



Sveučilište u Zagrebu  
Građevinski fakultet  
Fra Andrije Kačića Miošića 26, Zagreb



CENTAR  
GRAĐEVINSKOG  
FAKULTETA

Zagreb, 15. rujna 2023.

## PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB

Naručitelj:

**GRAD ZAGREB**

Trg Stjepana Radića 1, Zagreb; OIB: 61817894937

Ugovor:

**PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB**

(Registrar ugovora 480/2021)

Ugovaratelji:

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Zagreb, Fra Andrije Kačića Miošića 26; OIB: 62924153420

**CENTAR GRAĐEVINSKOG FAKULTETA d.o.o.**

Sveti Duh 129, Zagreb; OIB: 51108551424

Predmet:

**AKTIVNOST 2 Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba**

**Elaborat građevinarstvo – visokogradnja – podaci o konstrukcijskim sustavima visokih građevina (preko 15 katova) vezan na periode gradnje**

Autori:

Mario Uroš, Marta Šavor Novak, Josip Atalić, Maja Baniček

Projekt sufinancira Europska unija iz Europskog fonda za regionalni razvoj, a prijavljen je u sklopu projekta „**Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske**“ (dio b. Potresni rizik na području Grada Zagreba) za potrebe procjene smanjenja rizika od katastrofa“ pod prioritetnom osi 5 Operativnog programa Konkurentnost i koheziju naziva „Klimatske promjene i upravljanje rizicima“ i to u sklopu investicijskog prioriteta (IP) „5B Poticanje ulaganja koja se odnose na posebne rizike, osiguranje otpornosti na katastrofe i razvoj sustava za upravljanje katastrofama“.



Jedinstvo do fondova EU



REPUBLIKA HRVATSKA  
Državna geodetska uprava



Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog fonda za regionalni razvoj.



## PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB

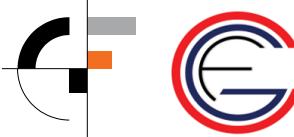
Elaborat građevinarstvo - visokogradnja - podaci o konstrukcijskim

sustavima visokih građevina (preko 15 katova) vezan na periode gradnje

Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba

## Sadržaj

1.	Uvod.....	3
2.	Djelovanje potresa na građevine .....	5
3.	Armiranobetonske zgrade.....	6
3.1	Tornjevi u naselju Siget.....	6
3.1.1	Uvod .....	6
3.1.2	Opis konstrukcije .....	8
3.1.3	Djelovanje na konstrukciju .....	12
3.1.4	Glavni elementi konstrukcije .....	13
4.	Analiza podataka o visokim zgradama.....	14
5.	Procjena potresne oštetljivosti visokih zgrada .....	20
6.	Zaključak.....	24
7.	Literatura .....	26



## PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB

Elaborat građevinarstvo - visokogradnja - podaci o konstrukcijskim

sustavima visokih građevina (preko 15 katova) vezan na periode gradnje

Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba

### 1. Uvod

Grad Zagreb je glavni grad Republike Hrvatske u kojem živi više od 1/5 ukupnog stanovništva te kao takav predstavlja istaknuto administrativno i dominantno gospodarsko središte gdje se generira više od 1/3 bruto domaćeg proizvoda (Atalić i Hak, 2014). Grad Zagreb središte je državne, regionalne i lokalne uprave. U njemu se nalaze važne obrazovne, kulturne, umjetničke i zdravstvene institucije, industrijski pogoni i kulturna baština neprocjenjive nacionalne vrijednosti. Grad je i prometno središte države i sjedište europskih prometnih smjerova istok-zapad i sjever-jug. Administrativno je podijeljen na 17 gradskih četvrti (GČ) i 218 Mjesnih odbora (MO).

Grad se nalazi na području na kojemu je pojava jakih potresa dokumentirana unazad više stoljeća (Herak i dr., 2009, 2016, 2021), a materijalne i ljudske žrtve mogu biti velike kako je pokazano u procjenama rizika od katastrofa (Atalić i Hak, 2014, Atalić i dr., 2018).

U Studiji za saniranje posljedica potresa koja se provodila od 2013. do 2021. godine (Atalić i dr., 2013-2020) je, među ostalim aktivnostima, detaljnije analiziran fond zgrada u gradu. Takvi podaci su vrlo bitni jer se tijekom povijesti način gradnje mijenjao ovisno o razvoju tehnologija građevinskih konstrukcija, spoznajama o karakteristikama tla, urbanističkim spoznajama o uređivanju prostora, potrebama za građevnim prostorom i slično. Valja spomenuti da je za Zagreb, kao i za ostatak Hrvatske, specifična i vrlo slaba dokumentacija o rekonstrukcijama koje znatno utječu na ponašanje konstrukcije pri djelovanju potresa i velik broj nezakonito izgrađenih ili rekonstruiranih zgrada što nije tako čest slučaj u ostatku Europske Unije.

Tijekom ažurirane procjene rizika (Atalić i dr., 2018) definirano je 14 karakterističnih tipova zgrada grada Zagreba, a unutar Studije za saniranje posljedica potresa (Atalić i dr., 2013-2020) napravljena je još detaljnija kategorizacija na 42 tipa koja je nastala grananjem već postojećih tipova na podtipove. Svaki karakteristični tip predstavlja skup karakterističnih atributa kojima se pod zajedničkim imenom mogu opisati zgrade istog ili, do određene granice, sličnog odziva, ponašanja i posljedica od djelovanja potresa s obzirom na način i vremensko razdoblje gradnje te vrstu i materijal nosivog sustava. To omogućava provođenje proračuna na višestruko manjem broju numeričkih modela, a dobiveni se rezultati mogu primijeniti na značajnom dijelu fonda građevina na tom području.

U ovom elaboratu se detaljnije analiziraju armiranobetonски tornjevi (NEB), koji se nazivaju i visoke zgrade. Pojam visokih zgrada obuhvaća tornjeve katnosti više od 15 etaža iznad razine tla. Na slici 1.1 su prikazani položaji visokih zgrada obrađenih u ovom Elaboratu.

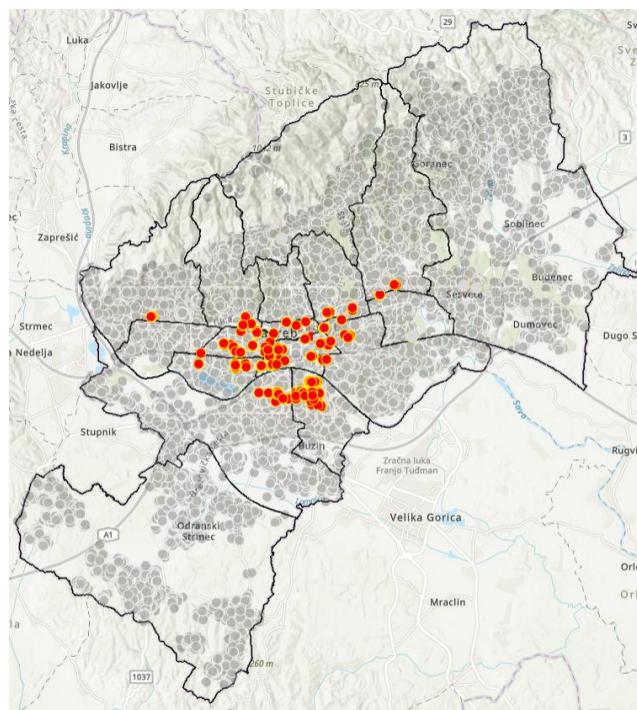
Ovom istraživanjem želi se ustanoviti ošteljivost koju čine visoke zgrade u gradu Zagrebu, a koja je dio ukupnog rizika od potresa za područje Grada Zagreba. Visoke zgrade predstavljaju osjetljivi fond zgrada jer je na malom području koncentrirano puno stanovništva. Također, zbog svog konstrukcijskog sustava visoke zgrade predstavljaju poseban izazov pri proračunu i procjeni potresne otpornosti. Dodatno, često su visoke zgrade rađene u grupama tako da imamo više potpuno jednakih zgrada na nekom području. Sve to ih čini izuzetno zanimljivim za analizu procjene rizika i njihove ošteljivosti. Dodatan motiv je i vrijeme evakuacije koje je kod visokih zgrada znatno dulje nego kod niskih zgrada što znači da posljedice jačih potresa kod težih oštećenja mogu biti katastrofalne. Pritom će se obraditi visoke građevine stambene i poslovne namjene koje su značajne za analizu rizika. Ostale visoke građevine kao što su antenski tornjevi, dimnjaci, gospodarske građevine, nisu se razmatrale u ovoj studiji.



## PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB

Elaborat građevinarstvo - visokogradnja - podaci o konstrukcijskim sustavima visokih građevina (preko 15 katova) vezan na periode gradnje

Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba



Slika 1.1 Položaj obrađenih visokih zgrada u Gradu Zagrebu

Velik dio visokih zgrada je građen 60-tih i 70-tih godina 20. stoljeća te kao takvi nisu projektirani na danas važeće propise i suvremeno opterećenja od potresa. Također, detalji izvedbe tog doba su bili drugačiji što utječe na potresnu ošteljivost takvih zgrada, a vrlo bitan atribut je i održavanje građevine koje znatno može smanjiti njenu otpornost na potres.

Treba naglasiti da ovom elaboratom nisu pojedinačno obrađene zgrade niti se rezultati mogu na taj način tumačiti. Analiza je provedena na velikom broju zgrada i vrijedi kada se gleda fond visokih zgrada u Gradu Zagrebu, što znači da se rezultati analize ne smiju koristiti individualno na zgradama ili skupini zgrada već samo za procjenu ošteljivosti i rizika visokih zgrada na razini Grada Zagreba. Pojedinačne zgrade imaju dodatne specifičnosti koje nisu uzete u ovoj studiji. Prenamjene tijekom vremena i rušenja nosivih elemenata samo su paušalno uzeta u obzir te nije proveden pregled svake pojedinačne zgrade. Pojedinačni proračun otpornosti visoke zgrade je iznimno zahtijevan posao koji se ne provodi u svrhu procjene rizika. Jedan od ciljeva ovog elaborata je i baza podataka o visokim zgradama koja može poslužiti i kao podloga za projektiranje novih nebodera te za donošenje strateških odluka za donošenje mjera za ublažavanje rizika.



## PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB

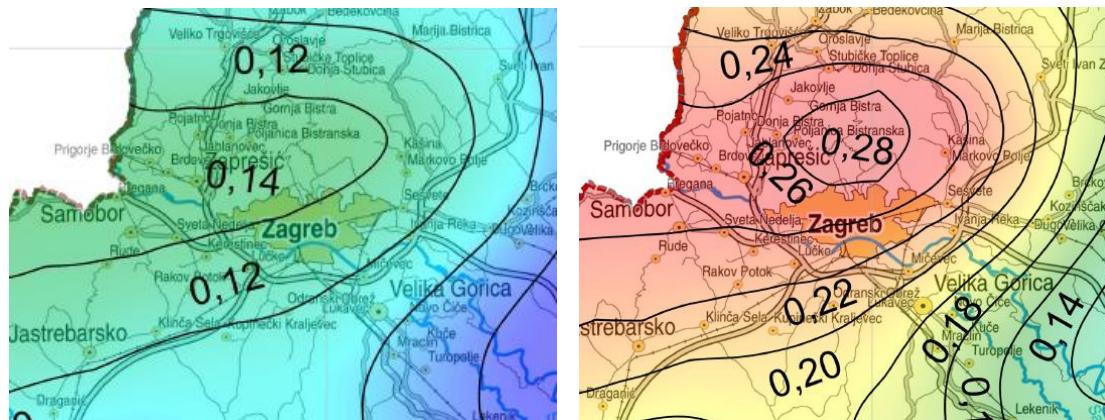
Elaborat građevinarstvo - visokogradnja - podaci o konstrukcijskim

sustavima visokih građevina (preko 15 katova) vezan na periode gradnje

Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba

## 2. Djelovanje potresa na građevine

Potresno djelovanje za Grad Zagreb je pretpostavljeno prema važećoj karti potresnih područja Republike Hrvatske (Herak i dr., 2011) uzimajući za približnu lokaciju građevine vrijednosti horizontalnih vršnih ubrzanja tla za povratna razdoblja od 95 i 475 godina.



