



# DEFINIRANJE POTRESNOG HAZARDA NA PODRUČJU GRADA ZAGREBA *zbornik elaborata*

**Autori:**  
**Grupa**  
**autora**

Projekt sufinancira  
Europska unija iz  
Europskog fonda za  
regionalni razvoj



# **DEFINIRANJE POTRESNOG HAZARDA NA PODRUČJU GRADA ZAGREBA**

**• ZBORNIK ELABORATA •**

**Autori:**  
**Grupa autora**

**Zagreb, 2023. godine**

## **Definiranje potresnog hazarda na području Grada Zagreba – zbornik elaborata**

### **Autori:**

izv. prof. dr. sc. Josip Atalić  
izv. prof. dr. sc. Mario Bačić  
dr.sc. Maja Baniček  
doc. dr. sc. Damjan Bujak  
Marijan Car  
izv. prof. dr. sc. Dalibor Carević  
Tomislav Fiket  
izv. prof. dr. sc. Ivan Halkijević  
Gordana Hrelja Kovačević  
mr. sc. Ines Ivančić  
Josip Ivančić  
Krešimir Kuk  
izv. prof. dr. sc. Lovorka Librić  
izv. prof. dr. sc. Snježana Markušić  
Stjepan Matić  
Hanna Miličević  
Vedran Pavlić  
dr. sc. Laszlo Podolszki  
Nicola Rossi  
dr. sc. Ivica Sović  
dr. sc. Kristina Šariri  
izv. prof. dr. sc. Marta Šavor Novak  
dr. sc. Josip Terzić  
izv. prof. dr. sc. Mario Uroš  
izv. prof. dr. sc. Dražen Vouk  
mr. sc. Mihaela Zamolo

### **Urednici:**

Kristina Martinović, univ. spec. admin. chris. Grad Zagreb, Gradski ured za mjesnu samoupravu, promet, civilnu zaštitu i sigurnost, voditeljica projekta Potresni rizik Grada Zagreba  
izv. prof. dr. sc. Mario Bačić, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za geotehniku

### **Tisk:**

MGM studio Novel

### **Izdavač:**

Grad Zagreb  
2023.

**CIP zapis je dostupan u računalnome katalogu Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem 001208514**

**ISBN 978-953-8319-42-6**

# SADRŽAJ

<b>1</b>	<b>Seizmički hazard (potresna opasnost)</b>	
	<b>Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovni – matematički fakultet Geofizički odsjek</b>	
	dr. sc. Ivica Sović, izv. prof. dr. sc. Snježana Markušić, Tomislav Fiket, dipl. ing., mr. sc. Ines Ivančić, Krešimir Kuk, dipl. ing. dr. sc. Kristina Šariri, Josip Ivančić, mag. et. comm. techn.	5
<b>2</b>	<b>Geološki podaci razmatrani za procjenu potresnog rizika Grada Zagreba i provedena zonacija - sažeti prikaz</b>	
	<b>Hrvatski geološki institut</b>	
	dr. sc. Laszlo Podolszki, dipl. ing. geol., dr. sc. Josip Terzić, dipl. ing. geol.	15
<b>3</b>	<b>Geotehnički elaborat</b>	
	<b>Sveučilište u Zagrebu, Centar građevinskog fakulteta</b>	
	izv. prof. dr. sc. Mario Bačić, mag. ing. aedif., izv. prof. dr. sc. Lovorka Librić, mag. ing. aedif., Vedran Pavlić, dipl. ing. grad., Marijan Car, dipl. ing. geod., Nicola Rossi, mag. ing. aedif., Stjepan Matić, mag. ing. aedif.	25
<b>4</b>	<b>Elaborat građevinarstvo - visokogradnja - podaci o konstrukcijskim sustavima visokih građevina</b>	
	<b>Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Hrvatski centar za potresno inženjerstvo</b>	
	izv. prof. dr. sc. Mario Uroš, izv. prof. dr. sc. Marta Šavor Novak, izv. prof. dr. sc. Josip Atalić, dr. sc. Maja Baniček	35
<b>5.1</b>	<b>Elaborat građevinarstvo – inženjerske građevine – podaci o konstrukcijskimsustavima mostova i hidrotehničkih građevina, Mapa 1: Mostovi</b>	
	<b>Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Hrvatski centar za potresno inženjerstvo</b>	
	Gordana Hrelja Kovačević, dipl. ing. grad., izv. prof. dr. sc. Marta Šavor Novak	49
<b>5.2</b>	<b>Elaborat građevinarstvo – inženjerske građevine – podaci o konstrukcijskim sustavima mostova i hidrotehničkih građevina, Mapa 2: Hidrotehničke građevine</b>	
	<b>Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Hrvatski centar za potresno inženjerstvo</b>	
	izv. prof. dr. sc. Dalibor Carević, dipl. ing. grad., doc. dr. sc. Damjan Bujak, dipl. ing. grad., izv. prof. dr. sc. Ivan Halkijević, dipl. ing. grad., izv. prof. dr. sc. Dražen Vouk, dipl. ing. grad., izv. prof. dr. sc. Mario Bačić, dipl. ing. grad., Hanna Miličević, mag. ing. aedif.	61
<b>6</b>	<b>Elaborat kulturna dobra</b>	
	<b>Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Hrvatski centar za potresno inženjerstvo</b>	
	mr. sc. Mihaela Zamolo, izv. prof. dr. sc. Josip Atalić	71
<b>7</b>	<b>Elaborat kartografija</b>	
	<b>Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Hrvatski centar za potresno inženjerstvo</b>	
	dr. sc. Maja Baniček, izv. prof. dr. sc. Marta Šavor Novak, izv. prof. dr. sc. Josip Atalić, izv. prof. dr. sc. Mario Uroš	87
<b>8</b>	<b>Prikupljanje i obrada podataka o građevinama te uspostava baze podataka</b>	
	<b>Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Hrvatski centar za potresno inženjerstvo</b>	
	izv. prof. dr. sc. Josip Atalić	97



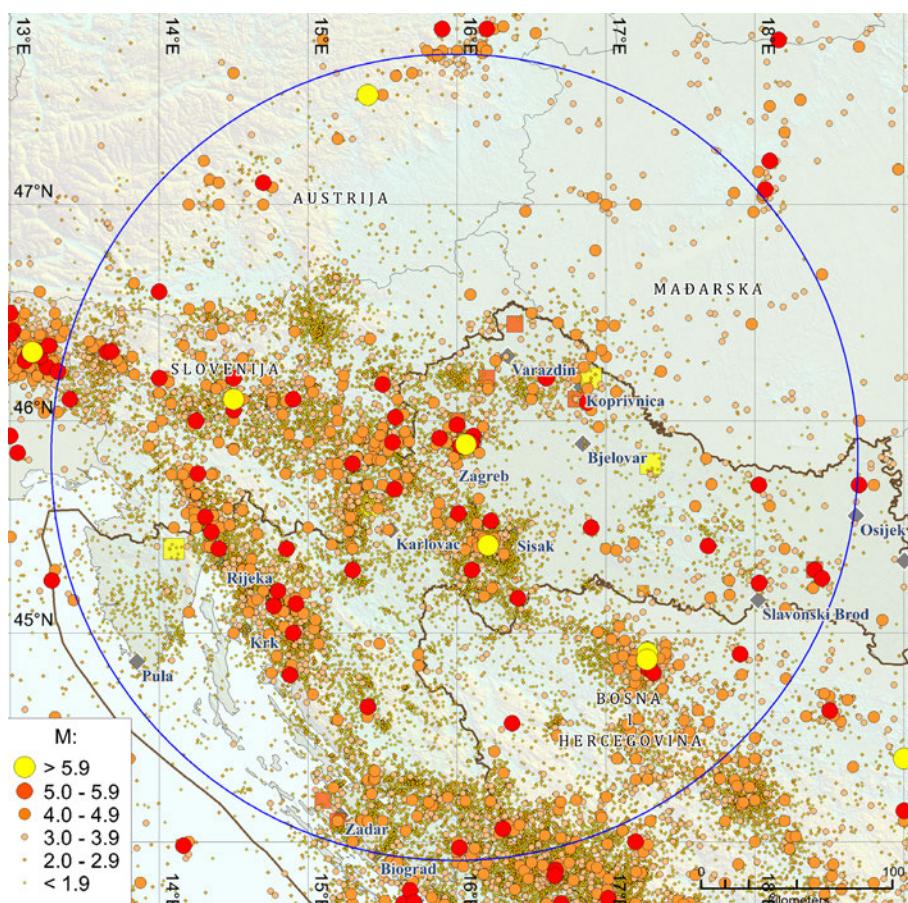
## 1. Seizmički hazard (potresna opasnost)

### 1.1 Uvod

Prvi korak u računanju seizmičkog rizika (potresne ugroženosti) je računanje seizmičkog hazarda (potresne opasnosti) na osnovnoj stijeni. Seizmički hazard je vjerojatnost da će određeno svojstvo potresa (npr. najveća akceleracija ili intenzitet) premašiti određenu vrijednost u nekom vremenskom razdoblju, a osnovna stijena je sredstvo u kojem su brzine transverzalnih valova veće ili jednake 800 m/s. Moguće ga je dobro izračunati samo ako se raspolaže podacima o dugom nizu potresa unutar kruga radijusa 200 km oko lokacije koja se istražuje. Budući da su jaki potresi rijetki događaji, za što točnije računanje seizmičkog hazarda potreban je katalog potresa koji sadrži što je moguće dulji niz potresa.

### 1.2 Katalog potresa

Za potrebe projekta "Potresni rizik Grada Zagreba" pripremljen je katalog čija je osnova Hrvatski katalog potresa CEC2021 Geofizičkog odsjeka PMF-a.



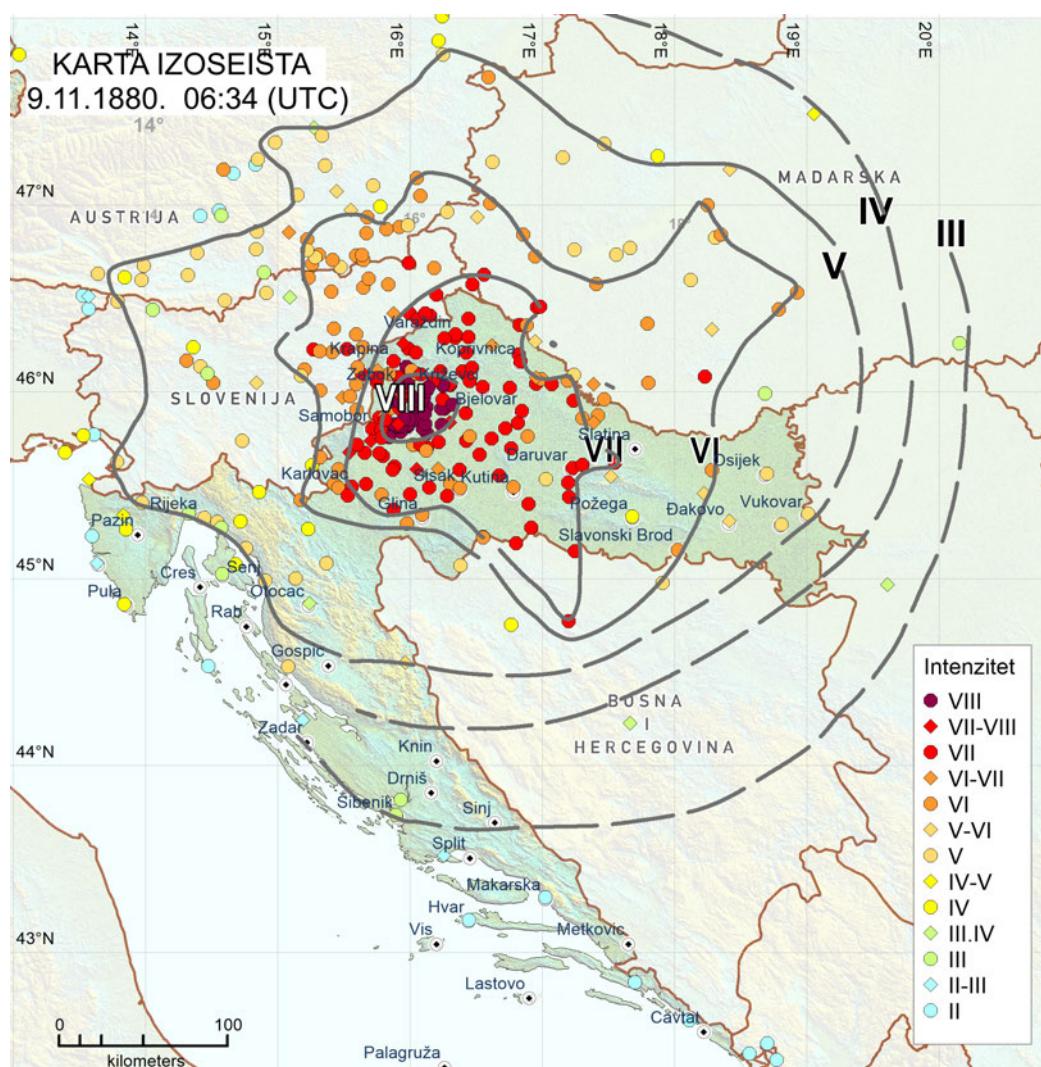
**Slika 1.** Epicentri potresa ( $M_w \geq 1.0$ ) u dopunjenoj katalogu CEC2021. Pouzdano locirani povijesni potresi koji su se dogodili prije 1850. g. prikazani su kvadratićima, a kružićima potresi locirani u razdoblju od 1850. do 2021. godine. Magnituda potresa označena je bojom prema legendi na lijevoj strani slike. Plavi krug je polumjera 200 km, a središte mu je na Trgu bana Josipa Jelačića.

Za potrebe računanja seizmičkog hazarda Hrvatski katalog potresa CEC 2021 (*Croatian earthquake catalogue*) proširen je podacima iz kataloga susjednih zemalja i podacima ISC (International Seismological Center) i SHEEC (The SHARE European Earthquake Catalogue) kataloga. Na slici 1. prikazani su epicentri potresa u krugu polumjera 200 km od Trga bana Josipa Jelačića u Zagrebu.

### 1.3 Seizmičnost

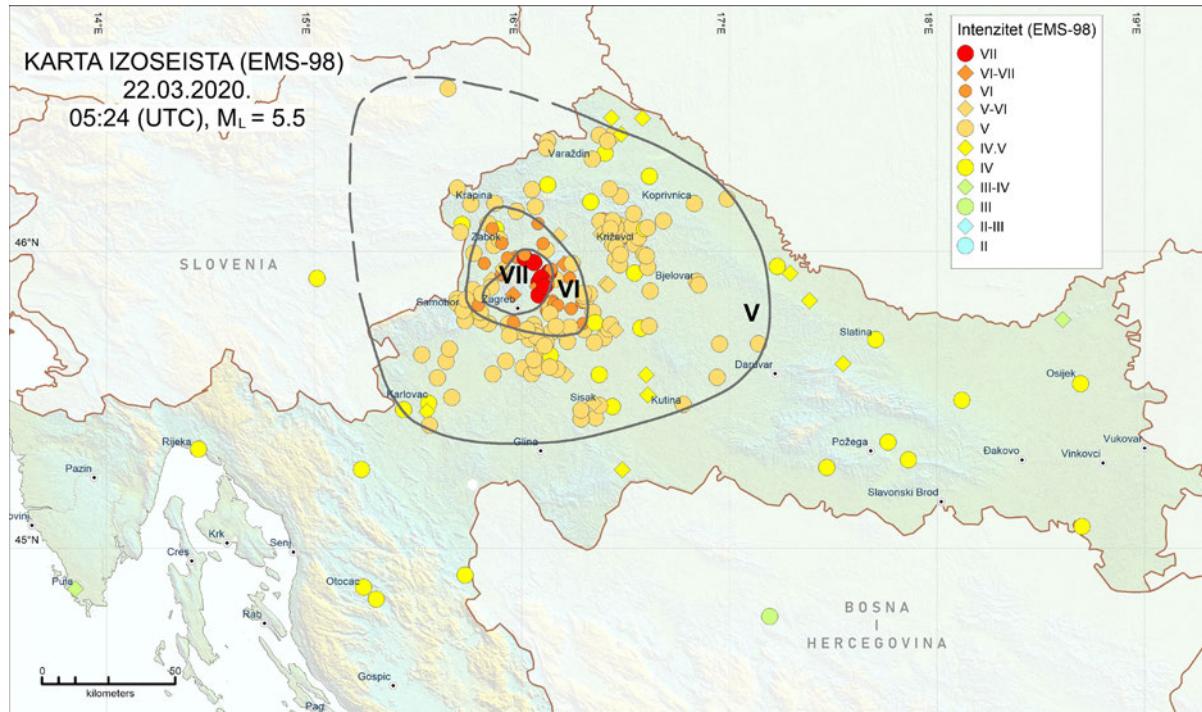
Grad Zagreb smješten je u kontinentalnom dijelu Hrvatske na dodirnom području dviju manjih tektonskih jedinica, Dinarida i Panonskog bazena. Seizmičnost ovog područja je umjerena, praćena relativno rijetkim snažnim potresima. Međutim, i umjereno jaki potresi mogu biti razorni i imati značajan utjecaj na potresnu opasnost i potresnu ugroženost.

U neposrednoj blizini Zagreba nalaze se tri važna epicentralna područja: Medvednica, Brežice – Krško i Pokuplje – Banovina. Za računanje seizmičkog hazarda u Zagrebu je najznačajnije epicentralno područje Medvednice koje je omeđeno Sjevernim rubnim medvedničkim rasjedom i Kašinskim rasjedom. Potresi koji se događaju na tim rasjedima imaju epicentre unutar administrativnih granica grada Zagreba.



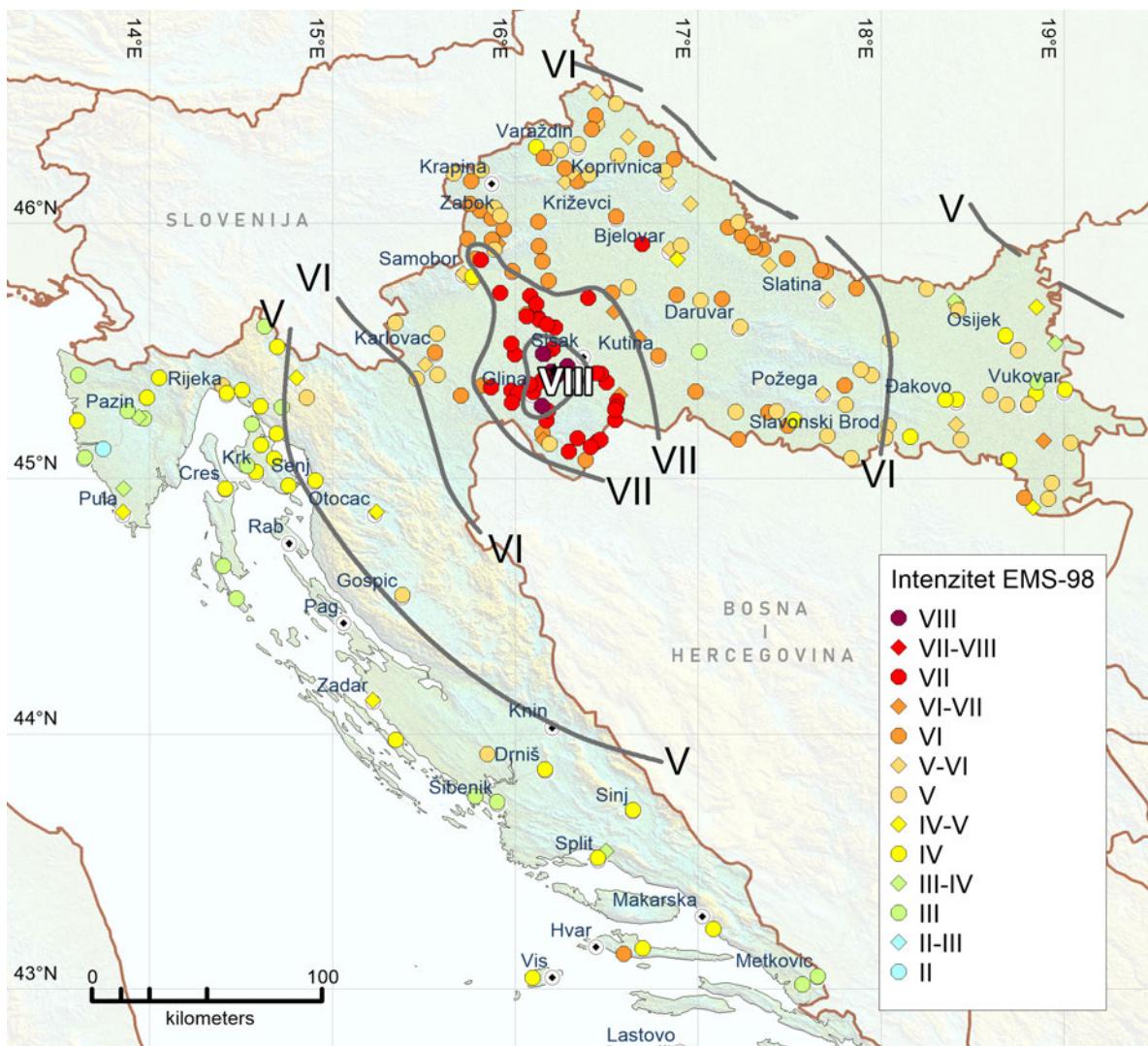
Slika 2. Karta izoseista potresa od 9. studenoga 1880. godine s epicentrom kod Planine Gornje.

U medvedničkom epicentralnom području najjači i najvažniji potres dogodio se 9. studenoga 1880. u 6:34 GMT. U Zagrebu, koji je tada imao oko 30.000 stanovnika, poginulo je dvoje ljudi, dok je jedan radnik poginuo u Granešini. U Zagrebu se potres osjetio intenzitetom od VIII °MSK ljestvice, a osjetio se i u 235 km udaljenom Vukovaru intenzitetom V °MSK ljestvice, dok su u Češkim Budjeovicama stale dvije ure njihalice i ura na crkvenom tornju (slika 2).



**Slika 3.** Karta izoseista potresa od 22. ožujka 2020. godine s epicentrom kod Markuševca.

U novije vrijeme, najsnažniji potres u epicentralnom području Medvednica dogodio se 22. ožujka 2020. u 5:24 UTC. Potres je bio lokalne magnitude  $M_L = 5.5$  i momentne magnitude  $M_w = 5.4$ , s epicentrom u Markuševcu ( $\phi = 45.882^\circ\text{N}$ ,  $\lambda = 16.022^\circ\text{E}$ ) i žarištem na dubini od 7.4 km. Najveći intenzitet je bio VII-VIII EMS u Markuševcu, koji je u epicentru, a u središnjem dijelu Zagreba intenzitet je iznosio VII EMS. Potres se osjetio u čitavoj Sloveniji, te dijelovima Austrije, Mađarske, Češke i Bosne i Hercegovine (slika 3). U središtu grada Zagreba smrtno je stradala jedna osoba. Oštećenja na zgradama su nastala kumulativnim učinkom glavnog i niza naknadnih potresa od kojih je najjači imao magnitudu  $M_L = 4.9$ , a uslijedio je 37 minuta nakon glavnog potresa. Dodatna šteta na zgradama nastala je i od potresa koji se dogodio 29. prosinca 2020. s epicentrom kod Petrinje, a koji se u Zagrebu osjetio intenzitetom VI EMS. U dvije godine nakon glavnog potresa na području Medvednice je locirano više od 3500 naknadnih potresa.



Slika 4. Karta izoseista potresa od 29. prosinca 2020. u 11:19 UTC s epicentrom kod Petrinje.

Potres koji se dogodio 29. prosinca 2020. u 11:27 UTC je najjači instrumentalno zabilježen potres u kontinentalnoj Hrvatskoj.

Lokalna magnituda mu je iznosila  $M_L = 6.2$ , a momentna magnituda  $M_w = 6.4$ . Epicentar mu je bio kod mjesta Gora između Petrinje i Gline. Prethodio mu je potres od 28. prosinca 2020. u 5:28 UTC, lokalne magnitudo  $M_L = 5.1$  i momentne magnitudo  $M_w = 4.9$ , koji se osjetio u većem dijelu središnje Hrvatske. Glavni potres se osjetio najvećim intenzitetom VIII EMS u Petrinji i okolici, dok je intenzitet u Zagrebu bio VI EMS (slika 4). Potres je na mnogim mjestima uz Kupu i Savu uzrokovao likvefakciju koja je uzrokovala dodatne štete na građevinama.

## 1.4 Seizmička povijest

Poznavanje seizmičke povijesti važno je zbog činjenice da ako se u nekom mjestu dogodio potres određenog intenziteta, vrlo je vjerojatno da će se potres takvog intenziteta ponoviti. U tablici 1. prikazani su procijenjeni intenziteti potresa za koje je pomoću Kövesligethyeve relacije za atenuaciju makroseizmičkog intenziteta (Kövesligethy, 1906) procijenjeno da su se na Trgu bana Josipa Jelačića osjetili intenzitetom većim ili jednakim VI °MSK.

**Tablica 1.** Osnovni parametri potresa za koje je procijenjeno da su se na Trgu bana Josipa Jelačića osjetili intenzitetom većim ili jednakim VI °MSK.

God.	Mj.	D	S	Min.	Sek.	N (°)	E(°)	h.(km)	M	I <sub>o</sub> (MSK)	D (km)	Intenzitet na lokaciji (MSK)
<b>566</b>	12	31	0	0	0	45.600	15.300		6.7	9	58	<b>6.4</b>
<b>1096</b>	12	31	0	0	0	45.600	15.300		6.7	9	58	<b>6.4</b>
<b>1459</b>	5	20	0	0	0	46.300	16.300		6.7	9	59	<b>6.3</b>
<b>1775</b>	10	13	6	30	0	46.000	16.000		5.7	7-8	21	<b>6.3</b>
<b>1837</b>	9	22	11	30	0	45.900	16.000		5.3	7	10	<b>6.6</b>
<b>1858</b>	12	24	18	30	0	45.900	16.100		5.3	7	13	<b>6.4</b>
<b>1880</b>	11	9	6	34	0	45.890	16.060	17	6.1	8	10	<b>8.0</b>
<b>1880</b>	11	11	10	26	0	45.980	16.000		5.3	7	18	<b>6.1</b>
<b>1893</b>	10	11	4	25	0	45.800	16.000		4.6	6	2	<b>6.1</b>
<b>1901</b>	12	17	14	12	14	45.830	15.980	4	4.6	7	2	<b>6.1</b>
<b>1905</b>	12	17	22	16	37	45.920	16.090	10	4.7	7	14	<b>7.0</b>
<b>1906</b>	1	2	4	26	36	45.930	16.110	18	5.3	7-8	16	<b>7.5</b>
<b>1906</b>	1	4	4	25	0	45.800	16.000	9	4.5	6	2	<b>6.0</b>
<b>1909</b>	10	8	9	59	12	45.565	16.011	14	5.8	8	28	<b>6.4</b>
<b>1917</b>	1	29	8	22	55	45.900	15.567	13	5.7	8	33	<b>6.0</b>
<b>2020</b>	3	22	5	24	3.1	45.881	16.022	7.3	5.5	7-8	7	<b>7.0</b>
<b>2020</b>	3	22	6	1	19.5	45.882	16.017	8.1	4.9	0	8	<b>6.2</b>
<b>2020</b>	12	29	11	19	53.6	45.416	16.208	13.6	6.2	8	48	<b>6.1</b>

## 1.5 Seizmički hazard

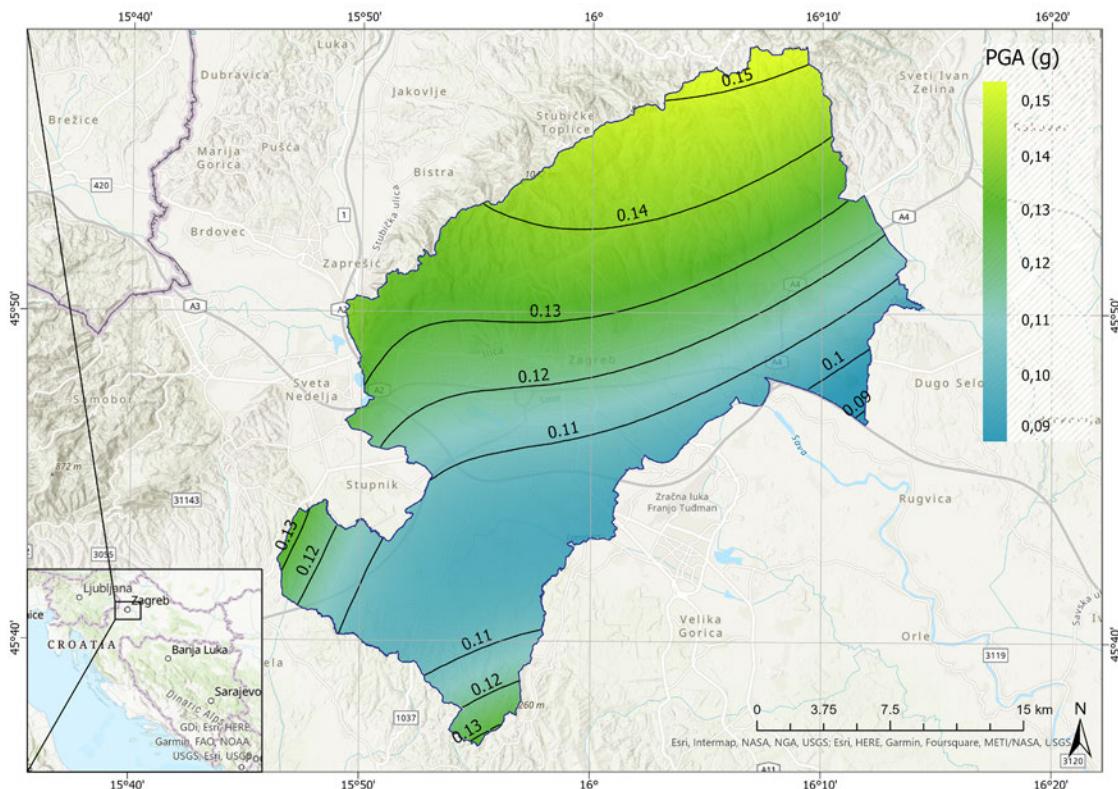
### 1.5.1 Seizmički hazard (potresna opasnost) na osnovnoj stijeni

Seizmički rizik je vjerojatnost pojave štetnih posljedica potresa na objekte, ljudi i ekonomiju, a važni parametar za njegovu procjenu je seizmički hazard. Seizmički hazard je vjerojatnost da će određeni parametar gibanja tla, na primjer vršna akceleracija, u određenom vremenskom razdoblju premašiti neku graničnu vrijednost.

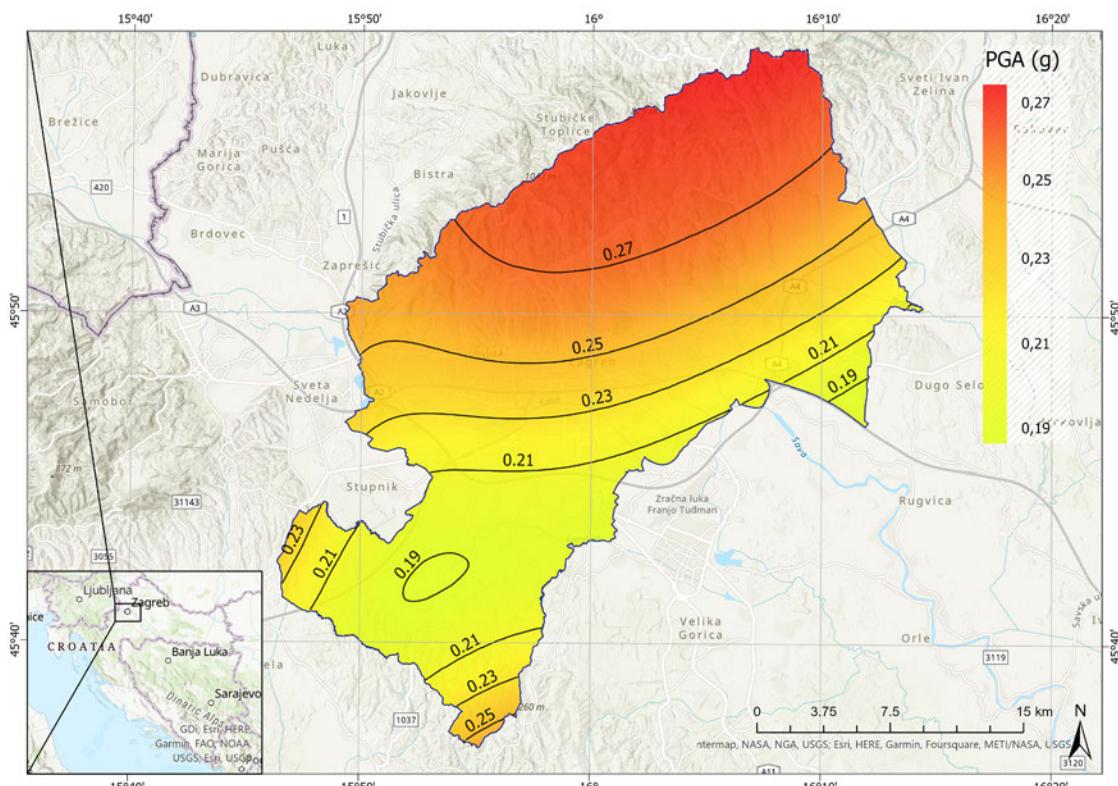
U prvom koraku procjene seizmičkog rizika računa se seizmički hazard na osnovnoj stijeni. Da bi se dobile vrijednosti hazarda na površini, što je nužno za procjenu rizika, moraju se detaljno poznavati svojstva tla na lokaciji za koju se računa hazard. Zbog toga je poželjno prije računanja seizmičkog rizika provesti detaljno seizmičko mikrozoniranje istraživanog područja.

Primjenom programskog paketa OpenQuake, za područje Grada Zagreba izračunati su parametri seizmičkog hazarda na osnovnoj stijeni za povratna razdoblja od 95 i 475 godina uz rezoluciju od 100 m (slike 5.i 6.) , te su na slici 7. prikazane krivulje hazarda (srednja vrijednost) u smislu prekoračenja PGA za nekoliko točaka s različitim vrijednostima PGA (slike 5. i 6.) na području Grada Zagreba na osnovnoj stijeni za povratna razdoblja od 95 i 475 godina.

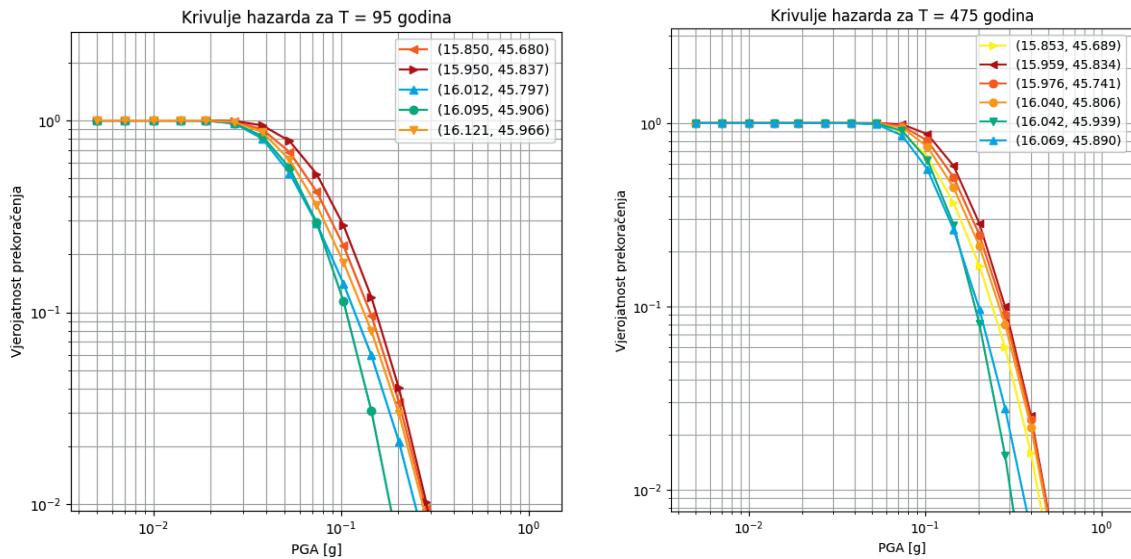
### 1.2.1.1 Karte seizmičkog hazarda (potresne opasnosti) na osnovnoj stijeni



**Slika 5.** Karta seizmičkog hazarda na osnovnoj stijeni za područje Grada Zagreba - prikazana je srednja vrijednost PGA (u jedinicama g) za povratno razdoblje od 95 godina (vjerojatnost prekoračenja od 10% tijekom 10 godina).



**Slika 6.** Karta seizmičkog hazarda na osnovnoj stijeni za područje Grada Zagreba - prikazana je srednja vrijednost PGA (u jedinicama g) za povratno razdoblje od 475 godina (vjerojatnost prekoračenja od 10% tijekom 50 godina).



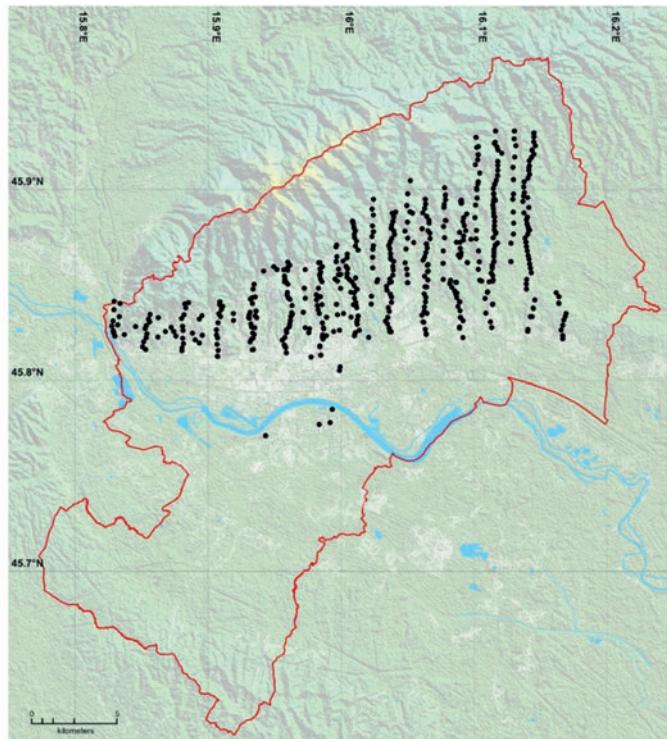
**Slika 7.** Krivulje hazarda (srednja vrijednost) u smislu prekoračenja PGA za nekoliko točaka s različitim vrijednostima PGA (slike 5. i 6.) na području Grada Zagreba na osnovnoj stijeni za povratno razdoblje od 95 godina (lijevo) i 475 godina (desno).

### 1.5.2 Seizmički hazard (potresna opasnost) na površini

Lokalni učinci tla mogu bitno pojačati (amplificirati) seizmičko gibanje tla na pojedinoj lokaciji, te se moraju uzeti u obzir pri računanju seizmičkog hazarda na površini.

