.6.2020. nakon potresa u Zagrebu

Nakon potresa u Zagrebu, ukupno je odrađenih 58 procjena oštećenja i uporabljivosti zgrada unutar bloka 19 (Slika 4.6 a) ). Od toga je 5 procijenjeno s oznakom N1, 5 s oznakom N2, 11 s PN1, 19 s PN2, 4 s U1 i 14 oznaka s U2 (Slika 4.7). Iz raznih razloga kao što su nedoumice kod nekih procjena, nepovjerenje stanara u uporabljivosti kojom je ocijenjena njihova zgrada i dr., neke su zgrade više puta pregledane, pa tako i u predmetnom bloku neke od zgrada imaju više oznaka uporabljivosti. Ako se uzme u obzir da je primarna ona oznaka koja označava „goru“ kategoriju uporabljivosti (radi sigurnosti građana), sada možemo govoriti o broju od 41 pregledane zgrade (Slika 4.7).



Slika 4.6 Prikaz procjena uporabljivosti zgrada u bloku 19 nakon potresa u Zagrebu



Slika 4.7 Prikaz broja procjena po kategoriji uporabljivosti zgrada u bloku 19 nakon potresa u Zagrebu

Potres kod Petrinje od 29. prosinca 2020. godine prouzročio je dodatna oštećenja na zgradama u gradu Zagrebu i okolici. Prema procjenama iz baze brzih pregleda nakon petrinjskog potresa (Slika 4.8), u bloku 19 je pregledano 8 zgrada, od kojih je jedna dobila oznaku U0, dvije oznaku U1, tri oznaku U2 i dvije oznaku PN2. Dvije prijavljene zgrade još nisu pregledane.



Slika 4.8 Prikaz procjena uporabljivosti zgrada u bloku 19 nakon potresa u Zagrebu (prozirne oznake uporabljivosti) i potresa kod Petrinje (neprozirne oznake uporabljivosti)

#### 4.4 Primjer rezultata procjene oštećenja i uporabljivosti zgrada.

Za svaku od analiziranih zgrada postoji detaljniji izvještaj koji ovdje nisu prikazivani zbog opsežnosti podataka. U nastavku će se istaknuti jedan primjer koji se veže za zgradu na adresi Ilica 53 koja je također obrađivana unutar detaljnijih numeričkih analiza (poglavlje 6).

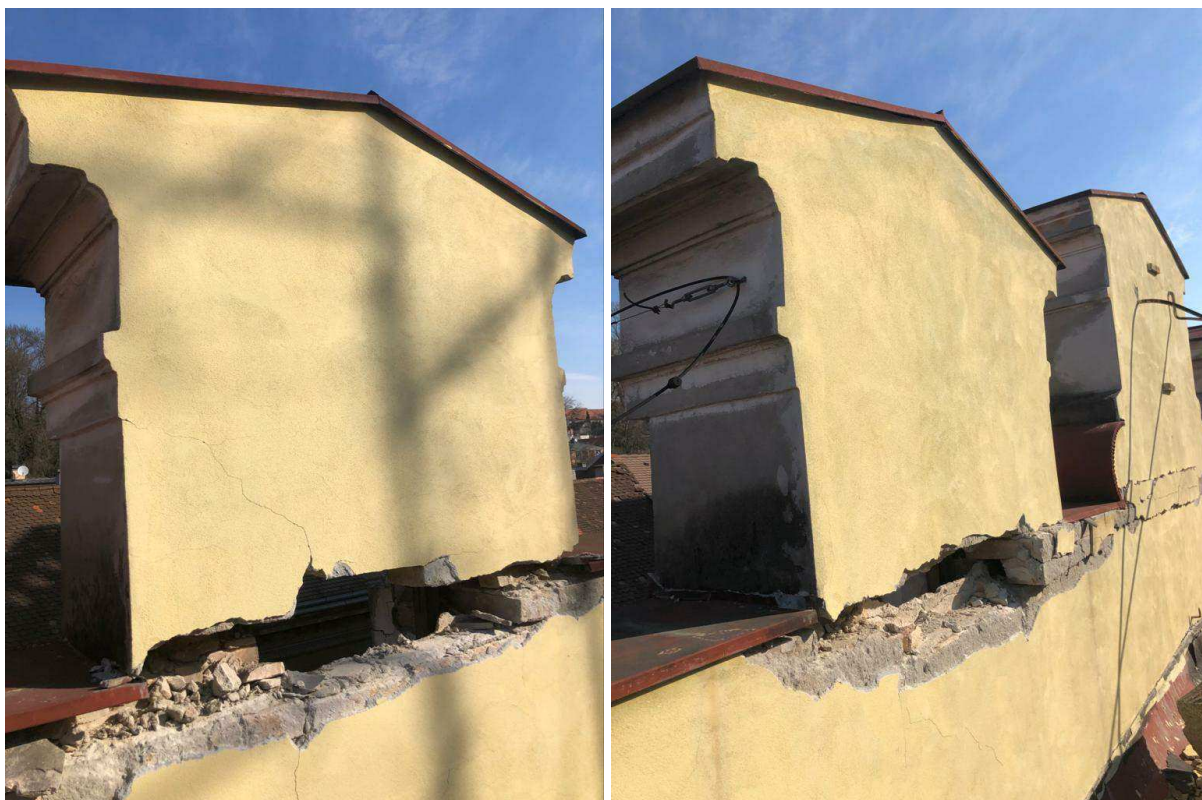


## Tablični prikaz rezultata brzog pregleda oštećenja i uporabljivosti zgrada

Broj obrasca	
Adresa lokacije	Ilica 53
Poštanski br.	
Naselje	
Gradska četvrt	
Mjesni odbor	
Naziv lokacije	
PRIJAVIO	
Ime i prezime prijavitelja	Branka ...
Telefon_prijavitelja	098480...
Datum_Vrijeme_Prijave	4/2/2020, 8:41 AM
Napomena prijavitelja	
Područje ispitivanja	IZNUTRA I IZVANA
Vlasništvo	Privatno
Broj katova iznad zemlje	4
Broj katova ispod zemlje	0
Srednja površina tlocrta zgrade	250
Broj jedinica po namjeni (stambenih)	3
Tip_konstrukcije	Zidana
Napomena u vezi tipa konstrukcije	
Oštećenje vertikalnih elmenata (zidovi, stupovi)	Nema
Oštećenje međukatne konstrukcije	Blago - umjereno
Oštećenja stubišta	Neznatno
Oštećenje krovišta	Neznatno
Oštećenje ispune / pregrade	Blago - umjereno
Opis oštećenja	oštećeni dimnjaci, jedan pregradni zid jako ostecen i opasan po stanare zadnjeg kata. Više dijelovi s krova-opasno!!
Rizik od urušavanja građevine	Ne
OSTEC_nekonstr_elm	
Ostali_rizici	
Potrebno podupiranje	Ne
Potrebno ograditi područje - opasnost od pada predmeta	Da
Potrebno uklanjanje dimnjaka	Da
Uporabljivost s akcijama / ograničenjima	UPORABLJIVO s preporukom O POSTUPANJU (UPISATI PREPORUKU U POLJE PREPORUKA)
PREPORUKA	ukloniti dijelove s krova koji vise na ilicu. ukloniti pregradni zid prema krovistu
PRIORITET	VISOKI
Imena članova tima koji je pregledao	Stepinac, Skokandic
Dodatna napomena	

Odabrane fotografija iz brzog pregleda oštećenja i uporabljivosti zgrada





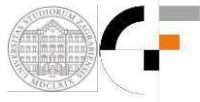
#### 4.5 Zaključak

Kod provođenja pregleda građevina nakon potresa, ključni problem općenito su nedostupnosti postojeće dokumentacije zgrada, manjkavost baze podataka, a posebice baze koje bi uključivale podatke o konstrukcijskim svojstvima građevina. S sličnim problema smo se suočili i kod analiza zgrada u Bloku19 i to je jedan od gorućih problema za grad Zagreb, ali i za sve gradove u Hrvatskoj.

U budućnosti je ključno prilagoditi obrasce karakterističnim tipovima konstrukcija, a posebice s bazama podataka koje bi po mogućnosti osiguravale takve podatke. Također, bitno je i definirati različite razine pregleda, ubrzane i detaljne, praćenje i ažuriranje naknadnih pregleda, tzv. nalaza, kojima bi se rješavale eventualne nedoumice oko postojećih procjena te pristup arhivskoj dokumentaciji i dokumentaciji svih faza obnove, a po mogućnosti sve digitalizirati i povezati na zajedničkoj platformi.

Pristup kronološkim podacima o procjenama uporabljivosti zgrada donesenih na temelju ubrzanih pregleda, pristup svoj dokumentaciji zgrade (izvornoj arhivskoj dokumentaciji i nacrtima te svim eventualnim izmjenama izvedenim na konstrukciji kroz tijekom vremena), temelji su za uspješno provođenje obnove potresom oštećenih zgrada u povijesnoj jezgri grada Zagreba, ali i svakom potresom pogođenom području.

Stoga, metodologija pregleda zgrada nakon potresa, razvoj i ažuriranje obrazaca kao i same baze podataka, edukacija stručnjaka za provođenje brzih pregleda vrlo su važni za uspješno provođenje brzih pregleda te ujednačeno donošenje ocjena uporabljivosti za sve zgrade. To je osobito važno budući da se mnoge odluke raznih institucija donose upravo na kategorijama uporabljivosti.



## 5 INICIJALNA PROCJENA POTRESNE OŠTETLJIVOSTI

### 5.1 Uvod

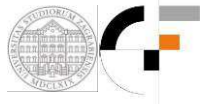
U ovom poglavlju će se ukratko opisati rezultati inicijalne procjene potresne oštetljivosti zgrada koja predstavlja dodatni korak u analizama građevina unutar Bloka19 i prijelaz prema detaljnim modelima. Obrazac za inicijalnu procjenu potresne oštetljivosti se koristio i u prethodno spomenutim Studijama za saniranje posljedica potresa i usporedbama s detaljnim analizama se kontinuirano unaprjeđivao. Analize su napravljene za cijeli blok što ujedno ukazuje i na prednost ovakvih analiza odnosno one su prilagođene za brze analize većeg broja zgrada, a rezultati jasno pokazuju relativne odnose među njima. Pridodatni težinski faktori za pojedine attribute zgrada olakšavaju usporedbu i uvelike pomažu za usmjeravanje sljedećih faza istraživanja.

### 5.2 Općenito o metodi

**SeiHAZ - A** ubrzana metoda analize oštetljivosti zgrada napravljena je za potrebe inicijalne procjene oštetljivosti, a namijenjena je kako bi usmjerila detaljne preglede i analize potresne ugroženosti zgrada na one zgrade na kojima se SeiHAZ - A metodom identificiraju slabosti koje bi mogle uzrokovati značajnije štete na pregledanim zgradama. Na ovaj način se brzo i učinkovito procjenjuje rizičnost pregledanih zgrada na način da se procjenjuju potencijalne štete i očekivane žrtve, te vjerojatnosti da dođe do rušenja zgrada u slučaju projektnog potresnog ubrzanja ili drugih definiranih ubrzanja tla na lokaciji zgrade.

„**Oštetljivost**“ u pogledu vrijednosti dobivenih analizom zgrada SeiHAZ - A metodom označava probabilistički procijenjen potencijal zgrade da bude oštećena. Oštećenja zgrade može obuhvaćati i uzrokovati materijalne, nematerijalne štete, te ljudske žrtve i to za analiziran slučaj potresnog ubrzanja. Vrijednost "oštetljivosti" odražava komparativnu vrijednost procijenjenih šteta u kombinaciji s procijenjenom vrijednošću vjerojatnosti stradavanja zgrade u slučaju pojave vršnih ubrzanja tla. Procjena odgovora zgrade na potres, kao i procjena stradavanja i materijalnih šteta označavaju samo probabilističku procjenu koja se može koristiti samo u komparativne svrhe poredbe oštetljivosti zgrada međusobno, te ove vrijednosti nisu egzaktno vrijednosti i ne mogu opisati stvaran događaj, iako ocjenjuju moguću pojavu. Podaci oštetljivosti koriste se samo u svrhu identifikacije kritičnih zgrada iz građevnog fonda zgrada i prioritizacije potrebe za ojačanjem.

Ovaj pristup, korišten je u studijama procjene potresne ugroženosti Grada Zagreba, te je prilagođen tipologiji gradnje kontinentalne Hrvatske. SeiHAZ - A metoda analize potresne oštetljivosti zgrada je baždaren na primjerima obrađenim u Studiji za saniranje posljedica potresa (projekti financirani od Grada Zagreba od 2013 - 2018 godine) i to na više od 50 različitih zgrada, a sa statističkom pogreškom u procjeni od oko 5% u usporedbi sa rezultatima numeričke analize provedene za svaku od tih zgrada. Konačan cilj SeiHAZ - A metodologije je ubrzati postupak detaljnog pregleda zgrada na način da se iz procesa detaljne analize izbace one zgrade koje se mogu smatrati sigurnima na zadovoljavajućoj razini „oštetljivosti“.



Pregledom, koristeći SeiHAZ - A obrazac, korisnik pomoću **parametarske analize** ocjenjuje stanje zgrade prije oštećenja. Svaki parametar opisuje bitne karakteristike građevnih elemenata zgrade, a korisnik svaki od parametara ocjenjuje. Analizom zgrade na osnovu parcijalnih ocjena konstruktivnih elemenata zgrade, definirani postupak rezultira konačnom ocjenom zgrade. Osnovni bitan parametar metodologije je tip nosive konstrukcije i površina zidova u prizemlju, a konačan rezultat uvelike ovisi i o vrsti tla, te o predviđenom vršnom ubrzanju tla za koje se zgrada analizira. SeiHAZ - A obrazac popunjava prethodno educiran ocjenjivač uz pomoć dostupne arhitektonske dokumentacije i pregleda građevine na terenu.

### 5.3 Metodologija

SeiHAZ - A analizu provodi jedna osoba, a procjena otpornosti zgrade traje između  $\frac{1}{2}$  i 3 sata po zgradi. Za provedbu ubrzane analize zgrade definirane prema SeiHAZ - A metodi potrebne su arhitektonske podloge postojeće stanja ili arhivska građa, te uvid u trenutno stanje materijala, a koji se evidentiraju u obrascu. Forma novog Obrasca 2 odnosno SeiHAZ - A obrasca je prikazana u nastavku (Slika 9 i Slika 10).

U prikazanim obrascima, plavim slovima u zagradama prikazane su vrijednosti koje se unose u obrazac, dok je tekst crvene boje prepušten automatskoj obradi programa. Kao i u prethodnim fazama studije konačni rezultati su vrijednosti:

- **VR** - varijabla koja opisuje vjerojatnost rušenja zgrade,
- **RIZ** - varijabla koja opisuje rizičnost zgrade u koju je uključena vrijednost potencijalnih ljudskih stradanja, te materijalnih šteta, a koristi se kao komparativna vrijednost .

Potrebno je napomenuti kako među varijablama VR i RIZ postoji direktna međuovisnost, iako ne opisuju isto očekivano ponašanje zgrade. Na osnovu njihove međuovisnosti za očekivati je da će zgrada s većom vrijednošću VR imati i veću vrijednost varijable RIZ.

Kako bi se povećala mogućnost diferenciranja zgrada, dodana je još jedna varijabla:

- **ŽR** - varijabla je prikaz statistički očekivanog broja žrtava pri potpunom rušenju promatrane zgrade.

Izrazito je bitno za napomenuti da ova vrijednost ne prikazuje stvarna očekivana stradanja, već najveći broj stradanja u uvjetima potpunog rušenja promatrane zgrade.

- Ocjena **TPP** uzima u obzir uvjete definirane lokalitetom: tip tla i očekivano vršno ubrzanje tla za provedenu analizu. U okviru ove varijable u obzir se uzimaju i parametri specifični za projektiranje u različitim periodima gradnje.
- Ocjena **ODN** u obzir uzima karakteristike promatrane zgrade. Ovdje su uzete u obzir karakteristike kao što su tip osnovne nosive konstrukcije za horizontalna (seizmička) opterećenja, te tip horizontalnog ukrućenja u zgradi. Nadalje, bitan doprinos "Ocjeni ODN" ima površina presjeka zidova u prizemlju zgrade, te ukupna korisna površina zgrade iznad prizemlja.



Konačno, kao prikaz očekivanih posljedica napravljena je analiza očekivanih razina oštećenja analizirane zgrade prema EMS-98 skali . Očekivane posljedice potresa odnose se na analizirano ubrzanje tla.

Ocjenjivač: <b>ime i prezime ocjenjivača</b>	Kod ocjenjivača:
Šifra zgrade: <b>šifra zgrade</b>	
Adresa: <b>adresa pregledane zgrade</b>	Datum:

Opći podaci

Informacije dobivene	<b>unos se obrazloženje iz kojeg izvora su ishođeni podaci prema kojima se popunjava obrazac</b>
Godina izgradnje	<b>godina izgradnje ili procijeniti period izgradnje</b>
Katnost iznad terena	<b>broj etaža iznad nivoa okolnog terena</b>

Očekivane materijalne i nematerijalne štete

Vrijednost zgrade	$TV = BRP * CKI / 1,000,000$ BRP= <b>bruto razvijena površina zgrade (m2)</b> CKI= <b>cijena izgradnje iz tablice "CKI"</b>	<b>TV</b> <b>automatski izračun</b> <b>vrijednosti</b>
Stradavanje korisnika	Z= <b>zaposjednutost - vidi tablicu</b> SKO = <b>automatski izračun vrijednosti</b>	<b>Stambena zgrada</b> <b>SKO</b> <b>automatski izračun</b>
Važnost zgrade	I (VZ = 1) - bez javnih okupljanja; - bez predmeti i instalacije od značajne vrijednosti; - bez ekoloških rizika	<b>VZ</b>  <b>odaberi važnost</b> <b>zgrade</b>
	II (VZ = 2) - mjesto javnih okupljanja; - predmeti i instalacije od značajne vrijednosti; - važna infrastrukturna vrijednost; - ograničen ekološki rizik	
	III (VZ = 5) - vitalna infrastrukturna vrijednost; - zgrade sa velikim utjecajem na ekološki sustav	
Ukupno ŠT:	<b>ŠT = (TV + SKO) * VZ =</b>	<b>ŠT</b> <b>atuomatski izračun</b>

Vrijednost **VPP**

Pot.zona God.izgrad.	P1 < 0,10g	P2 < 0,20g	P3 < 0,25g	P4 > 0,30g
do 1964	2	3	6	15
1965-1988	1	2	3	8
od 1988	1	1	1	1

Tlo, potresne zone i vrijeme projektiranja

Tip tla (Za pomoć pogledati priručnik)	I (TL = 1) - Kameno tlo - Velika povr. cementiranog rasutog kamenog tla	<b>TL</b>  <b>odaberi tip tla</b>
	II (TL = 2) - Šljunak i pijesak bez mulja - Nekonsolidirani fini pijesak, silt ili glina - Nanosni materijal prethodnih dvaju tipova	
	III (TL = 4) - Aluvijalni nanosi organskog porijekla - Potencijalna klizišta	
<b>VPP *TL =</b>		<b>automatski</b>
<b>Ocjena TPP</b>		<b>automatski</b>

Slika 9: Obrazac za inicijalnu procjenu potresne oštetljivosti - prva stranica



**GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU**  
**HRVATSKI CENTAR ZA POTRESNO INŽENJERSTVO**  
*Konstruktorski modeli obnove*

Udio zidova i katnost

Horizontalno ukrućenje	Povoljno	0	HU
	Nepovoljno	2	odabrati tip
	Nepostojeće	5	ukrućenja
Tip nosive konstrukcije	Zidovi, jezgra	0,5	TU
	Pomični okviri	2	odabrati tip nosive konstrukcije
	Ziđe	4	
	Okviri s ispunom	2 - 6	
	Miješani sustavi	6	
Površine zidova prizemlja – smjer osi X - Uz <sub>x</sub> [m <sup>2</sup> ]			upisati površinu
Površine zidova prizemlja – smjer osi Y - Uz <sub>y</sub> [m <sup>2</sup> ]			upisati površinu
Površina etaža iznad prizemlja [m <sup>2</sup> ]			upisati površinu
<b>(KAT / UZ)*(TU+HU) =</b>			<b>automatski</b>
<b>Ocjena ODN</b>			<b>automatski</b>

Utjecaj susjednih zgrada

Razdjelnica	Adekvatna	0	RAZ
	Nije adekvatna	1	odabrati
Oblici osciliranja	Istovjetni	0	OSC
	Različiti	1	odabrati
Razlika u visinama susjednih zgrada	Jednake visine	0	VIS
	Manje od 3 etaže	1	odabrati
	Više od 3 etaže	2	
Sudaranje	Centri masa se sudaraju	0	SUD
	Sudaranje je ekscentrično	2	odabrati
Ukupno US	US = 3/5*RAZ*(OSC+VIS+SUD)=		<b>automatski</b>

Podaci o konstrukciji

Vertikalno ukrućenje	Kontinuirano	0	VU
	Nije kontinuirano	2	odabrati
	Mekani kat	5	
Horizontalna razvijenost	Kompaktna	0	HR
	Razvijena	1	odabrati
Temelji	Ploča	0	TEM
	Trakasti	1	odabrati
Ukupno POK	<b>POK = HU+VU+HR+TK+TEM</b>		<b>POK</b> <b>automatski</b>

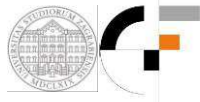
Vrijednosti za gradaciju

<b>Ukupno VR:</b>	<b>VR = TPP * ODN + US =</b>	<b>VR</b> <b>automatski izračun</b> <b>automatski izračun</b>
<b>Ukupno RIZ:</b>	<b>RIZ = (VR + POK) * ŠT =</b>	<b>RIZ</b> <b>automatski izračun</b>
<b>Očekivani broj stradalih pri totalnom kolapsu:</b>		<b>ŽR</b> <b>automatski izračun</b>

Očekivana razina oštećenja prema EMS-98 skali:

1. razina oštećenja
2. razina oštećenja
3. razina oštećenja
4. razina oštećenja
5. razina oštećenja

Slika 10 Obrazac za inicijalnu procjenu potresne oštetljivosti - druga stranica



Dosadašnje istraživanje i testiranje upitnika pokazalo je vrlo dobra preklapanja s rezultatima numeričkih analiza. SeiHAZ - A metodologija je dodatno testirana na način da su rezultati analize za vršno ubrzanje od  $0,18g$  (kakvo je bilo u području Bloka 19) uspoređivani sa stvarnim štetama i opisima šteta na zgradama u Bloku 19. Analize su pokazale jako dobre aproksimacije stvarnih šteta nastalih kao posljedice Zagrebačkog potresa 22. ožujka 2020. godine. Slabosti ili netočnosti analiza su uočene pri analizama visokih zgrada (tornjeva), pri analizama zgrada koje su već ojačavane, a bez zapisa o ojačanjima i kod procjena za građevine koje imaju složeni konstrukcijski sustav ili složenu geometriju izvedbe.

#### 5.4 Rezultati

U ovom poglavlju sabrani su rezultati procjene oštetljivosti prema *SeiHAZ - A obrascu za inicijalnu procjenu oštetljivosti*. Analizirane su sve zgrade Bloka 19 uz ograničenje da su analizirane samo zgrade za koje je SeiHAZ - A obrazac primjenjiv (primjerice nisu analizirane zgrade sa složenim konstrukcijskim sistemima ili velike tlocrtne razvedenosti). Obrasci su prvenstveno predviđeni za inicijalni pregled zgrada, odnosno jedan od ciljeva je iz procesa detaljne analize ukloniti one zgrade kod kojih se ne očekuju oštećenja, materijalne štete ili žrtve uslijed nepoželjnog ponašanja zgrada u potresu ili se očekuje prihvatljiva razina oštećenja. Prikazana metodologija temeljena je na velikom broju pretpostavki zbog kojih je nužno naglasiti kako se rezultati dobiveni ovom analizom ne mogu smatrati kao konačne vrijednosti, već kao orijentacijski pokazatelji očekivanog ponašanja zgrade u potresu, ipak su u dosadašnjoj primjeni obrasci pokazali dobra preklapanja sa rezultatima numeričke analize i sa stvarnim oštećenjima na zgradama poslije potresa u Zagrebu (22. ožujka 2020.). Procjene dobivene ovom analizom mogu se prvenstveno koristiti za postavljanje relativne liste prioriteta među zgradama. Kao što je već više puta spomenuto, obrasci se radi unapređivanja procesa inicijalne procjene kontinuirano kalibriraju s numeričkim modelima i novim obrađenim primjerima.

