

# Analiza ponašanja tradicijskih zidanih zgrada u bloku/nizu prilikom izvedbe zamjenske zgrade po važećim propisima

Maja Mrkonjić<sup>1</sup>, izv. prof. dr. sc. Josip Atalić<sup>2</sup>

<sup>1</sup>maya.maric@gmail.com

<sup>2</sup>Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, josip.atalic@grad.unizg.hr

## Sažetak

Tema doktorskog rada vezat će se na analizu ponašanja tradicijskih zgrada pri djelovanju potresa, a koje su izgrađene u bloku/nizu i kod kojih se očekuje međusobna interakcija, jer nemaju seizmičku razdjelnicu. Izvedba suvremene zamjenske zgrade u bloku/nizu po važećim propisima trebala bi imati dostatnu razdjelnicu (dilataciju) kojom bi se spriječila međusobna interakcija zgrada, kako se ne bi negativno utjecalo na ponašanje susjednih zgrada odnosno bloka u cjelini. Zgrade u bloku/nizu izgrađene su da djeluju kao cjelina, a isto ima povoljan utjecaj i pri djelovanju potresa što se pokazalo grubom analizom rezultata preliminarnih pregleda oštećenja i uporabljivosti zgrada nakon zagrebačkog potresa. Istraživački ciljevi rada odnose se na dokazivanje razine oštetljivosti u ovisnosti o rasporedu i redosljedu izgradnje građevina, interakciji susjednih zgrada te razlici u broju i visini etaža susjednih zgrada.

*Ključne riječi: potres, blokovska gradnja, dilatacija, razina oštetljivosti*

## Seismic performance assessment of traditional unreinforced masonry buildings in aggregates: the case of a modern building built in the place of the old one

### Abstract

The topic of the doctoral thesis will be related to the analysis of the seismic behaviour of traditional buildings. According to existing regulations, the construction of a modern replacement building in masonry building aggregates should have a sufficient seismic divider (dilatation) which prevents interaction between the buildings. Masonry building aggregates are built to act as a whole which has a favourable impact in the event of an earthquake, which was shown by analysis of the results of preliminary inspections of damage and usability of buildings after the Zagreb earthquake. The research objectives of the work relate to proving vulnerability levels depending on the layout and order of construction of individual buildings, the interaction of neighbouring buildings and the difference in the number and height of floors of neighbouring buildings within masonry building aggregates.

*Key words: earthquake, masonry building aggregates, dilatation, vulnerability level*

## 1 Uvod

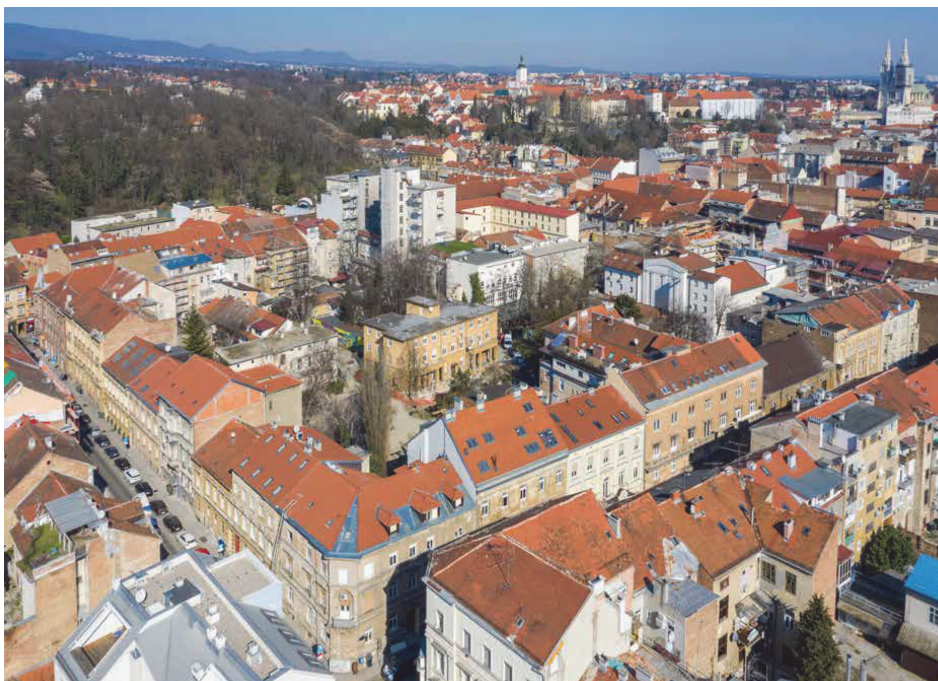
Dana 22. ožujka 2020. godine, glavni grad Hrvatske, Zagreb te njegovu okolicu zadesio je razorni potres magnitude 5,5 i intenziteta VII° prema EMS ljestvici. Potres je posljedično oduzeo život jednoj djevojčici, a mnoge građevine doživjele su značajna oštećenja. Najviše je štete pretrpjelo područje samog epicentra te tradicijski centar Zagreba. Zgrade u epicentru najvećim dijelom pripadaju samostojećim građevinama. S druge strane, centar Zagreba građen je u blokovima, i to u vremenu prije postojanja propisa koji su zahtijevali projektiranje građevina otpornih na potres. Blokovi grada ili zgrade u nizu uobičajeno se sastoje od nizova zgrada koje imaju zajednički nosivi zid (primjer Dubrovnika) ili su im vanjski nosivi zidovi međusobno naslonjeni jedan na drugi (slučaj u Zagrebu). Uobičajeno je da su zgrade u nizu istog konstrukcijskog sustava (iste tipologije) odnosno, izgrađene iz istih materijala, sličnim detaljima spajanja i slično, ali isto tako, svi se ovi parametri mogu i razlikovati. Stoga je važno imati pouzdane ulazne podatke, primjerice o vremenskom razdoblju i načinu izgradnje svih građevina u nizu, svojstvima materijala i slično. Da to jest važno, govore saznanja povezana s posljedicama potresa, rezultati eksperimentalnih ispitivanja te proračuni promatranih nizova. Rezultati su različiti ovisno o tome promatraju li se zgrade unutar niza kao pojedinačne, samostojeće građevine ili su modelirane kao povezane zgrade. U nekim slučajevima ti modeli daju konzervativne rezultate, ali isto tako, mogu navesti na krivi smjer odnosno na krive zaključke i loša inženjerska rješenja. Proces obnove Zagreba uključuje uklanjanje nekih građevina te rekonstrukcije i sanacije drugih. Kako bi se donosile ispravne odluke vezane za uklanjanje i sanaciju jedinica u bloku/nizu, potrebno je ustanoviti zakonitosti ponašanja tih zgrada uslijed horizontalnih opterećenja.

