

# Utjecaj nekonstruktivnih elemenata na elastični odziv konstrukcije postojeće uglovne zidane zgrade smještene u gradskom bloku zgrada

---

Nasić, Toni

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:980917>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,  
University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Toni Nasić

**UTJECAJ NEKONSTRUKTIVNIH ELEMENATA NA  
ELASTIČNI ODZIV KONSTRUKCIJE POSTOJEĆE  
UGLOVNE ZIDANE ZGRADE SMJEŠTENE U  
GRADSKOM BLOKU ZGRADA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2024



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Toni Nasić

**UTJECAJ NEKONSTRUKTIVNIH ELEMENATA NA  
ELASTIČNI ODZIV KONSTRUKCIJE POSTOJEĆE  
UGLOVNE ZIDANE ZGRADE SMJEŠTENE U  
GRADSKOM BLOKU ZGRADA**

DIPLOMSKI RAD

Mentor: prof. dr. sc. Damir Lazarević

Komentor: dr. sc. Maja Baniček

Zagreb, 2024



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Toni Nasić

**Influence of non-structural elements on elastic  
response of structure of an existing corner  
masonry building located in a city building  
aggregate**

MASTER THESIS

Supervisor: Prof. PhD. Damir Lazarević

Co-supervisor: PhD. Maja baniček

Zagreb, 2024



OBRAZAC 3

POTVRDA O POZITIVNOJ OCJENI PISANOG DIJELA DIPLOMSKOG RADA

Student/ica :

Toni	Nasić
(Ime i prezime)	(JMBAG)

zadovoljio/la je na pisanom dijelu diplomskog rada pod naslovom:

Utjecaj nekonstruktivnih elemenata na elastični odziv konstrukcije postojeće uglovne zidane zgrade smještene u gradskom bloku zgrada  
(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

Influence of non-structural elements on elastic response of structure of an existing corner masonry building located in a city building aggregate  
(Naslov teme diplomskog rada na engleskom jeziku)

i predlaže se provođenje daljnjeg postupka u skladu s Pravilnikom o završnom ispitu i diplomskom radu Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta.

Pisani dio diplomskog rada izrađen je u sklopu znanstvenog projekta: (upisati ako je primjenjivo)

Projekt istraživanja na području potresnog inženjerstva, A679117 – HPC, Hrvatski centar za potresno inženjerstvo  
(Naziv projekta, šifra projekta, voditelj projekta)

Pisani dio diplomskog rada izrađen je u sklopu stručne prakse na Fakultetu: (upisati ako je primjenjivo)

(Ime poslodavca, datum početka i kraja stručne prakse)

Datum: 13.11.2024. godine

Mentor: prof. dr. sc. Damir Lazarević

Potpis mentora:



Komentor: dr. sc. Maja Baniček



OBRAZAC 5

IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Ja :

Toni Nasić

(Ime i prezime, JMBAG)

student/ica Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta ovim putem izjavljujem da je moj pisani dio diplomskog rada pod naslovom:

Utjecaj nekonstruktivnih elemenata na elastični odziv konstrukcije postojeće uglovne zidane zgrade smještene u gradskom bloku zgrada

(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristio/la drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

Datum: 13.11.2024

Potpis:

*Nasić*



OBRAZAC 6

IZJAVA O ODOBRENJU ZA POHRANU I OBJAVU PISANOG DIJELA DIPLOMSKOG RADA

Ja :

**Toni Nasić, 65792163927**

(Ime i prezime, OIB)

ovom izjavom potvrđujem da sam autor/ica predanog pisanog dijela diplomskog rada i da sadržaj predane elektroničke datoteke u potpunosti odgovara sadržaju dovršenog i obranjenog pisanog dijela diplomskog rada pod naslovom:

Utjecaj nekonstruktivnih elemenata na elastični odziv konstrukcije postojeće uglovne zidane zgrade smještene u gradakom bloku zgrada

(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

koji je izrađen na sveučilišnom diplomskom studiju Građevinarstvo Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta pod mentorstvom:

**Prof. dr. sc. Damir Lazarević**

(Ime i prezime mentora)

i obranjen dana:

**21.11.2024**

(Datum obrane)

Suglasan/suglasna sam da pisani dio diplomskog rada u cijelosti bude javno dostupan, te da se trajno pohrani u digitalnom repozitoriju Građevinskog fakulteta, repozitoriju Sveučilišta u Zagrebu te nacionalnom repozitoriju.

Datum: **13.11.2024**

Potpis:

*Nasić*

## SAŽETAK

U ovom radu analizira se utjecaj krutosti nekonstruktivnih elemenata na elastični odziv postojeće zidane zgrade. U svrhu ispitivanja, u programskom paketu ETABS, izrađena su dva modela zgrade: jedan s pregradnim zidovima drugi bez. Modalnom analizom, dobiveni su modalni oblici i vlastite frekvencije. Modeli su zatim ispitani na potresno opterećenje primjenom elastičnog i projektnog spektra odziva na povratni period od 95 i 475 godina.

Osim spomenutog ispitivanja, u radu se objašnjavaju karakteristike blokovske gradnje i utjecaj susjednih zgrada na promatranu, opisuje se stil i način gradnje u Donjem gradu, gdje se nalazi predmetna zgrada, kroz povijest. Daje se uvid o razvoju propisa za potresno opterećenje i opisuje se način gradnje početkom 20. stoljeća. Tumače i se okolnosti koje su nastale nakon potresa 2020. godine u Zagrebu

**Ključne riječi:** zidana zgrada, zgrade u gradskom bloku, spektar odziva, potresna otpornost, nekonstruktivni elementi

## SUMMARY

This thesis analyzes the impact of non-structural elements' stiffness on the elastic response of an existing masonry building. For the purpose of the study, two building models were created using the ETABS software package: one with partition walls and one without. Modal analysis was used to obtain modal shapes and natural frequencies. The models were then tested for seismic loading by applying elastic and design response spectra for return periods of 95 and 475 years.

In addition to the aforementioned analysis, the thesis explains the characteristics of block construction and the influence of neighboring buildings on the observed structure. It describes the style and method of construction in the Lower Town, where the subject building is located, throughout history. The paper provides insight into the development of seismic loading regulations and describes the construction methods used at the beginning of the 20th century. It also interprets the circumstances that arose after the 2020 earthquake in Zagreb.

**Key words:** masonry building, urban building aggregate, response spectrum, seismic resistance, non-structural elements

## Sadržaj

<b>SAŽETAK</b> .....	<b>I</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>II</b>
<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. BLOKOVSKA GRADNJA</b> .....	<b>2</b>
2.1. OPĆENITO .....	2
2.2. UTJECAJ OSTALIH ZGRADA U NIZU NA OŠTETLJIVOST .....	3
<b>3. DONJI GRAD</b> .....	<b>6</b>
3.1. OPĆENITO .....	6
3.2. PODACI O BLOKOVSKOJ GRADNJI .....	7
3.3. DANAŠNJE STANJE BLOKOVA ZGRADA .....	8
<b>4. SPEKTAR ODZIVA</b> .....	<b>10</b>
<b>5. NAČIN GRADNJE POČETKOM 20. STOLJEĆA</b> .....	<b>12</b>
<b>6. SEIZMIČKA AKTIVNOST NA PROSTORU BALKANA</b> .....	<b>13</b>
6.1. POVIJESNI PREGLED RAZVOJA PROPISA ZA PROJEKTIRANJE NA POTRESNO OPTEREĆENJE NA OVIM PROSTORIMA [10] ....	13
6.2. POTRES U ZAGREBU 2020. GODINE .....	14
6.3. BRZI PREGLEDI GRAĐEVINSKIH OBJEKATA .....	17
<b>7. MIHANOVIĆEVA 20</b> .....	<b>19</b>
<b>8. TEHNIČKI OPIS</b> .....	<b>21</b>
8.1. OCJENA BRZOG PREGLEDA ZGRADE NAKON POTRESA .....	24
<b>9. ANALIZA OPTEREĆENJA</b> .....	<b>27</b>
9.1. STALNO OPTEREĆENJE .....	27
9.1.1. <i>Ploča podruma i kuhinje</i> .....	27
9.1.2. <i>Ploča prizemlja, prvog, drugog i trećeg kata</i> .....	27
9.1.3. <i>Stubište</i> .....	28
9.1.4. <i>Podest</i> .....	28
9.1.5. <i>Krovište</i> .....	29
9.2. UPORABNO OPTEREĆENJE .....	30
<b>10. NUMERIČKI MODEL ZGRADE</b> .....	<b>31</b>
<b>11. ANALIZA REZULTATA</b> .....	<b>33</b>
11.1. MODALNI OBLICI I SUDJELUJUĆE MASE .....	33
11.1.1. <i>Prvi model</i> .....	33
11.1.2. <i>Drugi model</i> .....	35
11.1.3. <i>Usporedba rezultata</i> .....	37
11.2. SPEKTAR ODZIVA .....	37
11.2.1. <i>Maksimalni pomak etaža</i> .....	41
11.2.1.1. Prvi model .....	41
11.2.1.2. Drugi model .....	43
11.2.1.3. Usporedba rezultata .....	45
11.2.2. <i>Maksimalni relativni pomak kata</i> .....	46

---

11.2.2.1.	Prvi model .....	46
11.2.2.2.	Drugi model .....	48
11.2.2.3.	Usporedba rezultata .....	50
11.2.3.	<i>Katne poprečne sile</i> .....	51
11.2.3.1.	Prvi model .....	51
11.2.3.2.	Drugi model .....	53
11.2.3.3.	Usporedba rezultata .....	55
11.3.	ODNOS KATNE POPREČNE SILE I TEŽINE ETAŽE I PROSJEČNA POSMIČNA NAPREZANJA .....	55
11.3.1.	<i>Prvi model</i> .....	55
11.3.2.	<i>Drugi model</i> .....	57
11.3.3.	<i>Usporedba rezultata</i> .....	59
<b>12.</b>	<b>ZAKLJUČAK</b> .....	<b>60</b>
	<b>POPIS LITERATURE</b> .....	<b>62</b>
	<b>POPIS SLIKA</b> .....	<b>64</b>
	<b>POPIS TABLICA</b> .....	<b>67</b>

## 1. UVOD

Potresna opasnost predstavlja značajan izazov za urbane sredine, posebice za povijesne gradske jezgre koje su često izgrađene prije uvođenja suvremenih potresnih propisa. Ova problematika posebno je došla do izražaja nakon razornog potresa koji je pogodio Zagreb 22. ožujka 2020. godine, otkrivajući ranjivost starijih građevina na potresna opterećenja. Potres magnitude 5,5 po Richteru, najjači instrumentalno zabilježen u Zagrebu od 1908. godine, uzrokovao je znatna oštećenja na većini objekata u središnjem dijelu grada, posebno u povijesnoj jezgri koja obuhvaća Gornji i Donji grad.

U okviru ove problematike, diplomski rad usmjeren je na analizu utjecaja nekonstruktivnih elemenata, posebice pregradnih zidova, na elastični odziv postojeće uglovne zidane zgrade smještene unutar gradskog bloka. Predmet istraživanja je zgrada na adresi Mihanovićeva 20, dovršena 1911. godine, koja predstavlja tipičan primjer gradnje s početka 20. stoljeća u Zagrebu. Takva gradnja karakterizirana je masivnim, debelim zidovima u podrumskom dijelu, koji postaju sve tanji s visinom građevine, međukatnim konstrukcijama od drvenih grednika, te neomeđenim zidom.

Cilj rada je utvrditi u kojoj mjeri pregradni zidovi, koji se smatraju nekonstruktivnim elementima, utječu na dinamička svojstva i elastični odziv zgrade pri djelovanju opterećenja od potresa. Ovo pitanje je od posebnog značaja, jer mnoge povijesne zgrade u Zagrebu, kao i u drugim europskim gradovima, karakterizira blokovska gradnja sa susjednim jedinicama koje vrlo često dijele nosivi zid.

Metodologija istraživanja temelji se na izradi dva numerička modela zgrade korištenjem programskog paketa ETABS: jednog s pregradnim zidovima i drugog bez njih. Za oba modela proveden je modalni proračun kako bi se utvrdili modalni oblici i vlastite frekvencije konstrukcije. Nadalje, provedena je spektralna analiza primjenom elastičnog i projektnog spektra odziva za povratne periode od 95 i 475 godina, u skladu s normama HRN EN 1998-1 i Kartom potresnih područja Republike Hrvatske. Na kraju rada donesen je zaključak o utjecaju pregradnih zidova na elastični odziv.

Osim specifične analize predmetne zgrade, rad pruža širi kontekst razmatrajući karakteristike blokovske gradnje u Donjem gradu Zagreba, povijesni razvoj urbanističkih regulativa i građevinskih propisa, te stanje građevina nakon potresa 2020. godine.

Rezultati ovog istraživanja mogu se primijeniti u svrhu procjene potresne otpornosti postojećih zgrada, posebno onih od kulturno-povijesnog značaja. Razumijevanje uloge pregradnih zidova u seizmičkom odzivu može doprinijeti razvoju učinkovitijih strategija obnove i pojačanja povijesnih građevina, što je od posebne važnosti u kontekstu potresne obnove Zagreba i drugih gradova s bogatom arhitektonskom baštinom.



## 2. BLOKOVSKA GRADNJA

### 2.1. Općenito

Povijesni centri europskih gradova često su sastavljeni od blokova zidanih zgrada od običnog ziđa čiji je seizmički odgovor teško predvidjeti. Takve su građevine vrlo osjetljive na potrese, stoga učinkovite strategije smanjenja rizika zahtijevaju razvoj odgovarajućih postupaka procjene. Međutim, procjene seizmičkih svojstava zidanih građevina često su otežane nedostatkom informacija o konstrukciji, materijalima i konstrukcijskim detaljima. Dodatno, intervencije na ovakvim građevinama mogu povećati heterogenost materijala i oslabiti konstrukcijske elemente, budući da i oni tijekom vremena podliježu degradaciji. Također, svojstva spojeva između konstruktivnih elemenata, kao što su spojevi između zidova te podova i zidova, često nisu poznata. Uz to, zbog visokih troškova ili ograničenja vezanih uz kulturnu vrijednost građevine, često nije moguće ispitati svojstva materijala i komponenti. Seizmički odziv povijesnih zidanih zgrada postaje složeniji kod građevina koje su povezane u blokovsku cjelinu, što je čest slučaj u europskim gradskim središtima zbog stoljetnog povećanja gustoće gradnje. U takvim cjelinama, susjedne su jedinice često dijelile nosivi zid, s vezom koja se ostvaruje međusobnim spajanjem kamena ili slojem morta. Ove su cjeline uglavnom nastajale kroz stoljeća bez konzistentnog planiranja, što je rezultiralo time da su zgrade u nizu imale različita svojstva materijala, visine katova i krovova te su slabije bile međusobno povezane. Potresi u Italiji potvrdili su vrlo složeno i neizvjesno ponašanje zgrada u nizu koje se dodatno komplicira interakcijom susjednih jedinica. [1]. U slučaju zagrebačkih donjogradskih zidanih zgrada građenih u blokovima, susjedne zgrade uglavnom ne dijele isti zid, nego svaka zgrada ima svoj vlastiti zid.



Slika 1.: Gradski blokovi u Barceloni [2]

Postupak procjene postojećeg stanja konstrukcije postojeće zidane zgrade započinje analizom povijesne dokumentacije koja otkriva redoslijed izgradnje, naknadne nadogradnje, intervencije i oštećenja. Tijekom pregleda na terenu važno je potvrditi točnost prikupljenih dokumenata, a posebnu pažnju posvetiti spojevima unutar pojedine građevine (poput spojeva ortogonalnih zidova, učvršćenja greda u zidove i pričvršćenja krovne konstrukcije), te spojevima između susjednih jedinica. Bitno je saznati dijele li jedinice nosivi zid, koja je zgrada prva izgrađena i kako su naknadni zidovi povezani sa starijima. Ovi podaci mogu biti ključni pri modeliranju seizmičkog odziva zgrada u nizu, a korisni su i za preliminarnu analizu osjetljivosti pojedine jedinice unutar niza [1].

Nakon potresa u Italiji, opažanja ukazuju na mogućnost pomaka i odvajanja zgrada u nizovima, što se očituje pukotinama na spojevima te tragovima kontakta između susjednih građevina. Iako se radi o složenim odzivima, određeni obrasci su prepoznati u velikom broju slučajeva. Krajnje jedinice u nizu pokazale su veću sklonost oštećenju, kao i one koje se visinom izdvajaju od ostalih, posebno kod naknadno nadograđenih katova. Dodatno, veći broj razina između katova negativno utječe na seizmički odziv [3].

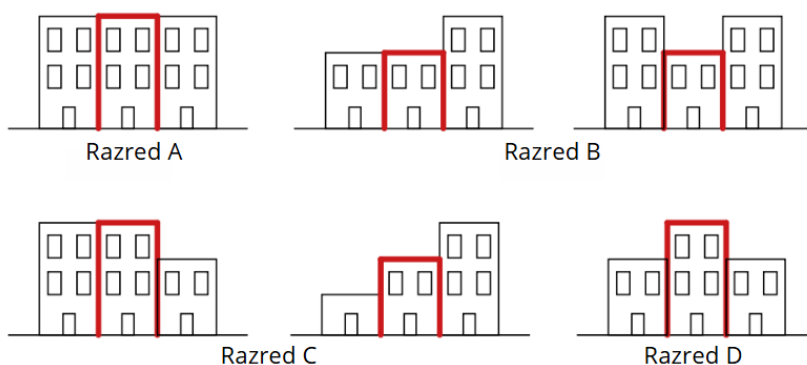
## **2.2. Utjecaj ostalih zgrada u nizu na oštetljivost**

Za brzu procjenu na seizmičko djelovanje samostojećih zidani zgrada Benedetti i Petrini [1] razvili su ljestvicu pomoću koje se brzim i jednostavnim pregledom konstrukcije može dati ocjena, odnosno može se procijeniti oštetljivost u slučaju djelovanja potresa. Ta ljestvica sastoji se od 10 parametara o građevini kao što su: raspored vertikalnih elemenata, konstrukcija poda, konstrukcija krova, tlocrtni raspored elemenata koji su otporni na djelovanje potresa i drugo [1]. Svaki parametar se svrstava u pripadajući razred koji ima pripadajuću ocjenu. Svaki od parametara, ovisno o važnosti, ima svoj težinski faktor.

Kasnije je na tu ljestvicu od 10 parametara dodano još 5 koji se primjenjuju na zgrade u nizu odnosno u bloku. Time se uzima u obzir i međusobno djelovanje između susjednih zgrada tokom potresa [1]. Situacija koju opisuje razred A je najpovoljnija za građevinu, a situaciju koju opisuje razred D je najgora. U nekim slučajevima situacija razreda A može čak i pozitivno utjecati na građevinu. Svi podaci vidljivi su u tablici 1.

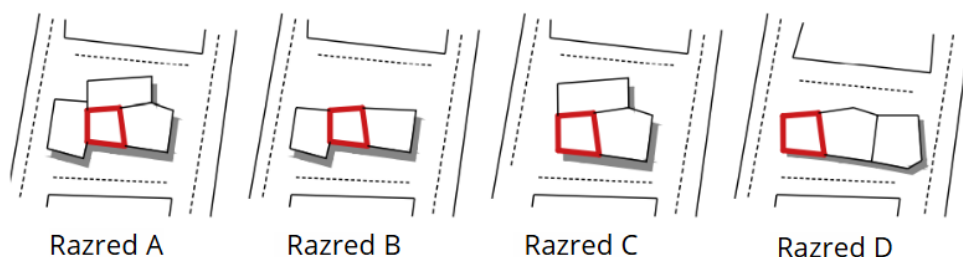
Tablica 1.:Obrazac za procjenu oštjetljivosti zidanih zgrada u nizu [3]

Parametar	Razred				Težinski faktor
	A	B	C	D	
Prisutnost jedinica različite visine	-20	0	15	45	1
Pozicija jedinice u nizu građevina	-45	-25	-15	0	1.5
Broj razmještenih katova	0	15	25	45	0.5
Strukturalna ili tipološka heterogenost između susjednih jedinica	-15	-10	0	45	1.2
Postotak razlike ploština otvora između susjednih fasada	-20	0	25	45	1



Slika 2.:Razredi prisutnosti susjednih jedinica različite visine [3]

Razred A je najpovoljniji jer iste visine i čvrsta veza između zgrada omogućavaju ravnomjernu distribuciju seizmičkih sila. Razred D je najnepovoljniji, jer velika razlika u visini između susjednih zgrada stvara neravnomjerno opterećenje i povećava rizik od oštećenja zidane konstrukcije tokom potresa.



Slika 3.: Razredi pozicije jedinice u nizu građevina [3]

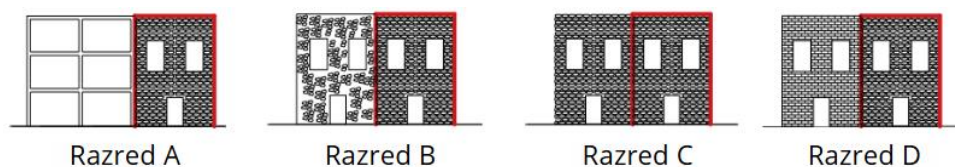
Iz slike se može zaključiti da je oštjetljivost jedinice manja kada se ona nalazi između ostalih zgrada jer joj susjedne zgrade mogu poslužiti kao bočno pridržanje. Najnepovoljniji slučaj je

kada se jedinica nalazi na kraju niza. Takva jedinica nije obostrano pridržana što može dovesti do neravnomjerne raspodjele sila prilikom potresa, pa tako i torzije.



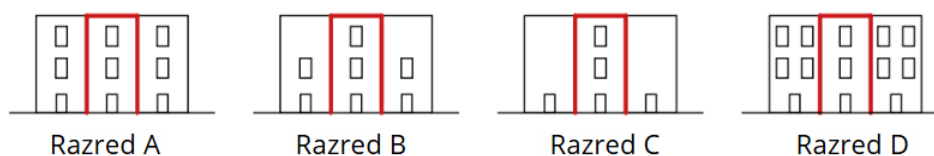
Slika 4.: Razredi broja razmještenih katova [3]

Ploče između katova imaju vrlo veliku horizontalnu krutost. Ako prilikom potresa dođe do kontakta ploče i zida, na zidu mogu nastati velike štete. Zato je idealan slučaj kada su ploče u istoj visinskoj razini, odnosno kad je taj ekscentricitet što manji.



Slika 5.: Razredi konstrukcijskih i tipoloških heterogenosti između susjednih jedinica [3]

Kada se promatrana građevina nalazi uz susjednu zgradu koja je sagrađena od materijala veće čvrstoće, onda postoji veći rizik od oštećenja prilikom potresa. Međutim ako se građevina nalazi uz susjednu armiranobetonsku zgradu, primijećen je pozitivan učinak [3].



Slika 6.: Razredi razlike ploština otvora između susjednih fasada [3]

Najpovoljniji učinak imaju jedinice koje imaju istu ploštinu otvora kao i susjedne jedinice, a najgori one koje imaju manju ploštinu [3].

Ukupna ocjena oštetljivosti dobiva se po izrazu:

$$I_{V,I} = \sum_{i=1}^5 S_i \cdot W_i$$

u kojem je  $S_i$  vrijednost razreda parametara, a  $W_i$  težinski faktor parametra [3].

### 3. DONJI GRAD

#### 3.1. Općenito

Donji grad u Zagrebu predstavlja cjelovitu urbanističko-arhitektonsku cjelinu, oblikovanu jedinstvenim regulacijskim planom, koji odražava funkcionalne i estetske vrijednosti srednjoeuropske gradnje s prijelaza iz 19. u 20. stoljeće. Iako na prvi pogled djeluje kao ujednačena cjelina s karakterističnim obilježjima blokovske izgradnje, reprezentativnim javnim zgradama i sustavom otvorenih prostora, detaljnija analiza otkriva značajne razlike u urbanističkim značajkama pojedinih blokova, poput njihove veličine, stupnja izgrađenosti, broja katova i pretežite namjene [4].

Vanjski rubovi blokova, koji oblikuju mentalnu sliku grada i važni su za njegov identitet, u proteklim su desetljećima samo djelomično obnavljani, uglavnom kroz obnovu pročelja. Nasuprot tome, unutarnji dio blokova ostaje manje poznat i uglavnom zanemaren, bez suvremenih istraživanja koja bi pružila uvid u stanje tih zgrada i njihovu trenutnu upotrebu. Dodatno, ovaj dio grada obilježen je mnogim neriješenim imovinsko-pravnim pitanjima, posebno kod napuštenih objekata izvorno namijenjenih gospodarskim aktivnostima [4].



Slika 7.: Donji grad u Zagrebu [5]

Blokovska struktura Donjeg grada definirana je planskim pravilima i propisima kroz godine. Prvi podaci o građevinskoj regulativi i građevinskim redovima datiraju nakon ujedinjenja Zagreba 1850. godine. Građevni redovi sadržavali su niz naredbi koje su regulirale izgradnju, oblikovanje i prostorno uređenje zgrada. U njima je također bilo propisano da trgovci moraju biti pravokutnog oblika, kuće su morale biti usklađene na istoj građevinskoj liniji i ostalo [4].



### 3.2. Podaci o blokovskoj gradnji

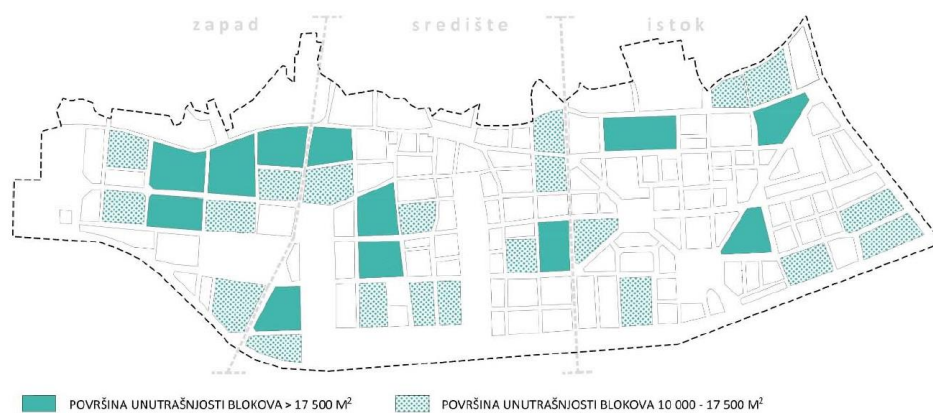
Ovisno o vremenu izgradnje, Donji grad možemo podijeliti tri dijela:

**Zapadni dio grada** — Razvijen sredinom 19. stoljeća kao produžetak od podgrađa prema zapadu, potaknut dolaskom željeznice. Oblikovanje ovog dijela temelji se na Prvoj regulatornoj osnovi iz 1865. godine, prepoznatljivo po blokovima velikih površina i prosječne visine P+2/3 [4].