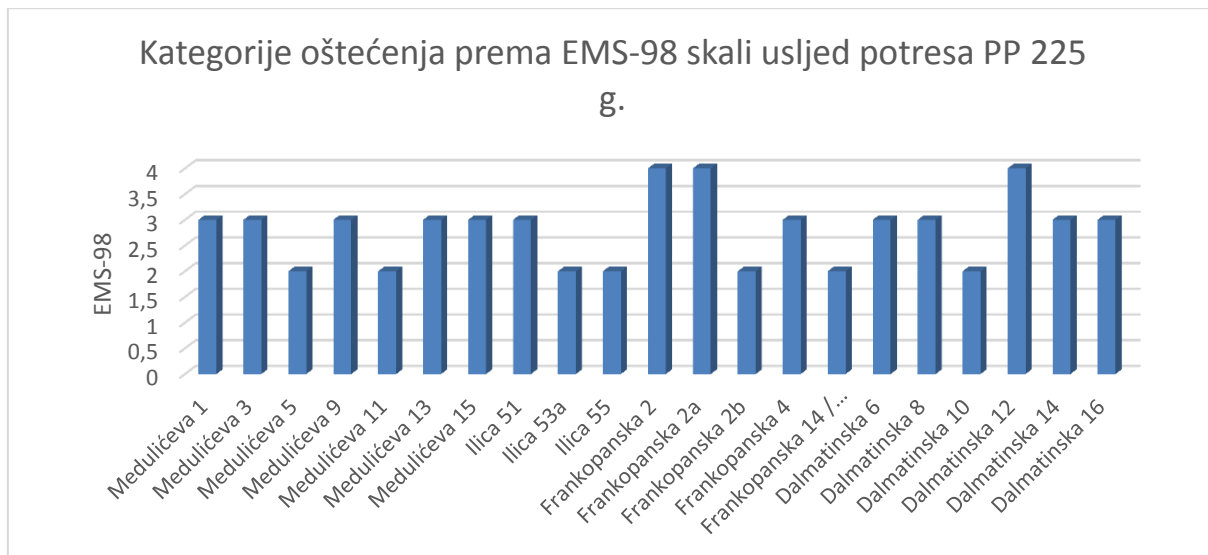
Građevine Bloka 19 su analizirane u dva razreda:

1. analiza šteta za vršno ubrzanje tla za povratni period 225 godina prema karti potresnih područja Republike Hrvatske u svrhu dodatnog testiranja SeiHAZ-A obrasca
2. analiza potencijalnih šteta za vršno ubrzanje tla za povratni period 475 godina prema karti potresnih područja Republike Hrvatske u svrhu procjene oštetljivosti i rizičnosti zgrada u okviru Bloka 19

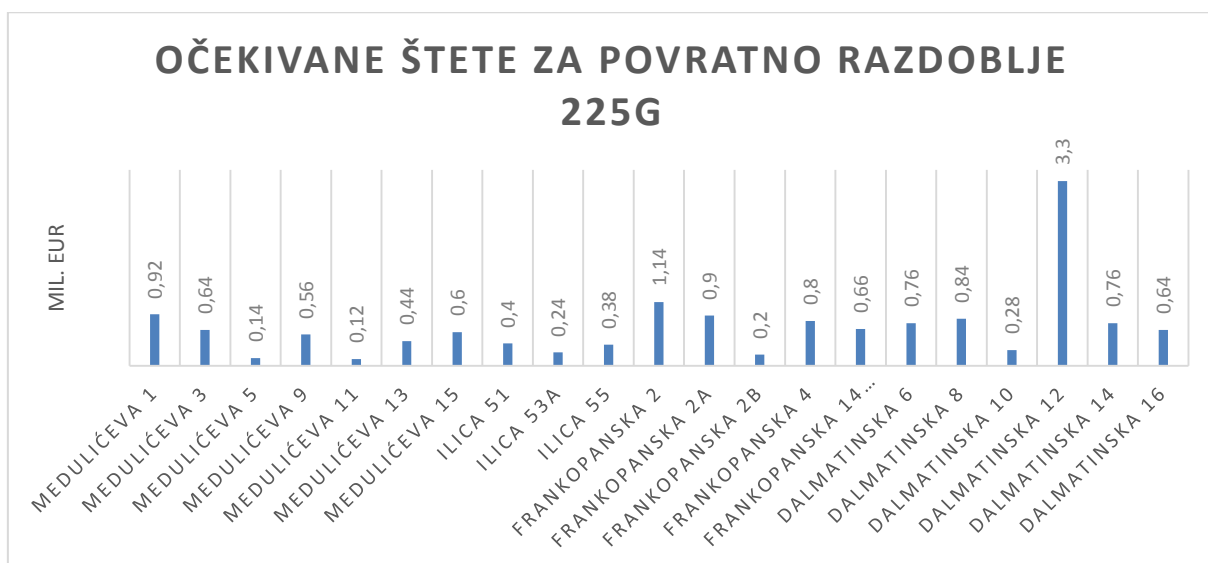
Tablica 5.1 daje faktore VR i RIZ, procjenu kategorije oštećenja prema EMS-98 za sve analizirane građevine, a sve za vršno ubrzanje sa povratnim periodom 225 godina prema karti potresnih područja Republike Hrvatske. Korištene oznake odgovaraju onima u ispunjenim obrascima pregleda. Također, za

Tablica 5.2 daje faktore VR i RIZ, procjenu kategorije oštećenja prema EMS-98 za sve analizirane građevine, a sve za vršno ubrzanje sa povratnim periodom 475 godina prema karti potresnih područja

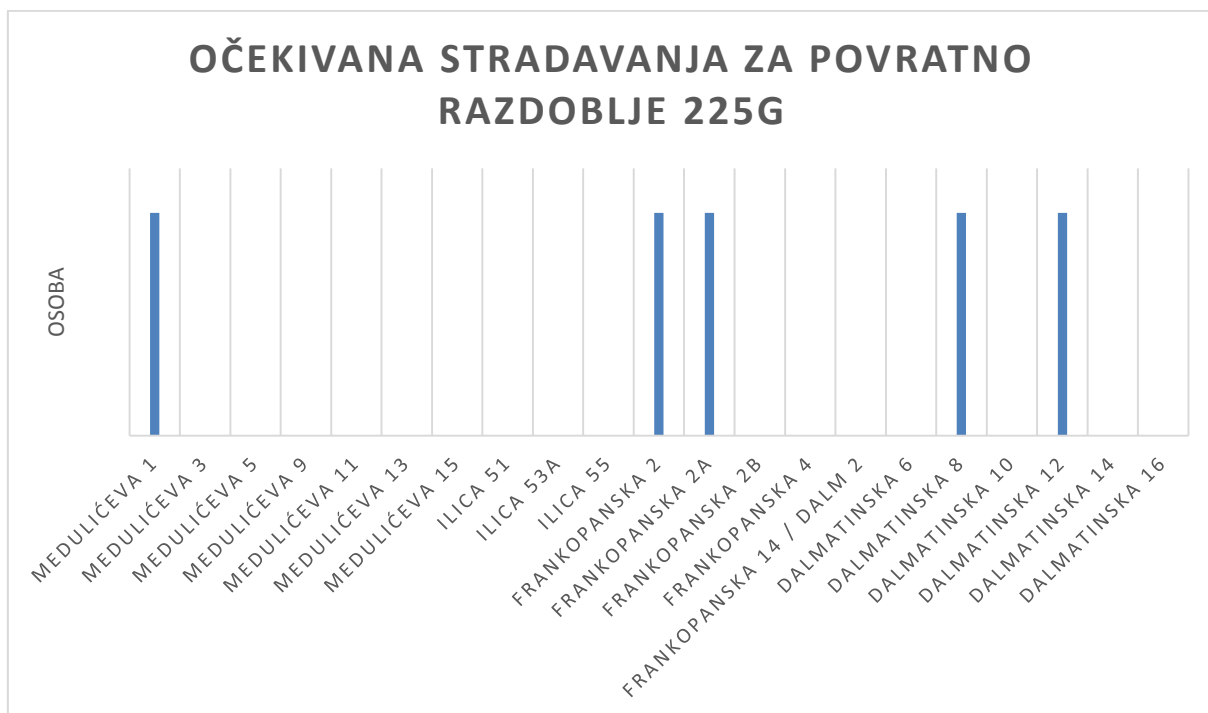
U nastavku su dani i grafički prikazi procijenjenih kategorija oštećenja, šteta i ljudskih žrtava za sve analizirane građevine (Slika 5.11 do Slika 5.16).



Slika 5.11 Grafički prikaz kategorija oštećenja prema EMS-98 skali usljed potresa povratnog razdoblja 225 godina za građevine Bloka 19



Slika 5.4 Grafički prikaz očekivanih šteta usljed potresa povratnog razdoblja 225 godina za građevine Bloka 19



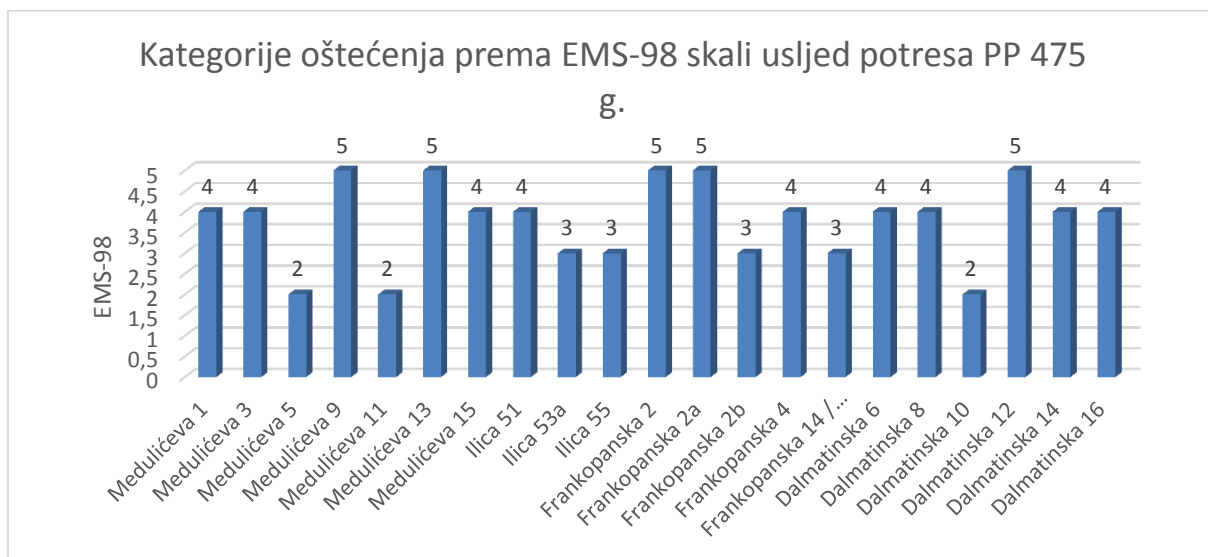
Slika 5.5 Grafički prikaz očekivanih stradanja ljudi uslijed potresa povratnog razdoblja 225 godina za građevine Bloka 19

Tablica 5.1 Faktori VR i RIZ analiziranih građevina za povratni period 225 godina

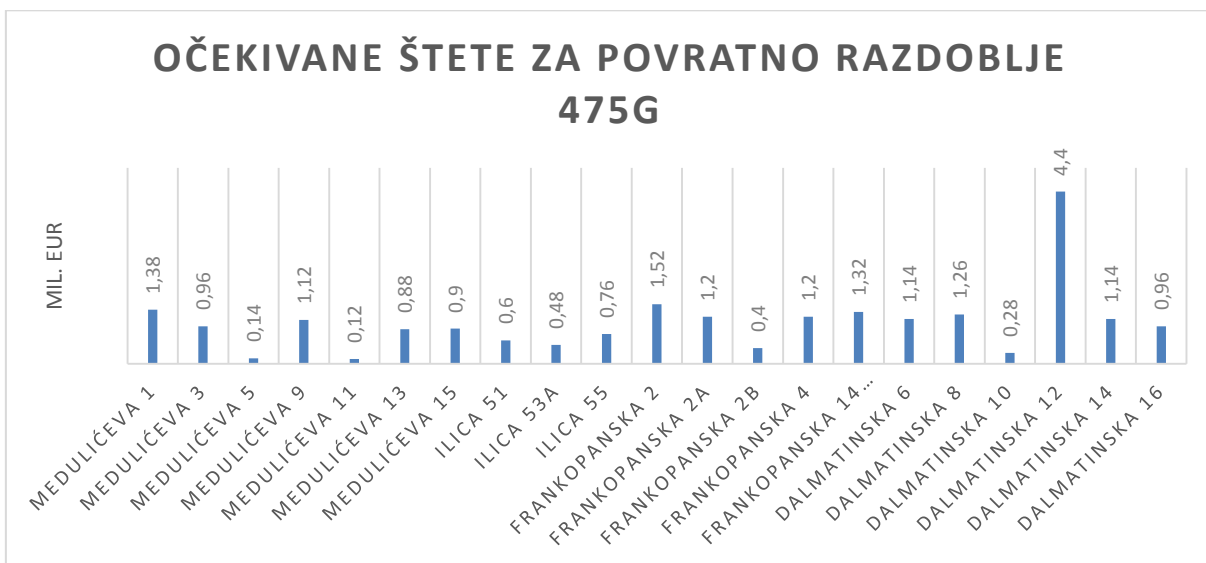
ADRESA GRAĐEVINE	OZNAKA	VR [%]	RIZ	EMS-98
Medulićeva 1	B19_MED1_225	53	23	3
Medulićeva 3	B19_MED3_225	44	12,1	3
Medulićeva 5	B19_MED5_225	27	3,5	2
Medulićeva 9	B19_MED9_225	57	13	3
Medulićeva 11	B19_MED11_225	27	3	2
Medulićeva 13	B19_MED13_225	57	10	3
Medulićeva 15	B19_MED15_225	53	13,5	3
Ilica 51	B19_ILI51_225	53	9	3
Ilica 53a	B19_ILI53a_225	40	11	2
Ilica 55	B19_ILI55_225	40	15	2
Frankopanska 2	B19_FRA2_225	35	13,5	4
Frankopanska 2a	B19_FRA2A_225	65	17	4
Frankopanska 2b	B19_FRA2B_225	40	7	2
Frankopanska 4	B19_FRA4_225	53	20	3

ADRESA GRAĐEVINE	OZNAKA	VR [%]	RIZ	EMS-98
Frankopanska 14 / Dalmatinska 2	B19_FRA14DAL2_225	40	26	2
Dalmatinska 6	B19_DAL6_225	53	19	3
Dalmatinska 8	B19_DAL8_225	53	21	3
Dalmatinska 10	B19_DAL10_225	27	7	2
Dalmatinska 12	B19_DAL12_225	69	68	4
Dalmatinska 14	B19_DAL14_225	44	16	3
Dalmatinska 16	B19_DAL16_225	53	14,5	3

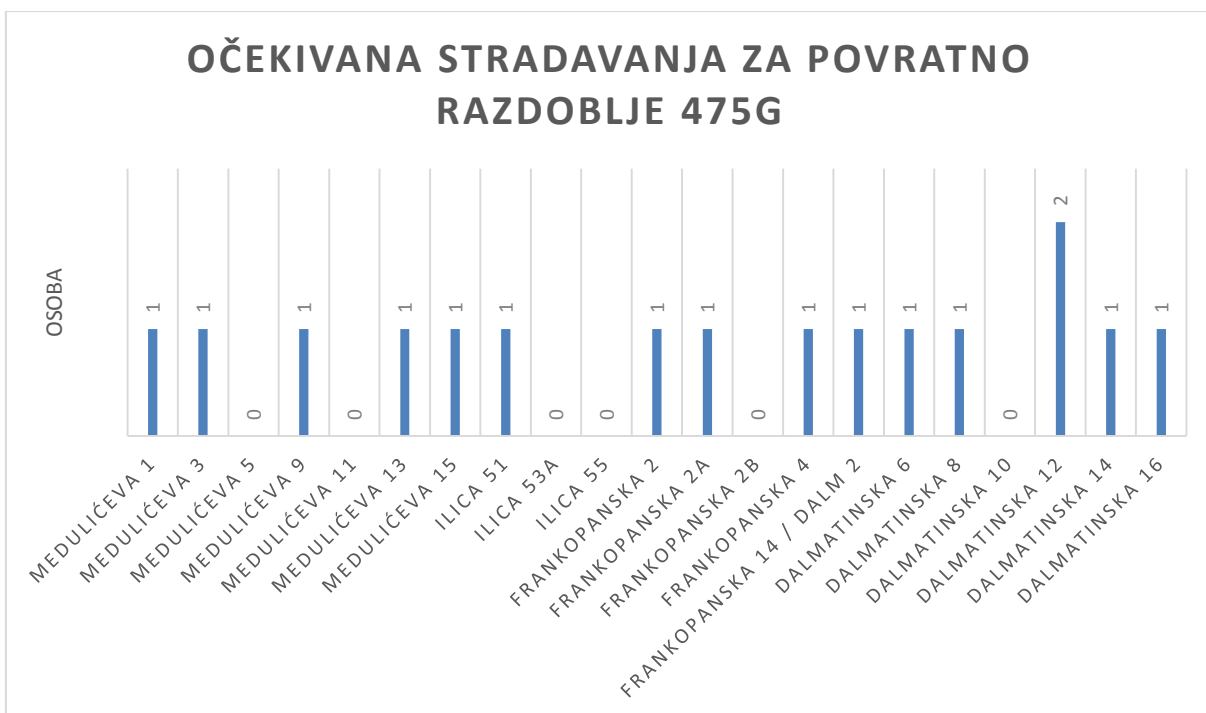
Uspoređujući stvarne štete na građevinama uslijed potresa 22. ožujka 2020. godine sa rezultatima analize oštetljivosti za povratni period 225 godina, uočeno je da SeiHAZ-A metodologija daje vjerodostojne rezultate, ipak su uočene neke različitosti između rezultata analize i stvarnih šteta nastalih u potresu. Naime, kako SeiHAZ-A ne prepoznaje smjer gibanja potresa, tako su neke građevine ocijenjene vrlo visokim očekivanim stupnjem oštećenja prema EMS-98 skali, a koja se ipak nisu dogodila, a što se može pripisati pozitivnom međudjelovanju zgrada koje su međusobno oslonjene jedna na drugu, ali i smjeru gibanja potresa (orijentacija zgrade u odnosu na poziciju epicentra potresa). Ipak, kako je osnovni cilj ubrzane metode analize zgrada identificirati rizične građevine, može se reći da SeiHAZ-A daje pouzdane rezultate analize uz potrebu za dodatnim podešavanjem procjene očekivanih materijalnih šteta.



Slika 5.6 Grafički prikaz kategorija oštećenja prema EMS-98 skali uslijed potresa povratnog razdoblja 475 godina za građevine Bloka 19



Slika 5.7 Grafički prikaz očekivanih šteta uslijed potresa povratnog razdoblja 475 godina za građevine Bloka 19



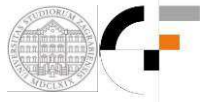
Slika 5.16 Grafički prikaz očekivanih stradavanja ljudi uslijed potresa povratnog razdoblja 475 godina za građevine Bloka 19

Tablica 5.2 Faktori VR i RIZ analiziranih građevina za povratni period 475 godina

ADRESA GRAĐEVINE	OZNAKA	VR [%]	RIZ	EMS-98
Medulićeva 1	B19_MED1_475	80	32,2	4
Medulićeva 3	B19_MED3_475	64	17	4
Medulićeva 5	B19_MED5_475	40	4,9	2
Medulićeva 9	B19_MED9_475	84	19	5
Medulićeva 11	B19_MED11_475	40	4,2	2
Medulićeva 13	B19_MED13_475	84	15	5
Medulićeva 15	B19_MED15_475	80	19,5	4
Ilica 51	B19_ILI51_475	80	13	4
Ilica 53a	B19_ILI53a_475	60	15	3
Ilica 55	B19_ILI55_475	60	21	3
Frankopanska 2	B19_FRA2_475	88	29	5
Frankopanska 2a	B19_FRA2A_475	92	23,5	5
Frankopanska 2b	B19_FRA2B_475	60	10	3
Frankopanska 4	B19_FRA4_475	80	28	4
Frankopanska 14 / Dalmatinska 2	B19_FRA14DAL2_475	60	36	3
Dalmatinska 6	B19_DAL6_475	80	26,5	4
Dalmatinska 8	B19_DAL8_475	80	29,5	4
Dalmatinska 10	B19_DAL10_475	40	10	2
Dalmatinska 12	B19_DAL12_475	96	90	5
Dalmatinska 14	B19_DAL14_475	64	22	4
Dalmatinska 16	B19_DAL16_475	80	21	4

## 5.5 Zaključak

Prikazana analiza predstavlja veliku pomoć s obzirom na broj obrađenih zgrada i što daje smjernice za daljnje detaljne analize. U nastavku istraživanja će se rezultati prikazati na GIS sučelju i dodatno razraditi prema novim saznanjima iz detaljnih analiza. Treba istaknuti da rezultati ističu veliku ranjivost zgrada u analiziranom bloku što usmjerava i aktivnosti vezanim za obnovu.



## 6 DETALJNIJE ANALIZE ODABRANIH GRAĐEVINA UNUTAR BLOKA 19

### 6.1 Uvod

U ovom poglavlju su istaknuti rezultati detaljnijih numeričkih analiza za nekoliko odabranih zgrada unutar bloka. Analize predstavljaju još jedan iskorak prema preciznijim rezultatima potrebnim za definiranje strategija obnove. Treba imati na umu da je u inženjerskoj praksi dostupno niz analiza različite složenosti koje izrazito ovise o razini detaljnosti ulaznih parametara. U ovoj fazi istraživanja odabrana je analiza koja se uobičajeno koristi pri projektiranju, a treba istaknuti da će se u sljedećim fazama istraživanja napraviti i detaljnije nelinearne analize koje će predstavljati još jedan daljnji iskorak.

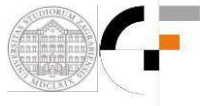
### 6.2 Modeliranje i pretpostavke proračuna

U ovom poglavlju će se kratko opisati neke od pretpostavki numeričkih proračuna korištenih u ovom poglavlju, ali i lepezu ostalih mogućnosti koje će se primjenjivati u sljedećim fazama istraživanja. Korišteni **numerički modeli** se temelje na metodi konačnih elemenata. Korišteni su trodimenzionalni štapni konačni elementi formulirani kao Timošenkova greda (9) i plošni konačni elementi ljuske s 3 ili 4 čvora. Kriteriji kombiniranja oblika titranja i njihovih smjerova, kao i aktivacija mase građevine, je zadovoljen prema (10). Svi numerički modeli su napravljeni u programskim paketima ETABS i SAP2000, Computers and structures, Inc. (11) sa Sveučilišta Berkeley, koji se smatraju jednim od najboljih programskih paketa za projektiranje konstrukcija posebice u područjima izloženim potresima. U analizama provedenim u sklopu ove studije nisu iskorištene sve mogućnosti programskih paketa, ali postojeći numerički modeli će se moći doradivati (u narednim fazama istraživanja).

Svi dobiveni rezultati mogu poslužiti za **načelno vrednovanje konstrukcije** slijedeći preporuke iz važećih normi posebice Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija - 3. dio: Ocjenjivanje i obnova zgrada (HRN EN 1998-3:2011) (10) (29). Od posebne važnosti je što su prilikom analize istaknuta kritična mjesta u građevinama što je jedan od ključnih podataka u procesu obnove. Treba istaknuti da je **kvaliteta aproksimacije** stvarnog ponašanja konstrukcije numeričkim modelima jako ovisna o raspoloživim ulaznim podacima, do kojih je u pojedinim slučajevima vrlo teško doći.

Numerički model za procjenu otpornosti postojećih zidanih zgrada na potres treba odražavati ponašanje građevine pri potresu i s dovoljnom točnošću predvidjeti sve bitne pojave koje se mogu dogoditi. Tehnike modeliranja i metode proračuna mogu biti više ili manje složene, a njihov odabir ovisi o tipu građevine, njejoj geometriji i detaljima izvedbe. Pravilo je da se model prilagođava građevini koja se procjenjuje pa će neke zgrade zahtijevati složene modele, dok će za druge biti dovoljni i jednostavni.

U slučaju tradicijskih stambenih zgrada koje će biti načešći primjer obnove u Zagrebu, može se smatrati da se radi o uglavnom pravilnim ili djelomično pravilnim građevinama i, s



obzirom na to, za takve se građevine mogu upotrijebiti razni pojednostavljeni pristupi i modeli. Naravno, svako pojednostavljenje nosi sa sobom niz pretpostavki koje je nužno zadovoljiti da bi se izbjegao odziv građevine koji nije predviđen modelom.

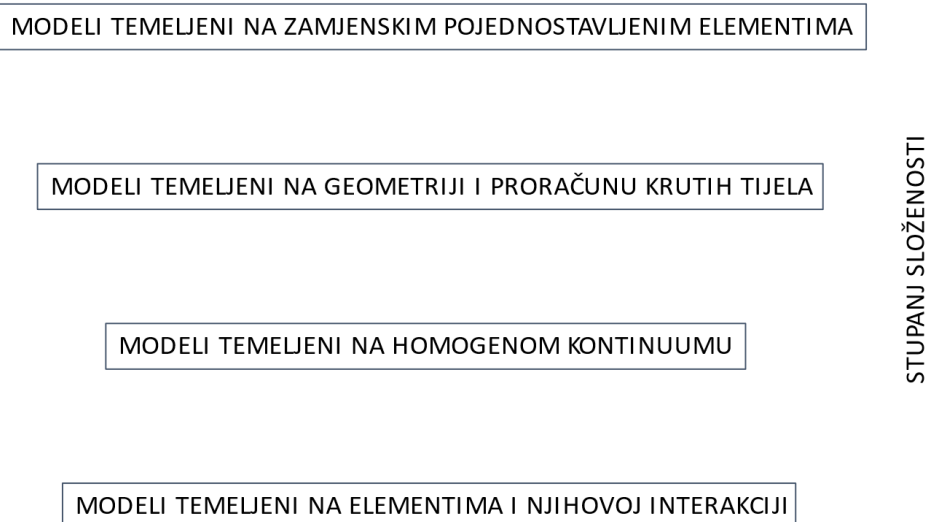
Izbor načina modeliranja zgrade i opterećenja te metode proračuna, utječe na točnost proračuna i značajno ovisi o potrebnim resursima, a pouzdanost proračuna uvelike ovisi o metodi i točnosti ulaznih podataka. Modeli se trebaju temeljiti na što boljim ulaznim podacima, biti dovoljno jednostavni, a u isto vrijeme trebaju odražavati dovoljno točno ponašanje konstrukcije pri potresnom djelovanju.

Treba imati na umu da je i najbolji, najsloženiji, najdetaljniji model - i dalje samo *model* građevine te da se pravilnim korištenjem metoda i točnošću ulaznih podataka samo možemo više ili manje približiti stvarnom ponašanju promatrane građevine. Jednostavnije metode ne znače uvijek dobivanje konzervativnijih rezultata, a stupanj složenosti ne mora biti proporcionalan s kvalitetom modela i dobivenih rezultata.

Odabir *optimalne* metode proračuna i kreiranje numeričkog modela inženjerska je odluka projektanta kojem imperativ treba biti obuhvatiti sve mjerodavne mehanizme sloma i dovoljno dobro predvidjeti ponašanje zgrade u potresu.

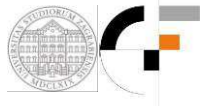
### Numeričko modeliranje ziđa

Na slici u nastavku su prikazani neki načini i metode modeliranja ziđa, poredani prema stupnju složenosti (od manjeg prema većem).