## 2 Blok 19

Potres koji se dogodio 22. ožujka 2020. godine u Zagrebu prouzročio je između ostalog, i štete na zgradama u centru grada. Dodatna im je oštećenja nanio potres koji je 29. prosinca zadesio područje Siska, Petrinje i Gline. Zbog potrebe za sanacijom šteta te konstrukcijskom obnovom svih građevina čija je stabilnost i arhitektura narušena, pokrenut je “Program cjelovite obnove povijesne urbane cjeline Zagreba” [1]. Kao dio tog programa odlučeno je kako će Blok 19, obzirom da je jedan od tipskih i najkvalitetnije građenih gradskih cjelina, biti pilot – projekt. To znači kako će se saznanja dobivena iz istraživanja preslikati i na druge gradske blokove. S druge pak strane, jasno je kako bez obzira na spoznaje istraživanja i primjenu istih na ostale blokove, svaka građevina i svaki blok treba zasebne preglede i pristup za točniju procjenu stanja i odluku o sanaciji. Trenutna saznanja pokazuju kako su osim oštećenja uslijed potresa problem ovoga bloka neodržavanje te nedopušteni (nezakoniti)

zahvati koji su se izvodili. Predmetnim zgradama potrebna je rekonstrukcija zbog oštećenja uslijed potresa, ali, neovisno o oštećenjima, i zbog dotrajalosti i velikog rizika od potresa (izgrađene prije seizmičkih propisa). U doba izgradnje vrijedili su propisi koji danas nisu prihvatljivi, ili ih nije niti bilo te je za očekivati kako će takve građevine biti potrebno konstruktivno učvrstiti.

Blok 19 (slika 1), a koji će biti jedna od tema istraživanja ovoga doktorskog rada, sastoji se od 35 uličnih zgrada u bloku [2]. Građevine su to koje su naručivali istaknuti građani grada Zagreba, a isto tako su ih gradili poznati arhitekti i graditelji toga razdoblja, među kojima je najpoznatiji Hermann Bolle. Time se nameće zaključak kako su zgrade ovoga bloka vrijedna ostavština, što rezultira određenim ograničenjima prilikom rekonstrukcije, u obliku očuvanja izvornog stanja.



Slika 1. Pogled na Blok 19 s jugozapada: ugao Dalmatinske i Medulićeve ulice [2]

## 2.1 Povijest nastanka i smještaj

Za dobivanje cjelovite slike za prvi korak zavirilo se u povijest. Prvi pisani trag o nastanku grada Zagreba datira iz 1094. godine kada kralj Ladislav osniva Zagrebačku biskupiju na Kaptolu. Drugi pak važan događaj zbiva se 1242., a u njemu kralj Bela IV Zlatnom Bulom naselju Gradec dodjeljuje status slobodnoga kraljevskog grada. Kaptol i Gradec smješteni su na brežuljku, a podno njih nalazi se takozvano podgrađe odnosno dio grada izvan gradskih zidina. Godine 1850. donesen je Carski patent

kojim su naselja ujedinjena u Slobodni i kraljevski grad Zagreb [3]. Ovaj je patent od cara Franje Josipa ishodio ban Josip Jelačić, a novonastalo ujedinenje značilo je urbanizaciju Zagreba. Ruše se zidine Gradeca, a podgrađe postaje prostor za širenje i izgradnju grada. Tu se formira Donji grad, područje između Illice i Jurišićeve na sjeveru te željezničke pruge na jugu. Zapadno ga omeđuju Savska i nekadašnja Kolodvorska dok mu je istočna granica Draškovićeva ulica. 1853. godine izrađena je "Agram sammt Umgebung", prva detaljna karta koja je prvi stručno i precizno izrađen grafički prikaz Zagreba [4]. 1857. usvojen je Red građenja za zemaljski glavni grad Zagreb, prvi i najvažniji akt nakon ujedinenja zagrebačkih naselja, koji sadrži temeljne odredbe prostornog planiranja Donjeg grada, a među kojima je i blokova gradnja. Te su odredbe 1865. godine potvrđene prvom Regulatornom osnovom odnosno prvim urbanističkim planom grada Zagreba [5].

Podno brežuljaka na kojima su smješteni Kaptol i Gradec, te zapadno od njih, izgrađen je jedan od prvih blokova u području Donjega grada, a to je Blok 19. Građevine ovoga bloka nastajale su u razdoblju od 1850. do 1950. godine (slika 2).