#### 1.5.2.1 Ulagni podaci

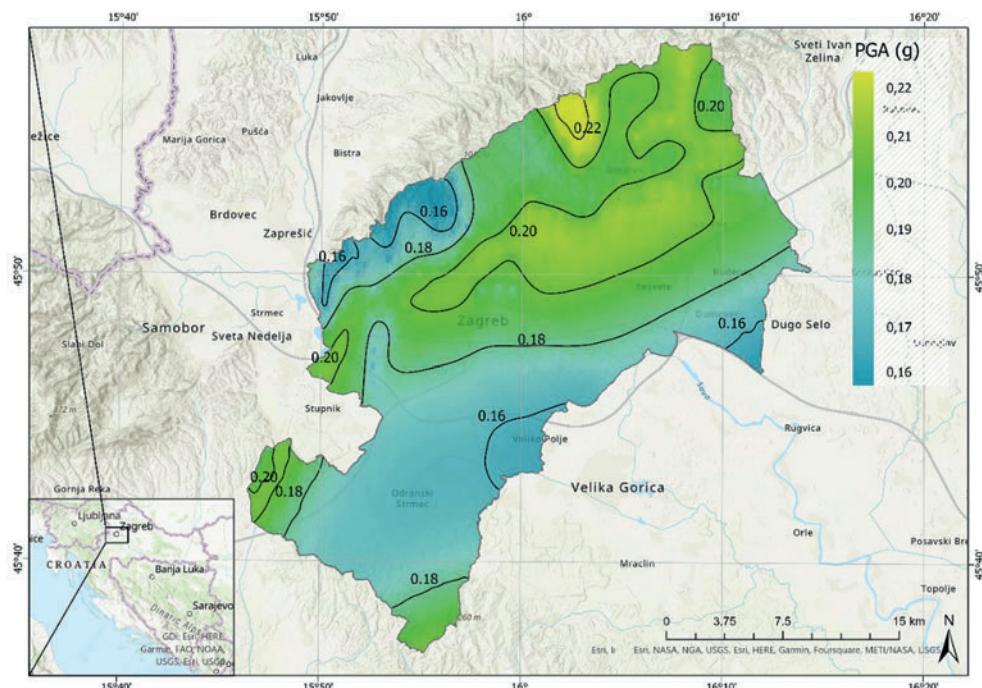
Ulagni podaci za drugu fazu projekta, brzina transverzalnih valova u prvih 30 metara dubine ( $Vs30$ ), i dubine na kojima ti valovi dosežu brzine od 1000 m/s ( $Z1.0$ ) i 2500 m/s ( $Z2.5$ ) nisu posebno mjereni za ovaj projekt već su korišteni podaci iz drugih dostupnih projekata, geotehničkih elaborata i znanstvene literature (slika 8.).



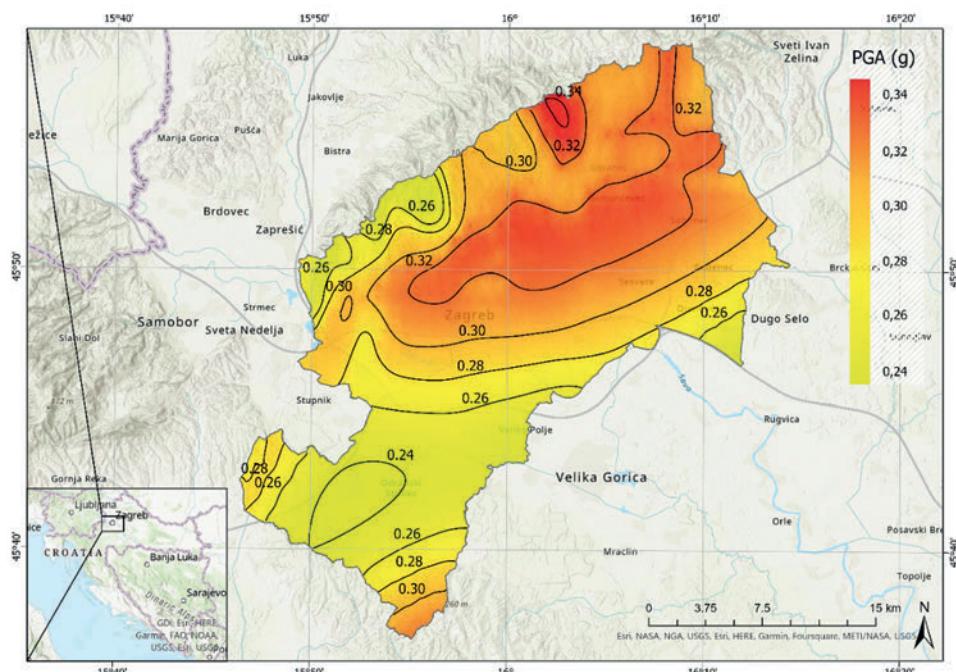
**Slika 8.** Prostorna razdioba točaka s poznatom brzinom  $Vs30$ .

Izračunati su parametri seizmičkog hazarda na području Grada Zagreba na realnoj površini za povratna razdoblja od 95 i 475 godina (slike 9. i 10.). Prostorna rezolucija iznosila je 1000 m. Zbog rijetkih i nejednolikih raspoređenih točaka u kojima je mjerena brzina  $V_{s30}$ , poglavito u nizinskom dijelu Grada Zagreba za koji postoji samo osam podataka, rezolucija konačnih rezultata je manja nego u slučaju računa za osnovnu stijenu. I u ovom slučaju su prikazane krivulje hazarda (srednja vrijednost) u smislu prekoračenja za PGA za niz odabranih lokacija s različitim vrijednostima PGA (slike 9. i 10.) na području Grada Zagreba na realnoj površini za povratna razdoblja od 95 i 475 godina (slika 11.).

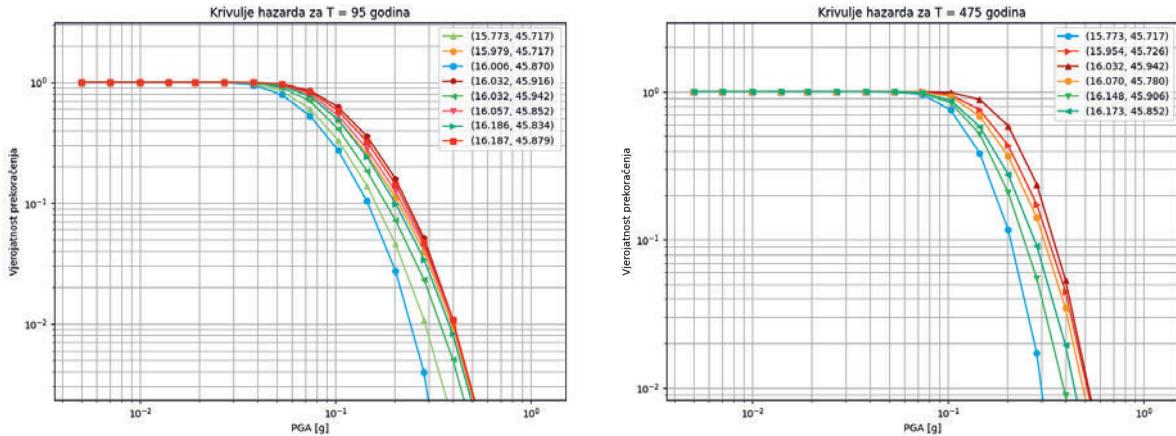
#### 1.5.2.2 Karte seizmičkog hazarda (potresne opasnosti) na površini



**Slika 9.** Karta seizmičkog hazarda na realnoj površini za područje Grada Zagreba - prikazana je srednja vrijednost PGA (u jedinicama g) za povratno razdoblje od 95 godina (vjerojatnost prekoračenja od 10% tijekom 10 godina).



**Slika 10.** Karta seizmičkog hazarda na realnoj površini za područje Grada Zagreba - prikazana je srednja vrijednost PGA (u jedinicama g) za povratno razdoblje od 475 godina (vjerojatnost prekoračenja od 10% tijekom 50 godina).

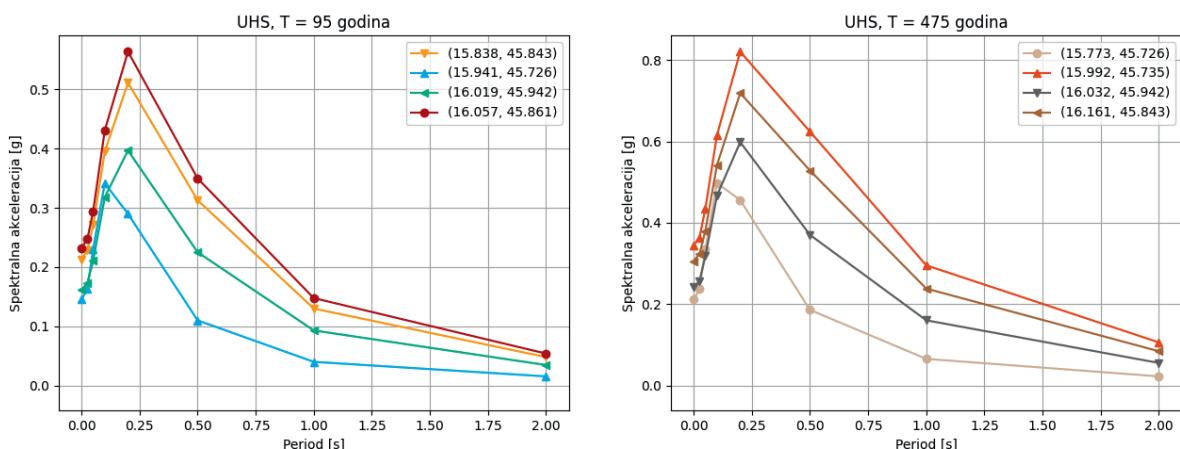


**Slika 11.** Krivulje hazarda (srednja vrijednost) u smislu prekoračenja za PGA za niz odabranih lokacija s različitim vrijednostima PGA (slike 9. i 10.) na području Grada Zagreba na realnoj površini za povratno razdoblje od 95 godina (lijevo) i 475 godina (desno).

### 1.6 UHS – spektri jednolikog hazarda

Uobičajena metoda za razvijanje projektnog spektra odziva temeljena na probabilističkom pristupu je korištenjem spektara jednolikog hazarda (eng. Uniform Hazard Spectra – UHS). UHS se dobiva tako da se prvo izračuna hazard za niz frekvencija. Zatim se za određeno povratno razdoblje gibanje na osnovnoj stijeni ili površinsko gibanje tla, uz uključene parametre lokalnih uvjeta tla (slika 12.), određuje na osnovi krivulja hazarda za pojedinu frekvenciju. Izraz "spektor jednolikog hazarda" koristi se zato što postoji jednaka vjerojatnost prekoračenja gibanja tla za bilo koju frekvenciju, odnosno, odgovarajući period. Budući da se hazard računa neovisno za svaki spektralni period, UHS ne predstavlja spektor niti jednog pojedinačnog potresa.

Vrijednost spektralnog ubrzanja ( $S_a$ ) jednaka je vršnom ubrzanju tla (PGA) pri  $T = 0$  s (tj. za krute strukture), a za velike periode (tj. za vrlo fleksibilne strukture) ona asimptotski teži u nulu.



**Slika 12.** Spektri jednolikog hazarda na realnoj površini za četiri lokacije s različitim vrijednostima PGA (slike 9. i 10.) na području Grada Zagreba za povratno razdoblje od 95 godina (lijevo) i za povratno razdoblje od 475 godina (desno).

Za sve lokacije i oba povratna razdoblja spektri jednolikog hazarda na realnoj površini imaju maksimum u frekvencijskom intervalu od 5 do 10 Hz, što odgovara periodima od 0.1 do 0.2 s, a na svakoj od frekvencija je iznos spektralne akceleracije veći za povratno razdoblje 475 godina.

## 1.7 ZAKLJUČAK

U prvoj fazi projekta "Potresni rizik Grada Zagreba", koji je dio projekta "Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske za potrebe procjene smanjenja rizika od katastrofa", izračunat je seizmički hazard na osnovnoj stijeni za cijelo područje Grada Zagreba i povratna razdoblja od 95 i 475 godina korištenjem programskog paketa OpenQuake. U drugoj fazi je, na temelju dostupnih podataka o brzinama  $Vs30$ , izračunat seizmički hazard na površini za područje Grada Zagreba. U oba slučaja rezultati su prikazani kartama seizmičkog hazarda, krivuljama hazarda i UHS spektrima.

Za podsljemensku zonu Grada Zagreba postojali su podaci mjerениh brzina  $Vs30$  na 150 lokacija, dok je za 404 lokacije postojao samo podatak o tipu tla prema klasifikaciji Eurocode 8 (E8), te su kao ulazni podatak za račun amplifikacije tla uzete srednje vrijednosti  $Vs30$  za odgovarajući tip tla. Na području južno od Ilice i Maksimirske ulice postojali su podaci za  $Vs30$  na samo osam lokacija. S obzirom da je to područje vrlo velike površine i izuzetno heterogeno zbog riječnih nanosa različitih debljin i vrsta (pijesak, šljunak, mulj), kao i zbog visokih razina podzemnih voda u nekim područjima, samo osam točaka je nedostatno za kvalitetne rezultate. Podaci o dubinama na kojima transverzalni valovi dostižu brzine od 1000 m/s (Z1.0) i 2500 m/s (Z2.5) nisu bili dostupni, pa su te brzine izračunate pomoću publiciranih relacija i raspoloživih brzina  $Vs30$ .

Projekt "Potresni rizik Grada Zagreba" je pilot-projekt za računanje seizmičkog rizika u urbanim sredinama Republike Hrvatske. Zbog toga treba naglasiti da računanju seizmičkog hazarda, na bilo kojem mjestu, mora prethoditi detaljno seizmičko mikrozoniranje i prikupljanje svih raspoloživih geotehničkih elaborata za istraživano područje, kako bi se raspolagalo što gušćom mrežom točaka s poznatim brzinama  $Vs30$  i dubinama Z1.0 i Z2.5.

**Autori poglavlja: dr.sc. Laszlo Podolszki, dipl.ing.geo. i dr.sc. Josip Terzić,  
dipl.ing.geo., Hrvatski geološki institut**

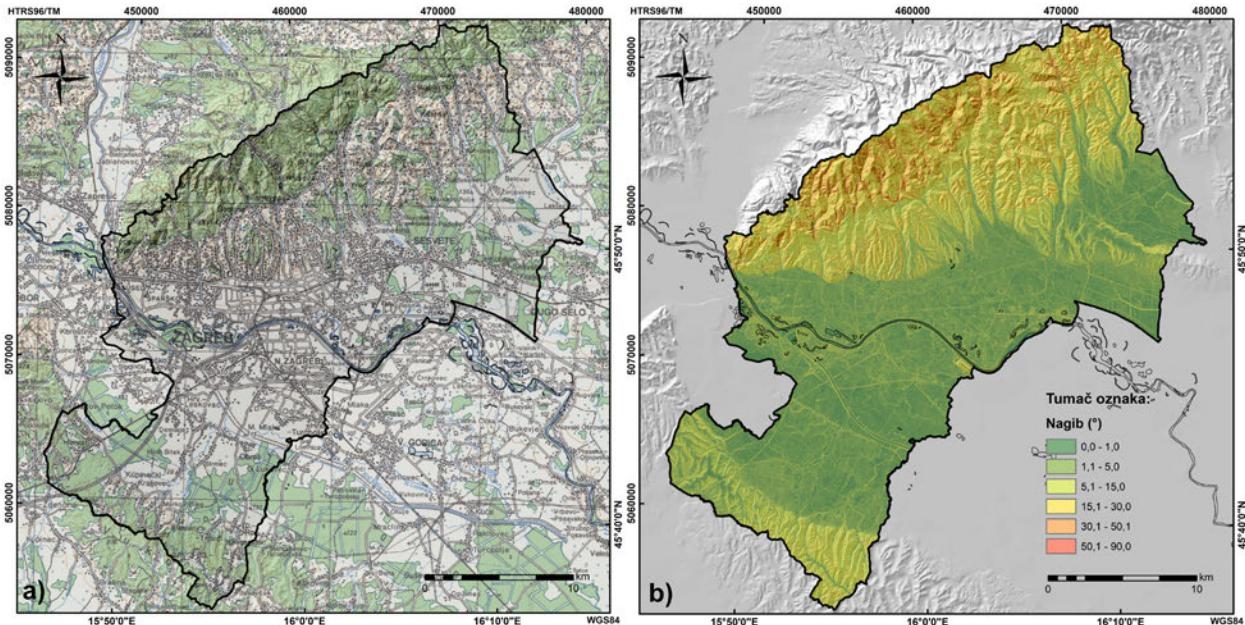
## **2. Geološki podaci razmatrani za procjenu potresnog rizika Grada Zagreba i provedena zonacija - sažeti prikaz**

### **2.1 Uvod – općenito o elaboratu**

Ovim poglavljem se daje sažetak Elaborata – Geološki elaborat. Cjeloviti elaborat se može pregledati i preuzeti na Potresni rizik grada Zagreba – Geološki elaborat: <https://potresnirizik.zagreb.hr/elaborati/11>. Literatura koja se navodi u ovom sažetom prikazu je dana u navedenom elaboratu.

Geološki elaborat daje pregled dosadašnjih napora i istraživanja vezanih uz izrađene geološke podloge relevantnih za grad Zagreb, a važan dio elaborata su preporuke i smjernice za daljnja istraživanja, koje se mogu primijeniti i ne samo na području grada Zagreba, već i na području Republike Hrvatske.

Generalni trend povećanja stanovništva utječe i na razvoj i širenje gradova i gradskih područja odnosno potiče proces urbanizacije. Od tog procesa nije izuzet ni grad Zagreb koji je smješten na južnim obroncima Medvednice, u ravničarskom području oko rijeke Save te na sjevernim obroncima Vukomeričkih Gorica (*Slika 3.1*). Kako raste pritisak zbog sve većeg broja stanovnika razvoj i širenje Zagreba se odvija od „povoljnijeg“ područja prema „nepovoljnijem“ s obzirom na infrastrukturnu povezanost, ekonomsku vrijednost zemljišta, uvjete za gradnju, itd. Stariji dijelovi Zagreba su izgrađeni na „povoljnijim“ lokacijama za gradnju, a „nepovoljnija“ su ostala neizgrađena. Širenje grada danas se provodi izgradnjom upravo na tim područjima. Tako područja koja su bila manje izgrađena u prošlosti (npr. područja uz rijeku Savu, padine Medvednice i Vukomeričkih Gorica), zbog „geološki nepogodnijih uvjeta“ odnosno zbog opasnosti od prirodnih nepogoda (npr. potresa, poplava, klizišta) su danas, uslijed povećanja broja stanovnika grada, intenzivno urbanizirana i postala su sastavnim dijelom grada. Kao rezultat urbanizacije se javlja cijeli niz problema, između kojih se nalaze i problemi vezani uz mogućnost ugroze stanovništva kao posljedica potresa. Problematika vezana uz geohazarde (u širem smislu) je prisutna na širem području grada Zagreba već desetljećima, a realno je za očekivati i da će biti prisutna i u sljedećim desetljećima. S obzirom na navedeno, posljednjih 50-ak godina sve veća pažnja posvećuje se istraživanjima vezanim uz geohazarde i jasno je da su za adekvatno urbanističko planiranje i njegovu provedbu potrebna i detaljna istraživanja vezana uz „geološku podlogu“ i geohazarde (u širem smislu), a procjena potresnog rizika za grad Zagreb je svakako važan aspekt pri procjeni moguće ugroze stanovništva i imovine odnosno korak prema ublažavanju negativnih posljedica geohazardne pojave (potresa). Treba istaknuti da razvoj pojedinog područja treba biti planiran i održiv. To se postiže na različite načine, a jedno od njih je adekvatno urbanističko planiranje temeljeno na adekvatnim podacima i specijalističkim podlogama. Za područje Republike Hrvatske (RH) su često ti podaci i podloge nepostojeći, nedostupni ili zastarjeli, odnosno tek ih treba prikupiti, analizirati, ažurirati i izraditi zavisno od buduće namjene. Ovisno o namjeni, potrebni podaci su različiti, odnosno mjerilo (detaljnost) podloga (tematske karte) varira od sitnog (pregledne karte) do krupnog (karte lokacija). Grad Zagreb raspolaže određenim podacima i podlogama, ali mjesta za napredak ima.



**Slika 3.1** Područje obuhvata Grada Zagreba: a) topografska podloga; b) karta nagiba terena.

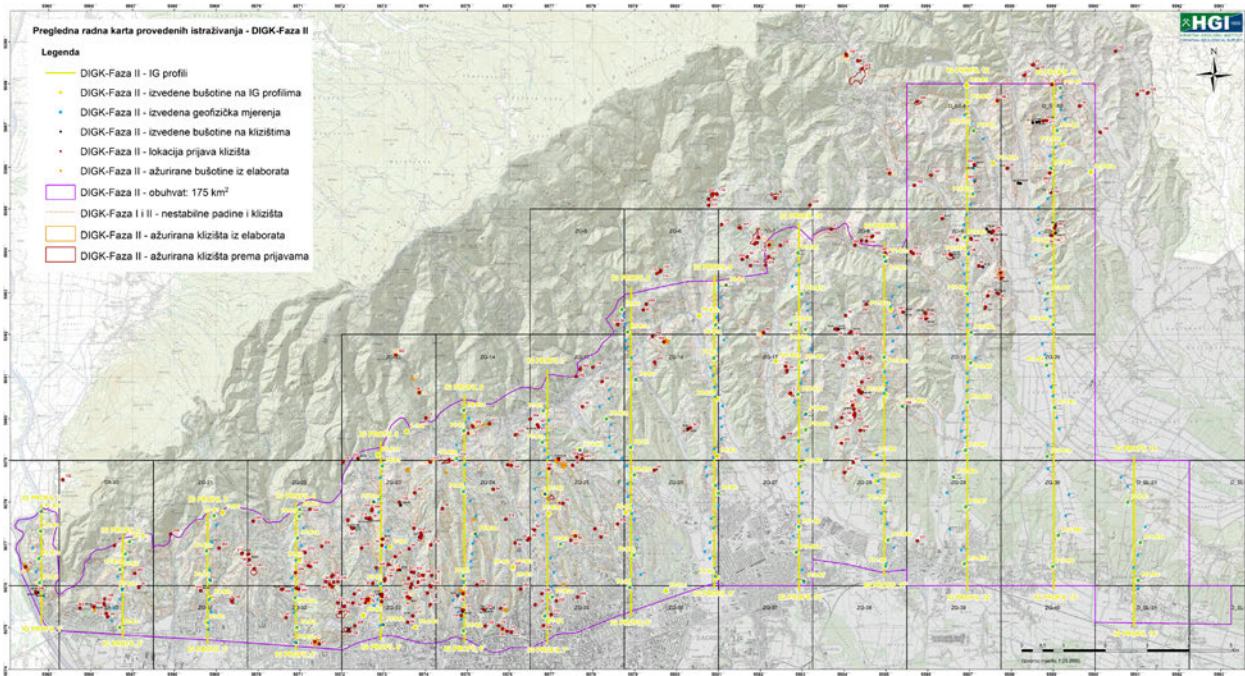
## 2.2 Grad Zagreb – kratki pregled relevantnih informacija i podataka

Geološki hazardi uključuju široki spektar pojava (vulkansku aktivnost, potrese, pokrete masa, problematična tla, kontrolu rijeka i mora, djelovanje vjetra, eroziju tla, odlaganje otpada, zagadjenje podzemnih voda i slijeganje tla, itd.), ali u ovom tekstu je dan fokus na potrese i geološke podatke za područje Grada Zagreba.

Grad Zagreb ima relativno veliku površinu od ~641 km<sup>2</sup>, dok prema popisu stanovništva iz 2021. na tom području živi ~770.000 ljudi, što čini gustoću naseljenosti od ~1.200 stanovnika po km<sup>2</sup>. Iako su to za RH „veliki“ podaci, za područje Grada Zagreba postoje samo određeni setovi geoloških podataka (u širem smislu), ali oni su trenutačno „pregrubi“ (uglavnom su to podaci i karte u sitnom mjerilu od 1:500.000 do 1:100.000) za seizmičko mikrozoniranje (za izradu karata u mjerilu 1:25.000 ili detaljnije) ili za detaljnu procjenu potresnog rizika ili drugih geohazarda.

Postojeći setovi geoloških podataka (u širem smislu) mogu poslužiti za inicijalno zoniranje područja Grada Zagreba (641 km<sup>2</sup>) u mjerilu 1:100.00 s geološkog stajališta i u ovisnosti o očekivanim geohazardima na tom području mogu ukazati na potrebne buduće radnje i potrebu za budućim istraživanjima.

Svakako treba istaknuti da su za razvijanje i izradu adekvatnih podloga na razini mikrozoniranja potrebni detaljni istražni radovi, detaljni podaci i detaljne analize, te da takav jedan postupak/proces zahtjeva višegodišnja velika ulaganja i dugogodišnje planiranje i izradu, ali benefiti koji ostaju nakon takvih ulaganja/projekata su višestruki: kvalitetni detaljni podaci, kvalitetne detaljne podloge i mogućnost korištenja istih i u budućim analizama i za brojne različite namjene (Slika 3.2).



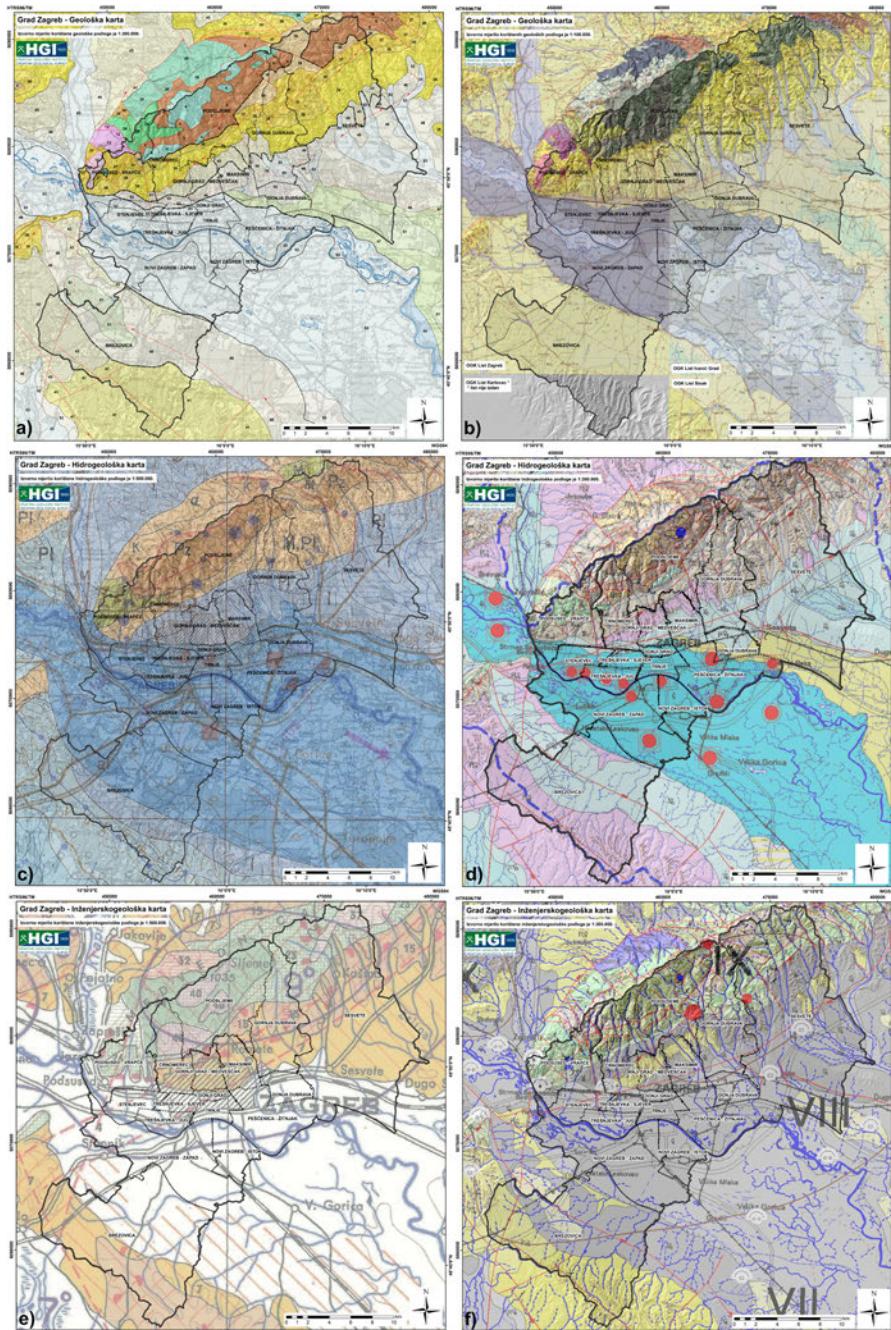
**Slika 3.2** Karta „gustoće“ istražnih radova potrebnih za detaljnije podatke i izradu detaljnijih podloga (u mjerilu 1:25.000 ili detaljnije): potrebno je istraživani prostor pokriti planirano, adekvatno i s različitom vrstom podataka (zavisno od buduće namjene) – Pregledna radna karta provedenih istraživanja za potrebe izrade projekta DIGK-Faza II iz 2018. godine (Miklin i dr., 2018).

### 2.3 Razmatrane geološke podloge

Uzroci potresa mogu biti različiti, ali oslobađaju veliku količinu energije u Zemlji koja se onda širi potresnim valovima. Potresni valovi se šire kroz „geološki medij“ koji nije homogen: materijali imaju različite značajke odnosno različite stijene ili tla različito prenose energiju potresnih valova, a na prijenos energije ima utjecaja i strukturni sklop (npr. sustavi rasjeda), sadržaj vode, kao i fizičko-mehanički parametri materijala. Geološke podloge (u širem smislu) daju određene informacije o ovim vrlo važnim parametrima koji utječu na širenje potresnih valova.

Treba razlikovati geološke podloge odnosno karte (u užem smislu) koje u pravilu daju informacije o vrstama nasлага na pojedinom području (litološki opis), njihovoj starosti (stratigrafska pripadnost) i strukturama. Strukturni sklop pojedinog područja je u pravilu prikazan i na karakterističnom profilu ili više njih, uz geološku kartu. Na geološkim kartama su u pravilu dane informacije o temeljnoj stijeni odnosno o „dubljim potpovršinskim“ naslagama. Hidrogeološke podloge odnosno karte u pravilu daju informacije o „mogućnostima“ sadržaja vode u pojedinim naslagama (informacije o vodonosniku) odnosno jesu li na pojedinom području prisutne naslage međuzrnske ili pukotinske poroznosti, tj. naslage „bez sadržaja vode“, a daju informacije o stanju površinskih voda. U pravilu su i na hidrogeološkim podlogama naznačene informacije o litologiji, stratigrafiji i strukturnom sklopu pojedinog područja. Na hidrogeološkim kartama su u pravilu dane informacije o „plićim potpovršinskim“ naslagama i o stanju vodnih pojava na površini. Inženjerskogeološke podloge odnosno karte u pravilu daju informacije o fizičko-mehaničkim parametrima materijala, te o prisutnim površinskim procesima na području (geohazardima), ali u pravilu su i na inženjerskogeološkim podlogama naznačene i informacije o litologiji, stratigrafiji i strukturnom sklopu pojedinog područja. Na inženjerskogeološkim kartama su u pravilu dane informacije o „površinskim“ naslagama i o stanju egzogenih pojava na površini. Uvjetno rečeno geološke podloge (u užem smislu) razmatraju vrste nasлага i strukturni sklop do većih dubina nego hidrogeološke podloge, dok se inženjerskogeološke podloge „bave“ površinskim naslagama i procesima. Hidrogeološke podloge težište imaju na opisu „vodnih karakteristika nasлага i površinskih pojava vode“ određenog područja, dok inženjerskogeološke podloge težište imaju na opisu i svojstvima „površinskih“ materijala i „plitkih“ površinskih procesa.

Na razini Republike Hrvatske dostupne su geološke podloge odnosno karte (u širem smislu) sitnog mjerila („grube podloge“ u mjerilu 1:500.000, 1:300.000 i 1:100.000), ali i one mogu dati vrijedne informacije o pojedinom području odnosno mogu se iskoristiti za preliminarno zoniranje područja Grada Zagreba s obzirom na geološke aspekte područja, a u svrhu definiranja potrebnih dalnjih istraživanja vezanih uz seizmičku zonaciju, potresne hazarde i potresne rizike. Razmatrane geološke podloge za provedbu zonacije područja Grada Zagreba su bile: geološka karte u mjerilu 1:300.000 i 1:100.000, hidrogeološke karte u mjerilu 1:500.000 i 1:300.000, te inženjerskogeološke karte u mjerilu 1:500.000 i 1:300.000 (*Slika 3.3*).



**Slika 3.3** Područje obuhvata Grada Zagreba: a) Geološka karta. Izvorno mjerilo korištene geološke podloge je 1:300.000 (prema HGI, 2009); b) Osnovna geološka karta. Izvorno mjerilo korištenih geoloških podloga je 1:100.000 (prema Šikić i dr., 1972; Basch, 1980); c) Hidrogeološka karta. Izvorno mjerilo korištene hidrogeološke podloge je 1:500.000 (prema Ivković i Komatin, 1980); d) Hidrogeološka karta. Izvorno mjerilo korištene hidrogeološke podloge je 1:300.000 (prema Biondić i dr., 2003); e) Inženjerskogeološka karta. Izvorno mjerilo korištene inženjerskogeološke podloge je 1:500.000 (prema Čubrilović i dr., 1967); f) Inženjerskogeološka karta. Izvorno mjerilo korištene inženjerskogeološke podloge je 1:300.000 (prema Braun, 2002).

## 2.4 Karta Grada Zagreba s predloženom zonacijom u mjerilu 1:100.000

Na temelju analiza dostupnih geoloških podloga se izradila zonacijska karta za područje Grada Zagreba u mjerilu 1:100.000 i izdvojile su se veće cjeline sa sličnim geološkim značajkama unutar administrativnih granica Grada Zagreba, odnosno modificiralo, doradilo i ažuriralo provedeno mikrozoniranje šireg područja Zagreba prema geološko-topografsko-hidromorfološkom kriteriju iz 2008. godine (Jurak i dr., 2008). Unutar administrativnih granica Grada Zagreba za područje od ~641 km<sup>2</sup> se generalno mogu izdvojiti četiri zone sličnih uvjeta (Gorje, Obronci, Izdignuća i nanosi, te Aluvij) sa šest geoloških sredina (Gorska jezgra Medvednice, Južni obronci Medvednice, Izdignuća i nanosi - sjever, Savski aluvij, Izdignuća i nanosi - jug, te Sjeverni obronci Vukomeričkih Gorica) i tri klase povoljnosti na potresne rizike (povoljno, manje povoljno, nepovoljno) s obzirom na geološke značajke naslaga (u širem smislu), od sjevera prema jugu (*Tablica 3.1, Slika 3.4*):

### Zona 1 – Gorje (~90 km<sup>2</sup>, ~14 %)

- Geološka sredina 1: Gorska jezgra Medvednice – područje

Obuhvaća dva područja unutar administrativnih granica Grada Zagreba (~641 km<sup>2</sup>): sjeverozapadno područje gorske jezgre Medvednice površine ~75,2 km<sup>2</sup> (~12 % površine Grada Zagreba) i sjeveroistočno područje gorske jezgre Medvednice površine ~14,5 km<sup>2</sup> (~2 % površine Grada Zagreba) što čini ukupno ~90 km<sup>2</sup> (~14 % površine Grada Zagreba).

- Zona 1 – Gorje: Generalne geološke značajke (u širem smislu)

Generalne geološke značajke: stijenski kompleksi (temeljna stijena je dobro litificirana).

Generalne hidrogeološke značajke: tereni praktično bez vodonosnika i praktično nepropusni ili slabo propusni tereni.

Generalne inženjerskogeološke značajke: čvrsta stijena s relativno plitkom zonom površinskog raspadanja koja je lokalno podložna eroziji i odronjavanju.

- Zona 1 – Gorje: Generalna povoljnost na potresne rizike s obzirom na geološke značajke naslaga (u širem smislu):

Povoljno.

Očekivani generalni Tip tla prema Eurokodu 8 na području Zone 1: Tip tla A.

Lokalno su moguće i pojave pojačane erozije, odrona i bujičnih tokova.

### Zona 2 – Obronci (~216 km<sup>2</sup>, ~34 %)

- Geološka sredina 2: Južni obronci Medvednice – područje

Obuhvaća dva područja unutar administrativnih granica Grada Zagreba (~641 km<sup>2</sup>): područje južnih obronaka Medvednice površine ~160,7 km<sup>2</sup> (~25 % površine Grada Zagreba) i sjeveroistočno područje obronaka Medvednice površine ~0,7 km<sup>2</sup> (~0,1 % površine Grada Zagreba) što čini ukupno ~161 km<sup>2</sup> (~25 % površine Grada Zagreba).

- Geološka sredina 6: Sjeverni obronci Vukomeričkih Gorica – područje

Obuhvaća jedno područje unutar administrativnih granica Grada Zagreba (641 km<sup>2</sup>): područje sjevernih obronaka Vukomeričkih Gorica površine ~54,6 km<sup>2</sup> (~9 % površine Grada Zagreba) što čini ukupno ~55 km<sup>2</sup> (~9 % površine Grada Zagreba).

- Geološka sredina 2 i 6 – ukupno područje

Obuhvaćaju ukupno područje ~216 km<sup>2</sup> (~34 % površine Grada Zagreba).

- Zona 2 – Obronci: Generalne geološke značajke (u širem smislu)
 

Generalne geološke značajke: karbonati i klastiti (temeljna stijena je različito litificirana).

Generalne hidrogeološke značajke: tereni s mogućim lokalnim vodonosnicima male izdašnosti i kavernozno-pukotinske poroznosti.

Generalne inženjerskogeološke značajke: prijelaz iz meke stijene u čvrsto tlo s površinskom zonom trošenja koji je podložan lakovom raspadanju, eroziji i klizanju.
- Zona 2 – Obronci: Generalna povoljnost na potresne rizike s obzirom na geološke značajke naslaga (u širem smislu):
 

Manje povoljno.

Očekivani generalni Tip tla prema Eurokodu 8 na području Zone 2: Tip tla B i C.

Lokalno su moguće i pojave Tipa tla: D i S<sub>1</sub>.

Lokalno su moguće i pojave pojačane erozije, klizanja i bujičnih tokova.

### **Zona 3 – Izdignuća i nanosi (~180 km<sup>2</sup>, ~28 %)**

- Geološka sredina 3: Izdignuća i nanosi (sjever) – područje
 

Obuhvaća jedno područje unutar administrativnih granica Grada Zagreba (~641 km<sup>2</sup>): područje sjeverno od rijeke Save odnosno područje sjevernih izdignuća i nanosa površine ~113,4 km<sup>2</sup> (~18 % površine Grada Zagreba) što čini ukupno ~113 km<sup>2</sup> (~18 % površine Grada Zagreba).
- Geološka sredina 5: Izdignuća i nanosi (jug) – područje
 

Obuhvaća jedno područje unutar administrativnih granica Grada Zagreba (~641 km<sup>2</sup>): područje južno od rijeke Save odnosno područje južnih izdignuća i nanosa površine ~66,7 km<sup>2</sup> (~10 % površine Grada Zagreba) što čini ukupno ~67 km<sup>2</sup> (~10 % površine Grada Zagreba).
- Geološka sredina 3 i 5 – ukupno područje
 

Obuhvaćaju ukupno područje ~180 km<sup>2</sup> (~28 % površine Grada Zagreba).
- Zona 3 – Izdignuća i nanosi: Generalne geološke značajke (u širem smislu)
 

Generalne geološke značajke: naslage kvartarne starosti (slabo litificirane).