### Vrste proračuna

U nastavku je napravljen vrlo gruba podjela vrsta proračuna koja može dati uvid u manjkavosti i mogućnosti pojedinih pristupa i pogled na prezentirane rezultate u sljedećem poglavlju.



#### 1. Proračun lokalnih mehanizama otkazivanja

Predstavlja linearni kinematički proračun za odabrane karakteristične mehanizme otkazivanja zidova izvan ravnine. Bitno je istaknuti pretpostavku mehanizama s jednim i s dva kruta bloka uz formiranje linijskih zglobova na rubovima elemenata.

#### 2. Modalni proračun primjenom spektra odziva

Metoda uobičajena za projektiranje novih konstrukcija. Ključna pretpostavka je linearnoelastično ponašanje konstrukcije uz korištenje raspucalih presjeka.

#### 3. Nelinearni statički proračun postupnim guranjem

Provodi se statički proračun s ciljanim pomakom konstrukcije. Metoda kojom se uzima u obzir materijalna nelinearnost i nelinearni odziv konstrukcije na zadano horizontalno opterećenje. Bitan uvjet: odziv zgrade dominantno u prvom obliku titranja. Pretpostavka: oblik pomaka konstrukcije ostaje konstantan pri povećanju horizontalnog opterećenja.

#### 4. Nelinearni dinamički proračun primjenom vremenskog zapisa

Najtočniji i najzahtjevniji proračunski postupak od ovdje navedenih. Omogućava potpuniji uvid u ponašanje zgrade pri potresu i daje dodatne informacije za identificiranje kritičnih mehanizama otkazivanja konstrukcije. Proračun se provodi u vremenu pa je moguće pratiti razvoj oštećenja tijekom trajanja potresa.

Bitan uvjet: upotrijebiti krivulje kapaciteta nosivosti elemenata koje uzimaju u obzir i utjecaj cikličkog opterećenja (potrebno mjeriti parametre materijala koji to diktiraju) i degradaciju svojstava materijala (primjerice padajućom poslijekritičnom granom na krivulji kapaciteta nosivosti). Pristup koji je rijetko rabljen u praksi zbog visokih zahtjeva za računalnim kapacitetima, zahtjeva velike količine vremena i dodatnih znanja iz numeričkog modeliranja nelinearnih dinamičkih problema te velike količine ulaznih podataka/parametara.

### 6.3 Odabrani primjeri karakterističnih zgrada

Za analizu je odabrano nekoliko karakterističnih zgrada koje obuhvaćaju specifičnosti bloka i čiji se rezultati u konačnici mogu ekstrapolirati na ostatak bloka, ali i primijeniti na ostatak donjeg grada.

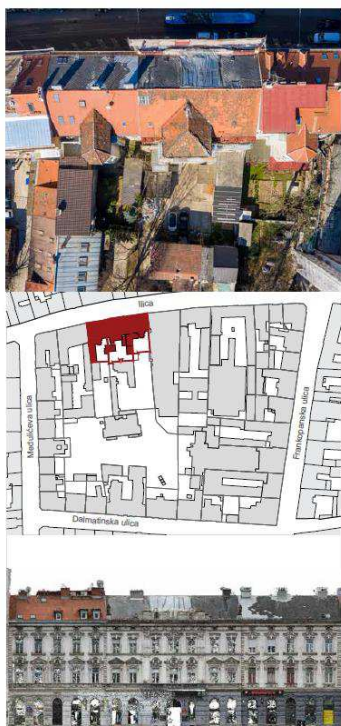
#### 6.3.1 Građevina na adresi Ilica 51-53-53a

Podloge za analize su dobivene iz međusektorske suradnje od kolega sa Instituta za povijest umjetnost. Istaknuti će se samo osnovni detalji odnosno podaci potrebni za izradu numeričkih modela, a svi ostali podaci se mogu pronaći u njihovom sektorskom izvješću.

Može se istaknuti da se građevina nalazi unutar bloka odnosno ugrađena/naslonjena je na susjedne građevine što je karakterističnost. Građevina je izgrađena 1987/1888. godine uz niz kasnijih intervencija prvenstveno uzrokovanih prenamjenom prostora. Zgrada je tlocrtno približno pravilnog oblika, a sastoji se od podruma, prizemlja i 2 kata (PO+PR+2K).

Konstruktivni sustav (nosivu konstrukciju) zgrade uglavnom čini sustav zidova od pune opeke starog formata (vanjski i unutarnji nosivi zidovi). Tlocrtno zidovi su nepravilno raspoređeni što rezultira različitim krutošću u dva glavna smjera. Stropna konstrukcija nije bila vidljiva, ali s obzirom na vrijeme gradnje pretpostavlja se da je drveni strop. U podrumu i iznad stubišnih podesta su plitki svodovi od opeke oslonjeni na željezne traverze. Prema dostupnim informacijama pretpostavlja se da je konstrukcija temeljna na zidanim temeljnim trakama. Prema razdoblju gradnje jasno je da proračun na potres nije proveden odnosno da su samo primijenjena općenita pravila struke. Prema prethodno istaknutim podacima iz brzih pregleda oštećenja i uporabljivosti zgrade zgrada je pretrpjela značajnija oštećenja. Pregledom uočene su nepravilnosti i pukotine na ulaznom i stubišnom dijelu građevine, na zidovima i stropovima hodnika i stanova.

236  
 Institut za povijest umjetnosti • BILOR IZ KONSERVATIVNOG MODELA OBNOVE  
 ID 27 • KUĆA HÖNIGSBERG • ILLICA 53/53a



**ID 27**    **Kuća Hönigsberg**  
 Ilica 51–53–53a

- KC** 2080-2078-2077
- Tip građevine** Ugrađena zgrada (3 odvojena stubišta: središnje s 2 peterosobna stana te istočno i zapadno s 2 dvosobna stana)
- Katnost** Po + P + 2
- Namjena** Stambeno-poslovna
- Vrijeme gradnje** 1887./1888.
- Naručitelj** Mavro Hönigsberg (1830. – 1892.), banakar, otac arhitekta Lea Hönigsberga
- Projektant** Leo Hönigsberg (Zagreb, 1861. – Zagreb, 1911.)
- Kasniji zahvati**
- 1921. – gradnja dvorišne prizemnice (kbr. 53a)
  - 1924. – izmjena izloga trgovine (kbr. 51)
  - 1925. – izmjena izloga trgovine (kbr. 53) prema projektu biroa Freudreich i Deutsch; dogradnja dvorišne verande (kbr. 53a)
  - 1927. – gradnja bravarske radionice u dvorištu (kbr. 53a)
  - 1928. – pregradnja izloga (kbr. 53a)
  - 1930. – pregradnja izloga (kbr. 53)
  - 1933. – izmjena izloga trgovine (kbr. 53a) – gradnja prodavaonice i pisarnice u dvorištu (kbr. 53a)
  - gradnja kuglane u dvorištu (kbr. 53)
  - 1938. – gradnja spremišta u dvorištu (kbr. 53)

- 1942. – gradnja krznarske radionice u dvorištu (kbr. 53a)
- 1963. – rekonstrukcija izloga (kbr. 51)
- Recentne pregradnje prodavaonica i stanova, dogradnja potkrovlja (istočni dio).

**Stilske značajke** Kasni historicism (neobarok, neorokoko)

**Smještaj u bloku (organizacija parcele)**

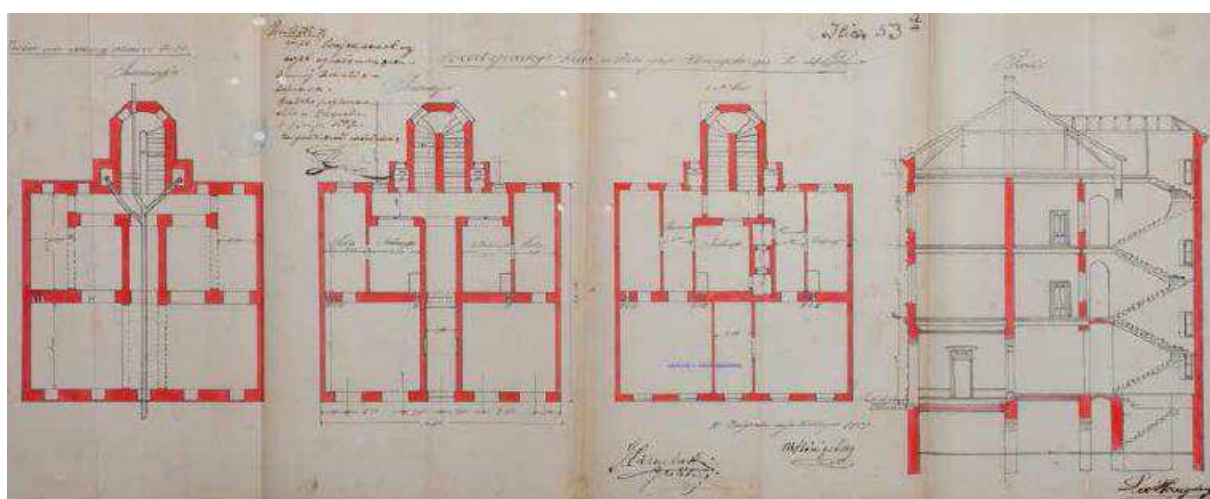
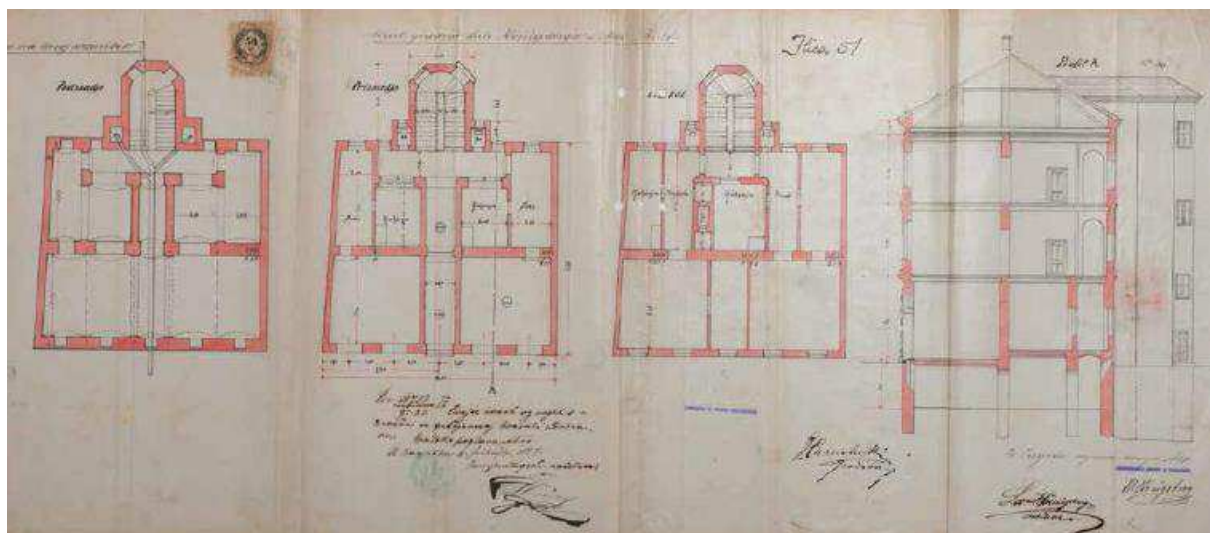
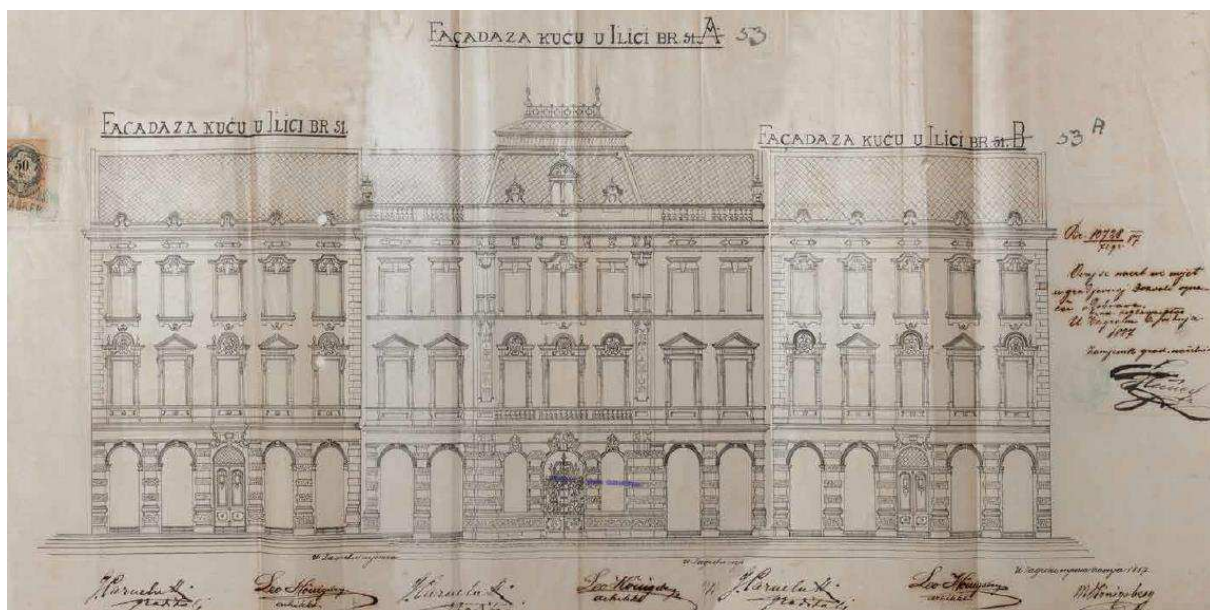
Historicistička stambena dvokatnica, prethodno kuća Hönigsberg, podignuta je 1887./1888. godine na sjevernoj strani bloka, zapremivši tri prijašnje parcele, odnosno kuće, vidljive na katastarskim kartama iz 1853./1854. i 1864. godine. Re-rezentativnim ulaznim sjevernim pročeljem orijentirana je prema Ilici, a južnim pročeljem prema unutrašnjosti bloka. U središnjoj osi zgrade oblikovana je veža kroz koju je omogućen pristup iz Ilice u dvorište. Dvorište je ostalo podijeljeno na tri izdužene parcele, uz čije rubove su postupno (dvadesetih i tridesetih godina 20. stoljeća) podizane različite prizemnice (obrtničke radionice, spremišta i sl.). Dvorište na središnjoj parceli (Ilica 53) je popločeno, dok je unutar dvorišta na istočnoj i zapadnoj parceli (Ilica 51, 53a) djelomično sačuvana zelena površina. U dnu središnjega dvorišta južno sagrađen je (1888. – 1890.) prizemni atelje arhitektonskog biroa Hönigsberg i Deutsch (Ilica 53 / 1, 2), sada stambene namjene, također okružen visokim dječcem i zelenilom.

**Organizacija prostora**

Izdužena dvokatna zgrada s podrumom sastoji se od triju zasebnih stambenih jedinica; svaka ima vlastiti ulaz i stubište. Jedinstveno sjeverno ulazno pročelje (sa 17 prozorskih osi) daje, međutim, privid da je riječ o jednoj zgradi. Središnji, najreprezentativniji dio zgrade (Ilica 53), širine sedam prozorskih osi, rastvoren je u prizemlju vežom. Ulični dio prizemlja zapremaju prodavaonice (danas prodavaonice odjeće), a dvorišni dio, odvojen središnjim nosivim zidom, obrtnička (postolarska) radionica istočno te

Slika 6.1 Primjer korištenih podataka [Izvor: Instituta za povijest umjetnosti]

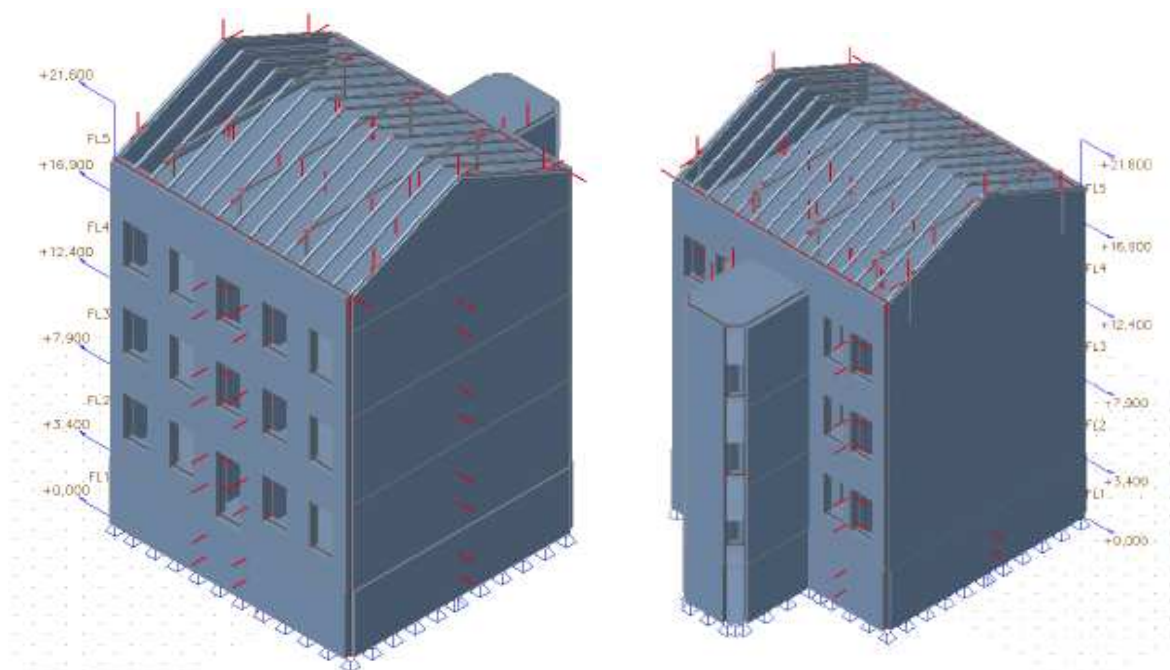
Kompleks sastavljen od triju stambeno-poslovnih zgrada s je registriran kao pojedinačno zaštićeno kulturno dobro. Preporuka je da je bitno u procesu obnove potrebno zadržati prvotna arhitektonska obilježja (rješenje i plastika pročelja, organizacija i opremanje ulaznog prostora i stubišta, osnovna tlocrtna dispozicija stanova te unutarnja oprema). Napominje se da s posebnom pozornošću valja rekonstruirati srušene gornje zone – središnje mansardne prozore i atiku sa skulpturama, čiji je izgled ostao zabilježen na fotografijama. Konačno, predlaže se cjelovita obnova, kojoj treba prethoditi konzervatorska studija temeljena na restauratorskom sondiranju. Gradski zavod za zaštitu spomenika kulture i prirode izdao je posebne uvjete zaštite kulturnog dobra.



Slika 6.2 Postojeći arhivski nacrti

### Preliminirani rezultati detaljnijih numeričkih analiza.

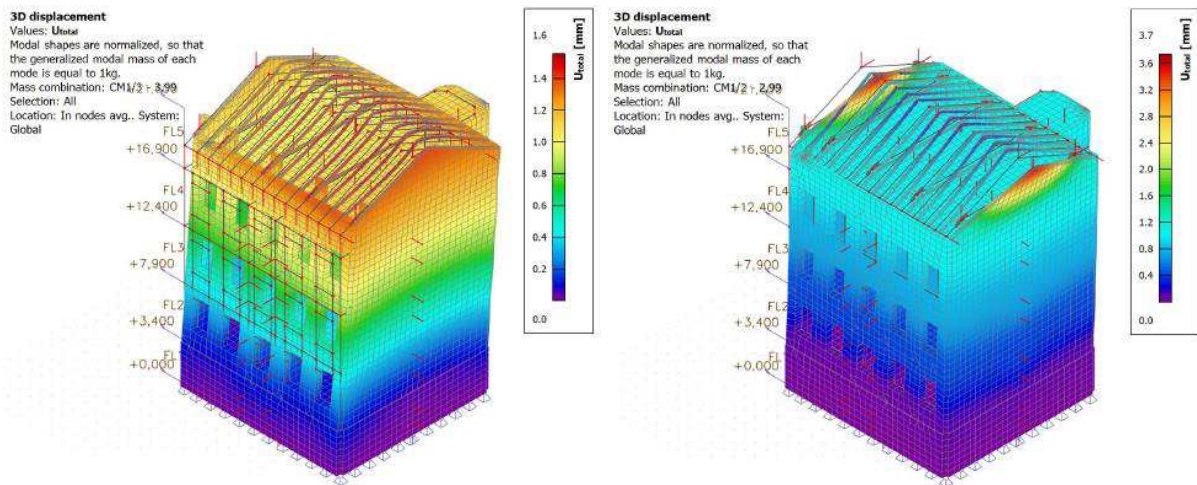
Na temelju raspoloživih podataka o konstrukciji napravljen je numerički model pri čemu su sudjelovale kolegica Raič i Benković u sklopu rada na diplomskom studiju.



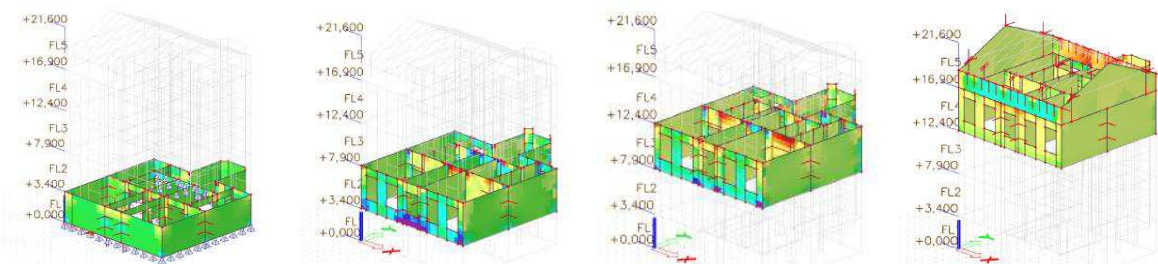
Slika 6.3 Preliminarni modeli konstrukcije

Numeričkim modelom simulirano je ponašanje kojem je konstrukcija bila izložena u vrijeme zagrebačkog potresa te se provela provjera konstrukcije prilikom maksimalnog vršnog ubrzanja tla  $a_g=0.26g$ . Grubi zaključci iz provedenog proračuna su:

- konstrukcija sadrži određene izvorne nedostatke prvenstveno geometrijske pravilnosti u oba smjera, no pravilnost je narušena brojnim otvorima u zidovima, čime je onemogućena dovoljna površina zidanih zidova za kvalitetan prijenos potresnih sila
- ključni nedostatak je nepovezanost zidova stropnim pločama što uzrokuje nestabilnost zidova van svoje ravnine
- Konstruktivni materijali (puna opeka i mort) su dotrajali i nezadovoljavajućih mehaničkih karakteristika za prijenos potresnih sila
- rezultati analiza pokazuju da dolazi do značajnih naprezanja nosivih zidova, za ubrzanja tla  $0,13g$ .
- rezultati tlačnih i posmičnih naprezanja pokazuju značajna prekoračenja naprezanja nosivih zidova, za potres ubrzanja tla  $a_g=0,26g$ .
- iz prikaza rezultata tlačnih i posmičnih naprezanja zaključuje se kako je za postojeću konstrukciju došlo do značajnih naprezanja nosivih zidova, za potres ubrzanja tla  $0,13g$ .



Slika 6.4 Prvi i drugi period vibracija



Slika 6.5 Grubi prikaz raspodjele poprečnih sila po etažama

## Zaključak

Prema trenutno dostupnim ulaznim podacima i trenutno prevedenim analizama može se zaključiti da analizirana zgrada sadrži izvorne nedostatke koje je tijekom obnove/rekonstrukcije nužno nadomjestiti. Prvenstveno treba istaknuti nepovezanost zidova stropnim pločama što uzrokuje nepovoljno ponašanje konstrukcije prilikom potresa. Dodatno nepravilni raspored zidova vrlo upitne kvalitete i relativno male površine upućuju da se mogu očekivati značajnija oštećenja pri snažnijim potresima. Posebice nepovoljno utječu brojne rekonstrukcije tijekom povijesti što oslabljuje nosivu konstrukciju (strukturu) i čini građevinu ranjivijom na djelovanje potresa. Zaključno, govorimo o jednoj uobičajenoj tradicijskoj zgradi iz povijesne jezgre Zagreba koja je suočena s uobičajenim manjkavostima, ali sve daje do znanja da je za postizanje zadovoljavajuće otpornosti za djelovanje potresa potrebno značajnije intervenirati u nosivu konstrukcij.

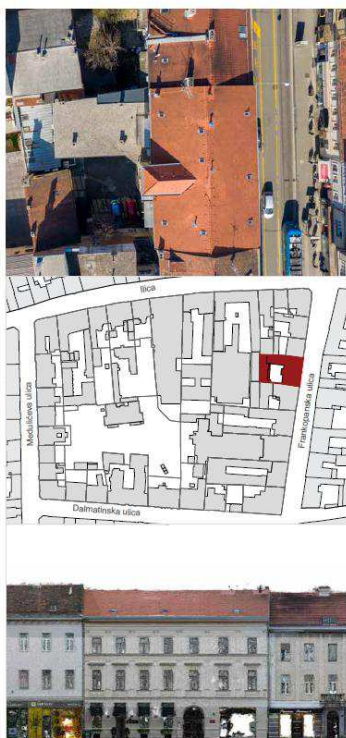
### 6.3.2 Građevina na adresi Frankopanska 4

Kao i za sve primjere podloge za analize su dobivene iz međusektorske suradnje od kolega sa Instituta za povijest umjetnosti. U nastavku su istaknuti samo osnovni detalji odnosno podaci ključni za izradu numeričkih modela, a svi ostali podaci se mogu pronaći u njihovom sektorskom izvješću.

Kao i ostale zgrade treba istaknuti da se građevina nalazi unutar bloka odnosno ugrađena/naslonjena je na susjedne građevine što je karakterističnost. Građevina je građena 1887/1898/1928. godine uz nekoliko intervencija poput nadogradnje 2. kata i prigradnje dvorišnog krila zgrade. Zgrada je tlocrtno relativno nepravilnog oblika, a sastoji se od podruma, prizemlja i 2 kata (PO+PR+2K).