**Središnji dio grada** — Prostor između Frankopanske i Draškovićeve ulice nastaje širenjem prema jugu. Nakon potresa 1880. godine, Regulatorna osnova iz 1887./1889. oblikuje današnju geometriju trgova i perivoja. Ovdje se razvija Lenucijeva potkova s naglašenom blokovskom strukturom prema glavnom kolodvoru. Prepoznatljiv je po javnim prostorima i visokim udjelom javnih sadržaja te kompaktnim, gusto izgrađenim blokovima, prosječne visine P+3 [4].

**Istočni dio grada** — Prostor između Draškovićeve i Heinzelove ulice predstavlja treću fazu razvoja Donjeg grada, koja se odvija nakon 1900. i između dva svjetska rata. Određen Regulatornim osnovama iz 1905. i 1936./1938. godine, karakteriziraju ga dva ključna poteza: Trg burze — Trg P. Krešimira te bulevar od Džamije do Maksimira (današnja Zvonimirova ulica). Blokowska izgradnja ovdje je višekatnost, prosječno P+4. Istočni dio se nakon Drugog svjetskog rata pretežno razvija kao gospodarsko područje i u posljednjim desetljećima prolazi kroz važne promjene u strukturi i funkciji [4].

Ako promatramo tlocrtnu površinu Donjeg grada primjećujemo značajnu varijaciju u veličini, s unutrašnjim površinama od manje od 5.000 m<sup>2</sup> do preko 17.500 m<sup>2</sup>. Najveći blokovi nalaze se u zapadnom dijelu, a u pravilu imaju manje izgrađenu unutrašnjost, što omogućava veći udio zelenih i otvorenih površina te nudi potencijal za uređenje dodatnih javnih prostora. Nasuprot tome, manji blokovi, posebno oni izduženog oblika i veće katnosti, imaju iscrpljen unutrašnji prostor koji služi uglavnom za osiguravanje osvjetljenja i ventilacije prostorija u okolnim zgradama [4].



Slika 8.: Prikaz većih blokova površine unutrašnjosti  $\geq 10\,000\text{ m}^2$  (Izvor: [4])

Još jedno obilježje blokovske izgradnje je neujednačena visina građevina. Unutar pojedinih blokova postoje značajne razlike u visini, a na razini grada to je posebno izraženo u istočnom dijelu s većom prosječnom katnosti te visokim zgradama oko Trga bana Jelačića. Visina građevina u Donjem gradu najčešće varira od 3 do 5 etaža (P+2/4), iako postoje i zgrade s više od 9 etaža, izgrađene prije nekoliko desetljeća. Istočni dio grada ima najviše visokih orijentira na rubovima blokova, dok zapadni dio uglavnom nema takvih visinskih obilježja, ali sadrži veći broj viših zgrada unutar blokova [4].



Slika 9.: Ekstremi u visini izgradnje [4]

### 3.3. Današnje stanje blokova zgrada

Dugotrajna nedovoljna briga o zaštićenoj povijesnoj cjelini središta grada rezultirala je zapuštenim stanjem građevinskih objekata. Mnoge su zgrade zanemarene, neodržavane i s neiskorištenim dijelovima. Javlja se problemi kao što su prokišnjavanje potkrovlja, vlaga u podrumima te izloženost zabatnih pročelja atmosferilijama zbog neadekvatne zaštite. Također, značajan broj objekata unutar blokova je napušten ili lošeg građevinskog stanja (primjerice, drvena skladišta i spremišta) [4].

Iako su ulična pročelja često obnovljena, postoji veliki kontrast u odnosu na neuređena pročelja unutar blokova, gdje su posebno problematična zabatna pročelja koja, uz dimnjake, predstavljaju veliku opasnost tijekom potresa. Česte suvremene dogradnje i preinake, često izvedene bez stručnog nadzora, destabiliziraju strukturu zgrada, a povezuju se s trendom prenamjene stanova u apartmane ili poslovne prostore [4].

Općenito, uočava se nedovoljna briga vlasnika (stanara, grada i države) za održavanje zajedničkih prostora, prilaza i dvorišta, koji su, uz stanove i pročelja, važan dio ukupnog gradskog prostora [4]. Na slici 8 može se vidjeti kontrast između obnovljene fasade na pročelju i nezbrinute fasade u dvorišnom dijelu zgrade.



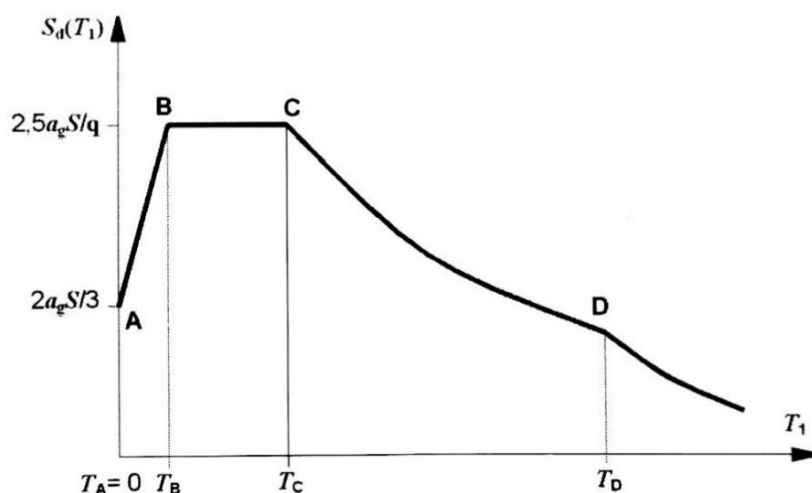
Slika 10.: Obnovljeno pročelje (lijevo) i zanemarena fasada dvorišnog dijela zgrade (desno) na adresi Mihanovićeve 20 [6]



#### 4. SPEKTAR ODZIVA

Riječ "spektar" prvotno je uvedena u znanstvenom kontekstu u području optike kako bi se opisao raspon boja vidljive svjetlosti nakon prolaska kroz prizmu. Drugim riječima, pojam "spektar" podrazumijeva širok raspon stanja ili ponašanja koja se grupiraju i proučavaju zajedno [7].

Konstrukcije se uglavnom opiru silama potresa u nelinearnom području, što bi značilo da promatranje konstrukcije kao da je elastična nije točna pretpostavka. U praksi je, međutim, dovoljno precizno odrediti unutarnje sile na temelju linearnog elastičnog ponašanja konstrukcije, što je znatno jednostavnije od nelinearnog proračuna. Pod djelovanjem većih potresnih sila, period vibracija nije konstantan zbog značajnih promjena u krutosti i disipaciji energije kada konstrukcija doživi oštećenje i počne se ponašati nelinearno. Ove promjene utječu na odziv konstrukcije. Kako bi se izbjegla potreba za složenom nelinearnom dinamičkom analizom, nelinearno ponašanje i disipacija energije mogu se uzeti u obzir kroz jednostavnu linearno elastičnu analizu, koristeći reducirani spektar odziva, poznat kao proračunski spektar  $S_d(T)$  [8].



Slika 11.: Projektirani spektar odziva [8]

$a_g$  – proračunsko horizontalno ubrzanje tla tipa A, u ( $ms^2$ ), ako je referentni period 50 god., a ako je riječ o nekom drugom periodu:  $a_g = \gamma_I \cdot a_{gR}$ , gdje je  $\gamma_I$  faktor važnosti građevine

$q$  – faktor ponašanja, vrijednosti se mogu pronaći u tablici 1

$\beta$  – donji granični faktor za koji se prema HRN EN 1998-1:2011 predlaže vrijednost 0,2

Proračunski spektar se određuje uvođenjem faktora ponašanja, koji predstavlja faktor smanjenja sila. Ovaj faktor opisuje sposobnost konstrukcije da apsorbira i troši energiju unesenu tijekom potresa. Trošenje energije ostvaruje se nelinearnim ponašanjem konstrukcije, odnosno njenim kontroliranim oštećenjem, što se uzima u obzir pri proračunu s proračunskim silama. Faktor ponašanja se računa kao omjer između seizmičkih sila koje bi djelovale na konstrukciju pri elastičnom odzivu (uz viskozno prigušenje od 5%) i proračunskih seizmičkih sila. On obuhvaća nelinearna svojstva materijala, statički sustav i potreban razred duktilnosti, kao i faktor korekcije prigušenja  $\eta$ , ako prigušenje odstupa od 5%. Za standardno viskozno prigušenje od 5%, faktor korekcije prigušenja se uzima kao 1 [8].

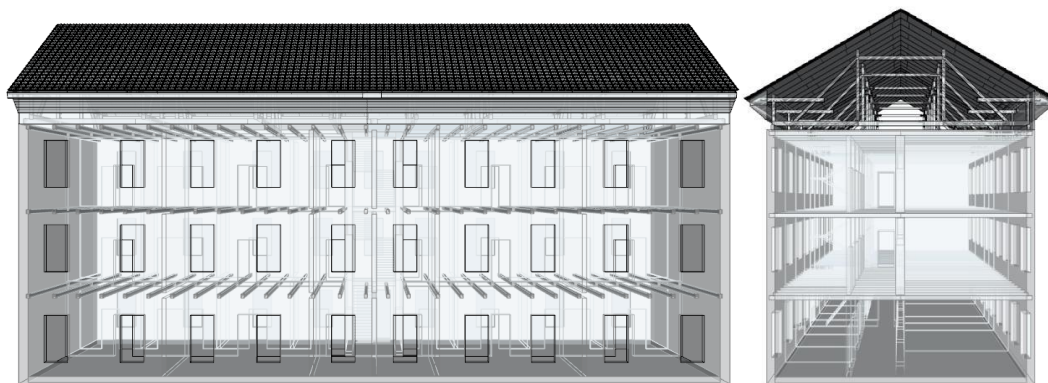
Tablica 2.: Rasponi dopustivih vrijednosti faktora ponašanja  $q$  [8]

Tip konstrukcije	Faktor ponašanja ( $q$ )	Usvojen faktor ponašanja ( $q$ ) prema nacionalnom dodatku HRN EN 1998-1/NA [8.H2]
Nearmirano zide u skladu s normama niza HRN EN 1996 (preporučeno sam za slučajeve male seizmičnosti)	1.5	1.5
Nearmirano zide u skladu s normom HRN EN 1998-1 [8.H1]	1.5 – 2.5	2
Omeđeno zide	2.0 – 3.0	2.5
Armirano zide	2.5 – 3.0	2.5

## 5. NAČIN GRADNJE POČETKOM 20. STOLJEĆA

Sve do druge polovice 20. stoljeća potresno djelovanje nije značajno bio uzimano u obzir pri projektiranju građevina. Razlog tome je bio taj što se u kontinentalnoj Hrvatskoj većina graditeljske prakse i propisa preuzimala od Njemačke i tadašnje Austro-Ugarske koje se ne nalaze u seizmički aktivnim zonama, stoga nisu ni uzimali potres kao moguće djelovanje na građevine. Zgrade iz ovog vremena projektirali su graditelji koji su završili odgovarajuće škole i fakultete. Oni su također dali doprinos u stvaranju propisa i u formiranju ondašnje građevinske prakse u Hrvatskoj [3].

U ovo vrijeme, kao i prije, najveći utjecaj na potresnu otpornost i strukturu konstrukcije imali su primarni građevinski materijali: opeka, kamen, mort i drvo. Postupno se uvodi beton, a u višim stambenim koriste se i čelični profili za grede. Za stropne konstrukcije koristili su se drveni grednici s rastresitom ispunom koja je služila primarno radi toplinske i zvučne izolacije. Stropovi podruma najčešće su činili zidani lukovi i pruski svodovi koji su bili ugrađeni između čeličnih I profila. Zidovi su bili zidani od pune opeke i morta bez horizontalnih i vertikalnih serklaža. Na uzdužne nosive koji su paralelni s ulicom oslanjaju se drveni grednici, a poprečni i zabatni zidovi ne preuzimaju velika vertikalna opterećenja. Zbog toga zgrade u uzdužnom smjeru imaju veću nosivost na horizontalna i vertikalna opterećenja nego u poprečnom smjeru [3].



Slika 12.: Tipična zgrada s početka 20. stoljeća s međukatnom konstrukcijom od drvenog grednika [9]

Gledajući takve konstrukcije iz današnjeg gledišta, nakon gotovo stoljeća iskustva, velikog broja napisanih istražnih radova, eksperimenata, promijenjenih propisa na temu potresa, može se zaključiti kako su one imale značajne nedostatke u smislu potresne otpornosti. Takve konstrukcije imaju dovoljnu vertikalnu nosivost i otpornost na osnovna djelovanja, no ne i na potresna djelovanja.

## 6. SEIZMIČKA AKTIVNOST NA PROSTORU BALKANA

### 6.1. Povijesni pregled razvoja propisa za projektiranje na potresno opterećenje na ovim prostorima [10]

Prije 1945. godine, propisi koji bi uključivali potres kao relevantno opterećenje u projektiranju nisu postojali. Iako su se pri proračunu konstrukcija uzimala u obzir horizontalna opterećenja poput vjetrova, potresno opterećenje se nije posebno razmatralo. U tom razdoblju, potresno opterećenje procjenjivalo se na otprilike 5% mjerodavnog opterećenja, što je bilo nedovoljno za značajniju zaštitu u slučaju jakih potresa.

Nakon Drugog svjetskog rata, u razdoblju od 1946. do 1964., pojavljuju se prvi pokušaji reguliranja potresnog opterećenja. Donosi se "Rješenje o privremenim tehničkim propisima za opterećenje zgrada" koji uvodi pojednostavljene metode uključivanja potresa u proračun konstrukcija. Primjerice, potres je tada smatran horizontalnom silom na vrhu zgrade, što je predstavljalo minimalan napredak u smislu seizmičke otpornosti. Potresno opterećenje u ovom razdoblju povećano je na oko 10% mjerodavnog opterećenja.

Veliki potres u Skopju 1963. godine potaknuo je daljnji razvoj propisa i podignuo svijest o važnosti otpornosti građevina na potres. Razdoblje od 1965. do 1981. obilježeno je donošenjem "Pravilnika o tehničkim propisima za građenje u seizmičkim područjima", što je prvi propis koji detaljnije uređuje potresnu otpornost zgrada. U ovom razdoblju uvodi se i prva potresna karta iz 1964. godine, čime se preciznije definiraju seizmički rizici po regijama. Potresno opterećenje povećano je na 30-50% mjerodavnog opterećenja.

Potres u Crnogorskom primorju 1979. godine dodatno je naglasio važnost potresne otpornosti, što dovodi do novih promjena u razdoblju od 1982. do 1998. U tom razdoblju donosi se "Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju objekata visoke otpornosti u seizmičkim područjima". Ovaj pravilnik uvodi složenije proračune za potresna opterećenja, kao i preliminarne potresne karte iz 1981. i 1988. godine, koje pružaju točniji pregled seizmičkih rizika. Potresno opterećenje ostaje u rasponu od 30-50% mjerodavnog opterećenja.

Od 1998. do 2012. godine traje prijelazno razdoblje prema suvremenim europskim propisima, pri čemu se postupno uvode norme prema ENV standardima (Eurokodovi). U ovom razdoblju raste preciznost proračuna, a potresno opterećenje doseže 75-100% mjerodavnog opterećenja, značajno poboljšavajući otpornost novih građevina na potrese.

Od 2013. godine pa do danas, Hrvatska koristi suvremene europske norme prema Eurokodu 8, koje omogućuju najsloženije proračune otpornosti na potrese. Također, primjenjuju se najnovije potresne karte iz 2013. godine koje precizno prikazuju seizmičke rizike u regiji. U skladu s tim, potresno opterećenje sada iznosi 100% mjerodavnog opterećenja, što predstavlja najviši standard sigurnosti prema europskim normama.

## 6.2. Potres u Zagrebu 2020. godine

Zagreb, glavni grad Hrvatske, smješten je na području gdje se susreću tri važne regionalne tektonske cjeline: Alpe na sjeverozapadu, Panonski bazen na istoku i Dinaridi na jugu. Potresi u ovom području nastaju zbog tektonskih kretanja u gornjoj kori Zemlje, uzrokovanih međudjelovanjem Europske ploče i Jadranske mikroploče. Pritisak i/ili podvlačenje ovih ploča aktivira rasjede u gornjoj kori, koji postaju izvori seizmičke energije.



Slika 13.: Tektonske granice na području Sredozemlja [12]

Prema tome seizmička aktivnost nije neuobičajena za šire zagrebačko područje. Prema izračunima poznatog hrvatskog geofizičara Josipa Mokrovića, Zagreb je između 1502. i 1883. godine pogodio čak 661 potres. Najsnažniji zabilježeni potres u novijoj povijesti Zagreba dogodio se 1880. godine, a njegova je jačina procijenjena na 6,3 stupnja prema makroseizmičkim opažanjima. Po podacima iz tog vremena, Zagreb je imao nešto manje od 30 000 stanovnika i oko 2500 građevina. Ukupno 1400 jedinica bilo je oštećeno ili potpuno uništeno.



Slika 14.: Oštećenja nastala potresom 1880. Godine u Zagrebu [13]

Međutim, potres magnitude 5,5 koji je pogodio Zagreb u nedjelju ujutro 22. ožujka 2020. godine bio je najjači instrumentalno zabilježen seizmički događaj u Zagrebu od 1908. godine, kada je Andrija Mohorovičić postavio prvi seizmograf u gradu [11]. Nedugo zatim, Zagreb je pogodio drugi potres magnitude 5,0. Već prvi snažni potres uzrokovao je znatna oštećenja na većini objekata u središnjem dijelu grada, obuhvaćajući širok spektar građevina - od stambenih jedinica do obrazovnih ustanova, zdravstvenih centara i administrativnih zdanja. Zanimljivo je primijetiti da su građevine projektirane nakon uvođenja obveznih seizmičkih propisa u bivšoj državi 1964. godine uglavnom ostale neoštećene ili su pretrpjele minimalna oštećenja nakon potresa u Zagrebu 2020. godine. Međutim, povijesna jezgra grada, koja obuhvaća Gornji i Donji grad, pretrpjela je značajna oštećenja zbog činjenice da su tamošnje zgrade izgrađene prije uvođenja bilo kakvih propisa vezanih uz potresnu otpornost. Posebno je zabrinjavajuća šteta na objektima od kulturno-povijesnog značaja, uključujući brojne muzeje, sakralne objekte i sveučilišne zgrade. Nažalost, krajem iste godine, Hrvatska je ponovno bila pogođena razornim potresom, ovaj put s epicentrom u Petrinji, gradu udaljenom pedesetak kilometara od Zagreba, čija je magnituda iznosila 6,3. Na već oštećenim zgradama pojavila su se nova oštećenja čiji je uzrok upravo spomenuti potres [14].



Zaštićeno područje povijesne urbane cjeline Zagreba, regulirano Zakonom o zaštiti i očuvanju kulturnih dobara, obuhvaća najstarije i arhitektonski najvrjednije dijelove grada. Ovu staru jezgru karakteriziraju gusto izgrađeni blokovi zgrada, pretežno od kamena i opeke ili njihove kombinacije. Većina građevina odlikuje se masivnim zidovima, zidanim stropnim svodovima ili drvenim stropnim gredama te drvenim krovovima. U ovom području smještene su brojne značajne institucije, uključujući bolnice, škole, poslovne prostore, stambene i vladine zgrade, kulturne ustanove, spomenike, crkve i kapele. Mnoge od ovih građevina zaštićene su kao dio povijesne cjeline ili kao pojedinačni objekti kulturne baštine. Potres je nanio znatnu štetu staroj jezgri Zagreba, pri čemu je oko 72% zgrada pretrpjelo velika oštećenja. Razmjer štete u ovom području gotovo je proporcionalan njegovoj kulturnoj vrijednosti. Prema izvješću Svjetske banke, u obrazovnom sektoru oštećeno je 106 zgrada za predškolsko obrazovanje, 214 zgrada osnovnih i srednjih škola te obrazovnih centara, 12 učeničkih domova, 152 zgrade u sektoru visokog obrazovanja, kao i 29 istraživačkih instituta. Ukupna procijenjena šteta i gubici u obrazovnom sektoru iznose oko 1,8 milijardi eura, od čega se 97,9% odnosi na Grad Zagreb [14].



Slika 15.: Oštećenja nakon potresa 2020. Godine u zagrebu [15]

U 2020. godini svijet je pogodio nekoliko razornih potresa koji su ostavili za sobom tragične posljedice. Ovi seizmički događaji rezultirali su gubitkom ljudskih života, uništavanjem građevina te značajnim oštećenjima infrastrukture, uz znatne ekonomske štete. Među najznačajnijim potresima ističu se oni magnitude 7,0 u Egejskom moru na granici Turske i Grčke, magnitude 6,7 u Elazigu na istoku Turske, te potresi magnitude 5,5 i 6,4 koji su pogodili Hrvatsku [14].

### 6.3. Brzi pregledi građevinskih objekata

Nakon potresnog događaja nužno je što prije obaviti pregled oštećenih građevina kako bi se zaštitili ljudski životi i sačuvala imovina. Građevine kritične infrastrukture čiji privremeni zastoj ili oštećenje direktno ili indirektno ugrožavaju ljude poput bolnica i ostalih hitnih službi, hidroenergetskih zgrada i ostalih imaju prioritet pri vršenju pregleda. Isto tako bitno je osigurati normalno funkcioniranje grada nakon potresa pregledom mostova i nadvožnjaka kako ne bi došlo do prometnog kolapsa. Reakcija inženjera, stručnjaka i obučenog osoblja koje provodi inicijalne preglede mora biti što brža kako bi se utvrdilo koje su zgrade sigurne za korištenje, a koje nisu, te kako bi se odredio broj osoba koje treba privremeno zbrinuti. Obrazac za pregled građevina nakon seizmičkih aktivnosti razvijen je adaptacijom talijanskih modela. Važno je napomenuti da je ovaj obrazac inicijalno osmišljen 2014. godine kao temelj za daljnju razradu i službeno usvajanje. Njegova primjena tijekom potresa u Zagrebu bila je nužna zbog nedostatka alternativnih rješenja prikladnih za krizne situacije. Iskustva s terena o specifičnim oštećenjima dovela su do razvoja mobilne aplikacije za provođenje pregleda zgrada, koja je bazirana na prilagođenoj verziji ovog obrasca. Ovaj alat je dizajniran za brze i detaljne inspekcije različitih vrsta i veličina zgrada. Prvenstveno je namijenjen procjeni zidanih i armiranobetonskih konstrukcija, ali njegova fleksibilnost omogućuje primjenu i na druge tipove gradnje, uključujući čelične konstrukcije i zgrade s kombiniranim nosivim sustavima [16]. Pregled podrazumijeva procjenu uporabivosti građevine, odnosno ocjenjuje se sposobnost građevine da zadovolji uvjete nosivosti s obzirom na oštećenja koja su nastala uslijed potresa [17]. Na kraju brzog pregleda i ispunjavanja obrasca, građevinama su bile dodijeljene naljepnice s oznakom jedne od 6 kategorija uporabivosti u koju je svrstana. Naljepnice se mogu vidjeti na slici 16.



Slika 16.: Oznake kategorije uporabivosti građevina [16]

Slijedi opis kategorija uporabivosti [16]:

**N1:** Neuporabljivo – zbog vanjskih utjecaja

Objekt je klasificiran kao opasan za boravak zbog potencijalnog urušavanja masivnih elemenata susjednih građevina, poput zabatnih zidova ili velikih dimnjaka. S obzirom na učestale potrese, preporučuje se izbjegavanje zadržavanja u takvim objektima radi sigurnosti stanara.

**N2:** Neuporabljivo – zbog oštećenja



Građevina je pretrpjela značajna oštećenja nosive konstrukcije, uključujući urušavanje nosivih i nenosivih dijelova. Savjetuje se izbjegavanje ulaska i boravka u objektu. Važno je napomenuti da ova klasifikacija ne podrazumijeva nužno rušenje zgrade, već se takve odluke donose u kasnijim fazama procjene.

**PN1:** Privremeno neuporabljivo – potreban detaljan pregled

Objekt pokazuje umjerena oštećenja bez neposredne opasnosti od urušavanja, ali je nosivost djelomično kompromitirana. Boravak u zgradi se ne preporučuje, a eventualni ulazak je na vlastitu odgovornost stanara. Kratkotrajan boravak može biti dozvoljen uz savjete građevinskog stručnjaka o neophodnim mjerama opreza i ograničenjima kretanja.

**PN2:** Privremeno neuporabljivo – potrebne mjere hitne intervencije

Zgrada ima umjerena oštećenja bez rizika od potpunog urušavanja, ali nije sigurna za upotrebu zbog mogućeg pada pojedinih elemenata. Stručnjak za građevinu određuje hitne intervencije i daje upute stanarima. Privremena neuporabljivost može se odnositi na specifične dijelove zgrade, poput potkrovlja ili pojedinih katova.

**U1:** Uporabljivo bez ograničenja

Objekt je siguran za upotrebu. Nema oštećenja ili su ona minimalna i ne predstavljaju opasnost za nosivost i funkcionalnost zgrade.

**U2:** Uporabljivo s preporukom o postupanju

Zgrada se može koristiti sukladno svojoj namjeni, uz iznimku određenih dijelova gdje postoji neposredna opasnost. Građevinski stručnjak pruža smjernice za otklanjanje rizika (npr. nestabilnih dimnjaka) i savjetuje stanare o privremenim ograničenjima kretanja u pojedinim zonama. Nakon provedbe sigurnosnih mjera, objekt se može u potpunosti koristiti.

## 7. MIHANOVIĆEVA 20

Zgrada na uglu Kumičićeve i Mihanovićeve 20 dovršena je 1911. godine, a investitor je bio Hrvatska banka za promet nekretninama. Napravljena je prema idejnom projektu Huga Ehrlicha i izvedbenom projektu Viktora Kovačića i dio je kulturno povijesne cjeline grada Zagreba. Riječ je o trokatnici s kosim jednostrešnim krovom prema ulici i ravnim krovom prema dvorištu. Pročelje zgrade oblikovano je u duhu suzdržanog neoklasicizma, s plitkim reljefnim motivima koji vizualno raščlanjuju fasadu.

Zgrada je izvedena kao uglovnica bloka 96 kojeg omeđuje Trg kralja Petra Svačića sa sjeverne strane, Ulica Eugena Kumičića sa zapadne strane, Haulikova ulica sa istočne strane i Mihanovićeva ulica sa južne strane.