Generalne hidrogeološke značajke: tereni s vodonosnicima međuzrnske poroznosti i pretežno male izdašnosti i slabe transmisivnosti.

Generalne inženjerskogeološke značajke: prijelaz iz nevezanih i slabo vezanih stijena u tlo (koherentno i nekoherentno) s površinskom zonom trošenja koji je podložan eroziji, a lokalno su moguće i likvefakcije.
- Zona 3 – Izdignuća i nanosi: Generalna povoljnost na potresne rizike s obzirom na geološke značajke naslaga (u širem smislu):
 

Manje povoljno.

Očekivani generalni Tip tla prema Eurokodu 8 na području Zone 3: Tip tla C.

Lokalno su moguće i pojave Tipa tla: D, S<sub>1</sub> i S<sub>2</sub>.

Lokalno su moguće i pojave pojačane erozije i likvefakcije.

## Zona 4 – Aluvij (~155 km<sup>2</sup>, ~24 %)

- Geološka sredina 4: Savski aluvij – područje

Obuhvaća jedno područje unutar administrativnih granica Grada Zagreba (~641 km<sup>2</sup>): područje rijeke Save odnosno područje savskog aluvija površine ~155,3 km<sup>2</sup> (~24 % površine Grada Zagreba) što čini ukupno ~155 km<sup>2</sup> (~24 % površine Grada Zagreba).

- Zona 4 – Aluvij: Generalne geološke značajke (u širem smislu)

Generalne geološke značajke: mlađe naslage kvartarne starosti (aluvijalne naslage: šljunci, pijesci i gline, nelitificirani materijal).

Generalne hidrogeološke značajke: tereni s vodonosnicima međuzrnske poroznosti i pretežno velike izdašnosti i vrlo dobre transmisivnosti.

Generalne inženjerskogeološke značajke: pretežito nekoheretno tlo (varira od vrlo rahlog do izuzetno dobro zbijenog), a lokalno su moguće i likvefakcije i poplave.

- Zona 4 – Aluvij: Generalna povoljnost na potresne rizike s obzirom na geološke značajke nasлага (u širem smislu):

Nepovoljno.

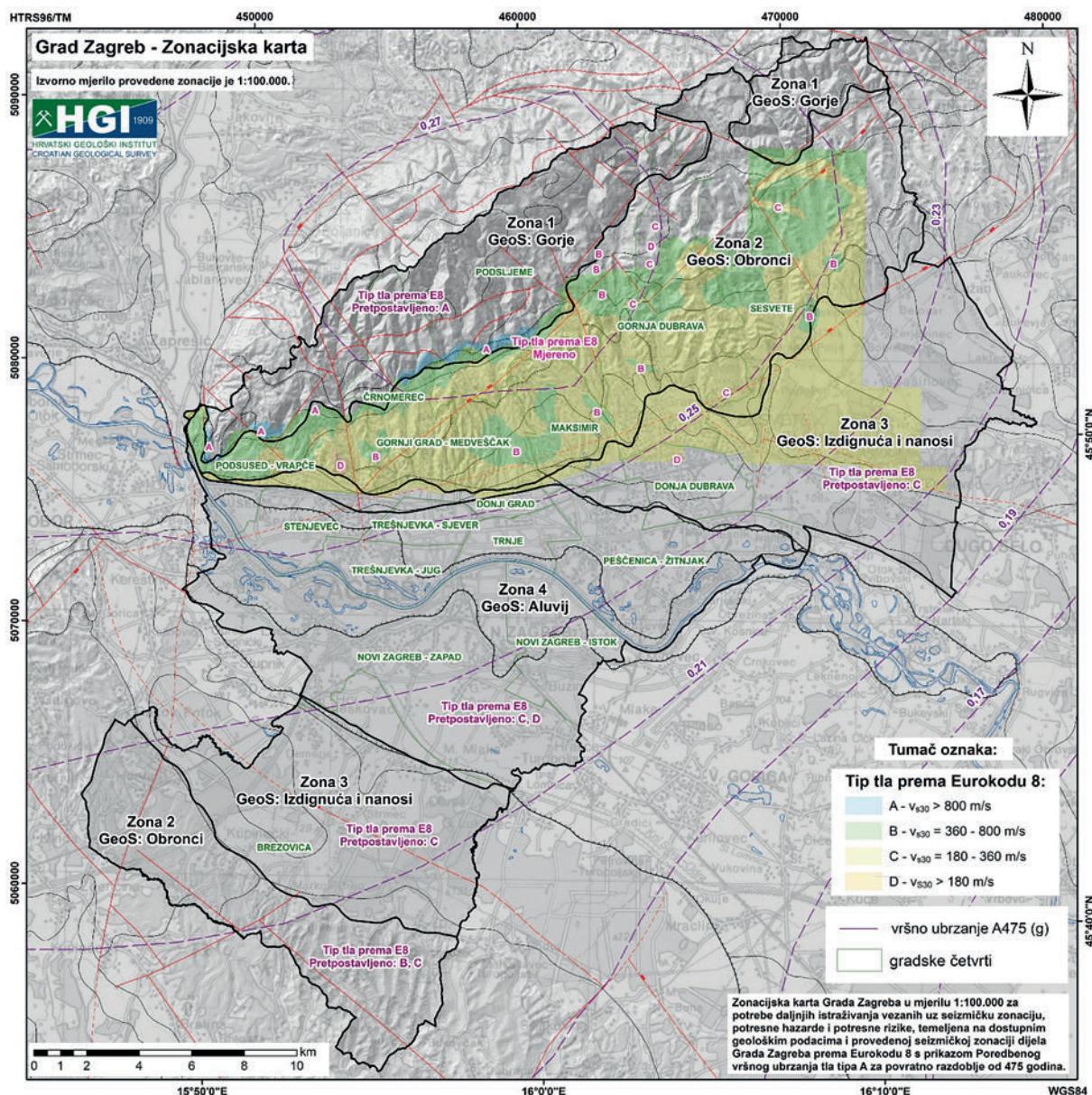
Očekivani generalni Tip tla prema Eurokodu 8 na području Zone 1: Tip tla C i D.

Lokalno su moguće i pojave Tipa tla: S<sub>2</sub>

Lokalno su moguće i pojave likvefakcije i poplave.

**Tablica 3.1** Zonacija Grada Zagreba – tablični prikaz podataka

Zona	Geološka sredina	Površina (km <sup>2</sup> )	Udio (%)	Povoljnost na potresne rizike	Očekivani Tip tla (Eurokod 8)	Karakteristične pojave
Gorje	Gorska jezgra Medvednice	~90	~14	Povoljno	A	Pojačana erozija, odroni i bujični tokovi.
Obronci	Južni obronci Medvednice	~161	~25	Manje povoljno	B, C (D, S1)	Pojačana erozija, klijanje i bujični tokovi.
	Sjeverni obronci Vukomekičkih Gorica	~55	~9			
Izdignuća i nanosi	Izdignuća i nanosi (sjever)	~113	~18		C (D, S1, S2)	Pojačana erozija i likvefakcije.
	Izdignuća i nanosi (jug)	~67	~10			
Aluvij	Savski aluvij	~155	~24	Nepovoljno	C, D (S2)	Likvefakcije i poplave.
Broj zona = 4	Broj GeoS = 6	$\Sigma = 641 \text{ km}^2$	$\Sigma = 100\%$	Broj klasa = 3	Tip tla E se ne očekuje na području.	*Moguće su i druge pojave na području.



**Slika 3.4** Zonacijska karta Grada Zagreba u mjerilu 1:100.000 za potrebe dalnjih istraživanja vezanih uz seizmičku zonaciju, potresne hazarde i potresne rizike temeljena na dostupnim geološkim podacima i provedenoj seizmičkoj zonaciji dijela Grada Zagreba prema Eurokodu 8 s prikazom Poredbenog vršnog ubrzanja tla tipa A za povratno razdoblje od 475 godina.

## 2.5 Osvrt na provedeno zoniranje

Relativno veliko područje Grada Zagreba (~641 km<sup>2</sup>) je na temelju dostupnih geoloških podataka (u širem smislu) podijeljeno na manje smislene cjeline odnosno na četiri zone sa sličnim uvjetima (Gorje, Obronci, Izdignuća i nanosi, te Aluvij) koje se sastoje od šest Geoloških sredina: Gorska jezgra Medvednice, Južni obronci Medvednice, Izdignuća i nanosi - sjever, Savski aluvij, Izdignuća i nanosi - jug, te Sjeverni obronci Vukomeričkih Gorica (Tablica 3.1, Slika 3.4). Svaka od izdvojenih zona i geoloških sredina ima svoje specifične značajke koje je potrebno uvažiti tijekom budućih istraživanja:

- Gorska jezgra Medvednice se generalno odnosi na šumovito područje koje obuhvaća područje Parka prirode Medvednice, te je kao takvo praktički nenaseljeno (neizgrađeno), ali je potrebno zaštiti prirodnu baštinu na tom području. S obzirom da je temeljna stijena dobro litificirana, da su to tereni praktički bez vode (osim površinskih tokova), te da je trošna zona relativno plitka, ali ipak lokalno podložna eroziji i odronjavanju, sa stajališta seizmičke zonacije s geološkog aspekta za potrebe definiranja potresnog hazarda na području grada Zagreba je to povoljno.

- Južni obronci Medvednice se generalno odnose na brežuljkasto područje koje obuhvaća izgrađeno područje s dugom povijesti „problema“ vezanih uz klizišta i ugrozu stanovništva i oštećenja na objektima i infrastrukturi. S obzirom da je temeljna stijena različito litificirana, da su to tereni na kojima je lokalno moguća prisutnost vode i da lokalni površinski tokovi bitno utječu na stabilnost padina, da je trošna zona izražena, kao i pojave izražene erozije i klizišta, sa stajališta seizmičke zonacije s geološkog aspekta za potrebe definiranja potresnog hazarda na području grada Zagreba je to manje povoljno.
- Izdignuća i nanosi – sjever se generalno odnosne na prijelazno područje između južnih obronaka Medvednice i glavnog utjecajnog područja rijeke Save. To je generalno teren blage morfologije, izgrađen, ali i pokriven obradivim površinama. S obzirom da je teren izgrađen od mlađih naslaga koje su slabo litificirane (generalno), da su to ipak tereni s vodonosnicima međuzrnske poroznosti odnosno da podzemnu vodu treba očekivati na području i da su lokalni površinski tokovi prisutni (izgrađeni su razgranati sustavi za navodnjavanje), da se površinske naslage mogu okarakterizirati i kao inženjersko tlo (koherentno i nekoherentno) s površinskom zonom trošenja koje je podložno eroziji, a da su lokalno moguće i likvefakcije, sa stajališta seizmičke zonacije s geološkog aspekta za potrebe definiranja potresnog hazarda na području grada Zagreba je to manje povoljno.
- Savski aluvij se generalno odnosi na ravničarsko područje koje je pod izraženim utjecajem rijeke Save. To je područje koje je gusto izgrađeno, ali i pokriveno obradivim površinama. Teren je izgrađen od najmlađih naslaga prisutnih na području Grada Zagreba odnosno aluvijalnih naslaga koje pretežito izgrađuju šljunci i pijesci, ali su prisutni i prahovi i gline (nelitificirani materijal). To su tereni s vodonosnicima međuzrnske poroznosti koji su „bogati“ vodom (podzemna voda je prisutna na području), a i lokalni površinski tokovi su izraženi (npr. rijeka Sava) kao i manja jezera. Površinske naslage se mogu okarakterizirati i kao inženjersko tlo (pretežito nekoherentno), te su lokalno moguće likvefakcije i poplave. S obzirom na navedeno, sa stajališta seizmičke zonacije s geološkog aspekta za potrebe definiranja potresnog hazarda na području grada Zagreba je to nepovoljno.
- Izdignuća i nanosi – jug se generalno odnosne na prijelazno područje između glavnog utjecajnog područja rijeke Save i sjevernih obronaka Vukomeričkih Gorica. To je generalno teren blage morfologije, manje izgrađeno, ali pokriveno obradivim površinama. S obzirom da je teren izgrađen od mlađih naslaga koje su slabo litificirane (generalno), da su to ipak tereni s vodonosnicima međuzrnske poroznosti odnosno da podzemnu vodu treba očekivati na području i da su lokalni površinski tokovi prisutni (izgrađeni su razgranati sustavi za navodnjavanje), da se površinske naslage mogu okarakterizirati i kao inženjersko tlo (koherentno i nekoherentno) s površinskom zonom trošenja koje je podložno eroziji, a da lokalno su moguće i likvefakcije, sa stajališta seizmičke zonacije s geološkog aspekta za potrebe definiranja potresnog hazarda na području grada Zagreba je to manje povoljno.
- Sjeverni obronci Vukomeričkih Gorica se generalno odnose na brežuljkasto područje koje obuhvaća donekle izgrađeno područje sa obradivim površinama i šumama. S obzirom da je temeljna stijena različito litificirana, da su to tereni na kojima je lokalno moguća prisutnost vode i da lokalni površinski tokovi bitno utječu na stabilnost padina, da je trošna zona izražena, kao i pojave izražene erozije i moguća su klizišta, sa stajališta seizmičke zonacije s geološkog aspekta za potrebe definiranja potresnog hazarda na području grada Zagreba je to manje povoljno.

## **2.6 Zaključci, smjernice za buduće aktivnosti i ograničenja**

Treba istaknuti da razvoj pojedinog područja treba biti planiran i održiv. To se postiže na različite načine, a jedno od njih je i adekvatno urbanističko planiranje temeljeno na adekvatnim podacima i specijalističkim podlogama (u mjerilu 1:25.000 ili detaljnije). Za cijelokupno područje Grada Zagreba (administrativna površina od ~641 km<sup>2</sup>) od geoloških podloga (u širem smislu) su razmatrani sljedeći

podaci: geološke karte u mjerilu 1:100.000 i 1:300.000, hidrogeološke karte u mjerilu 1:300.000 i 1:500.000, te inženjerskogeološke karte u mjerilu 1:300.000 i 1:500.000. Iako su to relativno „grube“ podloge (1 mm na karti mjerila 1:100.000 je 100 m u prirodi) i one daju vrijedne informacije o predmetnom području odnosno mogu se iskoristiti za preliminarno zoniranje područja Grada Zagreba s obzirom na geološke aspekte: generalno se mogu izdvojiti četiri zone sličnih uvjeta (Gorje, Obronci, Izdignuća i nanosi, te Aluvij) sa šest geoloških sredina (Gorska jezgra Medvednice, Južni obronci Medvednice, Izdignuća i nanosi - sjever, Savski aluvij, Izdignuća i nanosi - jug, te Sjeverni obronci Vukomeričkih Gorica) i tri klase povoljnosti na potresne rizike (povoljno, manje povoljno, nepovoljno) s obzirom na geološke značajke naslaga (u širem smislu).

Ipak, kako je područje Grada Zagreba relativno veliko (~641 km<sup>2</sup>) i složeno (heterogeno), za provedbu detaljnijih zonacija (u mjerilu 1:25.000 ili detaljnije) potrebni su i detaljni podaci odnosno potrebna su daljnja detaljna planska višegodišnja istraživanja. Detaljni podaci su dostupni samo za dio područja Grada Zagreba (Podsljemenska zona, ~175 km<sup>2</sup>, ~27 % površine, ~1/4 istražnog prostora), a oni su rezultat višegodišnjeg planiranja, istraživanja i analiza, te je potrebno provesti daljnja detaljna planiranja višegodišnja istraživanja i za preostali „neistraženi“ dio odnosno za ~3/4 istražnog prostora Grada Zagreba (~466 km<sup>2</sup>, ~73 % površine). Razlozi za to su višestruki:

- Detaljniji podaci/detaljnije podloge su potrebne i za definiranje lokalnih specifičnosti odnosno lokacija pojačanih erozija, bujičnih tokova, odrona, klizišta, likvefakcija, poplava i drugih sličnih (geohazardnih) pojava koje mogu nastati i kao posljedica pojave potresa.
- Ujedno su i te „geohazardne“ lokacije one koje su posebno „ranjive“ odnosno potresi višestruko mogu potencirati „potencijal pojave“, te u kombinaciji (potres + druge geohazardne pojave) izazvati velike štete na objektima i infrastrukturni, ali i dovesti i do ugroze sigurnosti, npr. potresi mogu: izazvati poplave uslijed oštećenja nasipa, reaktivirati stara klizišta/odrone ili aktivirati nova, uzrokovati likvefakcije terena, te pojavu urušnih vrtača, itd.
- Detaljniji podaci/detaljnije podloge bi omogućile i definiranje „podzona“ u izdvojenim zonama odnosno detaljniju definiciju geoloških sredina i njihovu daljnju podjelu koja bi mogla biti onda i (direktno) primjenjiva i u urbanističkom planiranju (u mjerilu 1:25.000 ili detaljnije).
- Važno je napomenuti da se iz postojećih detaljnih i kvalitetnih podataka mogu izraditi različite namjenske tematske karte, ali samo za dio područja Grada Zagreba (odnosno za područje obuhvaćeno tim podacima).
- Jednom prikupljeni detaljni i kvalitetni podaci ostaju trajna vrijednost, te se mogu iskoristiti u različitim novim analizama i/ili interpretacijama, a ako je potrebno mogu se i ažurirati.
- Ipak treba napomenuti da je svaku (tematsku) podlogu poželjno periodički ažurirati jer je prostor (administrativni obuhvat Grada Zagreba) dinamičan, a dolazi i do napretka u saznanjima i tehnikama koje se mogu primijeniti u istraživanjima i analizama.
- Preporuka je da se daljnja istraživanja nastave planski, po fazama odnosno da se prema izdvojenim zonama i geološkim sredinama definiraju prioritetna područja.
- Samo na kvalitetnim podacima se mogu provesti i kvalitetne analize i dobiti relevantni zaključci.
- Podaci i karte prikazani u sklopu ovog teksta pružaju osnovne (geološke) informacije o području istraživanja (Grad Zagreb) za mjerilo 1:100.000.
- Prikazani podaci ne mogu se koristiti kao zamjena za podatke koji nisu izmjereni (npr. prepostavljene vrijednosti za  $vs_{30}$ ) ili za geotehničke istražne radove pri projektiranju, koji su definirani u skladu s važećim propisima te ih je potrebno prema tim propisima i provesti.

**Autori poglavlja: izv. prof. dr. sc. Mario Bačić, mag. ing. aedif., izv. prof. dr. sc. Lovorka Librić, mag. ing. aedif., Vedran Pavlić, dipl. ing. građ., Marijan Car, dipl. ing. geod., Stjepan Matić, mag. ing. aedif., Centar građevinskog fakulteta**

### 3. Geotehnički elaborat

#### 3.1 Uvod – općenito o elaboratu

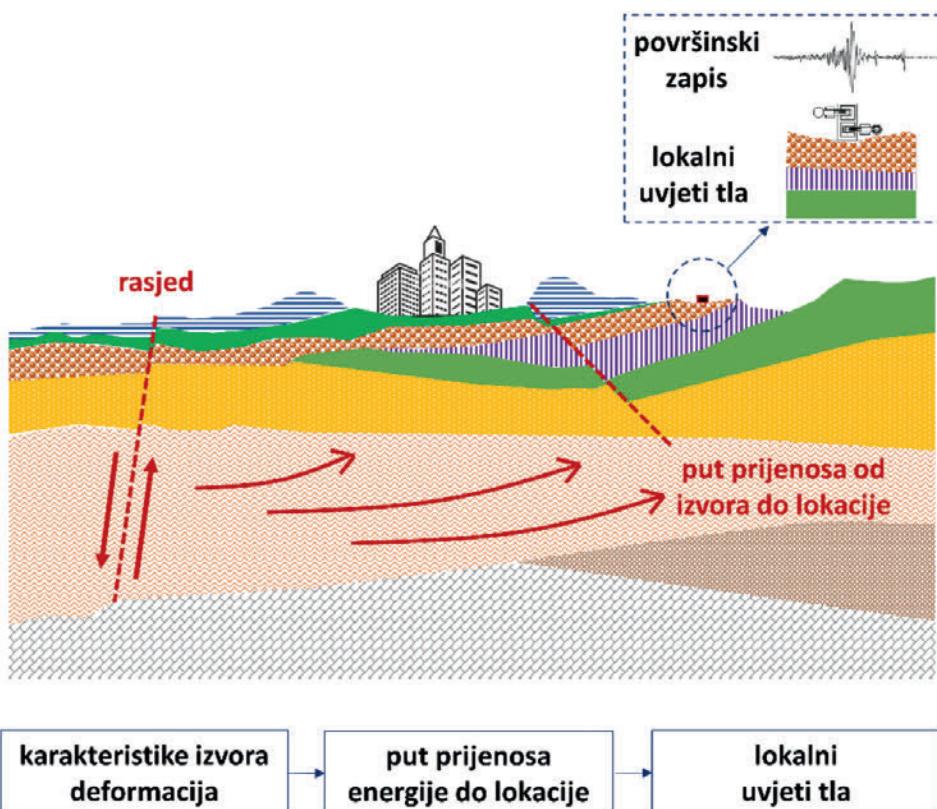
Ovim poglavljem se daje sažetak Elaborata – Geotehnički elaborat.

Cjeloviti elaborat se može pregledati i preuzeti na internetskim stranicama "Potresni rizik grada Zagreba".

Literatura koja se navodi u ovom sažetom prikazu je dana u navedenom elaboratu.

Geotehnički elaborat daje pregled dosadašnjih napora i istraživanja te detaljni prikaz geotehničkih hazađa relevantnih za grad Zagreb, a važan dio elaborata su preporuke i smjernice za unaprjeđenje procedura za definiranje geotehničkog hazađa.

Lokalni uvjeti tla i geotehnički fenomeni su predmet interesa geotehničkog potresnog inženjerstva. Važno je naglasiti da geotehniki promatra naslage tla iznad osnovne stijene kao "konstrukciju" koja pri potresnoj pobudi iz dubine ima svoj odziv i dominantna gibanja, i koju čine materijali prepoznatljivih mehaničkih (krutost, čvrstoća, prigušenje) i hidrauličkih svojstava, vidi sliku 1.



**Slika 1.** Put potresnih valova od žarišta do lokacije građevine (Bačić i dr., 2020)

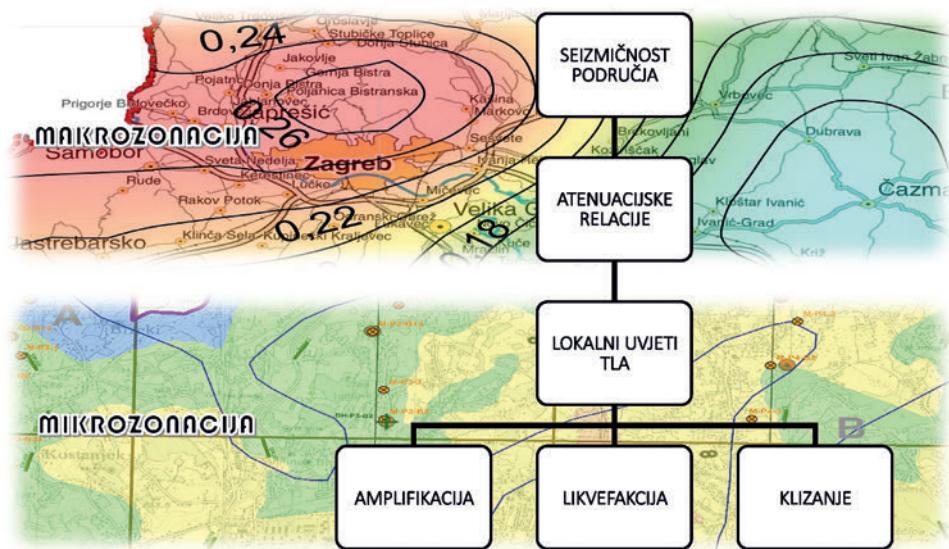
Geotehničko potresno inženjerstvo, kao sastavni dio potresnog inženjerstva, je disciplina koja "još uvijek uči". Svaki novi jači svjetski potres donosi nova saznanja, a često i promjene u inženjerskoj praksi i propisima.

Dobar primjer za navedeno su potresi koji su 2020. godine zadesili grad Zagreb, odnosno područje sisacko – moslavačke županije. Potonji potres je rezultirao nizom geotehničkih fenomena koji su imali izravan utjecaj na objekte i infrastrukturu u područjima zahvaćenim potresom. Kao prostorno najrašireniji fenomen koji je uzrokovao brojne štete je pojava likvefakcije gdje se tijekom seizmičkih djelovanja tlo pretvorilo u gustu tekućinu, što je za posljedicu imalo prekoračenje nekog od graničnih stanja stambenih i infrastrukturnih objekata. Osim pojave likvefakcije, od geotehničkih pojavnosti treba izdvojiti i aktiviranje niza klizišta u županiji kao i otvaranje urušnih vrtača. "Zagrebački" potres iz 2020. godine nije rezultirao sa značajnijim geotehničkim nestabilnostima tla, ponajprije jer je potresna magnituda bila relativno mala da uzrokuje navedene probleme. Međutim, s obzirom na potresni hazard na području grada Zagreba, problemi povezani s tlom se itekako mogu očekivati, što je potvrdio i potres iz 1880. godine, kako je i prikazano u nastavku ovog elaborata.

Ovim elaboratom se analiziraju geotehničke okolnosti za područje grada Zagreba koje su najrelevantnije za sveobuhvatnu seizmičku mikrozonaciju grada Zagreba, a to su amplifikacija spektra odziva, pojava likvefakcije i nestabilnost padina u seizmičkim uvjetima.

### 3.2 Seizmičko mikrozoniranje grada Zagreba

Seizmičko zoniranje, kao postupak kartiranja područja koja se pri potresu slično ponašaju, je prvi korak u procjeni potresnog rizika (vjerojatnosti šteta), koja se dobiva konvolucijom (unakrsnom korelacijom) seizmičkog hazarda s ranjivošću i izloženošću. Pri tome se razlikuju pojmovi seizmičkog makrozoniranja i seizmičkog mikrozoniranja, vidi sliku 2.



**Slika 2.** Seizmičko makrozoniranje i mikrozoniranje

Rezultat **makrozonacije** je karta seizmičkog hazarda na kojoj je prikazano vršno ubrzanje (PGA) osnovne stijene (tip tla A prema EC8 s posmičnom brzinom većom od 800 m/s) čiji se iznosi očekuju premašiti s vjerovatnošću koja odgovara odabranoj razini rizika u skladu s povratnim razdobljem za koji je napravljena karta.

Oscilacije površine tla su različite od oscilacija na razini osnovne stijene, zbog čega je potrebno provesti postupak seizmičke **mikrozonacije** koja uključuje kartiranje seizmičkog hazarda na kartama detaljnijeg mjerila (na površini tla) i određivanje lokalnih uvjeta tla (dubinsko kartiranje). Pri tom se mikrozoniranje prvenstveno fokusira na geotehničke fenomene uzrokovane seizmičkim djelovanjem.

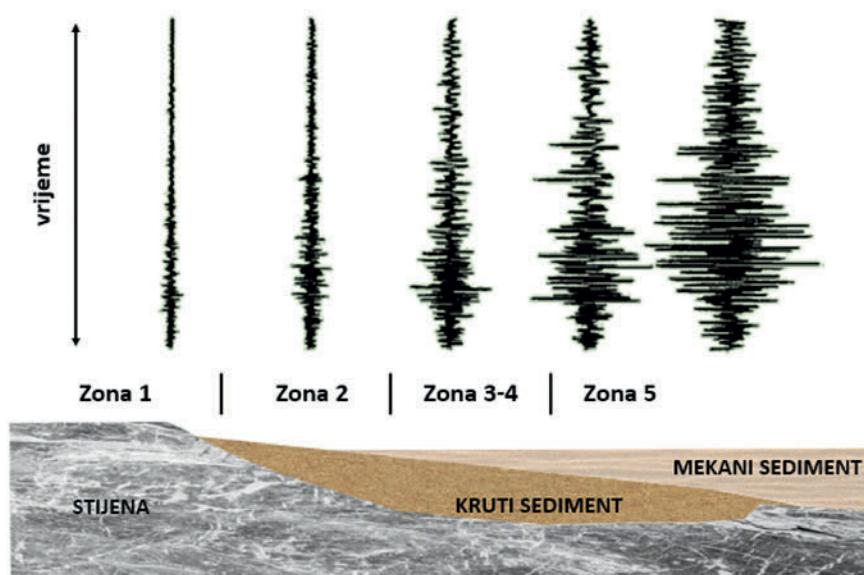
Površina grada Zagreba, unutar njegovih administrativnih granica iznosi oko 640 km<sup>2</sup>, od čega je otprilike (1) 150 km<sup>2</sup> područje Medvednice i Parka prirode Medvednica; (2) 175 km<sup>2</sup> područje Podsljemenske urbanizirane zone na južnim obroncima Medvednice; (3) 185 km<sup>2</sup> šire područje Prisavske ravnice; (4) 70 km<sup>2</sup> prijelazno područje Prisavska ravnica – terasnna izdignuća te (5) 60 km<sup>2</sup> područje Vukomeričkih gorica.

Mikrozoniranje dijela grada Zagreba, tj. podsljemenske urbanizirane zone po suvremenim principima započinje 2004. godine izradom Detaljne inženjerskogeološke karte (DIGK) mjerila 1 : 5 000 (DIGK-Faza I), a završava drugom fazom 2018. godine (Miklin i dr., 2018). Za potrebe kartiranja 175 km<sup>2</sup> podsljemenske zone obavljena su opsežna geofizička i geotehnička istraživanja na osnovu kojih su izdvojena klizišta i nestabilne padine te preliminarne zone tipova tla prema normi Eurokod 8. Budući da nisu posebno izdvajane ili preklapane zone potencijalnih nestabilnosti uslijed seizmičkog djelovanja (potencijal likvefakcije, ocjena seizmičke stabilnosti padina) ovo zoniranje ne predstavlja potpunu seizmičku mikrozonaciju, a kad nastupi nova generacija Eurokoda 8, postojeće obrade će trebati revidirati.

Napori prilikom izrade DIGK rezultirali su objavom dijela istraživanja i na web stranicama grada Zagreba (vidi vezu: <https://geoportal.zagreb.hr/Karta>), gdje je, među ostalim moguće vidjeti sloj nestabilnih i potencijalno nestabilnih padina u podsljemenskoj zoni.

### 3.3 Amplifikacija potresnog zapisa

Jedan od važnih aspekata potresnog inženjerstva je i razmatranje utjecaja lokalnih inženjerskogeoloških uvjeta u tlu s obzirom da oni mogu značajno promijeniti amplitudu i spektralni sastav seizmičkih vibracija koje putuju od izvora prema površini, slika 3. Pri tome su vrsta i stanje zbijenosti tla, debljina sedimenata i razina podzemna vode najvažniji faktori koji utječu na amplifikaciju seizmičke pobude koja je posljedica razlike u impedanciji između površinskih slojeva tla i osnovne stijene, koja predstavlja otpor titranju čestica tla (Bačić i dr., 2020).

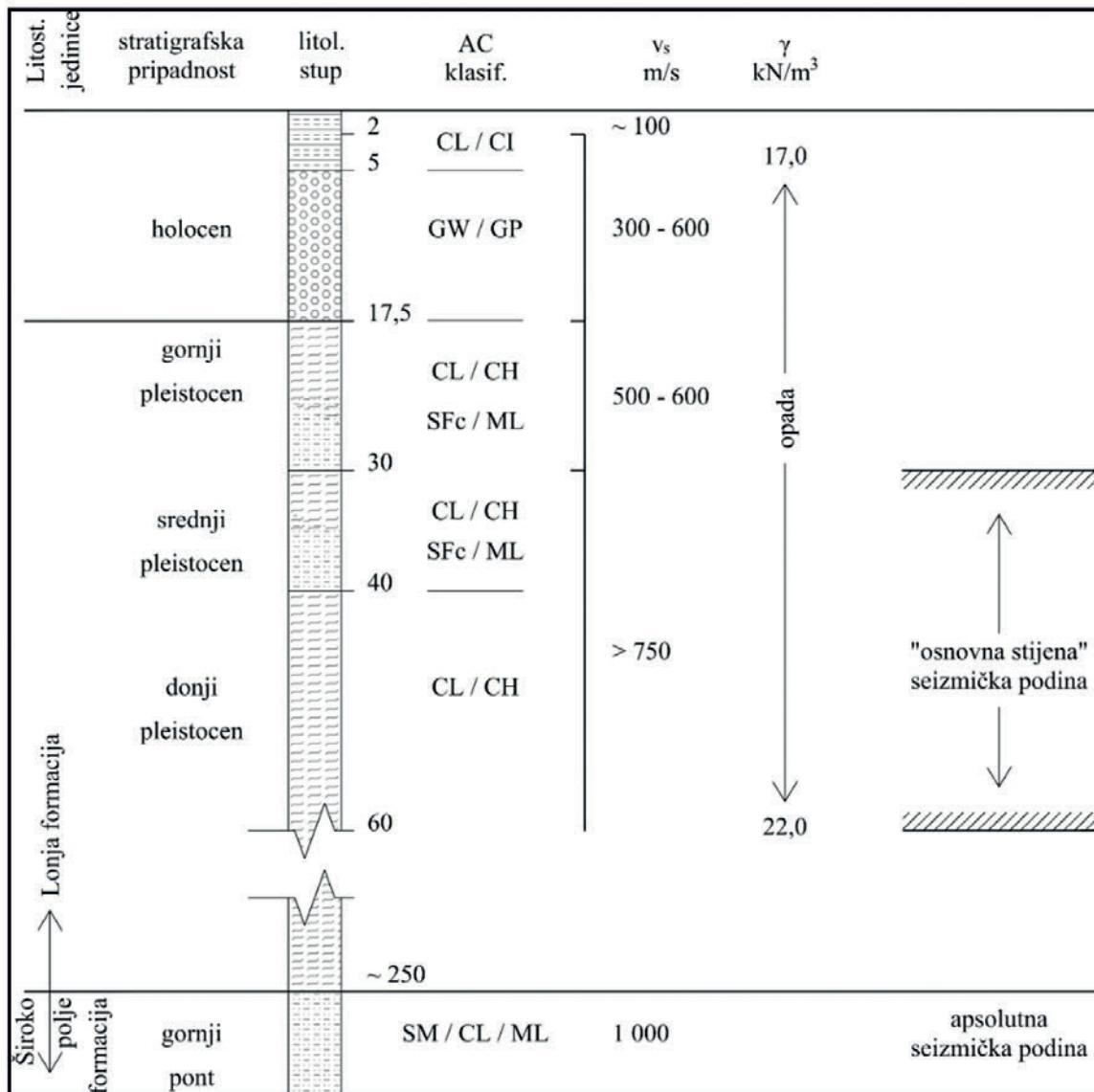


**Slika 3.** Amplifikacija seizmičke pobude ovisno o uvjetima lokalnog tla (Bačić i dr., 2020)

Primjerice, na području prisavske ravnice prvih 30 m tla sastoji se od šljunka s proslojcima pjeska i gline, a ovisno o debljini slojeva ovisi i amplifikacija (deblji slojevi gline - veća amplifikacija, deblji slojevi šljunka – manja amplifikacija).

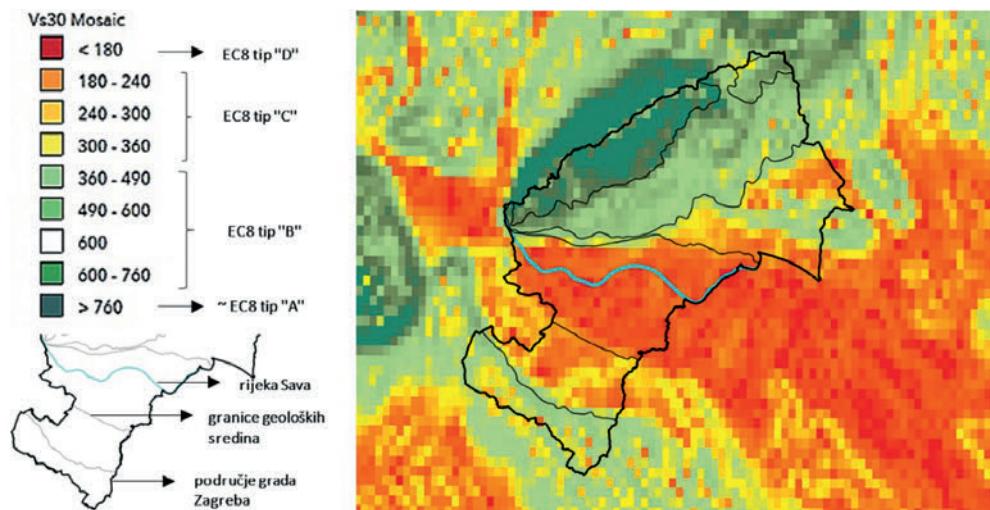
Zbog osjetljivosti numeričkih modela, određivanja dubine seizmičke podine i velikog raspona vršnog ubrzanja na površini, potrebno je provesti detaljne istraživačke rade i napraviti sintezne geotehničke modele (primjer, slika 4) za određeno područje grada Zagreba. Sintezni modeli su podloga za numeričku analizu odziva tla i zoniranje terena prema amplifikacijskim značajkama.

S obzirom da nelinearne analize zahtijevaju opsežan program geotehničkih istraživanja s raznovrsnim geofizičkim mjerjenjima do većih dubina, te primjerena laboratorijska ispitivanja, isti se u pravilu provode kod većih i složenijih objekata kod kojih su prisutni značajniji rizici.