Slika 2.1 Iznosi vršnih ubrzanja za Zagreb i okolicu, povratni period 95 g. i 475 g (Herak i dr., 2011)

U nastavku je prikazana tablica maksimalnih pseudoubrzanja prema karti potresnih područja Republike Hrvatske (Herak i dr., 2011). Pseudoubrzanje na konkretnoj lokaciji je određeno sa vršnim ubrzanjem tla, tipom tla i korištenim tipom spektra pseudoubrzanja. Također je ključan i faktor ponašanja koji je odabran samo u iznosima 1,5 i 2,0 što predstavlja minimalne vrijednosti.

Tablica 2.1 Tablica maksimalnih pseudoubrzanja

Tablica maksimalnih pseudoubrzanja (između $T_B$ i $T_C$ )								
	Faktor ponašanja je 1,5				Faktor ponašanja je 2,0			
	Spektar tip 1		Spektar tip 2		Spektar tip 1		Spektar tip 2	
Ubrazanje tla	0,22g	0,26g	0,22g	0,26g	0,22g	0,26g	0,22g	0,26g
Tip Tla								
A	0,37	0,43	0,37	0,43	0,28	0,33	0,28	0,33
B	0,44	0,52	0,5	0,59	0,33	0,39	0,37	0,44
C	0,42	0,5	0,55	0,65	0,32	0,37	0,41	0,49
D	0,5	0,59	0,66	0,78	0,37	0,44	0,50	0,59



## PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB

Elaborat građevinarstvo - visokogradnja - podaci o konstrukcijskim

sustavima visokih građevina (preko 15 katova) vezan na periode gradnje

Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba

### 3. Armiranobetonske zgrade

U ovom poglavlju su obrađene armiranobetonske visoke zgrade. One su većinom izvedene prije donošenja suvremenih seizmičkih propisa. Također, uglavnom se radi o visokim zgradama koje su građene u grupama tako da postoji više identičnih zgrada sa gotovo identičnim atributima.

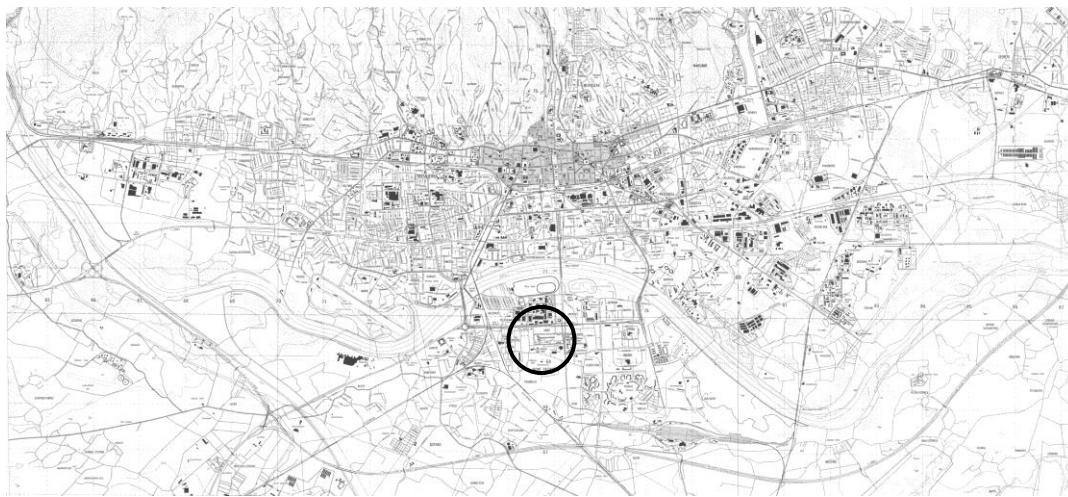
U nastavku će se na primjeru jedne zgrade prikazati kako izgleda takvo jedno izvješće. Treba napomenuti da nisu sve zgrade obrađene na ovaj način već samo dio njih. Također, prikazani primjer ima i puno više podataka od potrebnih za grubu procjenu oštetljivosti.

Zgrada počinje uvodom gdje je opisana lokacija zgrade i osnovni podaci o njoj. U nastavku je opisan nosivi sustav zgrade i materijal od kojega je napravljena. Navedeni su svi glavni parametri potrebni za analizu potresne otpornosti zgrade. Opisano je stanje konstrukcije te preinake i rekonstrukcije koje su se dogodile tijekom vremena na zgradi ako su poznate. Dani su karakteristični tlocrti i presjeci zgrade te dodatni tehnički podaci koji su se pronašli u dokumentaciji. Također je opisano djelovanje potresa na konstrukciju i glavne značajke odziva zgrade kao što su dinamički parametri zgrade. Svaka zgrada završava zaključkom u kojem su navedene najbitnije informacije o toj zgradi.

#### 3.1 Tornjevi u naselju Sijet

##### 3.1.1 Uvod

Naselje Sijet rasprostire se na površini od 72 ha i ima cca 8500 stanovnika. Gradnja je započela 1963. godine u skladu s planom izrađenim u Urbanističkom zavodu Grada Zagreba, a prve zgrade useljene su 1965. godine. Naselje se sastoji od više tipova građevina, a dominiraju stambeni tornjevi P+16, te dvije vrste lamela - više (katnosti P+9), te niže (katnosti P+5, tzv. tip "Volta"). Svaka od navedenih grupa zgrada izvođena je specifičnom tehnikom građenja (Korlaet, 2014).



Slika 3.1 Položaj naselja Sijet unutar grada (Korlaet, 2014)



## PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB

Elaborat gradevinarstvo - visokogradnja - podaci o konstrukcijskim

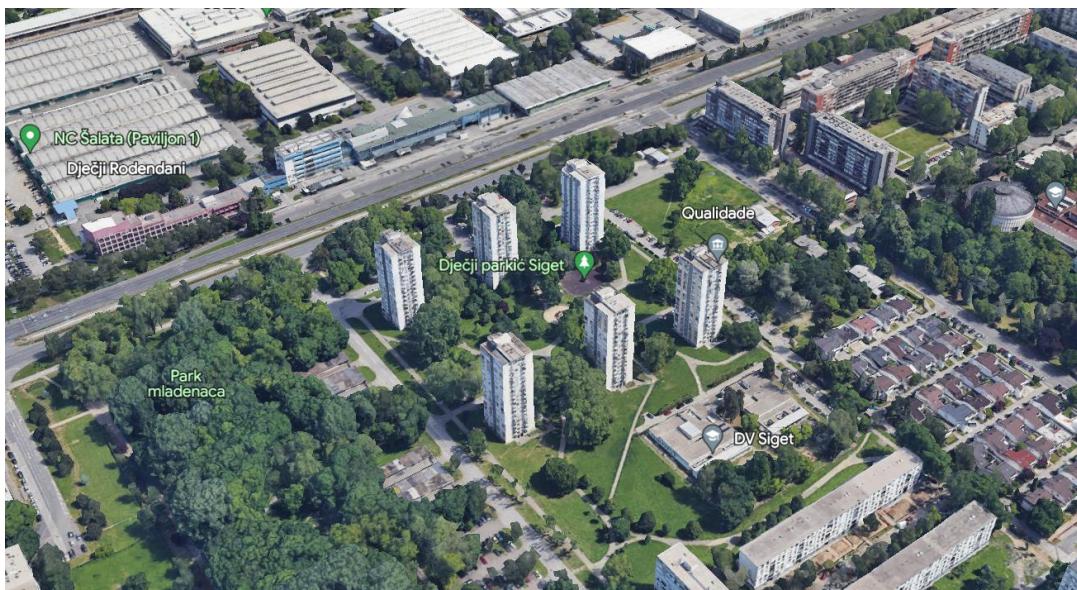
sustavima visokih gradevina (preko 15 katova) vezan na periode gradnje

Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba



Slika 3.2 Pogled na naselje s Avenije Dubrovnik za vrijeme gradnje 1964. godine (Žanko, 1966.)

Projekt stambenih tornjeva je rađen u ljetu 1963. godine, a započet prije potresa u Skopju, tj. kada još nije bilo iskustava stečenih istraživanjem šteta nastalih u potresima u Skopju i Slavonskom Brodu, kao i ozbiljnijim proučavanjem svjetskih dostignuća na polju građenja na seizmički ugroženim područjima.



Slika 3.3 Perspektiva stambenih tornjeva Siget (Google Maps, 2023)



## PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB

Elaborat građevinarstvo - visokogradnja - podaci o konstrukcijskim

sustavima visokih građevina (preko 15 katova) vezan na periode gradnje

Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba

### 3.1.2 Opis konstrukcije

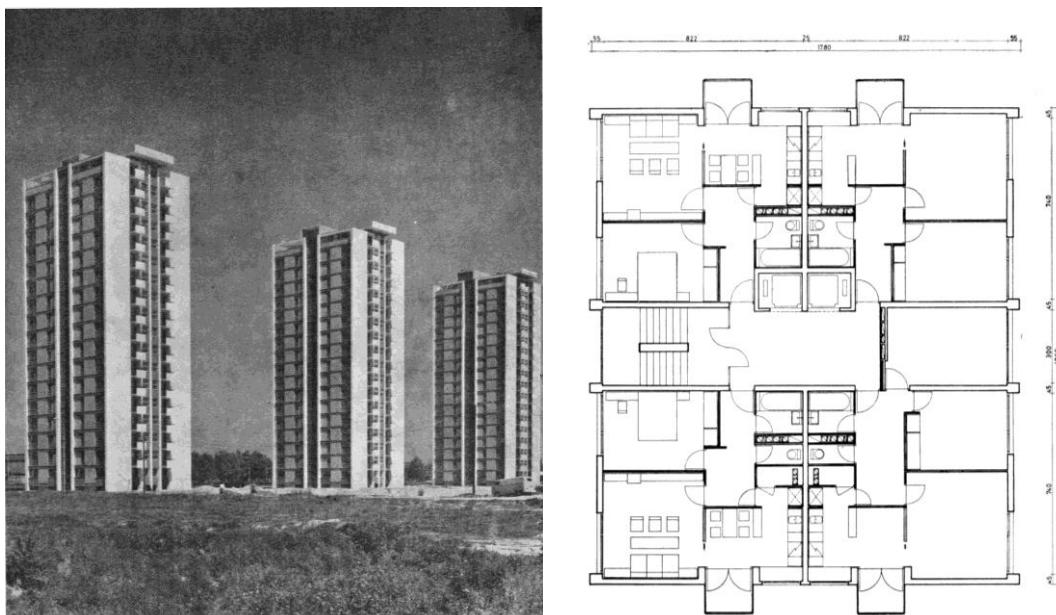
Tlocrtno je zgrada pravokutnog oblika približnih dimenzija oko 19,6 m (smjer sjever–jug) i 17,8 m (smjer istok–zapad) s ukupnom bruto razvijenom površinom (BRP) karakteristične etaže oko  $350 \text{ m}^2$ . Zgrada ima suteren, prizemlje i 17 katova, ukupne visine 53,42 m (do uređenog terena). Svetla visina prostora u suterenu je 2,47 m (djelomično ukopan), a na ostalim etažama 2,53 m. Ispod suterena se nalazi se tehnička etaža. Također, iznad zadnjeg kata (17.) postoji dodatni tehnički prostor. Temeljna ploča se nalazi na -3,53 m od kote prizemlja. Nema podataka o eventualnim rekonstrukcijama, obnovama ili bilo kakvim intervencijama u nosivu konstrukciju.