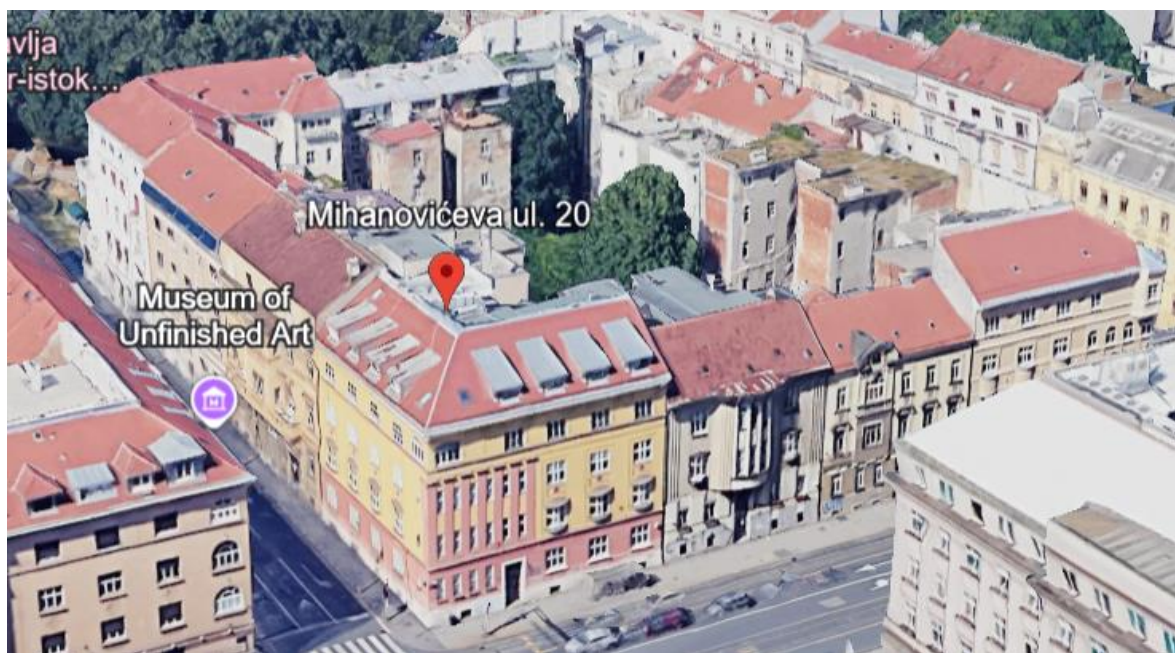


Slika 17.: Lokacija bloka 96 i zgrade na adresi Mihanovićeva 20 [18]





Slika 18.: Pročelje zgrade [18]



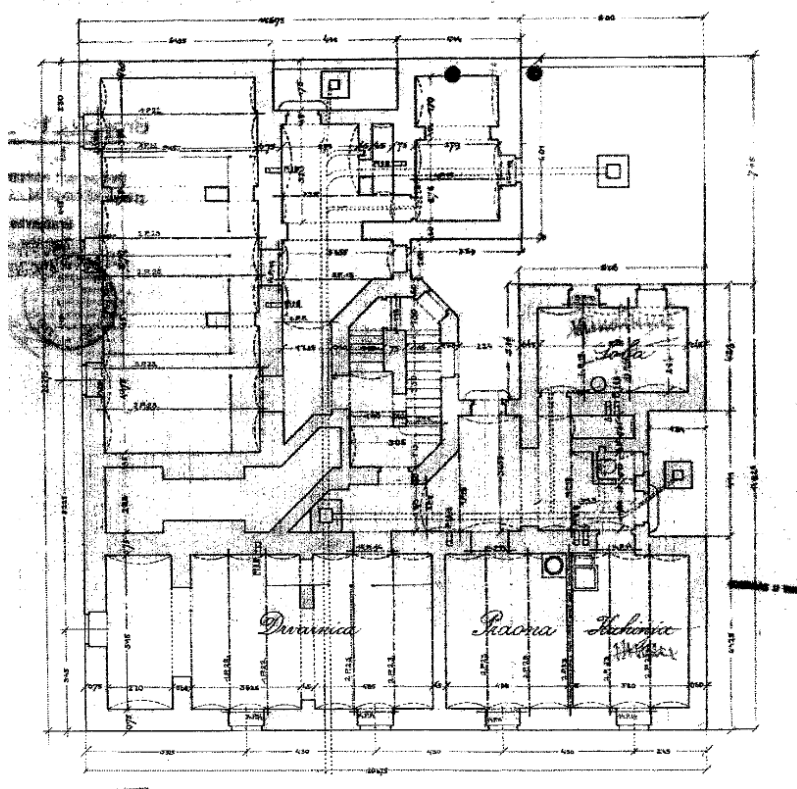
Slika 19.: Pročelje zgrade [18]

## 8. TEHNIČKI OPIS

Što se tiče etaža, zgrada sadrži podrum, prizemlje, 3 kata i potkrovlje. Ukupna visina do sljemena iznosi 23,7 metara s tim da je visina svake etaže 3,9 m, osim podruma koji je visok 3,15 m. Tlocrtna površina svake etaže iznosi 382 m<sup>2</sup>, što je ukupno 1910 m<sup>2</sup> za cijelu zgradu. Raspored nosivih zidova je pravilan po visini, a debljina zidova progresivno se smanjuje prema višim etažama. Tlocrtna pravilnost nije zadovoljena. Informacije o temeljima nisu dostupne.

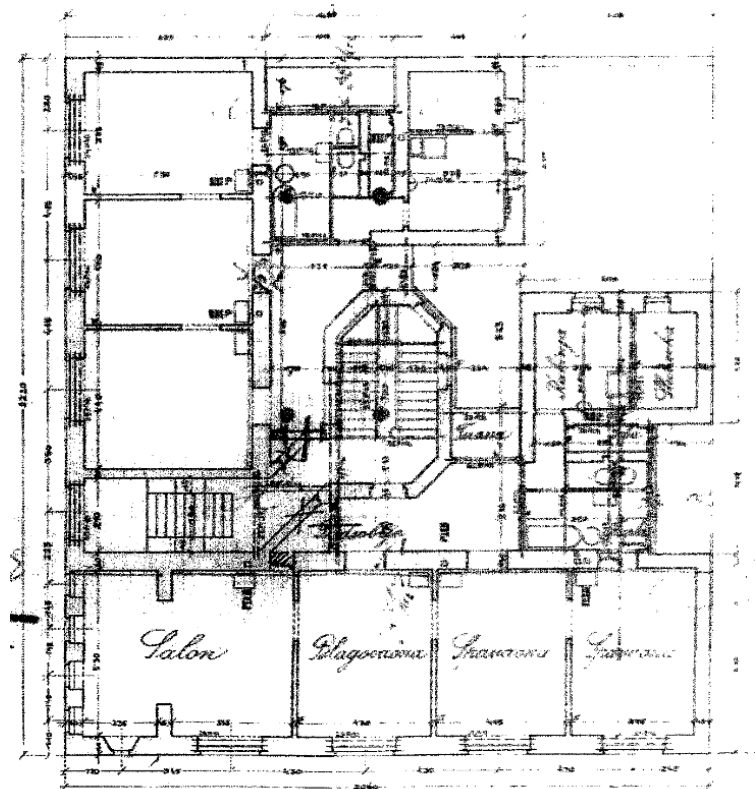
Materijali koji su se koristili pri gradnji su opeka i mort za zidove, nearmirani beton za grede, stropne ploče prizemlja i podove zahoda i drvo za većinu stropnih ploča. Ovi materijali spadaju u tipična gradiva koja su se koristila početkom 20. stoljeća od kad ova zgrada datira. Zide je neomeđeno, odnosno, nisu izvedeni horizontalni ni vertikalni serklaži što znatno utječe na smanjenu otpornost na potres. Konstrukcija se sastoji od sustava međusobno povezanih zidova od pune opeke, koji se u neprekinutom nizu protežu od temelja do krova. Pregradni zidovi također su izvedeni od pune opeke i njihova debljina iznosi 12 cm.

Zidovi pročelja podruma debljine su 75 cm, a zabatni zidovi su neposredno uz susjedne zgrade prema sjeveru i istoku i imaju debljinu 60 cm. Stropna konstrukcija je pruski svod ugrađen između čeličnih I profila (IPE180), a iznad njih je betonska ploča debljine 15 cm. Kosi zidovi koji vode do otvora za stubište nisu uzeti u obzir u modelu, a sam otvor je modeliran kao pravokutni.



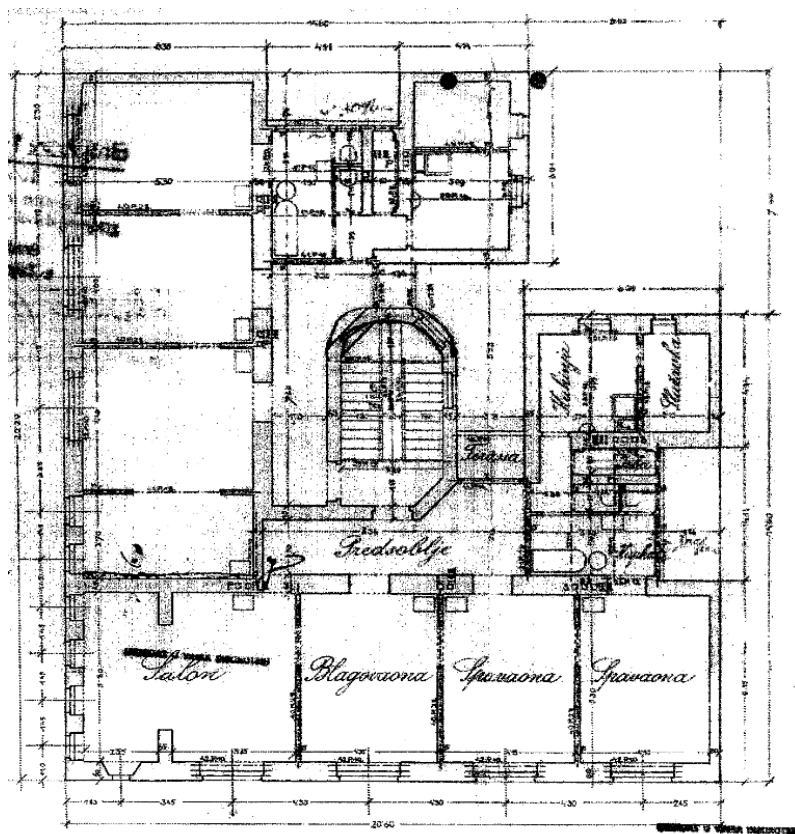
Slika 20.: Tlocrt podruma

Pročelni zidovi prizemlja debljine su 60 cm, a zabatni zidovi uz susjedne objekte 50 cm. Kosi zidovi koji vode do stubišta i ovdje su zanemareni jer se očekuje neznatni utjecaj na rezultate i kako bi se pojednostavila izrada modela. Salon, blagovaonica i spavaone odijeljeni su pregradnim zidovima debljine 12 cm. Stropnu konstrukciju u prizemlju čine drveni grednici, osim u kuhinji gdje je pretpostavljena betonska ploča debljine 15 cm.

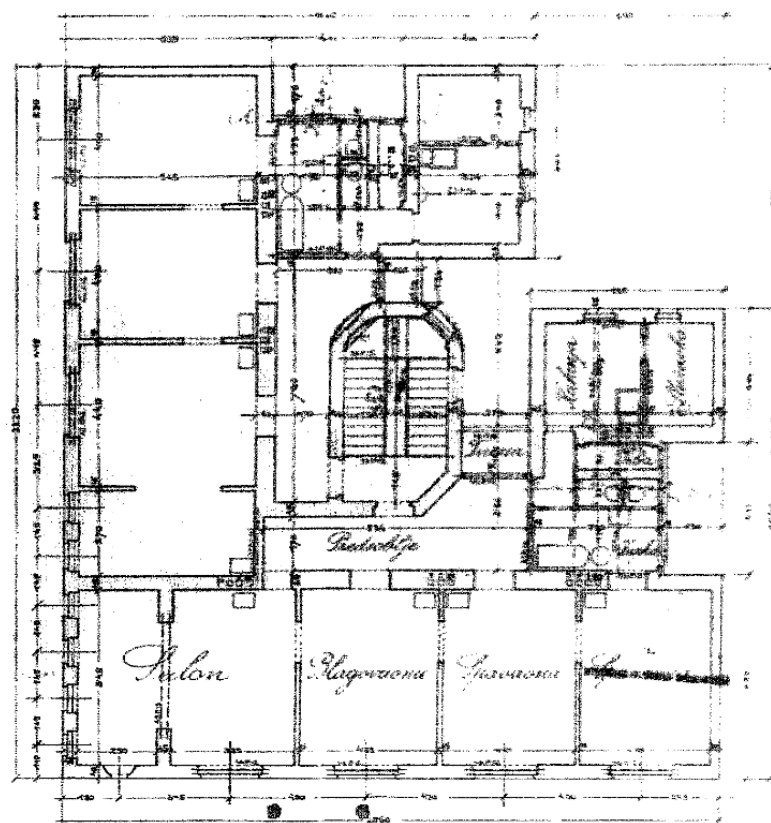


Slika 21.: Tlocrt prizemlja

Prvi i drugi kat su u tlocrtu i razmješčaju prostorija jednaki, samo su debljine nekih zidova različite. Na prvom katu, debljina pročelnih zidova iznosi 60 cm, a na drugom katu 45 cm. Stropnu konstrukciju sačinjavaju drveni grednici, a u kuhinji je također betonska ploča kao i u prizemlju.

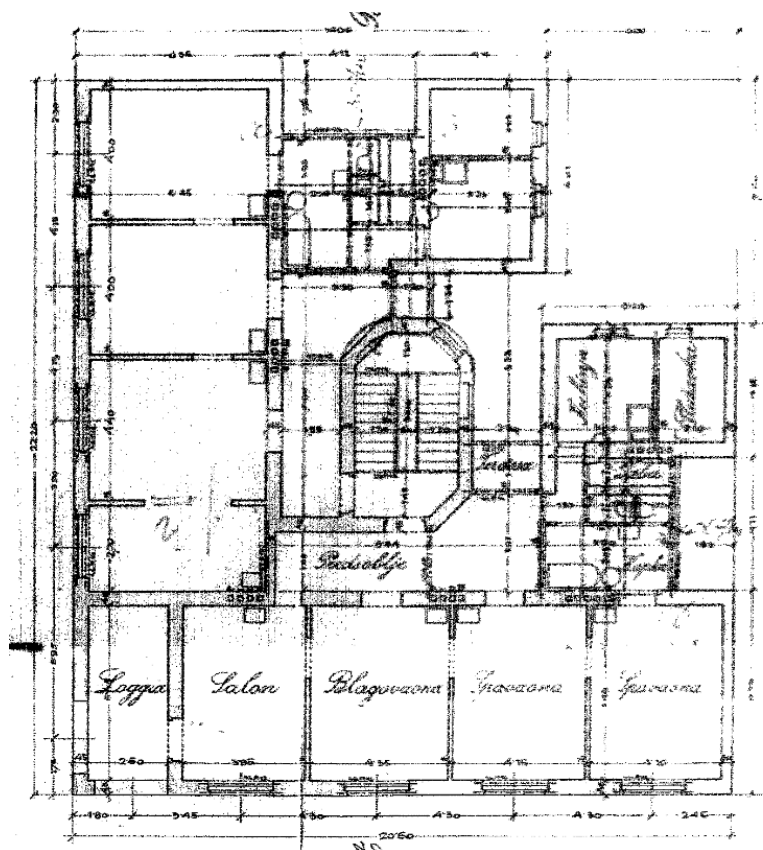


Slika 22.: Tlocrt 1. kata



Slika 23.: Tlocrt 2. kata

Na trećem katu, nosivi zidovi su najtanji zato jer je i vertikalno opterećenje najmanje. Nosivi i pregradni zidovi slijede isti raspored kao i na tlocrtima 1. i 2. kata te prizemlja. Iznad se nalazi potkrovlje, a jednostrešan krov nije modeliran, već je samo uzeto u obzir njegovo opterećenje.



Slika 24.: Tlocrt 3. kata

### 8.1. Ocjena brzog pregleda zgrade nakon potresa

Dan nakon razornog potresa u Zagrebu, točnije 23.3.2020., građevinski inženjeri obavili su brzi pregled građevine izvana i iznutra u cilju utvrđivanja stupnja oštećenja i ocjene uporabljivosti iste. Pritom su ispunili standardizirani obrazac temeljem kojeg se može vidjeti kako je zgrada prije potresa bila redovno održavana, pa su zato i oštećenja bila relativno mala. Opasnosti od vanjskih utjecaja poput rušenja ili otpadanja dijelova s drugih konstrukcija nije bilo. Oštećenja nekonstrukcijskih elemenata poput međukatnih konstrukcija, stubišta, krovništa i pregrada bilo je vrlo malo odnosno nezatno. Slična situacija je i što se tiče nekonstruktivnih elemenata. U



to spada odvajane žbuke, otpadanje dijelova crijepova i dimnjaka, dijelova vijenca i parapeta i ostalo. Spomenuta oštećenja opisana su kao blaga. Teškog oštećenja kanalizacije, vodovodne, električne i plinske mreže nije bilo. Konačno, nakon pregleda, zgrada je dobila zelenu naljepnicu šta označava da je zgrada uporabljiva.

Grad Zagreb		Ured za upravljanje u hitnim situacijama					
<b>Obrazac za pregled građevina u hitnoj situaciji nakon potresa</b>							
Ocjena oštećenja i uporabljivosti							
<b>A Podaci o pregledu i radnoj skupini</b>							
Gradska četvrt:	Mjesni odbor:	Broj obrascu:					
Voditelj radne skupine:							
<b>B Identifikacija građevine</b>							
Oznaka građevine:	GPS koordinate:	Adresa: Ulica/Avenija/Aleja/Prilaz/Trg/Stub:					
Naziv građevine i/ili ime i prezime vlasnika: MIHANDVIĆEVA 20							
Vlasništvo: <input type="radio"/> Javno <input checked="" type="radio"/> Privatno							
Položaj: <input type="radio"/> Samostojeća građevina <input type="radio"/> Građevina unutar niza <input type="radio"/> Građevina na kraju niza <input type="radio"/> Građevina na uglu							
Morfološka terena: <input checked="" type="radio"/> Greben <input type="radio"/> Jaki nagib <input type="radio"/> Blagi nagib <input checked="" type="radio"/> Ravnica							
Preciznost pregleda: <input checked="" type="radio"/> Pregled izvana / 12.07.2018 <input type="radio"/> Djelomični pregled <input type="radio"/> Sveobuhvatni pregled							
Skica tlocrta građevine s položajem unutar bloka:							
<b>E Krovovište</b>							
<input checked="" type="radio"/> Teško/s potiskom <input type="radio"/> Teško/bez potiska <input checked="" type="radio"/> Lagano/s potiskom <input type="radio"/> Lagano/bez potiska							
<b>F Tip konstrukcije</b>							
AB i čelične konstrukcije		Konstrukcija					
<input type="radio"/> AB okvir <input type="radio"/> AB zidovi <input type="radio"/> Čelični okvir		<input type="radio"/> Ispunjena <input type="radio"/> Neispunjena					
1 Pravilnost u doctru	<input type="radio"/> Pravilna <input checked="" type="radio"/> Nepravilna	<input type="radio"/> Pravilna <input checked="" type="radio"/> Nepravilna	<input type="radio"/> Pravilna <input checked="" type="radio"/> Nepravilna				
2 Pravilnost po visini	<input type="radio"/> Pravilna <input checked="" type="radio"/> Nepravilna	<input type="radio"/> Pravilna <input checked="" type="radio"/> Nepravilna	<input type="radio"/> Pravilna <input checked="" type="radio"/> Nepravilna				
<b>Zidane konstrukcije</b>							
Horizontalni konstrukcijski elementi	Nepoznati	Nepravilno i nekvatitetno zide		Pravilno i kvalitetno zide			
		S veznim gredama ili zatagama	Bez veznih greda ili zatagama	S veznim gredama ili zatagama	Bez veznih greda ili zatagama		
1	Nepoznati	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>		
2	Svodovi bez zataga	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>		
3	Svodovi sa zatagama	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>		
4	Grede s fleksibilnim stropom	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>		
5	Grede s djelomično krutim stropom	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>		
6	Grede s krutim stropom	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>		
Mješoviti konstrukcijski sustav				<input type="radio"/> Po visini <input type="radio"/> Unutar tlocrta	Samostojeći stupovi	<input type="radio"/> Da <input type="radio"/> Ne	
<b>G Oštećenja konstrukcijskih elemenata</b>							
Dio konstrukcije	TESKO - VRLO TESKO		BLAGO - UMIJERENO		NEZNATNO		NEMA
	< 65%	65 - 80%	> 80%	< 65%	65 - 85%	> 85%	
1	Vertikalni elementi	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>
2	Medukratne konstrukcije	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>
3	Stubišta	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>
4	Krovovišta	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>
5	Ispune/pregrade	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>
6	Temelji	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>
Oštećenja nastala prije potresa							
<b>H Oštećenja nekonstrukcijskih elemenata</b>							
Tip oštećenja		VRLO TESKO	UMIJERENO - TESKO	BLAGO	NEZNATNO		
1	Odvajanje žbuke, dijelova obloge i spuštenih stropova	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>
2	Otpadanje dijelova crijepa i dimnjaka	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>
3	Otpadanje dijelova vijenca i parapeta	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>
4	Otpadanje drugih unutarnjih ili vanjskih dijelova građevine	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>
5	Oštećenje vodovodne mreže, kanalizacije ili sustava grijanja	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>
6	Oštećenje električne ili plinske mreže	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>
<b>I Sažetak i ocjena uporabljivosti</b>							
Procjena rizika	Uzrok	Visoki rizik	Umjereni rizik ili niski rizik uz mjere hitne intervencije	Niski rizik			
	Konstrukcijski elementi	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>			
	Nekonstrukcijski elementi	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>			
	Vanjski utjecaji	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>			
Uporabljivost	<input type="radio"/> NEUPORABLJIVA građevina zbog VANJSKIH UTJECAJA	<input type="radio"/> NEUPORABLJIVA građevina	<input type="radio"/> NEUPORABLJIVA građevina za DETALJAN PREGLED	<input checked="" type="radio"/> UPORABLJIVA građevina			
	<input type="radio"/> NEUPORABLJIVA građevina	<input type="radio"/> NEUPORABLJIVA građevina	<input type="radio"/> NEUPORABLJIVA građevina, ali uz mjere hitne intervencije	<input type="radio"/> UPORABLJIVA građevina			
Broj ljudi koje treba evakuirati i privremeno zbrinuti							
<b>J Prijedlog privremenih mjera hitne intervencije koje su ograničene (a) ili opsežne (b)</b>							
(a)	(b)	Predložene mjere	(a)	(b)	Predložene mjere		
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Učvršćenje elemenata primjenom čeličnih žica ili čeličnih profila i poc. ili karbonskih vlakana	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Uklanjanje ostalih vanjskih i unutarnjih elemenata		
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Popravlak blagih oštećenja ispunja i pregrada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Popravlak instalacija		
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Popravlak krovovišta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Zaštita prilaznog puta		
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Podupiranje izvana	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Zabrana prilaza građevini pomoću ograde		
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Podupiranje iznutra	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Monitoring građevine		
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Podupiranje stepeništa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Dodatni specijalistički pregled		
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Uklanjanje žbuke, obloge i spuštenih stropova	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Ostalo*		
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Uklanjanje elemenata krova: crijepa, dimnjaka, parapeta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Uklanjanje elemenata fasade: vijenca, parapeta, otoka	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
<b>K Ostala opažanja i napomene</b>							

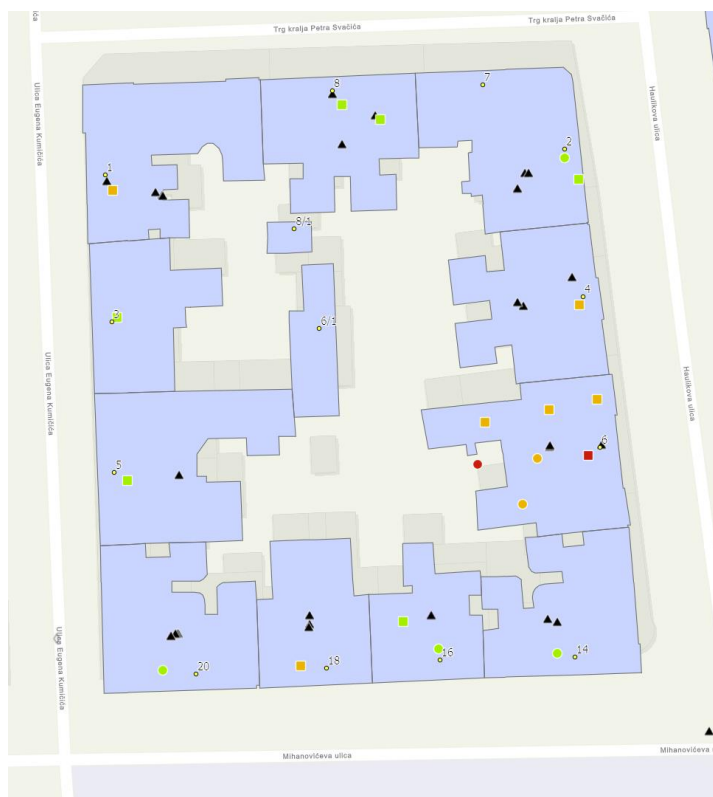
Slika 25.: Popunjeni obrasci za brzi pregled za predmetnu, stranice 2/3

<b>I Sažetak i ocjena uporabljivosti</b>							
Procjena rizika	Uzrok	Visoki rizik	Umjereni rizik ili niski rizik uz mjere hitne intervencije	Niski rizik			
	Konstrukcijski elementi	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>			
	Nekonstrukcijski elementi	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>			
	Vanjski utjecaji	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>			
Uporabljivost	<input type="radio"/> NEUPORABLJIVA građevina zbog VANJSKIH UTJECAJA	<input type="radio"/> NEUPORABLJIVA građevina	<input type="radio"/> NEUPORABLJIVA građevina za DETALJAN PREGLED	<input checked="" type="radio"/> UPORABLJIVA građevina			
	<input type="radio"/> NEUPORABLJIVA građevina	<input type="radio"/> NEUPORABLJIVA građevina	<input type="radio"/> NEUPORABLJIVA građevina, ali uz mjere hitne intervencije	<input type="radio"/> UPORABLJIVA građevina			
Broj ljudi koje treba evakuirati i privremeno zbrinuti							
<b>J Prijedlog privremenih mjera hitne intervencije koje su ograničene (a) ili opsežne (b)</b>							
(a)	(b)	Predložene mjere	(a)	(b)	Predložene mjere		
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Učvršćenje elemenata primjenom čeličnih žica ili čeličnih profila i poc. ili karbonskih vlakana	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Uklanjanje ostalih vanjskih i unutarnjih elemenata		
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Popravlak blagih oštećenja ispunja i pregrada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Popravlak instalacija		
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Popravlak krovovišta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Zaštita prilaznog puta		
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Podupiranje izvana	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Zabrana prilaza građevini pomoću ograde		
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Podupiranje iznutra	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Monitoring građevine		
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Podupiranje stepeništa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Dodatni specijalistički pregled		
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Uklanjanje žbuke, obloge i spuštenih stropova	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Ostalo*		
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Uklanjanje elemenata krova: crijepa, dimnjaka, parapeta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Uklanjanje elemenata fasade: vijenca, parapeta, otoka	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
<b>K Ostala opažanja i napomene</b>							

Slika 26.: Popunjeni obrasci za brzi pregled za predmetnu, stranica 3/3



Na slikama ispod prikazane su kategorije uporabivosti ostalih zgrada iz bloka 96 nakon potresa u Zagrebu.