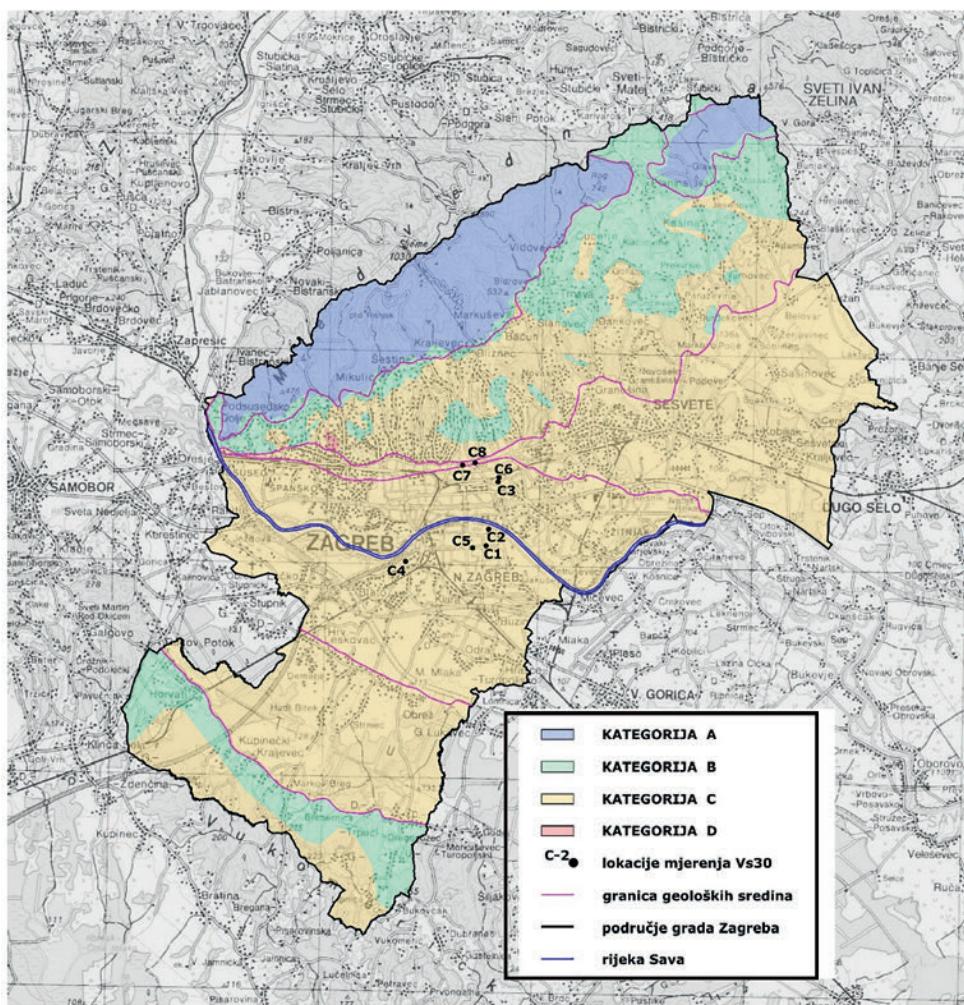
**Slika 4.** Sintezni stup prisavske ravnice (prema Jurak i dr., 1998)

Izbor odgovarajućeg spektra "kompromisno" se ocjenjuje na osnovi podataka u gornjih 30 m tla, a koji najčešće obuhvaćaju prosjek brzina posmičnih valova određenih geofizičkim metodama. Vrijednosti  $V_{s30}$  moguće je odrediti i kartama USGS (2023) koje parametar procjenjuju na temelju topografije, odnosno nagiba terena, vidi sliku 5. S obzirom na ograničenu pouzdanost i nedovoljnu rezoluciju ovakvih karata, preporuča se procjena  $V_{s30}$  na temelju geofizičkih ispitivanja.



**Slika 5.** Karta V<sub>s30</sub> područja grada Zagreba prema modelu USGS (2023) V<sub>s30</sub> topografije

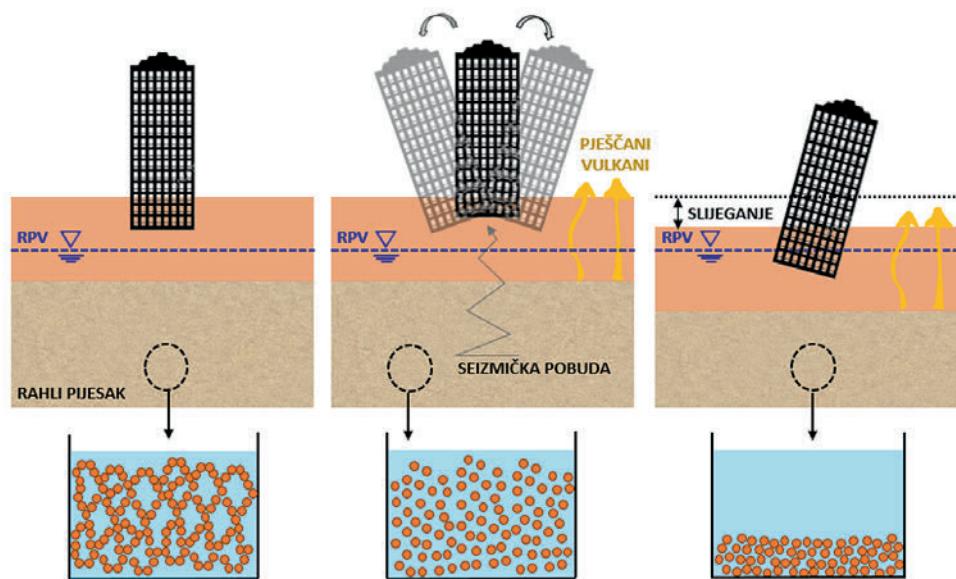
Na osnovu 388 MASW mjerenja, 75 seizmičkih refrakcijskih profila, preko 25 downhole mjerenja i drugih podataka, kategorizirano je područje podsljemenske zone grada Zagreba. Za neistraženo dio dana je procjena na temelju razmatranih geoloških, hidrogeoloških i inženjerskogeoloških podataka (slika 6), a procjenu je potrebno provjeriti istraživačkim radovima.



**Slika 6.** Kategorizacija tla na području administrativnih granica grada Zagreba prema EC8 s lokacijama mjerenja u prisavskoj ravnici – sintetizirani prikaz

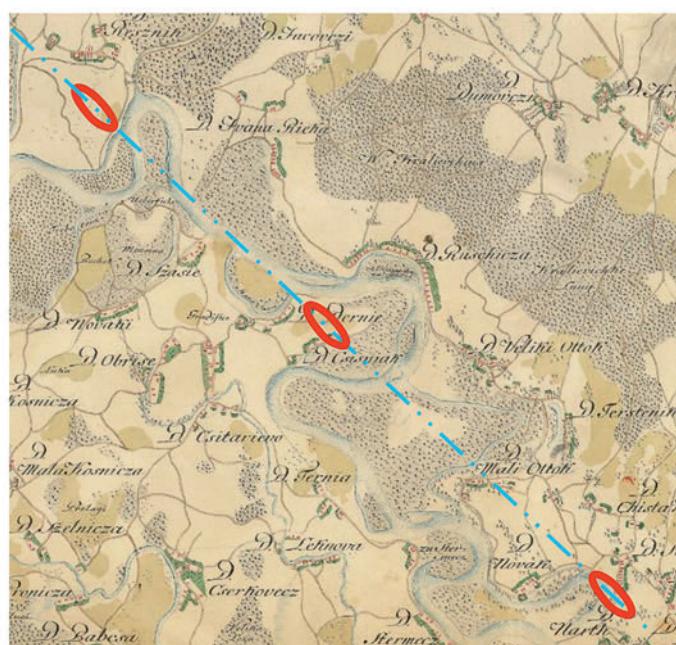
### 3.4 Likvefakcijski potencijal

Uslijed jakih potresa, u vodom zasićenim zrnatim materijalima može doći do pojave likvefakcije, tj. pretvaranja materijala u gustu tekućinu, slika 7. Likvefakcija se manifestira kao gubitak nosivosti temelja, prekomjerne horizontalne i vertikalne deformacije, te prevrtanje ili naginjanje građevina.



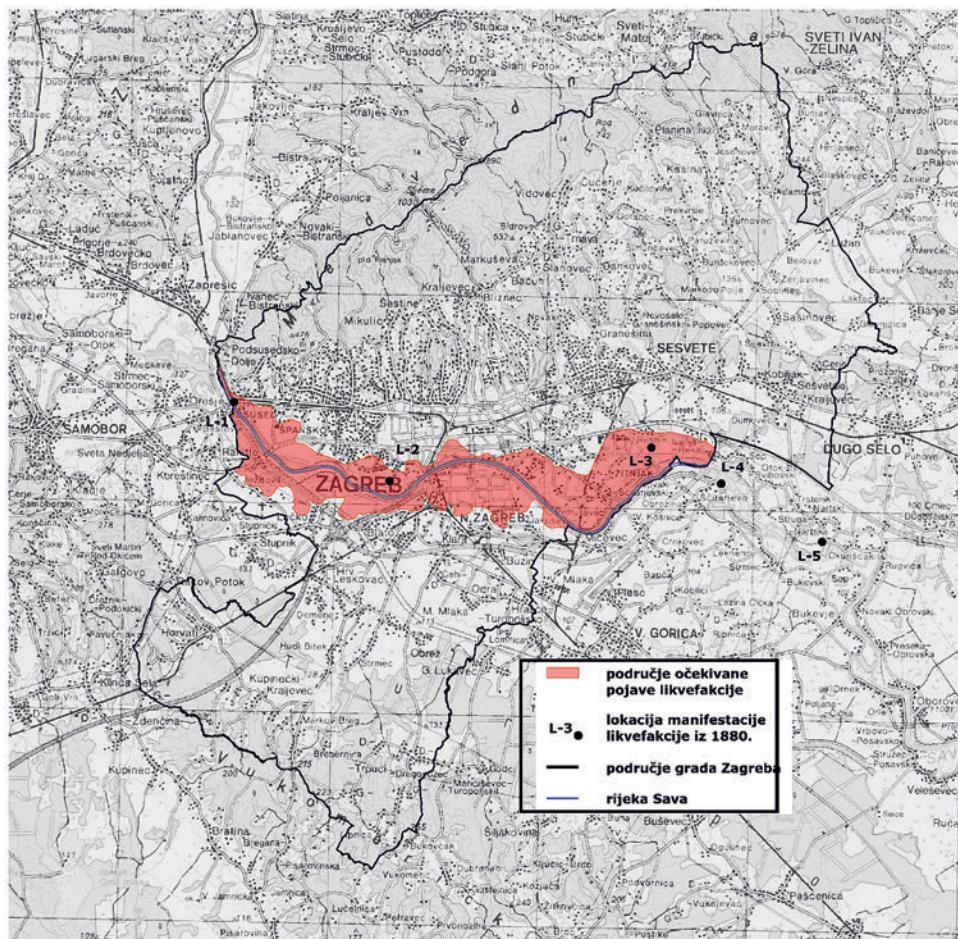
**Slika 7.** Ilustrativni prikaz karakterističnih faza likvefakcije uslijed cikličkog potresnog djelovanja (Bačić i dr., 2020)

Iz povjesnih izvora (Torbar, 1882) moguće je prepoznati pet lokacija manifestacije likvefakcije, tj. izbijanja likvefiranoj pjeska na površinu na području grada Zagreba. Lokacije likvefakcije određene su prema povijesnoj karti grada Zagreba iz 1783./1784. godine i opisima u izvještaju. U izvještaju se spominje izbijanje sivkastog pjeska (u gusto-žitkom stanju) iz pukotina u zemlji, formiranje kupčića (visine do 70 cm) te naknadno zatvaranje pukotina. Prema izvještaju, drenjske pukotine (iz kojih je izbio pjesak) su u istom smjeru kao i resničke (JI - SZ), vidi sliku 8.



**Slika 8.** Povijesna karta Zagreba 1783/1784 - list 33 (Österreichisches Staatsarchiv) – lokacije pojave likvefakcije Resnik, Drenje, Nart (Torbar, 1882)

Pojava likvefakcije vezana je uz nekadašnji tok rijeke Save, a potencijal likvefakcije pada s povećanjem konsolidiranosti naslaga (starošću), zbog čega u smjeru: sedimenti druge terase (a2) – sedimenti prve terase (a1) – aluvijalni nanos (a, sedimenti neposredno uz korito Save) potencijal raste. Na osnovu povijesnih karata iz 1783./1784. određene su granice utjecaja rijeke (močvare, pritoci, mrvaje, poplavno područje, rub obale, meandri, ade). Na predmetnom području moguće je očekivati pojavu likvefakcije, vidi sliku 9. Navedenu pretpostavku je potrebno dokazati detaljnim istraživačkim radovima.



**Slika 9.** Područje očekivane pojave likvefakcije u prisavskoj ravnici i povijesne (potres iz 1880. godine) lokacije manifestacije likvefakcije (L1 - Podsused, L2 - Jarun, L3 - Resnik, L4 - Drenje Ščitarjevsko, L5 - Nart)

### 3.5 Potencijal klizanja u gradu Zagrebu

Stabilnost neke padine ovisi o nizu faktora, uključivo njezinu geometriju, vrstu tla, razinu podzemne vode, stalna i prolazna djelovanja, itd. Mogu biti formirana kao rezultat oblikovanja reljefa (tzv. paleoklizišta), ali i uslijed antropogenih aktivnosti, najčešće graditeljskih aktivnosti. Jedan od možebitnih uzroka aktiviranja klizišta jesu i potresna djelovanja.

U radovima Polak i dr. (1979), Ortolan i dr. (2008), Podolszki (2014) te Miklin i dr. (2018) istraženo je područje južnih obronaka Medvednice ("Podsljemenska zona"). Obronke karakteriziraju brojne glinovite zone niske posmične čvrstoće (kontinuirani glinoviti slojevi velike plastičnosti), nepovoljan nagib slojeva niz padinu, erozija nižih dijelova padina zbog usijecanja korita brojnih vodotoka, prisutnost arteških vodonosnika koji generiraju visoke porne tlakove, prisutnost rasjeda te brojnih aktivnih i starih klizišta. Zaključci istraživanja su sljedeći:

- Naslage u kojima najčešće dolazi do klizanja su laporovito-prahovito-glinene naslage na kontaktu pliopleistocena i gornjeg ponta koje karakteriziraju veliki indeksi plastičnosti i granice tečenja te vertikalna promjena koeficijenta vodopropusnosti (propusno/slabo propusno);
- Na području istraživanja se uglavnom javljaju plitka klizišta (klizna ploha je do 5 m dubine) čiji uzroci su obilne oborine, zasijecanje padine ili kombinacija navedenih uzroka;
- Karakteristična je aktivacija klizišta nakon sušnih godina i saturacije tla vodom; ukoliko se opisanoj situaciji doda djelovanje potresa mogu se očekivati masovna klizanja.

Obrađen je veliki broj klizišta, a u katastarski list 2018. godine uvršteno je 213 klizišta identificiranih na temelju prijava lokacija klizišta i dostupnih izrađenih elaborata na području istraživanja površine ~175 km<sup>2</sup>, na južnim obroncima Medvednice. Među ovim klizištima svakako treba izdvojiti i ono najveće, klizište Kostanjek (Podsused).

Najrecentnija istraživanja klizišta na području grada Zagreba su dana u sklopu projekta PRI-MJER (2023) u okviru kojeg su razvijene brojne korisne karte, uključivo kartu inventara klizišta, kartu zoniranja podložnosti na klizanje grada Zagreba, kao i kartu ugroženosti od klizišta. Predmatna istraživanja su svakako od koristi za identifikaciju područja sklonih klizanju, a nakon čega je potrebno provesti detaljnije istražne radove (predmetno se posebno odnosi na do danas neistraženo područje Vukomeđičkih Gorica).

### **3.6 Zaključak i smjernice za buduće aktivnosti**

Niz zasebnih znanstveno – istraživačkih i stručnih projekata je provođen s ciljem identifikacije seizmičkih, geoloških, inženjerskogeoloških, hidrogeoloških, geotehničkih i geodinamički značajki grada Zagreba, većinom vezanih za samo pojedinu od navedenih značajki. Rezultati ovih istraživanja su važni za definiranje geo-hazarda nužnih za analizu potresnog rizika. Međutim, kako bi se procijenio potresni rizik, tj. predvidjela oštećenja izazvana geotehničkim fenomenima, potrebno je provesti cjelovitu seizmičku mikrozonaciju Grada Zagreba i odrediti lokalne uvjete tla.

Na osnovu zapažanja prilikom seizmičkog mikrozoniranja podsljemenske zone u Zagrebu (Herak i dr., 2013.) te inženjerskogeoloških i geotehničkih značajki područja daju se smjernice za buduća istraživanja.

**Prva (I) faza istraživanja** obuhvaća provedbu sveobuhvatnih istražnih radova na neistraženom području grada Zagreba, tj. na 465 km<sup>2</sup>, pri čemu je detaljni program dan geotehnički elaboratom. Nakon multidisciplinarnih obrada podataka, slijedila bi **druga (II) faza istraživanja** - izrada karata, slično kao i za podsljemensku zonu, a koje bi uključivale osnovne karte (detaljna inženjerskogeološka karta, karta geotehničke kategorizacije terena, karta seizmičkog hazarda za razne povratne periode te karta kategorizacije tla s aspekta seizmičkog odziva), kao i niz tematskih karata (karta hidrogeoloških uvjeta, karta debljina pokrovног sloja, karta geotehničkih modela, karta likvefakcije za prisavsku ravnicu, karta podložnosti terena na klizanje za Vukomeričke gorice).

**Treća (III) faza istraživanja** bi obuhvatila i formalno "spajanje" osnovnih i tematskih karata za sva područja unutar administrativnih granica grada Zagreba te uklapanje rezultata i kartografskih prikaza (fotografskih i interpretativnih karata) u GIS Zagreba i geotehnički katastar. Na ovaj način će se digitalizacijom svih rezultata, kao i njihovim geopozicioniranjem, formirati vrijedna digitalna baza podataka za bilo kakve naredne obrade i povezivanja s drugim bazama. Dok je osnovne i tematske karte potrebno nadopuniti i ažurirati svakih 15 godina, geotehnička baza podataka se treba nadopunjavati kontinuirano, nakon svake provedbe istraživačkih radova na području grada Zagreba. Ovo se može postići posebnim propisima, uredbama i uvjetima koji definiraju obvezu i način predaje podataka u traženom formatu za sva seizmička, geološka i geotehnička istraživanja u Zagrebu. Ovdje glavnu ulogu treba imati Geotehnički katastar koji bi operativno provodio takve propise i uredbe.

U dugoročnim planovima, **četvrtoj (IV) fazi istraživanja**, svakako mora biti i primjena objedinjenih podataka za razvoj sveobuhvatnih trodimenzionalnih modela podzemlja grada Zagreba, po uzoru na brojne europske gradove, što je od izrazite koristi za aktivnosti prostornih planiranja i smanjenje rizika od potresa i drugih geo-hazarda. Model bi omogućio i dobivanje raspodjele svojstava tla s dubinom za bilo koju lokaciju ili profil na površini terena (statistički prikaz ključnih parametara tla dobiven sintezom podataka iz najbližih bušotina).

Sve navedene aktivnosti iziskuju velike finansijske izdatke, što je i dominantna prepreka njihovoj implementaciji. Ono gdje bi se mogao tražiti model za zatvaranje finansijske konstrukcije ovako opsežnih istraživanja su programi Europske Unije, kao što je primjerice Europski fond za regionalni razvoj (EFRR) kao jedan je od glavnih instrumenata europske kohezijske politike, a kroz koji je i su-financiran projekt "Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske za potrebe procjene smanjenja rizika od katastrofa" čiji je dio i projekt "Potresni rizik Grada Zagreba".



**Autori poglavlja: izv. prof. dr. sc. Mario Uroš, izv. prof. dr. sc. Marta Šavor Novak, izv. prof. dr. sc. Josip Atalić, dr. sc. Maja Baniček, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Hrvatski centar za potresno inženjerstvo**

## **4. Elaborat građevinarstvo - visokogradnja - podaci o konstrukcijskim sustavima visokih građevina**

### **4.1 Uvod – općenito o elaboratu**

**Ovim poglavljem se daje sažetak Elaborata – Elaborat građevinarstvo - visokogradnja - podaci o konstrukcijskim sustavima visokih građevina (građevine preko 15 katova)**

**Cjeloviti elaborat se može pregledati i preuzeti na internetskim stranicama "Potresni rizik grada Zagreba".**

**Literatura koja se navodi u ovom sažetom prikazu je dana u navedenom elaboratu.**

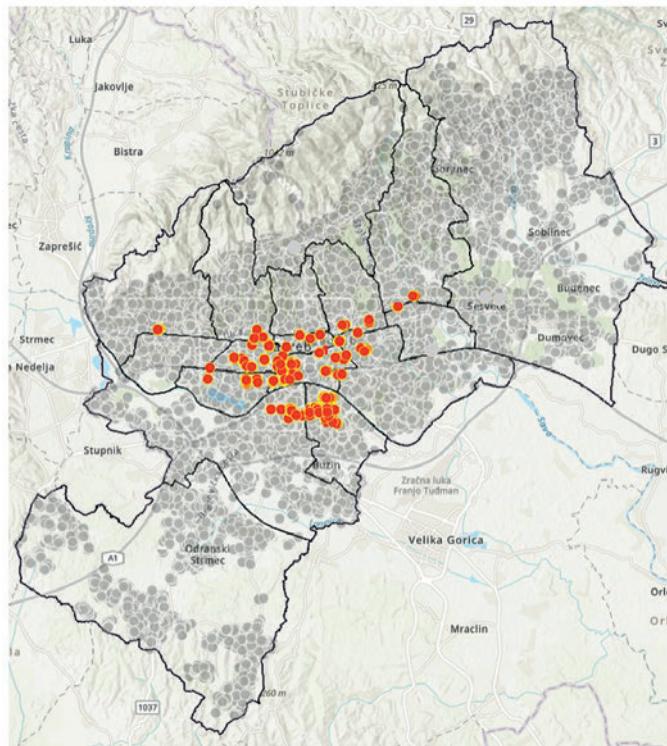
Grad Zagreb je glavni grad Republike Hrvatske u kojem živi više od 1/5 ukupnog stanovništva te kao takav predstavlja istaknuto administrativno i dominantno gospodarsko središte gdje se generira više od 1/3 bruto domaćeg proizvoda (Atalić i Hak, 2014). Grad Zagreb središte je državne, regionalne i lokalne 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 su prikazani položaji visokih zgrada obrađenih u ovom Elaboratu.



**Slika1** Položaj obrađenih visokih zgrada u Gradu Zagrebu

Ovom istraživanjem želi se ustanoviti oštetljivost 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 oštetljivosti. 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.

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 oštetljivost takvih zgrada, a vrlo bitan atribut je i održavanje građevine koje znatno može smanjiti njenu otpornost na potres.

Treba 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 fond visokih zgrada u gradu Zagrebu, što znači da se rezultati analize ne smiju koristiti individualno na zgradu ili skupini zgrada već samo za procjenu oštetljivosti 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.

## 4.2 Analiza podataka o visokim zgradama

Na temelju prikupljenih podataka formirana je sljedeća tablica o visokim zgradama u gradu Zagrebu. U njoj su prikazani 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 poglavlju 4.3.

**Tablica 1** Podaci o visokim zgradama u gradu Zagrebu

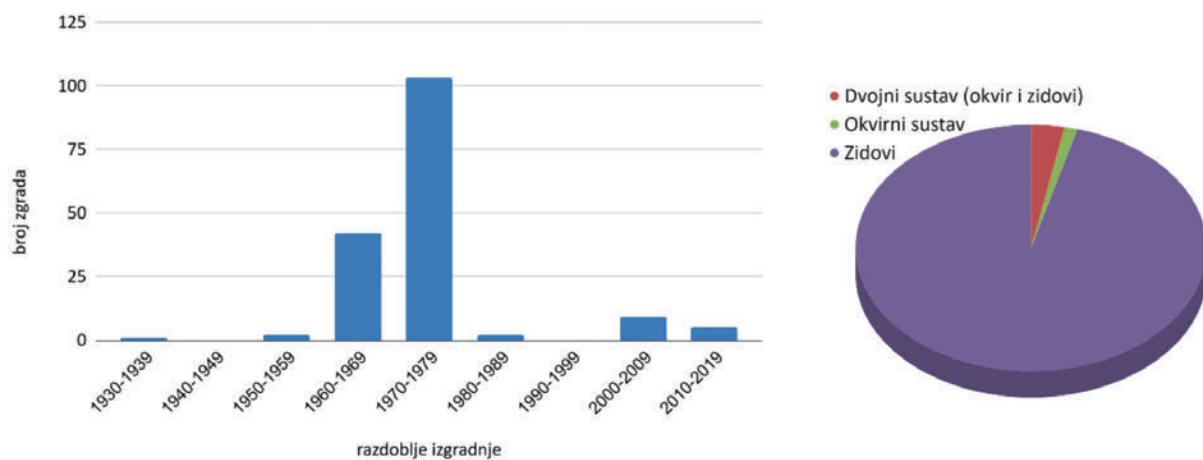
Adresa/oznaka	Broj istih zgrada	Broj korisnika	Godina izgradnje	Broj etaža iznad zemlje	Ukupna visina [m]	Materijal nosive konstrukcije zgrade	Konstrukcijski sistem	Ukupna površina prizemlja zgrade [m <sup>2</sup> ]	Procjena prvog perioda T <sub>1</sub> [s]
Poslovni centar Strojarska - viši	1	1500	2015	25	100.0	Beton, armirani	Dvojni sustav	920	1.6
Poslovni centar Strojarska - niži	1	840	2015	14	56.0	Beton, armirani	Dvojni sustav	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	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 ljetopatica	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 - Vukovarska	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

Adresa/oznaka	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]
Industrogradnja - 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
Avenue mall	1	980	2005	14	51.8	Beton, armirani	Dvojni sustav	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	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
Kuničak - 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
Ljubljanica - 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

Adresa/oznaka	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]
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
Maksimirska - 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
Folnegovićevo naselje	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

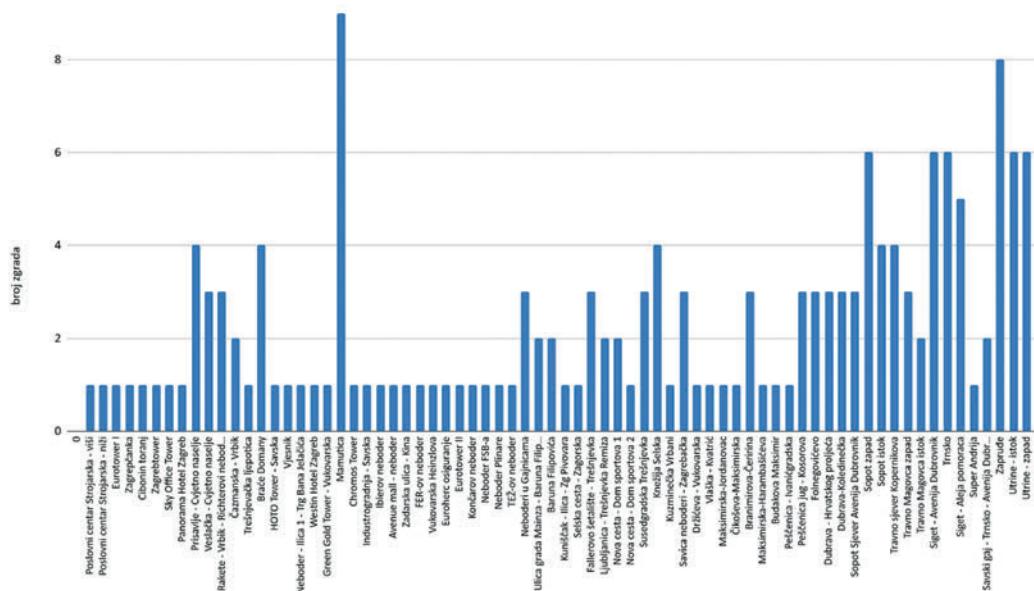
Na narednim slikama prikazani su podaci o svim obrađenim zgradama iz prethodne tablice.

Slika 2(a) 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. Na slici 2(b) je 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.



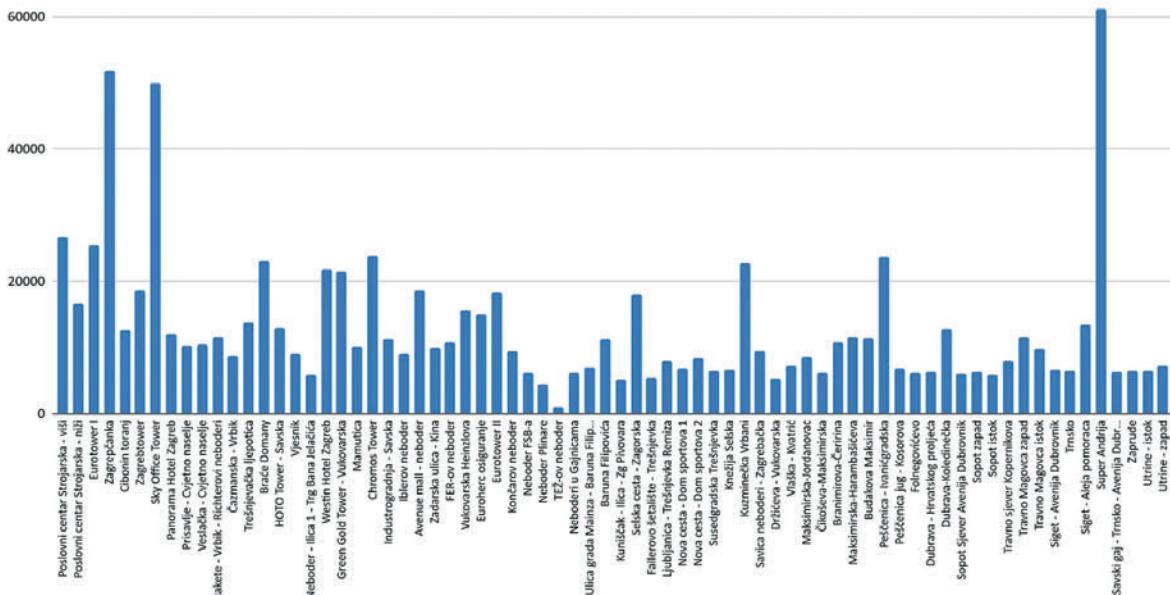
**Slika 2** (a) Broj visokih zgrada prema periodima izgradnje i (b) Broj visokih zgrada prema konstrukcijskom sustavu

Slika 3 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“ prikazana sa 9 istovjetnih jedinica. To su dilatacije iste zgrade koje su konstrukcijski odvojene, ali ipak naslonjene jedna na drugu te čine cjelinu.



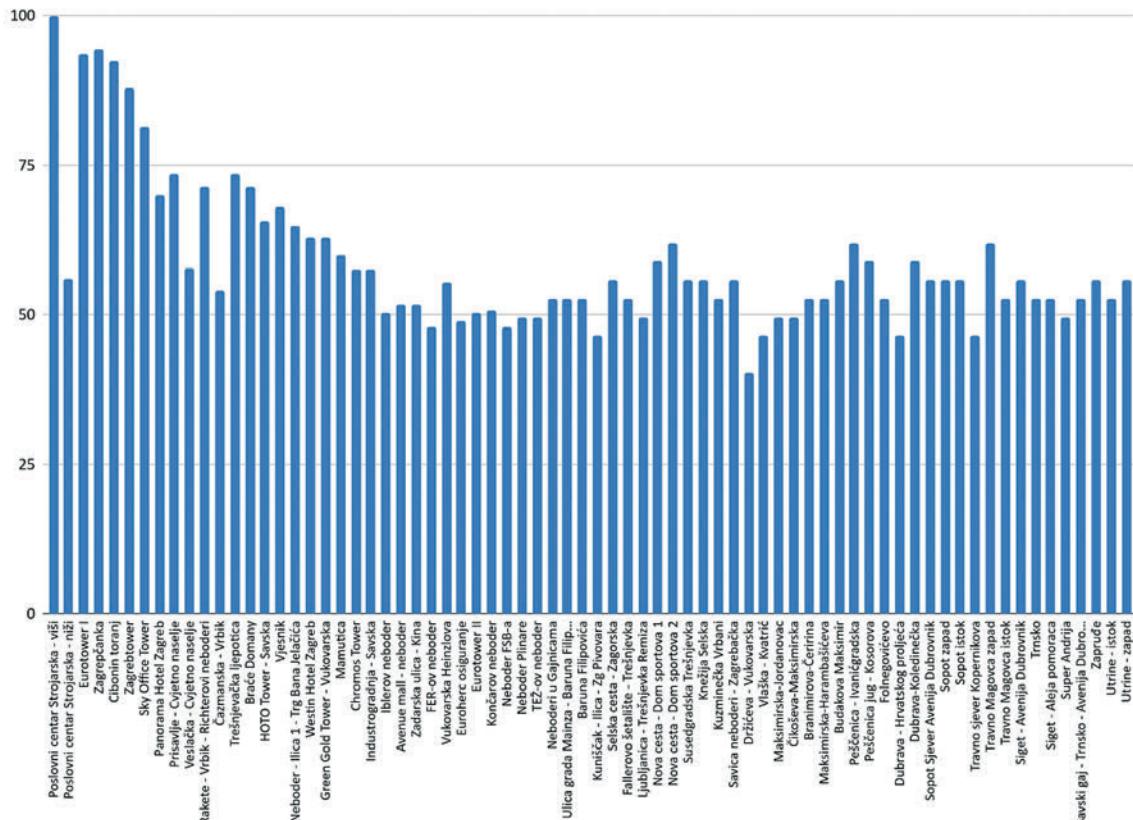
**Slika 3** Broj identičnih visokih zgrada

Na slici 4 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.



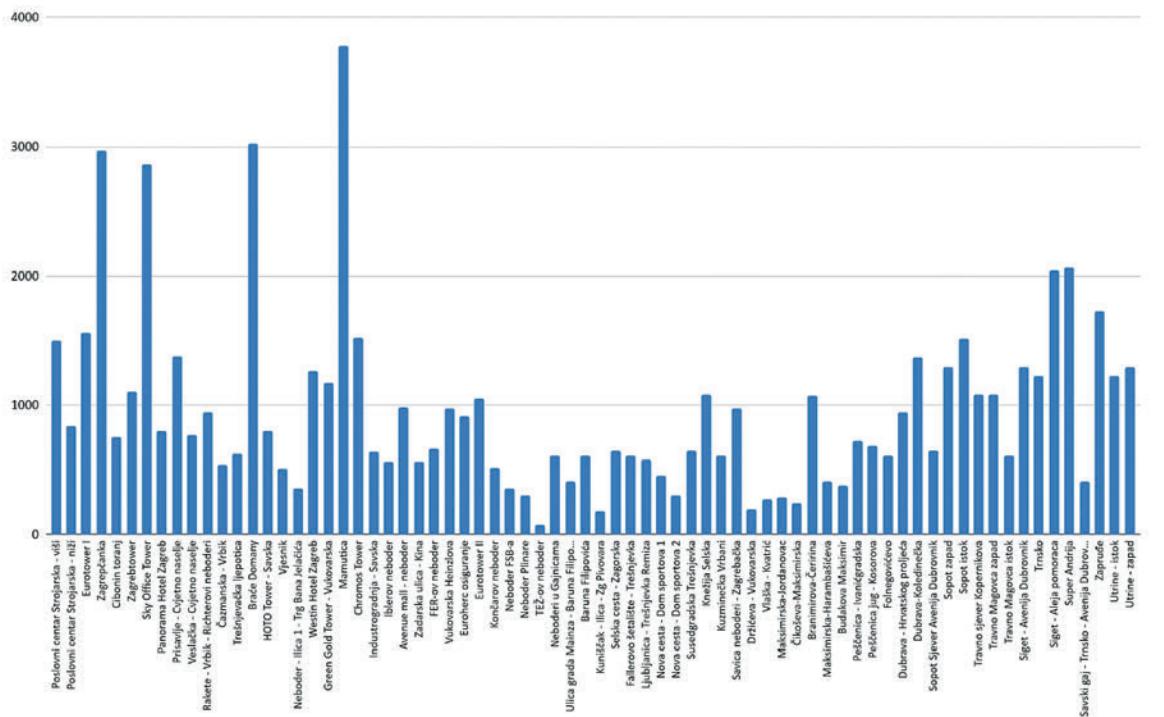
**Slika 4** Ukupna (BRP) površina zgrade (jedne jedinice) [m<sup>2</sup>]

Na slici 5 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 5** Visine visokih zgrada [m]

Na slici 6 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 6** 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.

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.

### 4.3 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  $V_I^c$  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.

$$V_I^z = V_I^c + \Delta V_m + \Delta V_R, \quad \Delta V_m = \sum_{j=1}^n V_{m,j}$$

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 2** 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	umjereni
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.

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

**Tablica 3** Srednji razredi oštećenja visokih zgrada za potrebe 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)	$V_{lz}$	$\mu_D(VIII)$	$\mu_D(IX)$
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>

<b>Adresa</b>	<b>Broj istih zgrada</b>	<b>Godina izgradnje*</b>	<b>Broj etaža iznad zemlje</b>	<b>Tip zgrade (RISK UE)</b>	<b>V<sub>Iz</sub></b>	<b>μ<sub>D</sub>(VIII)</b>	<b>μ<sub>D</sub>(IX)</b>
Vjesnik	1	1972	17	RC2H	<b>0.47</b>	<b>0.7</b>	<b>1.4</b>
Neboder - 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 - Heinzlova	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>
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>
Ulica 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>
Kuničak - 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>
Ljubljanica - 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>

Adresa	Broj istih zgrada	Godina izgradnje*	Broj etaža iznad zemlje	Tip zgrade (RISK UE)	$V_{lz}$	$\mu_d(VIII)$	$\mu_d(IX)$
Peščenica jug - Kosorova	3	1970	19	RC2H	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>
Folnegovićevo	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 - Avenija 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>
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. Dbk	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 tablici 4 su prikazani sumarni podaci o najvjerojatnijim razinama oštećenja visokih zgrada pri djelovanju potresa makroseizmičkog intenziteta stupnjeva 8 i 9 po MCS ljestvici.

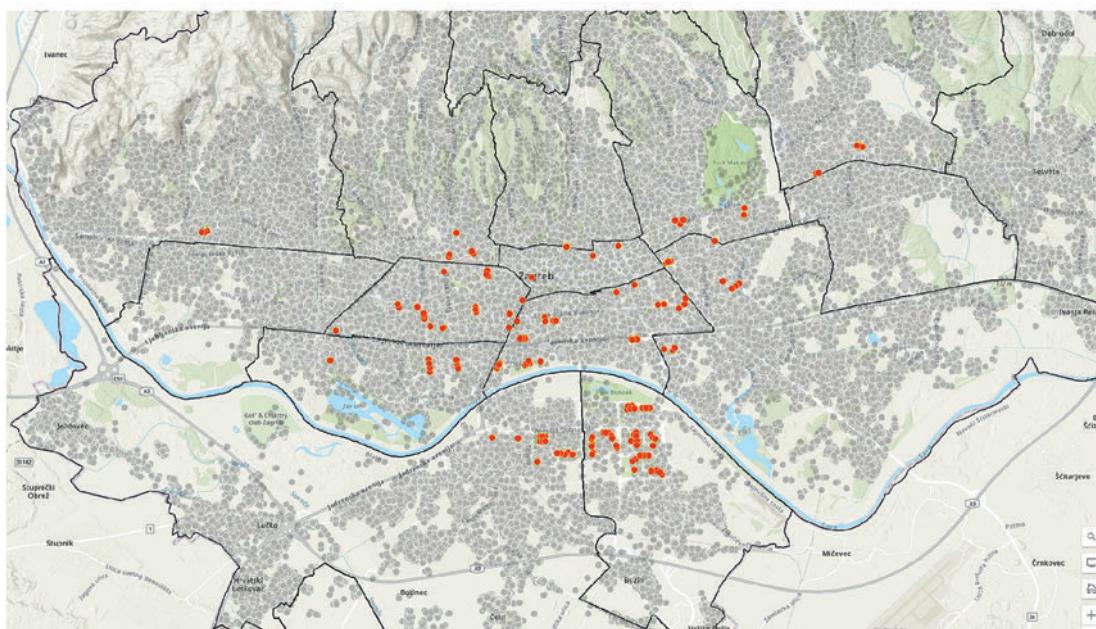
Prema rezultatima grube procjene, može se zaključiti da se za većinu visokih zgrada pri djelovanju potresa ne očekuju značajnija oštećenja.