Konstruktivski sustav (nosivu konstrukciju) zgrade uglavnom čini sustav zidova od pune opeke starog formata (vanjski i unutarnji nosivi zidovi). Tlocrtno zidovi su relativno nepravilno raspoređeni što rezultira različitim krutošću u dva glavna smjera. Stropna konstrukcija nije bila vidljiva, ali s obzirom na vrijeme gradnje pretpostavlja se da je drveni strop. U podrumu i iznad stubišnih podesta su plitki svodovi od opeke. Prema dostupnim informacijama pretpostavlja se da je konstrukcija temeljna na zidanim temeljnim trakama. Razdoblju gradnje upućuje da **proračun na potres** nije proveden odnosno da su samo primijenjena općenita pravila struke. Prema prethodno istaknutim podacima iz brzih pregleda oštećenja i uporabljivosti zgrade zgrada je pretrpjela značajnija oštećenja. Pregledom su uočene brojne pukotine, ali posebice treba istaknuti odvajanje fasadnog zida na Frankopansku ulicu.

66  
 Institut za povijest umjetnosti - BLOK 04 - KONSTRUKTIVSKI MODEL ČRANSE  
 ID 04 - KUĆA SCHNEIDER - Frankopanska 4



<b>ID 04</b>	<b>Kuća Schneider</b> Frankopanska 4
<b>KC</b>	2090
<b>Tip građevine</b>	Ugrađena zgrada (2 dvosobna stana na stubištu)
<b>Katnost</b>	Po + P + 2 (inaknadno dograđen 2. kat)
<b>Namjena</b>	Stambeno-poslovna
<b>Vrijeme gradnje</b>	1887. / 1898. / 1928.
<b>Naručitelj</b>	Ivan Schneider, knjigoveža prof. dr. Artur Schneider (1879.–1946.), povjesničar umjetnosti, glazbeni pisac i likovni kritičar
<b>Projektant</b>	Šafranek & Wiesner – Vjekoslav Šafranek i Robert Wiesner
<b>Kasniji zahvati</b>	1898. – prigradnja jednokatnog dvorišnog krila kuće 1928. – dogradnja drugog kata kuće prema projektu Franje Gabrića (Samobor, 1877. – Zagreb, 1941.) 1962. – otvaranje vrata za lokal Restaura Frankopan
<b>Stilske značajke</b>	Recentne dogradnje u dvorištu, pregradnje prodavaonica i stanova. Kasni historicism (neobarok) / dograđen drugi kat s diskretnim značajkama <i>art déco</i>
<b>Smještaj u bloku (organizacija parcele)</b>	
	Historicistička stambena dvokatnica, kuća Schneider, podignuta je 1887. na istočnoj strani bloka, na mjestu na

kojemu katastarska karta iz 1864. godine pokazuje neizgrađenu parcelu. Ulaznim pročeljem orijentirana je prema Frankopanskoj, a zapadnim pročeljem i dvorišnim krilom prema unutrašnjosti bloka.

Pročelje je skandirano sa sedam prozorskih osi. Na mjestu treće osi, gledano s desne strane, oblikovan je reprezentativni portal i veža, kroz koju pristup vodi s Frankopanske u dvorište. Sjeverno dvorišno krilo kuće s »ganjecom« pregrađeno je i dijelom prigradeno 1898., ponajprije za potrebe knjigovežnice, smještene u sjevernom dijelu prizemlja, ali i kao ekstenzija reprezentativnog stana na tom dijelu prvog kata kuće. Dvorište je danas pretvoreno u parking, a na njegovoj strani nakon Drugoga svjetskog rata postupno se oblikovala amorfna katnica.

#### Organizacija prostora

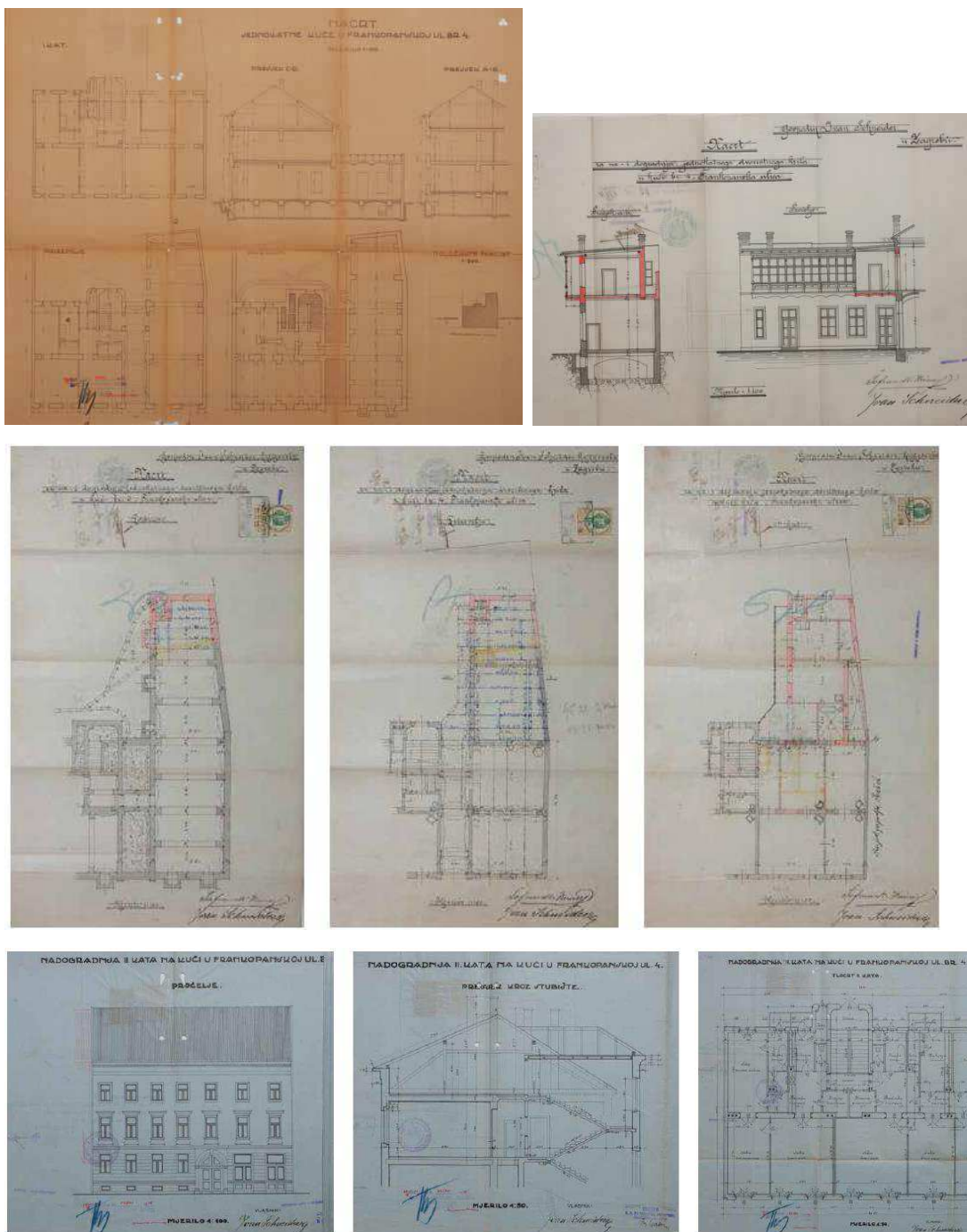
Ulično pročelje zgrade, širine sedam prozorskih osi, rastvoreno je u prizemlju hodnikom širokim 2,8 metara. Na kraju hodnika pristupalo se s lijeve strane dvosobnom suterenskom stanu u južnom dijelu kuće, odnosno stubištu prema gornjim katovima. Radi ekonomiziranja prostorom, podesti dvokrakog kamenog stubišta oblikovani su u prigradenom volumenu koji, dakle, prelazi preko začelne linije kuće prema dvorištu. S desne strane hodnika, nasuprot stubištu kuće, bio je ulaz u knjigovešku radionicu Ivana Schneidera. Radionica je imala još dva portala u prizemlju dvorišnog krila.

Danas prizemni dio kuće zapremaju prodavaonice (luksuzne odjeće, odnosno posteljine), zbog čega su morali naknadno biti otvoreni portali: jedan uski, na mjestu prijašnjeg prozora, s lijeve strane, te drugi neproporcionalnih dimenzija (probijen 1962.) na mjestu dvaju izvornih prozora kroz koje je dopiralo svjetlo u knjigovežnicu.

Na prvom katu su dva stana s po dvije sobe prema ulici te s kuhinjama i nusprostorijama prema dvorištu. Stan na sjevernoj strani dobio je znatno na reprezentativnosti prigradnjom dvorišnog krila s galerijski oblikovanim »ganjecom« (1898.).

Slika 6.6 Primjer korištenih podataka [Izvor: Instituta za povijest umjetnosti]

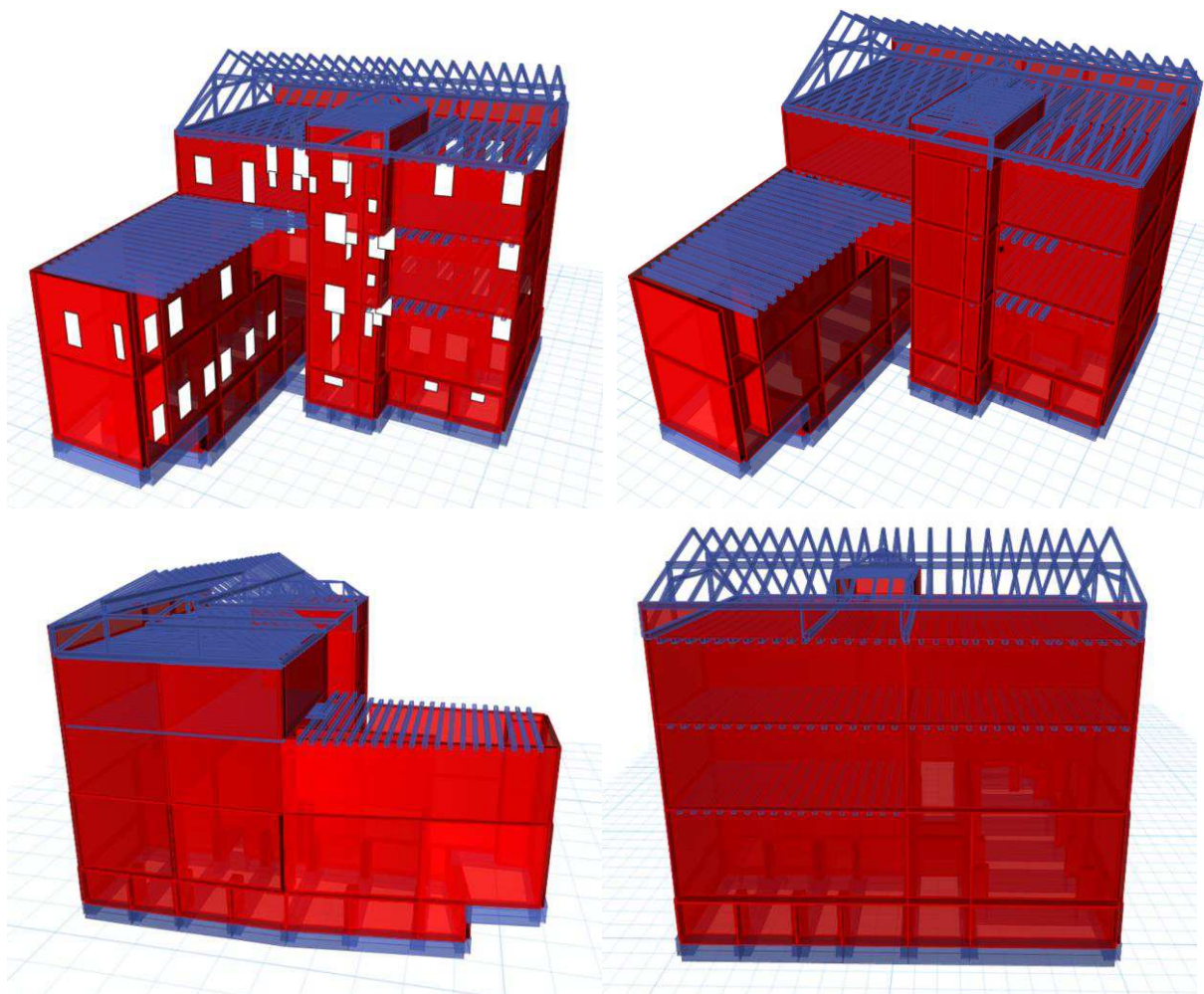
Prema Konzervatorskoj podlozi izrađenoj za Generalni urbanistički plan grada Zagreba 2015., građevina 2a uvrštena je u kategoriju B0, odnosno u kategoriju »povijesnih građevina visoke arhitektonske kvalitete i stupnja očuvanosti izvornih obilježja, a koje u bitnome određuju povijesnu fizionomiju i sliku, te ambijentalne karakteristike neposredne okoline i grada u cjelini«. Smjernicama se preporuča sanirati zgradu, a pri tome sačuvati postojeće gabarite, izvornu raščlambu pročelja te izvornu organizaciju i opremu, veže, stubišta i stambenih prostora.



Slika 6.7 Postojeći arhivski nacrti

### Preliminirani rezultati detaljnijih numeričkih analiza.

Na temelju raspoloživih podataka o konstrukciji napravljen je numerički model pri čemu su sudjelovale kolegice Barić, Gulan, Majstorović u sklopu rada na diplomskom studiju.



Slika 6.8 Preliminarni modeli konstrukcije

### Zaključak

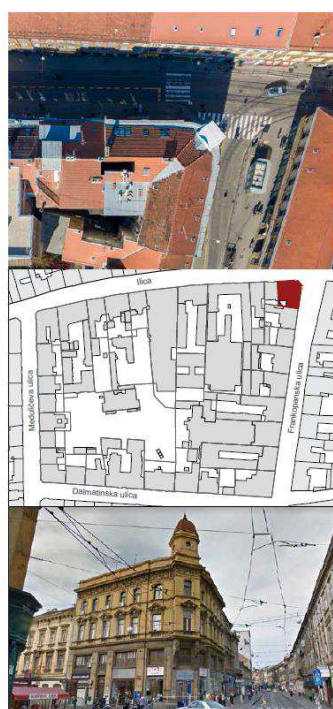
Prema trenutno dostupnim ulaznim podacima i trenutno prevedenim analizama može se zaključiti da analizirana zgrada sadrži uobičajene izvorne nedostatke. Posebice se ističe problematika rekonstrukcija (posebice u prizemlju) i dogradnje 2. kata što je nepovoljno djelovalo na koncept nosive konstrukcije. Kao i kod većine zgrada u bloku treba istaknuti nepovezanost zidova stropnim pločama što uzrokuje nepovoljno ponašanje konstrukcije prilikom potresa. Dodatno nepravilni raspored zidova vrlo upitne kvalitete i relativno male površine upućuju da se mogu očekivati značajnija oštećenja pri snažnijim potresima. Analiza zgrade još uvijek traje, ali preliminarni rezultati ukazuju da će biti vrlo teško dobiti zadovoljavajuću sigurnost zgrade bez značajnih intervencija.

### 6.3.3 Građevina na adresi Frankopanska 2 / Ilica 41

Kao i za sve primjere podloge za analize su dobivene iz međusektorske suradnje od kolega sa Instituta za povijest umjetnosti. U nastavku su istaknuti samo osnovni detalji odnosno podaci ključni za izradu numeričkih modela, a svi ostali podaci se mogu pronaći u njihovom sektorskom izvješću.

Treba istaknuti da je građevina uglovnica, ali dio bloka ugrađena/naslonjena je na susjedne građevine. Građevina je građena 1894. godine uz nekoliko intervencija ponajviše pregradnji i dogradnji s ciljem prenamjene prostora. Zgrada je tlocrtno nepravilnog oblika, a sastoji se od podruma, prizemlja, polukata i 2 kata (PO+PR+PK+2K).

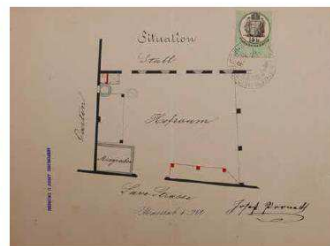
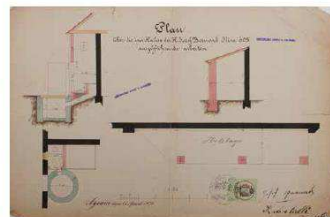
Konstruktivski sustav (nosivu konstrukciju) zgrade uglavnom čini sustav zidova od pune opeke starog formata (vanjski i unutarnji nosivi zidovi). Uglovnica definira tlocrtno vrlo nepravilno raspoređeni zidove što rezultira različitom krutošću u dva glavna smjera. Stropna konstrukcija nije bila vidljiva, ali s obzirom na vrijeme gradnje pretpostavlja se da je drveni strop, a s obzirom na raspodjelu prostorija mjestimično čak i u dva smjera. U podrumu i iznad stubišnih podesta su plitki svodovi od opeke. Prema dostupnim informacijama pretpostavlja se da je konstrukcija temeljna na zidanim temeljnim trakama. Razdoblju gradnje upućuje da proračun na potres nije proveden odnosno da su samo primijenjena općenita pravila struke. Prema prethodno istaknutim podacima iz brzih pregleda oštećenja i uporabljivosti zgrade zgrada je pretrpjela značajnija oštećenja, a posebice treba istaknuti kupolu na krovu čije uklanjanje je predstavljalo vrlo zahtjevnu zadaću. Pregledom su uočene brojne pukotine, ali posebice treba istaknuti odvajanje fasadnih zidova.



<b>ID 01</b>	<b>Kuća Höningsberg</b> Frankopanska 2 / Ilica 41]
<b>KČ</b>	2087
<b>Tip građevine</b>	Uglovnica (1 šestersobni stan na stubištu)
<b>Katnost</b>	Po + P +Pk + 2
<b>Namjena</b>	Stambeno-poslovna
<b>Vrijeme gradnje</b>	1894.
<b>Naručitelj</b>	Matilda Höningsberg (majka arhitekta Lea Höningsberga)
<b>Projektanti</b>	Höningsberg & Deutsch – Leo Höningsberg (Zagreb, 1861. – Zagreb, 1911.) i Julije Deutsch (Linhartovy, 1859. – Zagreb, 1922.)
<b>Kasniji zahvati</b>	1897. – pregradnja kavane u prizemlju prema projektu biroa Höningsberg i Deutsch, po narudžbi Matilde Höningsberg 1899. – proširenje kavane na susjednu kuću (Ilica 41a) zapadno prema projektu biroa Höningsberg i Deutsch 1904. – pregradnje mezanina prema projektu biroa Höningsberg i Deutsch 1931. – pregradnja kavane u prizemlju prema projektu biroa Freudreich i Deutsch, po narudžbi Ivane Pavelić 1936. – pregradnja kavane u prizemlju prema projektu Ašera Kabilja (1903. i 1994.) Recentne pregradnje lokala u prizemlju i stanova na katovima.
<b>Stilske značajke</b>	Kasni historizam (neobarok)

#### Smještaj u bloku (organizacija parcele)

Reprezentativna historiciistička dvokatnica s kupolom formira ugaio bloka; istočnim ulaznim pročeljem okrenuta je prema Frankopanskoj ulici, a sjevernim pročeljem prema Ilici. Uz začelnu stranu nalazi se malo dvorište. Prema planovima iz 1853/1854. i 1864., prije je sjeverni dio izdružene pravokutne parcele (uz Gornju Ilicu) zapremala kuća (Ilica 605), a južni dio dvorište. Sačuvan je nacrt iz 1878.

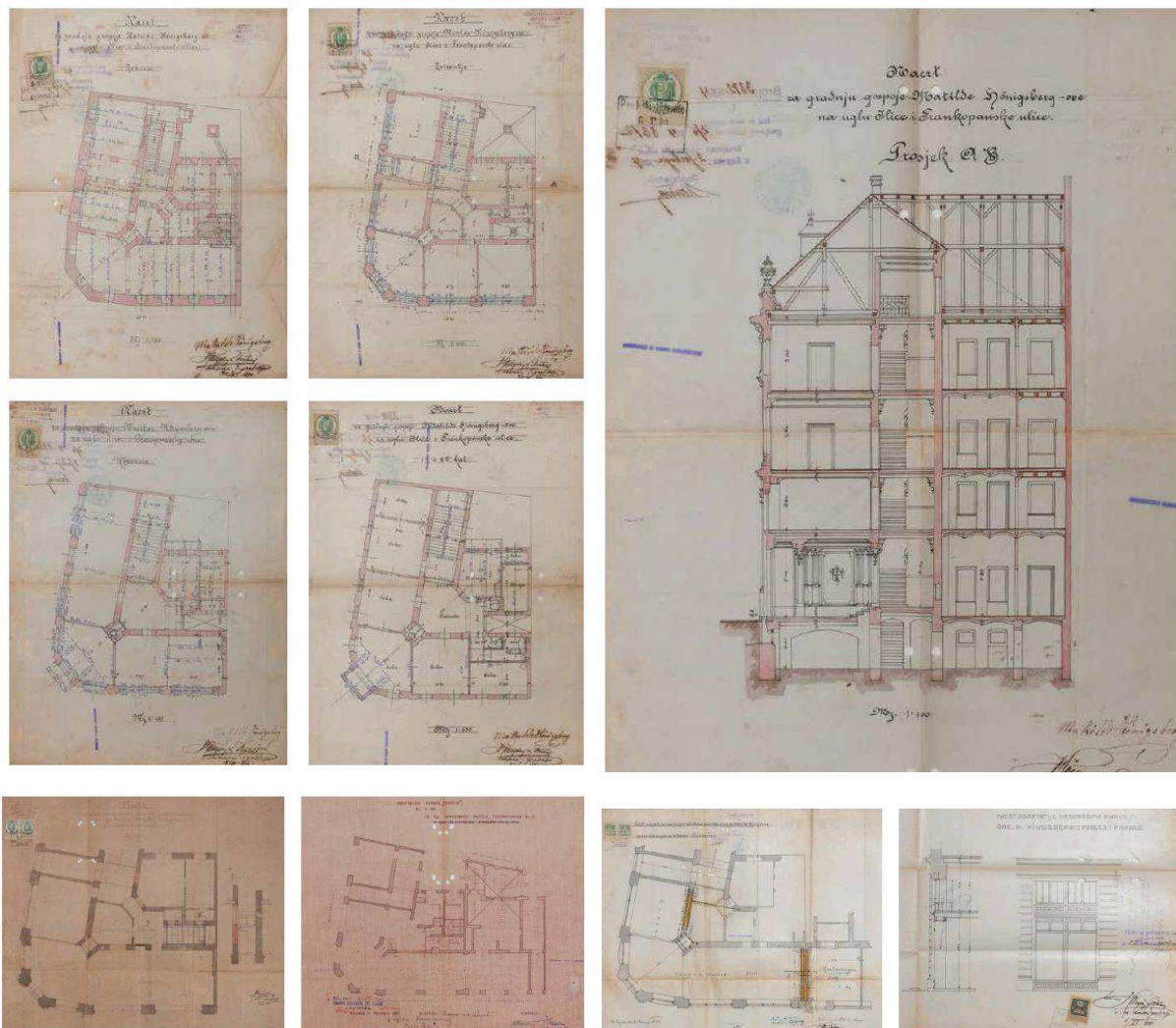


Nacrt za gradnju dvorance u vlasništvu Josipa Bernarda, 1878. (na mjestu kuće Höningsberg, 1894.), DAZ

Slika 6.9 Primjer korištenih podataka [Izvor: Institut za povijest umjetnosti]

Prema Konzervatorskoj podlozi izrađenoj za Generalni urbanistički plan grada Zagreba 2015., dobila je kategoriju B0. Urbanističkim položajem na uglu Ilice i Frankopanske ulice, i svojim arhitektonskim oblikovanjem, reprezentativna neobarokna uglovnica Hönigsberg odlikuje se visokom kvalitetom. U tom procesu njezina izvorna arhitektonska obilježja (rješenje i plastika pročelja, organizacija i opremanje ulaznog prostora i stubišta, osnovna tlocrtna dispozicija stanova te unutarnja oprema) trebaju biti očuvana i restaurirana. Posebnu pozornost valja pridati rekonstrukciji kupole, a u tom kontekstu predlažemo i rekonstrukciju prije uklonjenih akroterija atike.

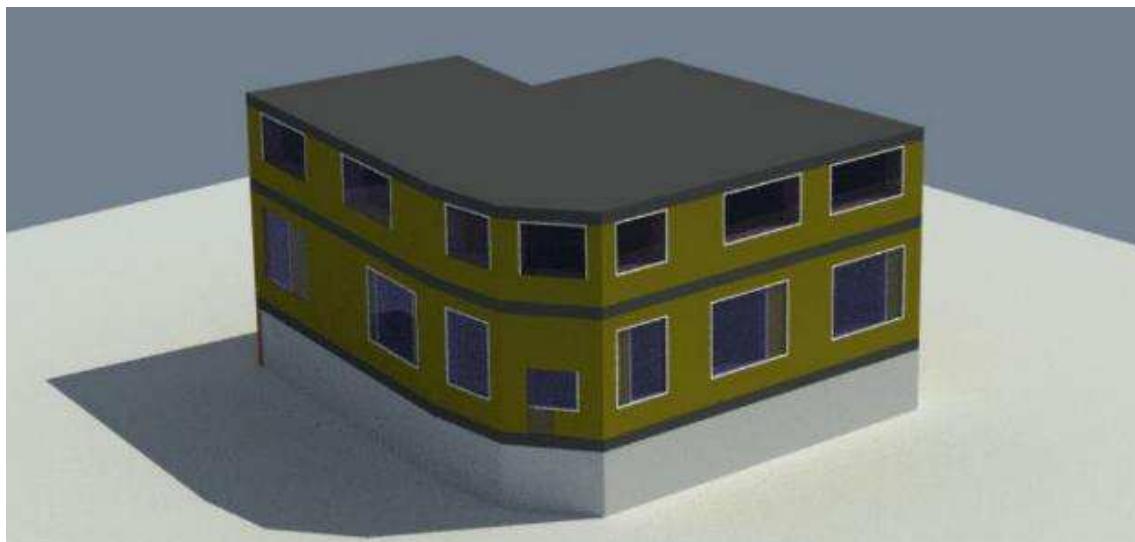
Također se predlaže ujednačeno oblikovanje izloga u prizemlju, prema izvornom projektu i u skladu s prozorima mezanina koji su ostali očuvani. Prije cjelovite obnove zgrade, s obzirom na njezinu arhitektonsku kvalitetu i urbanističko značenje, trebalo bi izraditi konzervatorsku studiju temeljenu na restauratorskim sondiranjima. Gradski zavod za zaštitu spomenika kulture i prirode izdao je mjere zaštite [Izvor: Institut za povijest umjetnosti].