Slika 27.: Tlocrtni prikaz kategorije uporabivosti nakon potresa za zgrade u bloku 96

[19]



Slika 28: 3D prikaz kategorije uporabivosti nakon potresa za zgrade u bloku 96 [19]

## 9. ANALIZA OPTEREĆENJA

### 9.1. Stalno opterećenje

#### 9.1.1. Ploča podruma i kuhinje

Tablica 3.: Stalno opterećenje za ploče podruma i kuhinje

Element	Debljina sloja [cm]	Jedinična težina materijala	Opterećenje [ $kN/m^2$ ]
Pregradni zidovi	-	-	1
Keramičke pločice	1,5	22	0,33
Estrih	4	21	0,84
Toplinska izolacija	5	5	0,25
AB ploča	15	25	3,75
<b>Ukupno</b>			<b>6,17</b>

#### 9.1.2. Ploča prizemlja, prvog, drugog i trećeg kata

Tablica 4.: Stalno opterećenje za ploče prizemlja, prvog drugog i trećeg kata

Element	Debljina sloja [cm]	Jedinična težina materijala	Opterećenje [ $kN/m^2$ ]
Pregradni zidovi	-	-	1
Keramičke pločice	1,5	22	0,33
Daščana oplata	2,4	8	0,19
Nasip	6,2	16	0,99
Daščana oplata	2,4	8	0,19
Grednici 12/24	24	8	0,23
Podgled	4	21	0,84
<b>Ukupno</b>			<b>3,77</b>

### 9.1.3. Stubište

Tablica 5.: Stalno opterećenje za stubište

Element	Formula	Formula	Opterećenje [kN/m <sup>2</sup> ]
Keramika na nagaznoj površini	$d_k(a_n/a)\gamma_k$	$0,02 \cdot (0,3/0,25) \cdot 23$	0,55
Keramika vertikalne gazišta	$d_k(b_v/a)\gamma_k$	$0,02 \cdot (0,1/0,25) \cdot 27$	0,18
Estrih na nagaznoj površini	$d_M\gamma_M$	$0,03 \cdot 21$	0,63
Žbuka vertikalne gazišta	$d_M(b/a)\gamma_M$	$0,02 \cdot (0,15/0,25) \cdot 21$	0,25
Stube	$(b/2)\gamma_M$	$(0,15/2) \cdot 25$	1,88
AB ploča 15 cm	$h(\gamma/\cos \alpha)$	$(0,15 \cdot 25)/\cos 30^\circ$	4,33
<b>Ukupno</b>			<b>7,82</b>

Stubište je modeliramo samo s podestima, a utjecaj krakova uzet je u obzir preko linijskog opterećenja koje je nanoseno na rubu grede podesta u sljedećim iznosima:

Dulcina kraka stubišta na svim etažama je  $L=3,00m$ :

$$R_{ST,g}=g \cdot L_{ST}/2=(7,82 \cdot 3,00)/2=11,73kN/m'$$

$$R_{ST,q}=q \cdot L_{ST}/2=(3 \cdot 3,00)/2=4,50kN/m'$$

### 9.1.4. Podest

Tablica 6.: Stalno opterećenje za podest

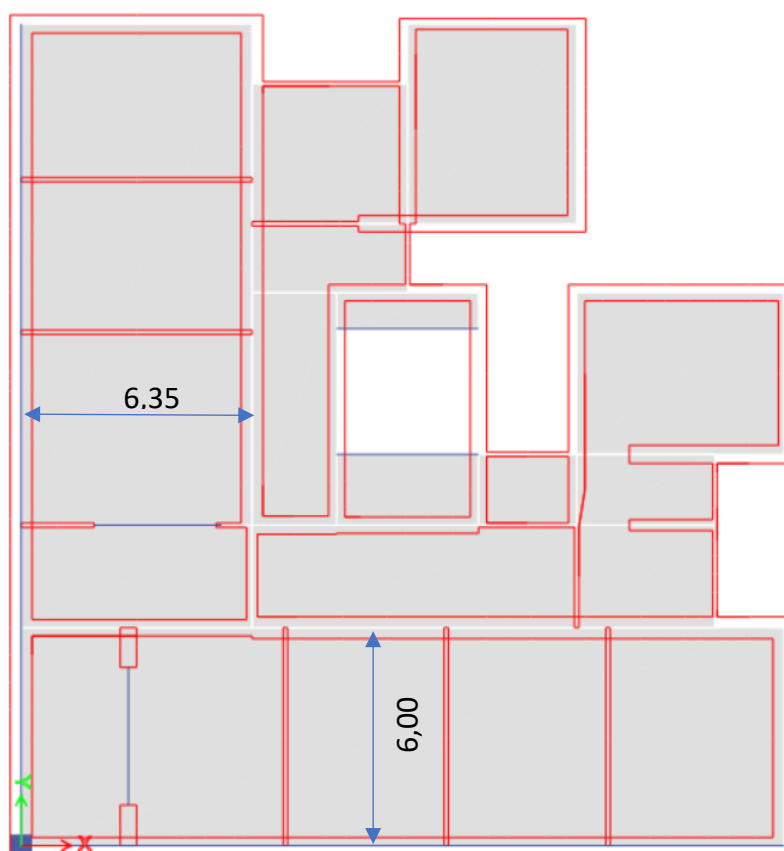
Element	Debljina sloja [cm]	Jedinična težina materijala	Opterećenje [kN/m <sup>2</sup> ]
Keramičke pločice	1,5	22	0,33
Estrih	4	21	0,84
AB ploča	15	25	3,75
Podgled	4	21	0,84
<b>Ukupno</b>			<b>5,76</b>

## 9.1.5. Krovište

Tablica 7.: Stalno opterećenje od krovišta

Element	Jedinična težina materijala	Opterećenje [ $kN/m^2$ ]
Glineni crijep	19	0,50
Drveni profili 20/20	8	0,24
Ostalo stalno	-	0,01
<b>Ukupno</b>		<b>0,75</b>

Opterećenje od krovišta modeliramo kao linijsko opterećenje po zidanoj gredi koja se postavlja na zadnjem katu kao vijenac samo po južnoj i zapadnoj strani zgrade jer je krov jednostrešan. Kako bi dobili linijsko opterećenje, ukupno stalno opterećenje množimo sa dužinom krova (skica)



Krovište prema jugu:

$$R_{\text{krovišta},g} = g \cdot L_{ST} = (0,75 \cdot 6,00) = 4,5 \text{ kN/m'}$$

Krovište prema zapadu:

$$R_{\text{krovišta},g} = g \cdot L_{ST} = (0,75 \cdot 6,35) = 4,76 \text{ kN/m'}$$

## 9.2. Uporabno opterećenje

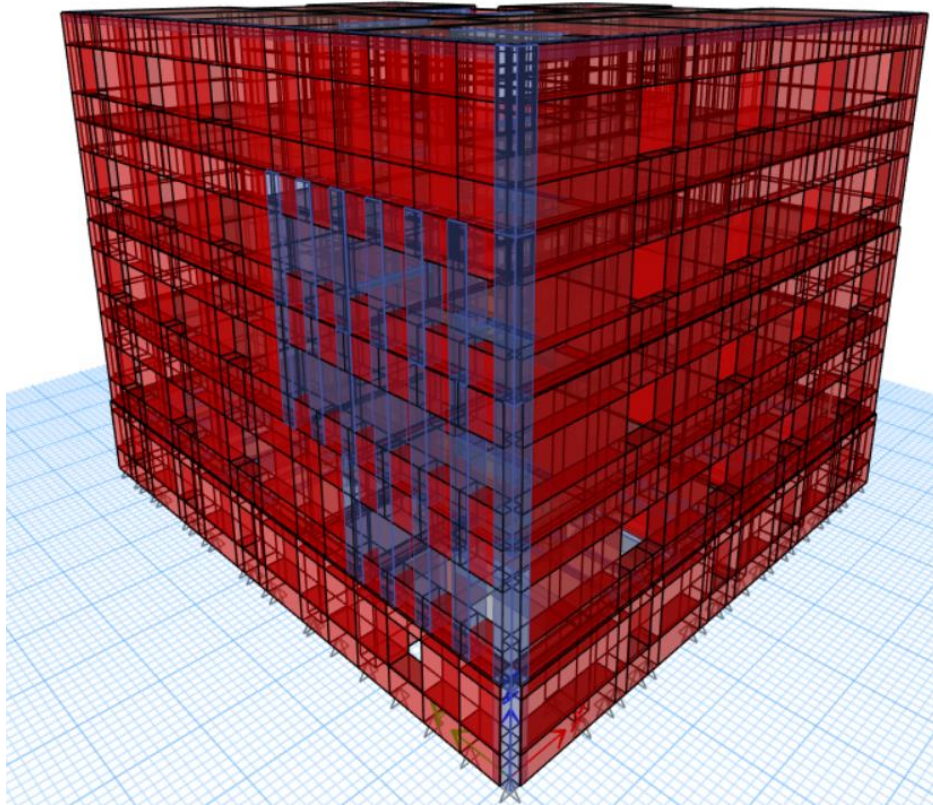
Tablica 8.: Uporabno opterećenje (prema HRN EN 1991-2-1)

Uporabno opterećenje (prema HRN EN 1991-2-1)		
A kategorija	Prostori za stanovanje i kućne djelatnosti	2,00 kN/m <sup>2</sup>
	Nestambeno potkrovlje	1,50 kN/m <sup>2</sup>
S kategorija	Stubište, Podest	3.00 kN/m <sup>2</sup>
P kategorija	Balkoni	0.60kN/m <sup>2</sup>

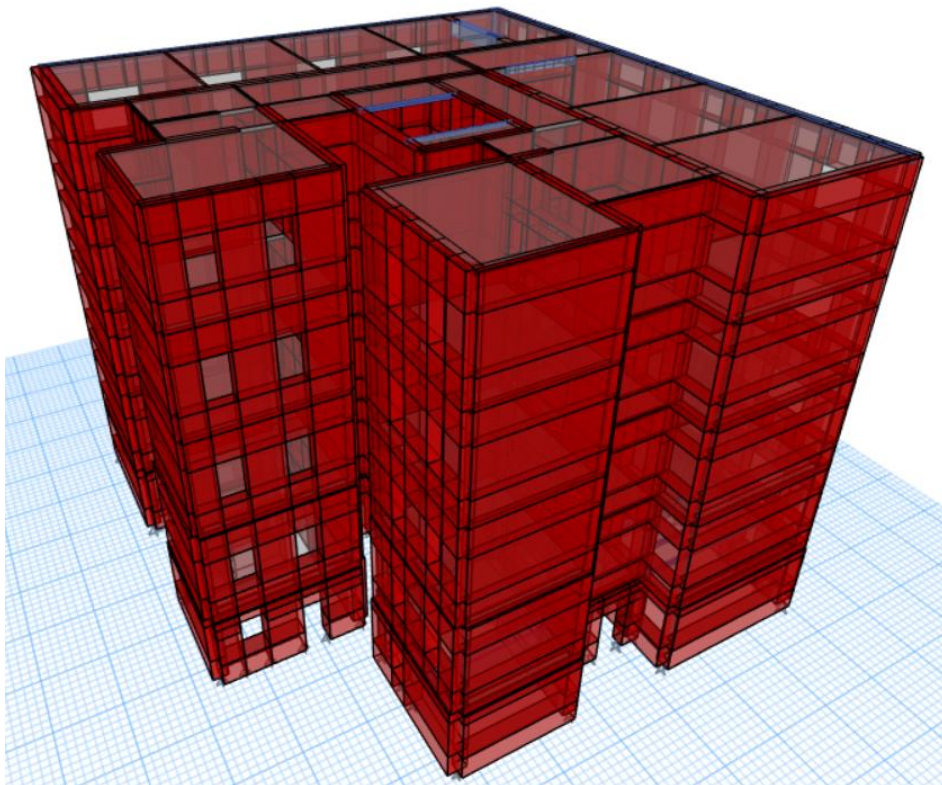
## 10. NUMERIČKI MODEL ZGRADE

Za izradu numeričkog modela konstrukcije korišten je programski paket ETABS. Glavna ideja je izraditi model koji što bolje opisuje realnu konstrukciju kako bismo ispitali njeno ponašanje prilikom djelovanja potresa. Geometrija modela oblikovana je na temelju dobivenih nacрта. Obzirom na lošiju kvalitetu i vidljivost dokumenata, neke dimenzije su pretpostavljene.

Zidovi i stropovi modelirani su kao plošni elementi (*shell thin*), a stupovi, grede i mali isječci zidova između prozora modelirani su kao linijski elementi (*frames*). Svi zidovi su izvedeni od ziđa, a karakteristike materijala su sljedeći: Youngov modul elastičnosti  $E = 1500 \text{ MPa}$ , modul posmika  $G = 500 \text{ MPa}$ , Zapremninska težina  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ . Otvori za vrata i prozore na zidovima modelirani su u skladu s nacrtima, osim na pregradnim zidovima gdje su izostavljeni zbog malog utjecaja na rezultate i radi pojednostavljenja modela. Na samom dnu konstrukcije postavljeni su fiksni ležajevi koji predstavljaju temelje. Čelični nosači između pruskih svodova u podrumu modelirani su kao linijski elementi pretpostavljenog profila IPE180. Za potrebe nanošenja linijskog opterećenja od stubišta, na kraju podesta izvedeni su IPE120 čelični profili na koje je nanoseno opterećenje od stubišta. Krovšte se nije modeliralo, već je njegova težina uzeta u obzir kao linijsko opterećenje na zidanu gredu 30/30 cm koja je izvedena na posljednjem katu zgrade na vrhu zidova pročelja. Dodatno stalno opterećenje, kao i uporabno, dodijeljeni su stropnim pločama kao površinsko opterećenje (*shell load*). Visina greda pretpostavljena je na način da se na iznose širina greda, koji se mogu očitati iz tlocrta, doda maksimalno 10 cm obzirom da te dimenzije nisu vidljive iz nacрта presjeka zgrade. Klasa betona koji se koristio za modeliranje greda i ploča je C12/15. Međukatne konstrukcije su na svim katovima izvedene kao ploče debljine 10 cm, osim u podrumu gdje njezina debljina iznosi 15 cm.



Slika 29.: Trodimenzionalni prikaz konstrukcije (pogled 1)



Slika 30.: Trodimenzionalni prikaz konstrukcije (pogled 2)



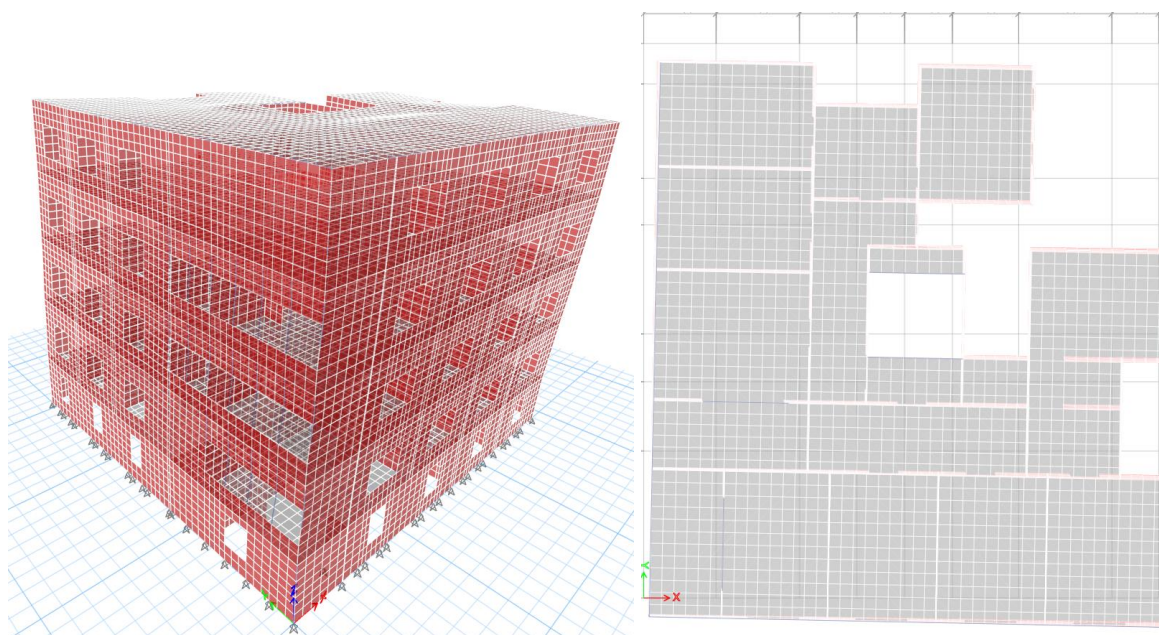
## 11. ANALIZA REZULTATA

Analiza rezultata provest će se na dva modela. Prvi model bit će zgrada s pregradnim zidovima, a drugi model bez pregradnih zidova. Usporedbom rezultata procijenit će se koliko nekonstruktivni elementi, odnosno pregradni zidovi, utječu na modalne oblike i na elastičan odziv konstrukcije.

### 11.1. Modalni oblici i sudjelujuće mase

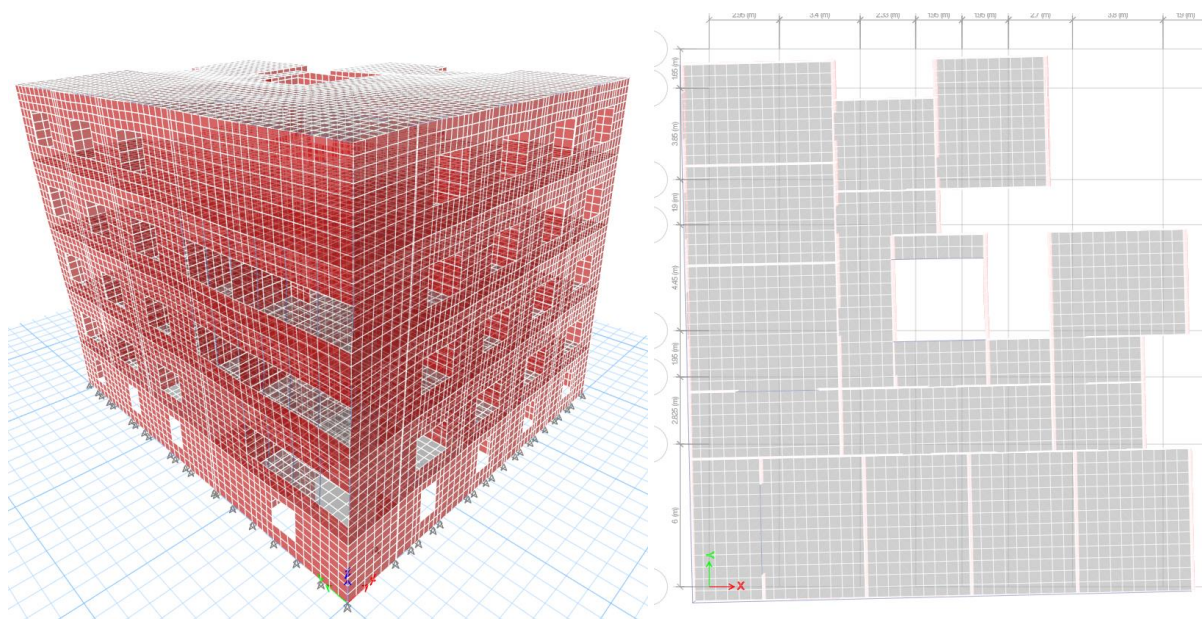
Poznavanje vlastitih frekvencija i modalnih oblika nužan je preduvjet za proračun konstrukcije na djelovanje potresa. Na sljedećim slikama prikazat će se modalni oblici i tablica vlastitih frekvencija i sudjelujućih masa za prvi model s pregradnim zidovima, a zatim za drugi model bez pregradnih zidova

#### 11.1.1. Prvi model

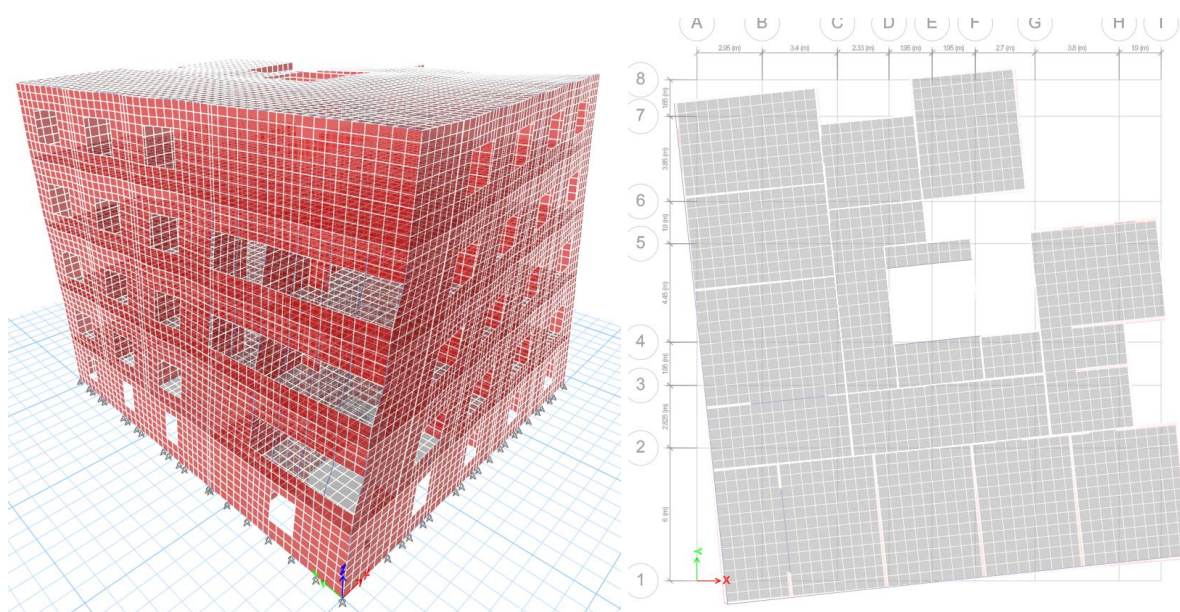


Slika 31.: Prikaz prvog vlastitog oblika titranja,  $T = 0,328$  s





Slika 32.: Prikaz drugog vlastitog oblika titranja,  $T = 0,315$  s

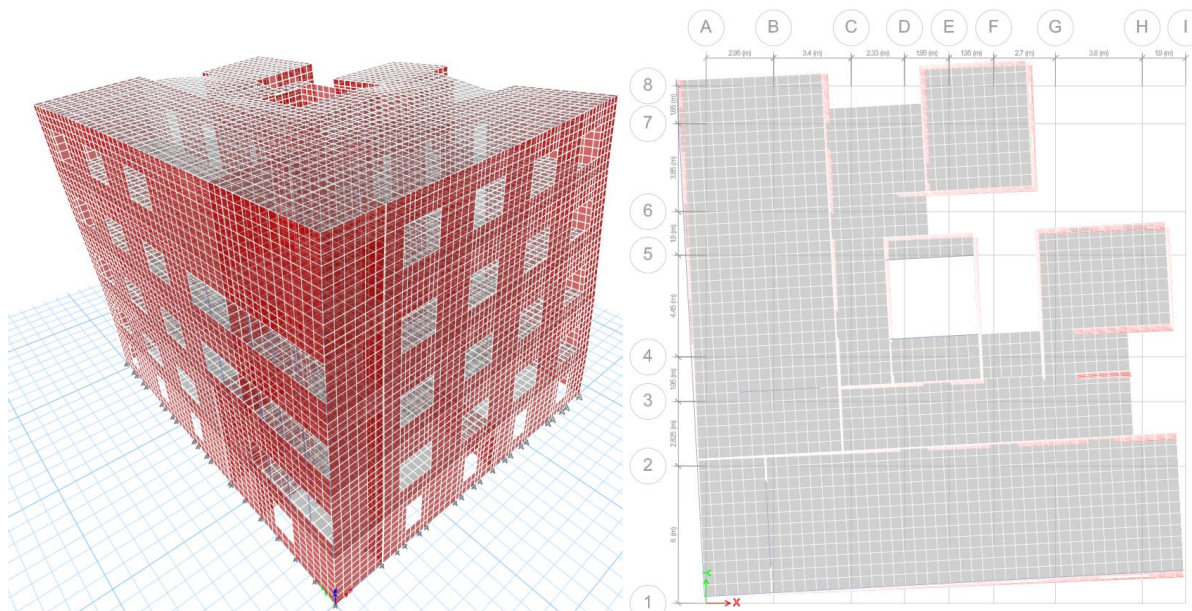


Slika 33.: Prikaz trećeg vlastitog oblika titranja,  $T = 0,262$  s

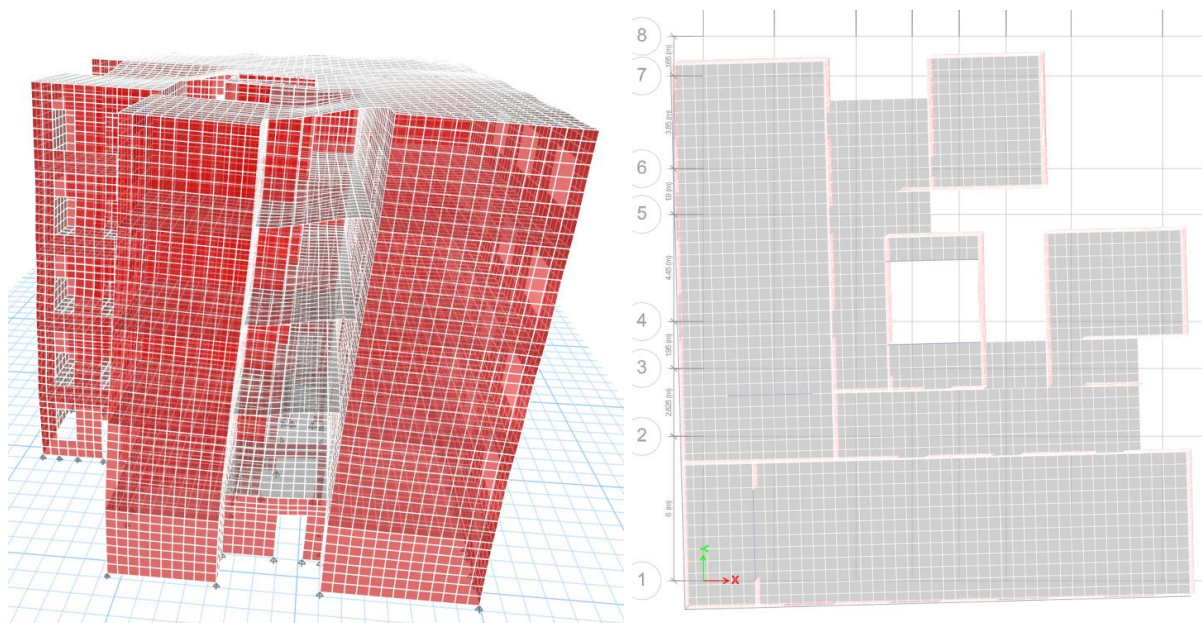
Tablica 9.: Periodi titranja i sudjelujuće mase za svaki modalni oblik