Nosivu konstrukciju čini sustav armiranobetonskih zidova i ploča. Debljina armiranobetonskih zidova se mijenja s visinom odnosno debljinama zidova u suterenu i prizemlju iznosi 40 cm, prvom i drugom katu 25 cm, od trećeg do sedmog kata 20 cm, te od sedmog do sedamnaestog kata 18 cm. Na završetcima zidova uglavnom imamo zadebljanja presjeka u obliku stupova dimenzija 40/80 cm i 40/70 cm koji se protežu od temelja do 17. kata.

Ploče su armirano-betonske debljine 18 cm, osim ploče 17. kata koja je debljine 20 cm. Rasponi ploča su definirani stambenim jedinicama (oko 7,80 m x 8,60 m) simetrično postavljenim oko centrično postavljenog uskog komunikacijskog hodnika (stubište i lift). Konstrukcija je temeljena na temeljnoj ploči debljine 100 cm (MB-160). Pregradni zidovi su izvedeni od blok opeke.

Tlocrt zgrade projektiran je skoro potpuno simetrično u oba smjera, da se potpuno izbjegne prostorna torzija od djelovanja horizontalnih sila vjetra i potresa. Prema dostupnoj literaturi zgrada je proračunata na djelovanje vjetra ( $W = 0,070 \text{ t/m}^2$ ) u dva međusobno okomita smjera, na minimalne horizontalne sile  $H 2\% Q$  prema PTP-2 i na udarac orkanskog vjetra u kritičnom smjeru ( $0,200 \text{ t/m}^2$ ). Kod rješenja konstrukcije tornja vodilo se računa i o ravnomjernoj raspodjeli krutosti nosivih elemenata u tlocrtu (Korlaet, 2014).

Nakon stupanja na snagu propisa za gradnju u seizmičkim područjima, zgrada je na zahtjev građevinske inspekcije proračunat prema tim propisima za VIII i IX potresnu zonu.



Slika 3.4 Pogled na tri od šest tornjeva u Sigetu i karakteristični kat (Žanko, 1966.).



## PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB

Elaborat gradevinarstvo - visokogradnja - podaci o konstrukcijskim sustavima visokih gradevina (preko 15 katova) vezan na periode gradnje

Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba

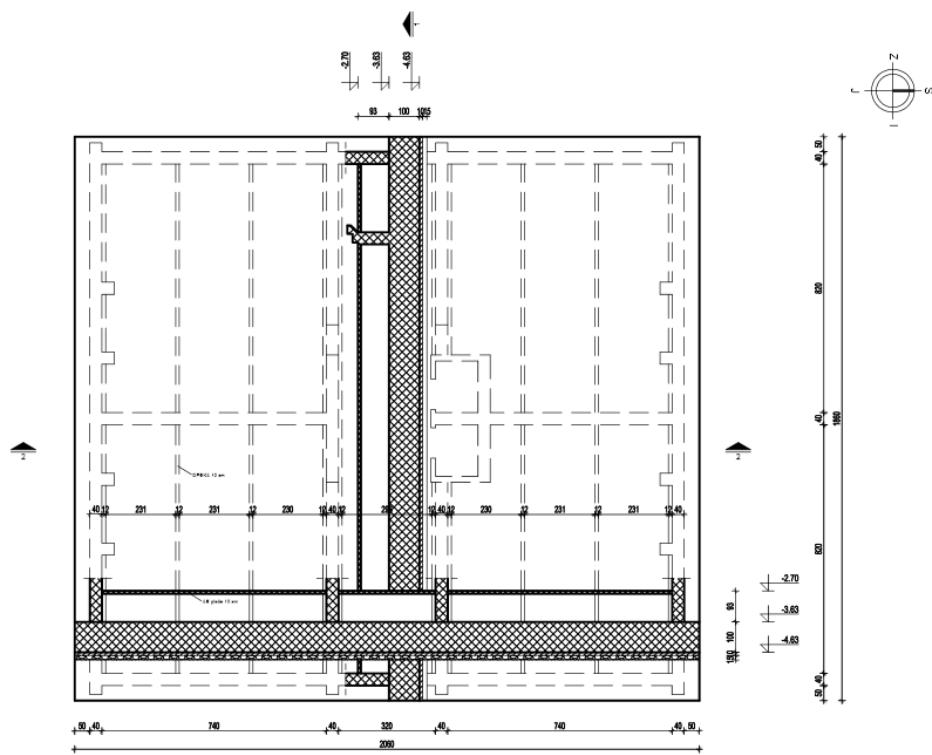


Slika 3.5 Sjeverno pročelje

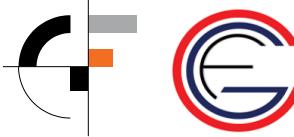


Slika 3.6 Zapadno pročelje

U nastavku su prikazani karakteristični nacrti su prikupljeni iz povijesnog arhiva grada Zagreba.



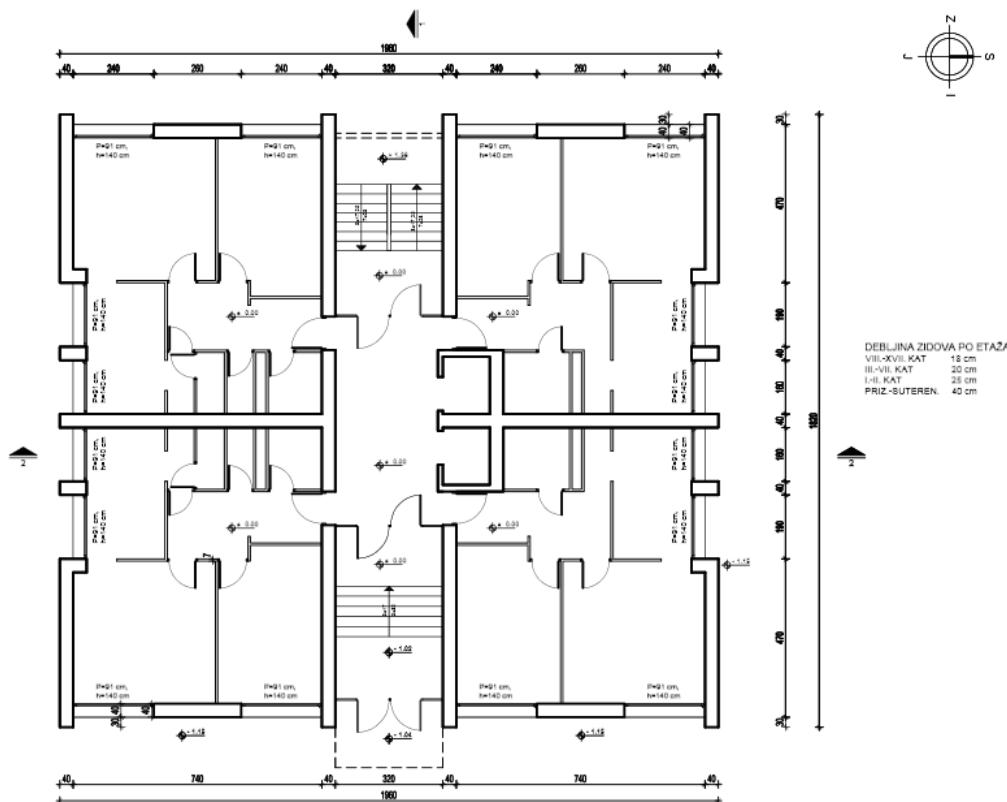
Slika 3.7 Tlocrt temelja



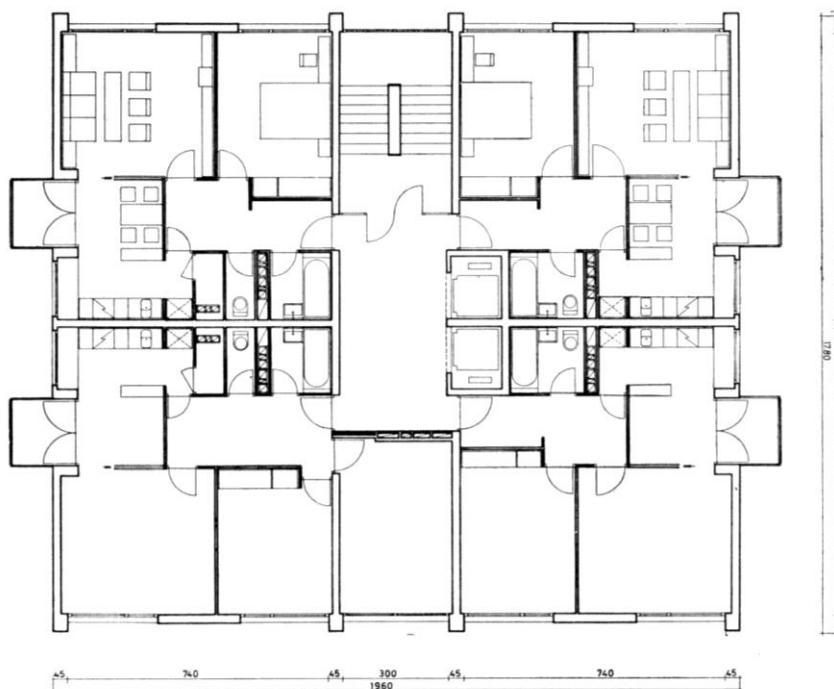
# PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB

Elaborat građevinarstvo - visokogradnja - podaci o konstrukcijskim  
činovima i ugradnjama - Uvod u konstrukcije i ugradnje - Prof. dr. sc. Bojan Đorđević

Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba



Slika 3.8 Tlocrt prizemlja



Slika 3.9 Tlocrt karakterističnog kata

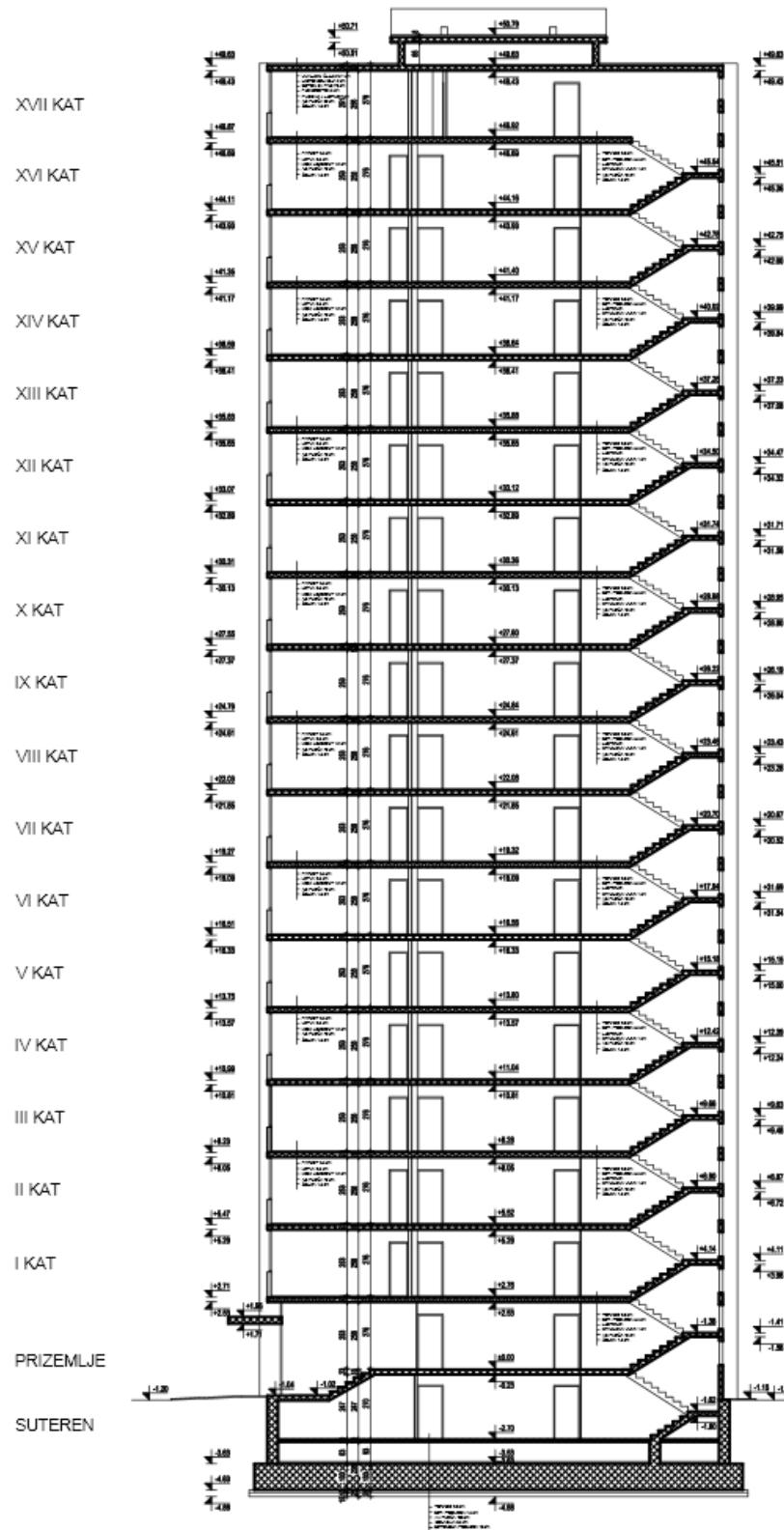


## PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB

Elaborat građevinarstvo - visokogradnja - podaci o konstrukcijskim

sustavima visokih građevina (preko 15 katova) vezan na periode gradnje

Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba



Slika 3.10 Karakteristični poprečni presjek



## PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB

Elaborat građevinarstvo - visokogradnja - podaci o konstrukcijskim

sustavima visokih građevina (preko 15 katova) vezan na periode gradnje

Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba

### 3.1.3 Djelovanje na konstrukciju

Svi izračunati podaci i koeficijenti građevine su prilagođeni za primjenu prema normi HRN EN 1991 i HRN EN 1998, te za korištenu metodu procjene rizika za Grad Zagreb.

Potresno djelovanje je pretpostavljeno prema važećoj karti potresnih područja RH uzimajući za lokaciju građevine vrijednosti horizontalnih vršnih ubrzanja tla za povratno razdoblje od 475 godina.

Horizontalno ubrzanje tla:

- povratno razdoblje od 475 godina:  $a_{gr} = 0,236g$
- povratno razdoblje od 95 godina :  $a_{gr} = 0,12g$ ,

Projektni i proračunski spektar odziva nalaze se u zasebnoj tablici za sve zgrade zajedno.

Ukupna težina konstrukcije (bez podruma) iznosi:

$$W = 77373 \text{ kN}$$

Osnovni period titranja konstrukcije procijenjen je prema HRN EN 1998-1/NA izrazom ( $T_1=0,016 H$ ) ili preuzet prema numerički izračunatim vrijednostima:

$$T_1 = 0,854 \text{ s}$$

Za predmetnu lokaciju je pretpostavljeno tlo tipa C.

Razred važnosti zgrade je II pa je prema tome preporučena vrijednost faktora važnosti 1,0.

Projektni i proračunski spektar odziva nalaze se u zasebnoj tablici za sve zgrade zajedno.

Ukupna bruto površina tlocrta:  $A = 350 \text{ m}^2$

Površina nosivih zidova: Smjer  $A_x = 19,25 \text{ m}^2$  ( 5,50 %), Smjer  $A_y = 28,56 \text{ m}^2$  ( 8,16 %)

Procijenjeno pseudoubrzanje prema pretpostavljenom periodu konstrukcije:

$$S_d(T_1) = 0,352g$$

Procjena razine poprečne sile određuje se prema izrazu (faktor ponašanja konstrukcije  $q = 1,5$ ):

$$F_b = S_d(T_1) m \lambda$$

$m$  ukupna masa zgrade iznad temelja ili iznad gornjeg ruba krutog podruma

$\lambda$  popravni faktor čija je vrijednost  $\lambda = 0.85$  1.0

Razina poprečne sile u x i y smjerovima iznosi:

$$F/W = 23150 \text{ kN}$$

Sada možemo odrediti koliko se težine aktiviralo u svakom smjeru:

$$F/W = 23150/77374=0,2822$$

U oba smjera potresom je aktivirano približno 30 % ukupne težine.

Poprečna sila u razini prizemlja i prosječno naprezanje za svaki smjer djelovanja potresa:

$$\sigma_x = \frac{F_x}{A_x} = \frac{23150,29}{19,25} = 1,203 \text{ MPa}$$



## PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB

Elaborat građevinarstvo - visokogradnja - podaci o konstrukcijskim

sustavima visokih građevina (preko 15 katova) vezan na periode gradnje

Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba

### 3.1.4 Glavni elementi konstrukcije

- Konstrukciju čini sustav međusobno povezanih AB zidova i ploča koji se kontinuirano protežu od temelja do krova. Zidovi su ravnomjerno raspoređeni u oba smjera.
- Konstrukcijski sustav je definiran na način da se horizontalna opterećenja uglavnom preuzimaju međusobno povezanim zidovima pa možemo smatrati da je to zidni sustav.
- Vertikalna opterećenja se preuzimaju AB pločama na rasponima definiranim stambenim jedinicama. Za opterećenje potresom AB ploče se mogu smatrati krutim dijafragmama.
- Dvokrako stubište: ekscentrični položaj stubišta se smatra da ne utječe značajno na ponašanje konstrukcije.
- Konstrukcija je po kriterijima pravilnosti iz norme HRN EN 1998-1:2011. pravilna po visini i pravilna u tlocrtu s neznatnim promjenama.
- Zgrada je samostojeća pa se pretpostavlja da nema utjecaja susjednih tornjeva.
- Konstrukcijski detalji su procijenjeni prema uobičajenoj praksi iz vremena gradnje.
- Nisu dostupni podaci o mogućim nedostacima materijala ili neprikladnoj razradi detalja.
- Konstrukcija je temeljena na AB ploči debljine 100 cm. Neposredno iznad temeljne ploče je izvedena tehnička etaža što daje dodatnu krutost.
- kategorija tla je C prema HRN EN 1998-1:2011.
- Podaci o promjenama u konstrukciji od vremena gradnje (naknadnim prilagodbama odnosno intervencijama, rekonstrukcijama ili nadogradnjama) nisu dostupni.
- Podaci o vrsti i opsegu prethodnog i sadašnjeg oštećenja konstrukcije su ograničeni.
- Konceptom konstrukcije se osiguralo dobro ponašanje konstrukcije pri djelovanju potresa
- Nepovoljna struktura armature te detalja spojeva (duktilnost).
- Stečeni nedostaci armiranobetonskih zgrada te uzroci njihove pojave.



## PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB

Elaborat građevinarstvo - visokogradnja - podaci o konstrukcijskim

sistavima visokih građevina (preko 15 katova) vezan na periode gradnje

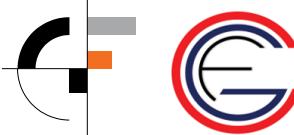
Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba

### 4. Analiza podataka o visokim zgradama

U sljedećoj tablici prikazani su najvažniji podaci i atributi o visokim zgradama. Neki od podataka koji nisu bili dostupni iz službenih izvora su određeni stručnom procjenom. Zgradama su pridruženi i ostali atributi, ali su ovdje prikazani samo najvažniji. Atributi će se koristiti za grubu procjenu potresne oštetljivosti visokih zgrada u sljedećem poglavlju.

Tablica 4.1 Podaci o visokim zgradama u Gradu Zagrebu

Adresa	Broj istih zgrada	Broj korisnika	Godina izgradnje	Broj etaža iznad zemlje	Ukupna visina [m]	Materijal nosive konstrukcije zgrade	Konstrukcijski sistem	Ukupna površina prizemlja zgrade [m <sup>2</sup> ]	Procjena prvog perioda T <sub>1</sub> [s]
Poslovni centar Strojarska - viši	1	1500	2015	25	100.0	Beton, armirani	Dvojni sustav (okvir i zidovi)	920	1.6
Poslovni centar Strojarska - niži	1	840	2015	14	56.0	Beton, armirani	Dvojni sustav (okvir i zidovi)	920	0.9
Eurotower I	1	1560	2006	26	93.6	Beton, armirani	Zidovi	945	1.5
Zagrepčanka	1	2970	1976	27	94.5	Beton, armirani	Zidovi	1850	1.5
Cibonin toranj	1	750	1987	25	92.5	Beton, armirani	Dvojni sustav (okvir i zidovi)	485	1.5
Zagrebtower	1	1100	2006	22	88.0	Beton, armirani	Zidovi	775	1.4
Sky Office Tower	1	2860	2012	22	81.4	Beton, armirani	Zidovi	2080	1.3
Panorama Hotel	1	800	1971	20	70.0	Beton, armirani	Zidovi	570	1.1
Prisavlje - Cvjetno naselje	4	345	1974	23	73.6	Beton, armirani	Zidovi	426	1.2
Veslačka - Cvjetno naselje	3	255	1972	17	57.8	Beton, armirani	Zidovi	580	0.9
Rakete - Vrbik	3	315	1968	21	71.4	Beton, armirani	Zidovi	527	1.1
Čazmanska - Vrbik	2	270	1968	18	54.0	Beton, armirani	Zidovi	457	0.9
Trešnjevačka ljetoprica	1	621	1969	23	73.6	Beton, armirani	Zidovi	576	1.2
Braće Domany	4	756	1975	21	71.4	Beton, armirani	Zidovi	1050	1.1
HOTO Tower - Savska	1	800	2004	16	65.6	Beton, armirani	Zidovi	765	1.0
Vjesnik	1	510	1972	17	68.0	Beton, armirani	Zidovi	500	1.1
Ilica 1	1	360	1958	18	64.8	Beton, armirani	Zidovi	312	1.0
Westin Hotel	1	1260	2009	18	63.0	Beton, armirani	Zidovi	1150	1.0
Green Gold Tower	1	1170	2011	18	63.0	Beton, armirani	Zidovi	1025	1.0
Mamutica	9	420	1974	20	60.0	Beton, armirani	Zidovi	481	1.0
Chromos Tower	1	1520	1989	16	57.6	Beton, armirani	Zidovi	1400	0.9
Industrogadnja - Savska	1	640	1972	16	57.6	Beton, armirani	Zidovi	660	0.9
Iblerov neboder	1	560	1958	14	50.4	Beton, armirani	Okvirni sustav	600	0.8



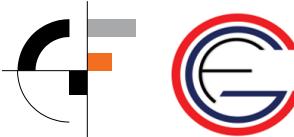
## PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB

Elaborat građevinarstvo - visokogradnja - podaci o konstrukcijskim

sistavima visokih građevina (preko 15 katova) vezan na periode gradnje

Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba

<b>Adresa</b>	<b>Broj istih zgrada</b>	<b>Broj korisnika</b>	<b>Godina izgradnje</b>	<b>Broj etaža iznad zemlje</b>	<b>Ukupna visina [m]</b>	<b>Materijal nosive konstrukcije zgrade</b>	<b>Konstrukcijski sistem</b>	<b>Ukupna površina prizemlja zgrade [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Procjena prvog perioda T<sub>1</sub> [s]</b>
Avenue mall	1	980	2005	14	51.8	Beton, armirani	Dvojni sustav (okvir i zidovi)	1100	0.8
Zadarska ulica	1	560	2010	14	51.8	Beton, armirani	Zidovi	670	0.8
FER-ov neboder	1	660	1963	12	48.0	Beton, armirani	Zidovi	830	0.8
Vukovarska Heinzlova	1	975	1970	15	55.5	Beton, armirani	Zidovi	980	0.9
Euroherc osiguranje	1	910	2008	14	49.0	Beton, armirani	Dvojni sustav (okvir i zidovi)	1000	0.8
Eurotower II	1	1050	2008	14	50.4	Beton, armirani	Zidovi	1225	0.8
Končarov neboder	1	520	1960	13	50.7	Beton, armirani	Zidovi	680	0.8
Neboder FSB-a	1	360	1960	12	48.0	Beton, armirani	Zidovi	480	0.8
Neboder Plinare	1	300	1976	15	49.5	Beton, armirani	Zidovi	280	0.8
TEŽ-ov neboder	1	75	1936	15	49.5	Beton, armirani	Okvirni sustav	60	0.8
Gajnice	3	204	1970	17	52.7	Beton, armirani	Zidovi	340	0.8
Ul. gr. Mainza - Bar. Filipovića	2	204	1969	17	52.7	Beton, armirani	Zidovi	386	0.8
Baruna Filipovića	2	306	1970	17	52.7	Beton, armirani	Zidovi	625	0.8
Kuniščak - Ilica	1	180	1970	15	46.5	Beton, armirani	Zidovi	320	0.7
Selska cesta - Zagorska	1	648	1970	18	55.8	Beton, armirani	Zidovi	950	0.9
Fallerovo - Trešnjevka	3	204	1970	17	52.7	Beton, armirani	Zidovi	300	0.8
Ljubljаницa - Trešnjevka	2	288	1970	16	49.6	Beton, armirani	Zidovi	470	0.8
Nova cesta - Dom sport. 1.	2	228	1970	19	58.9	Beton, armirani	Zidovi	340	0.9
Nova cesta - Dom sport. 2.	1	300	1970	20	62.0	Beton, armirani	Zidovi	400	1.0
Susedgradska - Trešnjevka	3	216	1970	18	55.8	Beton, armirani	Zidovi	340	0.9
Knežija Selska	4	270	1970	18	55.8	Beton, armirani	Zidovi	350	0.9
Kuzminečka - Vrbani	1	612	2000	17	52.7	Beton, armirani	Zidovi	1200	0.8
Savica - Zagrebačka	3	324	1970	18	55.8	Beton, armirani	Zidovi	500	0.9
Držićeva - Vukovarska	1	195	2000	13	40.3	Beton, armirani	Zidovi	370	0.6
Vlaška - Kvatrić	1	270	1970	15	46.5	Beton, armirani	Zidovi	460	0.7
Maksimirska - Jordanovac	1	288	1970	16	49.6	Beton, armirani	Zidovi	500	0.8
Čikoševa - Maksimirska	1	240	1970	16	49.6	Beton, armirani	Zidovi	360	0.8
Branimirova - Čeririna	3	357	1970	17	52.7	Beton, armirani	Zidovi	600	0.8



## PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB

Elaborat gradevinarstvo - visokogradnja - podaci o konstrukcijskim

sistavima visokih gradevina (preko 15 katova) vezan na periode gradnje

Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba

<b>Adresa</b>	<b>Broj istih zgrada</b>	<b>Broj korisnika</b>	<b>Godina izgradnje</b>	<b>Broj etaža iznad zemlje</b>	<b>Ukupna visina [m]</b>	<b>Materijal nosive konstrukcije zgrade</b>	<b>Konstrukcijski sistem</b>	<b>Ukupna površina prizemlja zgrade [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Procjena prvog perioda T<sub>1</sub> [s]</b>
Maksimirска - Harambašićeva	1	408	1970	17	52.7	Beton, armirani	Zidovi	640	0.8
Budakova, Maksimir	1	378	1970	18	55.8	Beton, armirani	Zidovi	600	0.9
Peščenica - Ivanićgradska	1	720	1970	20	62.0	Beton, armirani	Zidovi	1130	1.0
Peščenica jug - Kosorova	3	228	1970	19	58.9	Beton, armirani	Zidovi	340	0.9
Folnegovićev	3	204	1970	17	52.7	Beton, armirani	Zidovi	340	0.8
Dubrava – Hrv. proljeća	3	315	1970	15	46.5	Beton, armirani	Zidovi	400	0.7
Dubrava-Koledinečka	3	456	1970	19	58.9	Beton, armirani	Zidovi	640	0.9
Sopot Sjever - Av. Dubrovnik	3	216	1970	18	55.8	Beton, armirani	Zidovi	320	0.9
Sopot zapad	6	216	1966	18	55.8	Beton, armirani	Zidovi	334	0.9
Sopot istok	4	378	1973	18	55.8	Beton, armirani	Zidovi	306	0.9
Travno sjever, Kopernikova	4	270	1970	15	46.5	Beton, armirani	Zidovi	500	0.7
Travno, Magovca, zapad	3	360	1970	20	62.0	Beton, armirani	Zidovi	550	1.0
Travno, Magovca, istok	2	306	1970	17	52.7	Beton, armirani	Zidovi	550	0.8
Siget - Avenija Dubrovnik	6	216	1964	18	55.8	Beton, armirani	Zidovi	350	0.9
Trnsko	6	204	1966	17	52.7	Beton, armirani	Zidovi	365	0.8
Siget - Aleja pomoraca	5	408	1968	17	52.7	Beton, armirani	Zidovi	750	0.8
Super Andrija	1	2064	1973	16	49.6	Beton, armirani	Zidovi	3600	0.8
Savski gaj - Trnsko	2	204	1970	17	52.7	Beton, armirani	Zidovi	352	0.8
Zapruđe	8	216	1965	18	55.8	Beton, armirani	Zidovi	341	0.9
Utrine - istok	6	204	1970	17	52.7	Beton, armirani	Zidovi	359	0.8
Utrine - zapad	6	216	1972	18	55.8	Beton, armirani	Zidovi	386	0.9



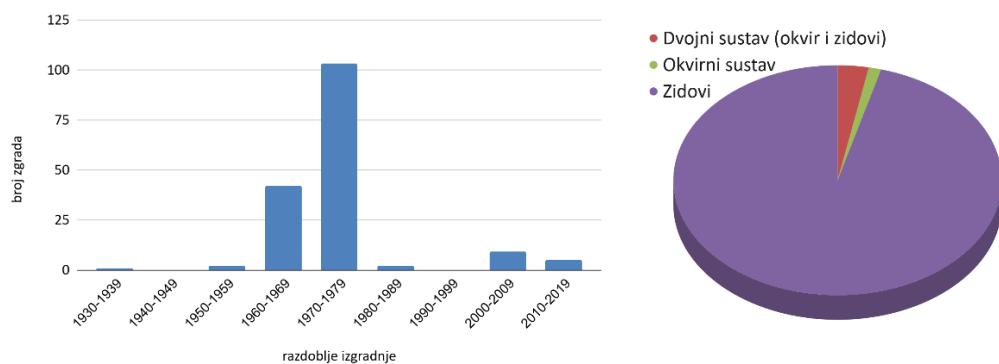
## PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB

Elaborat građevinarstvo - visokogradnja - podaci o konstrukcijskim sustavima visokih građevina (preko 15 katova) vezan na periode gradnje

Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba

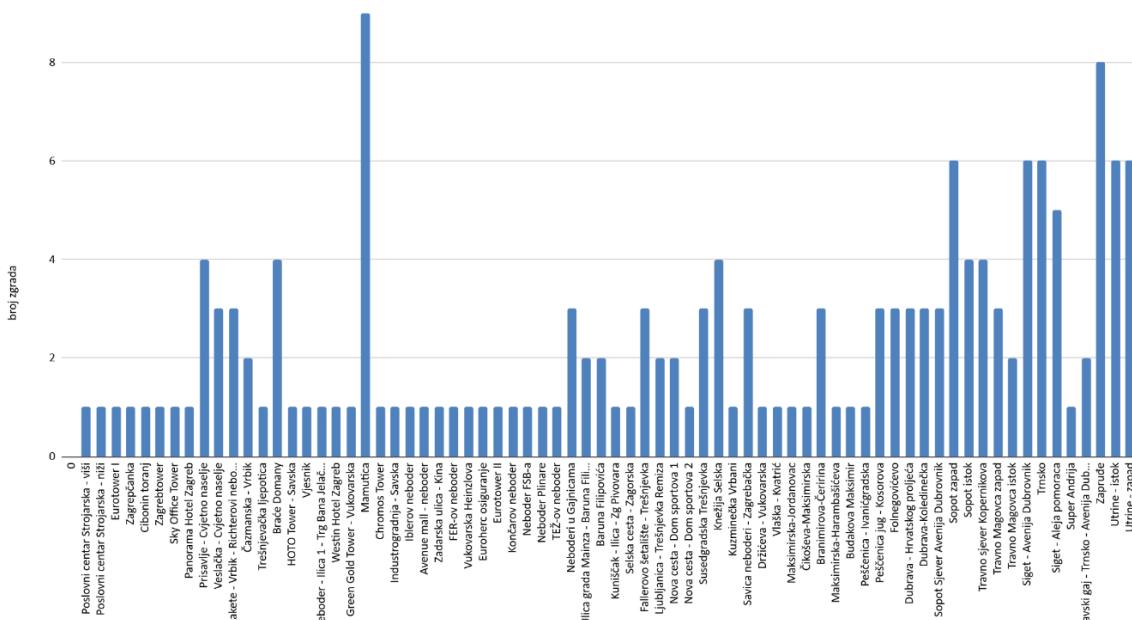
Na narednim slikama prikazani su podaci o svim obrađenim zgradama iz prethodne tablice.

Slika u nastavku prikazuje ovisnost broja izgrađenih visokih zgrada o periodu gradnje. Može se primijetiti da je najviše visokih zgrada u Zagrebu izgrađeno 60-tih i 70-tih godina 20. stoljeća kada je bila velika ekspanzija gradnje i velika potreba za stambenim prostorom. U novije vrijeme se uglavnom grade visoke zgrade poslovne namjene. Iako im je broj puno manji nego stambenih visokih zgrada, treba naglasiti da su površine novijih zgrada puno veće te imaju znatno veće kapacitete te s tim imaju i puno više korisnika. Također je na slici prikazan udio pojedinog konstrukcijskog sustava u ukupnom broju zgrada. Može se primijetiti da visoke zgrade u Zagrebu imaju velikom većinom zidove kao osnovni konstrukcijski sustav. To je uobičajeno za doba kada je i najviše takvih zgrada izgrađeno. Manji dio je tek dvojni sustav i okvirni sustav i to se uglavnom odnosi na novije visoke zgrade.



Slika 4.1 Slika 2 (a)Broj visokih zgrada prema periodima izgradnje i (b) prema konstrukcijskom sustavu

Sljedeća slika prikazuje sve obrađene tipove visokih zgrada sa brojem identičnih jedinica. Od skupine nebodera, može se vidjeti da neboderi u Zapruđu imaju 9 istovjetnih jedinica i kao takvi značajno više stanovnika i stambenih jedinica. Treba napomenuti da je „Mamutica“ prikazan sa 9 istovjetnih jedinica. To su dilatacije iste zgrade koje su konstrukcijski odvojene, ali ipak čine jednu cjelinu.