Slika 2. Blok 19: karta vremena gradnje [2]

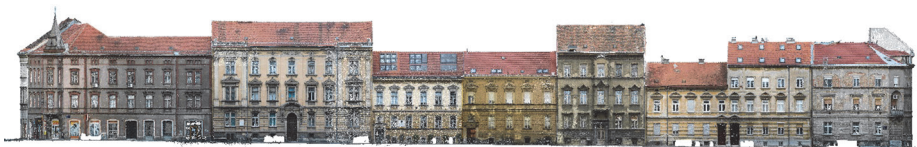


Parcele su položene u smjeru sjever-jug te su one uz Ilicu i Dalmatinsku ulicu bile duže, dok su parcele uzduž Medulićeve i Frankopanske ulice kraće. U početku je blok zamišljen kao kvadratni dio grada kojemu su kuće, vile i palače izgrađene duž ulica koje ga omeđuju, dok je središnji dio predviđen kao slobodni prostor sa zelenilom i predjelom za šetnju i druženje. Kroz godine se taj središnji prostor ispunjavao prvo građevinama koje su služile kao uredi ili radionice, a kasnije su pretežito vlasnici i stanovnici obodnih kuća, mahom imućni i istaknuti pojedinci i obitelji grada, počeli graditi zgrade za najam. Te su zgrade imale više katova od do tada uobičajene blokovske gradnje, a parcele su bivale sve većeg postotka izgrađenosti [2].

Blok 19 na sjevernom je dijelu omeđen Ilicom, a na južnom Dalmatinskom ulicom. Zapadnu granicu daje mu Medulićeve ulica, dok na istočnoj izlazi na Frankopansku (slike 3 do 6).



Slika 3. Dalmatinska ulica: prikaz pročelja zgrada u nizu Bloka 19 [2]



Slika 4. Medulićeve ulica: prikaz pročelja zgrada u nizu Bloka 19 [2]



Slika 5. Frankopanska ulica: prikaz pročelja zgrada u nizu Bloka 19 [2]



Slika 6. Ilica: prikaz pročelja zgrada u nizu Bloka 19 [2]

Karakteristični presjek kroz Blok 19 predviđen je u smjeru sjever-jug te presijeca unutrašnji prostor spajajući Ilicu na broju 53 s Dalmatinskom ulicom na broju 12 (slika 7).



Slika 7. Poprečni presjek Bloka 19: karakteristični presjek kroz Blok [2]

## 2.2 Građevinski propisi u vrijeme izgradnje

Navedeni su propisi važni za blokovsku gradnju, a koji su doneseni kroz razdoblje izgradnje Bloka 19 [5].

### 1857. Red građenja – Građevinski pravilnik

Građevinskim pravilnikom iz 1857. godine donijete su odluke o izvedbi objekata novogradnje i njihovih pojedinačnih elemenata. To se odnosilo na materijale iz kojih su pojedini elementi izgrađeni, te na njihovo pozicioniranje kako unutar zgrade tako i u odnosu na okolinu. Također je određeno da se nove ulice grade u pravcu, jedne okomito na druge, a trgovi među njima morali su biti pravilnoga oblika. Ovim je Pravilnikom propisan zatvoreni način izgradnje, takozvana blokovska gradnja, iz čega su od 1891. slijedile izrade pojedinačnih planova za određena područja odnosno ulice i trgove.

### 1865. “Predgledni plan razširenja i poliepsanja gradskoga” – Regulacijski plan

Regulacijski plan iz 1865. godine odobrio je većinu odredbi Građevinskog pravilnika iz 1857., a koje su uključivale raspored ulica i trgova. Ono što je dodatno zatraženo bila je izrada nacрта kanalizacije s visinskim kotama. Novina je bilo uvođenje zaštite privatnoga vlasništva.

### 1888. “Regulatorna osnova” – Regulacijski plan

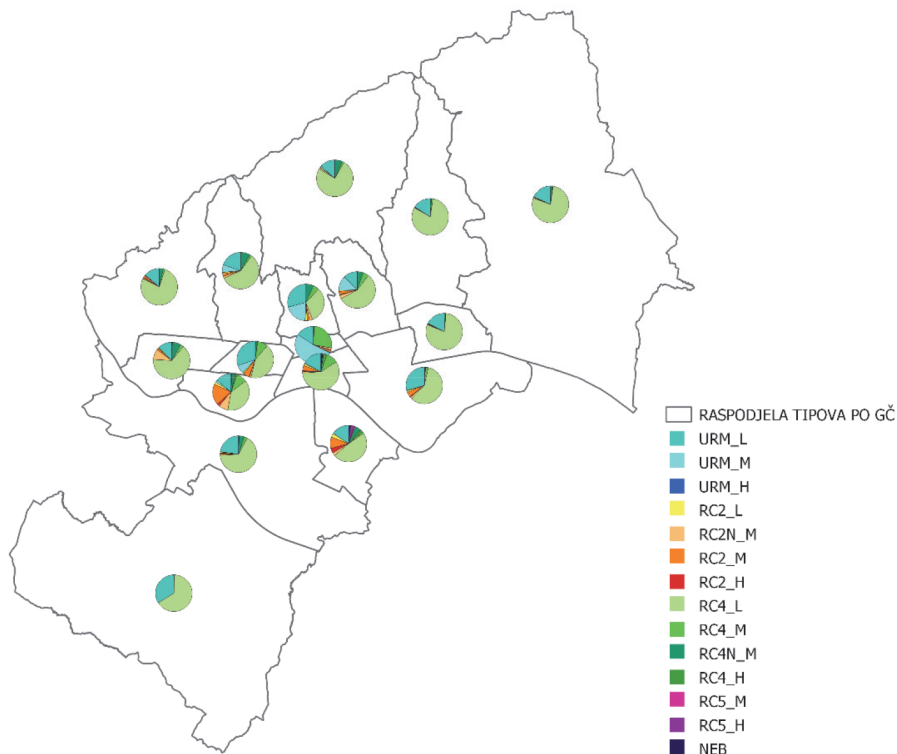
Regulacijski plan usvojen 1888. godine donio je odluku o podjeli grada Zagreba na tri razdjela, a I. razdjel dodatno podijelio na središnji, zapadni i istočni dio. Blok 19 pripada središnjem dijelu I. razdjela. Propisi utvrđeni ovim planom upućivali su na dozvoljene visine novoizgrađenih objekata, veličine parcela i zabrane gradnje, a sve to obzirom na koji se razdjel ili njegov dio gradnja odnosi.