Slika 6.10 Postojeći arhivski nacrti

### **Preliminirani rezultati detaljnijih numeričkih analiza.**

Na temelju raspoloživih podataka o konstrukciji napravljen je numerički model pri čemu su sudjelovale kolegice Bunčuga i Jeftić Rundek u sklopu rada na diplomskom studiju.



Slika 6.11 Preliminarni modeli konstrukcije

### **Zaključak**

Analiza predmetne zgrade je vrlo zahtjevna s obzirom na geometriju i uočena oštećenja. Prema trenutno dostupnim ulaznim podacima i trenutno prevedenim analizama može se zaključiti da analizirana zgrada sadrži uobičajene izvorne nedostatke. Kao i kod većine zgrada u bloku treba istaknuti nepovezanost zidova stropnim pločama što uzrokuje nepovoljno ponašanje konstrukcije prilikom potresa, a posebice kod uglovnih zgrada. Dodatno nepravilni raspored zidova vrlo upitne kvalitete i relativno male površine upućuju da se mogu očekivati značajnija oštećenja pri snažnijim potresima. Posebice se ističe problematika rekonstrukcija (posebice u prizemlju) što izrazito nepovoljno djeluje na koncept nosive konstrukcije. Analiza zgrade još uvijek traje, ali preliminarni rezultati ukazuju da će biti vrlo teško dobiti zadovoljavajuću sigurnost zgrade bez značajnih intervencija.

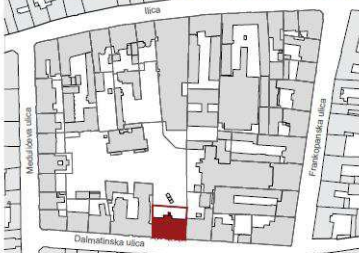
### 6.3.4 Građevina na adresi Dalmatinska 10

Kao i za sve prethodno istaknute primjere podloge za analize su dobivene iz međusektorske suradnje od kolega sa Instituta za povijest umjetnost. U nastavku su istaknuti samo osnovni detalji odnosno podaci ključni za izradu numeričkih modela, a svi ostali podaci se mogu pronaći u njihovom sektorskom izvješću.

Građevina nalazi unutar bloka odnosno ugrađena/naslonjena je na susjedne građevine što je karakterističnost. Vrijeme gradnje je između 1889-1890. godine, a od intervencija se samo navodi adaptacija tavana. Zgrada je tlocrtno relativno nepravilnog oblika, a sastoji se od podruma, visokoprizemlje i 1 kata (PO+VP+1K).

Konstruktivski sustav (nosivu konstrukciju) zgrade uglavnom čini sustav zidova od pune opeke starog formata (vanjski i unutarnji nosivi zidovi). Tlocrtno zidovi su relativno nepravilno raspoređeni što rezultira različitim krutošću u dva glavna smjera. Stropna konstrukcija nije bila vidljiva, ali s obzirom na vrijeme gradnje pretpostavlja se da je drveni strop. Prema dostupnim informacijama pretpostavlja se da je konstrukcija temeljna na zidanim temeljnim trakama. Razdoblju gradnje upućuje da **proračun na potres nije** proveden odnosno da su samo primijenjena općenita pravila struke. Prema prethodno istaknutim podacima iz brzih pregleda oštećenja i uporabljivosti zgrade zgrada je pretrpjela određena oštećenja u oba potresa tijekom 2020. godine. Pregledom su uočene brojne pukotine, ali posebice treba istaknuti odvajanje fasadnog zida na Frankopansku ulicu.

Institut za povijest umjetnosti • BLOK 19 – KONSTRUKTIVSKI SUSTAVI, OŠTEĆENJE  
ID 13 • ULICA, SPODICA, Dalmatinska 10



#### ID 13    Kuća Spevec Dalmatinska 10

KČ	2061
Tip građevine	Ugrađena zgrada (u prizemlju 2 trosobna stana na stubištu; na katu 1 sedmerosobni stan)
Katnost	Po + Vp + 1
Namjena	Stambeno-poslovna
Vrijeme gradnje	1889./1890.
Naručitelj	dr. Stjepan Spevec (Vukanci pokraj Zlata, 1839. – Zagreb, 1905.), dekan Pravnog fakulteta i rektor Sveučilišta te predstojnik Odjela za bogoštovlje i nastavu
Projektant	Herman Bollé (Köln, 1845. – Zagreb, 1926.) (na nacrtima potpisan Gjuro Carnelutti)
Kasniji zahvati	1957. – adaptacija stana na katu, naručiteljica Mira Kirinčić; projekt: ing. arh. Branko Tučkarić
Stilske značajke	Historicizam, neorenesansa

#### Smještaj u bloku (organizacija parcele)

Zgrada je podignuta na sredini sjeverne strane Dalmatinske ulice. Prema kronologiji gradnje postojećih kuća, ova je kuća najranija (1889.). Istočno se prislonila kuća dr. Kosirnika (1898.), a zapadno je stambena zgrada za općinske činovnike, sagrađena tek 1926. godine. Iza kuće, s dvoriš-

ne strane, proteže se duboka parcela koja je bila parkovno uređena površina još u vrijeme gradnje (ucrtana u katastar iz 1864.). Sezdesetih godina 20. stoljeća je za potrebe obližnjega dječjeg vrtića dio parka pretvoren u dječje igralište, s pješčanicom, toboganom i njihaljka. U to je vrijeme ondje bio prizemljen manji zrakoplov.

#### Organizacija prostora

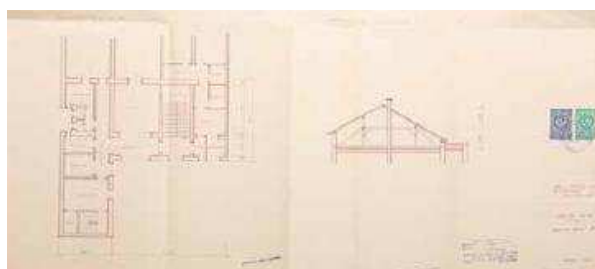
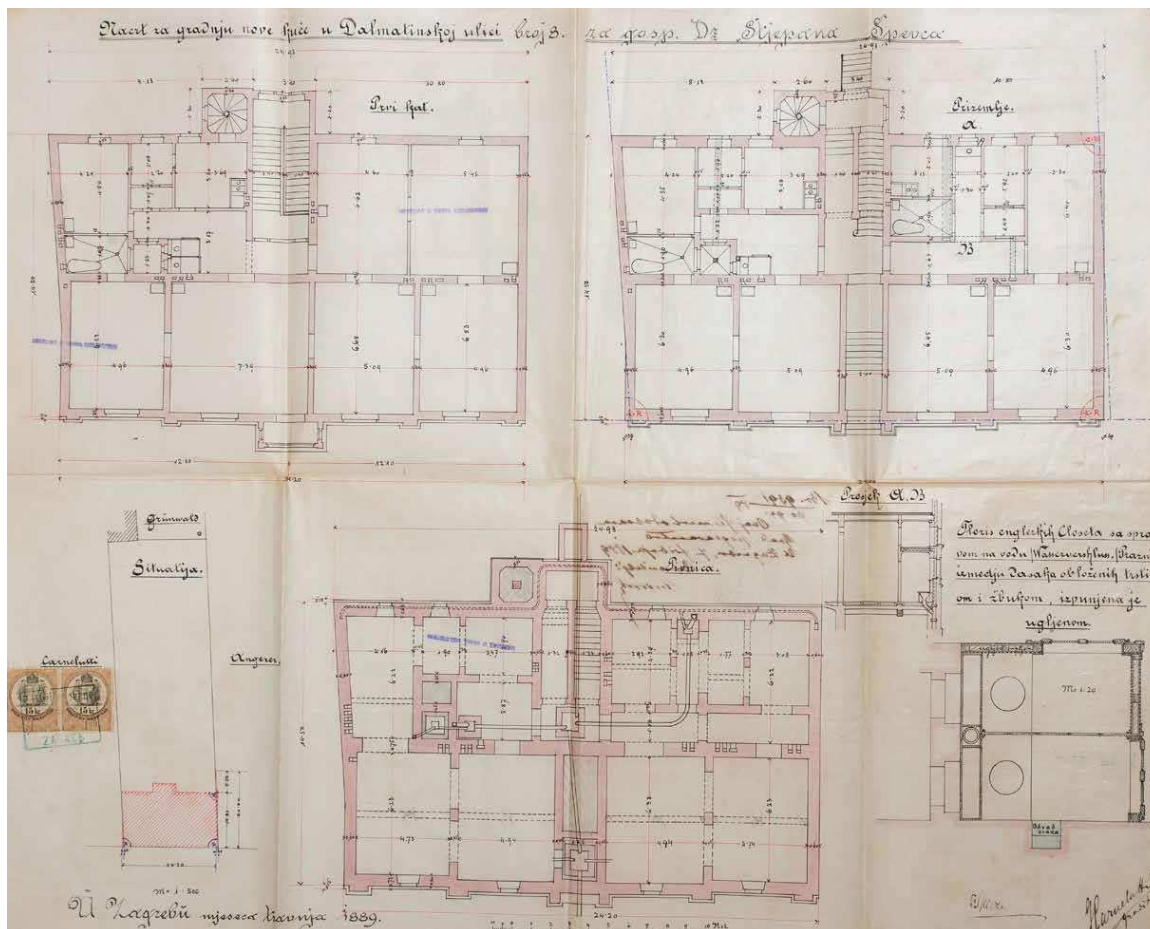
Jednokatnica s četiri stambene cjeline najniža je kuća u bloku. Ulazni dio sa stubištem smješten je centralno. U visokom prizemlju su lijevo i desno ulazi u stanove, prenamijenjeni u uredske prostorije (prije *Kontakt* – zastupstvo inostranih firmi, danas odvjetnički ured) i u novije vrijeme adaptirani. Na prvom katu je bio reprezentativni stan investitora, dr. Stjepana Speveca; stan je u adaptaciji 1957. godine podijeljen na dva manja stana. Kuća sa sjeverne, dvorišne strane, ima istak s manjim platoom i stubištem koje vodi u vrt. U tom dijelu, s unutarnje strane, nalaze se i stube koje vode u prodrom i tzv. gospodarski dio kuće, koji je na sjevernoj strani (kuhinja, izba, soba za služavku).

#### Unutarnja oprema

Sačuvana unutarnja oprema svjedoči o kvaliteti interijera kakvu je zamislio Herman Bollé. Kameno stubište je ograđeno bogatom kovanom ogradom od željeza. Podesti su popločeni kvadratnim pločicama. Na podestu između visokog prizemlja i kata je dekorativna svjetiljka na ukrasnom stalku od kovanog željeza, ugrađena u ogradu. Ulazna vrata i sva vrata u stanove su kvalitetno izvedena; posebno se ističu vrata stana na prvom katu (u kombinaciji drva, stakla i kovanih rešetki) koja sežu do stropa. Na stropu prvog kata je (ostatak) zidnog oslika u pompejskom stilu. Stan na prvom katu sa zapadne strane ima sačuvane detalje inventara, izvorna vrata, prozore, namještaj i oslik na stropu srednjeg salona.

Slika 6.12 Primjer korištenih podataka [Izvor: Instituta za povijest umjetnosti]

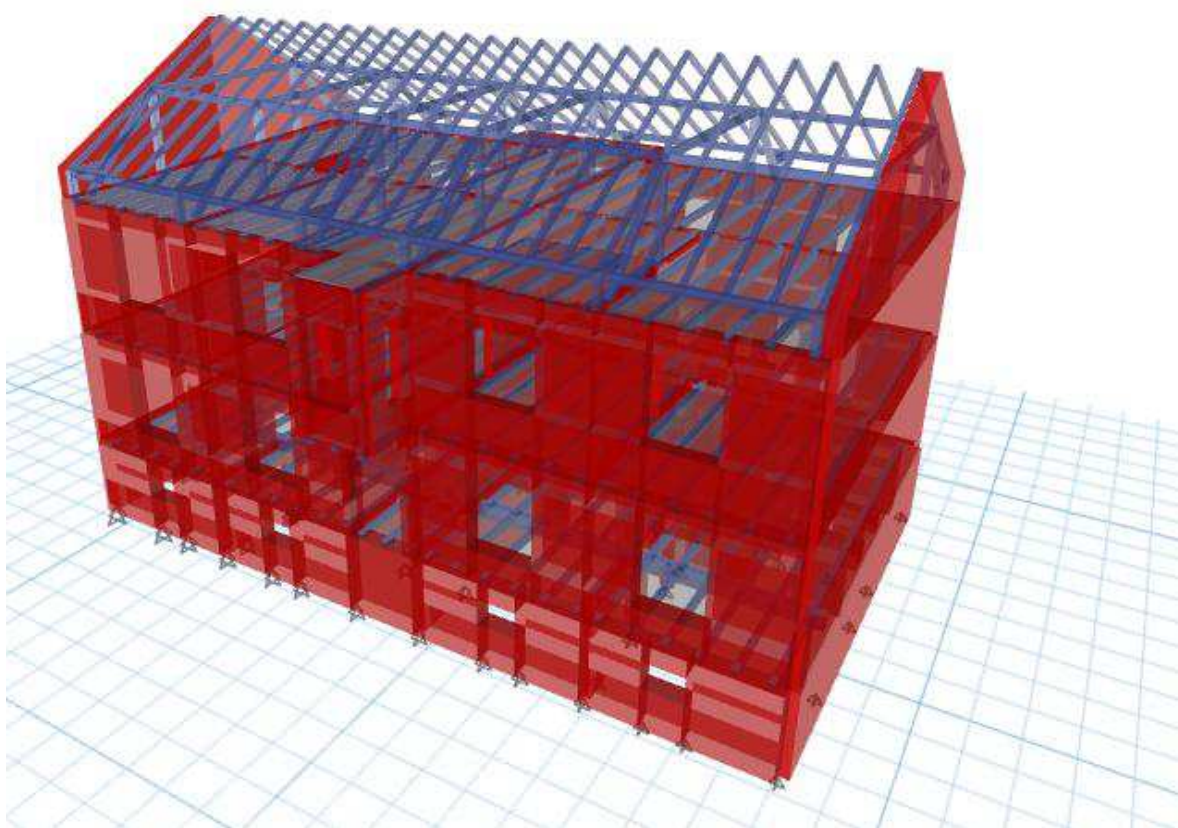
Prema Konzervatorskoj podlozi izrađenoj za Generalni urbanistički plan grada Zagreba 2015., uvrštena je u kategoriju B1. katu. Zgrada se ističe monumentalnošću i pripada najreprezentativnijim kućama u Dalmatinskoj ulici. Predlaže se da treba izraditi konzervatorsku studiju temeljenu na restauratorskim sondiranjima.



Slika 6.13 Postojeći arhivski nacrti

### Preliminirani rezultati detaljnijih numeričkih analiza.

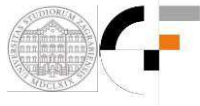
Na temelju raspoloživih podataka o konstrukciji napravljen je numerički model pri čemu su sudjelovale kolegice Bule, Grgić i Hiržić u sklopu rada na diplomskom studiju.



Slika 6.14 Preliminarni modeli konstrukcije

### Zaključak

Prema trenutno dostupnim ulaznim podacima i trenutno prevedenim analizama može se zaključiti da analizirana zgrada sadrži uobičajene izvorne nedostatke. Posebice se ističe problematika rekonstrukcija (posebice u prizemlju) i dogradnje 2. kata što je nepovoljno djelovalo na koncept nosive konstrukcije. Kao i kod većine zgrada u bloku treba istaknuti nepovezanost zidova stropnim pločama što uzrokuje nepovoljno ponašanje konstrukcije prilikom potresa. Dodatno nepravilni raspored zidova vrlo upitne kvalitete i relativno male površine upućuju da se mogu očekivati značajnija oštećenja pri snažnijim potresima. Analiza zgrade još uvijek traje, ali preliminarni rezultati ukazuju da će biti vrlo teško dobiti zadovoljavajuću sigurnost zgrade bez značajnih intervencija.



## 7 INAČICE OBNOVE

### 7.1 Uvod

U ovom poglavlju je dana perspektiva pristupa obnovi na način da je početno približen zakonski okvir koji uvelike definira konceptijska rješenja odnosno usmjerava ili ograničava neke od prijedloga. U nastavku je priložena lepeza konceptualnih rješenja koju projektanti mogu primijeniti prilikom pristupa obnovi, ali s ciljem da se prezentiraju raspoloživi pristupi, a da projektanti u konačnici odaberu najprimjenjivije rješenje.

### 7.2 Općenito o obnovi

Konstruktivska obnova provest će se primjenom odredaba:

1. Zakona o obnovi (NN 102/2020)
2. Tehničkog propisa za građevinske konstrukcije (NN 17/17, 75/20)
  - a. članak 24.a „Obnova građevinskih konstrukcija zgrada nakon potresa“
  - b. Prilog III. „Razine obnove potresom oštećenih konstrukcija zgrada u odnosu na mehaničku otpornost i stabilnost, III.1. Područje Grada Zagreba, Krapinsko-zagorske županije i Zagrebačke županije“
3. drugih zakonskih i normativnih odredaba na koje upućuju dokumenti 1. i 2.

Termin konstrukcija u Zakonu i Tehničkom propisu odnosi se na konstrukcijske elemente, stoga se cjelovita obnova tiče cjelovite obnove konstrukcije, a ne cjelovite obnove zgrade što je uzrokovalo određene nedoumice među projektantima.

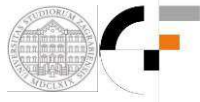
Prema Tehničkom propisu, obnova obuhvaća popravak i pojačanja konstrukcijskih i/ili nekonstrukcijskih elemenata s razinom obnove koja je primjerena opasnosti područja, oštećenju zgrada i potresnom riziku zgrade, a vezano za potresnu oštetljivost zgrade i njezinu namjenu. Osnovna norma za obnovu zgrada je Eurokod 8: HRN EN 1998-3 i pripadajući nacionalni dodatak HRN EN 1998-3/NA.

*Razine obnove* iz Tehničkog propisa, Prilog III. tablica III.1. su:

- razina 1: popravak nekonstrukcijskih elemenata
- razina 2: popravak konstrukcije
- razina 3: pojačanje konstrukcije
- razina 4: cjelovita obnova

#### **Razina 1: Popravak nekonstrukcijskih elemenata**

Nekonstrukcijske elemente dovesti do razine lokalne nosivosti i stabilnosti, popravkom ili zamjenom oštećenog nekonstrukcijskog elementa. Ukloniti neposredne opasnosti koje izazivaju nekonstrukcijski elementi zgrade i/ili osigurati zgradu od daljnje degradacije od prirodnih utjecaja (kiša, snijeg, vjetar i slično). Potresna otpornost zgrade u cjelini popravkom Razine 1 se ne razmatra.



## Razina 2: Popravak konstrukcije

Popravak potresom oštećene građevinske konstrukcije zgrade uz pojačanja kojima se postiže mehanička otpornost i stabilnost zgrade na potresno djelovanje za poredbenu vjerojatnost premašaja od 10% u 10 godina (povratni period 95 god.) za granično stanje znatnog oštećenja. Za zgrade za koje bi postizanje mehaničke otpornosti i stabilnosti zgrade na potresno djelovanje za poredbenu vjerojatnost premašaja od 10% u 10 godina narušilo njihova svojstva zaštićena posebnim zakonom ili bi ulaganja bila u nesrazmjeru u odnosu na njezinu vrijednost, dopušta se popravak potresom oštećene građevinske konstrukcije zgrade uz pojačavanje i primjenu metoda kojima se ne zadire značajno u tehnička svojstva zgrade koja se obnavlja, te kojima se (osim lokalno) ne mijenja bitno ukupna krutost konstrukcije i masa građevine. Izuzetak predstavljaju konstrukcijski sustavi zgrada kod kojih je potresna otpornost u jednom smjeru značajno niža nego u drugom pa se dopušta i lokalno dodavanje novih nosivih elemenata.

Popravak građevinske konstrukcije uključuje:

- povezivanje pojedinih elemenata konstrukcije kako bi se zgrada pri sljedećem potresu globalno ponašala kao cjelina te kako bi se odgodila pojava lokalnih mehanizama sloma i/ili mehanizama sloma izvan ravnine,
- pojačavanja kritičnih mjesta i elemenata oštećenih u potresu.

## Razina 3: Pojačanje konstrukcije

Pojačanje potresom oštećene građevinske konstrukcije zgrade uz primjenu metoda kojima se postiže povećanje mehanička otpornost i stabilnost zgrade u odnosu na potresno djelovanje za poredbenu vjerojatnost premašaja od 20% u 50 godina (povratni period 225 god.) za granično stanje znatnog oštećenja. Poboljšanje s ciljem dovođenja građevinske konstrukcije u stanje poboljšane razine nosivosti.

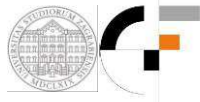
## Razina 4: Cjelovita obnova

Cjelovita obnova potresom oštećene građevinske konstrukcije zgrade uz primjenu metoda kojima se postiže mehanička otpornost i stabilnost zgrade u odnosu na potresno djelovanje za poredbenu vjerojatnost premašaja od 10% u 50 godina (povratni period 475 god.). Postizanje mehaničke otpornosti i stabilnosti prema pripadnim normama niza HRN EN 1998.

Prema *Odluci o donošenju Programa mjera obnove zgrada oštećenih potresom na području Grada Zagreba, Krapinsko-zagorske županije, Zagrebačke županije, Sisačko-moslavačke županije i Karlovačke županije*, zahtjevana razina obnove za zgrade u sklopu Bloka 19 je razina 2.

Općenito o smjerovima obnove

Sažeti predložene obnove iz kampanja ☺ i pokazati da su zapravo sve ovdje sadržane !!!



### 7.3 Metodologija

#### ▪ Elaborat ocjene postojećeg stanja

RAZINA2 - pojačanje konstrukcije

ZAHTJEV	DOKUMENTACIJA	ZAHVATI I RADOVI	KATEGORIJA ZGRADA
<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>potresno djelovanje u odnosu na spektre odziva i poredbeno vršno ubrzanje temeljnog tla tipa A</i>: vjerojatnost premašaja 10 % u 50 godina (povratno razdoblje 95 godina)</li><li>• <i>zadovoljenje</i>: graničnog stanja znatnog oštećenja prema nizu normi HRN EN 1998</li><li>• <i>ostvarena potresna otpornost</i> omjer proračunske potresne otpornostikonstrukcije potresne otpornosti prema nizu HRN EN 1998 i pripadnim NA</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>podloga projektu</i>: elaborat ocjene postojećeg stanja</li><li>• <i>projekt</i>: projekt obnove-projekt popravka građevinske konstrukcije zgrade</li><li>• potrebna kontrola projekta</li><li>• projekti ostalih struka po potrebi</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• popravak većih pukotina u nosivim zidovima</li><li>• obuhvatniji popravak krovišta</li><li>• popravak stubišta</li><li>• popravak povezivanje zidova</li><li>• popravakmeđukatnih konstrukcijai sidrenjeu zidove</li><li>• mjere stabilizacije nepridržanih zidova</li><li>• izmjena dimnjakavezano za zamjenu atmosferskog uređaja za loženje kondenzacijskim</li><li>• lokalno povezivanje nosivih zidova</li><li>• ugradnja sidara za mjestimično povezivanje međukatnih konstrukcija i nosivih zidova</li><li>• pojačanje međukatnih grednika i daščane oplata s ciljem postizanja djelomično krute dijagrafme</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• zgrade javnog okupljanja ljudi</li><li>• obrazovne zgrade</li><li>• zdravstvene zgrade koje nisu stvrstane u razred važnosti IV</li><li>• zgrade szambene, poslovne, stambeno-poslovne i javne namjene teže oštećene u potresu</li></ul>

Zahtjevana razina obnove je minimalna razina potresne otpornosti koja mora biti ostvarena za konstrukciju pojedine zgrade, a može se ostvariti postupno, zadovoljavajući kriterije nižih razina, ili direktno, uz uvjet da provedena obnova ne smije nepovoljno utjecati na ispunjavanje ostalih temeljnih zahtjeva u odnosu na razinu na kojoj su bili ispunjeni prije potresa. Zahtjevana razina, osim zahtjeva mehaničke otpornosti i stabilnosti, usmjerava projekt i u smislu potrebne dokumentacije te preporučenih zahvata i radova koji bi trebali biti uključeni. Na slici prikazan detaljan opis razine 3.