Slika 4.2 Broj istih visokih zgrada

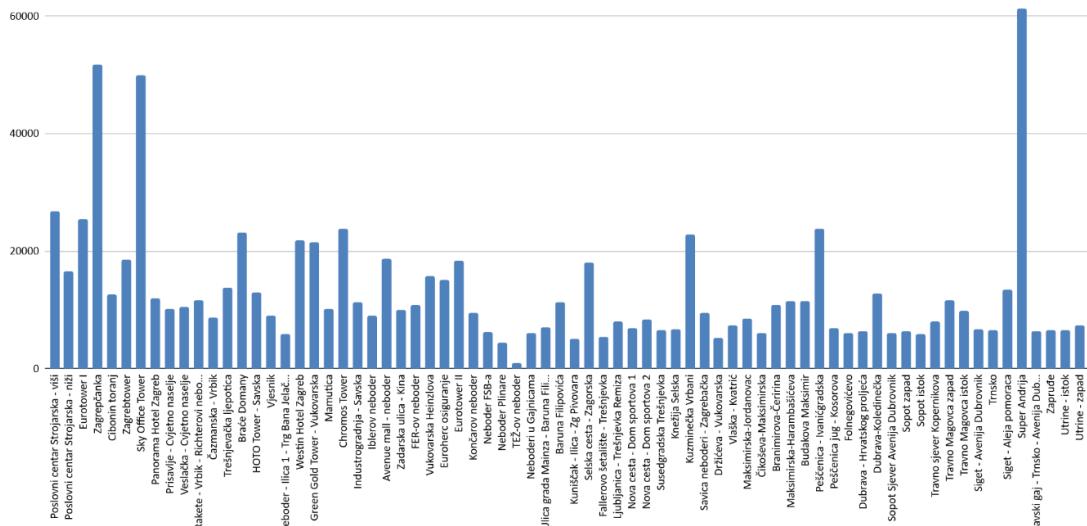


## PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB

Elaborat gradevinarstvo - visokogradnja - podaci o konstrukcijskim sustavima visokih gradevina (preko 15 katova) vezan na periode gradnje

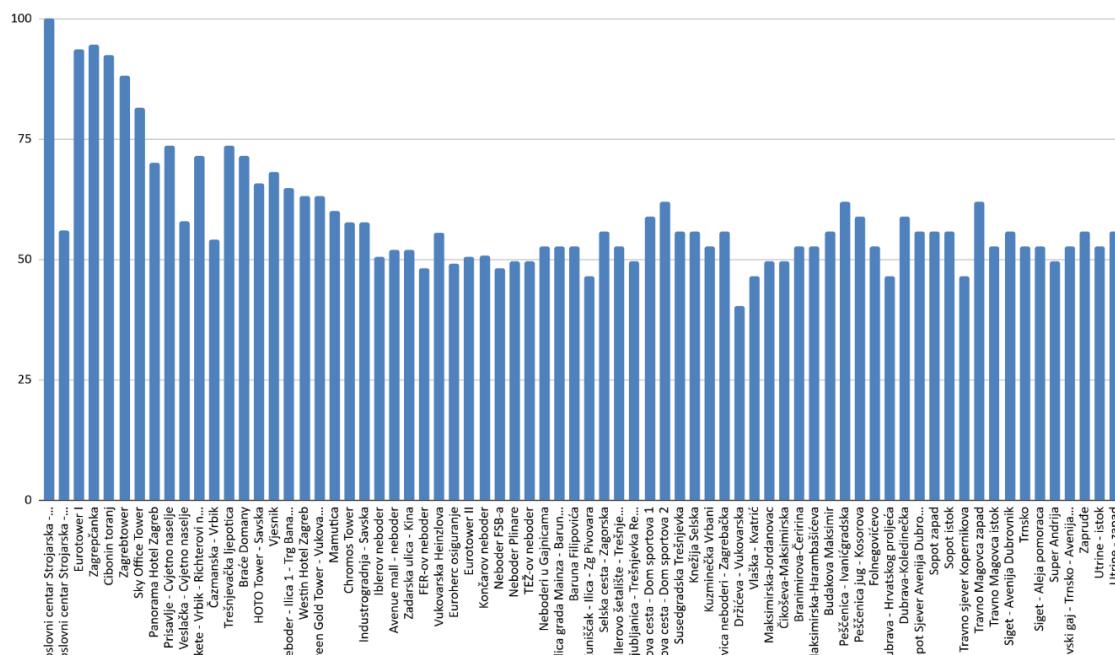
Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba

U nastavku je prikazana ukupna BRP površina jedne visoke zgrade (ne površina svih istovjetnih zgrada). Prema ovoj analizi se može vidjeti koja zgrada je površinom najveća i koja zgrada potencijalno ima najviše korisnika. Treba naglasiti kao na prethodnoj slici da je zgrada Mamutica promatrana kao 9 istovjetnih dilatacija iste zgrade tako da upisana površina predstavlja 1/9 ukupne površine cijele zgrade.



Slika 4.3 Ukupna (BRP) površina zgrade (jedne jedinice) [m<sup>2</sup>]

Na sljedećoj slici je prikazana visina svakog tipa zgrade koja je analizirana u ovom Elaboratu. Može se primijetiti da su najviše zgrade uglavnom izgrađene nedavno i da su to većinom poslovne zgrade. Osim nekoliko stambenih tornjeva koji dosežu visinu od 70 m, uglavnom se visina zgrada kreće oko 50 m..



Slika 4.4 Visine [m] visokih zgrada



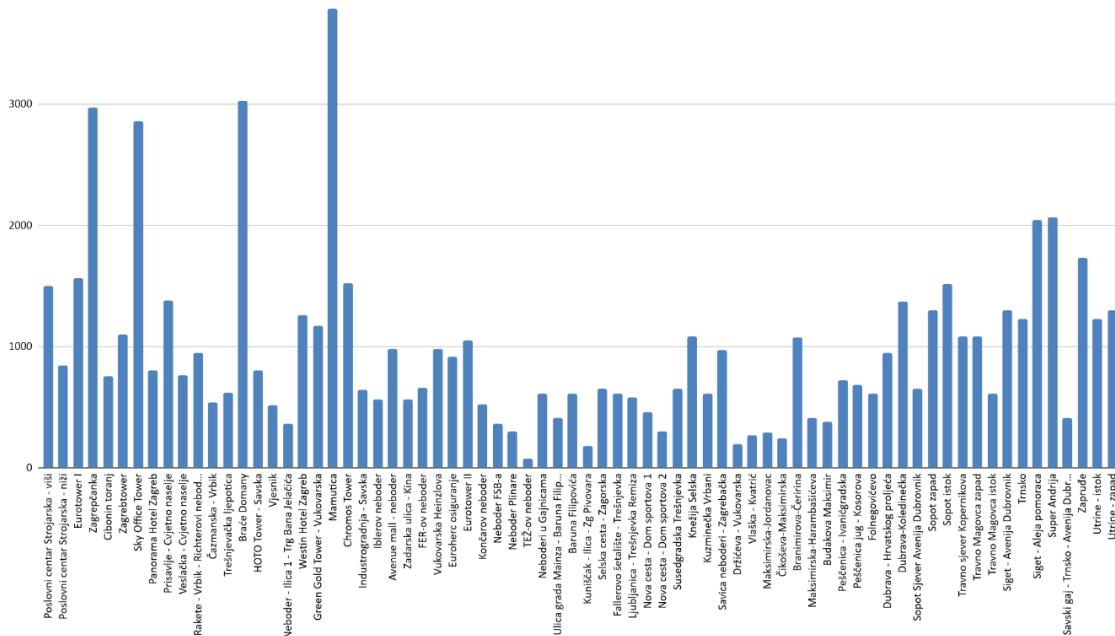


## PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB

Elaborat građevinarstvo - visokogradnja - podaci o konstrukcijskim sustavima visokih građevina (preko 15 katova) vezan na periode gradnje

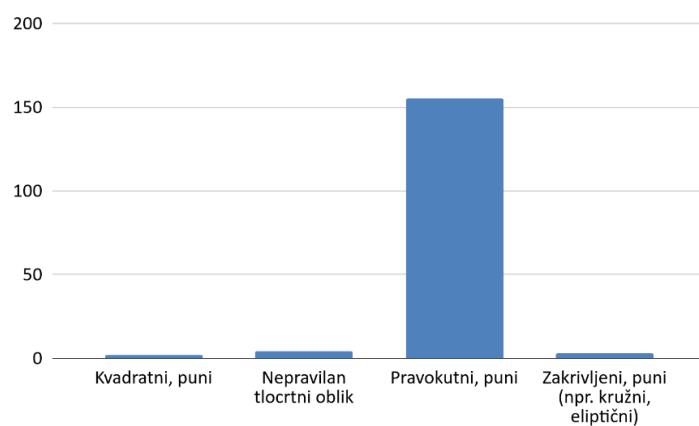
Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba

U nastavku je prikazan ukupan broj stanovnika ili korisnika u pojedinom tipu zgrade. Broj se odnosi na sve jedinice istog tipa zgrade tako da ukupan zbrojeni broj predstavlja ukupni broj stanara/korisnika u visokim zgradama u gradu Zagrebu. Po broju stanovnika iskače zgrada „Mamutica“, a slijede je neboderi u ulici Braće Domany.



Slika 4.5 Ukupan broj korisnika visokih zgrada

Visoke zgrade u Zagrebu su izvedene uglavnom u pravilnim oblicima. Svako odstupanje od pravilnosti mora biti popraćeno odgovarajućim proračunom i dodatnim zahtjevima za građevinu. Nepravilan oblik tlocrta imaju uglavnom novije visoke zgrade kada su i metode proračuna i tehnologija uznapredovali da je bilo moguće to sigurno ostvariti.



Slika 4.6 Broj visokih zgrada prema tlocrtnom obliku

Broj visokih zgrada u gradu Zagrebu je 164 i one imaju ukupnu (BRP) površinu od oko 1.800.000 m<sup>2</sup>.

Ukupno gledajući, u visokim zgradama u Zagrebu svakodnevno živi ili radi ukupno oko 45.000 ljudi.



## PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB

Elaborat građevinarstvo - visokogradnja - podaci o konstrukcijskim

sustavima visokih građevina (preko 15 katova) vezan na periode gradnje

Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba

### 5. Procjena potresne oštetljivosti visokih zgrada

Kako bi se provela gruba analiza oštetljivosti visokih zgrada u Gradu Zagrebu na temelju prikupljenih podataka o svakoj građevini, korištena je makroseizmička metoda u skladu s RISK-UE projektom (Milutinovic i Trendafilovski, 2003), pri čemu se oštetljivost zgrade izražava indeksom oštetljivosti (Giovinazzi i Lagomarsino, 2004, 2006).

Za svaki konstrukcijski sustav određen je indeks oštetljivosti  $V_I^z$ , kao zbroj osnovne (najvjerojatnije) vrijednosti indeksa  $V_I^c$  (odnosno  $V_{I,BTM}$ ,\* u tablici 5.1) koja ovisi o konstrukcijskom sistemu i modifikatora ponašanja  $\Delta V_m$  prema tablicama navedenim u nastavku. Utjecaj regionalne oštetljivosti nekog tipa  $\Delta V_R$  se uzima u obzir za pojedine zgrade kod kojih se postojećim indikatorima ne mogu uzeti u obzir neki specifični nedostaci (kao što je nedostatak zidova u jednom smjeru) prema stručnoj procjeni.

$$V_I^z = V_I^c + \Delta V_m + \Delta V_R$$

$$\Delta V_m = \sum_{j=1}^n V_{m,j}$$

Na temelju dobivenog indeksa i makroseizmičkog intenziteta potresa  $I$  izračunava se srednji razred oštećenja ( $0 < \mu_D < 5$ ) prema izrazu:

$$\mu_D = 2.5 \left[ 1 + \tanh \left( \frac{I + 6.25V - 13.1}{Q} \right) \right]$$

pri čemu je  $Q$  indeks duktilnosti za koji je preporučena osnovna vrijednost za zgrade 2,3.

Vrijednosti srednjeg razreda oštećenja se zatim mogu povezati s najvjerojatnijom razinom oštećenja prema sljedećoj tablici.