### 1948. Privremeni tehnički propis za opterećenja zgrada [6]

Ovo je propis koji sadrži minimalne uvjete projektiranja izgradnje zgrada otpornih na potres. Sve do 1964. ovaj propis iako vrijedi, nije upotrebljavan od svih sudionika u gradnji stoga ne pretpostavlja da su sve građevine od njegovog donošenja otporne na horizontalne sile uzrokovane potresnim djelovanjem.

## 2.3 Opis građevina i stanje nakon potresa 22. ožujka 2020.

Gruba raspodjela zgrada u Zagrebu, na osnovi istraživanja u Studiji za saniranje posljedica potresa [7] dala je 14 konstrukcijskih sustava (slika 8). URM su zidane zgrade bez serklaža, RC2 zgrade s AB zidovima, RC4 pak zgrade kojima je dominantan konstrukcijski sustav okvir s ispunom i omeđeno žiđe, RC5 su tipske AB zgrade (tzv. limenke), a NEB su AB tornjevi. Također, svakom tipu dodijeljeno je i slovo L, M ili H koje označuje njegovu katnost [8]. Nadalje, dodatnom raspodjelom navedenog broja sustava, došlo se do čak 42 tipa konstrukcijskih sustava.



Slika 8. Raspodjela tipova konstrukcija po gradskim četvrtima [7]

U Bloku 19 najviše su zastupljene građevine tipa URM odnosno zidane zgrade bez serklaža, niže (L) i srednje (M) katnosti. Građene su krajem 19. te početkom 20. stoljeća, kada protupotresna gradnja nije bila zastupljena. Također, kroz vrijeme se zadiralo u njihovu nosivu konstrukciju kroz razne rekonstrukcije koje često nisu slijedile pravila struke, a uzmimo u obzir i to kako materijali nosivih elemenata s vremenom gube mehanička svojstva [1].

Za izvođenje nosive konstrukcije kroz 19. st. koristila se opeka, kamen, mort i drvo, te u manjoj mjeri čelik. Ovdje se bilježi i početak primjene betona, ali tek krajem stoljeća. U 20. stoljeću počinje i uporaba armiranog betona. Zidovi su izvedeni kao neomeđeno ziđe dok su stropni elementi drvene konstrukcije. Stropovi podruma su pak izvedeni kao zidani svodovi. Nakon 1920. godine stropovi se izvode kao (sitno) rebričasti armiranobetonski stropovi. Zgrade koje imaju do dvije etaže pretrpjele su manja oštećenja uslijed potresnog djelovanja u odnosu na zgrade s više katova [6]. Uslijed potresa u Zagrebu 22. ožujka 2020. nastupili su brzi pregledi građevina. Od ukupnog broja prijavljenih građevina s oštećenjem, a koji iznosi 25528 [9], njih 58 (odnosno 41 ukoliko se gleda samo jedan brzi pregled po zgradi) odnosi se na građevine Bloka 19. Navedene procjene spomenutog bloka dale su sljedeće rezultate: za pet zgrada dodijeljen je status N1, za slijedećih pet N2. 11 pak građevina označeno je s PN1, dok ih je 19 označeno s PN2. Oznaku U1 dobile su četiri zgrade, a U2 njih 14.



Slika 9. Blok 19: procjena uporabljivosti zgrada [1]



Nakon 29. prosinca 2020. odnosno potresa kod Petrinje, Blok 19 ponovno je pregledan u opsegu od 8 zgrada, a kojima su nakon brzih pregleda dodijeljene sljedeće oznake: dvije zgrade označene su kao PN2, tri su dobile U2, dodatne dvije U1, a jednoj je dodijeljena oznaka U0.