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Modal	1	0.328	0.123	0.6019	0	0.123	0.6019	0
Modal	2	0.315	0.5745	0.1399	0	0.6975	0.7418	0
Modal	3	0.262	0.0513	0.0025	0	0.7488	0.7443	0
Modal	4	0.108	0.0565	0.0998	0	0.8053	0.8441	0
Modal	5	0.107	0.0976	0.0586	0	0.9029	0.9027	0
Modal	6	0.092	0.0044	1.632E-06	0	0.9073	0.9027	0
Modal	7	0.064	0.0209	0.0328	0	0.9282	0.9356	0
Modal	8	0.063	0.0303	0.0225	0	0.9585	0.9581	0
Modal	9	0.055	0.0015	0.0003	0	0.96	0.9584	0
Modal	10	0.052	0.0023	4.996E-05	0	0.9623	0.9585	0
Modal	11	0.049	0.0045	0.0214	0	0.9667	0.9799	0
Modal	12	0.049	0.0164	0.0052	0	0.9831	0.9851	0
Modal	13	0.046	1.001E-05	0.0001	0	0.9832	0.9852	0
Modal	14	0.045	0.0004	0.0076	0	0.9835	0.9928	0
Modal	15	0.045	0	4.367E-06	0	0.9835	0.9928	0
Modal	16	0.045	9.621E-06	0.0002	0	0.9836	0.993	0
Modal	17	0.044	0.0006	0.0006	0	0.9841	0.9936	0
Modal	18	0.044	0.0064	0.0006	0	0.9905	0.9942	0
Modal	19	0.044	0.0034	0.0044	0	0.9939	0.9986	0
Modal	20	0.043	1.286E-05	0.0008	0	0.9939	0.9995	0

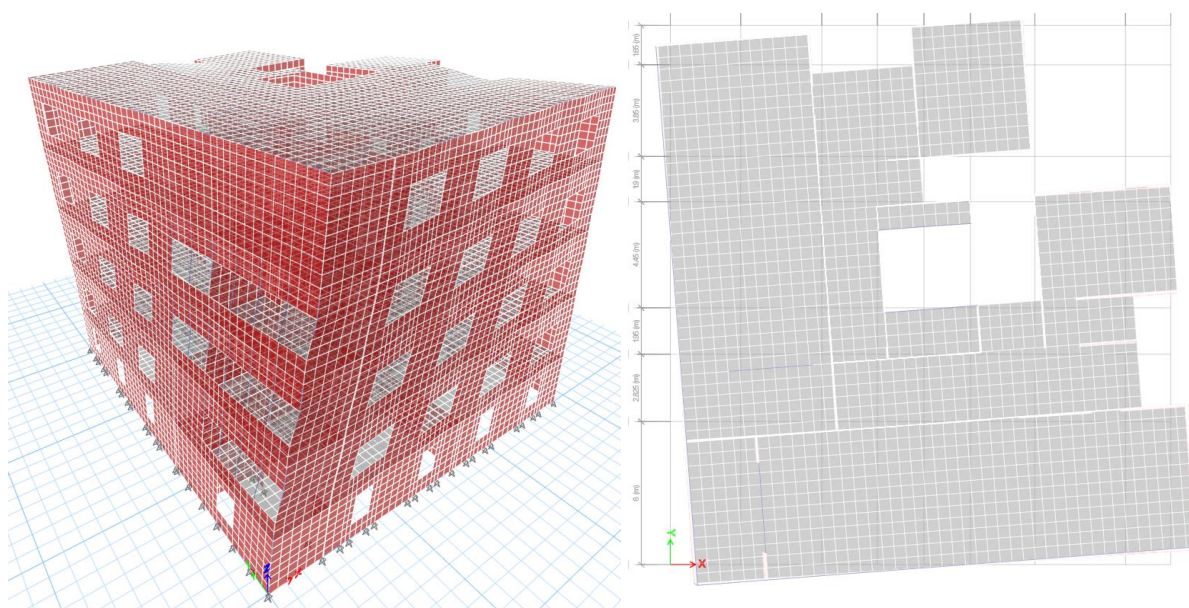
## 11.1.2. Drugi model

Slika 34.: Prikaz prvog vlastitog oblika titranja,  $T = 0,378$  s





Slika 35.: Prikaz drugog vlastitog oblika titranja,  $T = 0,349$  s



Slika 36.: Prikaz trećeg vlastitog oblika titranja,  $T = 0,270$  s

Tablica 10.: Periodi titranja i sudjelujuće mase za svaki modalni oblik

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Modal	1	0.378	0.2188	0.3557	0	0.2188	0.3557	0
Modal	2	0.349	0.3641	0.3228	0	0.583	0.6785	0
Modal	3	0.27	0.1339	0.0333	0	0.7169	0.7118	0
Modal	4	0.118	0.0778	0.0735	0	0.7947	0.7853	0
Modal	5	0.113	0.0794	0.0978	0	0.8741	0.8831	0
Modal	6	0.094	0.0174	0.0042	0	0.8915	0.8873	0
Modal	7	0.067	0.0328	0.0236	0	0.9243	0.9109	0
Modal	8	0.065	0.0224	0.0386	0	0.9467	0.9494	0
Modal	9	0.056	0.0048	0.0004	0	0.9515	0.9499	0
Modal	10	0.053	0.0037	0.0004	0	0.9552	0.9503	0
Modal	11	0.051	0.0091	0.0185	0	0.9642	0.9688	0
Modal	12	0.05	0.0138	0.0135	0	0.9781	0.9823	0
Modal	13	0.047	8.489E-07	3.054E-05	0	0.9781	0.9823	0
Modal	14	0.046	0.0042	0.012	0	0.9822	0.9943	0
Modal	15	0.045	0.0091	0.005	0	0.9914	0.9993	0
Modal	16	0.044	0.0001	0.0001	0	0.9914	0.9994	0
Modal	17	0.044	0.0013	1.501E-05	0	0.9928	0.9994	0
Modal	18	0.044	0.0018	2.305E-05	0	0.9945	0.9994	0
Modal	19	0.042	2.271E-06	3.137E-05	0	0.9945	0.9994	0
Modal	20	0.041	0.0002	0.0002	0	0.9948	0.9996	0

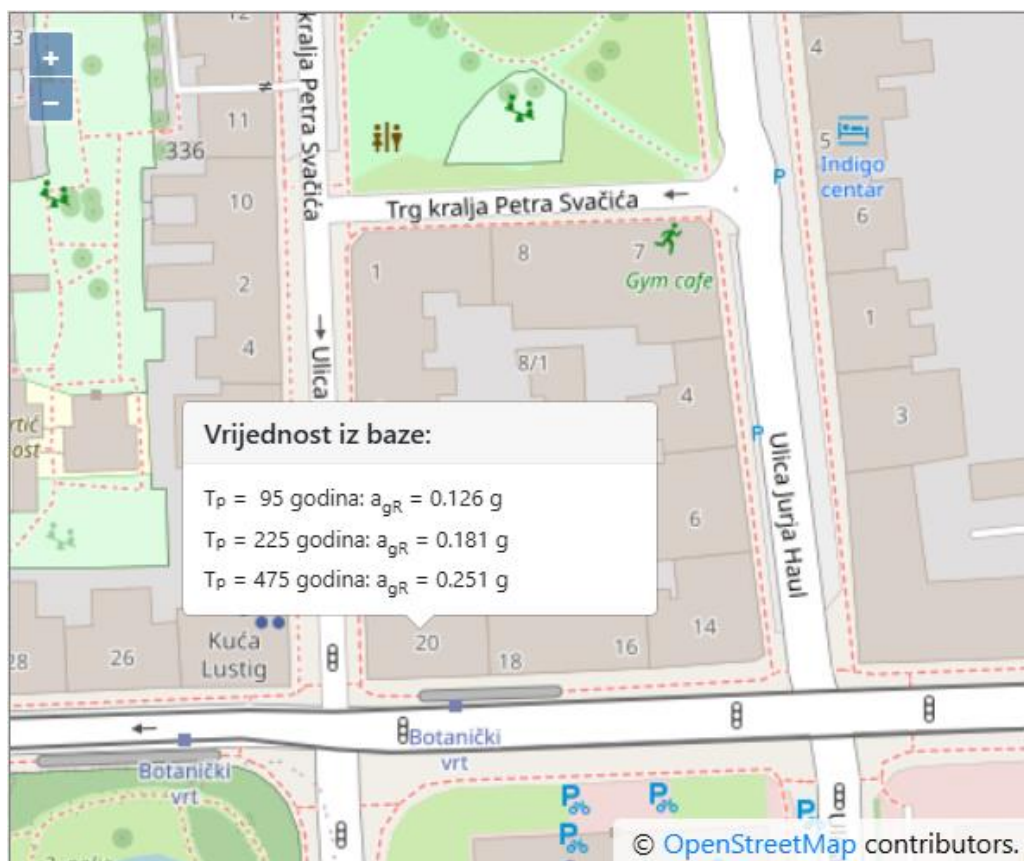
### 11.1.3. Usporedba rezultata

Može se primijetiti očekivani porast perioda kod modele bez pregradnih zidova, odnosno takva građevina ima manju krutost u odnosu na model s pregradnim zidovima. Također, aktivacija 90% mase postiže se u 5. modu za prvi model i u 7. modu za drugi model.

### 11.2. Spektar odziva

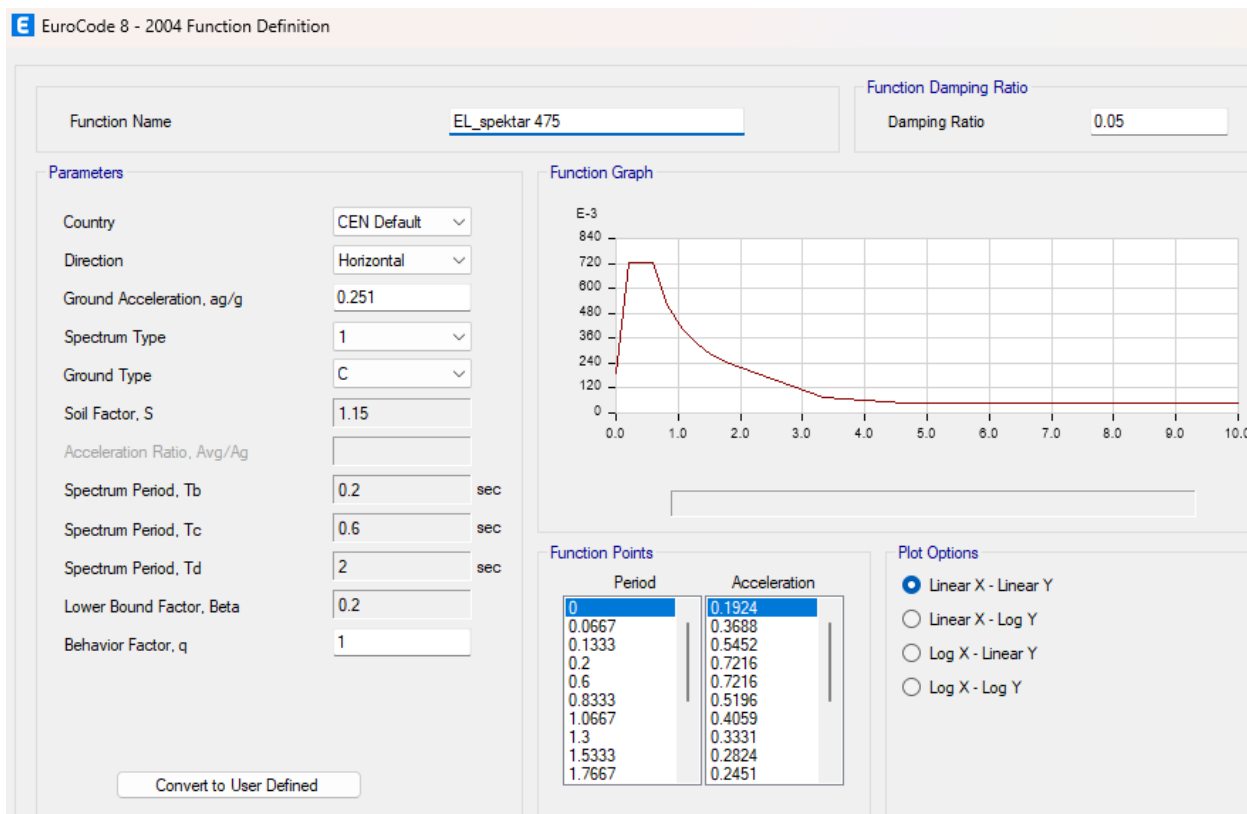
Seizmički proračun za razmatranu konstrukciju bit će proveden u skladu s normama HRN EN 1998-1 [20]. Ove norme odnose se na projektiranje konstrukcija otpornih na potres i dio su europskog sustava normi pod nazivom Eurocode 8. Iz Karte potresnih područja Republike Hrvatske [21] očitani su se iznosi horizontalnih vršnih ubrzanja tla  $a_{gR}$  za povratne periode od  $T_p = 95$  godina i  $T_p = 475$  godina koji su izraženi u jedinicama gravitacijskog ubrzanja  $g$  ( $1 g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ). Očitane vrijednosti su sljedeće:

- Za povratni period od  $T_p = 95$  godina,  $a_{gR} = 0,126 g$
- Za povratni period od  $T_p = 475$  godina,  $a_{gR} = 0,251 g$

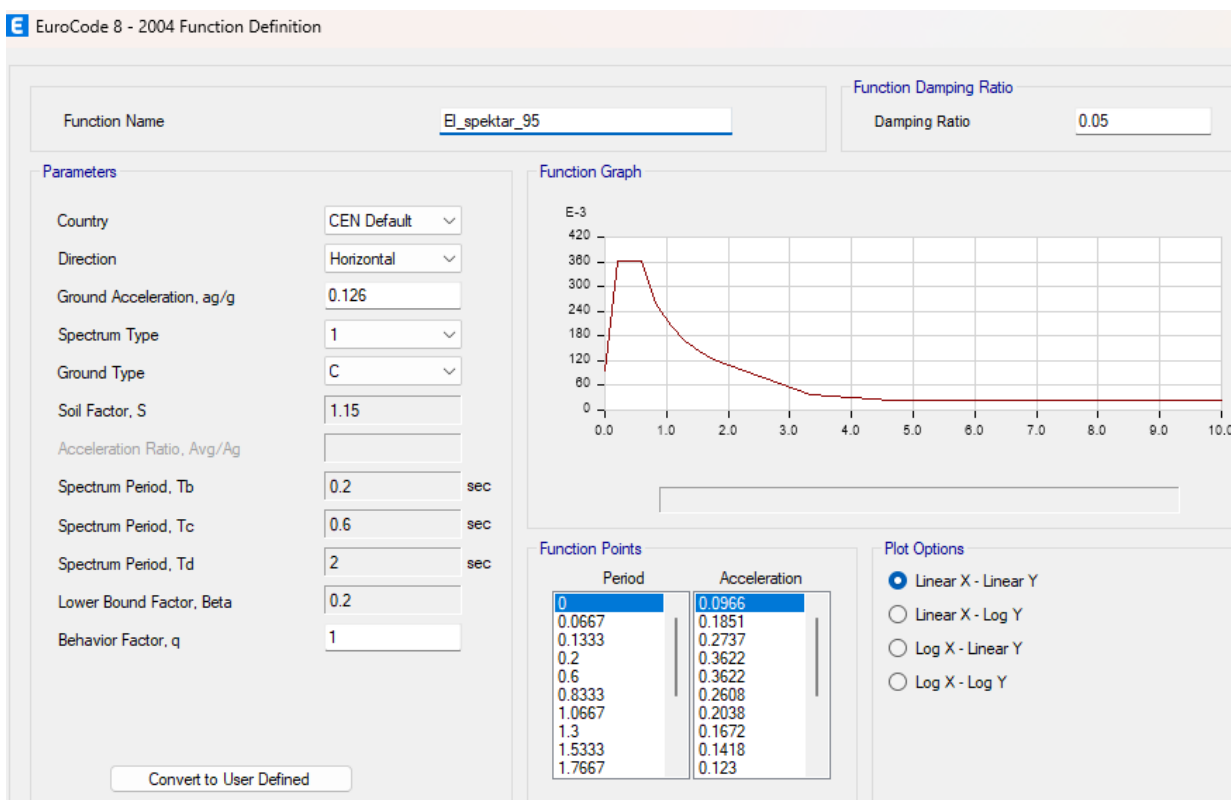


Slika 37.: Vršna ubrzanja tla za pojedini povratni period za predmetnu građevinu [21]

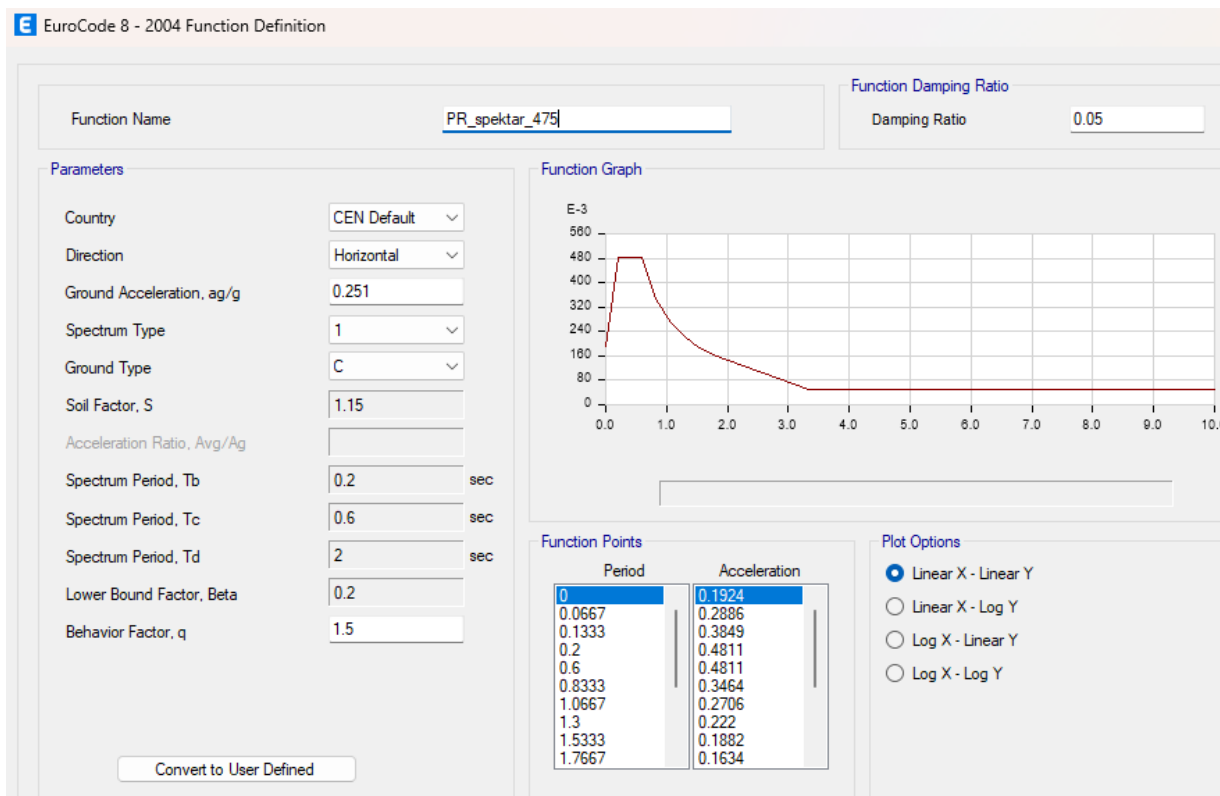
Definiraju se četiri spektra odziva – dva elastična i dva projektna, s povratnim periodima od 475 i 95 godina za svaki tip spektra. Svaki navedeni povratni period ima odgovarajuće vršno ubrzanje. Faktor ponašanja  $q$  za elastični spektar iznosi 1,0, dok za projektni spektar iznosi 1,5. Za sva četiri spektra pretpostavljena je kategorija tla C koja opisuje duboke naslage gustog ili srednje gustog pijeska, šljunka ili krute gline. Zgrada je stambene namjene razreda važnosti II, stoga se za faktor važnosti uzima vrijednost  $\gamma_I = 1,00$ . Analizu je moguće provesti preko elastičnog spektra tipa 1 i 2. Spektar tipa 1 namijenjen je za područja visoke i umjerene seizmičnosti, primjenjujući se za potrese magnitude  $M_s > 5.5$  prema Richterovoj ljestvici. Karakteriziraju ga duži periodi i širi plato konstantnog ubrzanja. S druge strane, spektar tipa 2 koristi se u područjima niske seizmičnosti, za potrese magnitude  $M_s \leq 5.5$  prema Richterovoj ljestvici. Ovaj tip spektra obilježavaju kraći periodi i uža plato konstantnog ubrzanja [20]. Za spektralnu analizu, u ovom se radu koristio spektar tipa 1.



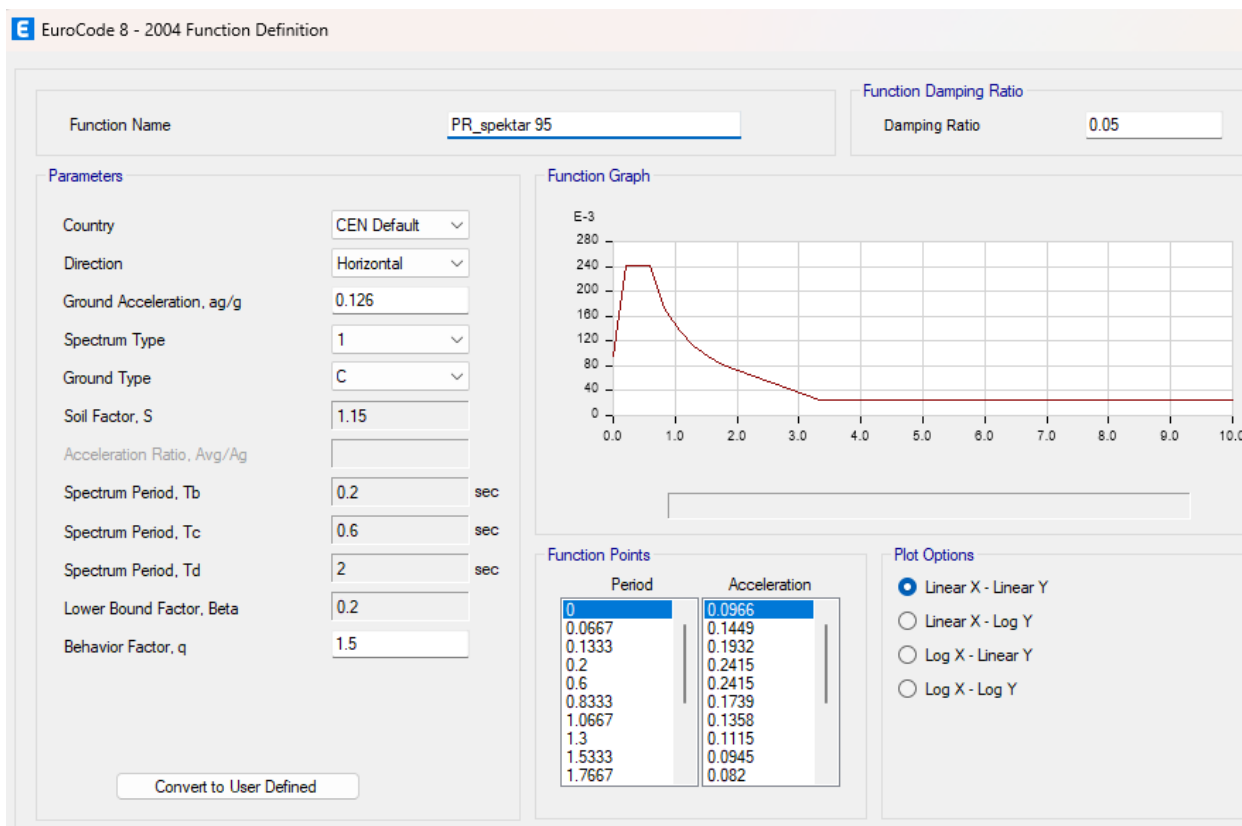
Slika 38.: Elastični spektar odziva povratnog perioda 475 godina



Slika 39.: Elastični spektar odziva povratnog perioda 95 godina



Slika 40.: Projektni spektar odziva povratnog perioda 475 godina



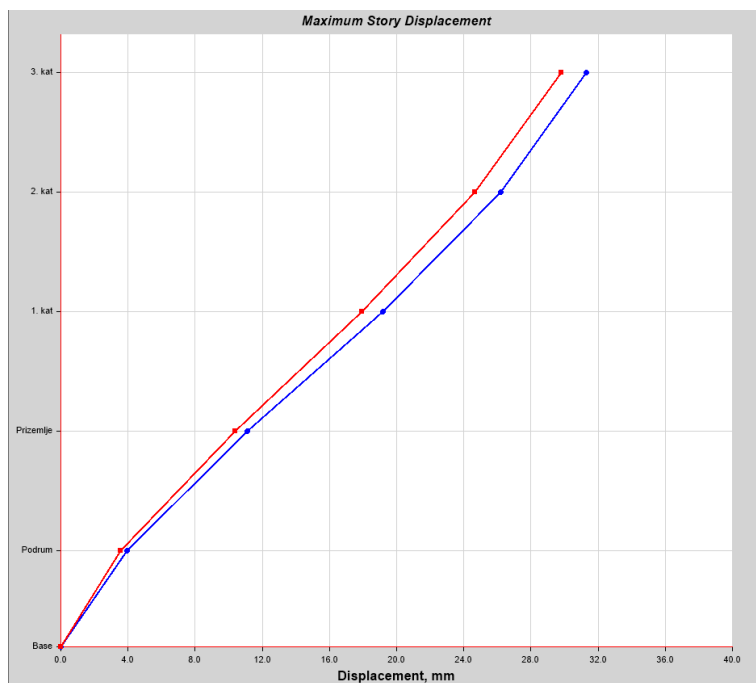
Slika 41.: Projektni spektar odziva povratnog perioda 95 godina



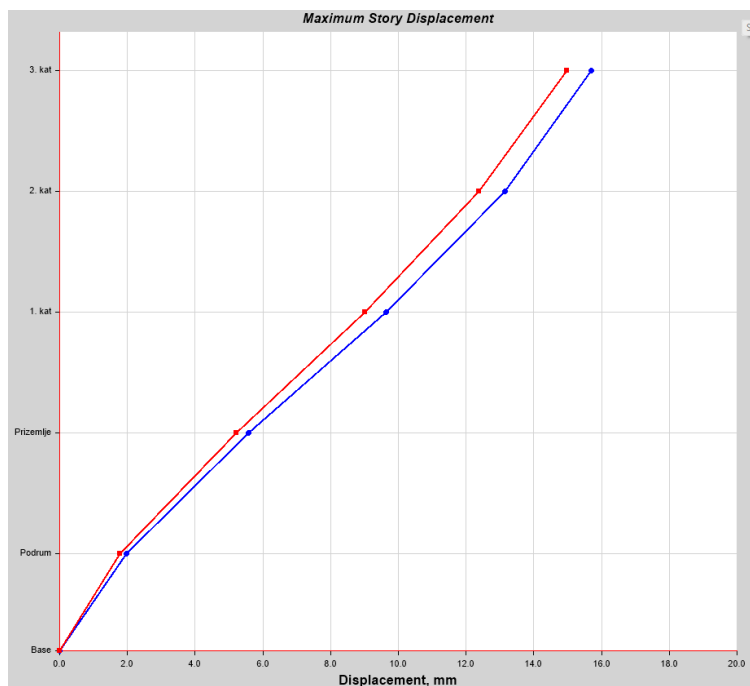
### 11.2.1. Maksimalni pomak etaža

Napomena: smjer X opisan je plavom krivuljom, a smjer Y crvenom.