**Tablica 4** 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	umjereno	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

## 4.4 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 procijeni potresne otpornosti.



**Slika 7 Položaj promatralih 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 cijelokupnog potresnog rizika visokih zgrada na razini grada Zagreba.**

U poglavlju 4.2 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 4.3 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, korишtena 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



**Autori poglavlja: Gordana Hrelja Kovačević, dipl. ing. građ., izv. prof. dr. sc. Marta Šavor Novak**

## **5.1 Elaborat građevinarstvo – inženjerske građevine – podaci o konstrukcijskim sustavima mostova i hidrotehničkih građevina, Mapa 1: Mostovi**

### **5.1.1 Mostovi na području Grada Zagreba**

Prometna infrastruktura Grada Zagreba sadrži preko 2200 km cestovnih prometnica, uz brojne vijadukte, nadvožnjake, podvožnjake i propuste (preko 400).

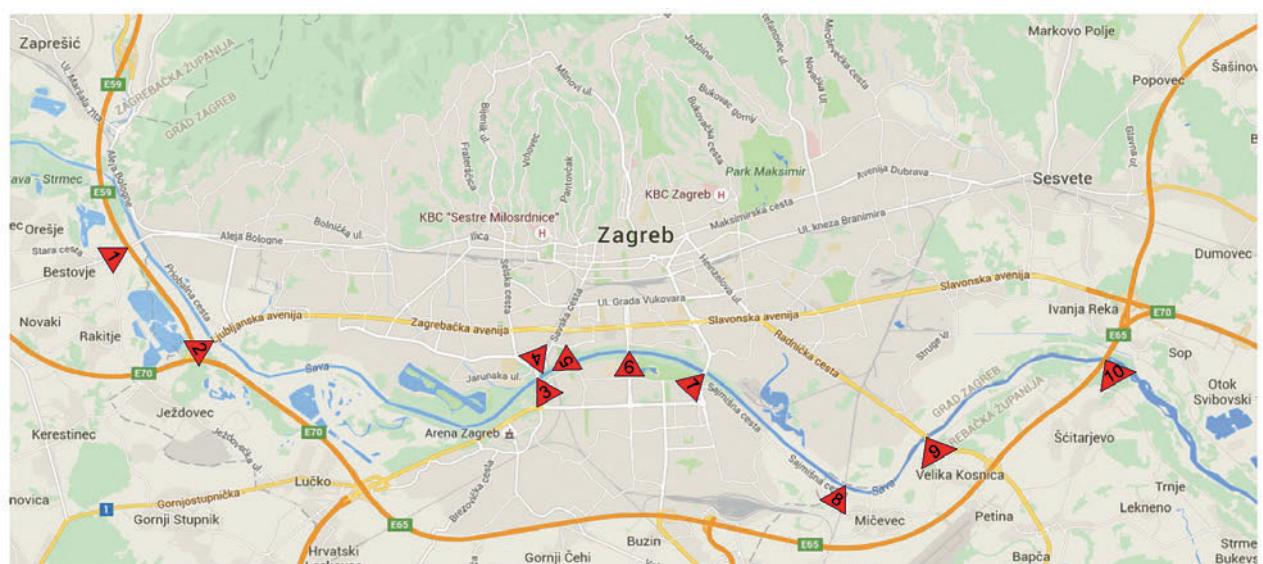
Predmet ovog elaborata su mostovi preko rijeke Save zbog njihovog strateškog značaja te mostovi koji se nalaze na evakuacijskim putovima.

**Zagrebački savski mostovi** imaju ključnu ulogu za neprekinutost prometnih tokova između lijeve i desne obale Save, točnije Starog i Novog Zagreba, a također i prevoze mnoge važne vodove.

Zagrebački savski mostovi su Podsusedski most, Jankomirski most (stari i novi), Jadranski most, Savski kolni most („plavi“), Novi željeznički most, Most slobode, Most mladosti, Željeznički most kod Mićevca i Domovinski most. Također, most Sava Ivanja-Reka prelazi preko rijeke Save i, iako je izvan obuhvata Grada Zagreba, nalazi se na evakuacijskim putovima.

Slika 1 prikazuje položaj zagrebačkih mostova preko rijeke Save, a tablica 1 daje osnovne podatke za svaki most.

Možemo primijetiti da se radi o konstrukcijama različitih statičkih sustava, materijala i karakteristika. Razdoblje njihove izgradnje se kreće od 1938. do 2007. godine.

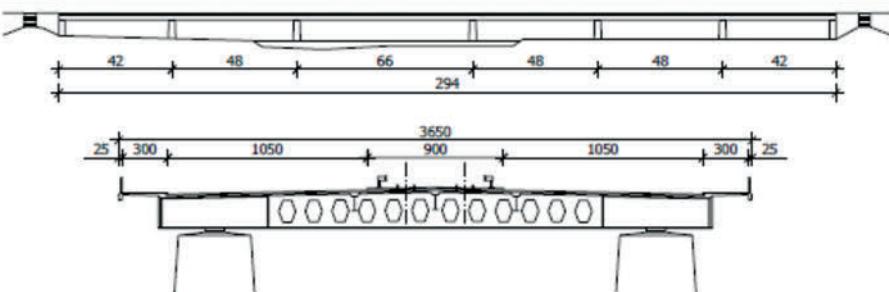
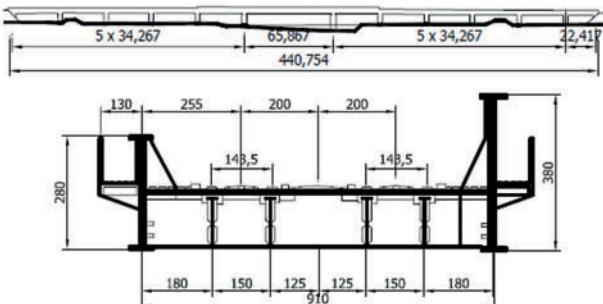
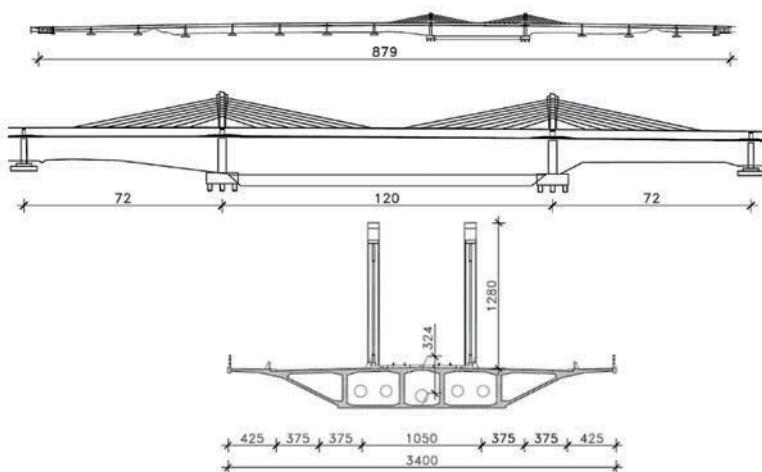


**Slika 1** Položaj zagrebačkih mostova preko rijeke Save

**Tablica 1** Osnovni podaci o mostovima preko rijeke Save

R. br.	MOST	TIP	GODINA IZGRADNJE	PROJEKTANT	KONSTRUKCIJA	SEIZMIČKO OPTEREĆENJE PREMA DANAŠNJIM PROPISIMA
1.	Podsusedski most	cestovni	1982.	Vojislav Draganić	kontinuirani čelični sandučasti nosači s ortotropnom pločom	$a_{gR}=0, 255g (T_p=475 \text{ g.})$ $a_{gR}=0, 132g (T_p=95 \text{ g.})$
2a. 2b.	Jankomirski most	cestovni	1958. 2006.	Mate Pezer	čelični kontinuirani sklop spregnut s AB pločom kolnika	$a_{gR}=0, 249g (T_p=475 \text{ g.})$ $a_{gR}=0, 128g (T_p=95 \text{ g.})$
3.	Jadranski most	cestovni	1981.	Zvonimir Lončarić	kontinuirani sklop od prednapetih nosača i monolitne ploče	$a_{gR}=0, 241g (T_p=475 \text{ g.})$ $a_{gR}=0, 123g (T_p=95 \text{ g.})$

4.	Savski kolni most	pješački	1938.	Milivoj Frković	čelična punostijena gredna konstrukcija spregnuta s AB pločom	$a_{gR}=0, 241g (T_p=475 \text{ g.})$ $a_{gR}=0, 123g (T_p=95 \text{ g.})$
5.	Novi željeznički most	željeznički	1939.		čelični luk s kolnikom dolje + gredna čelična konstrukcija preko inundacija	$a_{gR}=0, 244g (T_p=475 \text{ g.})$ $a_{gR}=0, 125g (T_p=95 \text{ g.})$
6.	Most slobode	cestovni	1959.	Kruno Tonković	dvojni čelični luk s kolnikom gore u središnjem dijelu, AB ploča u prilaznim vijaduktima	$a_{gR}=0, 242g (T_p=475 \text{ g.})$ $a_{gR}=0, 123g (T_p=95 \text{ g.})$

7.	Most mladosti	cestovni	1974.	Vojislav Draganić	središnja čelična sandučasta gredna konstrukcija, prilazi od prednapetih nosača	$a_{gR}=0, 239g (T_p=475 \text{ g.})$ $a_{gR}=0, 121g (T_p=95 \text{ g.})$
						
8.	Željeznički most kod Mičevca	željeznički	1968.	Ljubomir Jevtović	gredna čelična konstrukcija	$a_{gR}=0, 22g (T_p=475 \text{ g.})$ $a_{gR}=0, 111g (T_p=95 \text{ g.})$
						
9.	Domovinski most	cestovni	2007.	Rajka Veverka i Martina Babić	gredna prednapeta konstrukcija sa srednjim dijelom „extradosed“, s vanjskim prednapinjanjem, prigušivači na upornjacima	$a_{gR}=0, 219g (T_p=475 \text{ g.})$ $a_{gR}=0, 11g (T_p=95 \text{ g.})$
						

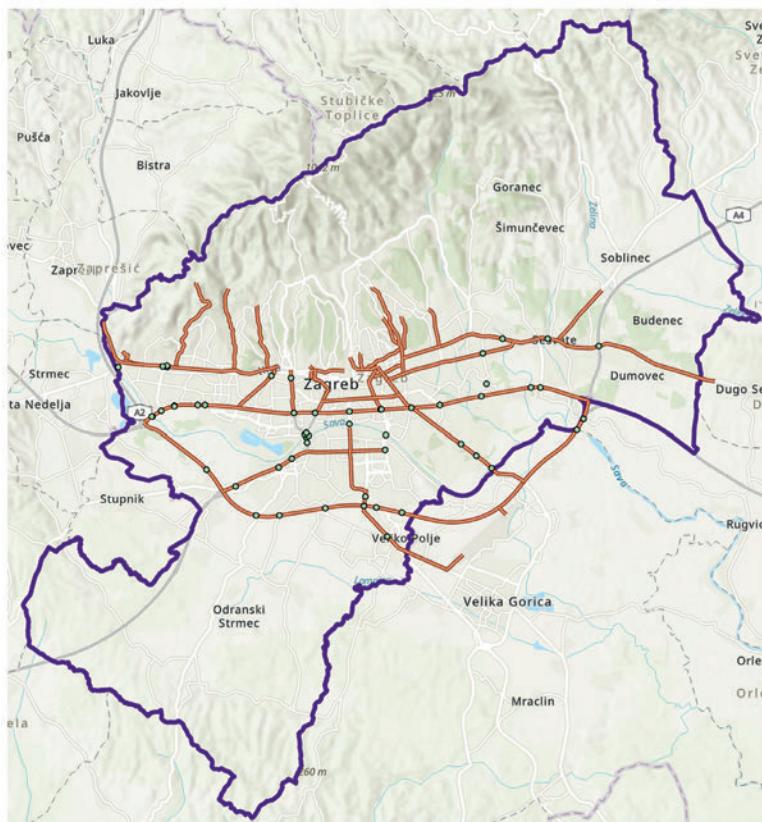
10.	Most Sava Iavanaugh-Reka	cestovni	1981.	Zvonimir Lončarić	roštiljna gredna konstrukcija u polumontažnoj izvedbi (montažni nosači sa dobetoniranom pločom)	$a_{gR}=0, 216g (T_p=475 \text{ g.})$ $a_{gR}=0, 108g (T_p=95 \text{ g.})$
-----	--------------------------	----------	-------	-------------------	---	---

Prema prostornim podacima Gradskog ureda za obnovu, izgradnju, prostorno uređenje, graditeljstvo i komunalne poslove postoji 67 mostova, 42 nadvožnjaka, 14 podvožnjaka i 2 vijadukta na županijskim i lokalnim cestama na području Grada Zagreba.

Preklopom baze i plana evakuacijskih putova izdvojene su **građevine koji se nalaze na evakuacijskim putovima**.

Građevine koje su izdvojene zadržale su oznaku „ID“ koju imaju i u prostornim podacima Gradskog ureda za obnovu, izgradnju, prostorno uređenje, graditeljstvo i komunalne poslove. Pojedine građevine su zbog složenosti razdvojene na više dijelova (npr. stari i novi Jankomirski most ili južni prilazni vijadukt, glavni most preko Save i sjeverni prilazni vijadukt kao dijelovi Jadranskog mosta), pri čemu onda više dijelova (građevina) ima isti „ID“.

U sljedećoj tablici dat je **pregled svih mostova koji se nalaze na evakuacijskim putovima ili prelaze preko njih**, što ih čini strateški važnim u slučaju potresa ili druge prijetnje. Također, njihova lokacija je prikazana na slici 2.



**Slika 2 Evakuacijski koridori Grada Zagreba**

\*Napomena: narančastim linijama su označeni evakuacijski koridori, a zelenim točkama mostovi koji se nalaze na njima ili prelaze preko njih

**Tablica 2** Popis građevina (mostova) obrađenih u elaboratu

R. br.	ID	Naziv građevine
1	84	Most Mladosti
2	84	Most Mladosti - južni prilazni vijadukt - sjeverni dio
3	84	Most Mladosti - južni prilazni vijadukt - srednji dio - istočni krak Držićeva
4	84	Most Mladosti - južni prilazni vijadukt - srednji dio - zapadni krak Držićeva
5	84	Most Mladosti - južni prilazni vijadukt - srednji dio - nadvožnjak tramvaj
6	268	Most Mladosti - južni prilazni vijadukt - istočni krak Sarajevska
7	268	Most Mladosti - južni prilazni vijadukt - zapadni krak Sarajevska
8	84	Most Mladosti - sjeverni prilazni vijadukt
9	84	Most Mladosti - sjeverna upornjačka prostorija
10	84	Most Mladosti - južna upornjačka prostorija
11	86	Most Slobode
12	86	Most Slobode - južni prilazni vijadukt I
13	86	Most Slobode - južni prilazni vijadukt Z
14	86	Most Slobode - razdjelni upornjak S
15	86	Most Slobode - razdjelni upornjak J
16	86	Most Slobode - sjeverni prilazni vijadukt I
17	86	Most Slobode - sjeverni prilazni vijadukt Z
18	87	Domovinski most
19	91	Podsusedski most
20	97	Nadvožnjak Jadranska avenija preko poljskog puta
21	98	Jadranski most
22	240	Jadranski most - južni vijadukt I
23	240	Jadranski most - južni vijadukt Z
24	98	Jadranski most - južna upornjačka prostorija
25	98	Jadranski most - sjeverna upornjačka prostorija
26	242	Jadranski most - sjeverni vijadukt silazna rampa istok
27	98	Jadranski most - sjeverni vijadukt brza cesta istok (buduća)
28	98	Jadranski most - sjeverni vijadukt tramvaj
29	98	Jadranski most - sjeverni vijadukt brza cesta istok (buduća)
30	241	Jadranski most - sjeverni vijadukt uzlazna rampa zapad
31	106	Nadvožnjaci na Aveniji Hrvatske bratske zajednice preko Slavonske avenije I
32	106	Nadvožnjaci na Aveniji Hrvatske bratske zajednice preko Slavonske avenije Z
33	107	Savski most
34	111	Nadvožnjak na Sisačkoj cesti preko A3 (Klara)
35	113	Nadvožnjak na Zagrebačkoj aveniji preko Selske ceste
36	115	Nadvožnjak preko Velikogoričke ceste u Odri (Avenija Većeslava Holjevca)
37	116	Nadvožnjak u Ulici dr. Luje Naletilića preko A3
38	117	Nadvožnjak na Radničkoj cesti preko željezničke pruge - C
39	117	Nadvožnjak na Radničkoj cesti preko željezničke pruge- SJ

R. br.	ID	Naziv građevine
40	117	Nadvožnjak na Radničkoj cesti preko željezničke pruge - J
41	118	Nadvožnjak na Slavonskoj aveniji preko Ulice Grada Gospića - SJ
42	118	Nadvožnjak na Slavonskoj aveniji preko Ulice Grada Gospića - J
43	119	Nadvožnjak Držićeva - II nivo petlje
44	120	Vijadukt Držićeva - III nivo petlje
45	125	Most u ulici Avenija Dubrava (Dubec)
46	126	Zapadni nadvožnjak u Ulici Savezne Republike Njemačke preko željezničke pruge
47	127	Istočni nadvožnjak u Ulici Savezne Republike Njemačke preko željezničke pruge
48	130	Podvožnjak Aleja Bologne željeznički
49	131	Podvožnjak Aleja Bologne
50	133	Most Vuger
51	135	Stari Jankomirski most
52	136	Novi Jankomirski most
53	140	Most na Ljubljanskoj aveniji preko potoka Dubravica - sjever
54	141	Most na Ljubljanskoj aveniji preko potoka Dubravica - jug
55	142	Vijadukt preko kanala Sava - Odra I
56	142	Vijadukt preko kanala Sava - Odra Z
57	152	Most na Slavonskoj aveniji
58	236	Podvožnjak Škorpijkova ulica
59	237	Nadvožnjak Predanić
60	239	Podvožnjak Jadranske avenije na Ulici Vice Vukova
61	246	Nadvožnjak Ivanjorečke ulice preko A3
62	250	Podvožnjak na Zagrebačkoj cesti ispod željezničke pruge
63	252	Nadvožnjak Slavonska avenija - Ulica Ljudevita posavskog - sjever
64	252	Nadvožnjak Slavonska avenija - Ulica Ljudevita posavskog - jug
65	253	Podvožnjak Selske ulice ispod pruge
66	254	Nadvožnjak A3 preko Ulice Bani
67	255	Nadvožnjak Velikopoljska ulica preko A3
68	259	Nadvožnjak Slavonska avenija preko Radničke ceste - sjever
69	259	Nadvožnjak Slavonska avenija preko Radničke ceste - jug
70	261	Podvožnjak Ulica 2. gardijske brigade Gromovi ispod Ulice kneza Branimira
71	262	Podvožnjak u Ulici Resnički gaj II. ispod željezničke pruge
72	265	Nadvožnjak ul. Jankomir preko Zagrebačke avenije
73	266	Nadvožnjak Savska - Zagrebačka avenija
74	267	Nadvožnjak Savska opatovina - Zagrebačka avenija
75	271	Tunel Petruševec Radnička sjever
76	271	Tunel Petruševec Radnička jug
77	272	Nadvožnjak pruge za toplanu preko Slavonske avenije
78	276	Vijadukt preko kanala Sava - Odra na A3 (obilaznica Zg) sjever
79	276	Vijadukt preko kanala Sava - Odra na A3 (obilaznica Zg) jug

R. br.	ID	Naziv građevine
80	281	Podvožnjak A3 Av. V. Holjevca sjever
81	281	Podvožnjak A3 Av. V. Holjevca jug
82	282	Podvožnjak A3 Sesvetska cesta istok
83	282	Podvožnjak A3 Sesvetska cesta zapad
84	283	Most Ivanja Reka na A3 - istok
85	283	Most Ivanja Reka na A3 - zapad

U sljedećim tablicama prikazani su sistematizirani podaci o analiziranim građevinama.

**Tablica 3** Broj građevina prema tipu i godini izgradnje

Tip mosta	Broj
<b>Most iznad vodotoka / inundacije</b>	<b>19</b>
1930-1949	1
1950-1964	2
1965-1987	10
1988-2000	3
2001-2013	3
<b>Nadvožnjak</b>	<b>18</b>
1950-1964	1
1965-1987	10
1988-2000	3
2001-2013	4
<b>Podvožnjak</b>	<b>24</b>
1965-1987	9
1988-2000	6
2001-2013	7
Nakon 2013	2
<b>Upornjačka prostorija</b>	<b>6</b>
1950-1964	2
1965-1987	4
<b>Vijadukt</b>	<b>18</b>
1950-1964	4
1965-1987	14
<b>Ukupno</b>	<b>85</b>

**Tablica 4** Broj građevina prema tipu rasponskog sklopa

Rasponski sklop	Broj
<b>Armirano betonski okvir</b>	<b>14</b>
Armirani beton	14
Kasetni	1
Ploča	10
Rebrasti	1
Roštiljni izveden na licu mesta	1
Sandučasti	1
<b>Kontinuirani nosač</b>	<b>11</b>
Armirani beton	4
Ploča	4
Prednapeti beton	4
Rebrasti	2
Roštiljni izveden na licu mesta	1
Sandučasti	1
Spregnuti čelik - beton	3
Rebrasti	3
<b>Kontinuirani roštilj</b>	<b>18</b>
Armirani beton	1
Ploča	1
Čelik	1
Sandučasti	1
Prednapeti beton	15
Rebrasti - predgotovljeni nosači bez dobetonirane ploče	2
Rebrasti - predgotovljeni nosači sa dobetoniranom pločom	5
Roštiljni izveden na licu mesta	8
Spregnuti čelik - beton	1
Roštiljni	1
<b>Metalni luk</b>	<b>1</b>
Spregnuti čelik - beton	1
Rebrasti	1
<b>Prosta greda / niz prostih greda</b>	<b>36</b>
Armirani beton	8
Ploča	7
Roštiljni izveden na licu mesta	1
Prednapeti beton	28
Rebrasti - predgotovljeni nosači bez dobetonirane ploče	11
Rebrasti - predgotovljeni nosači sa dobetoniranom pločom	17
<b>Vanjsko prednapeti ili extrados</b>	<b>1</b>
Prednapeti beton	1
Sandučasti	1
<b>Upornjačke prostorije</b>	<b>4</b>
Armirani beton	4
Ploča	4
<b>Ukupno</b>	<b>85</b>

**Tablica 5** Broj građevina prema tipu stupišta

<b>Stupište</b>	<b>Broj</b>
<b>Pojedinačni štapni stupovi</b>	<b>50</b>
Armirano betonski stup	43
Okrugli	8
Konzolna naglavna / ležajna greda za jedan središnji stup	2
Nema naglavne / vezne grede	4
Stupovi na vrhu povezani naglavnom / ležajnom gredom	2
Ovalni	4
Nema naglavne / vezne grede	4
Poligonalni pravilni	14
Nema naglavne / vezne grede	9
Stupovi na vrhu povezani naglavnom / ležajnom gredom	5
Pravokutni	17
Konzolna naglavna / ležajna greda za jedan središnji stup	1
Nema naglavne / vezne grede	3
Stupovi na vrhu povezani naglavnom / ležajnom gredom	13
Armirano betonski stup sa čeličnim plaštem (nespregnuti)	2
Poligonalni pravilni	2
Nema naglavne / vezne grede	2
Metalni stup	5
Ovalni	4
Nema naglavne / vezne grede	4
Pravokutni	1
Nema naglavne / vezne grede	1
<b>Razgranati stupovi</b>	<b>3</b>
Armirano betonski stup	2
Poligonalni pravilni	2
Stupovi na vrhu povezani naglavnom / ležajnom gredom	2
Metalni stup	1
Pravokutni	1
Nema naglavne / vezne grede	1
<b>Stup stijena</b>	<b>3</b>
Armirano betonski stup	1
Pravokutni	1
Nema naglavne / vezne grede	1
Betonski stup	1
Poligonalni pravilni	1
Konzolna naglavna / ležajna greda za jedan središnji stup	1
Kameni stup	1
Ovalni	1
Nema naglavne / vezne grede	1
<b>Ukupno</b>	<b>56</b>

### **5.1.1.2 Zaključak**

U elaboratu su obrađeni konstrukcijski sustavi mostova na području grada Zagreba. Napravljena je baza podataka sa svim atributima mostova važnima za procjenu potresnog rizika. Detaljno su obrađeni mostovi preko rijeke Save i mostovi na evakuacijskim putovima, zbog svoje strateške važnosti (ukupno 85 mostova).

Prikupljeni su sljedeći podaci odnosno atributi: tip mosta, vrsta prepreke, period izgradnje, stanje mosta, duljina objekta [m], korisna širina [m], tip glavnog nosivog sustava, duljina rasponskog sklopa [m], statički sustav rasponske konstrukcije, materijal rasponskog sklopa, tip poprečnog presjeka rasponskog sklopa, tip glavnog nosača, broj raspona, najveći raspon [m], najmanji raspon [m], materijal upornjaka, tip upornjaka, način oslanjanja na upornjak, vrsta ležaja, visina upornjaka [m], tip stupova, broj stupova u stupištu, materijal stupova, poprečni presjek stupa, ispunjenost presjeka stupa, naglavne / vezne grede, maksimalna visina stupova [m], način oslanjanja na stupove, vrsta ležajeva, protuseizmičke naprave te za određene tipove mostova - oblik pilona, materijal pilona, oblik presjeka pilona, ispunjenost presjeka pilona, broj ravnina zatega, broj zavješenih raspona i veličina najvećeg zavješenog raspona [m].

Detaljni tehnički opisi dati su za savske mostove i vijadukt preko odteretnog kanala Sava-Odra, a u prilozima su svi analizirani mostovi tablično prikazani.

Razdoblje njihove izgradnje se kreće od 1938. do danas. Većina je izgrađena u razdoblju od 1965. do 1987. godine.

U prethodnom razdoblju na pojedinim građevinama provedene su sanacije na rasponskom sklopu, opremi i donjem ustroju, zamjena prijelaznih naprava i ležajeva, a sve u svrhu povratka u prethodno stanje odnosno bez utjecaja na povećanje statičke i dinamičke otpornosti (otpornosti na djelovanje potresa).

Jedino je na Savskom kolnom mostu provedena rekonstrukcija u smislu prilagođavanja suvremenim seizmičkim propisima.

Tip glavnog nosivog sustava je kod većine mostova prosta greda/niz prostih greda, a kao materijal je najčešće korišten prednapeti beton. Od poprečnih presjeka sklopa najčešće su građene ploče, rebrasti - predgotovljeni nosači sa dobetoniranom pločom, rebrasti - predgotovljeni nosači bez dobetonirane ploče i roštiljni sustavi izvedeni na licu mjesta.

Stupovi su kod više od 80% mostova koji imaju stupove (s više od jednog raspona) napravljeni od armiranog betona, dok je oko 10 % stupova od metala. Poprečni presjeci su najčešće pravokutnog oblika no često su i drugog poligonalnog oblika. Kod većine takvih mostova, nema naglavne/vezne grede.

Samo tri od 85 analiziranih građevina imaju protuseizmičke naprave.

Može se zaključiti da se radi o konstrukcijama različitih statičkih sustava, materijala i karakteristika.

U budućnosti svakako treba detaljno obraditi i ostale mostove na području grada Zagreba te sve podatke objediniti u bazu prostornih podataka. Također, podatke o održavanjima i stanju mostova bi trebalo redovito ažurirati i unositi podatke o bilo kojim izvanrednim događajima koji su mogli utjecati na most.



**Autori poglavlja: izv. prof. dr. sc. Dalibor Carević, dipl. ing. građ., doc. dr. sc. Damjan Bujak, dipl. ing. građ., izv. prof. dr. sc. Ivan Halkijević, dipl. ing. građ., izv. prof. dr. sc. Dražen Vouk, dipl. ing. građ., izv. prof. dr. sc. Mario Bačić, dipl. ing. građ. Hanna Miličević, mag. ing. aedif., Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Hrvatski centar za potresno inženjerstvo**

## **5.2 Elaborat građevinarstvo – inženjerske građevine – podaci o konstrukcijskim sustavima mostova i hidrotehničkih građevina, Mapa 2: Hidrotehničke građevine**

### **5.2.1 Uvod**

Poglavlje prikazuje sažetak Elaborata – Inženjerske građevine - Mapa 2: Hidrotehničke građevine.

Hidrotehničke građevine grada Zagreba obuhvaćaju sve one objekte koji s određenom svrhom djeluju na vode. Postoje različite svrhe izgradnje hidrotehničkih građevina, a svrstavaju se u tri osnovne kategorije:

- zaštita od štetnog djelovanja voda (nasipi, retencije, brane, itd.)
- vodnogospodarsko korištenje voda (vodocrpilišta, vodospreme, uređaji za obradu vode, crpne stanice, cjevovodi, itd.)
- zaštita voda (uređaji za pročišćavanje voda, crpne stanice, cjevovodi itd.)

Osnovni cilj metodologije predložene u ovoj studiji je utvrđivanje potresnog hazarda vitalnih hidrotehničkih građevina na području grada Zagreba. Pod potresnim hazardom podrazumijeva se pojava sintetičkog (hipotetskog) potresa povratnog perioda 475g. te iskaz potencijalnih troškova i broja oštećenih građevina. Intenzitet hipotetskog potresa se procjenjuje na  $PGA=0,29g$  prema Karti potresnih područja Republike Hrvatske. Za potrebu kalibracije predloženog proračunskog modela korišteni su podaci za prvi i drugi zagrebački potres koji su se dogodili 22. ožujka 2020. u donjoj tablici. Rezultati za prvi zagrebački potres koji je korišten za kalibraciju proračunskog modela su prikazani u cjelovitom elaboratu, a u nastavku se prikazuju samo rezultati za sintetički potres.

**Tablica 1** Potresni parametri za dva zagrebačka potresa i sintetički zagrebački potres povratnog perioda od 475 godina

Potresni parametri	PGA	PGV	PGD
	g	cm/s	m
1. Zag. potres	0,22 g	20,05	0,032
2. Zag. potres	0,06 g	2,59	0,0037
Sintetički Zag. potres 475 godišnjeg povratnog perioda	0,29 g	30,00	0,045

Za potrebe izrade ovog elaborata kao osnovna podloga korištene su krivulje vjerojatnosti oštećenja preuzete iz projekta Syner-G detaljno prikazane u referenci [11], Pitilakis i dr. 2014. Krivulje su izvedene iz podataka o oštećenjima uslijed nekoliko većih potresa u EU, USA, Turskoj i Novom Zelandu te su jedini sveobuhvatan prikaz potresnih oštećenja u znanstvenoj literaturi vezano za hidrotehničke građevine.

Studija obrađuje tri osnovna sustava koja obuhvaćaju hidrotehničke građevine: vodoopskrbni sustav, sustav odvodnje otpadne (i oborinske) vode i sustav zaštite od poplava (nasipi i brane na retencijama). Iz navedenih sustava odabrane su samo one hidrotehničke građevine koje imaju značajan utjecaj na potresni hazard Grada Zagreba. U smislu potresnog hazarda Grada Zagreba, a vezano za hidrotehničke građevine, iskazana je veličina oštećenja pojedinih objekata na hidrotehničkim sustavima, procijenjeni su troškovi popravka oštećenja, iskazani su mogući problemi u funkciranju grada uslijed oštećenja hidrotehničkih građevina, te mjere kojima se mogu ublažiti posljedice. Procijenjene vrijednosti odnose se na jedan hipotetski (sintetički) potres koji je ujedno i projektni potres prema normama za projektiranje građevina. U Zagrebu se mogu očekivati i jači, odnosno slabiji potresi od analiziranog, pa je stoga rezultate ove studije moguće projicirati za slučajeve jačih odnosno slabijih potresa. Može se očekivati da će štete pri jačim potresima biti veće, a kod slabijih manje.

Od svih analiziranih hidrotehničkih građevina izdvajaju se nasipi za obranu od poplava te brane na retencijama čija oštećenja pri potresu ne doprinose značajno potresnom hazardu u gradu Zagrebu. Potresno djelovanje može uzrokovati takva oštećenja nasipa i/ili brana na retencijama na način da se formira poplavni val koji može imati katastrofalne posljedice po ljudske živote i imovinu. Većina nasipa i brana u sustavu retencija, dizajnirani su da pruže zaštitu tijekom razdoblja poplava, a većinu vremena su suhi (tj. ne zadržavaju vodu). Potresno otkazivanje nasipa u uvjetima dok nema poplave ne predstavlja značajan rizik. Prema preporuci iz HAZUS metodologije, analiza propagacije poplavnog vala od oštećenja uzrokovanih potresom se vrši samo kod nasipa/brana koje su u funkciji zaštite od poplave više od 10% vremena godišnje. S obzirom da je trajanje visokih razina vode u savskoj inundaciji relativno kratko isto kao i trajanje visokih voda u retencijama, u ovom dokumentu nije vršena analiza potresnog hazarda za slučaj istovremene pojave poplavnog vala i potresa jakog intenziteta. Analiza rizika uslijed puknuća savskog nasipa pri pojavi visokog vodostaja Save je prikazan u dokumentu [16].

Određen dio objekata u okviru hidrotehničkih sustava nije analiziran ovom studijom iz razloga što ti objekti prema procjeni autora studije ne doprinose potresnom hazardu Grada Zagreba. To su objekti manje osjetljivi na potresna djelovanja te je na njima moguće relativno brzo otkloniti kvarove nastale uslijed potresa, te sustav staviti u puni pogon. Tu pripadaju: objekti za smanjenje tlaka, prekidna, revizjska i ulazna okna, slivnici, priključne građevine, spremnici, oteretni kanal, preljevi, ustave, sifoni, čepovi, kaskade, AB zaštitni zidovi itd.

Sustav zaštite od poplava je pod upravom Hrvatskih voda, a sustav vodoopskrbe i odvodnje pod upravom poduzeća Vodoopskrba i odvodnja d.o.o., Zagreb (ViO d.o.o. Zagreb).

## 5.2.2 Zaključak i smjernice za buduće aktivnosti

U nastavku se daju zaključne tablice unutar kojih je opisan hazard Grada Zagreba za različite hidrotehničke sustave. Treba napomenuti da je ova studija izrađena na bazi krivulja vjerojatnosti oštećenja koje su definirane za zemlje koje imaju drugačije građevinske norme i običaje, potresni rizik, geološki sastav i dr., te se rezultati u ovoj studiji moraju gledati s određenom rezervom. Za potrebe preciznije procjene potresnog hazarda potrebno je izraditi sveobuhvatne GIS baze podataka hidrotehničkih građevina s upisanim karakteristikama vezanim na potresnu otpornost objekata. Na osnovu ovakve baze podataka moguće je izraditi preciznije procjene potresnog rizika, a ujedno je moguće detektirati najslabije elemente sustava. U slučaju sustava obrane od poplava, što podrazumijeva nasipe i brane na retencijama, potrebno je izraditi krivulje vjerojatnosti oštećenja dotičnih objekata.

## **Vodoopskrbni sustav Grada Zagreba**

U nastavku se daje zaključna tablica s rezultatima i preporukama za vodoopskrbi sustav u slučaju potresa povratnog perioda 475g. koji se koristi za proračune graničnih stanja nosivosti građevina u slučaju potresnog opterećenja.

**Tablica 2** Hazard vodocrpilišta vodoopskrbnog sustava Grada Zagreba za slučaj sintetičkog (projektnog) potresa povratnog perioda 475g

VODOOPSKRBNI SUSTAV GRADA ZAGREBA			
Sintetički Zag. potres 475 godišnjeg povratnog perioda (PGA = 0,29 g)	Manje i srednje oštećenje	Veliko oštećenje	Ukupni trošak popravka oštećenja
VODOCRPILIŠTA *izraženo u broju zdenaca *U ZG ukupno 46 zdenaca	19	1	4.264.000 €
KOMENTAR:			
*manje oštećenje: Neispravnost pumpe i motora zdenca na kratko vrijeme (manje od 3 dana) zbog nestanka električne energije i pomoćnog napajanja, ukoliko postoje, ili manje oštećenje. Normalan protok i tlak vode. Operativan nakon ograničenih popravaka			
*srednje oštećenje: Neispravnost pumpe i motora zdenca na oko tjedan dana zbog gubitka električne energije i pomoćnog napajanja, ukoliko postoje, znatna šteta mehaničke i električne opreme, ili umjereno oštećenje građevine. Smanjen protok i tlak vode. Operativan nakon popravka.			
*veliko oštećenje: Velika oštećenja građevine ili velike deformacije pumpe zdenca i vertikalnog okna. Djelomično operativno nakon većih popravaka			
*Nema značajnog utjecaja na vodoopskrbu grada Zagreba jer se u slučaju potresa voda može isporučivati iz drugih vodocrpilišta uz redukciju vode			

**Tablica 3** Hazard uređaja za obradu vode vodoopskrbnog sustava Grada Zagreba za slučaj sintetičkog (projektног) potresa povratnog perioda 475g

VODOOPSKRBNI SUSTAV GRADA ZAGREBA			
Sintetički Zag. potres 475 godišnjeg povratnog perioda (PGA = 0,29 g)	Manje i srednje oštećenje	Veliko oštećenje	Ukupni trošak popravka oštećenja
UREĐAJI ZA OBRADU VODE *izraženo kao broj uređaja *u ZG ukupno 2 uređaja	1	0	749.800 €
<b>KOMENTAR:</b>			
<p>*očekuju se manja do srednja oštećenja na jednom od uređaja (Sašnak ili Petruševec).</p> <p>*manje oštećenje: Neispravnost rada postrojenja na kratko vrijeme (manje od 3 dana) zbog nestanka električne energije, značajnog oštećenja različite opreme, manjeg oštećenja taložnih bazena i kloracijskih spremnika, ili manjeg oštećenja kemijskih spremnika. Može doći do gubitka kvalitete vode. Normalan protok i tlak vode. Operativan nakon ograničenih popravaka</p> <p>*srednje oštećenje: Neispravnost rada postrojenja na oko tjedan dana zbog nestanka električne energije, velikog oštećenja različite opreme, značajnog oštećenja taložnih bazena i kloracijskih spremnika bez gubitka sadržaja, ili značajnog oštećenja kemijskih spremnika. Gubitak kvalitete vode je neminovan. Smanjen protok i tlak vode. Operativan nakon popravka</p> <p>*veliko oštećenje: Velika oštećenje cijevi koje povezuju različite bazene i kemijske jedinice. Vjerojatno će doći do zaustavljanja rada postrojenja. Djelomično operativno nakon većih popravaka</p> <p>*Nema značajnog utjecaja na vodoopskrbu grada Zagreba jer se u slučaju potresa voda može isporučivati iz drugih vodocrpilišta uz redukciju vode</p>			

**Tablica 4** Hazard crnih stanica vodoopskrbnog sustava Grada Zagreba za slučaj sintetičkog (projektnog) potresa povratnog perioda 475g

VODOOPSKRBNI SUSTAV GRADA ZAGREBA			
Sintetički Zag. potres 475 godišnjeg povratnog perioda (PGA = 0,29 g)	Manje i srednje oštećenje	Veliko oštećenje	Ukupni trošak popravka oštećenja
CRPNE STANICE *izraženo kao broj crnih stanica *u ZG ukupno 132 c.s.	132	0	4.663.500 €

**KOMENTAR:**

- \*očekuje se manje do srednje oštećenje na svim crnim stanicama
- \*manje oštećenje: Neispravnost rada postrojenja na kratko vrijeme (manje od 3 dana) zbog nestanka električne energije, ili manjeg oštećenja građevine. Normalan protok i tlak vode. Operativan nakon ograničenih popravaka.
- \*srednje oštećenje: Gubitak električne energije na oko tjedan dana, značajno oštećenje mehaničke i električne opreme ili umjereno oštećenje građevine. Smanjen protok i tlak vode. Operativan nakon popravka.
- \*veliko oštećenje: Veliko oštećenje građevine ili veliko, nepopravljivo oštećenje pumpe. Djelomično operativno nakon većih popravaka
- \*totalno oštećenje: Srušena građevina. Bez vode. Ne popravljivo.
- \*Ima značajan utjecaj na vodoopskrbu grada Zagreba u slučaju potresa jer se voda ne može isporučivati do većeg broja korisnika u trajanju do oko tjedan dana. Moguće organizirati privremenu dostavu vode cisternama ili mobilnim crpkama
- \*s obzirom na osjetljivost ovih građevina na potres potrebno je izraditi smjernice za brzu provedbu sanacije u slučaju potresa s jasno dodijeljenim ulogama i odgovornostima unutar nadležnih poduzeća
- \*izraditi protupotresna ojačanja konstrukcije starijih crnih stanica
- \*izvršiti pričvršćivanje (sidrenje) elektro mehaničke opreme u betonsku konstrukciju u crnim stanicama u kojima to nije osigurano

**Tablica 5** Hazard cjevovoda vodoopskrbnog sustava Grada Zagreba za slučaj sintetičkog (projektnog) potresa povratnog perioda 475g

VODOOPSKRBNI SUSTAV GRADA ZAGREBA			
Sintetički Zag. potres 475 godišnjeg povratnog perioda (PGA = 0,29 g)	Manje i srednje oštećenje	Veliko oštećenje	Ukupni trošak po-pravka oštećenja
CJEVOVODI *u ZG ukupno 3.177,6 km cjevovoda	2001 (izraženo kao broj oštećenja)	45 km	16.327.000 €
<b>KOMENTAR:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>*manja i srednja oštećenja: točkasti kvarovi na opskrbnim i transportnim cjevovodima, kvarovi opreme u zasunskim okнима, pozadinska istjecanja zbog oštećenja na mreži i točkasti kvarovi na priključnim vodovima (hidrantski, kućni, odzračni, muljni)</li> <li>*veliko oštećenje: veliki broj točkastih oštećenja na cijevima i opremi koji uzrokuju značajan pad tlaka i protoka.</li> <li>*Kod manjih i srednjih oštećenja se još uvijek može isporučivati voda sa smanjenim tlakom i protokom, uz redukciju vode i privremenu organizaciju dostave cisternama</li> <li>*velika oštećenja je potrebno sanirati potpunom zamjenom cjevovoda i opreme</li> <li>*Ima značajan utjecaj na vodoopskrbu grada Zagreba jer se u slučaju potresa voda ne može isporučivati do većeg broja korisnika</li> <li>*s obzirom na osjetljivost cjevovoda na potres potrebno je izraditi smjernice za brzu provedbu sanacije u slučaju potresa s jasno dodijeljenim ulogama i odgovornostima unutar nadležnih po-duzeća</li> </ul>			

**Tablica 6** Hazard vodosprema vodoopskrbnog sustava Grada Zagreba za slučaj sintetičkog (projektnog) potresa povratnog perioda 475g

VODOOPSKRBNI SUSTAV GRADA ZAGREBA			
Sintetički Zag. potres 475 godišnjeg povratnog perioda (PGA = 0,29 g)	Manje i srednje oštećenje	Veliko oštećenje	Ukupni trošak po-pravka oštećenja
VODOSPREME * izraženo kao broj vodosprema *u ZG ukupno 70 vodosprema	10	1	397.579
<b>KOMENTAR:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>*manja i srednja oštećenja: pretjerano naprezanje obruča (obujmice) te pojava manjih pukotina. Vodosprema i dalje operativna.</li> <li>*veliko oštećenje: Podizanje zida-lom betona, puknuće ili smicanje zida vodospreme, klizanje. Vodosprema nije operativna.</li> <li>*Nema značajnog utjecaja na vodoopskrbu grada Zagreba jer se u slučaju potresa voda može isporučivati iz drugih vodosprema uz redukciju vode</li> </ul>			

## **Sustav odvodnje otpadnih voda Grada Zagreba**

U nastavku se daje zaključna tablica s rezultatima i preporukama za vodoopskrbi sustav u slučaju potresa povratnog perioda 475g. koji se koristi za proračune graničnih stanja nosivosti građevina u slučaju potresnog opterećenja.