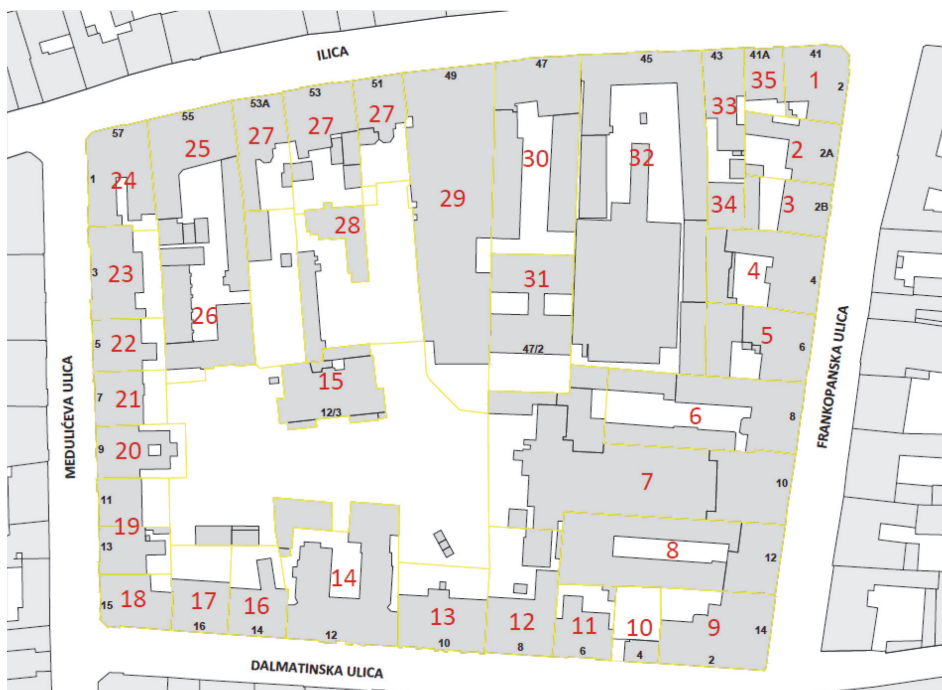
Navedene oznake imaju sljedeća značenja: Bijela oznaka U0 (koja je uvedena nakon potresa kod Petrinje) je uporabljivo bez oštećenja. Zelena oznaka U1 predstavlja uporabljivo bez ograničenja. Zelena oznaka U2 predstavlja uporabljivo s preporukom. Žuta oznaka PN1 je privremeno neuporabljivo uz potreban detaljan pregled. Žuta oznaka PN2 je privremeno neuporabljivo uz potrebne mjere hitne intervencije. Crvena oznaka N1 predstavlja neuporabljivo zbog vanjskog utjecaja. Crvena oznaka N2 je neuporabljivo zbog oštećenja [10].

Nosiva konstrukcija predmetnih zgrada se može smatrati zadovoljavajućom u odnosu na osnovna djelovanja (stalno, korisno, snijeg i vjetar), dok to nije slučaj s potrebnim opterećenjem [6]. Razlog leži kako u izvornim tako i u stečenim nedostacima. Izvorni su nedostaci gradnja u vrijeme nepostojanja protupotresnih propisa, propusti u projektiranju te prilikom izvođenja. Pod stečene nedostatke svrstavaju se rekonstrukcije koje nisu bile u skladu s pravilima struke (čime se oslabljuje nosiva konstrukcija) te neodržavanje zgrada i sama činjenica da im je starosna dob mnogo veća od projektiranog vijeka prema danas važećim propisima. Kod pregleda građevina ustanovljeno je kako stropne ploče nisu zadovoljavajuće povezane sa zidovima (što znači da se zgrada ne ponaša kao cjelina prilikom potresa te da se može očekivati pojava lokalnih mehanizama sloma i mehanizama sloma izvan ravnine), a sami zidovi, često upitne kvalitete, nepravilno su raspoređeni. Nadalje, najveća oštećenja imaju zgrade na uglu odnosno one koje nemaju susjedne zgrade na koje se prilikom potresnog gibanja mogu osloniti. Zaključak nakon pregleda građevina te numeričkih analiza koje su do sada napravljene jest taj da je navedene nedostatke potrebno ispraviti kada se krene u obnovu zgrada [1]. Od ukupno četiri razine obnove, za zgrade Bloka 19 zahtijevana je obnova razine 2, a 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* [11]. "Razinom obnove 2 vrši se popravak ili zamjena konstrukcijskih (nosivih) elemenata koji su oštećeni u potresu te se izvode određena poboljšanja konstrukcije građevine kao cjeline, koja se odnose na otpornost na djelovanje potresa. Ovom razinom treba se provesti obnova izvedbom prihvatljivih zahvata radi postizanja najmanje izvorne otpornosti, a po mogućnosti i pojačanja." [12]

Tijekom pilot - projekta za koji je određen Blok 19 svaka je od 35 građevina popisana (slika 10) te su nabrojane njene karakteristike poput smještaja unutar bloka, katnosti, godine i načina izgradnje te ostalih komponenti važnih pri prikupljanju podataka i dokumentacije za daljnji izvid i zaključke o ponašanju građevine te koracima koje je potrebno poduzeti u trenutnom stanju i za potrebe osiguranja stabilnosti i mehaničke otpornosti za buduće potrese. U tablici 1 izdvojen je prikaz jedne od 35 kuća u bloku.

Tablica 1. Blok 19: karakteristike kuće Honigsberg [2]

BR.	1
IME	Kuća Honigsberg
ADRESA	Frankopanska 2 / Ilica 41
TIP GRAĐEVINE	Uglovnica (1 šesterosobni stan na stubištu)
KATNOST	Po + P +Pk + 2
NAMJENA	Stambeno-poslovna
VRIJEME GRADNJE	1894.
REKONSTRUKCIJE	1897. pregradnja kavane u prizemlju prema projektu biroa Honigsberg i Deutsch, po narudžbi Matilde Honigsberg 1899. proširenje kavane na susjednu kuću (Ilica 41a) zapadno prema projektu biroa Honigsberg i Deutsch 1904. pregradnje mezanina prema projektu biroa Honigsberg i Deutsch 1931. pregradnja kavane u prizemlju prema projektu biroa Freudenreich 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.
SMJEŠTAJ U BLOKU	Reprezentativna historicistička dvokatnica s kupolom formira ugao 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 izdužene pravokutne parcele (uz gornju Ilicu) zapremala kuća (Ilica 605), a južni dio dvorište. Sačuvan je nacrt iz 1878.
KROVIŠTE	Krovište je dvostrešno, prekriveno crijepom.
POMOĆNE DVORIŠNE GRAĐEVINE	U malom dvorištu u novije je doba podignuta prizemnica ravnog krova s nekoliko WC-a koji služe okolnim prodavaonicama.
MATERIJAL I TEHNIKA GRADNJE	Zgrada je zidana od opeke. Međukatne konstrukcije su drvene. Plitki svodovi od opeke u podrumu, stubištu i gospodarskim prostorijama počivaju na željeznim traverzama, a željezne konzole nose i dvorišne balkone. Stubište je kameno, a hodnici i podesti popločeni su keramičkim pločicama. Sva arhitektonska plastika pročelja izvedena je u žbuci.
GRAĐEVINSKO STANJE	Zgrada je pretrpjela znatna oštećenja u potresu 22. ožujka 2020., tako da je građevinsko stanje loše. U stubištu su vidljive brojne pukotine zidova, a žbuka je mjestimično otpala. Velikim pukotinama načeta kupola u prvom potresu, nakon novih oštećenja u idućem potresu 22. travnja, morala je biti iz sigurnosnih razloga uklonjena. Procjena statičara je: privremeno neuporabljivo.
PRIJEDLOG OBNOVE	Zgradu je nužno sanirati od posljedica potresa te je konstruktivno učvrstiti na način primjeren kvalitetnoj povijesnoj građevini. 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 predlaže se i rekonstrukcija 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.