Viša razina obnove znači veće zahtjeve u pogledu potresne otpornosti te mehaničke otpornost i stabilnosti zgrade što ima direktan utjecaj na povećanje složenosti projekta u cjelini i veće financijske troškove (dovodi se u pitanje ekonomska isplativost). S obzirom na navedene činjenice, prije Projekta obnove obavezno je napraviti Elaborat ocjene postojećeg stanja (slika) kojim bi se, na temelju inženjerskog pregleda zgrade i kontrolnih proračuna i analiza postojećeg stanja,

#### 1. utvrdilo:

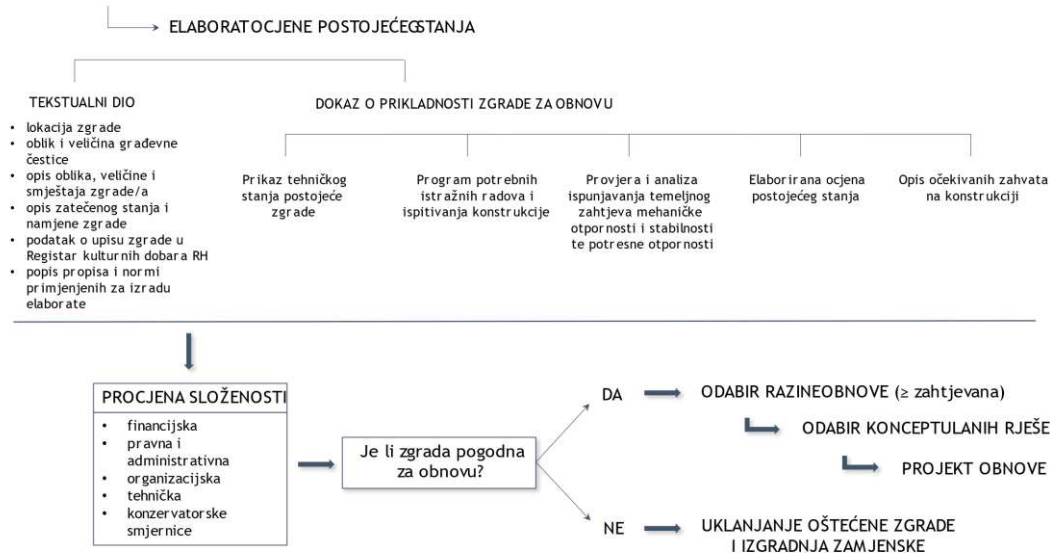
- je li zgrada pogodna za obnovu
- koju je razinu obnove moguće provesti uzimajući u obzir financijske i tehničke zahtjeve te društvene aspekte (iseljenja, vrijeme obnove, nemogućnost korištenja zgrade i dr.)

#### 2. prikazala tehnička rješenja i zahvati za obnovu konstrukcije zgrade sa smjernicama za izradu Projekta obnove konstrukcije zgrade



#### ZAHTJEVANA RAZINA OBNOVE

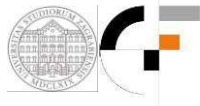
Odluka o donošenju Programa mjera obnove zgrada oštećenih potresom



#### Prikaz tehničkog stanja postojeće zgrade.

Važan korak prema ocjeni postojećeg stanja konstrukcije je prikaz njenog zatečenog stanja nakon potresa u obliku nacrtu zatečenog stanja s ucrtanim duljinskim i visinskim kotama i prikupljenim podacima o oštećenjima prije potresa koji predstavlja podlogu svim daljnjim analizama. No, prije analize zatečenog stanja, da bi se u potpunosti razumjela konstrukcija i način/razlog popuštanja određenih elemenata, bitno je poznavati strukturu i stanje konstrukcije neposredno prije potresa. Naime, konstrukcije svih potresom znatnije oštećenih zgrada visokogradnje imaju bitne nedostatke s obzirom na potresnu otpornost. Te konstrukcije najčešće imaju potrebnu strukturu i nosivost s obzirom na osnovna djelovanja (stalno, uporabno, vjetar, snijeg), ali ne i za potres. Nedovoljna potresna otpornost može biti rezultat

- razdoblja gradnje, što ovisi o graditeljskoj praksi i tehničkim propisima pojedinih razdoblja,
  - oslabljenja konstrukcije provedbom različitih rekonstrukcija,
  - propusta u projektiranju,
  - propusta u izvedbi,
- ili kombinacija navedenog.



Nedostatke konstrukcijskih sustava s obzirom na potresnu otpornost možemo svrstati u dvije bitne skupine:

- izvorni nedostaci - nedostaci izvorne prvoizgrađene konstrukcije
- stečeni nedostaci - starenje i neodržavanje zgrade te nestručno provedene rekonstrukcije nepovoljne za otpornost zgrade na djelovanje potresa

Kao što je u poglavlju navedeno, projektiranje zgrada prema kriterijima potresne otpornosti u Hrvatskoj sustavno je počelo prihvaćanjem prvih posebnih seizmičkih propisa 1964. godine, stoga zgrade izgrađene do 1964. imaju najviše izvornih nedostataka.

Također, zbog nepostojanja svijesti o vrijednosti projektne dokumentacije, većina investitora nema sačuvane primjerke projektne dokumentacije koja se eventualno može pribaviti iz Arhiva, a dobivene podloge, zbog dokumetiranih i nedokumentiranih rekonstrukcija, često ne odgovaraju zatečenom stanju i ne mogu se kao takve koristiti za analizu istoga.

Nacrta zatečenog stanja bitna su podloga za snimak oštećenja konstrukcije od djelovanja potresa (izgled i položaj). Dobiveni konačni prikaz tehničkog stanja postojeće zgrade, zajedno s njenim izvornim i stečenim nedostacima, promatrajući zgradu u širem kontekstu kroz cijelu njenu povijest, predstavlja temelj za daljnju razradu projektne dokumentacije, odnosno razradu tehničkih rješenja Projekta obnove.

#### **Program potrebnih istražnih radova i ispitivanja konstrukcije.**

Kako bi se izradio dokaz mehaničke otpornosti i stabilnosti i utvrdio stupanj potresne otpornosti postojeće zgrade, treba ustanoviti postojeći konstrukcijski sustav i dimenzije te kvalitetu ugrađenih materijala. Prema nacrtima zgrada starijih od 80 godina, u čiju skupinu spadaju zgrade Bloka 19, mogu se utvrditi osnovni geometrijski gabariti, struktura, dimenzije i statički sustav nosive konstrukcije, krovna konstrukcije te struktura i vrsta gradiva osnovnih elemenata, ali često iz postojeće dokumentacije nije moguće utvrditi sastav i kvalitetu gradiva pojedinih lokalnih elemenata konstrukcije - nadvoja, temelja, podrumskih zidova i sl. Ukoliko informacije iz postojeće projektne dokumentacije nisu dovoljne za provedbu analize, potrebno je provesti istražne radove.

Istraživanje konstrukcije zgrada *in situ* obuhvaća:

1. Sondiranje konstrukcije
2. Ispitivanje gradiva osnovnih elemenata konstrukcije koje treba provesti *in situ*
3. posebne nerazorne metode ispitivanja gradiva i konstrukcija oštećenih zgrada
4. Ispitivanje tla u zoni oštećenih zgrada

Na temelju dostupnih podataka o konstrukciji i razini znanja, određuje se faktor povjerenja s kojim se provodi proračun. Pri određivanju parametara postojećih materijala koji će se koristiti u proračunu, srednje vrijednosti dobivene ispitivanjima *in situ* te podataka iz dodatnih izvora, trebaju se podijeliti s faktorom povjerenja za odgovarajuću razinu znanja.

### Provjera i analiza ispunjavanja temeljnog zahtjeva mehaničke otpornosti i stabilnosti te potresne otpornosti.

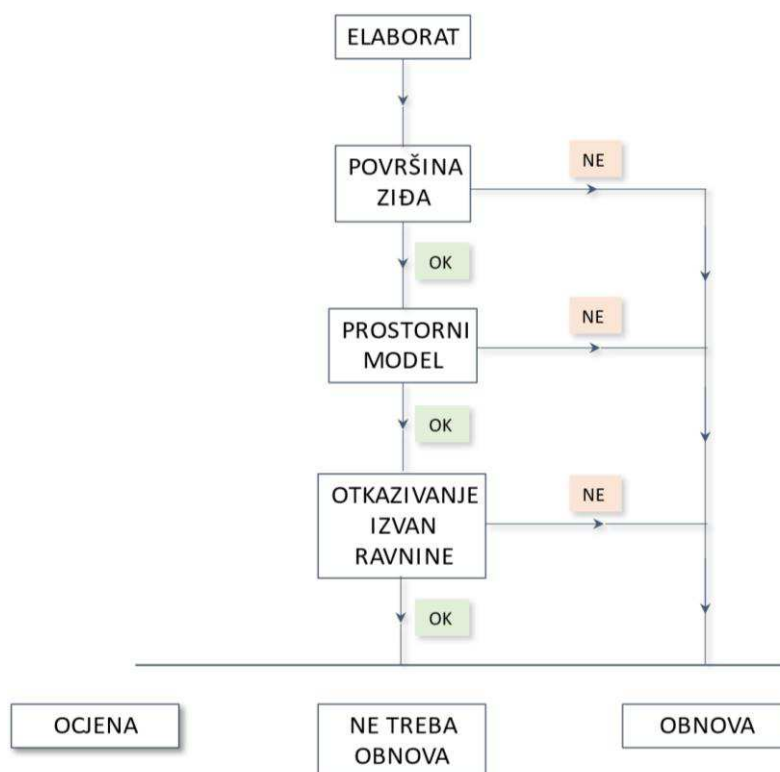
Kako bi se donijela ocjena o potresnoj otpornosti postojeće zgrade, na temelju svih dosad spomenutih informacija treba izraditi analizu i utvrditi postojeći stupanj potresne otpornosti. Rezultate analize treba usporediti sa zakonom predviđenom razinom obnove određene zgrade i donijeti smjernice o daljnjem postupanju te dati prikaz nužnih zahvata. Način provedbe analiza i same proračunske metode odabiru se u skladu sa složenošću, konstrukcijskim sustavom i stupnjem oštećenja zgrade.

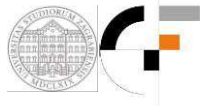
### Elaborirana ocjena postojećeg stanja.

Na temelju provedenog detaljnog inženjerskog pregleda koji obuhvaća

1. Vizualni pregled
2. Uvid u postojeću dokumentaciju
3. Provedbu istražnih radova
4. Provjeru i analizu ispunjavanja temeljnog zahtjeva mehaničke otpornosti i stabilnosti te potresne otpornosti

donosi se ocjena je li obnova građevinske konstrukcije dovoljna ili su nužni i zahvati na unaprjeđenju drugih temeljnih zahtjeva građevine. Kod teže oštećenih zgrada, koje izvorno sadrže grube konceptualne greške kao i naknadno stečene nedostatke, donosi se odluka o mogućoj obnovi odnosno odluka o uklanjanju postojeće i izgradnji zamjenske građevine.





## 7.4 Konceptualna rješenja

Odabir konceptualnih rješenja obnove treba sagledavati u širem kontekstu. Složenost obnove je kombinacija financijske, pravne i administrativne, organizacijske i tehničke složenosti. Iako će u nastavku biti dan pregled tehničkih (konstruktorskih) rješenja, važno je imati na umu da njihova zahtjevnost i cijena koštanja nisu jedini uvjeti odabira optimalnog rješenja obnove.

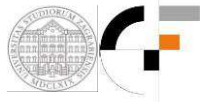
Kod konceptualnih rješenja obnove norma HRN EN 1998-3 predviđa sljedeće zahtjeve:

- Lokalna i opća prilagodba oštećenih i neoštećenih elemenata uzimajući u obzir krutost, čvrstoću i/ili duktilnost tih elemenata
- Dodavanje novih konstrukcijskih elemenata
- Prilagodba konstrukcijskog sustava
- Dodavanje novog konstrukcijskog sustava koji može preuzeti dio ili cijelo potresno djelovanje
- Moguća provedba postojećih nekonstrukcijskih elemenata u konstrukcijske
- Uvođenje pasivnih zaštitnih uređaja kao duktilnih ukrućenja ili izolacije u podnožju
- Smanjenje mase
- Ograničenje ili promjena namjene zgrade
- Djelomično rušenje

Na temelju preporuka norme HRN EN 1998-3 predloženo je **10 mogućih konceptualnih rješenja** koja većinski ili potpuno osiguravaju zadovoljenje minimalne zahtjevane razine obnove.

### Pregled konceptualnih rješenja

br.	konceptualno rješenje	oštećenje zgrade	ojačanje zida	horizontalne dijafragme	primjereno razinama	neophodno iseljenje	vrijeme (mjeseci)
1	adaptacija potkrovlja	zeleno	minimalno	samo potkr.	1 - 2	ne	1 - 3
2	manji opseg zahvata	zeleno	spojevi	polukrute	1 - 2	ne	2 - 3
3	ojačanje zida samo izvana	zeleno	izvana	polukrute	2 - 3	ne	3 - 4
4	nova komunikacijska jezgra	zeleno	minimalno	polukrute	2 - 3	dijelom	2 - 3
5	ojačanje zida FRP-om	zeleno	uglavnom	polukrute	2 - 3	da	3 - 4
6	ojačanje zida torkretnom oblogom	zeleno	uglavnom	(polu)krute	2 - 3	da	3 - 5
7	preziđavanje, pretvaranje pregradnih zidova u omeđeno zide	zeleno	djelomično	(polu)krute	2 - 4	da	4 - 5
8	pretvaranje nekonstrukcijskih elemenata u AB zidove	zeleno	djelomično	(polu)krute	2 - 4	da	4 - 5
9	dodatne vanjske AB jezgre	zeleno	minimalno	(polu)krute	2 - 4	dijelom	4 - 5
10	zamjenska zgrada	zeleno	novi	(polu)krute	3 - 4	da	7 - 12



### Konceptualno rješenje 1 - Adaptacija potkrovlja

Obuhvaća adaptaciju potkrovlja u korisni prostor. Adaptacija i pretvaranje u korisni prostor daju novu vrijednost čijom se komercijalizacijom može dijelom ili u cjelini financirati obnova zgrade. Da bi to bilo moguće, potrebno je prethodno provesti Urgentni program potresne obnove [Crnogorac *et. al.* 2020] kojim se obuhvaća obnova oštećenih struktura tavana i ostalih teško oštećenih elemenata i sklopova konstrukcije zgrade čija je obnova neodgodiva.

Provedba Urgentnog programa potresne otpornosti potrebna je iz više razloga:

- otklanjanje neposredne opasnosti od oštećenih i dijelom urušenih struktura tavana
- omogućavanje stavljanja dimnjaka u funkciju
- rekonstrukcija (polu)urušenih zidova tavana
- sanacija manjeg dijela ostalih pojedinačnih, teže oštećenih elemenata zgrade koji su opasnost za moguće uvjetno i ograničeno korištenje zgrade čija je sanacija neodgodiva do provedbe ukupne obnove

dotadnih zahvatima u potkrovlju moguće je dijelom otkloniti i izvorne konceptualne nedostatke za zgradu u cjelini. Zahvati koji se izvode su:

- stabilizacijski dijelovi krovne konstrukcije
- kruta ili polukruta dijafragma kojom bi se povezali zidovi i znatno povećala njihova nosivost izvan ravnine
- sidrenje dijafragmi u zidove, točkasta vlačno-tlačna sidra i zatege
- spajanje dijafragmi sa zabatima

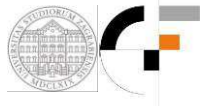
Krute dijafragme u nekorištenim tavanskim prostorima ili potkrovljima mogu se izvesti bez povećanja mase zgrade uklanjanjem postojećih slojeva poda, a mogu se realizirati izvedbom tanke armiranobetonske ploče

- a) spregnute s drvenim grednikom - dijafragma povezuje nosive zidove, ujednačava njihove pomake i pridržanjem povećava njihovu nosivost izvan ravnine
- b) konstrukcijski odvojeno od drvenog grednika s ugrađenim čeličnim profilima i trapeznim limom kao izgubljenom oplatom tanke armiranobetonske ploče - izvedba u slučaju nedovoljne nosivosti tanke armiranobetonske ploče.

### Konceptualno rješenje 2 - Manji opseg radova

Obuhvaća manji opseg zahvata i izvedbu djelomično krutih dijafragmi uz minimalnu devastaciju korištenih prostora. Preduvjeti koje je neophodno ostvariti na konstrukciji da bi odgovarali proračunskom modelu su izvođenje horizontalnih dijafragmi kod kojih je neophodno osigurati povezivanje i kvalitetno sidrenje u nosive zidove. Mogući načini realizacije ovise o tipu stropne konstrukcije:

Tip 1 - stropna konstrukcija od drvenih grednika



Realizacija horizontalnih dijafragmi (ako je moguće) s donje strane drvenog grednika

- uklanjanjem obloge s donje strane stropne konstrukcije
- ugradnjom (a) jednog dodatnog sloja daščane oplata pod kutem  $45^\circ$ , (b) dva dodatna sloja pod kutem ukoliko već ne postoji daščana oplata

Tip 2 - stropna konstrukcija od potresom oštećenih dijafragmi neprimjerene krutosti (tanke Ab ploče, sitnobrečasti strop, križni ili lučni svododovi od opeke)

Dodatno povezivanje nosivih zidova može se ostvariti ugradnjom čeličnih zatega.

U slučaju neomeđenog zida, na sudarima zidova po potrebi se može izvesti pojačanje spojeva dodatnim sidrima, armiranim žbukama ili FRP materijalima. Preporuka je izvesti prikladna pojačanja nadvoja i povećanje njihove duktilnosti.

### **Konceptualno rješenje 3 - Ojačanje zida samo izvana**

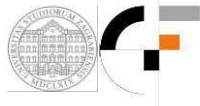
Obuhvaća izvedbu torkretne obloge samo izvana i formiranje polukrutih horizontalnih dijafragmi (Konceptualno rješenje 2) uz manja zadiranja u korištene prostore zgrade. Preduvjeti koje je neophodno ostvariti na konstrukciji da bi odgovarali proračunskom modelu je realizacija Konceptualnog rješenja 2. Realizacija ojačanja vertikalnih elemenata koji ne posjeduju dostatnu otpornost na potresna djelovanja vrši se u obliku djelomičnog torkretiranja vanjskih i stubišnih zidova (jednostrano ili obostrano).

### **Konceptualno rješenje 4 - Nova komunikacijska jezgra**

Obuhvaća zamjenu postojećeg stubišta novom komunikacijskom armiranobetonskom jezgrom. Preduvjeti koje je neophodno ostvariti na konstrukciji da bi odgovarali proračunskom modelu je realizacija Konceptualnog rješenja 2. S obzirom na to da su donjogradska stubišta uglavnom komfornijih gabarita, može se razmotriti rekonstrukcija komunikacijske jezgre izvođenjem jezgre stubišta i dizala dodatnim armiranobetonskim zidom ili oblogom. Po potrebi izvesti pojačanje spojeva zidova dodatnim sidrima, armiranim žbukama ili FRP materijalima. Po potrebi izvesti Konceptualno rješenje 3. Utjecaj pojačanja na ostale elemente konstrukcije treba provjeriti provedbom ponovnog proračuna konstrukcije.

### **Konceptualno rješenje 5 - Ojačanje zida FRP-om**

Obuhvaća izvedbu pojačanja zidova FRP-om i izvedbu polukrutih dijafragmi. Preduvjeti koje je neophodno ostvariti na konstrukciji da bi odgovarali proračunskom modelu je realizacija Konceptualnog rješenja 2. Kod teže oštećenih zidova ili onih koji proračunom ne zadovoljavaju, te se za njih zahtijeva pojačanje, mogu se izvesti FRP obloge, po mogućnosti obostrano, pazeći da se ne naruši pravilnost zgrade unošenjem dodatnog ekscentriciteta. Utjecaj pojačanja na ostale elemente konstrukcije treba provjeriti provedbom ponovnog proračuna konstrukcije.



### **Konceptualno rješenje 6 - Ojačanje zida torkretnom oblogom**

Obuhvaća pojačanje zidova teže oštećenih zgrada torkretnom oblogom i izvedbu djelomično krutih ili krutih dijafragmi. Preduvjeti koje je neophodno ostvariti na konstrukciji da bi odgovarali proračunskom modelu je realizacija Konceptualnog rješenja 2. Teža oštećenih zidova ili onih koji proračunom ne zadovoljavaju, te se za njih zahtijeva pojačanje, moguće ih je ojačati torkretnim oblogama, po mogućnosti obostrano, pazeći da se ne naruši pravilnost zgrade unošenjem dodatnog ekscentriciteta. Torkretnu oblogu treba primjeteno sidriti u temeljnu konstrukciju. Torkretiranjem je moguće povećati nosivost zidanog zida do 50 % u odnosu na izvorno stanje. Utjecaj pojačanja na ostale elemente konstrukcije treba provjeriti provedbom ponovnog proračuna konstrukcije.

### **Konceptualno rješenje 7 - Preziđivanje, pretvaranje pregradnih zidova u omeđeno zide**

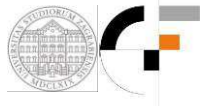
Obuhvaća prezidivanje teže oštećenih zidova, pretvaranje nekonstrukcijskih u konstrukcijske elemente i izvedbu djelomično krutih horizontalnih dijafragmi. Preduvjeti koje je neophodno ostvariti na konstrukciji da bi odgovarali proračunskom modelu je realizacija Konceptualnog rješenja 2. Pregradni zidovi karakterističnih donjogradskih zgrada su najčešće izvedeni punom opekam obostrano žbukanom sa znatnom masom koja stvara potresne sile. Preziđivanje pregradnih zidova može se realizirati na nekoliko načina:

- razgradnja navedenih zidova i izvedba laganih pregrada (npr. gips-kartonske)
- prezidivanje znatno oštećenih pregradnih zidova izvedbom odgovarajućih vertikalnih i horizontalnih serklaža

Razgrađenu opeku pregradnih zidova moguće je iskoristiti za izvedbu dodatnih omeđenih zidova koje treba voditi neprekinuto po visini i prikladno povezati s horizontalnim dijafragmama. Nova dispozicija zidova ne smije dovesti do dodatnog ekscentriciteta u odnosu na izvorno stanje. Utjecaj pojačanja na ostale elemente konstrukcije treba provjeriti provedbom ponovnog proračuna konstrukcije.

### **Konceptualno rješenje 8 - Pretvaranje nekonstrukcijskih elemenata u armiranobetonske zidove**

Obuhvaća pretvaranje nekonstrukcijskih u konstrukcijske armiranobetonske elemente i formiranje krutih ili djelomično krutih horizontalnih dijafragmi. Preduvjeti koje je neophodno ostvariti na konstrukciji da bi odgovarali proračunskom modelu je realizacija Konceptualnog rješenja 2. Takav koncept je namjenjen teže oštećenim zgradama ili zgradama s izvornim nedostatkom u obliku nedovoljno zidova u tlocrtu. Realizacija se vrši uklanjanjem pregradnih zidova od pune opeke i izvođenjem armiranobetonskih zidova na njihovom mjestu. Za AB zidove treba izvesti odgovarajuće temelje, voditi ih neprekinuto po visini i prikladno povezati s horizontalnim dijafragmama. Zamjena pregradnih u armiranobetonske zidove ne smije dovesti do dodatnog ekscentriciteta u odnosu na izvorno stanje. Utjecaj pojačanja na ostale elemente konstrukcije treba provjeriti provedbom ponovnog proračuna konstrukcije.



### **Konceptualno rješenje 9 - Dodatne vanjske armiranobetonske jezgre**

Obuhvaća izvedbu dodatnih armiranobetonskih jezgri i formiranje krutih ili djelomično krutih dijafragmi. Preduvjeti koje je neophodno ostvariti na konstrukciji da bi odgovarali proračunskom modelu je realizacija Konceptualnog rješenja 2. Realizacija se vrši izvedbom dodatnih vanjskih armiranobetonskih jezgri pri čemu treba razmotriti i rekonstrukciju postojeće komunikacijske jezgre kao što je opisano u Konceptualnom rješenju 4. Treba voditi računa da će pri postavljanju nove tlocrtna dispozicije uglavnom će doći do promjene u položaju centra krutosti zgrade i nastojati popraviti pravilnost zgrade ako je potrebno. Utjecaj pojačanja na ostale elemente konstrukcije treba provjeriti provedbom ponovnog proračuna konstrukcije.

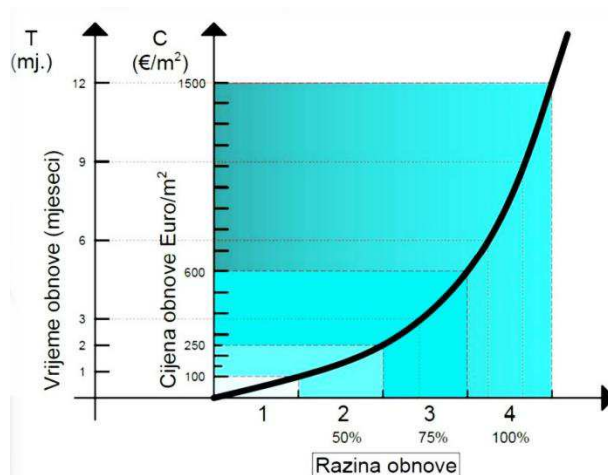
### **Konceptualno rješenje 10 - Zamjenska zgrada**

Obuhvaća zamjensku zgradu, odnosno novu konstrukciju pri čemu se zadržava eventualno samo pročelje. U slučaju teže oštećenih zgrada ili zgrada s grubljim izvornim nedostacima koje bi zahtjevale znatne zahvate treba financijski razmotriti varijantu uklanjanja kompletne zgrade i izradu zamjenske, osim ako zgrade nisu pojedinačno zaštićeno kulturno dobro. Odluku je potrebno donijeti poštujući konzervatorske zahtjeve, prije svega vezano za pročelja. Ako pročelja predstavljaju posebnu vrijednost, za vrijeme uklanjanja preostalog dijela zgrade i izgradnje zamjenske, moguće ih je zadržati i osigurati privremenim poduporama.

### Financijska složenost i ekonomska analiza isplativosti.

Zbog velikog broja potresom oštećenih zgrada i velikog financijskog iznosa štete, jasno je da su za potpunu i cjelovitu obnovu nedovoljna sredstva u državnom i gradskom proračunu te u privatnom i javnom sektoru. To je, između ostalog, jedan od glavnih razloga potrebe za uvođenjem Razina obnove od 1 do 4. Kao što je ranije spomenuto, viša razina obnove znači veću potresnu otpornost i sigurnost građevine, ali i veću složenost u svakom smislu te veći utrošak vremena što za sobom povlači i veće troškove. Eksponencijalno povećanje troškova i potrebnog vremena za obnovu prikazano je na slici. „Sigurnost košta“, no je li najskuplje rješenje uvijek i najbolje za pojedinu građevinu?