**Tablica 7** Hazard CUPOVZ-a sustava odvodnje otpadnih voda Grada Zagreba za slučaj sintetičkog (projektnog) potresa povratnog perioda 475g

SUSTAV ODVODNJE OTPADNIH VODA GRADA ZAGREBA			
Sintetički Zag. potres 475 godišnjeg povratnog perioda (PGA = 0,29 g)	Manje i srednje oštećenje	Veliko oštećenje	Ukupni trošak popravka oštećenja
CUPOVZ *odnosi se na Centralni uređaj za pročišćavanje otpadnih voda Zagreb	79%	16%	13.520.000 €
KOMENTAR:			
*očekuje se manje i srednje oštećenje na otprilike 79% objekata UPOV-a i veliko oštećenje na otprilike 16%. Preostalih 5% bez oštećenja.			
*manje oštećenje: Neispravnost rada postrojenja na kratko vrijeme (manje od 3 dana) zbog nestanka električne energije, značajno oštećenje opreme, blago oštećenje taložnih bazena, blago oštećenje dezinfekcijskih i kemijskih spremnika. Normalan protok i tlak vode. Operativan nakon ograničenih popravaka.			
*srednje oštećenje: Neispravnost rada postrojenja na otprilike tjedan dana zbog nestanka električne energije, veliko oštećenje opreme, značajno oštećenje taložnih bazena, značajno oštećenje dezinfekcijskih spremnika bez gubitka sadržaja ili značajno oštećenje kemijskih spremnika. Smanjen protok i tlak vode. Operativan nakon popravka.			
*veliko oštećenje: Veliko oštećenje cijevi koje povezuju različite bazene i kemijske jedinice. Djelomično operativno nakon većih popravaka. Potpuni kvar svih cjevovoda ili velika oštećenja građevine i opreme. Bez vode. Ne popravljivo			
*Nakon potresa moguća je kraća obustava rada uređaja (3-7 dana) s direktnim ispuštanjem kompletног nepročišćenog dotoka u Savu ili rad uređaja sa smanjenom učinkovitošću			

**Tablica 8** Hazard crnih stanica sustava odvodnje otpadnih voda Grada Zagreba za slučaj sintetičkog (projektног) potresa povratnog perioda 475g

SUSTAV ODVODNJE OTPADNIH VODA GRADA ZAGREBA			
Sintetički Zag. potres 475 godišnjeg povratnog perioda (PGA = 0,29 g)	Manje i srednje oštećenje	Veliko oštećenje	Ukupni trošak popravka oštećenja
<b>CRPNE STANICE</b> *izraženo kao broj crnih stanica *u ZG ukupno 44 c.s.	44	0	6.404.910 €
<b>KOMENTAR:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>*očekuje se manje do srednje oštećenje na svim crnim stanicama</li> <li>*manje oštećenje: Neispravnost rada postrojenja na kratko vrijeme (manje od 3 dana) zbog nestanka električne energije ili blago oštećenje građevine. Normalan protok. Operativan nakon ograničenih popravaka.</li> <li>*srednje oštećenje: Gubitak električne energije na otprilike tjedan dana, značajno oštećenje mehaničke i električne opreme, ili umjereno oštećenje građevine. Smanjen protok. Operativan nakon popravka.</li> <li>*veliko oštećenje: Veliko oštećenje građevine ili pumpe koja je izvan mogućnosti popravka. Djelomično operativno nakon većih popravaka</li> <li>*Ima značajan utjecaj na javno zdravlje grada Zagreba u slučaju potresa jer veći dio sustava odvodnje neće raditi u trajanju do oko tjedan dana. Moguće organizirati lokalni privremeni odvoz otpadne vode s cisternama.</li> <li>*s obzirom na osjetljivost ovih građevina na potres potrebno je izraditi smjernice za brzu provedbu sanacije u slučaju potresa s jasno dodijeljenim ulogama i odgovornostima unutar nadležnih poduzeća</li> <li>*izraditi protupotresna ojačanja konstrukcije starijih crnih stanica</li> <li>*izvršiti pričvršćivanje (sidrenje) elektromehaničke opreme u betonsku konstrukciju u crnim stanicama u kojima to nije osigurano</li> </ul>			

**Tablica 9** Hazard cjevovoda sustava odvodnje otpadnih voda Grada Zagreba za slučaj sintetičkog (projektnog) potresa povratnog perioda 475g

SUSTAV ODVODNJE OTPADNIH VODA GRADA ZAGREBA			
Sintetički Zag. potres 475 godišnjeg povratnog perioda (PGA = 0,29 g)	Manje i srednje oštećenje	Veliko oštećenje	Ukupni trošak popravka oštećenja
CJEVOVODI *u ZG ukupno 2.100,0 km cjevovoda	1476 (izraženo kao broj oštećenja)	25km	19.504.400 €
<b>KOMENTAR:</b> *manja do srednja oštećenja: Točkasta oštećenja na kanalima (cjevovodima), za sanaciju potrebni zemljani radovi. Oštećenja u revizijskim okнима. Manja oštećenja (deformacije) na mreži bez eksfiltracije otpadne vode. Oštećenja na priključcima korisnika. *velika oštećenja: Trajno oštećene dionice prosječnog profila DN 700 - linijska oštećenja. Potrebna potpuna zamjena cjevovoda i opreme. *Kod manjih i srednjih oštećenja se još uvijek može odvijati odvodnja sa smanjenim protokom. Lako će postojati područja s potpunom obustavom odvodnje gdje je moguće organizirati lokalni privremeni odvoz otpadne vode s cisternama *nakon potresa mogu se očekivati i manji problemi s odvodnjom oborinskih voda u slučaju pojave ekstremnih oborina *Ima značajan utjecaj na javno zdravlje grada Zagreba u slučaju potresa jer dio sustava odvodnje neće raditi u trajanju do oko deset dana *s obzirom na osjetljivost ovih građevina na potres potrebno je izraditi smjernice za brzu provedbu sanacije u slučaju potresa s jasno dodijeljenim ulogama i odgovornostima unutar nadležnih po- duzeća			

## **Sustav zaštite od poplava Grada Zagreba**

U nastavku se daje zaključna tablica s rezultatima i preporukama za sustav zaštite od poplava u slučaju potresa povratnog perioda 475g. koji se koristi za proračune graničnih stanja nosivosti građevina u slučaju potresnog opterećenja.

**Tablica 10** Hazard nasipa sustava zaštite od poplava Grada Zagreba za slučaj sintetičkog (projektnog) potresa povratnog perioda 475g

SUSTAV ZAŠTITE OD POPLAVA GRADA ZAGREBA			
Sintetički Zag. potres 475 godišnjeg povratnog perioda (PGA = 0,29 g)	Manje i srednje oštećenje	Veliko oštećenje	Ukupni trošak popravka oštećenja
<b>NASIPI</b> *izraženo u kilometrima *ukupna dužina zagrebačkih nasipa 97,07 km	22	3	6.062.992 €
<b>KOMENTAR:</b> ''manje i srednje oštećenje: slijeganje krune i pukotine 5-15 cm (sanacija u roku 30- 60 dana) *veliko oštećenje: slijeganje čitavog nasipa i pukotine 40 cm (sanacija u roku 2 - 3 mjeseca) *sanaciju potrebno provesti prije nadolazeće poplavne sezone *nakon pojave potresa potrebno organizirati brzi pregled svih nasipa prema unaprijed definiranoj metodologiji (posebna pažnja na kritične dionice -prikazano u cijelovitoj studiji na sl. 19) *potrebno izraditi smjernice za brzu provedbu pregleda i sanacije nasipa u slučaju potresa s jasno dodijeljenim ulogama i odgovornostima unutar nadležnih poduzeća			

**Tablica 11** Hazard retencija sustava zaštite od poplava Grada Zagreba za slučaj sintetičkog (projektnog) potresa povratnog perioda 475g

SUSTAV ZAŠTITE OD POPLAVA GRADA ZAGREBA			
Sintetički Zag. potres 475 godišnjeg povratnog perioda (PGA = 0,29 g)	Manje i srednje oštećenje	Veliko oštećenje	Ukupni trošak popravka oštećenja
<b>RETENCIJE</b>	-	-	-
<b>KOMENTAR:</b> ''Procjenu oštećenja i potresnog hazarda za retencije sljemenskih bujičnih vodotoka, nije moguće izvesti koristeći trenutno dostupnu literaturu. Pratiti projekt CRISAFE (Critical infrastructure early warning systems and population awareness for multi hazard cascading events), trajanje od 2024 – 2026.			

## **6. Elaborat kulturna dobra**

### **6.1 Uvod – općenito o elaboratu**

Ocjenvivanje potresnog rizika zgrada kulturne baštine složen je proces koji zahtijeva multidisciplinarni pristup, specifična znanja i suradnju stručnjaka različitih područja. U tom procesu osnovni koraci su: identifikacija/registracija zgrada, utvrđivanje potresnog hazarda, određivanje izloženosti, potresne oštetljivosti zgrada, karakteristika lokalnog tla i trošak obnove nakon potresa. Ocjena potresnog rizika dobra je podloga za klasifikaciju, određivanje prioriteta i planiranje mjera povećanja potresne otpornosti.

Zgrade kulturna dobra na području Grada Zagreba građene su u raznim vremenskim razdobljima (od 13. stoljeća do 1985. godine), mnoge su rekonstruirane (funkcionalne prilagodbe ili nakon oštećenja npr potres 1880.). Njihov smještaj u prostoru diktiran je povijesnim i urbanističkim razvojem Grada Zagreba, pa se najveći broj zgrada nalazi u gradskim četvrtima Donji grad i Gornji grad - Medveščak unutar kulturno povijesnih cjelina kao pojedinačno zaštićeno kulturno dobro ili samo zaštićeno. Razvojem grada zgrade kultuna dobra su i u drugim gradskim četvrtima (detalji o zgradama prilog 1 i 2 Elaborata).

U Elaboratu se utvrđuje potresna oštetljivost i određuje potresni rizik zgrada zaštićenih kulturnih dobara u odnosu na tipologiju/ konstrukciju, materijale, vrijeme građenja, postojanje propisa za građenje u potresnim područjima. Ovaj sažetak, kratki je prikaz Elaborata 7 koji se može pregledati i preuzeti na [Potresni rizik grada Zagreba – Elaborat kulturna dobra](#). Ovdje navedeni brojevi tablica i slika ne odgovaraju brojevima iz Elaborata, dok navedeni brojevi literature odgovaraju brojevima u Elaboratu.

### **6.2 Prepoznata kulturna dobra**

#### **6.2.1 Identifikacija i inventarizacija/registracija**

Prvi korak je identifikacija svih zgrada kulturne baštine i povijesnih zgrada na određenom području. Uključuje zgrade različite namjene; javne, sakralne, stambeno-poslovne gospodarske, industrijske i druge koje su kulturna baština (npr crkve, muzeje, kurije, dvorce, palače, ljetnikovce, višestambene zgrade, obiteljske kuće i druge). Izrađen je Registar kulturnih dobara Republike Hrvatske i Geoportal kulturnih dobara Republike Hrvatske, a pristup je na web stranici Ministarstva kulture i medija (<https://registar.kulturnadobra.hr>) i (<https://geoportal.kulturnadobra.hr>). Time su javno dostupne informacije o zaštićenim kulturnim dobrima. Gradski zavod za zaštitu spomenika kulture i prirode izradio je web stranicu s informacijama o zaštićenim povijesnim cjelinama i zaštićenim pojedinačnim kulturnim dobrima grada Zagreba (<https://www1.zagreb.hr/galerijakd.nsf>).

## Registrar kulturnih dobara i Geoportal kulturnih dobara

Web Registrar kulturnih dobara RH prikazuje rezultate za nepokretna i nematerijalna kulturna dobra. Podatke o nepokretnim kulturnim dobrima, potrebno je zatražiti na: [register-upiti@min-kulture.hr](mailto:register-upiti@min-kulture.hr)



<https://register.kulturnadobra.hr>

Geoportal kulturnih dobara RH predstavlja središnje mjesto pristupa prostornim podatcima o nepokretnim kulturnim dobrima u nadležnosti Ministarstva kulture i medija Republike Hrvatske.



<https://geoportal.kulturnadobra.hr>

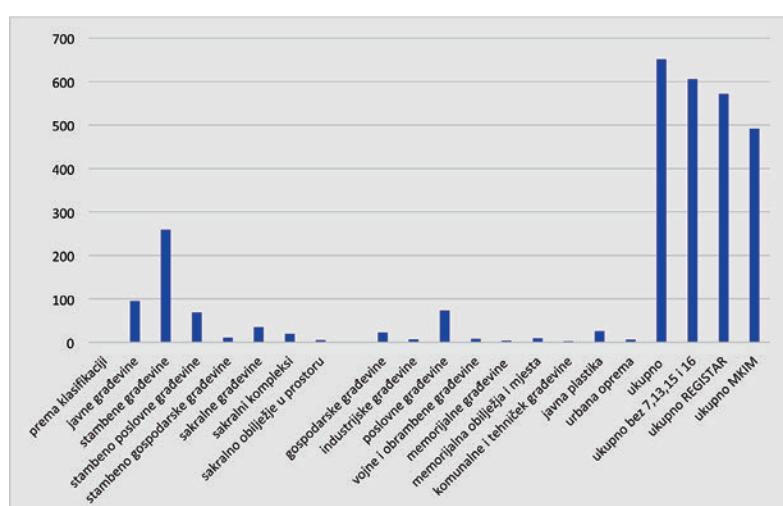
**Slika 1** Registrar i Geoportal kulturnih dobara RH



**Slika 2** Galerije kulturnih dobara Zagreba

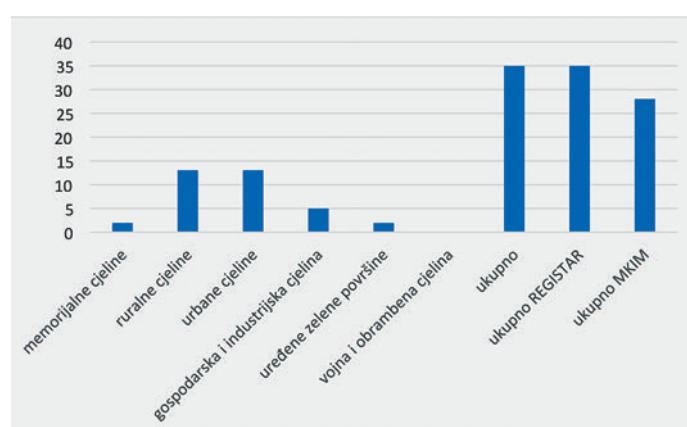
Za potrebe Elaborata korišteni su popisi MKIM-a ([1], [2]). Podaci se prema izvorima dijelom razlikuju.

POJEDINAČNO ZAŠTIĆENO KULTURNO DOBRO	
prema klasifikaciji	
1 javne građevine	95
2 stambene građevine	259
3 stambeno poslovne građevine	69
4 stambeno gospodarske građevine	11
5 sakralne građevine	35
6 sakralni kompleksi	20
7 sakralno obilježje u prostoru	5
8 gospodarske građevine	22
9 industrijske građevine	7
10 poslovne građevine	73
11 vojne i obrambene građevine	8
12 memorijalne građevine	4
13 memorijalna obilježja i mjesta	9
14 komunalne i tehniček građevine	3
15 javna plastika	26
16 urbana oprema	6
ukupno	652
ukupno bez 7,13,15 i 16	606
ukupno REGISTAR	572
<b>ukupno MKIM</b>	<b>491</b>



**Slika 3** Registrar kulturnih dobara RH i popis MKIM - pojedinačno zaštićena kulturna dobra

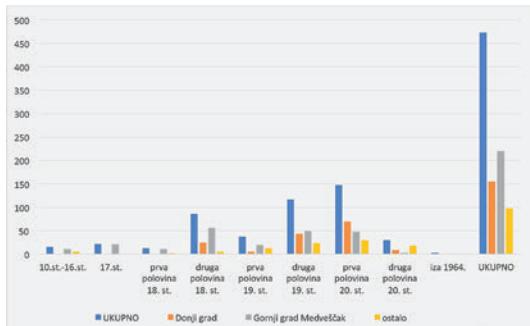
KULTURNO POVIJESNE CJELINE	
prema klasifikaciji	
1 memorijalne cjeline	2
2 ruralne cjeline	13
3 urbane cjeline	13
4 gospodarska i industrijska cjelina	5
5 uređene zelene površine	2
6 vojna i obrambena cjelina	0
ukupno	35
ukupno REGISTAR	35
<b>ukupno MKIM</b>	<b>28</b>



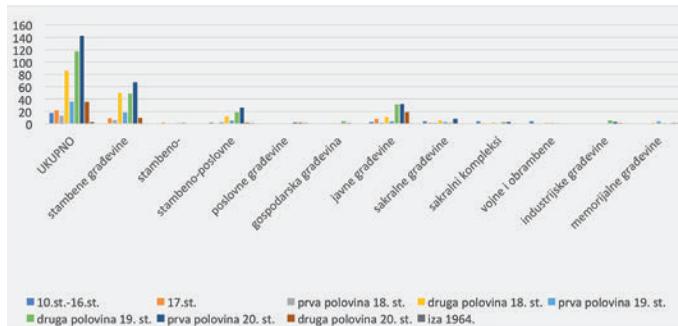
**Slika 4** Registrar kulturnih dobara RH i popis MKIM - kulturno povijesne cjeline

## 6.2.2 Razdoblje gradnje, smještaj po četvrtima i namjena

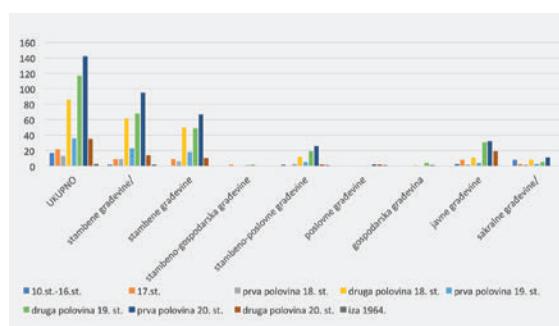
Kulturna dobra smještena su uglavnom unutar četvrti Donji grad i Gornji grad-Medveščak, manje u ostalim dijelovima grada. Namjena im je različita. (slike 6 - 8) kao i vrijeme građenja, [1] i [2].



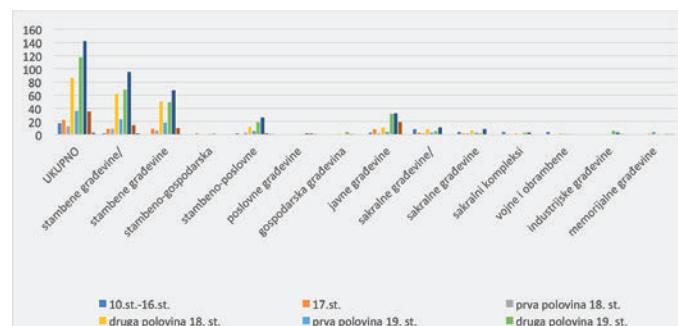
Slika 5 Kulturna dobra - četvrti i vrijeme građenja



Slika 6 Pojedinačna kulturna dobra- namjena i vrijeme



Slika 7 Stambene-javne-sakralne građevine



Slika 8 Stambene-javne sakralne-vojne-industrijske-memorijalne građevine

## 6.2.3 Povijesni I urbanistički razvoj Zagreba

Zagreb je nastajao tijekom niza stoljeća što je presudno za današnji izgled Zagreba. Dva barokna stoljeća 17. i 18. promijenila su sliku srednjovjekovnog Zagreba i dala podlogu za razvoj Zagreba u moderan grad. što je nastavljena tijekom 19. i 20. stoljeća. Zagreb je nastajao tijekom niza stoljeća što je presudno za današnji izgled Zagreba. Dva barokna stoljeća 17. i 18. promijenila su sliku srednjovjekovnog Zagreba i dala podlogu za razvoj Zagreba u moderan grad. što je nastavljeno tijekom 19. i 20. stoljeća. Zagreb je nastao na dva brežuljka i na potoku Medveščak. Krajem 11. st. razvijaju se Kaptol i Gradec, a na prijelazu u 13. st. grade se istočna podgrađa vezana uz Kaptol i južna uz Gradec. Veliki požari u 17.st. (1624., 1645., 1674.) mijenjaju izgled Gradeca i Kaptola, i Kaptola u 18. st. (1706. i 1731.). 1850. dolazi do ujedinjenja Gradeca i Kaptola zajedno s okolnim predgrađima. Od 1865. godine postoji prva generalna regulatorna osnova Zagreba a 1887. počinje druga regulatorna osnova. Na prijelazu iz 19. u 20. st. gradnju potiče obnova nakon potresa 1880.godine. Početkom 20. stoljeća Zagreb ima više od sto tisuća stanovnika i postaje moderan srednjoeuropski grad. U razdoblju između dva svjetska rata izgrađen je niz zgrada moderne arhitekture u Donjem gradu. Nakon II. svjetskoga rata u novoizgrađenim četvrtima grade se nove zgrade, neke od njih su kulturno dobro.

## 6.2.4 Smještaj unutar gradskih četvrti grada Zagreba

Centar Zagreba čine dvije povijesne cjeline Gradec i Kaptol, sada četvrti Donji grad i Gornji grad Medveščak gdje je smješten najveći broj pojedinačno zaštićenih kulturnih dobara što je rezultat povijesnog i urbanističkog razvoja grada. Položaj kulturnih dobra preklopljen je na zemljovidu Zagreba (slika 11 (a) i (b)).

**Donji grad** po površini je najmanja gradska četvrt, s  $3,02 \text{ km}^2$ , ali najgušće naseljena s 12340 stanovnika po  $\text{km}^2$  i zauzima prostor stare gradske jezgre. Uglavnom je izgrađen u 19. stoljeću, a dio istočno od Draškovićeve u prvoj polovici 20. stoljeća. Tradicijsko središte je Trg bana Josipa Jelačića. Na početku ima stambenu ulogu, ali godinama preuzima poslovnu, kulturnu i trgovačku ulogu grada.



**Slika 9** Gradske četvrti Zagreba [33] Donji grad; (a) Trg bana Jelačića, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=238425>, (b) Hrvatsko narodno kazalište, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=465617>, (c) Dom hrvatskih likovnih umjetnika, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3138524>, (d) Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Hrvatska\\_akademija\\_znanosti\\_i\\_umjetnosti](https://hr.wikipedia.org/wiki/Hrvatska_akademija_znanosti_i_umjetnosti) Gornji grad – Medveščak površine je  $10,191 \text{ km}^2$ , sa 3.593 stanovnika /  $\text{km}^2$ .

Gornji grad, prije Gradec, povijesna je jezgra Zagreba nastala u srednjem vijeku do 19. stoljeća i zajedno s Kaptolom, čini središnji urbani dio grada. Glavni trg je Trg sv. Marka, nekada mjesto trgovanja, a danas političko sjedište Hrvatske (Hrvatski sabor, Vlada i Gradska skupština), u središnjem i sjevernom dijelu su rbane vile i obiteljske kuće.

U ostalim gradskim četvrtima, zaštićena kulturna dobra su uglavnom zasebne građevine, manjim dijelom pripadaju kulturno povijesnim cjelinama predgrađa.



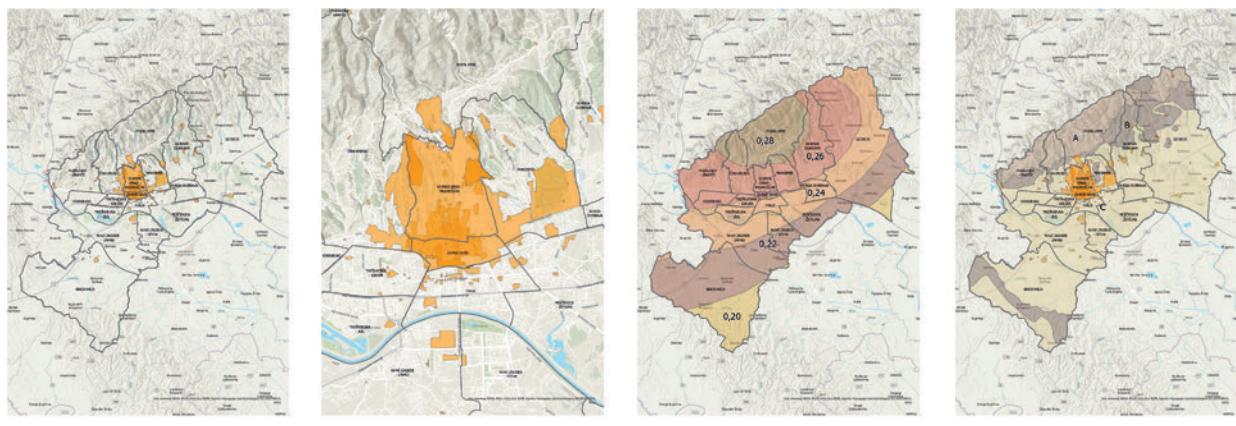
**Zagrebačke Gradske četvrti – veličina i broj stanovnika**

Četvrt	Površina ( $\text{km}^2$ )	Broj stanovnika	Gustoća naseljenosti (po $\text{km}^2$ )
Brezovica	127	12.030	95
Črnomerec	24	38.546	1606
Donja Dubrava	11	36.363	3306
<b>Donji grad 1)</b>	<b>3</b>	<b>37.024</b>	<b>12.341</b>
<b>Gornji grad-Medveščak1)</b>	<b>10</b>	<b>30.962</b>	<b>3096</b>
Gornja Dubrava	40	61.841	1546
Maksimir	14	48.902	3493
Novi Zagreb – istok	17	59.055	3474
Novi Zagreb – zapad	63	58.103	922
Peščenica – Žitnjak	35	56.487	1614
Podsused – Vrapče	36	45.759	1271
Podsljeme	60	19.165	319
Sesvete	165	70.009	424
Stenjevec	12	51.390	4283
Trešnjevka – sjever	6	55.425	9238
Trešnjevka – jug	10	66.674	6667
Trnje	7	42.282	6040
<b>UKUPNO:</b>	<b>641</b>	<b>790.017</b>	<b>1232</b>

**Slika 10** Gradske četvrti Zagreba [33] Gornji grad-Medveščak; (a) Trg sv. Marka (b) Institut Ruđer Bošković 1950-52 (c) Hrvatski muzej naivne umjetnosti, (d) Ulaz u Mirogoj

### 6.3 Potresna opasnost (hazard), karte potresnih područja i tipovi temeljnog tla

Potresni hazard je potencijalna opasnost koja proizlazi iz potresa ili pojave izazvanih potresom na određenom području, uključuje analizu prošlih potresa, seizmičke aktivnosti u blizini i moguće buduće potrese. Karte potresnih područja su alat za planiranje urbanog razvoja, projektiranje i građenje i pripremu za moguće potrese da se smanji potresni rizik i smanje šteta na seizmički aktivnim područjima. Za područje Hrvatske koristi se karte iz Eurokoda 8 (HRN EN 1998-1: 2011/NA-2011, Poredbeno vršno ubrzanje temeljnog tla tipa A, s vjerojatnosti premašaja od 10% u 50 godina za poredbeno povratno razdoblje 475 godina, izraženo u jedinicama gravitacijskog ubrzanja, g [15] do [19] i [3].



**Slika 11** (a) Zagreb\_KULTURA – sve Gradske četvrti [3], (b) Zagreb\_KULTURA – Donji grad i Gornji grad-Medvečak [3], (c) Zagreb\_preklop KULTURA Karta potresnih područja Grad Zagreb, (d) Zagreb\_preklop KULTURA – Tipovi temeljnog tla [6] (žuto = C, smeđe = A, tamno smeđe = B) [3]

Provadena su geotehnička i seizmička mikrozoniranja za Grad Zagreb (Elaborat 4), koriste se geomehanička istraživanja za pojedinu lokaciju i na temelju toga utvrđuje se geohazard (za Zagreb najznačajnija mogu bili klizišta. Podsljemenska zona, klizište Kostanjevica u Podsusedu i druga). Provode se ispitivanja kako bi se identificirali uvjeti temeljnog tla, provela razradba i odredili tipovi temeljnog tla prema Eurokodu 8 (tablica 3.1 - Tipovi temeljnog tla, HRN EN 1998-1:2011). Područje Zagreba pokriva 5 različitih potresnih zona s različitim potresnim hazardom. Od jugozapada prema sjeveroistoku ubrzanja su 0,20 g do 0,28 g. Donji grad i Gornji grad-Medvečak su na području s  $a_g = 0,26$  g (slika 11 (c) i [3]). Tip temeljnog tla za područje Zagreba je A, B i C. U četvrtima Donji grad, Gornji grad-Medvečak i većem broju drugih četvrti je tip C, a u prigradskim područjima je tip A ili B (slika 11 (d) i [6]). Oba pokazatelja, vršno ubrzanje tla  $a_g$  i tip temeljnog tla određuju potresni hazard, i utječu na potresnu silu.

#### 6.4 Seizmička analiza

Projektiranje potresno otpornih konstrukcija temelji se na seizmičkoj analizi, uključuje primjenu odredaba norma za projektiranje (Eurokodovi), kao i odabir konstrukcijskih elemenata i materijala koji mogu preuzeti potresna djelovanja na način da se smanji potresni rizik, rizik od oštećenja ili rušenja. Provodi se za pojedinu novu/rekonstruiranu ili obnovljenu zgradu nakon potresa i utvrđuje se potresna otpornost u skladu s postojećim propisima. Može se provesti i za određivanje oštetljivosti postojećih zgrada kulturnih dobara, odnosno za utvrđivanje sposobnosti da preuzmu djelovanja od potresa. Za takvu analizu treba provesti kategorizaciju prema tipu konstrukcije, materijalima, izvornim i stečenim nedostacima, vremenu građenja, tipu temeljnog tla, prema potresnom hazardu područja gdje su izgrađene. Nakon **utvrđenog potresnog hazarda i tipa temeljnog tla** provodi se **dinamička analiza** konstrukcije koja daje odziv konstrukcije na potresna djelovanja, uključuje dinamičke simulacije koje uzimaju u obzir oscilacije tla i interakciju konstrukcije sa tlom. Slijedi **evaluacija postojećih konstrukcija** i utvrđivanje njihove otpornosti na potres. Ako nemaju dovoljnu otpornost slijedi **planiranje mera pojačanja konstrukcije**, ovisno o njihovoj namjeni i razredu važnosti zgrada I., II. III. i IV. prema HRN EN 1998-1. Zatim se provodi **klasifikacija i utvrđuju prioriteti** na temelju odluka gradskih vlasti (javne zgrade). Važno je **redovno održavanje** da se očuva postojeća potresna otpornost i **suradnja institucija, vlasti i stručnjaka: inženjera, konzervatora, restauratora i drugih struka**, važna je **ekspozicija** sudionika i **jačanje svijesti vlasnika/korisnika** o potresnom riziku Zagreba.

## **6.5 Potresna otpornost zgrada**

### **6.5.1 Tipologija/konstrukcije/materijali, katnost**

Zgrade kulturna dobra u Zagrebu građene tijekom različitih razdoblja odlikuju se s različitim arhitektonskim stilovima, tipologijom/konstrukcijama, materijalima i tehnikama građenja. Tijekom vremena mnoge zgrade doživljavale su rekonstrukcije, dogradnje, promjene namjene i druge izmjene. Vertikalna nosivost ugavom zadovoljava zahtjeve današnjih propisa, a dokaz je trajanje tih zgrada dugi niz godina, znatno više od projektnog uporabnog vijeka (postojeći propis 50 godina za zgrade i 100 godina za monumentalne građevine), ali nemaju dovoljnu potresnu otpornost. Obzirom da potresno djelovanje nije stalno djelovanje taj se nedostatak uočava pri djelovanju potresa, što je zabilježeno u potresima, 1880. i 1906. godine te u nedavnom 2020. godine.

### **6.5.2 Upute i propisi za projektiranje**

Pri projektiranju i građenju najvećeg broja zgrada kulturnih dobara nisu uzimana u obzir potresna djelovanja (93 %) ili su proračunska potresna djelovanja bila znatno manja od stvarnih. Godine 1948. donesen je prvi dokument s uputama za projektiranje zgrada u potresnim područjima (*Privremenih tehničkih propisa za opterećenja zgrada (PTP-2)* (Sl. list FNRJ 61/48), a 1964. prvi tehnički propis (*Pravilnik o Privremenim tehničkim propisima za građenje u seizmičkim područjima* (Sl. list SFRJ 39/64).

### **6.5.3 Prikaz karakteristika zgrada kroz razdoblja gradnje**

#### **Razdoblje gradnje do 20. stoljeća**

Izgrađen je najveći broj postojećih zgrada koje su zaštićeno kulturno dobro (oko 62 %). Projektiranje i građenje temeljilo se je na graditeljskoj praksi vodećih graditelja (iz Austrije Njemačke i Italije) bez poznavanja građenja u potresnim područjima. [Potres 1880 godine prvi je događaj koji je ukazao na potrebu građenja zgrada koje će moći preuzeti i moguća potresna djelovanja bez rušenja ili većih oštećenja](#). U tom razdoblju najveći broj zgrada su zgrada sa zidem od opeke u vapnenom mortu, tj. nearmirano zide. Izvode se drvene stropne konstrukcije (drveni grednici), ili zidani svodovi i lukovi, plitki svodovi tz. pruski svod iznad podruma i prizemlja. Krovišta su drvena. Osim opeke glavni materijali za konstrukcije su kamen, drvo, čelik (čelični profili) a pred kraj 19. stoljeća počinje primjena betona. Gotovo sve zgrade imaju izvorene nedostatke, a mnoge i stečene. Dio nižih zgrada, jednoetažne i dvoetažne, koje imaju povoljnu tipologiju i konstrukcije, a posebno ako su izgrađene na gradskim bedemima, imaju određenu potresnu otpornost, što pokazuju oštećenja nastala u potresu, (prilog 1 Elaborat 7).

Razdoblje građenja do 19. stoljeća							
Kula Lotrščak – 13.st. Gornji grad Medveščak	Kamenita vrata 14.st. Gornji grad Medveščak	Kompleks Katedrale Uznesenja Marijina – 13.st.- dalej Gornji grad Medveščak	Crkva sv. Marka Evangelista – 15.st. Gornji grad Medveščak	Kurija prepoziture - 16.st. Gornji grad Medveščak	Palača Žirinski – 17.st. Gornji grad Medveščak	Plemićki konvikt – 2.pol 17.st. Gornji grad Medveščak	Stara gradска vijećnica – 17.st.Gornji grad Medveščak
Kuća Kamauf – 18.st. Gornji grad Medveščak	Kanonička kurija – na kaplolskom, bedemu- 18.st. Gornji grad Medveščak	Palača Erdödy-Drašković – na gradskim bedemima- 18.st. Gornji grad Medveščak	Prebenderska kurija 18.st. Gornji grad Medveščak	Ljetnikovac biskupa Galjufa-18.st Gornji grad Medveščak	Crkva sv. Ivana Krstitelja 18.st. Gornji grad Medveščak	Zgrada Lovački rog („Jägerhorn“) – 18.-19.st. Donji grad	Palača Babočaj-Gvozdanović – na gradskom bedemu – 18.-19.st. Gornji grad Medveščak

Razdoblje građenja 19. stoljeće							
Palača Banski dvori – početak 19.st. Gornji grad Medveščak	Kuća Stanković – 19.st. Donji grad	Kompleks arkada s crkvom Krista Kralja – 19.st. Gornji grad Medveščak	Kanonička kurija Ledinski – 19.st. Gornji grad Medveščak	Ljetnikovac Heinzel – 19. st. Gornji grad Medveščak	Ljetnikovac biskupa - 19. st. Gornji grad Medveščak	Kuća Jelačić 19.st. Gornji grad Medveščak	Palača Vranyczany d.p. 19.st. Donji grad
Palača Pristler d.p.19.st. Donji grad	Kuća Bukovac - d.p.19.st. Donji grad	Palača Demeterfy 19.st. Gornji grad Medveščak	Umjetnički paviljon d.p.19.st. Gornji grad	Palača Buratti - d.p.19.st. Donji grad	Zgrada Hrvatskog narodnog kazališta- d.p.19.st. Donji grad-	Zgrada Obrne škole i Muzeja za umjetnost i obrt- d.p.19.st. Donji grad	Evangelička crkva sa župnim dvorom- d.p.19.st. Donji grad

## Razdoblje gradnje u prvoj polovici 20. stoljeća

Izgrađeno je oko 31 % od ukupnog broja zgrada kultunih dobara. Projektiranje i građenje i dalje je pod utjecajem vodećih graditelja (Austro-Ugarska, Francuska, Austrija, Njemačka) koji nemaju znanja niti praktična iskustva za građenje zgrada otpornih na potresna djelovanja.