Slika 10. Blok 19: prikaz svake pojedine građevine/zgrade [51]

### 3 Pregled dosadašnjih istraživanja

Iskustva i znanja u ovom području su vrlo ograničena zbog specifičnosti gradnje i područja ugrožena potresom. Primjerice, nedavni potresi u Italiji su izazvali oštećenja [13] uglavnom u ruralnim dijelovima i manjim gradovima pri čemu je blokovska gradnja prisutna u gradskim središtima. S druge strane, potres u Zagrebu zahvatio je glavni grad države pri čemu je ugrozio tradicijsku gradnju pretežito motiviranu austrougarskom gdje potresi nisu dominantna ugroza. Iskustva iz drugih država koje su pretrpjele razorne potrese, te istraživanja koja su temeljem toga provedena, govore kako je važno niz zgrada razmotriti kao cjelinu. Nedvojbena je interakcija zgrada u nizu, a isto se ne bi smjelo ignorirati tijekom izrade projekata sanacije ili rekonstrukcije [14].

Karakteristično za zgrade u bloku jest to da su građene na način da imaju zajednički zabatni zid ili su im zabatni zidovi izgrađeni jedan uz drugi, bez seizmičke razdjelnice ili razdjelnice koja ne ostavlja dovoljno prostora za "rad" (deformaciju) pojedine zgrade iz čega proizlazi kako je seizmički odgovor jedne zgrade u bloku ovisan o dinamičkim svojstvima drugih zgrada toga bloka. Dodatni problem također nastaje kada se jedna od zgrada u bloku ukloni te se na njenom mjestu gradi suvremena

zgrada, a sa spomenutom seizmičkom razdjelnicom. Pretpostavka je da kao rezultat dobivamo oslabljene susjedne zgrade.

Pretpostavlja se da ponašanje zgrade pri djelovanju potresa ovisi o njenom smještaju unutar bloka. Primjerice, nije jednako nalazi li se građevina između dviju susjednih ili na uglu bloka te je li pored izgrađena nova suvremena zgrada s razdjelnicama. Dodatan uvid u ovu tvrdnju može se steći promatrajući rezultate istraživanja provedenih na zgradama u bloku u Barceloni [15].

Tradicijske zgrade u blokovima/nizovima u centru Zagreba [9] uglavnom su izgrađene od nearmiranog ziđa. Uobičajeno je da su nosivi zidovi zgrada paralelni s ulicom s dva fasadna zida i jednim središnjim na koje se oslanjaju stropne grede. Na navedeno se mogu istaknuti i zidovi jezgre te zabatni zidovi koji nemaju veliku razinu vertikalnog opterećenja. Okomito na nosive zidove nalaze se zidovi manjih dimenzija između prostorija, koji stabiliziraju glavne zidove, ali nemaju značajnu nosivu funkciju s obzirom na dimenzije i nedostatak vertikalnog opterećenja. Sve navedeno ne vrijedi za zgrade na uglu obzirom da takve imaju nosive zidove i u uzdužnom i u poprečnom smjeru. Nakon pregleda građevina koje je zadesio potres te uočenih oštećenja zaključeno je kako su se zidovi u poprečnom smjeru više oštetili, radi karaktera potresa, ali i eventualnog zajedničkog djelovanja svih zidova u nizu jednog bloka (nastavljaju se u istoj osi).

Zakoni i norme koje se odnose na projektiranje zgrada fokusirani su na samostojeće zgrade odnosno nisu dostupne konkretne upute za projektiranje zgrada u nizu. Primjerice, kako uzeti u obzir susjedne građevine (u nizu/bloku) odnosno kako postaviti rubne uvjete [16] (između susjednih zidova) koji preciznije opisuju ponašanje zgrade pri djelovanju potresa, a u konačnici rezultiraju međusobno različitim potrebnim odgovorom.

Numerički modeli opisanog ponašanja mogu biti izrazito složeni pa je vrlo važno odrediti kakve modele koristiti [17] jer predetaljni mogu biti nepotrebno komplicirani i iziskivati uloženo vrijeme koje nije proporcionalno točnom rezultatu. Tu su i računske analize lokalnih otkazivanja unutar zgrada u bloku rađene na primjeru povijesnog središta Arsita u talijanskoj pokrajini Teramo [18]. Potres manjeg intenziteta, a kakav je zadesio Zagreb, više utječe na elemente manje krutosti te se nisu u potpunosti "aktivirali" glavni konstrukcijski elementi. Kod jačih potresa, elementima manjih dimenzija, koji nisu dobro povezani s ostatkom konstrukcije (slučaj kod tradicijskih građevina u Zagrebu) vrlo brzo popuste veze, oni izgube nosivost i onda glavni elementi preuzimaju "glavnu ulogu".