Tablica 5.1 Razine oštećenja u ovisnosti o srednjem razredu oštećenja (Lantada i dr., 2010)

Intervali srednjeg razreda oštećenja	Najvjerojatnija razina oštećenja
0-0,5	bez oštećenja
0,5-1,5	blago
1,5-2,5	umjерено
2,5-3,5	znatno do teško
3,5-4,5	vrlo teško
4,5-5,0	rušenje

Budući da su u Gradu Zagrebu sve visoke zgrade izvedene od armiranog betona, u sljedećim tablicama se daju vrijednosti samo za taj materijal.



## PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB

Elaborat građevinarstvo - visokogradnja - podaci o konstrukcijskim sustavima visokih građevina (preko 15 katova) vezan na periode gradnje

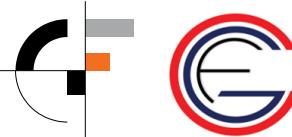
Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba

U nastavku su dati rezultati grube procjene oštetljivosti zgrada za djelovanje potresa iskazano stupnjevima makroseizmičkog intenziteta 8 i 9 po MCS.

Tablica 5.2 Srednji razredi oštećenja visokih zgrada za potrese stupnjeva makroseizmičkog intenziteta 8 i 9 po MCS

*\* Napomena: u slučajevima gdje nije bio dostupan podatak, godina izgradnje je procijenjena*

Adresa	Broj istih zgrada	Godina izgradnje*	Broj etaža iznad zemlje	Tip zgrade (RISK UE)	V <sub>Iz</sub>	μ <sub>D(VIII)</sub>	μ <sub>D(IX)</sub>
Poslovni centar Strojarska - viši	1	2015	25	RC4H	<b>0.27</b>	<b>0.3</b>	<b>0.6</b>
Poslovni centar Strojarska - niži	1	2015	14	RC4H	<b>0.27</b>	<b>0.3</b>	<b>0.6</b>
Eurotower I	1	2006	26	RC2H	<b>0.27</b>	<b>0.3</b>	<b>0.6</b>
Zagrepčanka	1	1976	27	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Cibonin toranj	1	1987	25	RC4H	<b>0.27</b>	<b>0.3</b>	<b>0.6</b>
Zagrebtower	1	2006	22	RC2H	<b>0.27</b>	<b>0.3</b>	<b>0.6</b>
Sky Office Tower	1	2012	22	RC2H	<b>0.27</b>	<b>0.3</b>	<b>0.6</b>
Panorama Hotel Zagreb	1	1971	20	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Prisavlje - Cvjetno naselje	4	1974	23	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Veslačka - Cvjetno naselje	3	1972	17	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Rakete - Vrbik - Richterovi neboderi	3	1968	21	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Čazmanska - Vrbik	2	1968	18	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Trešnjevačka ljepotica	1	1969	23	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Braće Domany	4	1975	21	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
HOTO Tower - Savska	1	2004	16	RC2H	<b>0.27</b>	<b>0.3</b>	<b>0.6</b>
Vjesnik	1	1972	17	RC2H	<b>0.47</b>	<b>0.7</b>	<b>1.4</b>
Neboder - Ilica 1 - Trg Bana Jelačića	1	1958	18	RC2H	<b>0.63</b>	<b>1.4</b>	<b>2.3</b>
Westin Hotel Zagreb	1	2009	18	RC2H	<b>0.27</b>	<b>0.3</b>	<b>0.6</b>
Green Gold Tower - Vukovarska	1	2011	18	RC2H	<b>0.27</b>	<b>0.3</b>	<b>0.6</b>
Mamutica	9	1974	20	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Chromos Tower	1	1989	16	RC2H	<b>0.27</b>	<b>0.3</b>	<b>0.6</b>
Industrogradnja - Savska	1	1972	16	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Iblerov neboder	1	1958	14	RC1H	<b>0.72</b>	<b>1.9</b>	<b>2.9</b>
Avenue mall - neboder	1	2005	14	RC4H	<b>0.27</b>	<b>0.3</b>	<b>0.6</b>
Zadarska ulica	1	2010	14	RC2H	<b>0.27</b>	<b>0.3</b>	<b>0.6</b>
FER-ov neboder	1	1963	12	RC2H	<b>0.63</b>	<b>1.4</b>	<b>2.3</b>
Vukovarska Heinzelova	1	1970	15	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Euroherc osiguranje	1	2008	14	RC4H	<b>0.27</b>	<b>0.3</b>	<b>0.6</b>
Eurotower II	1	2008	14	RC2H	<b>0.27</b>	<b>0.3</b>	<b>0.6</b>



## PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB

Elaborat gradevinarstvo - visokogradnja - podaci o konstrukcijskim

sistavima visokih gradevina (preko 15 katova) vezan na periode gradnje

Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba

Adresa	Broj istih zgrada	Godina izgradnje*	Broj etaža iznad zemlje	Tip zgrade (RISK UE)	V <sub>Iz</sub>	$\mu_D(VIII)$	$\mu_D(IX)$
Končarov neboder	1	1960	13	RC2H	<b>0.63</b>	<b>1.4</b>	<b>2.3</b>
Neboder FSB-a	1	1960	12	RC2H	<b>0.63</b>	<b>1.4</b>	<b>2.3</b>
Neboder Plinare	1	1976	15	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
TEŽ-ov neboder	1	1936	15	RC1H	<b>0.76</b>	<b>2.2</b>	<b>3.1</b>
Neboderi u Gajnicama	3	1970	17	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Ul. Gr. Mainza-Bar. Filipovića	2	1969	17	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Baruna Filipovića	2	1970	17	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Kuniščak - Ilica - Zg Pivovara	1	1970	15	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Selska cesta - Zagorska	1	1970	18	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Fallerovo šetalište - Trešnjevka	3	1970	17	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Ljubljаницa - Trešnjevka	2	1970	16	RC2H	<b>0.47</b>	<b>0.7</b>	<b>1.4</b>
Nova cesta - Dom sportova 1.	2	1970	19	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Nova cesta - Dom sportova 2.	1	1970	20	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Susedgradska Trešnjevka	3	1970	18	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Knežija Selska	4	1970	18	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Kuzminečka Vrbani	1	2000	17	RC2H	<b>0.27</b>	<b>0.3</b>	<b>0.6</b>
Savica neboderi - Zagrebačka	3	1970	18	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Držićeva - Vukovarska	1	2000	13	RC2H	<b>0.27</b>	<b>0.3</b>	<b>0.6</b>
Vlaška - Kvatrić	1	1970	15	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Maksimirska-Jordanovac	1	1970	16	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Čikoševa-Maksimirska	1	1970	16	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Branimirova-Čeririna	3	1970	17	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Maksimirska-Harambašićeva	1	1970	17	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Budakova Maksimir	1	1970	18	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Peščenica - Ivanićgradska	1	1970	20	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Peščenica jug - Kosorova	3	1970	19	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Folnegovićev naselje	3	1970	17	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Dubrava - Hrvatskog proljeća	3	1970	15	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Dubrava-Koledinečka	3	1970	19	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Sopot Sjever - Av. Dubrovnik	3	1970	18	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Sopot zapad	6	1966	18	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Sopot istok	4	1973	18	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Travno sjever - Kopernikova	4	1970	15	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Travno - Magovca - zapad	3	1970	20	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Travno – Magovca - istok	2	1970	17	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>



## PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB

Elaborat gradevinarstvo - visokogradnja - podaci o konstrukcijskim

sistavima visokih gradevina (preko 15 katova) vezan na periode gradnje

Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba

Adresa	Broj istih zgrada	Godina izgradnje*	Broj etaža iznad zemlje	Tip zgrade (RISK UE)	V <sub>Iz</sub>	$\mu_D(VIII)$	$\mu_D(IX)$
Siget - Avenija Dubrovnik	6	1964	18	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Trnsko	6	1966	17	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Siget - Aleja pomoraca	5	1968	17	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Super Andrija	1	1973	16	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Savski gaj - Trnsko – Av. Dub.	2	1970	17	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Zapruđe	8	1965	18	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Utrine - istok	6	1970	17	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Utrine - zapad	6	1972	18	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>

U sljedećoj tablici su prikazani sumarni podaci o najvjerojatnijim razinama oštećenja visokih zgrada pri djelovanju potresa makroseizmičkog intenziteta stupnjeva 8 i 9 po MCS ljestvici.

Prema rezultatima grube procjene, može se zaključiti da se za većinu visokih zgrada pri djelovanju potresa ne očekuju značajnija oštećenja.

Tablica 5.3 Razine oštećenja pri djelovanju potresa makroseizmičkog intenziteta stupnjeva 8 i 9 po MCS ljestvici.

Intervali srednjeg razreda oštećenja	Najvjerojatnija razina oštećenja	Broj visokih zgrada	Broj visokih zgrada
		8° MCS	9° MCS
0-0,5	bez oštećenja	16	0
0,5-1,5	blago	146	158
1,5-2,5	umjereni	2	4
2,5-3,5	znatno do teško	0	2
3,5-4,5	vrlo teško	0	0
4,5-5,0	rušenje	0	0



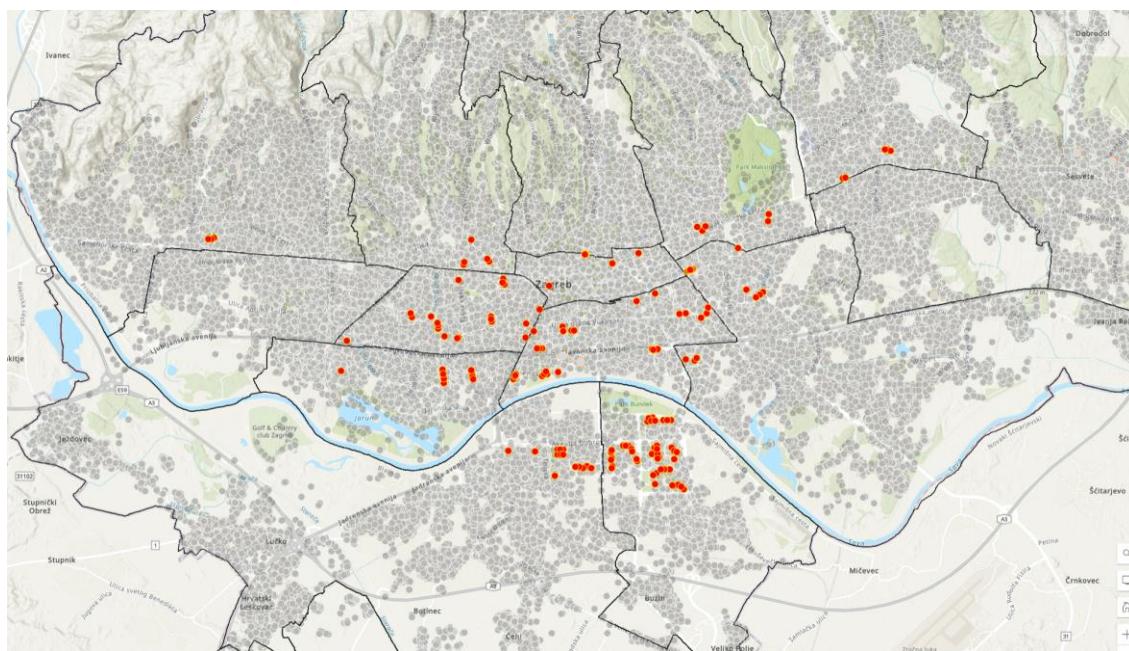
## PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB

Elaborat građevinarstvo - visokogradnja - podaci o konstrukcijskim sustavima visokih građevina (preko 15 katova) vezan na periode gradnje

Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba

## 6. Zaključak

Područje interesa istraživanja u sklopu kojeg je obrađivana tema ovog izvješća su visoke zgrade u gradu Zagrebu. Ovim elaboratom je ugrubo analizirana potresna oštetljivost za sve stambene i/ili poslovne zgrade katnosti više od 15 etaža iznad razine tla. Primarni je cilj ustanoviti potresni rizik koji čine visoke zgrade u gradu Zagrebu, a koji je dio ukupnog rizika od potresa za područje grada Zagreba. Visoke zgrade predstavljaju osjetljivi fond zgrada jer je na malom području koncentrirano puno stanovništva, a zbog svog konstrukcijskog sustava visoke zgrade predstavljaju poseban izazov pri proračunu i procjeni potresne otpornosti.