Razine s pripadnom potrebnom dokumentacijom, pri čemu u procjeni tehničke, financijske, administrativno-pravne i organizacijske složenosti najveću ulogu ima kvalitetan Elaborat ocjene postojećeg stanja, omogućavaju kontroliranu i definiranu metodologiju pronalaska optimalnog rješenja za svaku zgradu pojedinačno uzimajući u obzir sve ono što ju čini onakvom kakva je u zatečenom stanju i ono što je tome prethodilo. Cilj uvođenja Razina obnove je rasporediti vrijeme i troškove na način da



se na početku, u relativno kratkom vremenu, nižim razinama obuhvati što veći broj oštećenih građevina zahvatima kojima bi se uklonili izvorni konceptualni nedostatci i popravili loši dotrajali detalji i slaba mjesta na konstrukciji te na taj način na velikom području (gdje je to bilo moguće) osigurati podlogu i dovoljnu razina sigurnosti za daljnje Razine obnove i individualiziran pristup.

Kao mogući dodatni financijski doprinos svakako treba razmotriti i mogućnost neiskorištenih potencijala zgrade i lokacije stavljanjem u funkciju zapuštenih i nekorištenih dijelova zgrade (potkrovlja, podrumi, neiskorišteni lokali) kao i eventualnih mogućih dogradnja. Time bi vlasnici osigurali sredstva kojima bi se dijelom ili u cjelosti financirala obnova.

Ako su potrebna financijska sredstva za obnovu zgrade financijski u nesrazmjeru s vrijednošću buduće obnovljene zgrade, odnosno ako je izvedba zamjenske zgrade financijski povoljnija, svakako treba razmotriti mogućnost uklanjanja postojeće zgrade i izgradnje zamjenske. Takve nove zamjenske nekretnine postigle bi i znatno veće tržišne cijene. Kao posebnu dobit kod izgradnje zamjenskih zgrada treba uzeti u obzir i postizanje veće neto korisne površine izvedbom znatno tanjih armiranobetonskih nosivih elemenata konstrukcije zgrade uz zadržavanje vanjskih gabarita postojeće zgrade

## 8 PROBLEMATIKA SEIZMIČKIH RAZDJELNICA ZGRADA U BLOKU

### 8.1 Uvod

U ovom poglavlju se osvrćemo na jedan od ključnih problema analiza građevina unutar Bloka19, ali i općenito tradicijskih građevina u staroj jezgri, a to je ponašanje zgrada u bloku ili nizu odnosno pitanje problematike seizmičkih razdjelnica. Rezultati procjena oštećenja i uporabljivosti (poglavlje 4) na razini grada je pokazalo da su redovito najviše stradale uglovne zgrade ili zgrade koje nisu imale "susjeda" na kojeg se mogu osloniti. Slično su pokazale i detaljne numeričke analize (poglavlje 6), a parametar koji uzima u obzir susjedne zgrade je i vrlo važan dio inicijalnih procjena oštetljivosti (poglavlje 5). Prema svemu sudeći ovo pitanje će biti i jedna od pravnih problematika s obzirom da izvedbom novih zgrada (interpolacija) se moramo odvojiti od susjednih zgrada "pravom" seizmičkom razdjelnicom, a s time ugrožavamo susjedne građevine (zakonski ne bi smjeli) jer je koncept istih teorijski pretpostavljao susjede koji im pridržavaju njihov "slabiji smjer". Uglavnom, u ovom poglavlju su istaknuti neki ključni detalji koji bi mogli imati jednu od bitnih uloga u obnovi tradicijskih građevina odnosno isti mogu značajno utjecati na strategije obnove.

### 8.2 Općenito o razdjelnicama

Razdjelnicama definiramo gabarite pojedine zgrade ili njezinih karakterističnih dijelova (često nazivanih dilatacijama). U proračunu se često njihov utjecaj zanemaruje odnosno zgrade se analiziraju kao neovisne cjeline, iako je poznato da utjecaj postoji. Naime, potres izaziva gibanje zgrada koje se zatim međusobno sudaraju ako nisu dovoljno odmaknute jedna od druge, što je vrlo česta pojava u urbanim sredinama, a posebice za slučaj tradicijske gradnje kada su zgrade izvedene sa zajedničkim protupožarnim zidom. Primjer navedenog je uži centar Zagreba odnosno cijela gradska četvrt Donji Grad (Slika 5.1). Sile koje se javljaju kao posljedica sudaranja mogu prouzročiti oštećenja zgrada, ili u najgorem slučaju rušenje čitave zgrade.



Slika 8.1 Primjeri tradicijske gradnje u Ilici i na Trgu bana Jelačića u Zagrebu - zgrade u nizu

U svakodnevnoj inženjerskoj praksi još uvijek ne postoji jednostavan način modeliranja same razdjelnice između zgrada u slučaju potresa, ali ćemo navesti neke od mogućnosti.

### Povoljni oblici građenja u seizmičkim područjima

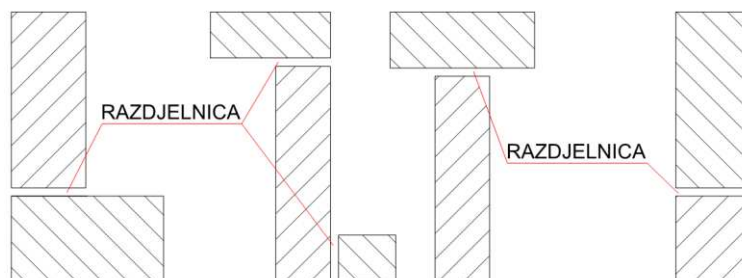
U nastavku će se pojasniti kriterij pravilnosti građevinskih konstrukcija koji je važan za razumijevanje odredbi HRN EN 1998-1:2011 (29) (4) jer on utječe na vrijednosti parametara korištenih pri projektiranju konstrukcija na potres.

Značajke konstrukcija s dobrim ponašanjem prilikom potresa jesu:

- jednostavnost
- jednoličnost, simetrija i višestruka statička neodređenost
- jednolika i kontinuirano raspodijeljena krutost u tlocrtu i po visini
- krutost međukatnih konstrukcija, uključujući i krovnu
- potrebna krutost u odnosu na karakteristike tla ispod temelja (interakcija tla i konstrukcije)
- konstrukcija nije previše izdužena u tlocrtu
- konstrukcija je projektirana tako da u horizontalnim elementima konstrukcije plastični zglobovi nastanu prije nego u vertikalnim

Ovo su samo osnovne preporuke i njihovom primjenom se ne može govoriti o idealnom ponašanju konstrukcije tijekom potresa, ali se uz dobro projektiranje i izvedbu detalja smanjuje vjerojatnost rušenja konstrukcije uslijed potresa većeg intenziteta.

Analizom ispitanih zgrada, može se zaključiti da one nisu povoljnog oblika za seizmička područja. Promatrajući pravila za projektiranje i izvedbu seizmički otporne zgrade, u daljnjem tekstu se opisuju samo ona koja su izravno bitna za predmet ovog istraživanja. Iz navedenih pravila jasno je da jednostavnost i simetričnost zgrade trebaju biti sačuvane po svim katovima, što znači da treba izbjegavati ona rješenja koja će proizvoditi nagle skokove u krutosti i nagle promjene nosivosti po katovima. Svaka nesimetričnost dovodi do neželjenih i teško procjenjivih torzijskih momenata koji bi se u projektiranju građevina teoretski trebali izbjeći, ali u stvarnosti to često nije moguće. Modularno projektiranje pomoću kružnih, kvadratnih, pa čak i pravokutnih tlocrtnih elemenata s malim relativnim odnosima duže i kraće stranice, pravi su izbor za postizanje pravilnog ukupnog tlocrtnog oblika zgrade. Ipak, zbog brojnih zahtjeva urbanističkih planova ili želja investitora, nerijetko je potrebno izvođenje nepravilne i komplicirane zgrade raznih oblika (L, Z, T ili zgrada u nizu) kako je prikazano na Slici 5.2. Ukoliko se primjeni takav način projektiranja, treba pokušati takve građevine rastaviti razdjelnicama na niz pravilnih i dovoljno kratkih cjelina, sa simetrično postavljenim zidovima za preuzimanje seizmičkih sila. Neke od zgrada promatranih u ovom istraživanju su upravo takvih oblika.



Slika 8.2 Nepravilne tlocrtne forme zgrade

Ukoliko najkritičniji elementi nisu adekvatno dimenzionirani, prilikom potresa može doći do katastrofalnih posljedica, što je vidljivo u slučaju hotela "Terminal" u gradu Guatemala City u Gvatemali, koji je teško oštećen prilikom potresa magnitude 7,5 po Richteru 1976. godine. To je primjer tipičnog rušenja uzrokovanog torzijom (44). Do povećanja efekta torzije dolazi zbog nepravilno izvedene razdjelnice i ekscentričnog sudaranja.

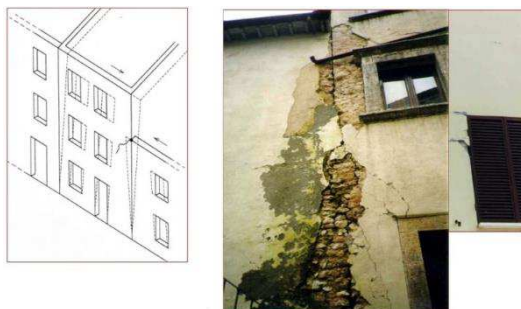


Slika 8.3 Primjer razarajućeg efekta torzije (44)

### Razdjelnice

Razdjelnice su vertikalni uski slobodni prostori koji razdvajaju dva zida ili dvije građevine. Izvode se da bi omogućile slobodan rad i pomake odvojenih dijelova konstrukcije koji nastaju zbog nejednolikog slijeganja temelja, toplinskih učinaka, puzanja i skupljanja betona, djelovanja vlage kod opečnih zidnih elemenata, progiba, kao i mogućih učinaka unutarnjih naprezanja koji su uzrokovani vertikalnim ili bočnim opterećenjima. Širina tih spojeva treba omogućiti maksimalno očekivani pomak zgrade. Spojevi trebaju biti ispunjeni lako stišljivim materijalom i na vanjskom zidu trebaju biti zapunjeni materijalom koji sprječava prodor vode. Vertikalne razdjelnice treba postavljati zbog više razloga: uslijed nepravilnog tlocrta građevine, na mjestima promjene visine zida, na mjestima gdje građevina mijenja visinu ili broj etaža nad zemljom ili ispod nje te na mjestu različitog geološkog sastava tla. Ako se razdjelnice ne izvedu tamo gdje je potrebno, građevina će ih napraviti sama u obliku manjih ili većih nepravilnih pukotina, uključujući otpadanje površinskih dijelova i drobljenje materijala. (45)

Dvije nezavisne konstrukcije trebale bi biti razmaknute dovoljno da prilikom njihova osciliranja uzrokovanog potresom ne dođe do sudaranja. Takav razmak naziva se seizmička razdjelnica i predmet je brojnih istraživanja u znanstveno-stručnoj literaturi već preko 50 godina, ali zadovoljavajućeg praktičnog rješenja još uvijek nema.



Slika 8.4 Primjer oštećenja uslijed nepravilno izvedene seizmičke razdjelnice

U Hrvatskoj, specifična arhitektura karakteristična za Grad Zagreb i Republiku Hrvatsku dodatno uzrokuje probleme vezane uz razdjelnice. Neke od specifičnosti svakako su:

- izvedba građevina u blokovima (primjerice, Donji grad u Zagrebu),
- izvedba građevina u nizovima (primjerice, stambene zgrade u naselju Siget i zgrada Područnog ureda gradske uprave Trnje),
- ekscentričnost odnosno tlocrtna nepravilnost (primjerice, KD Vatroslav Lisinski i Studentski dom Stjepan Radić).

Kao motivaciju za detaljnim proučavanjem seizmičkih razdjelnica, ističe se podatak da je većina svih administrativnih građevina u Zagrebu izgrađena prije 1964. godine odnosno prije prvih propisa koji značajnije uzimaju u obzir potresno djelovanje. Također, izdvojene građevine su većinom smještene u staroj jezgri gdje postoji i značajna opasnost od požara nakon djelovanja potresa. S obzirom na navedeno, dio građevina od javnog i društvenog značaja je ozbiljno ugrožen.

U prošlosti su razdjelnice u našim krajevima izvođene na nekoliko načina u ovisnosti s vremenom izgradnje konstrukcije. Do 1964. godine, razdjelnice između zgrada na našim prostorima se izvode zbog temperaturnih djelovanja i skupljanja betona, a ne zbog potresa. Dvije zidane zgrade u nizu imaju jedan zajednički zid na granici zemljišnih čestica, u drugom slučaju nova zidana zgrada izvodi se „prilijepljena“ uz postojeću gdje se stari i novi zid dodiruju, a između njih nema zračnog prostora. Svaki zid ima vlastiti temelj. Isto pravilo vrijedi i za susjedne zgrade od armiranog betona koje se izvode po dilatacijama. Izvode se bez razmaka, a eventualno se u vertikalnu ravninu radi odvajanja postavlja bitumenska ljepenka. To je materijal koji se u današnje vrijeme postavlja kao hidroizolacija i nikako ne zadovoljava uvjete lako stišljivog materijala koji Eurokod propisuje za postavljanje u seizmičke razdjelnice.



Slika 8.5 Primjeri zidanih i AB zgrada s razdjelnicama - Ustavni sud RH i Mamutica

Nakon 1964. godine (odnosno nakon potresa u Skopju 1963. godine), istraživači su došli do saznanja da razdjelnice nemaju samo funkciju ograničenja duljine zgrade zbog skupljanja betona već da treba uzeti u obzir izbjegavanje sudaranja susjednih zgrada zbog mogućih asinkronih oscilacija, odnosno različitih perioda oscilacija susjednih zgrada. Godine 1964. u Pravilniku o privremenim tehničkim propisima za građenje u seizmičkim područjima (46) uvodi se pojam seizmičkih razdjelnica, a dana je i formula za određivanje razmaka između susjednih zgrada ovisno o njihovoj visini:

$$f_{\max} = \frac{H}{600} \quad (5.1)$$

gdje je H visina građevine, ne uzimajući u obzir utjecaj tla. (46)

Godine 1981. donosi se Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima (47), koji je kasnije u nekoliko navrata nadopunjavan. U njemu se mogu pronaći slične jednostavne odredbe o veličini razdjelnica kao i u prijašnjem pravilniku.

Aseizmičke razdelnice projektuju se za:

- 1) izlomljene - nepravilne osnove objekata visokogradnje;
- 2) objekte sa neujednačenim visinama.

Širina razdelnica iznosi najmanje 3,0 cm. Za svaka 3,0 m povećanja visine objekta preko 5 m širina razdelnice povećava se za po 1 cm.

Za objekte visokogradnje visine preko 15 m kao i za niže fleksiohe konstrukcije, kao što su skeleti bez ukrucenja, širina razdelnice određuje se proračunom tako da ne sme biti manja od dvostruke vrednosti maksimalnih deformacija susednih segmenata objekata i ne sme biti manja od vrednosti iz stava 1. ovog člana.

Slika 8.6 Izvadak iz Pravilnika o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima (47)

U periodu nakon donošenja pravilnika iz 1964. godine, na mjestu razdjelnica ugrađivale su se ploče od drvolita ili heraklita, a kasnije polistirena i stiropora, što je ujedno bila i oplata za novi zid susjedne zgrade. „Meki“ materijal ostao je ugrađen u razdjelnici i nije se uklanjao. Na pročeljima zgrade se obično širina razdjelnice maskirala bakrenim ili aluminijskim limom koji se pričvršćuje upucanim čavlima ili vijcima i moždanicima.

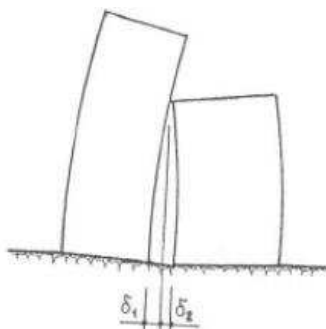


Slika 8.7 Stiropor u razdjelnici obložen limom na vanjskoj fasadi (Trnje, Zagreb)

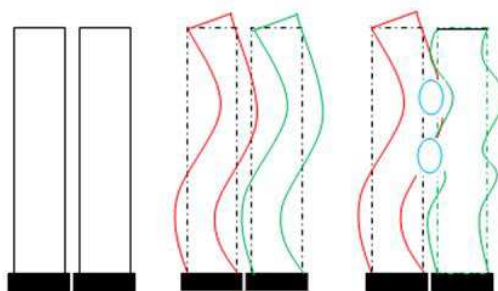
Nakon potresa u El Asnam-u (Alžir) 1980. godine, primijećeno je da polistiren (stiropor) ima značajnu tlačnu čvrstoću i ne omogućuje ublažavanje udara dvaju zgrada, već prenosi potresne sile između dvije susjedne zgrade. Zaključeno je da se ugrađeni „meki“ materijali pri potresu i sudaranju zgrada nalazi u troosnom stanju naprezanja, odnosno u stanju spriječene deformacije. Stoga se nakon početnog deformiranja, ponaša kao kruto tijelo između dvaju zidova. S obzirom da je i početna deformacija relativno mala, može se zaključiti da razdjelnice od takvih materijala ipak nisu adekvatne.

### Sudaranje

Susjedne građevine, korištene za različite namjene (stambene, javne/poslovne zgrade) često imaju različitu visinu i masu što dovodi do različitih dinamičkih karakteristika. Stoga tijekom potresa, koji uzrokuje vertikalne i horizontalne pomake konstrukcija, one mogu oscilirati asinkrono (s razlikom u fazi), pa može doći do uzajamnog sudaranja zgrada koje su u kontaktu ili jako blizu jedna drugoj. Ta pojava u praksi se naziva sudaranje i shematski je prikazana na slici 5.8.



Slika 8.8 Sudaranje se javlja ukoliko vrijedi:  $\delta \geq \delta_1 + \delta_2$



Slika 8.9 Osciliranje susjednih građevina pri potresu - u fazi i asinkrono (48)

U jakim potresima koji su zabilježeni proteklih desetljeća, sudari su doveli do znatnih oštećenja, pa čak i rušenja susjednih, nedovoljno razmaknutih građevina različitih svojstava, kod kojih postoji mogućnost osciliranja s razlikom u fazi. Primjerice, tijekom potresa koji je 1985. godine zadesio grad Mexico City, sudari su zabilježeni na 40% od ukupno 330 srušenih ili jako oštećenih konstrukcija, a kod 15% srušenih konstrukcija sudaranje je bilo glavni uzrok rušenja (49). Kasai i Maison navode da je kod potresa Loma Prieta zabilježeno 200 sudara u kojima je sudjelovalo više od 500 građevina i to na lokacijama koje su od epicentra udaljene više od 90 km (50).

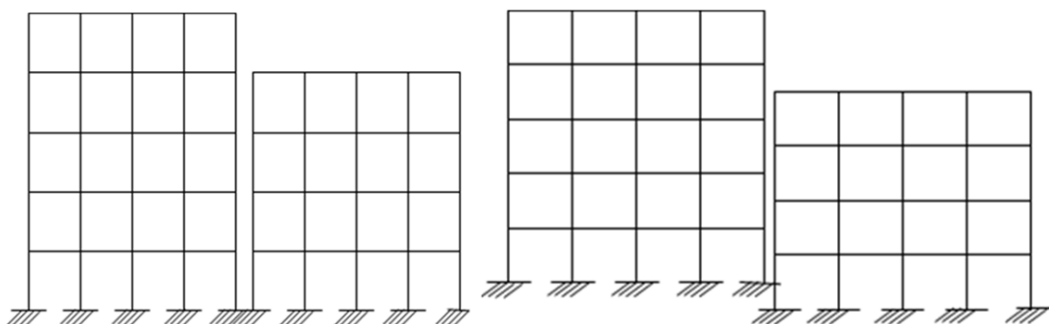


Slika 8.10 Otkazivanje zgrade zbog sudaranja prilikom potresa u Mexico City-u 1985. godine (49)

Da bi se fenomen sudaranja dobro pojasnio, treba krenuti od prvog problema koji mora biti riješen prilikom planiranja izgradnje nove građevine, a to je njezin položaj u odnosu na susjedne zgrade i granice posjeda. Građevine u gradskim sredinama i metropolama izgrađene su jedna uz drugu ili vrlo blizu jedna drugoj, na udaljenostima manjim od potrebnih za izbjegavanje sudaranja. Razlog tome ponajviše je zahtjev funkcionalne upotrebe zemljišta kao i velika cijena samog zemljišta.

Nekoliko primjera gdje se uobičajeno javljaju oštećenja od sudaranja uslijed djelovanja potresa velike amplitude su (48):

- susjedne građevine istih visina, istih razina katova, s različitim dinamičkim svojstvima,
- susjedne građevine, istih visina i različitih razina katova,
- susjedne građevine, različitih visina, ali istih razina katova,
- susjedne građevine, različitih visina i različitih razina katova,
- građevine u nizu, različitih visina i istih razina katova,
- građevine u nizu, različitih visina i različitih razina katova,
- susjedni dijelovi iste građevine koji su nepravilno odvojeni razdjelnicom.



Slika 8.11 a) Primjer građevina različitih visina i istih razina katova (48); b) Primjer građevina različitih visina i različitih razina katova (48)



Slika 8.12 Primjeri susjednih zgrada različitih visina u užem centru Zagreb (Vlaška ulica)

Sila, koja se javlja između susjednih zgrada tijekom sudaranja, dovodi do lokalnih oštećenja, oštećenja konstrukcijskih elemenata i njihovog otkazivanja, što je jako opasno za građevinu na globalnoj razini. Na osnovu prijašnjih razmatranja sudaranja, zaključci su sljedeći (48):

- Kod susjednih građevina, izvedenih bez pravilne seizmičke razdjelnice, dolazi do oštećenja uslijed sudaranja tijekom jakih potresa.
- U slučaju potrebe za izgradnjom zgrade velike duljine, razdjelnice se moraju postaviti na propisanim udaljenostima, a neadekvatan spoj različitih dijelova iste građevine može također uzrokovati sudaranje susjednih dijelova uslijed potresa velikih magnituda.
- Susjedne građevine s različitim razinama katova su nepoželjne jer se ukupna sila udara prenosi direktno na stupove i zidove.
- Kad su zgrade u nizu povezane razdjelnicama, vanjske dilatacije su često izložene većim oštećenjima u usporedbi s unutarnjim.
- Prilikom izgradnje zgrada u nizu, obično postoji dovoljno nosivih zidova u poprečnom smjeru, dok su u uzdužnom smjeru uglavnom nosivi samo vanjski zidovi. Dilatiranjem i nastavljanjem zgrada u niz, onemogućuje se postavljanje otvora (prozora) na spojne zidove. Stoga su svi prozori za prihvat dnevnog svijetla na uzdužnim stranama zgrade i oslabljuju uzdužne zidove koji na taj način gube svoju krutost za prijenos horizontalnih opterećenja. Iz tog razloga su zgrade u nizu obično krūće prilikom djelovanja horizontalnog opterećenja u poprečnom smjeru.

Sve navedene spoznaje o sudaranju korisne su za analizu ponašanja karakterističnih građevina u Gradu Zagrebu temeljem numeričkih modela. Preciznijim modeliranjem sudaranja i prepoznavanjem kritičnih mjesta u konstrukcijama dobit će se pouzdaniji rezultati koju u konačnici mogu pomoći u spašavanju ljudskih života, kao i očuvanju zgrada koje su dio kulturne baštine Grada Zagreba.



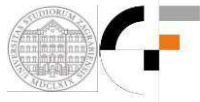
## 9 TRENUTNI ZAKLJUČCI O SMJERU OBNOVE

**Osnovna polazišta.** Potresi u Hrvatskoj 2020 su bolno razotkrili brojne probleme vezane za svojstva građevnog fonda pri čemu je povijesna urbana jezgra grada Zagreba posebice istaknuta. Treba imati na umu da su potresi u ožujku 2020. godine bili samo umjerene jačine, a uzrokovali su oštećenje neočekivano velikog broja građevina. Dodatno se dogodila i progresivna šteta uzrokovana potresima kod Petrinje, a osnovno polazište je napraviti kvalitetnu obnovu i strategiju za potrese koje očekujemo. Sigurnost, kao jedan od osnovnih elemenata konstruktorske obnove odnosno jedan od temeljnih tehničkih zahtjeva za građevine, mora biti jedna od ishodišnih točaka djelovanja, ali ključno je suradnjom i sinkronim djelovanjem svih struka uvažiti/iskoristiti sve aspekte cjelovite obnove.

**Vizija razvoja 2050. Povijesne jezgre.** Važnost povijesne jezgre, u nizu aspekata, nije potrebno posebice isticati, ali potrebno je jasno istaknuti rizike, probleme i izazove koji ju mogu nepovratno ugroziti. U većini slučajeva govorimo o građevnom fondu koji je stariji od 100 godina što je dva puta više od uobičajenog projektiranog vijeka trajanja konstrukcija po važećim propisima. To je jedan od osnovnih motiva poglavlja 3.2 odnosno bitno je istaknuti cjelovitu sliku rizika od potresa, povijesne jezgre pa tako i cijelog područja grada Zagreba. Ukoliko promatramo dugoročnu viziju (2050. godina) moramo uzeti u obzir da će građevine dodatno propadati (gubiti svoja svojstva) odnosno dodatno ugrožavati stanovnike. Vizija razvoja iz konstruktorskog aspekta bi trebala obuhvatiti:

- jasno definiranje postojeće razine sigurnosti (seizmički certifikat),
- plan za kontinuirani proces podizanja razine sigurnosti težeći prema zahtjevima suvremenih propisa,
- korištenje suvremenih znanja i tehničkih rješenja (primjerice materijala) s ciljem podizanja sigurnosti, ali i kvalitete života
- precizno definiranje procesa održavanja građevina kroz praćenje i dokumentiranje svih budućih aktivnosti
- jasno komuniciranje s ciljem podizanja razine svijesti o riziku od potresa s čime bi se pokušalo izbjeći procese koji nepovoljno djeluju na konstrukciju (primjerice nezakonite rekonstrukcije)

**Glavni ciljevi istraživanja.** Glavni ciljevi konstruktorskog dijela istraživanja su prvenstveno usmjereni na sigurnost, a posebice s obzirom na još svježiju traumu građana (uzrokovanu nizom potresa u 2020. godini) te motivaciju da ih se pokuša vratiti (primamiti) u njihove domove s tendencijom dugotrajnog ostanka. Za ostvarenje ciljeva pokušalo se analizirati sve raspoložive pristupe obnovi (od najjednostavnijih do najsloženijih) uzimajući u obzir i aspekte drugih struka. To je osnovna motivacija šire analize svih aspekata obnove (poglavlje 7).