S druge strane, prejednostavni modeli mogu dati prekonzervativna rješenja [19 i 20]. Od postojećih istraživanja mogu se istaknuti [21 i 22] za koje se čini da je nađena optimalna mjera s obzirom na navedeno.

Eksperimentalna istraživanja, koja bi opisala ponašanje zgrada u bloku, također su vrlo rijetka, a posebice tipologije zgrada kakvu imamo u Zagrebu. Primjerice, ambi-

jentalna istraživanja koja bi mogla opisati međusobno interakciju imaju veliko osipanje rezultata na nižim, krućim zgradama i teško je precizno interpretirati rezultate. Za Zagreb postoji Studija za saniranje posljedica potresa [7] gdje su istraživanja napravljena na nekoliko zgrada u užem centru, a ista ističu da su potrebna detaljnija istraživanja što je i motivacija za ovaj doktorski rad.

## 4 Zaključak

Očekivani znanstveni doprinos kroz ovu disertaciju je aproksimacija ponašanja zgrada u bloku uslijed djelovanja potresa što bi doprinijelo stvaranju odnosno nadopunjavanju baze podataka o konstruktivnim svojstvima građevina i procjeni oštećljivosti, a posljedično i otvorilo put za određivanje obrasca ojačanja i obnove oštećenih građevina. Osnovni cilj je opisati ponašanje zgrada u bloku/nizu pri djelovanju potresa s obzirom na njihovu međusobnu interakciju. Namjera je istražiti kako suvremena zgrada izgrađena kao interpolacija u bloku/nizu djeluje na susjedne zgrade i blok/niz u cjelini, analizirati utjecaj različitih parametara kao što su visina građevine, visine pojedinih etaža, veličine i pozicija otvora susjednih građevina te numeričkim analizama, eksperimentalnim mjerenjima i analizama odrediti dodatni koeficijent za povećanje odnosno smanjenje seizmičke sile za zgrade u bloku/nizu. Hipoteza kako suvremena zgrada izgrađena uz tradicijsku nepovoljno utječe na nju za djelovanje potresa dokazivat će se kroz metodologiju i plan istraživanja koji će se sastojati prvenstveno od eksperimentalnih istraživanja te modeliranja konstrukcija i numeričkih analiza. Dodatno, analizirat će se postojeći podaci iz baza podataka, posebice baze oštećenja i uporabljivosti zgrada nakon zagrebačkog potresa te će se napraviti detaljni pregledi karakterističnih blokova (opažanje) kojima će se pokušati utvrditi stvarna oštećenja na razdjelnicama. Poseban naglasak će se staviti na Blok 19 (*case study*) i Program cjelovite obnove povijesne jezgre grada Zagreba [1] s obzirom na važnost u procesu obnove grada Zagreba.

Eksperimentalna istraživanja imaju cilj osigurati pouzdane ulazne parametre za sve kasnije analize, a posebice numeričke. Prikupljanje postojećih ispitivanja te izvedba novih ispitivanja karakterističnih mjesta na konstrukciji, materijala i slično poslužit će za kalibraciju numeričkih modela. Dodatno, ponašanje susjednih građevina će se pokušati aproksimirati eksperimentalnim mjerenjima ambijentalnih vibracija pri čemu određena iskustva već imamo u postojećim istraživanjima. Ambijentalnim ispitivanjima i usporedbom s numeričkim modelima odnosno očekivanim rezultatima, može se procijeniti utjecaj međusobne interakcije. Isto se može dodatno potvrditi opažanjem na terenu odnosno usporedbom s konkretnim podacima s obzirom na djelovanje zagrebačkog potresa.

Istraživanjem bi se osigurali kvalitetni ulazni podaci koji podrazumijevaju izvornu projektnu dokumentaciju, detaljne preglede postojećeg stanja (posebice spojeva



i razdjelnica), numeričke modele zgrada/bloka, eksperimentalna istraživanja (posebice ambijentalnih vibracija) i slično. Navedeno je ključna odrednica za analize oštećljivosti pojedinačnih građevina u nizu, i za modeliranje seizmičkog odgovora samog niza.

Planiraju se koristiti numerički modeli različite složenosti, od jednostavnih kontrolnih modela, preko modela koji se uobičajeno koriste u struci do složenih nelinearnih modela koji preciznije opisuju ponašanje, ali zahtijevaju i pouzdanije ulazne podatke. U konačnici se sve razine numeričkih modela moraju uskladiti, a cilj je dobiti rezultate koji će biti primjenjivi u struci kao preporuka.