I dalje se najviše grade zidane zgrade s neamiranim zidom od opeke u vapnenom mortu, manje vapneno cementnom. Stropne konstrukcije su i dalje drveni grednici po etažama, a u podrumu uglavnom zidani svodovi, lukovi i pruski svodovi (do 1920.) koji su zamijenjeni u narednom razdoblju s rebrastim i sitnorebrastim armiranim stropnim konstrukcijama Nakon 1920. godine počinju se izvoditi i armiranobetonske konstrukcije. Manji dio su okvirne konstrukcije uglavnom u jednom smjeru. Mnoge imaju izvore i stečene nedostatke, (prilog 1 Elaborat 7).

## Razdoblje gradnje od 1950. - 1964.

Grade se zgrade s armiranobetonskim vertikalnim i stropnim konstrukcijama. Manji broj zgrada, do visine 6 etaže (zgrade Držićeva 76-84) izvode se i dalje zidane, ali s omeđenim zidom od zidnih elemenata od opeke ili betona, s monolitnim ili predgotovljenim betonskim stropnim konstrukcijama, manji broj od drvenih grednika (ljetnikovci). Dio zgrada (iza 1948.) trebale bi imati određenu potresnu otpornost, ali i dalje imaju izvore nedostatke. Izgrađeno je 30 pojedinačno zaštićenih kulturnih dobara (oko 6 %), 9 u Donjem gradu, 3 u Gornjem gradu-Medveščak i 18 u ostalim četvrtima, (prilog 1 Elaborat 7)..

## Razdoblje gradnje iz 1964. do 1985. godine (posljednja izgrađena zgrada kulturne baštine)

Zgrade se uglavnom armiranobetonske, s nosivim zidovima ili okvirnom konstrukcijom (sve češće prostornom). Obiteljske kuće i neke stambene zgrade i dalje su zidane s omeđenim zidom i s armiranim monolitnom ili montažnom stropnom konstrukcijom. Projektirane iz 1964. (prvi propis) imaju

razmjerno značajnu otpornost na djelovanje potresa u odnosu na zgrade iz ranijih razdoblja. Iz tog razdoblja su 3 pojedinačno zaštićena kulturna dobra (Donji grad, Gornji grad-Medveščak, Trešnjevka-jug), (prilog 1 Elaborat 7)..

## 6.6 Izvorni i stečeni nedostaci

Za potresnu otpornost bitna je struktura zgrade, konstrukcija i materijali nosive konstrukcije. S tim u vezi mnoge zgrade imaju izvorene nedostatke koje bitno utječu na oštetljivost, ali i stečene nedostate vezane na njihovo trajanje i uglavnom slabo održavanje. Nedostaci se određuju za pojedine vrste konstrukcija i razdoblje građenja, a ne za pojedinu zgradu.

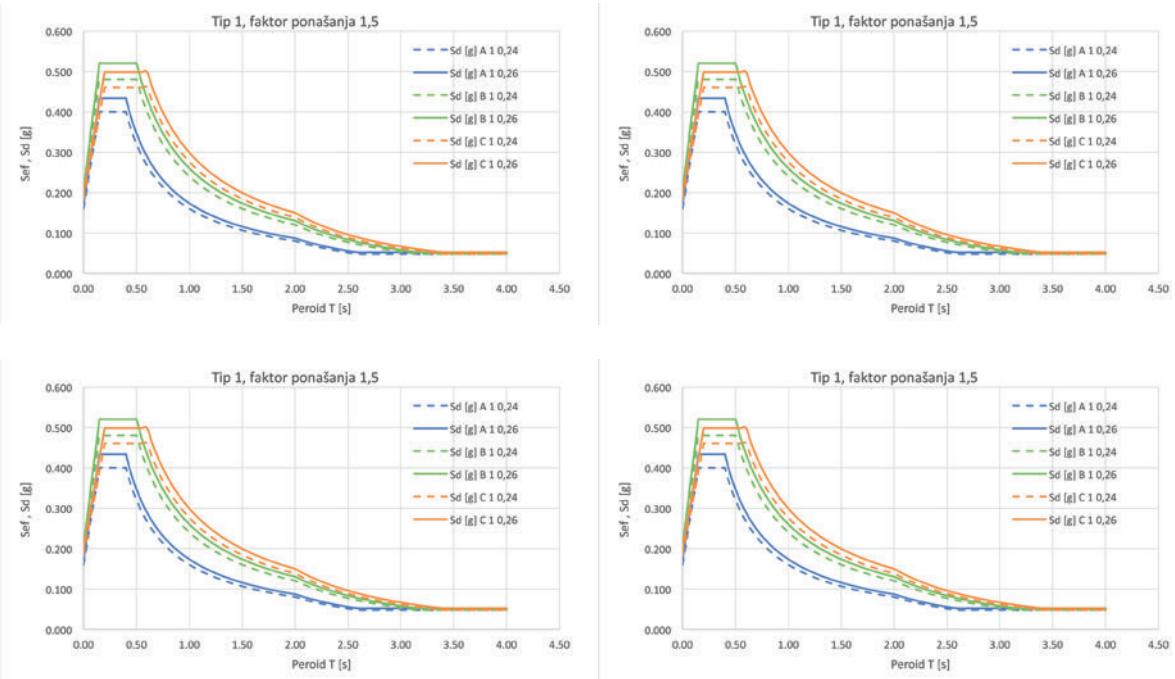
**Izvorni nedostaci zidanih zgrada** [14], koji uvjetuju ponašanje konstrukcije i važni su za ocjenjivanje rizika, odnose na sve zgrade građene prije 1948. (prve upute), odnosno 1964. (prvi propis). Međutim, dobre prakse građenja dijelom su kompenzirale moguće nedostatke. Izvorni nedostaci su: IN1 nosivi zidovi i stropne konstrukcije, IN2 nedovoljna krutost i nosivost zidova, IN3 izostanak veznih zidova, IN4 nepravilnosti u tlocrtu, IN5 nepravilnosti po visini, IN6 nedovoljna stabilnost zidova, IN7 nedovoljna stabilnost zidova okomito na njihovu ravninu, IN8 drvene stropne konstrukcije (drvni grednik), IN9 veze drvenih grednika i zidova, IN10 krovne konstrukcije, IN11 konstrukcije potkrovila/tavana, IN12 konstrukcija stubišta, IN13 temelj, IN14 konstrukcija podruma, IN15 ostali sklopovi/elementi zgrada, IN16 zidane s ab stropnom konstrukcijom. Stečeni nedostaci [14]. nastali su tijekom uporabe zgrada i na njih se može i mora i danas utjecati, s izuzetkom na starost. Stečeni nedostaci su: SN1 starost zgrada i neodržavanje, SN2 rekonstrukcija, SN3 nadogradnja/dogradnja, SN4 promjena uvjeta tla i SN5 prethodna izvanredna djelovanja.

**Izvorni nedostaci armiranobetonskih zgrada** [14] koji se odnose na zaštićena kulturna dobra zgrada građenih u drugoj polovici 20. stoljeća. Mogući izvorni nedostaci takvih zgrada su: NAB1 ukupna ploština ab zidova konstrukcije, NAB2 tlocrtna dispozicije) zidova, NAB3 promjena konstrukcije po visini, NAB4 mekani kat, NAB5 nepovoljno dispozicija zidova u pojedinom smjeru, NAB6 neduktilni ab zidovi (malo armiranini, slom od posmika), NAB7 neduktilni ab okviri (manjak spona, slom od posmika), NAB8 neduktilni čvorovi (plastični zglob), NAB9 kratki neduktilni stupovi, NAB9 svojstva betona i mali zaštitni slojevi i NAB10 nepovezani temelji. Stečeni nedostaci uglavnom su isti kao za zidane zgrade.

## 6.7 Proračun nosivosti

### 6.7.1 Djelovanja od potresa

Potresno djelovanje određeno je prema Karti potresnih područja RH iz Eurokoda 8 (HRN EN 1998-1:2011/NA2011). S obzirom na lokaciju vršna ubrzanja tla za tlo tipa A su različita, a različiti su i tipovi temeljnog tla. Određena su ubrzanja prema vršnom ubrzanju tla, tipu temeljnog tla i horizontalnim elastičnim spektrom odziva tipa 1 i tipa 2, faktoru ponašanja 1,5 i 2,0, uz faktor važnosti IF i faktor povjerenja FP koji također treba uzeti jer se radi o postojećim zgradama. Prikazani spektri uvrzanja su s faktorom važnosti IF=1,0 ali bez faktora povjerenja FP. (slika 12). Najviše zgrada, oko 79% je u četvrtima Donji grad i Gornji grad-Medveščak gdje je  $a_{gR} = 0,26g$  i tip tla C, ali navedeni su podaci i za druge druge četvrti. Za zidane konstrukcije mjerodavan je spektar na slici 12 (c).



**Slika 10** S (a) spektar tipa 1,  $q=1,5$ , (b) spektar tipa 1,  $q=2,0$ , (c) spektar tipa 2,  $q=1,5$ , (d) spektar tipa 2,  $q=2,0$

## 6.7 Proračun potresne sile prema HRN EN 1998-1:2011

Proračun je proveden za razne kombinacije tipova temeljnog tla, spektra odziva tipa 1 ili tipa 2, faktore ponašanja  $q$  i važnosti zgrada (IF).. Prepostavljena razina znanja je jednaka i faktor.  $FP_{RZ2} = 1,20$ .

**Tablica 1** Podaci za proračun potresne sile

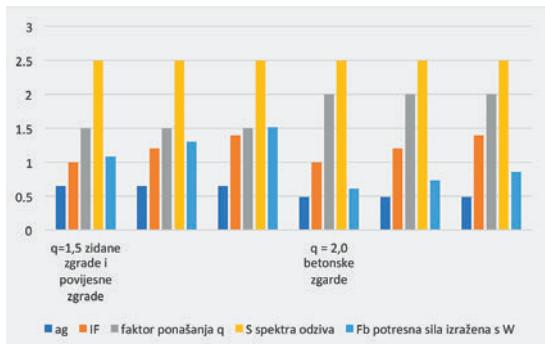
Tablica 7 Pretpostavke za proračun (moguće vrijednosti)								
PGA	Tip temeljnog tla	S za tip tla B ili C i spektar tipa 1	S za tip tla B ili C i spektar tipa 2	IF	Faktor povjerenja FPRZ2	Faktor korekcije prigušenja	Faktor ponašanja q	
		Faktor ponašanja q						
0,26 g	B	1,2	1,35	1	1,2	1	1,5	2,5

1 Vršno ubrzanje temeljnog tla tipa A (prema karti)	$a_{gR} = 0,28g$ do $a_{gR} = 0,22g$
2 Tip temeljnog tla B ili C	povećanje ordinate spektra $S = 1,2$ ili $S = 1,15$ za spektar odziva tipa 1 $S = 1,35$ ili $S = 1,5$ za spektar odziva tipa 2 (tablice 3.2 i 3.3. HRN EN 1998-1)
3 Faktor važnosti građevina	IF=1,0 (stambene/poslovne zgrade) ili IF=1,2 (obrazovne ustanove) ili IF=1,4 (važne bolnice i zgrade vlade), sakralne građevine IF = 1,2 ili 1,0
4 Prepostavljena razina znanja o zgradi i faktor povjerenja	$FP_{RZ2} = 1,20$ (tablici 3.1 HRN EN 1998-3)
5 Faktor ponašanja	$q = 1,5$ , a za postojeće zidane zgrade i sve povjesne zgrade $q = 2,0$ za zgrade s betonskom konstrukcijom
6 Faktor korekcije prigušenja	uz poredbenu vrijednost $\eta = 1$ za 5 %-tno viskozno prigušenje

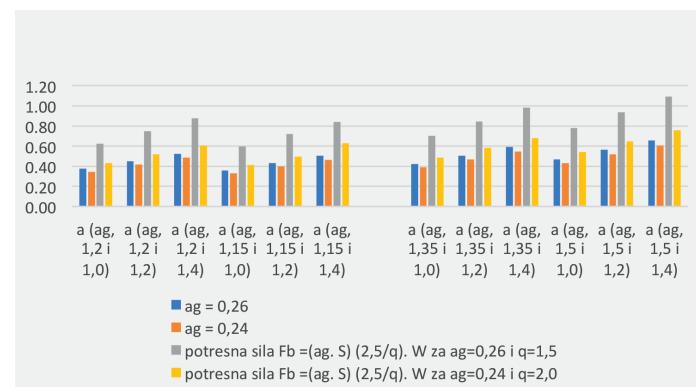
$$F_b = S_d(T_1) m \lambda \times IF \times FP_{RZ2} \quad (4.5 \text{ HRN EN 1998-1}), \text{ uključen IF i FP}$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_e(T) = a_g S \eta \times 2,5/q \quad (3.3 \text{ HRN EN 1998-1}) \times FP_{RZ2} \\ (\text{IF uključen u } a_g); \text{ proračunsko ubrzanje } a_g = 0,26g \times S \times \text{IF}$$

Za proračun uzete su vrijednosti: za zidane zgrade u četvrtima Donji grad i Gornji grad-Medveščak  $a_{gr} = 0,26$  g, tip tla C i  $q=1,5$ , za ab zgrade  $a_{gr} = 0,24$  g, tip tla B i  $q=2,0$  za ostale četvrti, (slike 13 i 14).



**Slika 13** Proračunsko ubrzanje tla i potresne sile - moguće vrijednosti



**Slika 14** Proračunsko ubrzanje tla i potresne sile za zidane konstrukcije i za ab konstrukcije

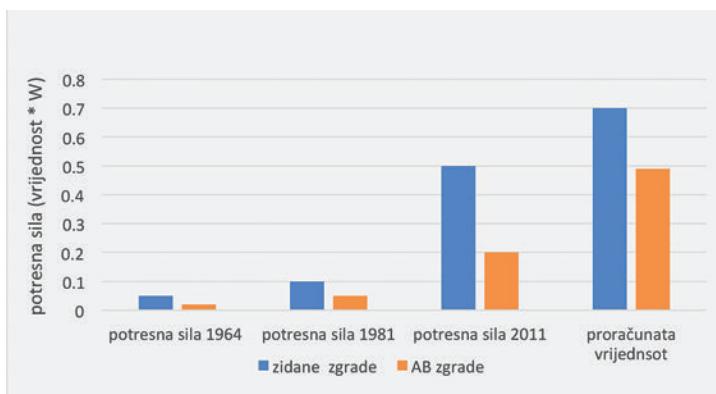
## 6.7.2 Potresna sila za pojedina razdoblja gradnje, analiza i zaključak

Prema propisima o potresno otpornim građevinama cijelo razdoblje gradnje zgrada koje su zaštićeno kulturno dobro možemo podijeliti u tri razdoblja (zadnja izgrađena 1985.), (vidi tablicu 2).

**Tablica 2** Potresna sila za pojedina razdoblja gradnje prema propisima

do 1964.	za Zagreb 1964.	za Zagreb 1981.
Potresna sila = 0 za stare zidane zgrade velike važnosti	Pravilnik (Sl. list SFRJ 39/64) - seismološka karta Jugoslavije iz 1950. - projektna seizmičnost za obične zgrade VII, VIII, IX - za posebne zgrade (kazališta, muzeji i sl) VIII, IX, (IX) x 1,50 - seizmička sila: $S_{ik} = K_c \times \beta_1 \times \eta_{ik} \times Q_k$ koeficijent $\eta_{ik} = h_k \times (\sum Q_j \times h_j) / (\sum Q_j \times h_j^2)$ zona IX, srednje tlo i obične zgrade $\rightarrow S_{ik} = 0,10 \times 1,5 \times 1,0 \times Q_k = 0,15 Q_k$ zona IX, srednje tlo i važne zgrade $\rightarrow S_{ik} = 0,10 \times 1,5 \times 1,5 \times Q_k = 0,225 Q_k$ <i>Zagreb zona IX- sjeverno od Ul grada Vukovara i istočno od Savske c</i>	$S = K \cdot W$ (W - masa građevine ) $K = K_0 \cdot K_a \cdot K_d \cdot K_p$ $K_0 = 1,0$ kategorija važnosti $K_a = (0,025 - 0,050 - 0,100)$ koeficijent seizmičkog intenziteta (VIII <sup>o</sup> MCS) $K_d = (1,0)$ koeficijent dinamičnosti $K_p = (1,0 - 2,0)$ koeficijent duktiliteta i prigušenja ( $\bar{A}B=1,0$ , $ZZ=2,0$ ) zidana zgrada $S_{max} = 0,10 W$ AB zgrada $S_{max} = 0,05 W$

Prema postojećim propisima za područje s  $a_{gr} = 0,26g$  potresna sila iznosi  $F_b = 0,70 W$  do  $F_b = 1,09 W$ , ovisno o tipu temeljnog tla i o važnosti građevine. Spektar tipa 2 primjenjuje se od 2021. (HRN EN 1998-1:2011/NA 2011:A1-2021). Zgrade zaštićeno kulturno dobro ne mogu preuzeti takve horizontalne sile, iako imaju određenu potresnu otpornost, Uz realno izvediva pojačanja i razumne troškove mogla bi se postići otpornost zidanih zgrada na potresnu silu  $F_b = 0,30 W$  koja odgovara vršnom ubrzaju temeljnog tla  $a_{gr} = 0,125 g$ . To odgovara potresnom ubrzaju za 95-godišnje povratno razdoblje uz faktor važnosti zgrade IF=1,0 (stambeno-poslovne zgrade). Vjerojatnost potresa s povratnim razdobljem 95 godina za uporabni vijek građevine 50 godina iznosi  $P_{95} = 1 - (1 - (1/95))^{50} = 0,40$  ili 40 %. Za armiranobetonske okvirne konstrukcije građene prije 1964. godine primijenila bi se ista potresna sila  $F_b = 0,30 W$ .



a)



b)

**Slika 15** Usporedba potresnih sile prema propisima  
(b) Usporedba potresne sile prema propisima.[14]

## 6.8 Potresni rizik

### 6.8.1 Općenito o potresnom riziku

Potresni rizik određuje potresni hazard, izloženost, oštetljivost, lokalno tlo i trošak obnove.



**Slika 16** Slika 16 Izvor [8]

Dan je grafički prikaz, proračunate vrijednosti za dva primjera za Zagreb 1964. za prizemnicu i zgradu P+2 i usporedba potresne sile prema propisima od 1964. do 2017.

**Seizmički hazard** je određen na temelju karata seizmičnosti područja (vidi točku 1.3, slika 11 ( c ).

**Izloženost** određuje gustoću naseljenosti koja je različita po četvrtima (vidi točku 1.2.4, slika 10).

**Oštetljivost** ovisi o starosti zgrade, tipologiji, vrsti konstrukcije i materijalima, primjeni propisa u vrijeme građenja, održavanju, rekonstrukcijama, o izvornim i stečenim nedostacima. Bitno je tlo (amplifikacija, tipovi temeljnog tla) a važne su i moguće promjene u tlu (za Zagreb klizišta). Trošak nakon obnove u Elaboratu nije razmatran.

### 6.8.2 Oštetljivost

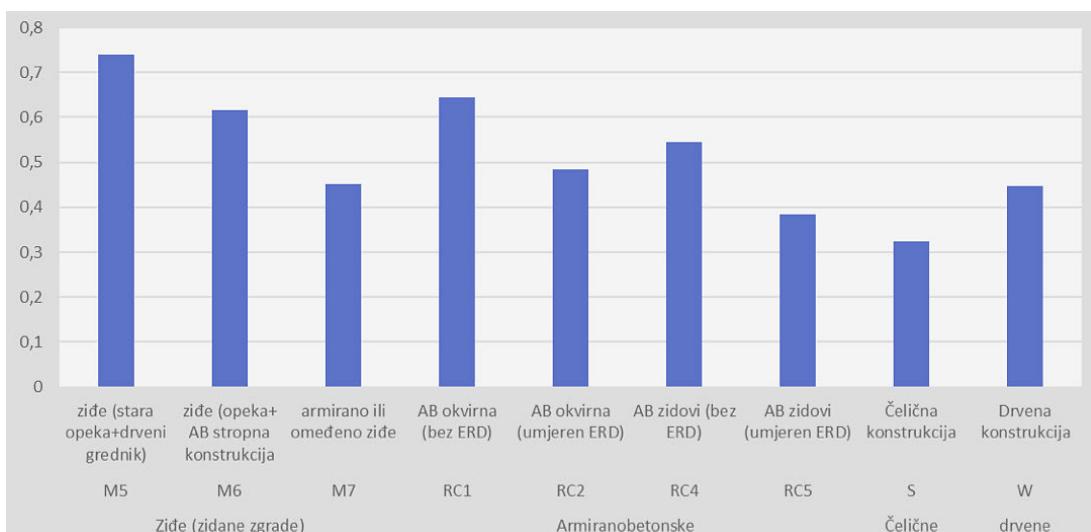
Oštetljivost je određena na temelju vrijednosti indeksa oštetljivosti za određene tipologije/konstrukcije zgrada prema podacima iz literature za indeks oštetljivosti [11 ], [10 ]. Utvrđena je bez primjene propisa, što je prikladno za kulturna dobra. Za zidje odabran je tip M5 M6, M7, a za armiranobetonske zgrade tip RC1, RC2, RC4 i RC5, uzete su srednje vrijednosti indeksa oštetljivosti  $V_0$  jer ne postoje stvarni podaci o pojedinoj zgradi.

Typologies		Building type	Vulnerability indexes				
			V min	V -	V0	V +	V max
Masonry	M1	Rubble stone	0.62	0.81	0.873	0.98	1.02
	M2	Adobe (earth bricks)	0.62	0.687	0.84	0.98	1.02
	M3	Simple stone	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
	M4	Massive stone	0.3	0.49	0.616	0.793	0.86
	M5	U Masonry (old bricks)	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
	M6	U Masonry - r.c. floors	0.3	0.49	0.616	0.79	0.86
	M7	Reinforced /confined masonry	0.14	0.33	0.451	0.633	0.7
Reinforced concrete	RC1	Frame in r.c. (without E.R.D.)	0.3	0.49	0.644	0.8	1.02
	RC2	Frame in r.c. (moderate E.R.D.)	0.14	0.33	0.484	0.64	0.86
	RC3	Frame in r.c. (high E.R.D.)	-0.02	0.17	0.324	0.48	0.7
	RC4	Shear walls (without E.R.D.)	0.3	0.367	0.544	0.67	0.86
	RC5	Shear walls (moderate E.R.D.)	0.14	0.21	0.384	0.51	0.7
	RC6	Shear walls (high E.R.D.)	-0.02	0.047	0.224	0.35	0.54
Stell	S	Steel structures	-0.02	0.17	0.324	0.48	0.7
Tiber	W	Timber structures	0.14	0.207	0.447	0.64	0.86

Slika 17 izvor S. Giovinazzi [11]

Tablica 10 Oštetljivost		
Tipologija zgrade	Tip zgrade	Indeks oštetljivosti V0 (srednji)
zide (zidane zgrade)	M5 zide (stara opeka+drveni grednik)	0,74
	M6 zide (opeka+ AB stropna konstrukcija)	0,616
	M7 armirano ili omedeno zide	0,451
	RC1 AB okvirna (bez ERD)	0,644
	RC2 AB okvirna (umjeren ERD)	0,484
	RC4 AB zidovi (bez ERD)	0,544
armiranobetonske	RC5 AB zidovi (umjeren ERD)	0,384
	čelične	0,324
	drvene	0,447

Slika 18 Tablica 10 iz Elaborata



Slika 19  $V_0$  (srednji) za razne tipologije

### 6.8.3 Ocjenjivanje potresnog rizika

Ocenjivanje potresnog rizika (Seismic Risk Assessment, SRA) temelji se na analizi seizmičkog hazarda i ocjeni oštetljivosti zgrade. Za potrebe Elaborata uzeta je metodologija „*ulični pregled*“ grupe autora s Eskisehir Osmangazi University, Turkey [12] koja se temelji na pregledima, na opažanjima i bodovanju zgrada za odabrane parametre: starost zgrade, broj katova iznad razine tla, postojanje mekog kata (otvori u prizemlju, kolni ulaz), kratki stupovi (često kod AB zgrada), teški prepusti (velike istake i balkonii), učinak sudara (susjedne zgrade, različiti broj katova stvara interakciju između zgrada), topografski učinci (moguća klizišta), vizualna kvaliteta gradnje i potresno područje (PGA). Viszulana kvaliteta gradnje (uključuje održavanje):klasificira se kao „*dobra*“, „*umjerena*“ ili „*loša*“. Razdoblje ocjenjivanja potresnog rizika određuje vrijeme postojanja propisa (1948. prve upute, 1964. prvi propisi) ili bez propisa. Najveći broj zgrada izgrađen je bez propisa. Uzeto je razdoblje veće od 75 godina.[12].

Tablica 11 Faktori rizika iz navedenog članka

Table 1.Risk Factors													
Number of Story	Base Score (B.S)	Risk Factors							Age of Building				
		Soft Story *	Heavy Overhang *	Short Column *	Pounding Effect *	Topographic Effect *	Visual Construction Quality **	2007-	2000-2006	1997-1999	1976-1996	-1975	
1-2-3	130		-5	-5	-5	0	0	-5	0	0	-3	-5	-10
4-5	120	Score Reduction Values (S.R.V)	-10	-10	-5	-2	0	-5	0	0	-10	-15	-15
6	110		-15	-15	-5	-3	0	-10	0	0	-15	-20	-25
7	100		-20	-15	-10	-5	-2	-10	0	-3	-20	-25	-30
8 or more	90		-25	-20	-10	-5	-2	-15	0	-5	-25	-30	-35

\* V.P.M = 1 if the risk factor exist; otherwise 0.  
\*\* V.P.M = 2 if the visual construction quality is "poor", V.P.M=1 if it is "moderate", V.P.M=0 for "good" condition

Slika 20 Faktori rizika iz Elaborata

Tablica 12 Tablica za ocjenu potresnog rizika

Table 2.Earthquake Risk Scores (E.R.S)				
Earthquake Risk Score (E.R.S)	E.R.S. $\leq$ 30	30 < E.R.S. $\leq$ 70	70 < E.R.S. $\leq$ 100	100 < E.R.S.
Risk Status	High	Moderate	Low	No risk

Prijevod teksta iz tablice.

Tablica 2: rezultat potresnog rizika (E.R.S)

Status rizika: Veliki, umjereni, mali, nema rizika.

Slika 21 Tablica 12 za ocjenu potresnog rizika iz Elaborata

Prvi korak u metodologiji je pregled, utvrđivanje i ocjena parametara, slijedi ocjena rizika od potresa (Earthquake Risk Score – E.R.S.) i na kraju, ovisno o E.R.S. bodovima, zgrada se svrstava u razred: „*veliki rizik*”, „*umjereni rizik*“ ili „*mali rizik*“.

Određen je potresni rizik za reprezentativan tip zidane zgrade kulturno dobro u Zagrebu. Ulazni podaci: starost  $> 75$  godina, katnost 1-2-3 kata, ima mehani kat, zgrada je u nizu, potresni hazard PGA= 0,26 g. vizualna kvaliteta „*umjereni*“ (slika 22).

Umanjenje zbog starosti ( $> 75$  godina) odgovara vremenu prvih uputa u RH (1948.). Upitan je podatak za „osnovni rezultat“ jer su korišteni podaci iz Turskog primjera koji se odnose na armirano-betonske zgrade [12]. Potresni hazard iz Turskog primjera uglavnom odgovara potresnom hazardu za Zagreb (ocjenjeni grad je u zoni 2, dogođeni potres M=6,4 Turska ima 4 zone, Zona 2 s PGA=0,3) (slika 22).

Tablica 13 Primjer za slučaj - ocjena potresnog rizika		
	status	bodovi
Broj katova	1-2-3	130
Starost gradenja	$> 75$	-35
Mekani kat	da	-5
Teški prevjes	ne	0
Kratki stup	ne	0
Učinak sudara	da	-3
Topografski učinak	da	-2
Kvaliteta konstrukcije utvrđena vizualno	MOD	-15
Rezultat		70

Slika 22 Tablica 11 Ocjena iz Elaborata

$$E.R.S = B.S + \sum [S.R.V \times V.P.M]$$

E.R.S - ocjena rizika od potresa (Earthquake Risk Score)

B.S - osnovni rezultat (broj bodova) (Base Score) - ovisi o katnosti zgrade i potresnom hazardu i inicijalni je pokazatelj rizika

S.R.V - vrijednost smanjenja rezultata (Score Reduction Value) - ) ovisi o faktorima rizika koji uključuju tipologiju/konstrukciju, vizualnu kvalitetu konstrukcije i starost zgrade. Korišteni su faktori rizika iz metodologije [12]

V.P.M - umnožak parametra oštetljivosti (Vulnerability Parameter Multiply),- ovisi o utvrđenom stanju zgrade na temelju pregleda → “ vizualna kvaliteta konstrukcije” - V.P.M = 2 “loša”, V.P.M = 1 “umjereni loša”, V.P.M = 0 “dobra”.

Na temelju E.R.S. bodova zgrada se svrstava u razred: veliki rizik, umjereni rizik ili mali rizik.

## **6.9 Rezime**

### **6.9.1 Zgrade kulturna dobra**

Na području Zagreba registrirano je 491 pojedinačno zaštićeno kulturno dobro, od toga 473 zgrade koje su smještene unutar pojedine kulturno povijesne cjeline (ukupno 28 cjelina) ili su pojedinačne građevine. Sve zaštićene zgrade i kulturno povijesne cjeline upisane su u Registar kulturnih dobara RH i (Ministarstvo kulture i medija). Gradski zavod za zaštitu spomenika kulture i prirode izradio je Galeriju nepokretnih kulturnih dobara grada Zagreba.

Zgrade kulturna dobra uglavnom su smještene u četvrtima Donji grad (155) i Gornji grad -Medveščak (221), a manji broj u ostalim četvrtima (98). U razdobljima do 19. st. u četvrti Gornji grad- Medveščak izgrađeno je najviše 99 od 137 zgrada, kao i u 19 st. kad je izgrađeno 69 od 155 zgrada. U prvoj polovini 20. st. najviše 70 od ukupno 148, izgrađeno je u četvrti Donji grad. U drugoj polovici 20. st. izgrađeno je 30 zgrada, 9 u četvrti Donji grad, 3 u četvrti Gornji grad-Medveščak i 18 u drugim četvrtima. Samo 3 zgrade su izgrađene nakon 1964. godine.

Smještaj zgrada u odnosu na potresni hazard je različit. Najveći broj zgrada u četvrtima Donji grad i Gornji grad-Medveščak, prema karti potresnih područja RH, nalazi se u području s  $a_{gR} = 0,26 \text{ g}$  (vidi točku 1.3). Zgrade u drugim gradskim četvrtima su unutar područja s  $a_{gR} = 0,24 \text{ g}, 0,22 \text{ g}$  i  $0,20 \text{ g}$ , i u najsjevernijim četvrtima s  $a_{gR} = 0,28 \text{ g}$ . Prema odabranoj karti mikrozoniranja kulturna dobra na lokaciji Donji grad i Gornji grad-Medveščak i njima graničnim četvrtima su na temeljnem tlu tip C. Četvrti koje obuhvaćaju sjeverne dijelove i jugozapadni dio grada su na tlu tipa A i B, a najsjeverniji dijelovi na tlu tip A, (vidi točku 1.3, slika 11 (c)). Gustoća naseljenosti najveća je u četvrti Donji grad, oko 4 puta veća nego naseljenost u četvrti Gornji grad-Medveščak (vidi točku 1.2.4, slika 10).

Namjena građevina je različita: 219 zgrada su stambene/poslovne, 110 su javne namijenjene zdravstvu, obrazovanju ili kulturi, 40 su sakralne građevine a ostalo su gospodarske, vojne, industrijske ili memorijalne građevine (vidi točku 1.2.2, slike 3 i 4 i 6 do 8).

### **6.9.2 Potresna otpornost, potresni rizik i oštetljivost**

Povijesni i urbanistički razvoj Zagreba bio je različit u pojedinom razdoblju i zgrade imaju graditeljska obilježja vremena građenja (tipologija/konstrukcije i materijali). S tim u vezi imaju izvorene ali i stečene nedostatke (ovise o starosti, održavanju, rekonstrukciji i nepredviđenim događanjima).

Potresna otpornost zgrada ovisi o tipologiji, konstrukciji, katnosti, izvornim i stečenim nedostacima i primjeni propisa za građenje u potresnim područjima, što u slučaju zgrada koja su kulturna dobra nije relevantno s obzirom da su gotovo sve izgrađene prije donesenih propisa (oko 93 %). Zgrade nemaju potresnu otpornost zahtijevanu današnjim propisima (vidi točku 1.5). Znanja o ponašanju povijesnih zgrada u potresima pa i iskustva nedavnog potresa u Zagrebu pokazuju da zgrade posjeduju određenu potresnu otpornost. To se posebno odnosi na zidane zgrade male katnosti, relativno simetričnog tlocrta (nemaju izduženu jednu os), izgrađene na gradskim bedemima Gradeca ili Kaptola, koje nisu doživjele brojne rekonstrukcije, koje su od materijala boljih svojstava i kvalitetnije građene i koje su primjereno održavane (javne zgrade imaju prednost pred stambenim). Ispunjavaju temeljni zahtjev mehaničke otpornosti i stabilnosti za redovna djelovanja i prema važećim propisima. Oštetljivost takvih zgrada ocijenjena je sa srednjim indeksom oštetljivosti (vidi točku 1.8.2) a moguće je određivanje oštetljivosti i detaljnije nego što je dano u Elaboratu (krivulje oštetljivosti), ali to zahtjeva dodatne informacije o zgradama ili podatak o izraženoj šteti kao % zamjene zgrade. Potresni hazard je relativno dobro definiran (karte i tipovi temeljnog tla), izloženost je prihvatljivo određena (gustoća naseljenosti po četvrtima).

### **6.9.3 Ocjena potresnog rizika**

Glavni cilj Elaborata nije donijeti ocjenu potresnog rizika pojedino zaštićenog kulturnog dobra, već utvrditi generalno oštetljivost i potresni rizik tih zgrada. Ocijenjeni rizik odnosi se za jedan karakterističan tip zgrada, prema katnosti, starosti, konstrukciji i drugim relevantnim faktorima rizika. Broj katova i starost zgrade su najznačajniji parametri za određivanje oštetljivosti zgrada uz izvorene i stечene nedostatke.(vidi točku 1.8.3). Sve zgrade su stare više od 75 godina, izgrađene su prije propisa iz 1964. godine, što prema metodologiji bitno smanjuje osnovni broj bodova za pojedinu zgradu (oko 30 %). Dobivena je vrijednost E.R.S=70 pa je potresni rizik „*umjeren*“. Za većinu zgrada, posebno stambene/poslovne namjene i veći dio zgrada javne namjene, može se zaključiti da imaju „*umjeren potresni rizik*“. To je kontradiktorno ako se uspoređuju potresne sile za koje su zgrade projektirane i građene (bile su nula), iz čega bi proizlazilo da nemaju potresnu otpornost i time imaju „*veliki potresni rizik*“. Međutim praksa građenja i nastala oštećenja u potresu (potres Zagreb 2020 ) dozvoljava takvu ocjenu rizika. Sakralne građevine i javne zgrade većeg razreda važnosti III. ili IV. prema HRN EN 1998-1. treba pojedinačno ocijeniti.

### **6.10 Preporuke za nove projekte i primjenu**

Korisno je razviti ovdje navedenu metodologiju „*ulični pregled*“ a koja je prikazana i primijenjena u Elaboratu. (vidi točku 1.8.3). Obzirom da su zgrade kulturna dobra uglavnom zidane građevine (93 %) potrebno je u narednim projektima provjeriti primjenu metodologije na 30 do 50 pojedinih zgrada stambeno/poslovne i javne namjene. Prije provođenja „*uličnog pregleda*“ treba utvrditi (a) mogu li se koristiti osnovni rezultati (B.S.) direktno i za zidane zgrade (u primjeru za armiranobetonske), (b) je li dovoljno definiranje starosti zgrada više od 75 godina, (c) kako potresni hazard utječe na potresni rizik, (d) kakav je udio pojedinih parametara na umanjenje osnovnog rezultata (B.S).

Potrebno je odrediti oštetljivost odabranih zgrada prema „stvarnoj“ vrijednosti indeksa oštetljivosti  $V_0$  (sada uzeta srednja vrijednost  $V_0$ ) a moguće i prema krivuljama oštetljivosti.

Metodologija „*ulični pregled*“, trebala bi se primijeniti kod utvrđivanja prioriteta zgrada za detaljna istraživanja i određivanja pojedine zgrada za povećanje njezine potresne otpornosti. Posebno je to važno kad se radi o javnim zgradama. Rezultati dobiveni tom metodologijom mogu biti putokaz prema kojem će se odabранe zgrade svrstati u nekoliko kategorija/razreda potresnoga rizika, a detaljnog analizom potresne otpornosti svake pojedine zgrade može se dati odgovor utemeljen na današnjim postignućima znanosti. Ostaje pitanje troškova obnove, ova metodologija to ne razlikuje od štete nastale na zgradama.



**Autori poglavlja: dr. sc. Maja Baniček, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Hrvatski centar za potresno inženjerstvo, izv. prof. dr. sc. Marta Šavor Novak, izv. prof. dr. sc. Josip Atalić, izv. prof. dr. sc. Mario Uroš**

## 7. Elaborat kartografija

### 7.1 Uvod – općenito o elaboratu Kartografija

U ovom je elaboratu objašnjen je način prikazivanja karata potresnog rizika na urbanoj razini. Na **kartam izloženosti** prikazani su i opisani različiti načini prikazivanja prostorne raspodjele podataka iz modela izloženosti i to zasebno za model izloženost zgrada, izloženost stanovništva te ekonomsku izloženost. Rezultati procjene rizika od potresa za neko područje izražava se ukupnim vrijednostima i prostornim distribucijama štete i gubitaka na konstrukcijskim i nekonstrukcijskim elementima zgrada te finansijskih (ekonomskih) gubitaka, dok se socijalni (društvenih) gubici prikazuju procijenjenim brojem poginulih ili ozlijedenih ljudi uslijed mogućeg potresnog događaja, a najčešći uzroci su rušenje zgrada. Proračun se provodi determinističkim pristupom, nakon događaja nekog potresa, odnosno, primjenom ostvarenog scenarija potresa, ili probabilističkim pristupom primjenom postojećih zapisa potresa zabilježenih u promatranom području. Dobiveni rezultati prikazuju se **kartama potresnog rizika**.