#### 11.2.1.1. Prvi model

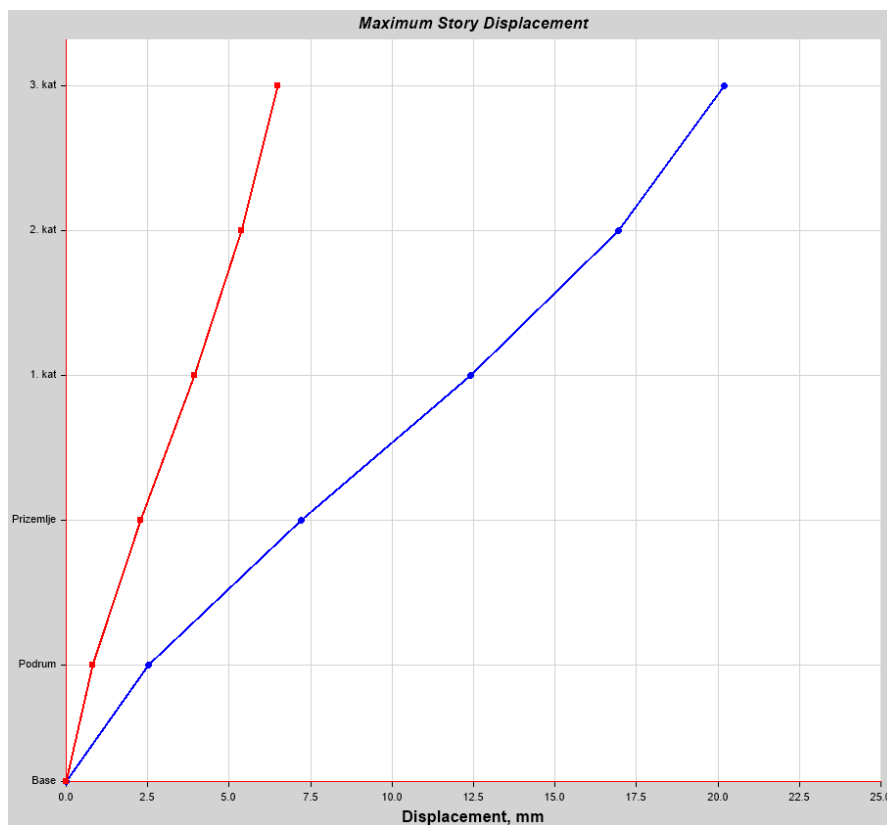


Slika 42.: Maksimalni pomaci etaža u oba smjera za elastični spektar odziva povratnog perioda 475 godina

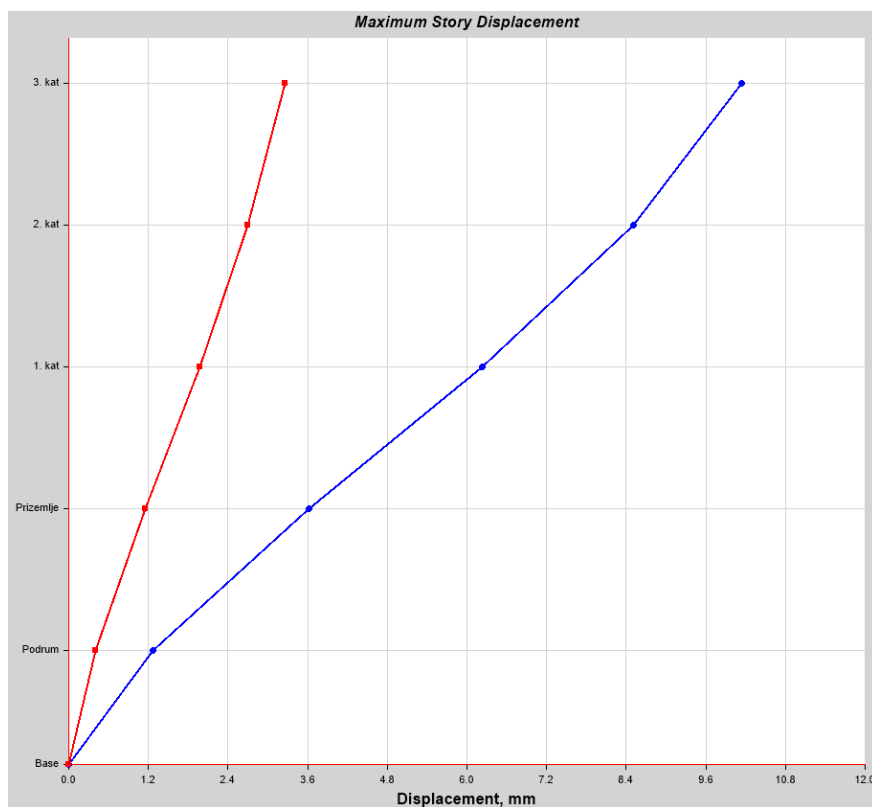


Slika 43.: Maksimalni pomaci etaža u oba smjera za elastični spektar odziva povratnog perioda 95 godina



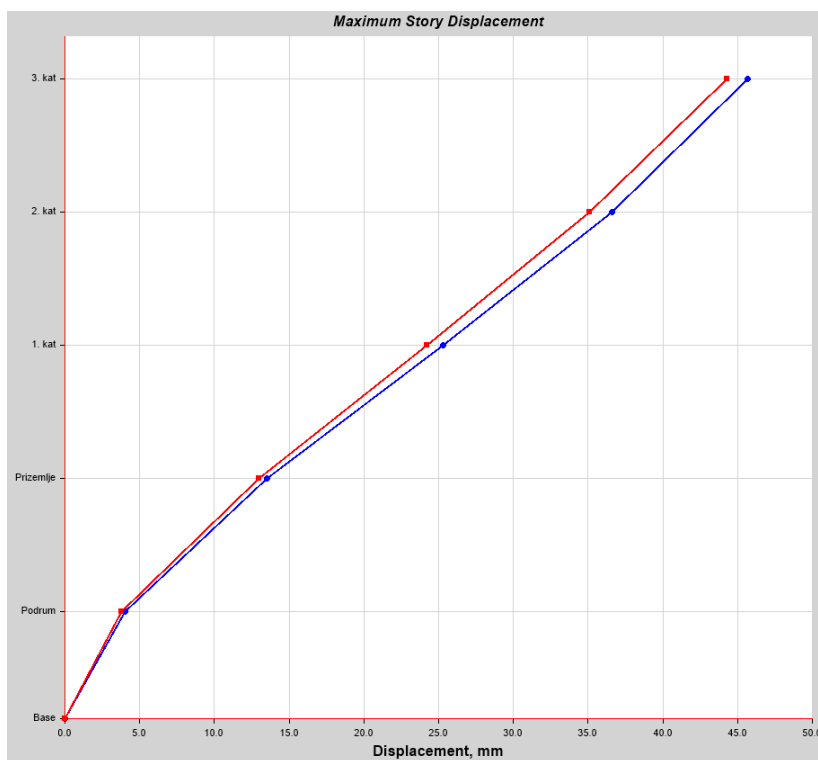


Slika 44.: Maksimalni pomaci etaža u oba smjera za projektni spektar odziva povratnog perioda 475 godina

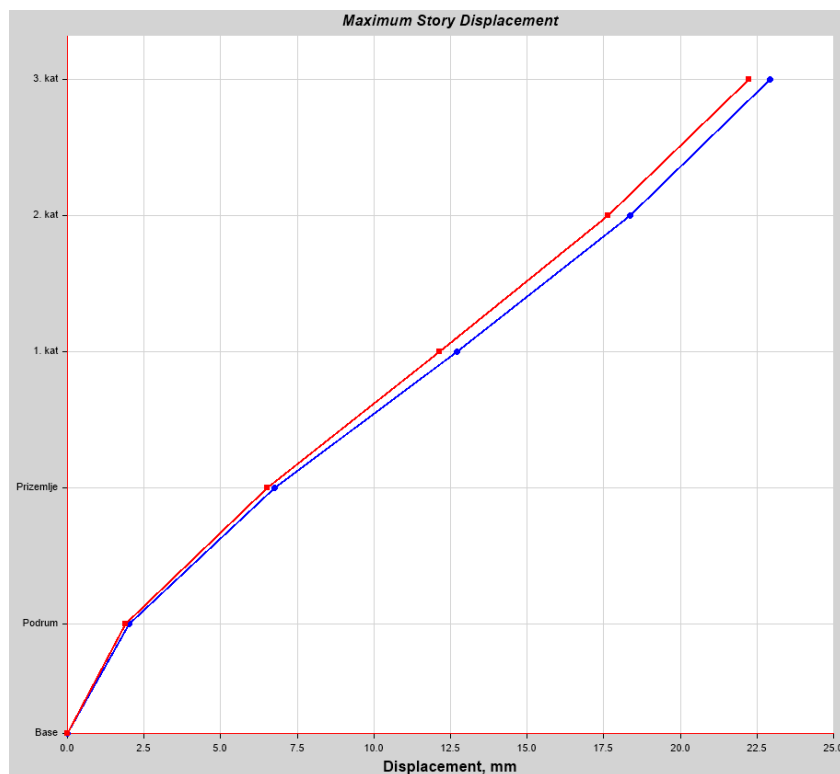


Slika 45.: Maksimalni pomaci etaža u oba smjera za projektni spektar odziva povratnog perioda 95 godina

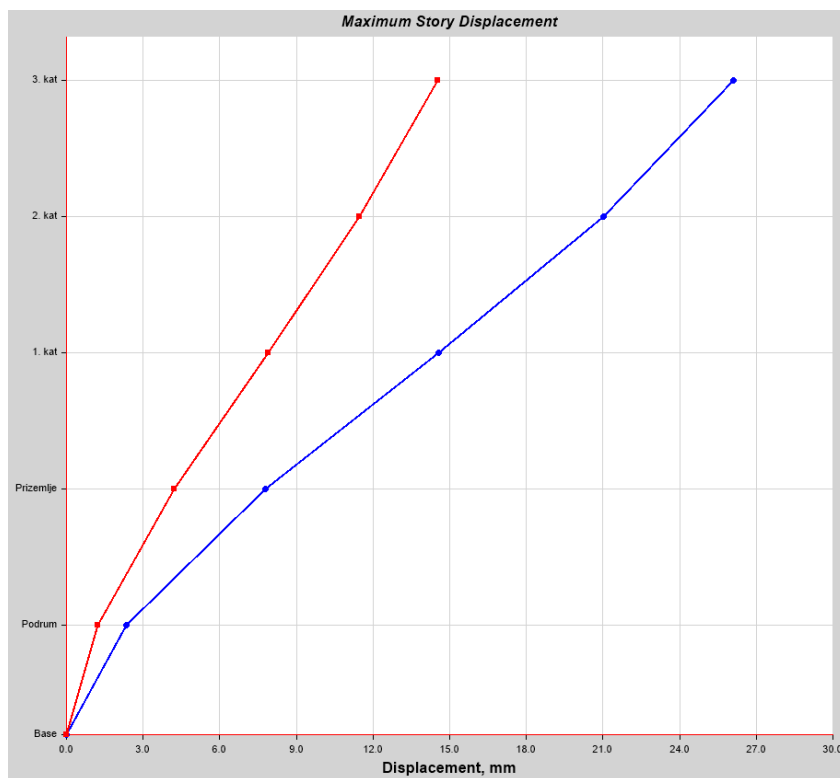
## 11.2.1.2. Drugi model



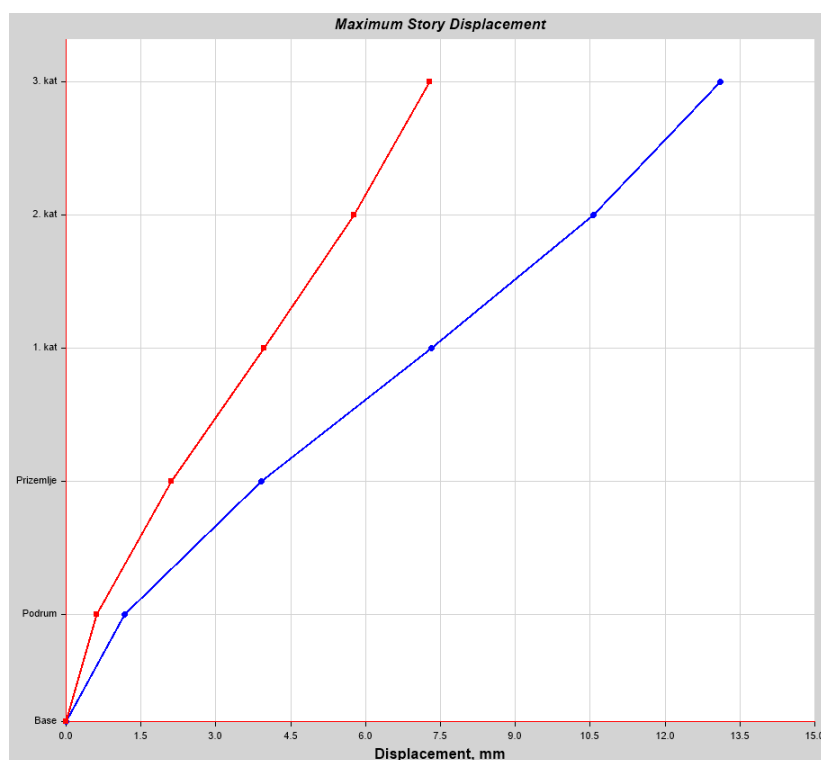
Slika 46.: Maksimalni pomaci etaža u oba smjera za elastični spektar odziva povratnog perioda 475 godina



Slika 47.: Maksimalni pomaci etaža u oba smjera za elastični spektar odziva povratnog perioda 95 godina



Slika 48.: Maksimalni pomaci etaža u oba smjera za projektni spektar odziva povratnog perioda 475 godina



Slika 49.: Maksimalni pomaci etaža u oba smjera za projektni spektar odziva povratnog perioda 95 godina

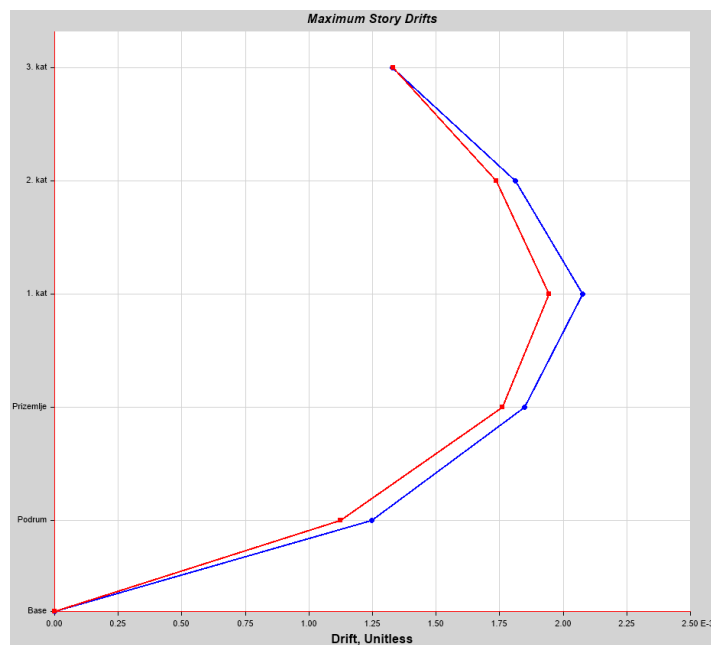
### 11.2.1.3. Usporedba rezultata

Iz grafova je vidljivo kako su maksimalni pomaci etaža na prvom modelu puno veći nego na drugom u X i Y smjeru. Rezultati prvog modela vidljivi su na slici 42 i može se očitati kako pomaci za X i Y smjer iznose 31 i 29 mm, a na slici 46 koja prikazuje rezultate drugog modela pomaci iznose 46 i 44 mm. Ista analogija vrijedi i za ostale dijagrame. Dakle, pomaci su 65% veći za model zgrade bez pregradnih zidova.

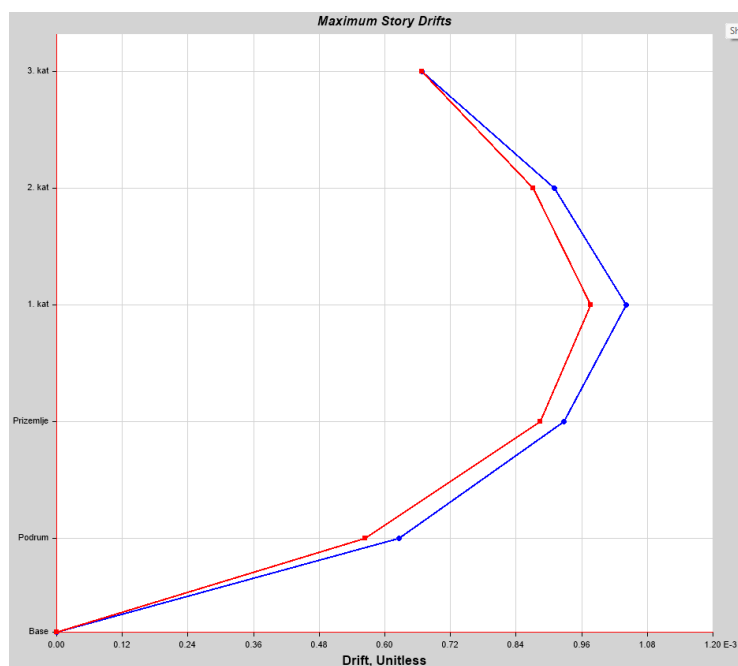
## 11.2.2. Maksimalni relativni pomak kata

Napomena: smjer X opisan je plavom krivuljom, a smjer Y crvenom.

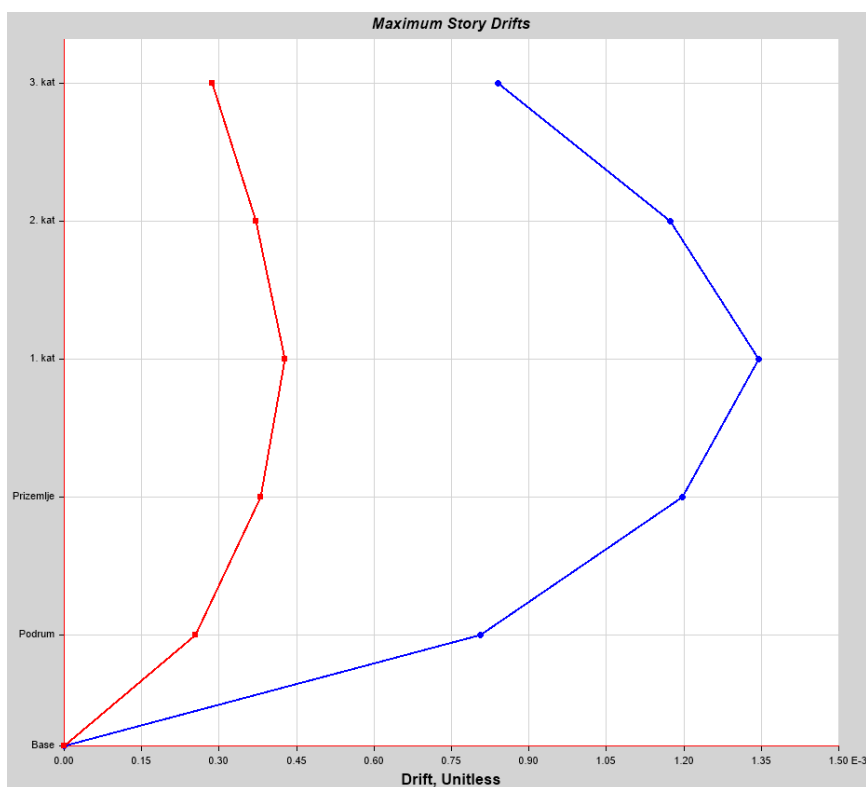
### 11.2.2.1. Prvi model



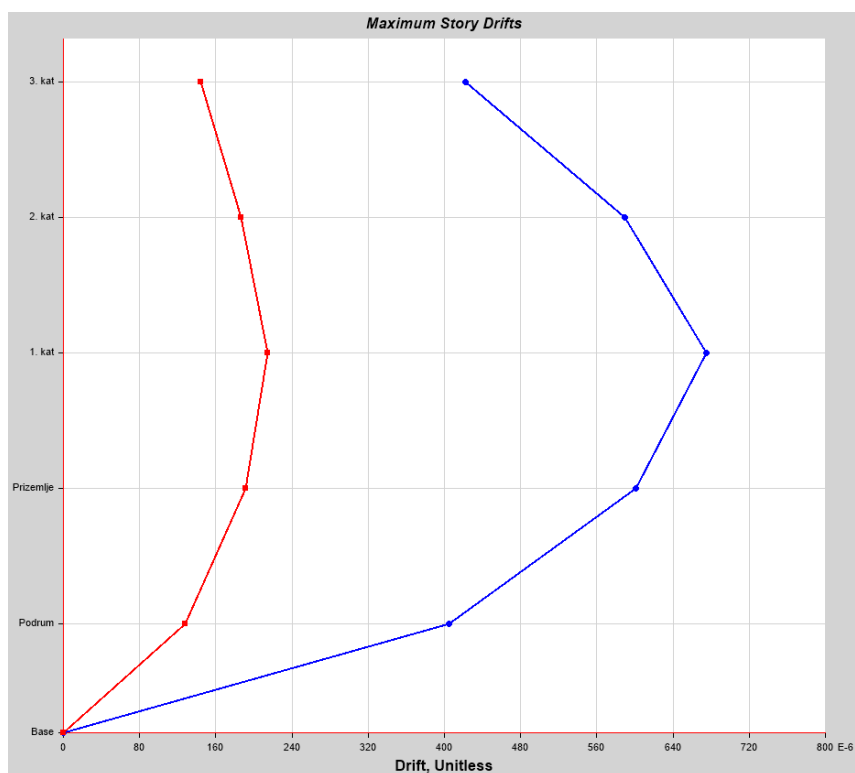
Slika 50.: Maksimalni relativni pomaci etaža u oba smjera za elastični spektar odziva povratnog perioda 475 godina



Slika 51.: Maksimalni relativni pomaci etaža u oba smjera za elastični spektar odziva povratnog perioda 95 godina



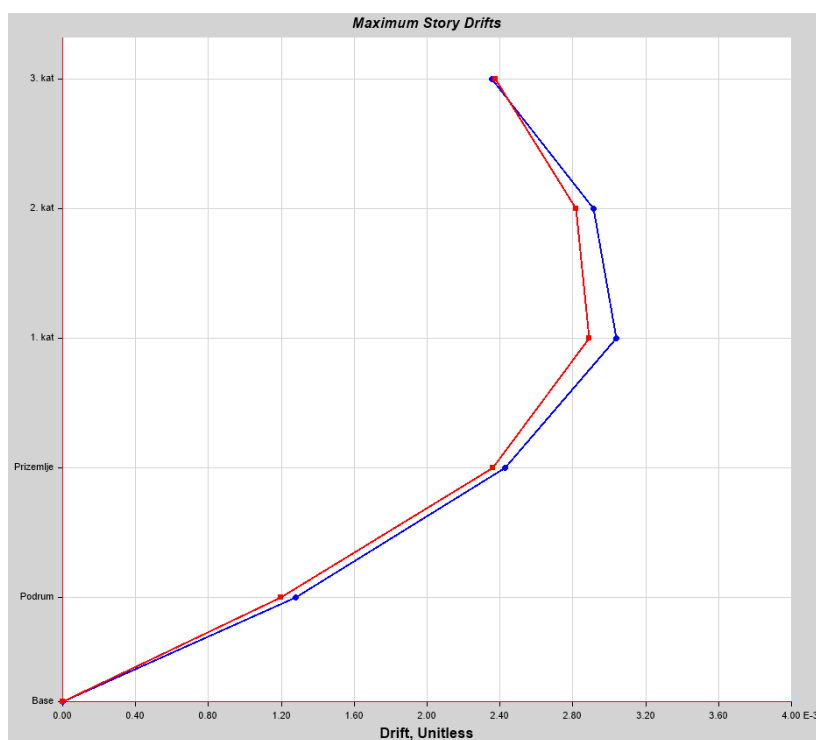
Slika 52.: Maksimalni relativni pomaci etaža u oba smjera za projektni spektar odziva povratnog perioda 475 godina