## Literatura

- [1] Atalić, J., Lakušić S., Srkoč M., Uroš M., Baniček, M., Žagar, T., Sigmund Z., Šavor Novak M.: Program cjelovite obnove povijesne jezgre grada Zagreba – Konstruktorski modeli obnove, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Hrvatski centar za potresno inženjerstvo, 2021.
- [2] Belamarić J., Bjažić Klarin T., Damjanović D., Dundović B., Horvat-Levaj K., Horvatinčić S., Kolešnik Lj., Kraševac I., Križić Roban S., Mance I., Premerl D., Šverko A., Vučetić R., Zelić D., Žmegač A.: Program cjelovite obnove Povijesne jezgre grada Zagreba – Blok 19 – Konzervatorski model. Zagreb: Institut za povijest umjetnosti; 2021.
- [3] Babić S., Čengić D., Prgin I., Rubčić D., Senišin S. 150 godina Zagreba kao jedinstvenog grada. Zagreb: Državni arhiv u Zagrebu; 2000.
- [4] Pelz I., Problematika nekih zagrebačkih toponima i njihovih pridjeva. Jezik. 1986.; 33(97-128): 99-105.
- [5] Kahle D., Građevinski propisi grada Zagreba u razdoblju od 1850. do 1918. godine. Prostor. 2004; 12(2): 203-214
- [6] Crnogorac M. E. Općenito o konceptima sanacije i protupotresnog ojačanja zidanih konstrukcija - E.1. Izvorni i stečeni nedostaci konstrukcija zgrada. U: Uroš, M., Todorčić, M., Crnogorac, M., Atalić, J., Šavor Novak, M., Lakušić, S. (ur.) POTRESNO INŽENJERSTVO - Obnova zidanih zgrada. Zagreb: Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2021, str. 219-243.
- [7] Šavor Novak, M., Atalić, J., Damjanović, D., Uroš, M., Krolo, J., Sigmund, Z., Koščak, J., Korlaet, L., Bartolac, M., Duvnjak, I., Hak, S. (2018) 'Studija za saniranje posljedica potresa u Gradu Zagrebu', u Državna uprava za zaštitu i spašavanje (ur.) Zbornik VII. Konferencije Hrvatske platforme za smanjenje rizika od katastrofa, Zagreb, Hrvatska, 11.-12. listopada.

- [8] Atalić, J., Šavor Novak, M., Uroš, M.: Ažurirana procjena rizika od katastrofa u Republici Hrvatskoj – rizik od potresa, Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet u suradnji s Ministarstvom graditeljstva i prostornog uređenja i Državnom upravom za zaštitu i spašavanje, Hrvatska, 2018.
- [9] Šavor Novak M., Uroš M., Atalić J., Herak M., Demšić M., Baniček M., Lazarević D., Bijelić N., Crnogorac M., Todorčić M. Potres u Zagrebu 22. ožujka 2020. - preliminarni izvještaj o seizmološkim istraživanjima i oštećenjima zgrada. Građevinar. 2020; 72(10): 843-867
- [10] HCPI: GIS karta sa podacima o upotrebljivosti zgrada, Hrvatski centar za potresno inženjerstvo, Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu i Grad Zagreb, 2020.
- [11] Odluka o donošenju Programa mjera obnove zgrada oštećenih potresom na području Grada Zagreba, Krapinsko-zagorske županije, Zagrebačke županije, Sisačko-moslavačke županije i Karlovačke županije, Vlada Republike Hrvatske, 2021.
- [12] Crnogorac M., Todorčić M., Uroš M., Atalić J.: Urgentni program potresne obnove – UPPO, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet i Hrvatska komora inženjera građevinarstva; 2020.
- [13] Di Ludovico M., Prota A., Moroni C., Manfredi G., Dolce M. Reconstruction process of damaged residential buildings outside historical centres after the L'Aquila earthquake: part I—"light damage" reconstruction. Bulletin of Earthquake Engineering. 2017; 15: 667-692
- [14] Formisano A., Florio G., Landolfo R., Mazzolani F.M. Numerical calibration of an easy method for seismic behaviour assessment on large scale of masonry building aggregates. Advances in Engineering Software. 2015; 80: 116-138
- [15] Pujades L. G., Barbat A. H., González-Drigo R., Avila J., Lagomarsino S. Seismic performance of a block of buildings representative of the typical construction in the Eixample district in Barcelona (Spain). Bulletin of Earthquake Engineering. 2012; 10: 331-349.
- [16] Borri A., De Maria A. Eurocode 8 and Italian code. A comparison about safety levels and classification of interventions on masonry existing buildings. U: Cosenza E. (ur.), Eurocode 8 Perspectives from the Italian Standpoint Workshop, Napoli: Doppiavoce, 2009, str. 237-246.
- [17] da Porto F., Munari M., Prota A., Modena C. Analysis and repair of clustered buildings: Case study of a block in the historic city centre of L'Aquila (Central Italy). Construction and Building Materials. 2013; 38: 1221-1237.
- [18] Grillanda N., Valente M., Milani G. ANUB-Aggregates: a fully automatic NURBS-based software for advanced local failure analyses of historical masonry aggregates. Bulletin of Earthquake Engineering. 2020; 18(8): 3935-3961.

- [19] Uroš M., Demšić M., Šavor Novak M., Atalić J., Prevolnik S. H. Procjena ponašanja tipične zidane zgrade u Zagrebu pri potresnom djelovanju - H.2. Rizik od potresa u gradu Zagrebu. U: Uroš, M, Todorić, M., Crnogorac, M., Atalić, J., Šavor Novak, M., Lakušić, S. (ur.) POTRESNO INŽENJERSTVO - Obnova zidanih zgrada. Zagreb: Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2021, str. 456-519.
- [20] Quagliarini E., Maracchini G., Clementi F. Uses and limits of the Equivalent Frame Model on existing unreinforced masonry buildings for assessing their seismic risk: A review. *Journal of Building Engineering*. 2017; 10: 166-182.
- [21] Tomić I., Penna A., DeJong M., Butenweg C., Correia AA., Candeias PX., Senaldi I., Guerrini G., Malomo D., Beyer K. Shake table testing of a half-scale stone masonry building. Submitted to *Bulletin of Earthquake Engineering*. 2022a.
- [22] Tomić I., Penna A., DeJong M., Butenweg C., Correia AA., Candeias PX., Senaldi I., Guerrini G., Malomo D., Beyer K. Shake-table testing of a stone masonry building aggregate: Overview of blind prediction study. Submitted to *Bulletin of Earthquake Engineering*. 2022b.