Slika 6.1 Položaj promatranih visokih zgrada u Gradu Zagrebu

Brojnost zgrada, gruba procjena BRP i velik broj stanovnika opravdavaju analizu potresnog rizika visokih zgrada. S obzirom na grubo procijenjenu nisku oštetljivost i izloženost visokih zgrada, zaključeno je da odabrani tipovi zgrada umjereno doprinose riziku od potresa što nije za zanemariti.

Bitno je naglasiti da ovim elaboratom nisu pojedinačno obrađene zgrade niti se rezultati mogu na taj način tumačiti. Analiza je provedena na velikom broju zgrada i vrijedi kada se gleda područje Grada Zagreba, što znači da se rezultati analize ne smiju koristiti individualno za jednu zgradu ili skupinu zgrada već samo za procjenu cjelokupnog potresnog rizika visokih zgrada na razini grada Zagreba.

U poglavlju 4 je dan prikaz rezultata provedene analize. Prikazani su najvažniji podaci i atributi o visokim zgradama. Neki od podataka koji nisu bili dostupni iz službenih izvora su određeni stručnom procjenom. Zgradama su pridruženi i ostali atributi, ali su ovdje prikazani samo najvažniji.

U poglavlju 5 Elaborata je napravljen procjena potresne oštetljivosti visokih zgrada. Prvo je opisana primjenjena metodologija, a zatim je za svaku zgradu dana tablica atributa i proračun srednjeg razreda oštećenja na temelju kojeg je napravljen odabir kritičnih zgrada. Kako bi se provela gruba analiza oštetljivosti visokih zgrada u Gradu Zagrebu na temelju prikupljenih podataka o svakoj građevini,



## PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB

Elaborat građevinarstvo - visokogradnja - podaci o konstrukcijskim

sustavima visokih građevina (preko 15 katova) vezan na periode gradnje

Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba

korištena je makroseizmička metoda u skladu s RISK-UE projektom (Milutinovic i Trendafilovski, 2003), pri čemu se oštetljivost zgrade izražava indeksom oštetljivosti (Giovinazzi i Lagomarsino, 2004, 2006).

Prema podacima je ukupni broj visokih zgrada u gradu Zagrebu 164 i one imaju ukupnu (BRP) površinu od 1.800.000 m<sup>2</sup>. Ukupno gledajući, u visokim zgradama u Zagrebu svakodnevno živi ili radi ukupno oko 45.000 ljudi.

U konačnici su prikazani rezultati o najvjerojatnijim razinama oštećenja visokih zgrada pri djelovanju potresa makroseizmičkog intenziteta stupnjeva 8 i 9 po MCS ljestvici. Rezultati pokazuju da će pri djelovanju potresa makroseizmičkog intenziteta stupnja 8 po MCS ljestvici 16 zgrada ostati neoštećeno, dok će ih 146 imati blago oštećenje koje se uglavnom svodi na oštećenje nekonstrukcijskih elemenata. Samo 2 zgrade će imati umjereno oštećenje što znači da će nakon potresa ostati umjerena oštećenje konstrukcije koja je potrebno popraviti.

Pri djelovanju potresa makroseizmičkog intenziteta stupnja 9 po MCS ljestvici rezultati grube procjene pokazuju da će 158 zgrada će imati blago oštećenje koje se uglavnom svodi na oštećenje nekonstrukcijskih elemenata. Ukupno će 4 zgrade imati umjereno oštećenje što znači da će nakon potresa ostati umjerena oštećenje konstrukcije koja je potrebno popraviti. Samo 2 zgrade će imati znatno do teško oštećenje što znači da će konstrukcija biti znatno oštećena. Takve zgrade se neće srušiti, ali predstavljati će opasnost za korisnike i prolaznike. Također će biti upitna isplativost njihovih popravka.

Analizom podataka se može primijetiti da je najviše visokih zgrada u Zagrebu izgrađeno 60-tih i 70-tih godina 20. stoljeća kada je bila velika ekspanzija gradnje i velika potreba za stambenim prostorom. U novije vrijeme se uglavnom grade visoke zgrade poslovne namjene.

Analizom konstrukcijskog sustava se može zaključiti da visoke zgrade u Zagrebu imaju velikom većinom zidove kao osnovni konstrukcijski sustav. To je uobičajeno za doba kada je i najviše takvih zgrada izgrađeno. Manji dio je tek dvojni sustav i okvirni sustav i to se uglavnom odnosi na novije visoke zgrade.

Od skupine nebodera, može se vidjeti da neboderi u Zapruđu imaju 9 istovjetnih jedinica i kao takvi značajno više stanovnika i stanova. Također, zgrada „Mamutica“ je prikazana s 9 istovjetnih jedinica. To su dilatacije iste zgrade koje su konstrukcijski odvojene, ali ipak naslonjene jedna na drugu te čine jednu cjelinu. Ona također predstavlja koncentraciju stanova i stanara. Prema broju stanovnika u svim jedinicama istog tipa zgrade iskače zgrada „Mamutica“, a slijede je neboderi u ulici Braće Domany.

Analizom karakterističnog tlocrta zgrade može se primijetiti da je tlocrt uglavnom pravilan što je i bilo za očekivati. Nepravilan oblik tlocrta imaju uglavnom neke novije visoke zgrade kada su i metode proračuna i tehnologija uznapredovali da je bilo moguće to sigurno ostvariti.

Na temelju rezultata se može zaključiti da se za visoke zgrade ne očekuju znatna oštećenja u slučaju potresa. Razlog za to što su one uglavnom rađene 60-tih i 70-tih godina dvadesetog stoljeća kada je postojala svijest o utjecaju potresa na visoke zgrade. Također, visoke zgrade su izazovne konstrukcije za projektiranje i izvođenje. Svakako je projektiranje, kontrola i nadzor ovakvih zgrada znatno kvalitetnija i uglavnom je bila povjerena istaknutim projektantima i izvođačkim poduzećima. Već i svladavanje raznih problema koje visoke zgrade imaju i bez djelovanja potresa je značajno pridonijelo njihovoj otpornosti na potres. Sustav zidova koji se uglavnom nalazi u zagrebačkim neboderima je kvalitetno i robusno rješenje za djelovanje potresa.



## PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB

Elaborat građevinarstvo - visokogradnja - podaci o konstrukcijskim

sustavima visokih građevina (preko 15 katova) vezan na periode gradnje

Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba

## 7. Literatura

- Atalić, J., Hak, S.: Procjena rizika od katastrofa u Republici Hrvatskoj – rizik od potresa, Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet u suradnji s Ministarstvom graditeljstva i prostornog uređenja i Državnom upravom za zaštitu i spašavanje, Hrvatska, 2014.
- Atalić, J., Krolo, J., Damjanović, D., Uroš, M., Sigmund, Z., Šavor Novak, M., Hak, S., Korlaet, L., Košćak, J., Duvnjak, I., Bartolac, M., Serdar, M., Dokozla, I., Prekupec, F., Oreb, J., Mušterić, B., Jandrić, K., Žagar, T.; Demšić, M.: Studija za saniranje posljedica potresa, I-VIII faza, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2013-2020.
- Atalić, J., Šavor Novak, M., Uroš, M.: Ažurirana procjena rizika od katastrofa u Republici Hrvatskoj – rizik od potresa, Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet u suradnji s Ministarstvom graditeljstva i prostornog uređenja i Državnom upravom za zaštitu i spašavanje, Hrvatska, 2018.
- Atalić, J., Šavor Novak, M., Uroš, M.: Rizik od potresa: pregled istraživanja i postojećih procjena sa smjernicama za budućnost, *GRAĐEVINAR* 71 (2019) 10, pp. 923-947
- Crnogorac, M.: Izvorni i stečeni nedostaci konstrukcija zgrada, u *Potresno inženjerstvo – Obnova zidanih zgrada*. Uroš, M., Todorić, M., Crnogorac, M., Atalić, J., Šavor Novak, M., Lakušić, S. (Eds.), Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2021.
- Digitalni arhiv stambenih Zgrada Arhitektonskog fakulteta u Zagrebu (DASZ, AF), 2015.
- Giovinazzi, S., Lagomarsino, S.: A Macroseismic Model for the vulnerability assessment of buildings, *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, Canada, No. 896, 2004.
- Herak, D., Herak, M., Tomljenović, B.: Seismicity and earthquake focal mechanisms in North-Western Croatia, *Tectonophysics*, 465 (2009), 212–220, <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2008.12.005>.
- Herak, M., Allegretti, I., Herak, D., Ivančić, I., Kuk, V., Marić, K., Markušić, S. i Sović I.: *Republika Hrvatska, Karta potresnih područja*, 2011, <http://seizkarta.gfz.hr/hazmap/>
- Herak, M., Herak, D., Tomljenović, B.: Seismicity and Neotectonics in the Greater Zagreb Area. In: *Fact Finding Workshop on the Active Tectonics of the Krško Region* (ed. Decker, K.), Technical Workshop, Klagenfurt/Celovec, Austria, Ministerium für Lebenswertes Oesterreich, Vienna, Austria, 2016.
- Herak, M., Herak, D., Živčić, M.: Which one of the three latest large earthquakes in Zagreb was the strongest – the 1905, 1906 or the 2020 one?, *Geofizika*, 38 (2021) 2, <https://doi.org/10.15233/gfz.2021.38.5>.
- HNZ: HRN EN 1998-1:2011+Ispr.2:2015+A1:2014+NA:2011, Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija - 1.dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade, Zagreb, Hrvatska, 2011.
- HNZ: HRN EN 1992-1-1:2013+Ispr.1:2015+A1:2015+NA:2015, Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija -- Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade, Zagreb, Hrvatska, 2013.
- Korlaet, L.: *Karta grada Zagreba s tipovima građevina i godinama gradnje*, Sveučilište u Zagrebu, Arhitektonski fakultet, 2014.
- Lagomarsino, S., Giovinazzi, S.: Macroseismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of current buildings. *Bull Earthq Eng* 4 (2006):415–443
- Lantada, N., Irizarry, J., Barbat, A.H. et al.: Seismic hazard and risk scenarios for Barcelona, Spain, using the Risk-UE vulnerability index method. *Bull Earthquake Eng* 8 (2010), 201–229
- Margaretić Urlić, R.: *Slavko Jelinek*. Zagreb: Udruženje hrvatskih arhitekata (UHA), 2009.



## PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZA GRAD ZAGREB

Elaborat građevinarstvo - visokogradnja - podaci o konstrukcijskim

sustavima visokih građevina (preko 15 katova) vezan na periode gradnje

Definiranje potresnog hazarda na području grada Zagreba

Milutinovic, Z., Trendafilovski, G.: An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns - WP4: Vulnerability of current buildings, RISK-EU, 110 p., 2003.

Sekcija mladih DAZ-a [ur.]: *Zagreb - arhitektura u džepu*, DAZ - Društvo arhitekata Zagreba, 2017.

SFRJ: Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima, SFRJ 31/81, 49/82, 29/83, 20/88, 52/90

SFRJ: Privremeni tehnički propisi za građenje u seizmičkim područjima, SFRJ 39/64

Uroš, M., Todorić, M., Crnogorac, M., Atalić, J., Šavor Novak, M., Lakušić, S. (Eds.): Potresno inženjerstvo – Obnova zidanih zgrada, Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2021.

Žanko, A.: Stan I. Beograd: Odbor za publicističku delatnost vojnog građevinarstva, 1966.