Provedeni koraci prema ostvarenju cilja su:

- detaljna analiza raspoložive dokumentacije,
- vizualni pregled zgrada i razvrstavanje po karakterističnim kategorijama zgrada i kategorijama oštećenja koristeći podatke iz brzog/preliminarnog pregleda volontera - poglavlje 4
- inženjerska preliminarna procjena otpornosti zgrada korištenjem analitike razvijene unutar Studija za saniranje posljedica potresa (2014-2021) koja se temelji na pridodavanju težinskih faktora karakterističnim elementima/atributima zgrada - poglavlje 5
- detaljna analiza sedam karakterističnih zgrada koje uključuju i izradu numeričkog modela - poglavlje 6

Prelimnarni rezultati pokazuju veliku ugroženost zgrada s obzirom na potrese koje očekujemo na području grada Zagreba. Na temelju provedenih analiza različite složenosti razmatrani su i različiti tipovi konstruktorskog modela obnove što je uključivalo od manjih intervencija do uklanjanja zgrade. Glavni cilj istraživanja je **iskoristiti sve raspoložive podatke, analize i aspekte te optimalizirati rješenja** s ciljem što kvalitetnije obnove. Dobivene rezultate se planira ekstrapolirati na cijeli blok, a potom i na ostale slične blokove.

**Međusektorska povezanost.** Brojni projekti prije potresa, a posebice ovaj jasno ističe da je interdisciplinarnost ključ za kvalitetni pristup cjelovitoj obnovi. Konstruktorska obnova se izravno oslanja na aktivnosti unutar šire radne skupine, a posebice na arhitektonske koncepte te uvjete konzervatorske zaštite. S obzirom na ideju cjelovitosti, ključno je sinkrono razmatrati sve aspekte odnosno sve "certifikate" (energetski, seizmički, ali i "požarni", "električni" i ostali). Konkretno, idealno bi bilo "iskoristiti" predložene arhitektonske koncepte (interpolacije, aneksi, liftovi i slično) za povećanje sigurnosti konstrukcija odnosno građana. Bitno je istaknuti da sve trenutno postojeće analize ukazuju na izrazitu oštetljivost zgrada pri djelovanju potresa što treba imati na umu prilikom razvoja koncepta i budućih rješenja.

**Sektorske preporuke i usmjerenja za Pilot projekt\_BLOK\_19.** Preporuka je da se intenzivira rad na funkcionalnoj platformi koja bi sadržavala cjelovitu "živu" bazu svih raspoloživih podataka, a treba razmisliti i o integraciji komunikacijske platforme između stručnjaka. Baza podataka je ključ za buduće faze, posebice s obzirom na međusektorsku suradnju - ubrzao bi se prijenos podataka (nužnih za specifične analize u pojedinim sektorima) i omogućio bi se izravan prikaz rezultata (brža prilagodba rješenja).

Ključna preporuka je da se građevine razmatraju/analiziraju zajedno odnosno potrebno je analizirati međudjelovanje zgrada (naslonjene jedan na drugu) izdvajanjem karakterističnih dijelova. Primjerice, da se iskoristi prilično pravilan položaj zidova susjednih građevina (crvene linije), postojeće stubišne jezgre za stabilizaciju šireg bloka

(plavo), istake, anekse, dodatke (ljubičasto), nove ciljane nadogradnje (rozo) ili manjeg bloka iznutra koji bi pridržavao vanjske zgrade (zeleno).

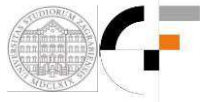


Konceptualna rješenja koja su srž ovog istraživanja je potrebno kalibrirati s već postojećim projektima koji su u procesu realizacije unutar Bloka 19.

**Sektorske preporuke i usmjerenja programiranja cjelovite obnove Povijesne jezgre Grada Zagreba.** Ključna nedoumica ovog sektora je kako osigurati zadovoljavajuću razinu sigurnosti s obzirom na opseg intervencija (razornost, dugotrajnost, financije i slično) koje je potrebno provesti, a posebice s obzirom na usklađenost s ostalim sektorima. Neovisno što se prema važećim tehničkim propisima teži razini 2 (oko 50% u odnosu na važeće norme) preporuka je da se pokuša ostvariti minimalno razinu 3 (oko 75% u odnosu na važeće norme). Takav iskorak bi bio u skladu s smjernicama iz Italije, a predstavljao bi i značajni iskorak prema boljoj sigurnosti građana i s obzirom na definiranu razinu rizika od potresa (veće magnitude) i smjer za unapređenje propisa.

**Kriteriji vrednovanja rezultata za integriranu verziju Programa cjelovite obnove.** Konstruktorski aspekt je prvenstveno usmjeren na zadovoljavajuću razinu sigurnosti, ali prilagođavajući predviđene intervencije međusektorskoj suradnji.

Primjerice, bitno je iskoristiti aktivnosti vezane za predviđenu energetska obnovu ili povezati intervencije s obzirom na specifičnosti zgrada u bloku/nizu poput predviđenih novih elemenata (primjerice nove zgrade unutar bloka, garaže, liftovi i slično) pri čemu se može ostvariti povezivanje i bolje iskorištenje više aktivnosti. Rezultati su pokazali da ciljanim pojačanjem uglovnih zgrada se može doprinijeti otpornosti zgrada u nizu. Konačno, razmatrajući navedena rješenja moraju razmatrati i primjenjivost za ostale blokove.



Otvorena pitanja i prijedlozi za rješavanje uočenih rizika i prepreka. Provedena istraživanja su prvenstveno usmjerena na konceptualna načelna rješenja. Bitno je imati na umu da je potrebno značajno više vremena da se naprave konkretnije analize bliže stvarnim proračunima mehaničke otpornosti i stabilnosti.

Za analizu konstrukcijskih elemenata obnove ključno je u svakom trenutku imati što više relevantnih podataka jer je preciznost analiza izravno vezana za kvalitetu ulaznih podataka (podloga).

### Daljnji koraci

- **kratkoročni** - trenutno postoje niz paralelnih istraživanja različite složenosti koje je potrebno povezati, dodatno obraditi/prilagoditi i sinkronizirati na jednoj zajedničkoj platformi. Dodatno, bitno je povezati se s procesom obnove te konkretnim primjerima i pokušati otkriti dodatne nedoumice.
- **srednjoročni** - napraviti konkretne procjene rizika za blok (potrebni detaljniji podaci), ali i ostale blokove s čime bi se moglo lakše primjenjivati postojeće rezultate. Prikupiti postojeću dokumentaciju po kojoj se već izvode radovi unutar bloka.
- **dugoročni** - napraviti elaborate/proračune za sve zgrade u bloku, a posebice za nizove zgrada što se vrlo rijetko radi u praksi, a oštećenja nakon potresa u Zagrebu jasno ukazuju na to zajedničko djelovanje.

Provedena istraživanja cjelovito sagledavaju pristup obnovi jednog bloka što se pokazalo izvrsnim u odnosu na točkasta rješenja. Ipak, sveobuhvatni pristup zahtijeva određeno vrijeme i nije moguće u ovako kratkom vremenu obraditi sve aspekte.

**Moguće realizacije i potrebna sredstva.** Za preciznu analizu i potvrdu dosad istaknutih zaključaka je ključno kontinuirano raditi analize i dodatno kalibrirati rezultate, a posebice s obzirom na problematiku ekstrapoliranja rezultata.

**Zaključak.** Program cjelovite obnove povijesne jezgre Zagreba je izvrstan prvi korak u kojem se konceptualno sagledala problematika iz svih aspekata. Dobiveni su preliminarni rezultati (prema raspoloživim podacima), ali treba imati na umu da je za konkretnije zaključke potrebno predvidjeti detaljnija istraživanja.

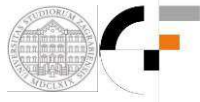


## 10 REFERENCE

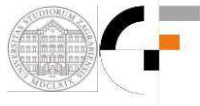
1. Projekt 11. - Izrada studije za saniranje posljedica potresa. Zagreb : Ured za upravljanje u hitnim situacijama, lipanj, 2011.
2. Pravilnik o nositeljima, sadržaju i postupcima izrade planskih dokumenata u civilnoj zaštiti te načinu informiranja javnosti u postupku njihovog donošenja (NN 49/2017)
3. Zakon o sustavu civilne zaštite (Narodne novine 82/2015)
4. Aničić, D. i suradnici (2014), Potresni rizik grada Zagreba - Infrastruktura, stanovništvo, građevine i kulturna dobra, Prijedlog projekta. Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Ured za upravljanje u hitnim situacijama.
5. Silva, V. (2013), *Development of open-source tools for seismic risk assessment: application to Portugal*, PhD Thesis, University of Aveiro, Portugal
6. Hak S., Atalić J. (2014), Procjena rizika od katastrofa u Republici Hrvatskoj. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet
7. Procjena ugroženosti stanovništva, materijalnih i kulturnih dobara i okoliša od katastrofa i velikih nesreća za područje Zagreba, Gradska skupština Grada Zagreba, 37. sjednica, ožujak 2016.
8. Atalić, J.; Šavor Novak, M.; Uroš, M. (2018), Procjena rizika od katastrofa u Republici Hrvatskoj, Ažuriranje procjene rizika od potresa. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet
9. Search for earthquakes. EMSC - European-Mediterranean Seismological Centre. [Mrežno]
10. Herak, M.; Allegretti, I.; Herak, D.; Ivančić, I.; Kuk, V.; Marić, K.; Markušić, S.; Sović, I. Karta potresnih područja Republike Hrvatske. Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno - matematički fakultet, Geofizički odjel, 2011.
11. Damjanović D., Krolo J., Sigmund Z., Serdar M. (2013), Studija za saniranje posljedica potresa, 1. faza. Zagreb: Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2013.
12. Krolo J., Damjanović D., Atalić J., Hak S., Uroš M., Sigmund Z., Koščak J. (2014), Studija za saniranje posljedica potresa - 2. faza. Zagreb: Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2014.
13. Korlaet, L. Karta grada Zagreba s tipovima građevina i godinama gradnje. s.l. : Sveučilište u Zagrebu, Arhitektonski fakultet, 2014.
14. Krolo J., Damjanović D., Atalić J., Uroš M., Duvnjak I., Šavor Novak M., Bartolac M., Korlaet L., Koščak J. (2015), Studija za saniranje posljedica potresa - 3. faza. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, 2015.
15. HRN EN 1998-3:2011+NA:2011+Ispr.1:2014, Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija -- 3. dio: Ocjenjivanje i obnova zgrada, HZN, Zagreb, Hrvatska.
16. Grünthal, G. *European Macroseismic Scale*, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, 1998, Vol. 15.



17. Atalić J., Krolo J., Damjanović D., Uroš M., Sigmund Z., Korlaet L., Koščak J., Šavor Novak M., Duvnjak I., Dokoza I., Prekupec F. (2016), Studija za saniranje posljedica potresa - 4. faza. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, 2016.
18. Atalić, J.; Krolo, J.; Damjanović, D.; Sigmund, Z.; Uroš, M.; Šavor Novak, M.; Korlaet, L.; Koščak, J.; Duvnjak, I.; Bartolac, M.; Dokoza, I.; Prekupec, F.; Oreb, J. Mušterić, B. (2017), Studija za saniranje posljedica potresa - 5. faza. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu Građevinski Fakultet, 2017.
19. Uroš, M.; Atalić, J.; Šavor Novak, M.; Damjanović, D.; Sigmund, Z.; Duvnjak, I.; Korlaet, L.; Bartolac, M.; Koščak, J.; Prekupec, F.; Krolo, J. (2018), Studija za saniranje posljedica potresa - 6. faza. Građevinski fakultet Zagreb.
20. HRN EN 1998-1:2011+NA:2011+A1:2014+ Ispr.2:2015, Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija -- 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade, HZN, Zagreb, Hrvatska.
21. HRN EN 1998-2:2011, Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija - 2. dio: Mostovi (EN 1998-2:2005+A1:2009+AC:2010+A2:2011).
22. HRN EN 1998-2:2011/NA, Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija - 2. dio: Mostovi - Nacionalni dodatak.
23. Crnobrnja, N. (2005), Zagrebački savski mostovi, *Građevinar*, 57, 12, p. 977-985.
24. Kušter, M. (2007), Projekt gospodarenja zagrebačkim mostovima, Diplomski rad, Građevinski fakultet, Sveučilište u zagrebu.
25. OFROU - Office Fédéral Suisse des Routes (2005) Evaluation parasismique des ponts routes.
26. Marchand, P.; Davi, D.; Schmitt, P.; Thibault, C.; Duval, A.M.; Criado, D. (2006) SISMOA: a simplified method to assess the seismic vulnerability of existing bridges. In: *First European conference on earthquake engineering and seismology*, Geneva, Switzerland.
27. Brincker, R.; Zhang, L.; Andersen, P. Modal identification of output-only systems using frequency domain decomposition. *Smart Materials and structures*, 2001, Svez. Vol. 10.
28. Gade, S.; Møller, N.B.; Herlufsen, H.; Hansen, H.K. Frequency Domain Techniques for Operational Modal Analysis. Brüel & Kjær Sound and Vibration Measurements A/S, Skodsborgvej 307, DK2850 Nærum, Denmark.
29. Jacobsen, N. J.; Andersen, P.; Brincker, R. Applications of Frequency Domain Curve-fitting in the EFDD Technique. *Proceedings of the 26th International Modal Analysis Conference (IMAC)*, Orlando, USA :2008.
30. Wilson, K.J., Bathe, E.L. Numerical methods in finite element analysis. s.l. : Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J, 1976. 528.
31. CSI Analysis Reference Manual For SAP2000, ETABS, SAFE and CSiBridge, Computers and Structures, Berkeley, California, SAD, 2017.



32. Buckle, I.; Hube, M.; Chen, G.; Yen, W.H.; Arias, J. (2012), Structural Performance of Bridges in the Offshore Maule Earthquake of 27 February 2010. *Earthquake Spectra*: June 2012, Vol. 28, No. S1, pp. S533-S552.
33. EERI/PEER/FHWA Bridge Team Report: Performance of Highway and Railway Structures during the February 27, 2010 Maule Chile Earthquake.
34. Kawashima, K.; Unjoh, S.; Hoshikuma, J.I.; Kosa, K. (2011) Damage of Bridges due to the 2010 Maule, Chile, Earthquake, *Journal of Earthquake Engineering*, 15:7, 1036-1068, DOI: 10.1080/13632469.2011.575531.
35. Han, Q.; Du, X.; Liu, J. et al. (2009), Seismic damage of highway bridges during the 2008 Wenchuan earthquake. *Earthq. Eng. Eng. Vib.* 8, 263-273, doi:10.1007/s11803-009-8162-0.
36. Moehle, J.; Fenves, G.; Mayes, R.; Moehle, J., Priestley, N.; Seible, F.; Uang, C.M.; Werner, S.; Aschheim, M. (1995) HIGHWAY BRIDGES AND TRAFFIC MANAGEMENT. *Earthquake Spectra*: April 1995, Vol. 11, No. S2, pp. 287-372.
37. Takahashi, Y. (2011), DAMAGE OF RUBBER BEARINGS AND DAMBERS OF BRIDGES IN 2011 GREAT EAST JAPAN EARTHQUAKE, *Proceedings of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake*, March 1-4, 2012, Tokyo, Japan
38. Roussis, P.C.; Constantinou, M.C; Erdik, M.; Durukal, E.; Dicleli, M. (2002), *Assessment of Performance of Bolu Viaduct in the 1999 Duzce Earthquake in Turkey*, MCEER-02-0001. MCEER, SAD.
39. Hidroelektra (1979), Šaregradski most - Projekt za izdavanje građevinske dozvole, Knjiga 3. 1979.
40. Hidroelektra (1980), Šaregradski most - Projekt za dopunu građevinske dozvole, Knjiga 1. 1980.
41. Hidroelektra (1981), Šaregradski most - Izvedbeni projekt: statika (Knjige 1-6). 1981.
42. Hidroelektra (1981), Šaregradski most - Izvedbeni projekt: nacrti (Knjige 5-14). 1981.
43. Hidroelektra (1981), Jadranski most - Nadzor i održavanje. 1981.
44. Lončarić, Z. (1981), Jadranski most. [aut. knjige] Udružena samoupravna interesna zajednica komunalnih djelatnosti Zagreba. Zagrebački mostovi
45. Lončarić, Z. (1984), Jadranski most u Zagrebu. *Ceste i Mostovi*. 30 (1984) 2.
46. Google maps. [maps.google.com](http://maps.google.com). [Mrežno] Google. <http://www.google.com/maps/>.
47. Geoexpert IGM (2017), Jadranski most: Glavni šestogodišnji pregled Jadranskog mosta. 2017.
48. Urbane ideje (2019), JADRANSKI MOST (GREDNI MOST PREKO SAVE) - ISTOČNI MOST: MAPA: 1 Elaborat o provedenom specijalističkom pregledu i istražnim radovima. 2019.
49. Institut IGH (2019), JADRANSKI MOST: IZVJEŠTAJ O REZULTATIMA SPECIJALISTIČKOG PREGLEDA I ISTRAŽNIH RADOVA, 72120-EL-479/19. srpanj 2019.

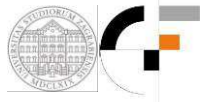


50. SFRJ (1964), Privremeni tehnički propisi za građenje u seizmičkim područjima, SFRJ 39/64
51. HRN EN 15129, Protupotresne naprave (EN 15129:2018). HZN, 2018.
52. HRN RN 1337-3, Konstrukcijski ležajevi - 3. dio: Elastomerni ležajevi (EN 1337-3:2005). HZN, 2005.
53. CSI Analysis Reference Manual For SAP2000, ETABS, SAFE and CSiBridge, Computers and Structures, Berkeley, California, SAD, 2017.
54. PEER 2013/03 - PEER NGA-West2 Database , by: Timothy D. Ancheta, Robert B. Darragh, Jonathan P. Stewart, Emel Seyhan, Walter J. Silva, Brian S.J. Chiou, Katie E. Wooddell, Robert W. Graves, Albert R. Kottke, David M. Boore, Tadahihiro Kishida, and Jennifer .
55. Seismosoft. SeismoSpect 2016 - A computer program for post-processing of groups of earthquake records, available from <http://www.seismosoft.com>. 2016.
56. Seismosoft. SeismoMatch 2016 - A computer program for spectrum matching of earthquake records, available from <http://www.seismosoft.com>. 2016.
57. Dolce, M. (2012), The Italian National Seismic Prevention Program, *Proc. of the 15 WCEE*, Lisbon, Portugal
58. Crowley, H.; Silva, V.; Despotaki, V.; Martins, L.; Atalic, J. (2019), European Seismic Risk Model 2020: Focus on Croatia, *Future Trends in Civil Engineering*, Eds. Mandić Ivanković, A.; Lakušić, S. (Eds.), University of Zagreb Faculty of Civil Engineering, pp.53-70. <https://doi.org/10.5592/CO/FTCE.2019.03>
59. Razvojna strategija Grada Zagreba do 2020. Zagreb: Gradski ured za strategijsko planiranje i razvoj Grada, 2014.

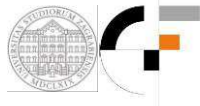


## 11 POPIS SLIKA

Slika 1.1 Nakon zagrebačkog potresa 1880. godine: a. Vlaška ulica, stara vojna bolnica i Petrova crkva, b. Gornji grad, Popov toranj - zvjezdarnica; c. Zrinjevac, Arheološki muzej (6) .....	6
Slika 3.7 a) Karta Zagreba s granicama mjesnih odbora i gradskih četvrti, b) tipovi konstrukcija označeni na karti [Atalić et al. 2018a], c) raspodjela tipova konstrukcija po gradskim četvrtima .....	11
Slika 3.8 Postotak srušenih zgrada u odnosu na ukupan broj zgrada u mjesnom odboru i broj srušenih zgrada po hektaru (475 PP) .....	12
Slika 3.9 Troškovi u milijunima EUR i troškovi u milijunima EUR po hektaru (475 PP).....	13
Slika 7.1 Shematski prikaz aktivnosti unutar Studije [82,83] .....	14
Slika 7.1 Izabrani primjeri zgrada detaljno analiziranih u Studiji.....	15
Slika 7.1 Pristup detaljnoj analizi postojeće građevine na temelju prikupljenih podataka: a) obrazac za inicijalnu procjenu potresne oštećljivosti; b) eksperimentalna istraživanja dinamičkih parametara; c) numerički model; d) obrazac sa sažetim prikazom rezultata analize [82] .....	16
Slika 4.1 Kategorije oštećenja (I-V) prema EMS-98.....	19
Slika 4.2 Oznake uporabljivosti zgrada .....	20
Slika 4.3 3D prikaz procjena uporabljivosti za cijeli grad Zagreb, lijevo; Prikaz obrađenih procjena uporabljivosti po postocima nakon potresa u Zagrebu, desno .....	22
Slika 4.4 3D prikaz zgrada Donjeg grada i Gornjeg grada prema boji procjene uporabljivosti nakon potresa u Zagrebu.....	22
Slika 4.5 Prikaz broja i postotka uporabljivosti zgrada u Donjem i Gornjem gradu na dan 30.6.2020. nakon potresa u Zagrebu .....	22
Slika 4.6 Prikaz procjena uporabljivosti zgrada u bloku 19 nakon potresa u Zagrebu .....	23
Slika 4.7 Prikaz broja procjena po kategoriji uporabljivosti zgrada u bloku 19 nakon potresa u Zagrebu.....	23
Slika 4.8 Prikaz procjena uporabljivosti zgrada u bloku 19 nakon potresa u Zagrebu (prozirne oznake uporabljivosti) i potresa kod Petrinje (neprozirne oznake uporabljivosti) .....	24
Slika 8: Obrazac za inicijalnu procjenu potresne oštećljivosti - prva stranica .....	30
Slika 9 Obrazac za inicijalnu procjenu potresne oštećljivosti - druga stranica.....	31
Slika 5.3 Grafički prikaz kategorija oštećenja prema EMS-98 skali uslijed potresa povratnog razdoblja 225 godina za građevine Bloka 19 .....	33
Slika 5.4 Grafički prikaz očekivanih šteta uslijed potresa povratnog razdoblja 225 godina za građevine Bloka 19.....	33
Slika 5.5 Grafički prikaz očekivanih stradavanja ljudi uslijed potresa povratnog razdoblja 225 godina za građevine Bloka 19.....	34
Slika 5.6 Grafički prikaz kategorija oštećenja prema EMS-98 skali uslijed potresa povratnog razdoblja 475 godina za građevine Bloka 19 .....	35
Slika 5.7 Grafički prikaz očekivanih šteta uslijed potresa povratnog razdoblja 475 godina za građevine Bloka 19.....	36

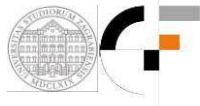


Slika 5.8 Grafički prikaz očekivanih stradavanja ljudi uslijed potresa povratnog razdoblja 475 godina za građevine Bloka 19.....	36
Slika 4.7 Primjer korištenih podataka [Izvor: Instituta za povijest umjetnosti] .....	41
Slika 4.7 Postojeći arhivski nacrti .....	42
Slika 4.7 Preliminarni modeli konstrukcije .....	43
Slika 4.7 Prvi i drugi period vibracija .....	44
Slika 4.7 Grubi prikaz raspodjele poprečnih sila po etažama.....	44
Slika 4.7 Primjer korištenih podataka [Izvor: Instituta za povijest umjetnosti] .....	45
Slika 4.7 Postojeći arhivski nacrti .....	46
Slika 4.7 Preliminarni modeli konstrukcije .....	47
Slika 4.7 Primjer korištenih podataka [Izvor: Institut za povijest umjetnosti].....	48
Slika 4.7 Postojeći arhivski nacrti .....	49
Slika 4.7 Preliminarni modeli konstrukcije .....	50
Slika 4.7 Primjer korištenih podataka [Izvor: Instituta za povijest umjetnosti] .....	51
Slika 4.7 Postojeći arhivski nacrti .....	52
Slika 4.7 Preliminarni modeli konstrukcije .....	53
Slika 5.1 Primjeri tradicijske gradnje u Ilici i na Trgu bana Jelačića u Zagrebu - zgrade u nizu.....	66
Slika 5.2 Nepravilne tlocrtne forme zgrade .....	67
Slika 5.3 Primjer razarajućeg efekta torzije (44) .....	68
Slika 5.4 Primjer oštećenja uslijed nepravilno izvedene seizmičke razdjelnice .....	69
Slika 5.5 Primjeri zidanih i AB zgrada s razdjelnicama - Ustavni sud RH i Mamutica.....	69
Slika 5.6 Izvadak iz Pravilnika o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima (47) .....	70
Slika 5.7 Stiropor u razdjelnici obložen limom na vanjskoj fasadi (Trnje, Zagreb) .....	70
Slika 5.8 Sudaranje se javlja ukoliko vrijedi: $\delta \geq \delta_1 + \delta_2$ .....	71
Slika 5.9 Osciliranje susjednih građevina pri potresu - u fazi i asinkrono (48) .....	71
Slika 5.10 Otkazivanje zgrade zbog sudaranja prilikom potresa u Mexico City-u 1985. godine (49).....	72
Slika 5.11 a) Primjer građevina različitih visina i istih razina katova (48); b) Primjer građevina različitih visina i različitih razina katova (48) .....	72
Slika 5.12 Primjeri susjednih zgrada različitih visina u užem centru Zagreb (Vlaška ulica) .	73



## 12 POPIS TABLICA

Tablica 5.1 Faktori VR i RIZ analiziranih građevina za povratni period 225 godina.....	34
Tablica 5.2 Faktori VR i RIZ analiziranih građevina za povratni period 475 godina.....	37



Kraj