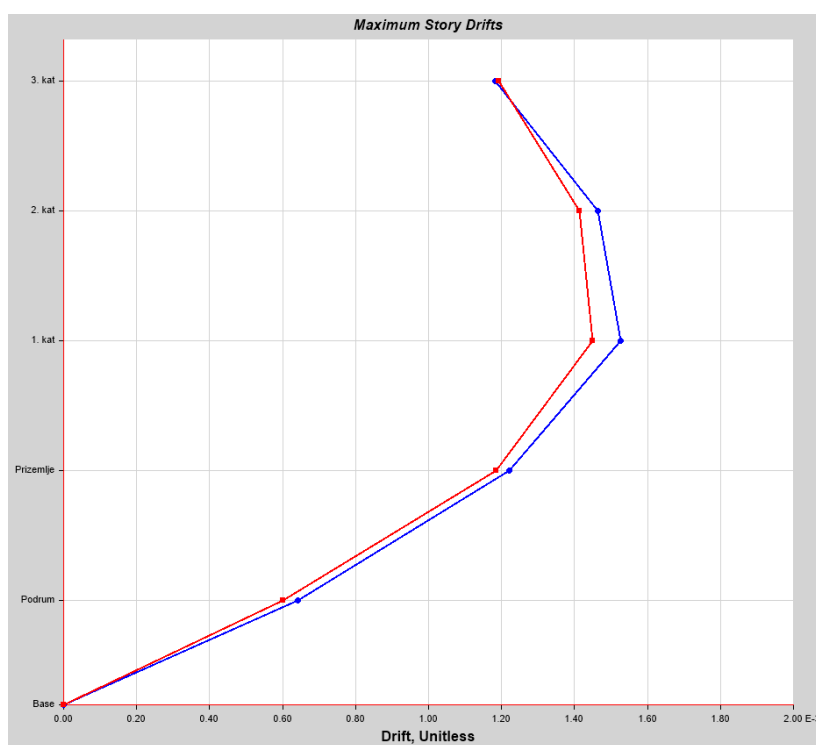
Slika 53.: Maksimalni relativni pomaci etaža u oba smjera za projektni spektar odziva povratnog perioda 95 godina



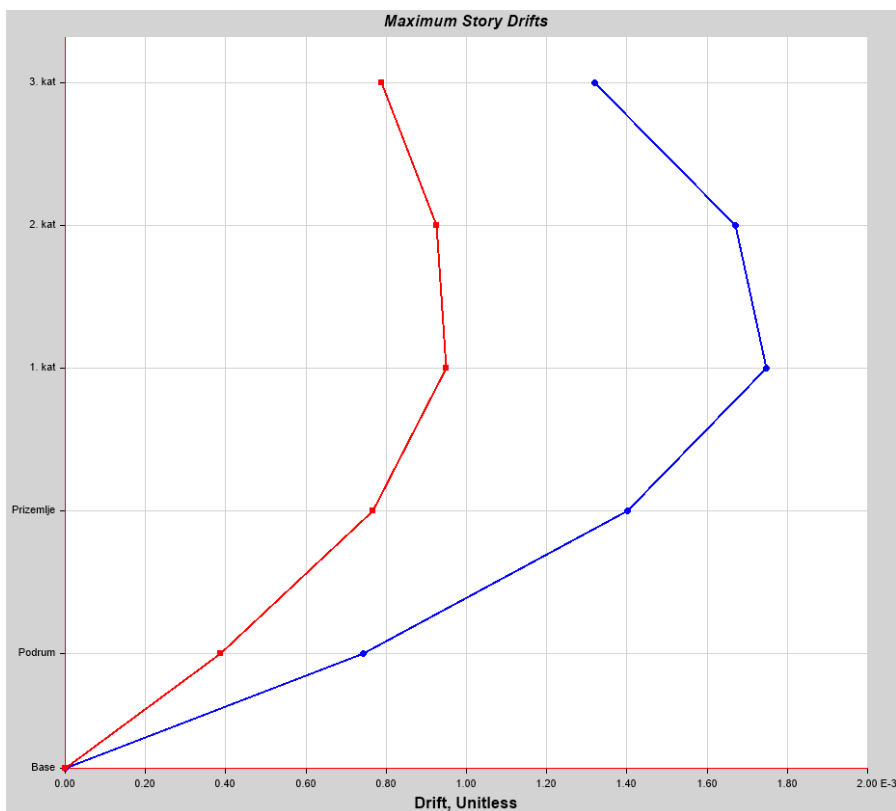
## 11.2.2.2. Drugi model



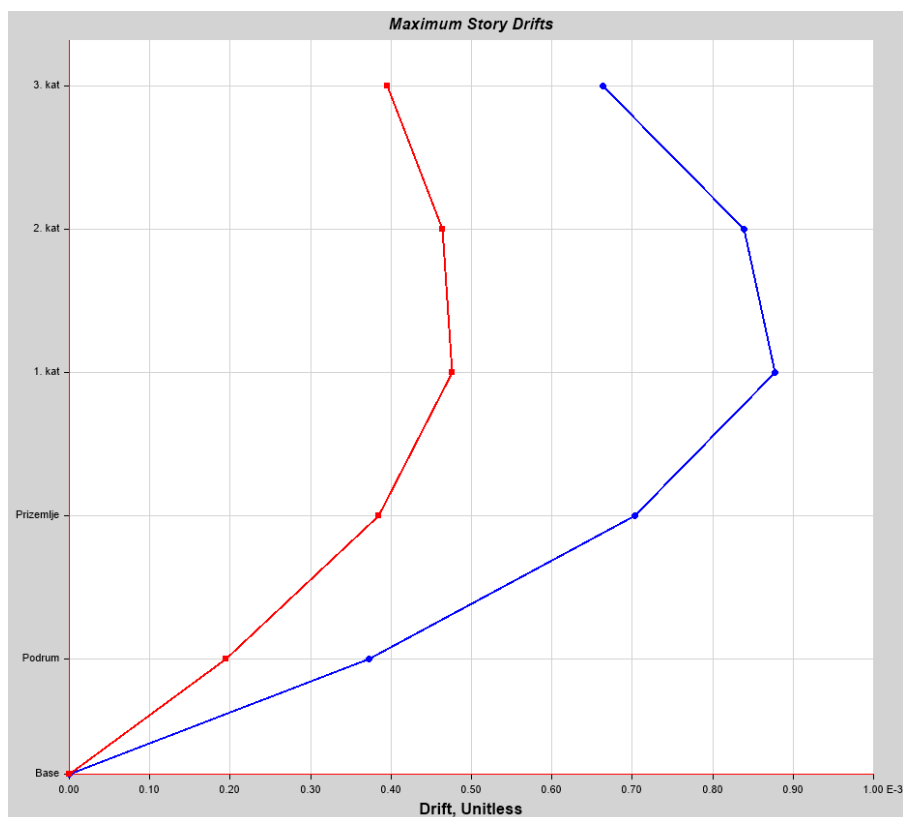
Slika 54.: Maksimalni relativni pomaci etaža u oba smjera za elastični spektar odziva povratnog perioda 475 godina



Slika 55.: Maksimalni relativni pomaci etaža u oba smjera za elastični spektar odziva povratnog perioda 95 godina



Slika 56.: Maksimalni relativni pomaci etaža u oba smjera za projektni spektar odziva povratnog perioda 475 godina



Slika 57.: Maksimalni relativni pomaci etaža u oba smjera za projektni spektar odziva povratnog perioda 95 godina

### 11.2.2.3. Usporedba rezultata

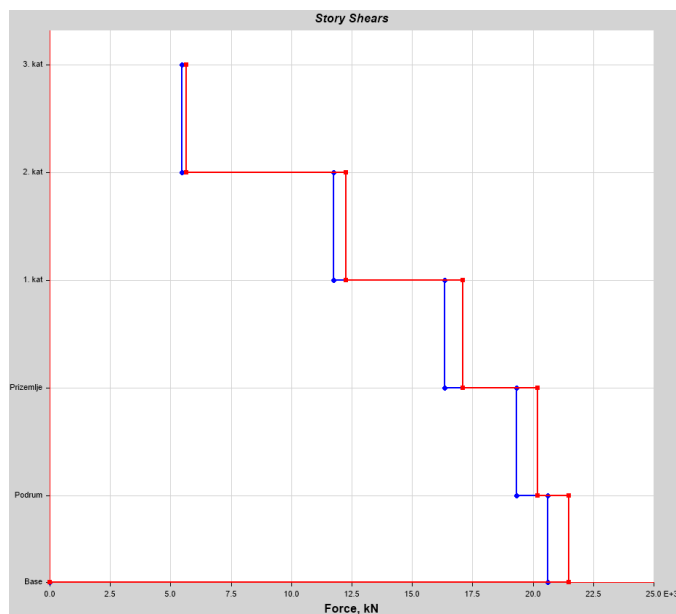
Jedan od glavnih razloga za provjeru maksimalnih relativnih pomaka etaža je ograničenje oštećenja nekonstruktivnih elemenata građevine. Preveliki relativni pomaci mogu dovesti do oštećenja nekonstruktivnih elemenata poput pregradnih zidova, fasada i instalacija. Sačuvati plinske instalacije od oštećenja vrlo je bitno jer njihovim puknućem može doći do eksplozije, a time dovodimo u opasnost ljudske živote kao i samu građevinu.

Iz grafova se može zaključiti da model s pregradnim zidovima pokazuje veće relativne pomake, što ukazuje na to da pregradni zidovi utječu na raspodjelu krutosti po visini zgrade. Najveći relativni pomaci su u podrumu i u prizemlju za oba modela. Bez pregradnih zidova konstrukcija pokazuje ujednačenije ponašanje po visini.

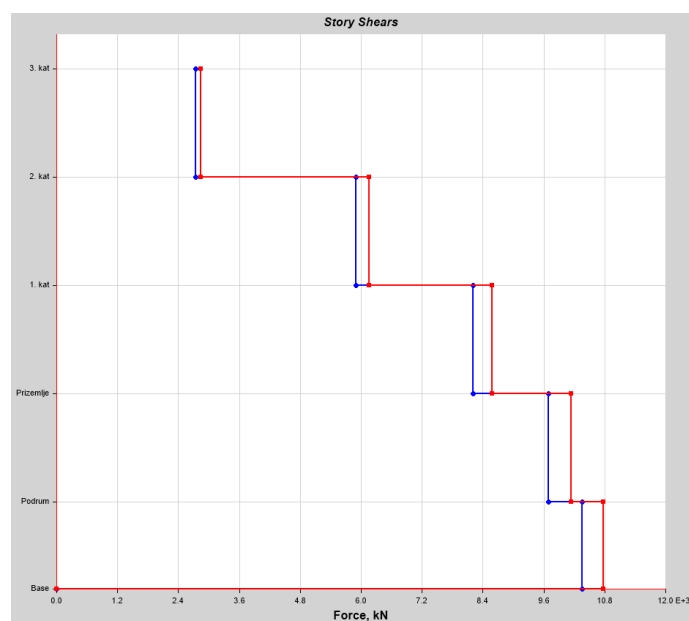
### 11.2.3. Katne poprečne sile

Napomena: smjer X opisan je plavom krivuljom, a smjer Y crvenom.

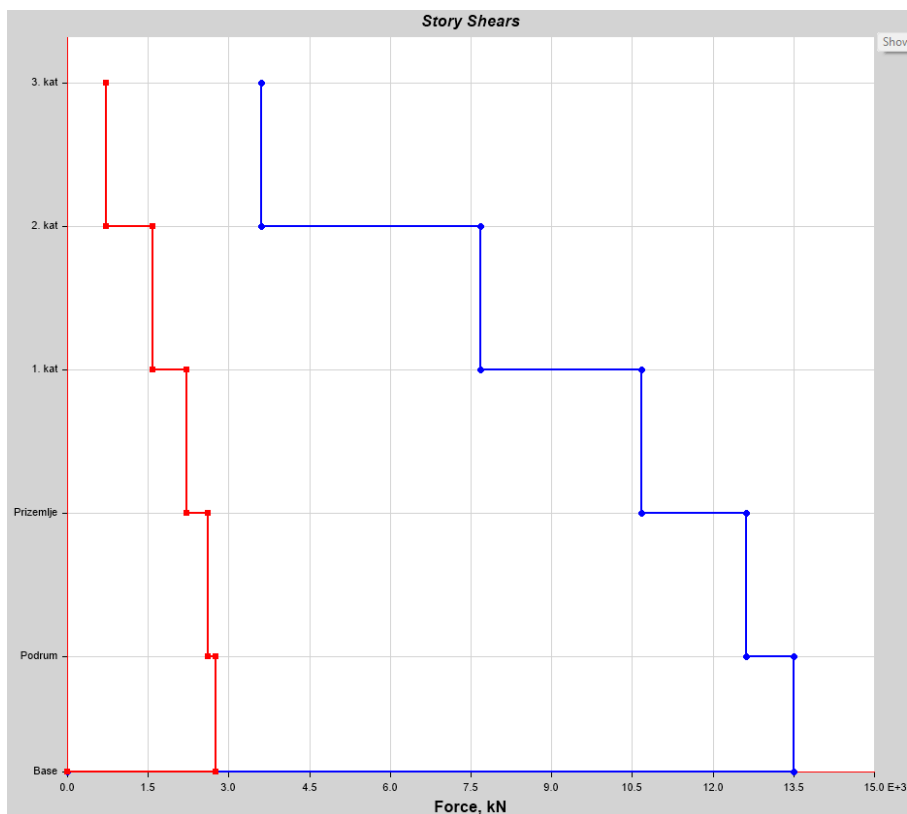
#### 11.2.3.1. Prvi model



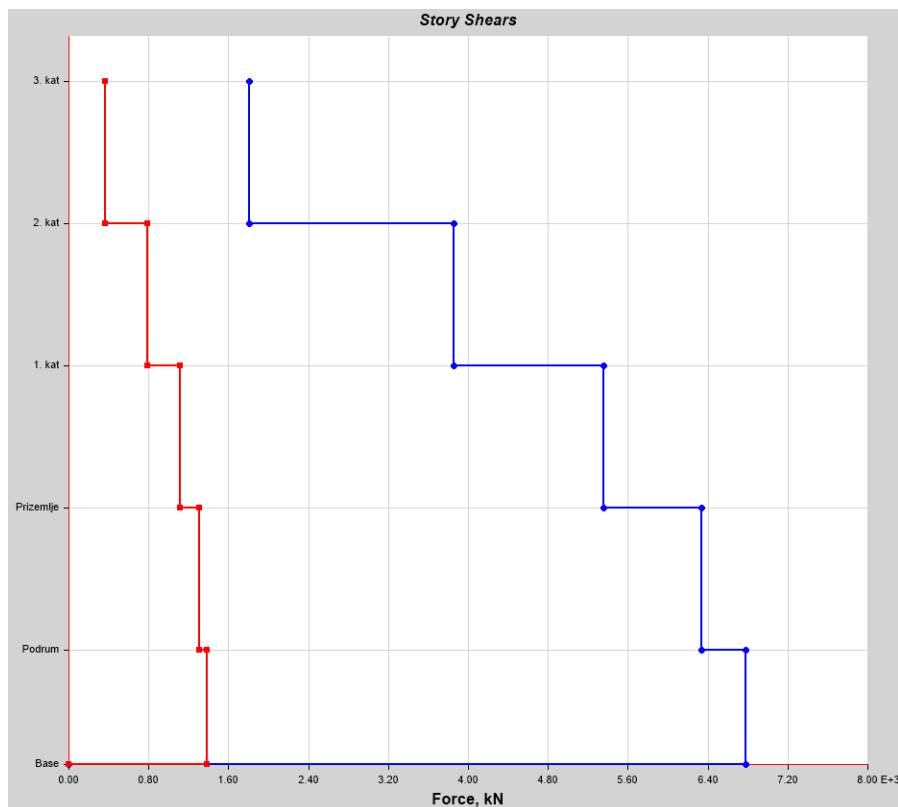
Slika 58.: Katne poprečne sile u oba smjera za elastični spektar odziva povratnog perioda 475 godina



Slika 59.: Katne poprečne sile u oba smjera za elastični spektar odziva povratnog perioda 95 godina

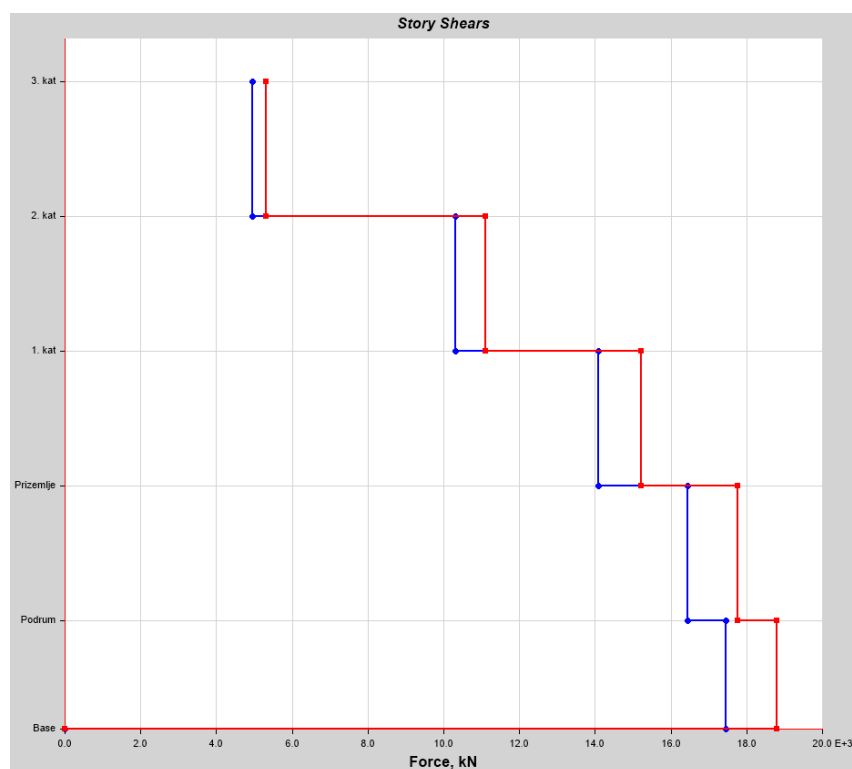


Slika 60.: Katne poprečne sile u oba smjera za projektni spektar odziva povratnog perioda 475 godina

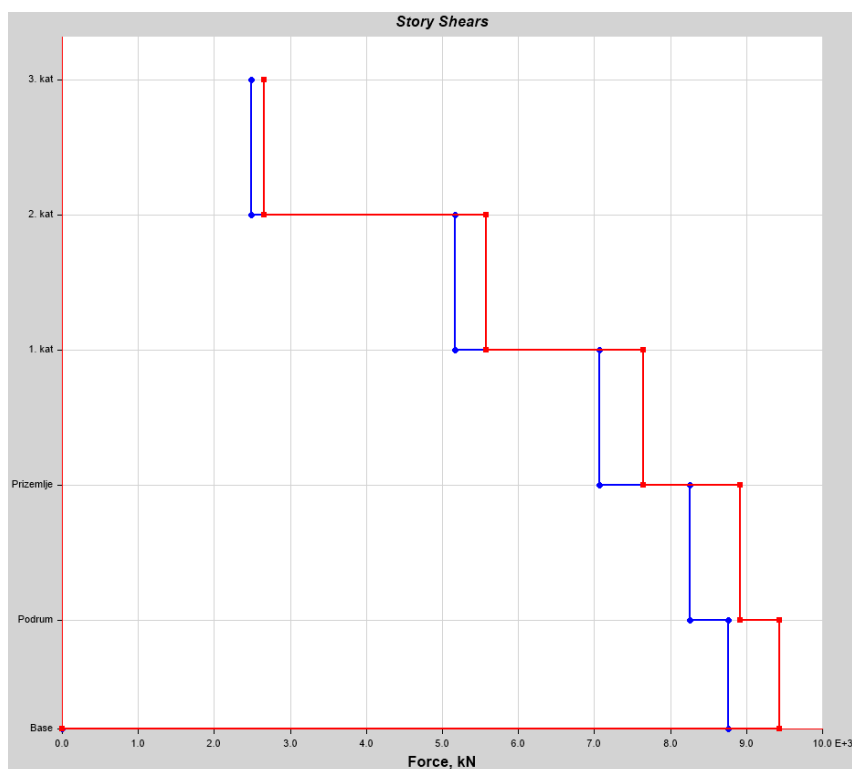


Slika 61.: Katne poprečne sile u oba smjera za projektni spektar odziva povratnog perioda 95 godina

## 11.2.3.2. Drugi model

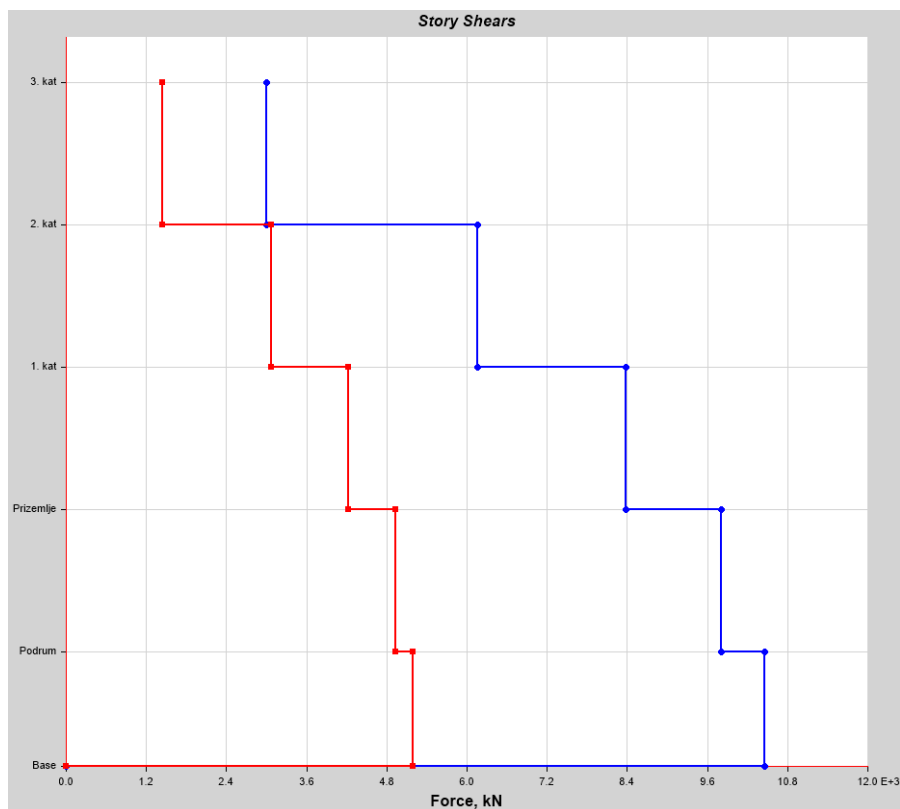


Slika 62.: Katne poprečne sile u oba smjera za elastični spektar odziva povratnog perioda 475 godina

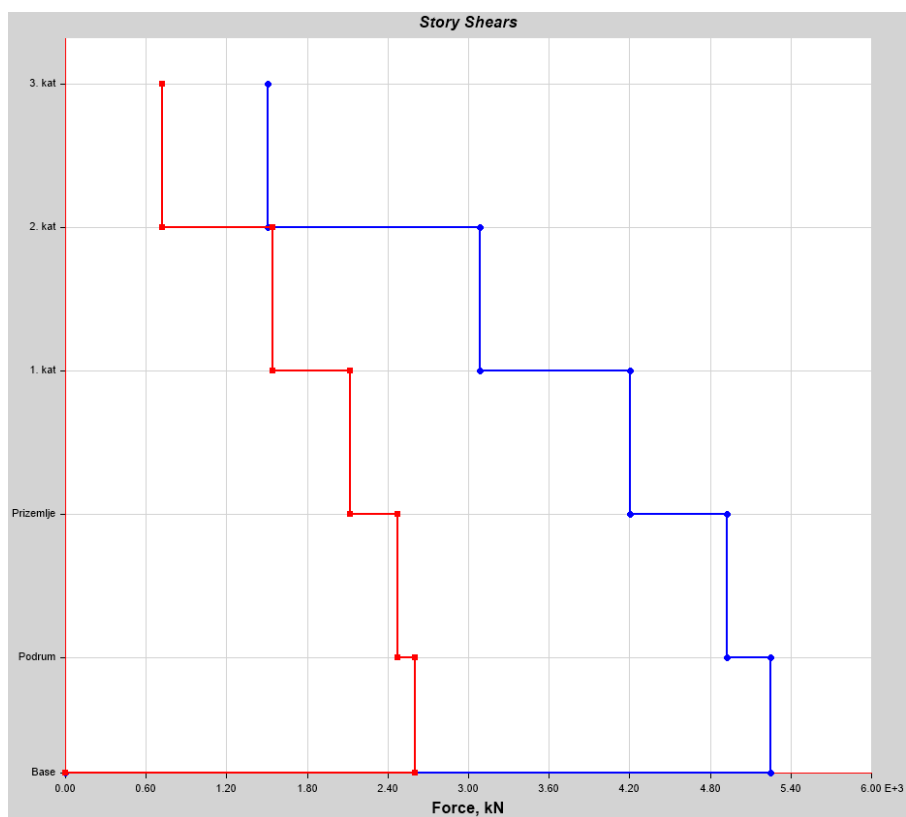


Slika 63.: Katne poprečne sile u oba smjera za elastični spektar odziva povratnog perioda 95 godina





Slika 64.: Katne poprečne sile u oba smjera za projektni spektar odziva povratnog perioda 475 godina



Slika 65.: Katne poprečne sile u oba smjera za projektni spektar odziva povratnog perioda 95 godina

### 11.2.3.3. Usporedba rezultata

Velike razlike u poprečnim silama između susjednih etaža mogu ukazivati na potencijalna mjesta formiranja lokalnih mehanizama, što je posebno bitno za otkazivanje zidova izvan ravnine (*out-of-plane*). Neravnomjerna raspodjela sila može uzrokovati torzijske efekte.

Kod oba modela može se vidjeti razlika u odzivu konstrukcije ovisno o proračunu preko elastičnog ili projektnog spektra. Kod elastičnog spektra posmične sile u smjerovima X i Y su približno jednake. Međutim, kod projektnog spektra, u prvom modelu posmična sila u smjeru X je četiri do pet puta veća od sile u smjeru Y, dok je u drugom modelu dva puta veća. Model s pregradnim zidovima pokazuje veće vrijednosti poprečnih sila osim u Y smjeru projektnog spektra.

### 11.3. Odnos katne poprečne sile i težine etaže i prosječna posmična naprezanja

Odnos katne poprečne sile i težine etaže koristi se za procjenu seizmičke otpornosti zgrade. On pokazuje koliki dio težine etaže može biti prenesen horizontalnim silama potresa. Veći odnos ukazuje na veće potresno opterećenje koje konstrukcija mora podnijeti.

Zbog toga etaže s većim odnosom poprečnih sila i težine mogu predstavljati problem za ponašanje zgrade uslijed potresnog opterećenja. Također, značajne razlike u ovom odnosu između susjednih etaža mogu ukazivati na potencijalni problem "mekog kata" [22]. Posmična naprezanja u zidovima se računaju kao omjer poprečne sile i ukupne površine nosivih zidova u određenom smjeru.

#### 11.3.1. Prvi model

##### Podrum

Ukupna površina: 370,67 m<sup>2</sup>

Površina zidova u X smjeru: 66,78 m<sup>2</sup>

Površina zidova u Y smjeru: 63,60 m<sup>2</sup>

Omjer poprečne sile i težine:

$$\frac{F_x}{W} = \frac{20625,36 \text{ kN}}{59489,03 \text{ kN}} = 0,35$$

$$\frac{F_y}{W} = \frac{21469,97 \text{ kN}}{59489,03 \text{ kN}} = 0,36$$

Prosječno posmično naprezanje:

$$\tau_x = \frac{F_x}{A_x} = \frac{20625,36 \text{ kN}}{66,78 \text{ m}^2} = 0,31 \text{ Mpa}$$

$$\tau_y = \frac{F_y}{A_y} = \frac{21469,97 \text{ kN}}{63,60 \text{ m}^2} = 0,34 \text{ Mpa}$$

Prizemlje

Ukupna površina: 370,67 m<sup>2</sup>

Površina zidova u X smjeru: 49,33 m<sup>2</sup>

Površina zidova u Y smjeru: 49,03 m<sup>2</sup>

Omjer poprečne sile i težine:

$$\frac{F_x}{W} = \frac{19319,61 \text{ kN}}{46376,24 \text{ kN}} = 0,42$$

$$\frac{F_y}{W} = \frac{20192,56 \text{ kN}}{46376,24 \text{ kN}} = 0,44$$

Prosječno posmično naprezanje:

$$\tau_x = \frac{F_x}{A_x} = \frac{19319,61 \text{ kN}}{49,33 \text{ m}^2} = 0,39 \text{ Mpa}$$

$$\tau_y = \frac{F_y}{A_y} = \frac{20192,56 \text{ kN}}{49,03 \text{ m}^2} = 0,41 \text{ Mpa}$$

1. kat

Ukupna površina: 370,67 m<sup>2</sup>

Površina zidova u X smjeru: 44,60 m<sup>2</sup>

Površina zidova u Y smjeru: 45,79 m<sup>2</sup>

Omjer poprečne sile i težine:

$$\frac{F_x}{W} = \frac{16347,46 \text{ kN}}{34314,43 \text{ kN}} = 0,48$$

$$\frac{F_x}{W} = \frac{17102,65 \text{ kN}}{34314,43 \text{ kN}} = 0,50$$

Prosječno posmično naprezanje:

$$\tau_x = \frac{F_x}{A_x} = \frac{16347,46 \text{ kN}}{44,60 \text{ m}^2} = 0,37 \text{ Mpa}$$

$$\tau_y = \frac{F_y}{A_y} = \frac{17102,65 \text{ kN}}{45,79 \text{ m}^2} = 0,37 \text{ Mpa}$$

2. kat

Ukupna površina: 370,67 m<sup>2</sup>

Površina zidova u X smjeru: 41,45 m<sup>2</sup>

Površina zidova u Y smjeru: 43,53 m<sup>2</sup>

Omjer poprečne sile i težine:

$$\frac{F_x}{W} = \frac{11739,86 \text{ kN}}{22758,46 \text{ kN}} = 0,52$$

$$\frac{F_y}{W} = \frac{12264,02 \text{ kN}}{22758,46 \text{ kN}} = 0,54$$

Prosječno posmično naprezanje:

$$\tau_x = \frac{F_x}{A_x} = \frac{11739,86 \text{ kN}}{41,45 \text{ m}^2} = 0,28 \text{ Mpa}$$

$$\tau_y = \frac{F_y}{A_y} = \frac{12264,02 \text{ kN}}{43,53 \text{ m}^2} = 0,28 \text{ Mpa}$$

3. kat

Ukupna površina: 370,67 m<sup>2</sup>

Površina zidova u X smjeru: 41,45 m<sup>2</sup>

Površina zidova u Y smjeru: 43,53 m<sup>2</sup>

Omjer poprečne sile i težine:

$$\frac{F_x}{W} = \frac{5461,16 \text{ kN}}{11524,67 \text{ kN}} = 0,47$$

$$\frac{F_y}{W} = \frac{5657,92 \text{ kN}}{11524,67 \text{ kN}} = 0,49$$

Prosječno posmično naprezanje:

$$\tau_x = \frac{F_x}{A_x} = \frac{5461,16 \text{ kN}}{41,45 \text{ m}^2} = 0,13 \text{ Mpa}$$

$$\tau_y = \frac{F_y}{A_y} = \frac{5657,92 \text{ kN}}{43,53 \text{ m}^2} = 0,13 \text{ Mpa}$$

**11.3.2. Drugi model**Podrum

Ukupna površina: 370,67 m<sup>2</sup>

Površina zidova u X smjeru: 64,68 m<sup>2</sup>

Površina zidova u Y smjeru: 62,16 m<sup>2</sup>

Omjer poprečne sile i težine:

$$\frac{F_x}{W} = \frac{17443,96 \text{ kN}}{57626,53 \text{ kN}} = 0,30$$

$$\frac{F_y}{W} = \frac{18792,91 \text{ kN}}{57626,53 \text{ kN}} = 0,33$$

Prosječno posmično naprezanje:

$$\tau_x = \frac{F_x}{A_x} = \frac{17443,96 \text{ kN}}{64,68 \text{ m}^2} = 0,27$$

$$\tau_y = \frac{F_y}{A_y} = \frac{18792,91 \text{ kN}}{62,16 \text{ m}^2} = 0,30$$

Prizemlje

Ukupna površina: 370,67 m<sup>2</sup>

Površina zidova u X smjeru: 46,29 m<sup>2</sup>

Površina zidova u Y smjeru: 45,73 m<sup>2</sup>

Omjer poprečne sile i težine:

$$\frac{F_x}{W} = \frac{16438,68 \text{ kN}}{44554,57 \text{ kN}} = 0,37$$

Prosječno posmično naprezanje:

$$\tau_x = \frac{F_x}{A_x} = \frac{16438,68 \text{ kN}}{46,29 \text{ m}^2} = 0,35$$

$$\frac{F_y}{W} = \frac{17769,67 \text{ kN}}{44554,57 \text{ kN}} = 0,40$$

$$\tau_y = \frac{F_y}{A_y} = \frac{17769,67 \text{ kN}}{45,73 \text{ m}^2} = 0,39$$

1. kat

Ukupna površina: 370,67 m<sup>2</sup>

Površina zidova u X smjeru: 41,56 m<sup>2</sup>

Površina zidova u Y smjeru: 42,49 m<sup>2</sup>

Omjer poprečne sile i težine:

$$\frac{F_x}{W} = \frac{14078,97 \text{ kN}}{32929,24 \text{ kN}} = 0,43$$

Prosječno posmično naprezanje:

$$\tau_x = \frac{F_x}{A_x} = \frac{14078,97 \text{ kN}}{41,56 \text{ m}^2} = 0,37$$

$$\frac{F_x}{W} = \frac{15219,14 \text{ kN}}{32929,24 \text{ kN}} = 0,46$$

$$\tau_y = \frac{F_y}{A_y} = \frac{15219,14 \text{ kN}}{42,49 \text{ m}^2} = 0,34$$

2. kat

Ukupna površina: 370,67 m<sup>2</sup>

Površina zidova u X smjeru: 38,41 m<sup>2</sup>

Površina zidova u Y smjeru: 40,23 m<sup>2</sup>

Omjer poprečne sile i težine:

$$\frac{F_x}{W} = \frac{10305,25 \text{ kN}}{21835,00 \text{ kN}} = 0,47$$

Prosječno posmično naprezanje:

$$\tau_x = \frac{F_x}{A_x} = \frac{10305,25 \text{ kN}}{38,41 \text{ m}^2} = 0,27$$

$$\frac{F_y}{W} = \frac{11117,52 \text{ kN}}{21835,00 \text{ kN}} = 0,51$$

$$\tau_y = \frac{F_y}{A_y} = \frac{11117,52 \text{ kN}}{40,23 \text{ m}^2} = 0,28$$

3. kat

Ukupna površina: 370,67 m<sup>2</sup>

Površina zidova u X smjeru: 38,41 m<sup>2</sup>

Površina zidova u Y smjeru: 40,23 m<sup>2</sup>

Omjer poprečne sile i težine:

Prosječno posmično naprezanje:

$$\frac{F_x}{W} = \frac{4958,57 \text{ kN}}{11062,95 \text{ kN}} = 0,45$$

$$\tau_x = \frac{F_x}{A_x} = \frac{4958,57 \text{ kN}}{38,41 \text{ m}^2} = 0,13$$

$$\frac{F_y}{W} = \frac{5301,11 \text{ kN}}{11062,95 \text{ kN}} = 0,48$$

$$\tau_y = \frac{F_y}{A_y} = \frac{5301,11 \text{ kN}}{40,23 \text{ m}^2} = 0,13$$

### 11.3.3. Usporedba rezultata

Očekivano, omjer katne poprečne sile raste prema višim etažama za oba modela. Tipične vrijednosti tog omjera kreću se od 0,1 do 0,3. Međutim, vrijednosti dobivene za ovu zgradu odstupaju od spomenutih i kreću se između 0,35 – 0,54 za prvi model odnosno 0,30 – 0,51 za drugi model. Može se primijetiti da su odnosi katnih poprečnih sila i težina etaža i prosječna posmična naprezanja po katovima slični za oba modela. Vrijednosti su nešto veće u prvom modelu, u prosjeku za 10%, a najveće vrijednosti vidljive su na drugom katu za oba modela.

## 12. ZAKLJUČAK

Na temelju provedene analize dva modela zgrade - s pregradnim zidovima i bez njih - može se zaključiti da pregradni zidovi imaju značajan utjecaj na ponašanje konstrukcije tijekom potresnog opterećenja.

Analiza modalnih oblika i sudjelujućih masa pokazala je da model bez pregradnih zidova ima veće periode titranja, što ukazuje na manju krutost konstrukcije. Aktivacija 90% mase postiže se u kasnijim modovima za model bez pregradnih zidova, što dodatno potvrđuje njihov doprinos povećanju krutosti zgrade. Također, usporedbom modela, vidljiva je i razlika u oblicima titranja

Maksimalni pomaci etaža pokazuju još izraženiju razliku između dva modela. Model bez pregradnih zidova ima približno 65% veće maksimalne pomake etaža u odnosu na model s pregradnim zidovima. Ovo ukazuje na važnu ulogu pregradnih zidova u povećanju krutosti konstrukcije i smanjenju ukupnih pomaka zgrade tijekom potresnog djelovanja.

Analizom maksimalnih relativnih pomaka kata potvrđuje se doprinos pregradnih zidova na odziv konstrukcije. Model s pregradnim zidovima pokazuje veće relativne pomake, što sugerira da pregradni zidovi utječu na raspodjelu krutosti po visini zgrade. Najveći relativni pomaci zabilježeni su u podrumu i prizemlju za oba modela, ali model bez pregradnih zidova pokazuje ujednačenije ponašanje po visini. Ovo ukazuje na to da, iako pregradni zidovi smanjuju ukupne pomake, oni mogu dovesti do neravnomjerne raspodjele deformacija po visini zgrade.

Analiza katnih poprečnih sila pokazala je razlike u odzivu konstrukcije ovisno o korištenom spektru odziva. Kod elastičnog spektra, posmične sile u smjerovima X i Y su približno jednake za oba modela. Međutim, kod projektnog spektra, u modelu s pregradnim zidovima posmična sila u smjeru X je četiri do pet puta veća od sile u smjeru Y, dok je u modelu bez pregradnih zidova dva puta veća. Generalno, model s pregradnim zidovima pokazuje veće vrijednosti poprečnih sila.

Odnos katne poprečne sile i težine etaže raste prema višim etažama za oba modela, što je očekivano. Međutim, dobivene vrijednosti (0,35-0,54 za prvi model i 0,30-0,51 za drugi model) odstupaju od tipičnih vrijednosti (0,1-0,3), što ukazuje na potencijalno veće potresno opterećenje koje konstrukcija mora podnijeti. Najveće vrijednosti zabilježene su na drugom katu za oba modela. Takve velike vrijednosti ukazuju na to da bi zgradu trebalo dodatno ojačati.

Zaključno, ova analiza pokazuje da pregradni zidovi imaju primjetan utjecaj na ponašanje zgrade tijekom potresnog opterećenja. Oni povećavaju krutost konstrukcije i smanjuju maksimalne pomake etaža, ali istovremeno mogu dovesti do neravnomjerne raspodjele krutosti po visini zgrade. Model bez pregradnih zidova pokazuje veće pomake, ali ujednačenije ponašanje. Ovi rezultati pokazuju važnost pravilnog modeliranja i uzimanja u obzir



nekonstruktivnih elemenata pri projektiranju zgrada otpornih na potres, posebno pri obnovi postojećih objekata.

## POPIS LITERATURE

- [1] Formisano A, Florio G, Landolfo R, Mazzolani FM. 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.
- [2] POLIS Network. Steps ahead! The future of Barcelona's superblock. Dostupno: <https://www.polisnetwork.eu/news/steps-ahead-the-future-of-barcelonas-superblock/> [Pristupljeno: 20. studenog 2024.]
- [3] Atalić J., Todorić M., Uroš M., Šavor Novak M., Crnogorac M., Lakušić S. *Potresno inženjerstvo i zidane konstrukcije*. 1. izd. Zagreb: Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu; 2021.
- [4] Jukić T., Gašparović S., Mrđa A., Perkov K. Urbanistički model obnove blokova kao dio cjelovite obnove zaštićene Povijesne urbane cjeline Grada Zagreba. U: *Proceedings of the 1st Croatian Conference on Earthquake Engineering (1CroCEE)*; 22.-24. ožujka 2021.; Zagreb, Hrvatska. Neobjavljeno. Dostupno: <https://crosis.hr/crosbi/publikacija/prilog-skup/704100>
- [5] Plemenčić L., Proračun Grada Zagreba za 2022. godinu: Koja gradska četvrt dobiva najviše novca. *Baustela.hr*. Dostupno: <https://baustela.hr/novosti/proracun-grada-zagreba-za-2022-godinu-koja-gradska-cetvrt-dobiva-najvise-novaca/> [Pristupljeno: 20. rujna 2024.].
- [6] Grad Zagreb. Pročelja. *Zagreb.hr*. Dostupno: <https://www.zagreb.hr/UserDocsImages/arhiva/Procelja/2673.pdf> [Pristupljeno: 20. rujna 2024.].
- [7] Fragiadakis M. Response Spectrum Analysis of Structures Subjected to Seismic Actions. Springer Reference Work. Dostupno: [https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-642-36197-5\\_133-1](https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-642-36197-5_133-1). [Pristupljeno: 5. studenog 2024.]
- [8] Sorić Z. *Zidane konstrukcije*. Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb: Z. Sorić; 2016.
- [9] Lulić L, Ožić K, Kišiček T, Hafner I, Stepinac M. Post-earthquake damage assessment—case study of the educational building after the Zagreb earthquake. *Sustainability*. Dostupno: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/11/6353> [Pristupljeno: 5. studenog 2024.].
- [10] Uroš M, Atalić J, Šavor Novak M, Demšić M, Baniček M. Proračun postojećih konstrukcija u seizmički aktivnim područjima [Bilježke s predavanja-Povijest propisa]. Zagreb: Građevinski fakultet
- [11] Markušić S, Stanko D, Korbar T, Belić N, Penava D, Kordić B. The Zagreb (Croatia) M5.5 earthquake on 22 March 2020. *Geosciences*. Dostupno: <https://www.mdpi.com/2076-3263/10/7/252> [Pristupljeno: 7. studenog 2024.].

- [12] Dasović I, Herak D, Herak M, Latečki H, Mustać M, Tomljenović B. O potresima u Hrvatskoj. *Vijesti Hrvatskoga geološkog društva*. Dostupno: <https://repositorij.rgn.unizg.hr/islandora/object/rgn%3A1452> [Pristupljeno: 6. studenog 2024.].
- [13] Gradski ured za upravljanje hitnim situacijama. Veliki potres u Zagrebu 1880. godine. *Potresni rizik Grada Zagreba*. Dostupno: <https://potresnirizik.zagreb.hr/potresi/veliki-potres-u-zagrebu-1880-godine/66> [Pristupljeno: 12. studenog 2024.].
- [14] Uroš M, Demšić M, Šavor Novak M, Atalić J, Baniček M, Jevtić Rundek R, et al. Damage Evaluation and Seismic Assessment of a Typical Historical Unreinforced Masonry Building in the Zagreb 2020 Earthquake: A Case Study—Part I. *Buildings*. 2024;14(2):474.
- [15] Grad Zagreb. Godina dana od razornog potresa - Aktivnosti gradskih službi, Zagrebačkog holdinga i pridruženih društava. *Grad Zagreb*. 2021. Dostupno: <https://zagreb.hr/godina-dana-od-razornog-potresa-aktivnosti-gradski/170151> [Pristupljeno: 12. studenog 2024.].
- [16] Uroš M, Šavor Novak M, Atalić J, Sigmund Z, Baniček M, Demšić M, Hak S. Procjena oštećenja građevina nakon potresa - postupak provođenja pregleda zgrada. *Građevinar*. 2020;72(12):1089-1115.
- [17] Atalić J. Konstruktorski modeli obnove. *Zavod za znanstvenoistraživački rad pri Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu*. Dostupno: [https://www.zzpugz.hr/wp-content/uploads/2021/07/01\\_Atalic\\_Konstruktorski-modeli-obnove.pdf](https://www.zzpugz.hr/wp-content/uploads/2021/07/01_Atalic_Konstruktorski-modeli-obnove.pdf) [Pristupljeno: 8. studenog 2024.].
- [18] Google. Mihanovićeveva 20, Zagreb. *Google Maps*. Dostupno: [https://www.google.com/maps/search/mihanoviceva+20/@45.9680386,15.8662314,17.75z?entry=ttu&g\\_ep=EgoyMDI0MTExMy4xIKXMDSoASAFQAw%3D%3D](https://www.google.com/maps/search/mihanoviceva+20/@45.9680386,15.8662314,17.75z?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI0MTExMy4xIKXMDSoASAFQAw%3D%3D) [Pristupljeno: 10. rujna 2024.].
- [19] HCPI: Baza podataka s pregleda uporabljivosti zgrada, Hrvatskicentar za potresno inženjerstvo, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2020
- [20] Hrvatski zavod za norme. HRN EN 1998-1:2011. Eurokod 8. *Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija - 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade*. Zagreb: HZN Glasilo; 2011.
- [21] Herak M. Karte potresnih područja Republike Hrvatske [Internet]. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu; [Pristupljeno: 25. rujna 2024.]. Dostupno: <http://seizkarta.gfz.hr/hazmap/karta.php>
- [22] Erdil B, Ceylan H. Primjena interakcijske metode MVP u ocjeni seizmičke oštetljivosti AB zgrada. *Građevinar*. 2019;71(6):489-503.

## POPIS SLIKA

Slika 1.: Gradski blokovi u Barceloni [1].....	2
Slika 2.:Razredi prisutnosti susjednih jedinica različite visine [3] .....	4
Slika 3.: Razredi pozicije jedinice u nizu građevina [3] .....	4
Slika 4.: Razredi broja razmještenih katova [3].....	5
Slika 5.:Razredi konstrukcijskih i tipoloških heterogenosti između susjednih jedinica [3].....	5
Slika 6.: Razredi razlike ploština otvora između susjednih fasada [3] .....	5
Slika 7.: Donji grad u Zagrebu [5].....	6
Slika 8.: Prikaz većih blokova površine unutrašnjosti $\geq 10\ 000\ m^2$ (Izvor: [4]) .....	7
Slika 9.: Ekstremi u visini izgradnje [4] .....	8
Slika 10.: Obnovljeno pročelje (lijevo) i zanemarena fasada dvorišnog dijela zgrade (desno) na adresi Mihanovićeve 20 [6] .....	9
Slika 11.: Projektni spektar odziva [8] .....	10
Slika 12.: Tipična zgrada s početka 20. stoljeća s međukatnom konstrukcijom od drvenog grednika [9].....	12
Slika 13.: Tektonske granice na području Sredozemlja [12] .....	14
Slika 14.: Oštećenja nastala potresom 1880. Godine u Zagrebu [13] .....	15
Slika 15.: Oštećenja nakon potresa 2020. Godine u zagrebu [15].....	16
Slika 16.: Oznake kategorije uporabljivosti građevina [16] .....	17
Slika 17.: Lokacija bloka 96 i zgrade na adresi Mihanovićeve 20 [18] .....	19
Slika 18.: Pročelje zgrade [18].....	20
Slika 19.: Pročelje zgrade [18].....	20
Slika 20.: Tlocrt podruma .....	21
Slika 21.: Tlocrt prizemlja .....	22
Slika 22.: Tlocrt 1. kata.....	23
Slika 23.: Tlocrt 2. kata.....	23
Slika 24.: Tlocrt 3. kata.....	24
Slika 25.: Popunjeni obrasci za brzi pregled za predmetnu, stranice 2/3.....	25
Slika 26.: Popunjeni obrasci za brzi pregled za predmetnu, stranica 3/3.....	25
Slika 27.: Tlocrtni prikaz kategorije uporabivosti nakon potresa za zgrade u bloku 96 [19] ....	26
Slika 28.: 3D prikaz kategorije uporabivosti nakon potresa za zgrade u bloku 96 [19] .....	26
Slika 29.: Trodimenzionalni prikaz konstrukcije (pogled 1).....	32
Slika 30.: Trodimenzionalni prikaz konstrukcije (pogled 2).....	32
Slika 31.: Prikaz prvog vlastitog oblika titranja, $T = 0,328\ s$ .....	33
Slika 32.: Prikaz drugog vlastitog oblika titranja, $T = 0,315\ s$ .....	34
Slika 33.: Prikaz trećeg vlastitog oblika titranja, $T = 0,262\ s$ .....	34
Slika 34.: Prikaz prvog vlastitog oblika titranja, $T = 0,378\ s$ .....	35
Slika 35.: Prikaz drugog vlastitog oblika titranja, $T = 0,349\ s$ .....	36

Slika 36.: Prikaz trećeg vlastitog oblika titranja, $T = 0,270$ s.....	36
Slika 37.: Vršna ubrzanja tla za pojedini povratni period za predmetnu građevinu [21] .....	38
Slika 38.: Elastični spektar odziva povratnog perioda 475 godina .....	39
Slika 39.: Elastični spektar odziva povratnog perioda 95 godina .....	39
Slika 40.: Projektni spektar odziva povratnog perioda 475 godina .....	40
Slika 41.: Projektni spektar odziva povratnog perioda 95 godina .....	40
Slika 42.: Maksimalni pomaci etaža u oba smjera za elastični spektar odziva povratnog perioda 475 godina .....	41
Slika 43.: Maksimalni pomaci etaža u oba smjera za elastični spektar odziva povratnog perioda 95 godina .....	41
Slika 44.: Maksimalni pomaci etaža u oba smjera za projektni spektar odziva povratnog perioda 475 godina .....	42
Slika 45.: Maksimalni pomaci etaža u oba smjera za projektni spektar odziva povratnog perioda 95 godina .....	42
Slika 46.: Maksimalni pomaci etaža u oba smjera za elastični spektar odziva povratnog perioda 475 godina .....	43
Slika 47.: Maksimalni pomaci etaža u oba smjera za elastični spektar odziva povratnog perioda 95 godina .....	43
Slika 48.: Maksimalni pomaci etaža u oba smjera za projektni spektar odziva povratnog perioda 475 godina .....	44
Slika 49.: Maksimalni pomaci etaža u oba smjera za projektni spektar odziva povratnog perioda 95 godina .....	44
Slika 50.: Maksimalni relativni pomaci etaža u oba smjera za elastični spektar odziva povratnog perioda 475 godina .....	46
Slika 51.: Maksimalni relativni pomaci etaža u oba smjera za elastični spektar odziva povratnog perioda 95 godina.....	46
Slika 52.: Maksimalni relativni pomaci etaža u oba smjera za projektni spektar odziva povratnog perioda 475 godina .....	47
Slika 53.: Maksimalni relativni pomaci etaža u oba smjera za projektni spektar odziva povratnog perioda 95 godina.....	47
Slika 54.: Maksimalni relativni pomaci etaža u oba smjera za elastični spektar odziva povratnog perioda 475 godina .....	48
Slika 55.: Maksimalni relativni pomaci etaža u oba smjera za elastični spektar odziva povratnog perioda 95 godina.....	48
Slika 56.: Maksimalni relativni pomaci etaža u oba smjera za projektni spektar odziva povratnog perioda 475 godina .....	49
Slika 57.: Maksimalni relativni pomaci etaža u oba smjera za projektni spektar odziva povratnog perioda 95 godina.....	49
Slika 58.: Katne poprečne sile u oba smjera za elastični spektar odziva povratnog perioda 475 godina .....	51

---

Slika 59.: Katne poprečne sile u oba smjera za elastični spektar odziva povratnog perioda 95 godina .....	51
Slika 60.: Katne poprečne sile u oba smjera za projektni spektar odziva povratnog perioda 475 godina .....	52
Slika 61.: Katne poprečne sile u oba smjera za projektni spektar odziva povratnog perioda 95 godina .....	52
Slika 62.: Katne poprečne sile u oba smjera za elastični spektar odziva povratnog perioda 475 godina .....	53
Slika 63.: Katne poprečne sile u oba smjera za elastični spektar odziva povratnog perioda 95 godina .....	53
Slika 64.: Katne poprečne sile u oba smjera za projektni spektar odziva povratnog perioda 475 godina .....	54
Slika 65.: Katne poprečne sile u oba smjera za projektni spektar odziva povratnog perioda 95 godina .....	54

## POPIS TABLICA

Tablica 1.:Obrazac za procjenu oštetljivosti zidanih zgrada u nizu [3] .....	4
Tablica 2.: Rasponi dopustivih vrijednosti faktora ponašanja $q$ [8].....	11
Tablica 3.:Stalno opterećenje za ploče podruma i kuhinje.....	27
Tablica 4.: Stalno opterećenje za ploče prizemlja, prvog drugog i trećeg kata .....	27
Tablica 5.: Stalno opterećenje za stubište .....	28
Tablica 6.: Stalno opterećenje za podest.....	28
Tablica 7.: Stalno opterećenje od krovišta.....	29
Tablica 8.: Uporabno opterećenje (prema HRN EN 1991-2-1) .....	30
Tablica 9.: Periodi titranja i sudjelujuće mase za svaki modalni oblik .....	35
Tablica 10.: Periodi titranja i sudjelujuće mase za svaki modalni oblik.....	37