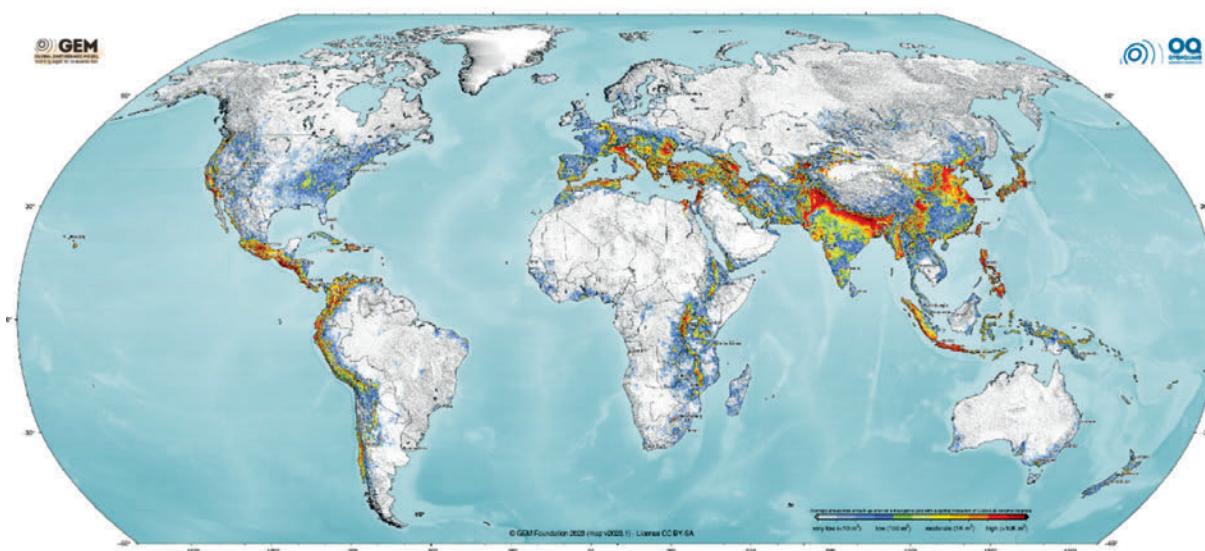
Karte potresnog rizika mogu se koristiti u različite svrhe u području upravljanja katastrofama. Informacije o područjima s potencijalnim visokim potresnim rizikom mogu se koristiti već u samom prostornom planiranju. Također, prostorna raspodjela različitih zona potresnog rizika može pomoći kod upravljanja u hitnim situacijama kako bi se istaknula područja u kojima su potrebna veća sredstva za smanjenje rizika. Službe za upravljanje hitnim situacijama mogu koristiti karte potresnog rizika za planiranje kapaciteta i u odlučivanju o lokaciji hitnih službi. Karta rizika se može koristiti i nakon potresa za određivanje područja pogodnih za uspostavljanje privremenog skloništa ili planiranje popravaka i rekonstrukcije oštećenih zgrada. Kako bi se pomoglo službama za upravljanje hitnim situacijama i donositeljima odluka u aktivnostima prije i nakon nekog katastrofnog potresnog događaja, izrađuju se tzv. **profile spremnosti i odgovora na hitne slučajeve za scenarij potresa** te **profile za dugoročno smanjenje rizika i upravljanje** za promatrano područje. Navedeni profile slikovito i statistički prikazuju rezultate procjene potresnog rizika, te su primjeri takvih profila opisani u ovom elaboratu.

Prateći najsuvremenije alate i trenutna saznanja u području potresnog rizika, i u sklopu ovog projekta planirano je korištenje metoda i postupaka procjene rizika koje neprestano razvija i osvremenuje **Zaklada Global Earthquake Model (GEM)**. Jedna od glavnih aktivnosti Zaklade GEM je razvijanje programskog paketa **OpenQuake** za proračun potresnog rizika kojim se dobivaju rezultati u obliku tablica unaprijed pripremljene za njihovo prikazivanje prostornom raspodjelom na kartama. U okviru ovog projekta planirana je provedba proračun potresnog rizika upotrebom navedenog programskog paketa te prikazivanje rezultata na kartama na razini mjesnih odbora. Analiza rezultata provodi se vizualnim i programskim skriptama uz pomoću kojih se rezultati prikazuju u prostornom (3D) pogledu zajedno s kružnim grafikonima koji pokazuju odnose analiziranih podataka. Takvim kartama pokušavaju se naglasiti područja s većim potresnim rizikom uzimajući u obzir sva tri indikatora: fizikalna šteta, društveni indikator i ekonomski indikator iskazan gubicima.

## 7.2 Global Earthquake Model (GEM) i programski paket OpenQuake (OQ)

U slučaju procjene potresnog rizika na području većih gradova i država radi o bazama velikog broja podataka raspodijeljenih u prostoru koji se obično prikazuju kartama, a preklapanje tih podataka korištenjem određenih metoda i analiza za procjenu potresnog rizika dugotrajan je postupak. Potaknuta navedenim problemima zajednica stručnjaka i znanstvenika u području potresnog inženjerstva i procjene rizika sve više teži ujednačenom načinu prikazivanja pojedinih podatka na kartama kako bi se razvio potresni model na globalnoj razini. Primjer dobre prakse u području procjene potresnog rizika su alati koje je razvila Zaklada GEM. Jedan od njihovih glavnih alata je programski paket **OpenQuake (OQ)** (Silva i dr., 2014) za proračun potresne opasnosti (hazarda) te potresnog rizika. Slijedeći najnovije standarde u razvoju navedenog programskog paketa, kojemu je glavno svojstvo da je to niz programskih skripti otvorenog tipa (eng. *Opensource*), OQ se neprestano razvija i nadograđuje uz pomoć zajednice i najboljih stručnjaka iz područja procjene potresne opasnosti i rizika. Cilj i krajnji proizvod Zaklade GEM je **globalni model potresnog rizika** za područje cijelog svijeta (slika 1).

Programski paket OpenQuake (OQ) vrlo je moćan alat koji se sastoje od dva glavna modula, a to su **modul za proračun potresne opasnosti** te **modul za proračun potresnog rizika** (Silva i dr., 2014). Navedena dva modula zajedno se sastoje od niza kalkulatora za proračun procjene ljudskih i ekonomskih gubitka za izloženi fond zgrada u promatranom području uzimajući pritom u obzir zadani scenarij potresnog događaja ili vjerojatnost svih mogućih potresnih događaja koji se mogu dogoditi unutar promatranog područja za određen vremenski interval. Rezultati proračuna oba navedena modula su podaci pripremljeni u obliku tablica za prikazivanje na kartama distribuirani u odnosu na neki određeni atribut.



Slika 1 Globalna karta srednjeg godišnjeg gubitka po ukupnoj izgrađenoj površini (Silva i dr., 2023)

## 7.3 Prikazivanje modela izloženosti – karte izloženosti

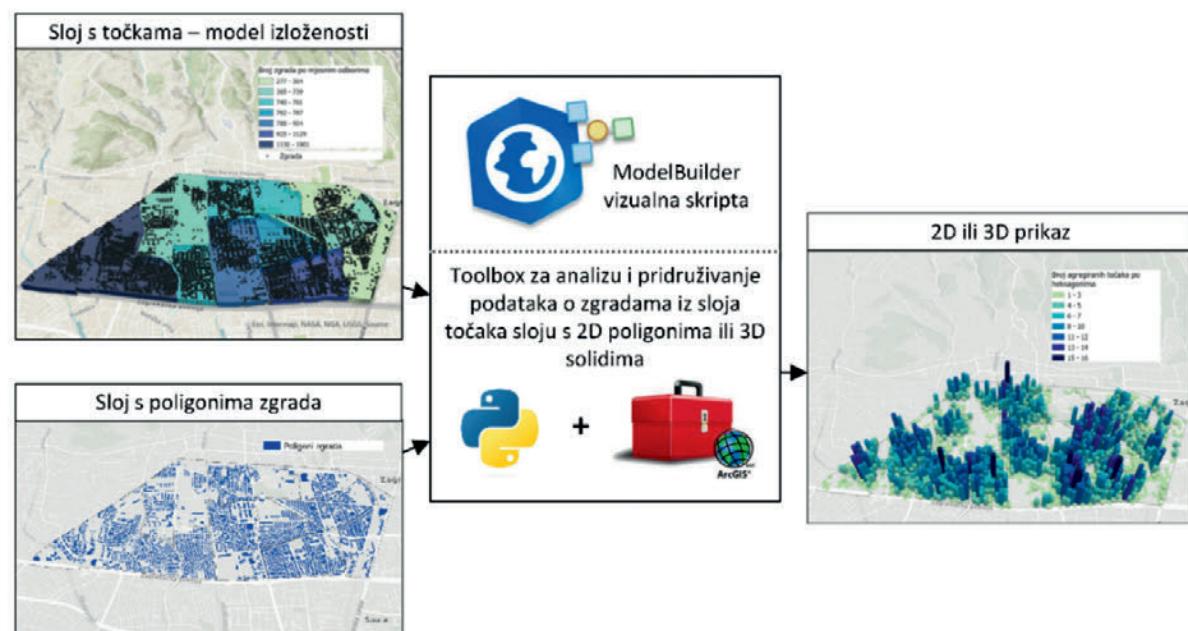
Za prikazivanje raspodjele u prostoru i analizu ključnih podataka **modela izloženosti** kao što su broj etaža iznad razine tla (katnost), tip konstrukcije, materijal i tip konstrukcije, broj stanovnika, koji se prikazuju na kartama dvodimenzijskim i trodimenzijskim prikazima, te pridruživanje boja i simbola vrijednostima tih podataka automatiziran je i ubrzan primjenom posebno izrađenih programskih skripti. Tim se skriptama obrađeni podaci o zgradama iz sloja točaka pridružuju sloju s 2D poligonima tlocrta zgrada ili pak sloju koji sadrži 3D solide (prostorne elemente koji predstavljaju zgrade s njihovim

visinama u prostoru). Shematski prikaz jedne takve vizualne skripte izrađene u programskom paketu ArcGIS Pro (ESRI, 2023) prikazan je na slici 2. Glavni dio skripte predstavlja takozvani „Toolbox“ za prostornu obradu podataka (eng. *Geoprocessing*) koji sadrži skripte napisane korištenjem programskog jezika Python. Priprema prikaza rezultata automatizirana je i ubrzana primjenom programskih skripti koje agregiraju pojedine podatke iz sloja točaka sloju s dvodimnezijskim ili trodimenzijskim poligonima ili šesterokutima (heksagonima). Primjeri karata dobivenih korištenjem opisanih vizualnih skripti prikazani su na slici 3, gdje je na prostornim prikazima prikazana raspodjela zgrada u odnosu na period godina izgradnje.

**Karta izloženosti zgrada** na području grada Zagreba prikazana je na slici 4.a, a predstavlja ukupni agregirani broj zgrada u rasteru heksagona veličine 250 m. Visina tih heksagona predstavlja agregirani broj zgrada, a veći broj agregiranih zgrada još više ističe i tamnjim nijansama boja.

**Model izloženosti stanovništva** je obično sadržan u modelu izloženosti zgrada, a sadrži podatke o broju stanovnika, odnosno, broju korisnika pojedine zgrade ili na razini manjih područja unutar administrativnih granica gradskih četvrti, mjesnih odbora ili pak popisnih krugova. Primjer raspodjele broja stanovnika za područje grada Zagreba prikazan je na slici 4b.

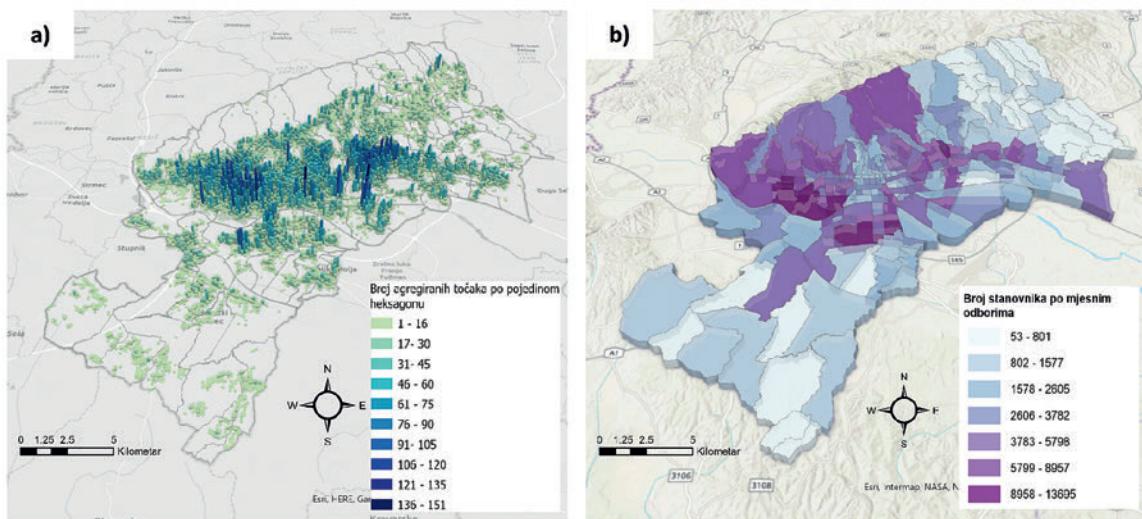
**Ekonomski izloženost** sadrži podatke o vrijednosti koja se obično izražava cijenom koštanja zamjenske zgrade (obično po m<sup>2</sup>), odnosno, vrijednosti zamjenske cijene. Karte kojima se ukazuje na moguće ekonomski izloženje, ranjivije dijelove promatranog područja jesu karte koje prikazuju prostornu raspodjelu ukupne izložene ekonomski vrijednost zgrada za neko područje, a dobiva se množenjem ukupne izložene površine zgrada s vrijednosti jedinične zamjenske cijene. Primjer karte ukupne izložene površine zgrada s konstrukcijom od običnog ziđa za gradsku četvrt Trešnjevka – Sjever agregiranom na heksagone veličine 75 m prikazan je na slici 5, gdje su visinama stupaca i tamnjim nijansama istaknuta područja s mogućim većom potresnom oštetljivosti.



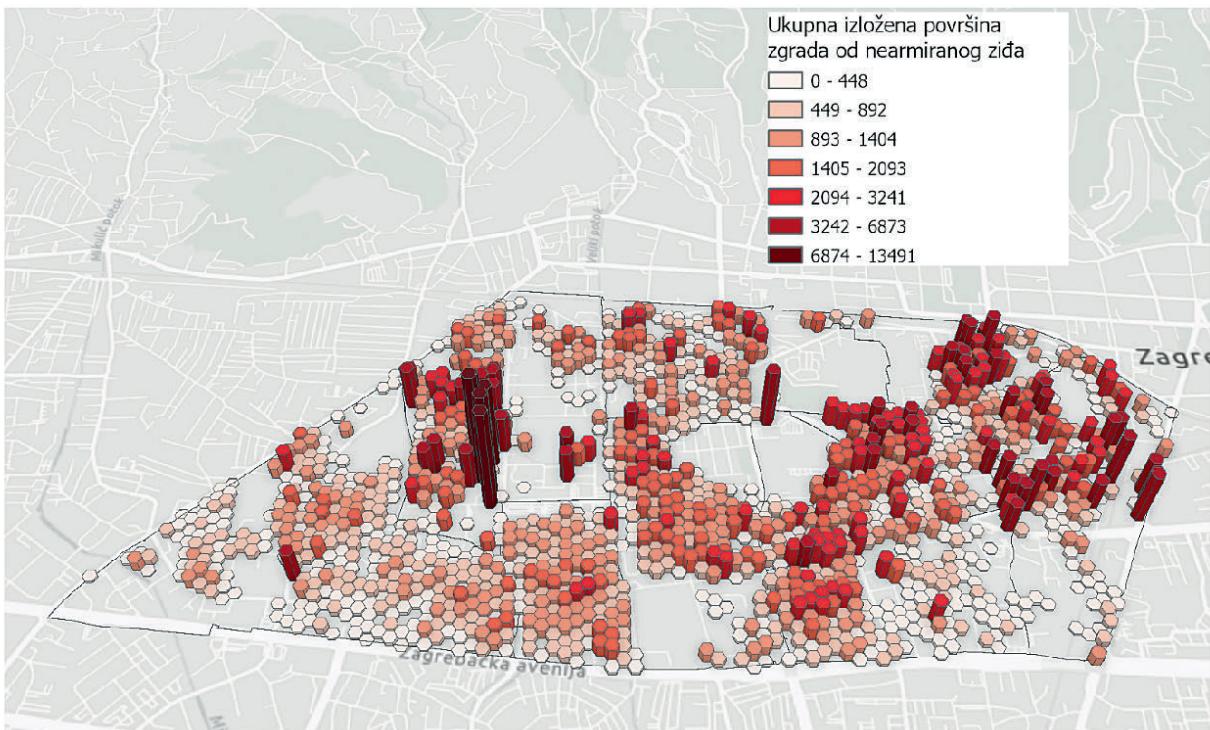
**Slika 2** Shema automatiziranog prikazivanja rezultata korištenjem vizualnih skripti



**Slika 3** Analiza podataka zgrada za Trešnjevku - Sjever prema periodu izgradnje: a) 3D prikaz zgrada; b) prikaz poligona zgrada i statistički prikaz kružnim grafikonima.



**Slika 4** 3D prikaz prostorne raspodjela a) agregiranog broja zgrada po mjesnim odborima u heksagone veličine 250 m, b) broja stanovnika grada Zagreba iskazan brojem stanovnika po mjesnim odborima



**Slika 5** 3D prikaz agregirane ukupne površine zgrada s konstrukcijom od običnog ziđa u gradskoj četvrti Trešnjevka - Sjever u heksagonima veličine 75 m – ekomska izloženost

## 7.4 Prikaz rezultata proračuna potresnog rizika

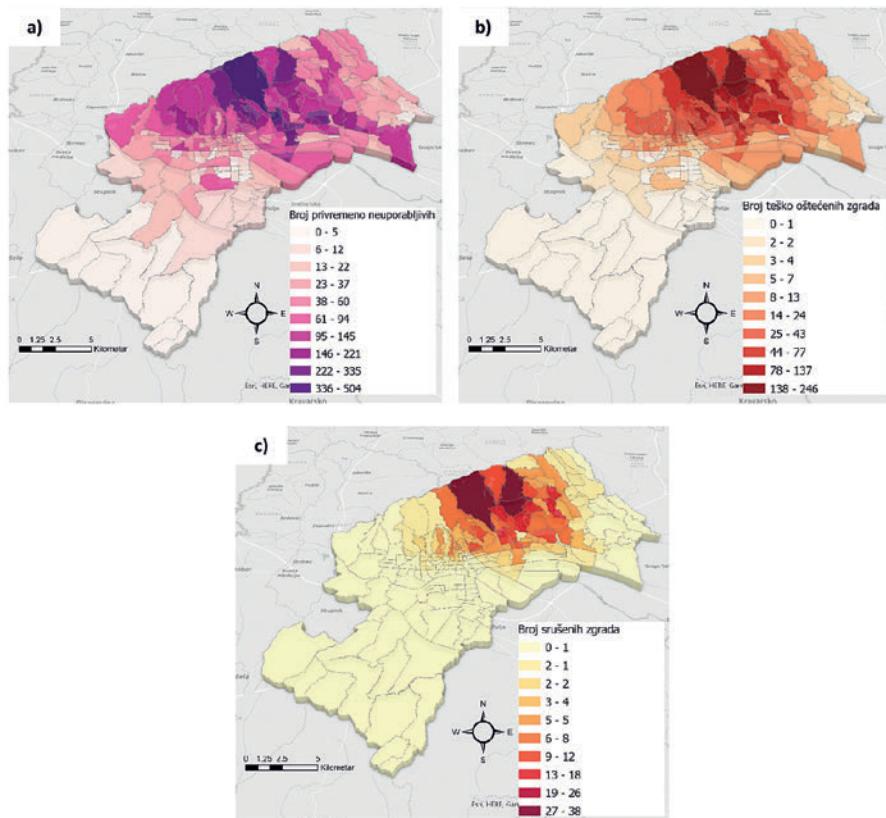
Većina rezultata dobivena proračunom pomoću programskog paketa OQ pohranjuje se korištenjem jednostavnih datotekama koje sadržavaju vrijednosti odvojenim zarezima u CSV (eng. *comma-separated values*) obliku. Nakon provedene procjene potresnog rizika za promatrano područje, podaci se, osim u brojčanom obliku, prikazuju i prostornom raspodjelom na kartama karakterističnim simbolima i bojama. Koristeći bilo koji od GIS programskih paketa, korisnik može prilagoditi način (simbologiju i boje) prikazivanja rezultata. Kako se rezultati dobivaju u CSV obliku i u ovoj će se fazi istraživanja iskoristiti vizualne skripte opisane u poglavlju 7.3. za izradu karata u programskom paketu ArcGIS Pro. Podaci koji se prikazuju vizualno na kartama najčešće su sljedeći:

- broj srušenih zgrada, broj teško oštećenih zgrada, broj neuporabljivih zgrada
- broj žrtava, broj teško ozlijedenih osoba, broj ljudi koji će morati napustiti zgrade,
- ukupni izravni novčani gubici zbog oštećivanja zgrada.

### 7.4.1. Karte raspodjele štete na zgradama

Rezultati dobiveni proračunom potresnog rizika i štete prikazuju se **kartama raspodjele štete na zgradama**. Kao što je spomenuto, na kartama se mogu prikazati podaci o raspodjeli štete fonda zgrada za pojedini promatrani potresni događaj. Rezultati uključuju raspodjelu štete po tipologiji zgrada, raspodjelu ukupne štete i raspodjelu potpuno oštećenih zgrada u promatranom području. Također moguće je prikazati karte svih oštećenih ili srušenih zgrada, odnosno, prostornu raspodjelu u odnosu na pojedine razrede oštetljivosti: neoštećenih zgrada, onih s laganim, srednjim i teškim oštećenjem te srušenih zgrade. Raspodjela štete na ukupnom fondu zgrada grada Zagreba dobivena tim postupkom prikazana je na slikama 6.a, 6.b i 6.c. Prikazani rezultati dobiveni su proračunom potre-

snog rizika koristeći deterministički scenarij u kojem se razmatra djelovanje povijesnog zagrebačkog potresa iz 1880. godine. Scenarij je napravljen uz velik broj prepostavki i ne može se smatrati pouzdanim za procjenu rizika grada Zagreba, već ga se ovdje prikazuje kao primjer prikazivanja raspodjele broja oštećenih i srušenih zgrada agregiranog po mjesnim odborima.

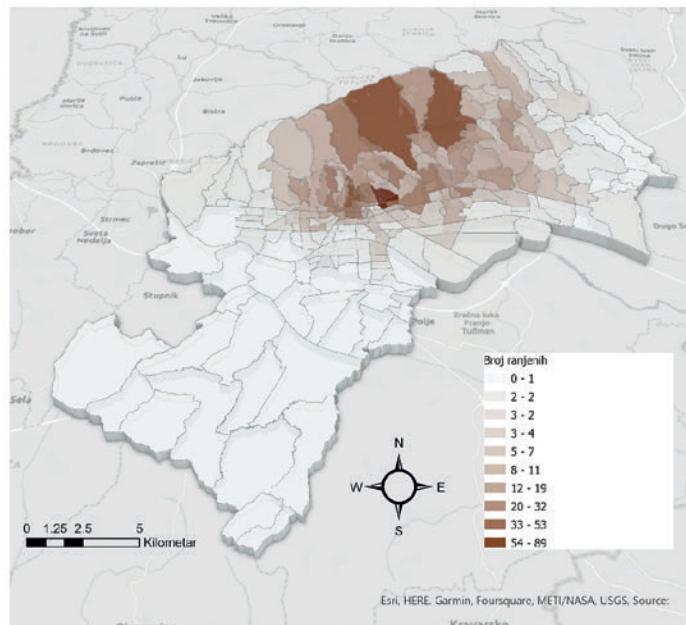


**Slika 6** 3D prikaz raspodjele broja a) privremeno neuporabljivih, b) teško oštećenih i c) srušenih zgrada agregiranog po mjesnim odborima za primjer scenarija potresa iz 1880 god.

#### 7.4.2 Karte posljedica potresa na stanovništvo

Posljedice nekog potresnog događaja na izloženo stanovništvo iskazuje se procijenjenim brojem ljudi na više razina, primjerice, broj smrtno stradali ili onih koji će trebati zatražiti hitnu medicinsku pomoć zbog težih ozljeda. Kod određivanja ovog broja u proračunu bi se trebalo razmotriti broj korisnika na razini svake zgrade i s prepostavkama o određenom dobu dana u kojem se dogodio potres (tijekom dana ili tijekom noći), zatim razred (klasu) zgrade, jačinu potresa, te je potrebno uključiti kao ulazni model i model posljedica. Broj teško ozljeđenih ili smrtno stradalih ljudi vezan je za štete nastale na konstrukciji zgrada, a najčešće zbog rušenja zgrada. Budući da su podaci o posljedicama na stanovništvo vezani za razrede oštetljivosti zgrada, kao i kod karata raspodjele fizičke štete na konstrukciji zgrada na promatranom području, karte raspodjele posljedica potresa na stanovništvo najčešće prikazuju rezultate agregirane za neko administrativno područje, primjerice, gradsku četvrt ili mjesni odbor. Tamnijim nijansama boja na kartama obično se prikazuju dijelovi grada u kojima se očekuje veći broj smrtno stradalih ili ranjenih ljudi u odnosu na ostala područja grada.

Kao i u prethodnom potpoglavlju, i ovdje su korišteni rezultati proračuna potresnog rizika za scenarij napravljen uz velik broj prepostavki i ne može se smatrati pouzdanim za procjenu rizika grada Zagreba, već ga se ovdje prikazuje kao primjer prikazivanja podataka utjecaja potresa na stanovništvo. Slika 7 pokazuje prostornu raspodjelu procijenjenog broja stradalih ljudi koji će najvjerojatnije trebati medicinsku pomoć.

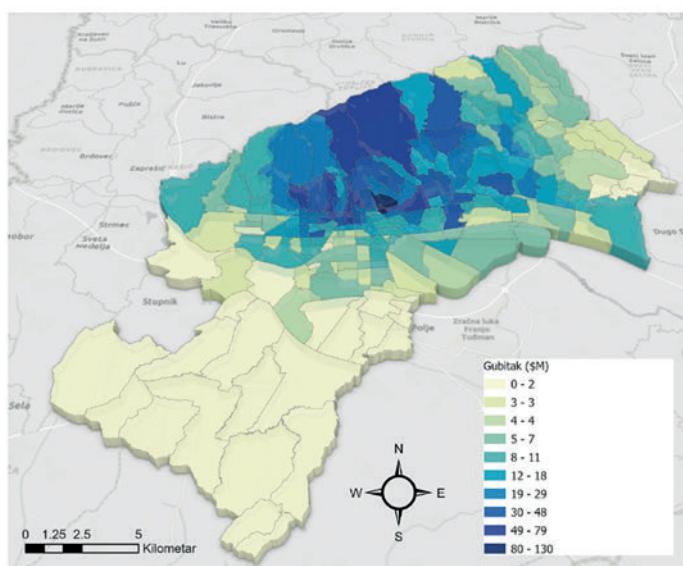


**Slika 7** 3D prikaz raspodjele broja ljudi kojima će trebati medicinska pomoć agregiranih na mjesne odbore za primjer scenarija potresa iz 1880 god.

#### 7.4.3 Karte raspodjele ekonomskih gubitaka

Karte gubitaka prikazuju procijenjene gubitke za neki fond zgrada i to za određeni povratni period (ili vjerojatnost prekoračenja unutar danog vremenskog intervala). Slično prikazivanjima kartama raspodjele oštećenja zgrada i utjecaja na stanovništvo, objašnjenima u prethodnim poglavljima, i za karte raspodjele ekonomskih gubitaka moguće je prikazati gubitke prema određenoj tipologiji zgrade, odnosno, razredu oštetljivosti ili je moguće prikazivanje karte agregiranih gubitaka unutar određenih administrativnih granica (županiji, općini, gradskoj četvrti i mjesnom odboru), a bojama se pokušavaju naglasiti područja s većim gubicima, odnosno, većim potresnim rizikom u odnosu na ostala područja te se obično prikazuju tamnijim nijansama boja ili žarkijim bojama.

Gubici za područje grada Zagreba rezultati su proračuna za scenarij uz velik broj pretpostavki, kao i u prethodnim poglavljima, i ne može se smatrati pouzdanim za procjenu rizika grada Zagreba, već ga se ovdje prikazuje kao primjer karata ekonomskih gubitaka agregiranih po mjesnim odborima (slika 8.).



**Slika 8** 3D prikaz agregiranih gubitaka po mjesnim odborima za grad Zagreb

## 7.5 Profili potresnog rizika

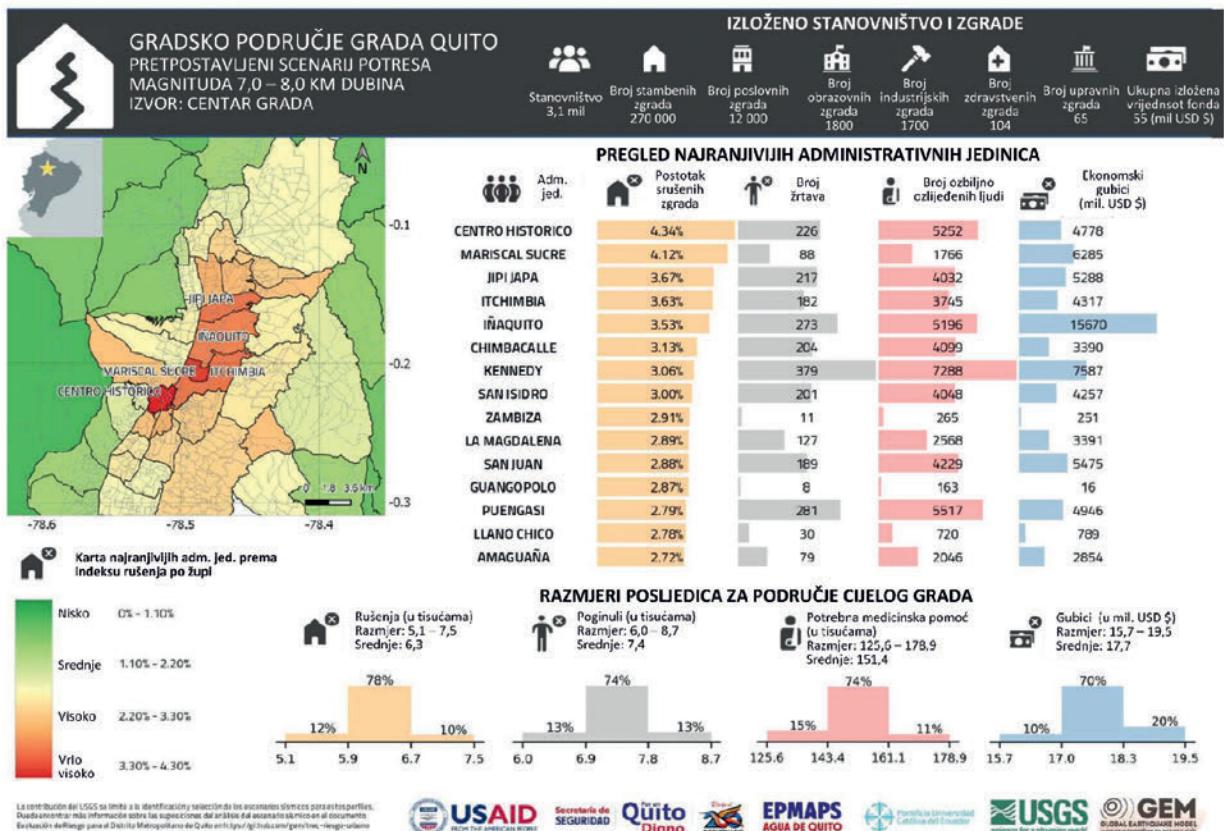
Da bi se izradili modeli prikladni za procjenu potresnog rizika na detaljnijoj, urbanoj razini kroz aktivnosti projekta TREQ (GEM, 2022) Zaklade GEM prikupljene su dostupne informacije o izloženosti za pojedine gradove Quito, Cali i Santiago de los Caballeros. Na primjerima profila prikazanim na slikama 9. i 10. pokazani su rezultati potresnog rizika na urbanoj razini za glavni grad države Ekvador, grad Quito. Profili na ovoj razini namijenjeni su mjerenuju utjecaju potresnog događaja na grad i informiranju gradskih vlasti i služba za upravljanje u hitnim situacijama kako bi im olakšali donošenje odluka pri upravljanju potresnim rizikom te planiranju spremnosti i odgovora na katastrofe i ublažavanja posljedica.

Na slici 9. prikazan je **profili spremnosti i odgovora u hitnim slučajevima** te pokazuje rezultate za jedan potresni scenarij, a korištena je deterministička metoda za procjenu potresnog rizika. Ovaj profil daje mogućnost vizualnog prikaza najpogođenijih dijelova grada. Uključuju sljedeće podatke:

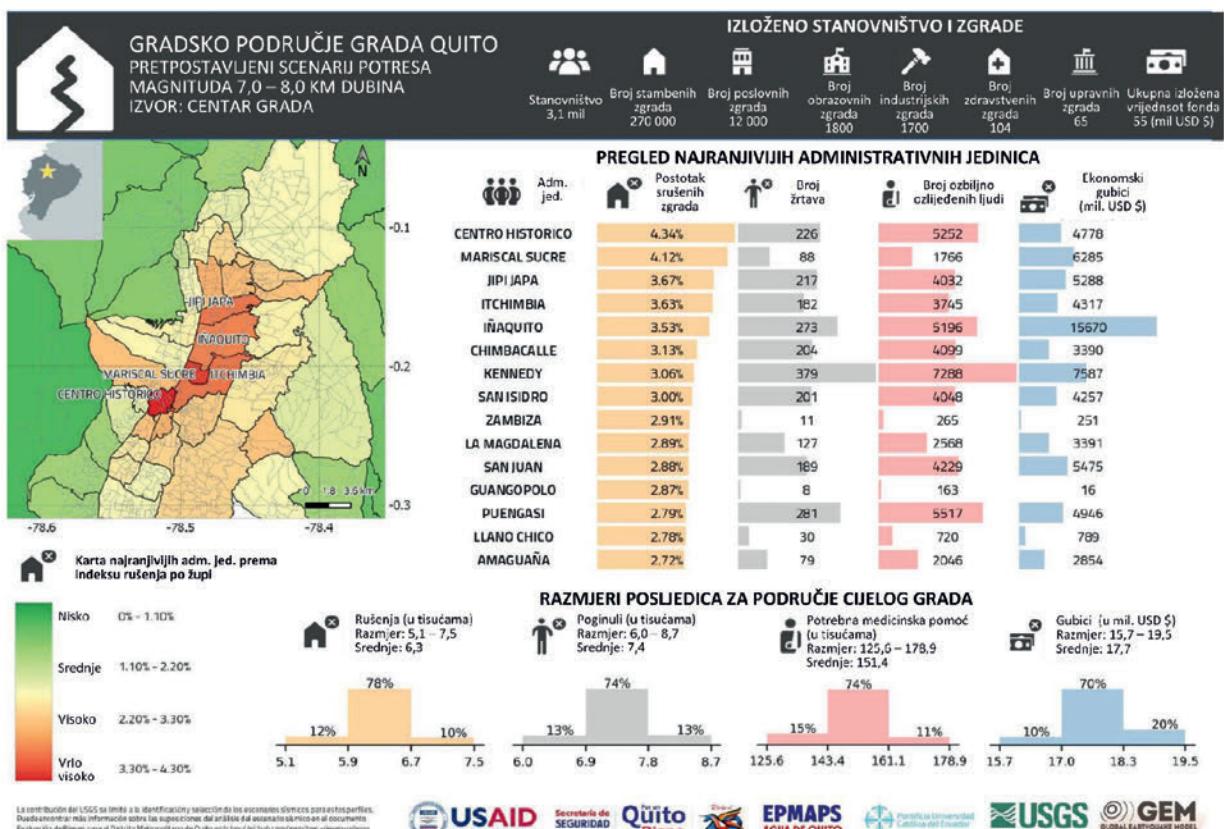
- Opće informacije o promatranom potresnom događaju kao što su naziv, lokacija i magnituda.
- Glavne informacije o izloženom fondu zgrada, stanovništva i ekonomskoj vrijednosti dajući informacije o ukupnom broju stanovnika, ukupnom broju zgrada (po različitim sektorima) i izloženoj gospodarskoj vrijednosti.
- Karta srušenih zgrada koja pokazuje raspodjelu srušenih zgrada po pojedinim dijelovima grada, a s crvenom bojom označene su najugroženiji dijelovi.
- Pregled najugroženijih dijelova predstavlja tablicu dijelova grada koje je bi potresni scenarij najviše pogodio. Ova tablica ističe glavne potresne indikatore: prosječan broj smrtno stradalih, prosječan broj ozlijedenih osoba i prosječne ekonomske gubitke.
- Razmjeri posljedica za područje cijelog grada daju informaciju o ukupnom utjecaju potresnog događaja na područje grada. Ukupne podaci ne predstavljaju jedan (apsolutni) rezultat, već je to očekivana vrijednost dobivena iz niza mogućih scenarija.

Na slici 10. prikazan je **profili za dugoročno smanjenje rizika i upravljanje** koji prikazuje rezultate dobivene probalističkom metodom procjene rizika koji sadrži stotine tisuća scenarija. Stoga, analizirajući godišnji rizik tijekom cijelog promatranog razdoblja, dobiven rizik neovisan je o jednom događaju. Prema tome, ovaj profil se može koristiti kao podrška dugoročnom upravljanju rizicima i ublažavanju posljedica od potresa.

- Opće i glavne informacije iste su kao i za prethodno opisan profil.
- Karta srušenih zgrada koja pokazuje raspodjelu vjerojatnog broja srušenih zgrada po pojedinim dijelovima grada, a s crvenom bojom označene su najugroženiji dijelovi.
- Pregled najugroženijih dijelova predstavlja tablicu dijelova grada s najvećim rizikom, prema prosječnom indeksu štete dobivenom iz svih mogućih scenarija potresa. Ova tablica ističe glavne potresne indikatore: broj izloženog broj smrtno stradalih, prosječan broj ozlijedenih osoba i prosječne ekonomske gubitke.
- Rizik na godišnjoj razini po tipologiji zgrada koji daje podatke o broju smrtno stradali, broj srušenih zgrada te ekonomskih gubitaka.
- Rizik u određenom povratnom periodu u godinama (50, 100, 200, 500 i 1000) pokazujući broj poginulih, broj srušenih zgrada i ekonomskih gubitaka.



**Slika 9** Primjer profila spremnosti i odgovora na hitne slučajeve za scenarij za grad Qutio: Pregled posljedica za prepostavljeni scenarij potresa (Calderón i dr., 2022)



**Slika 10** Primjer profila za dugoročno smanjenje rizika i upravljanje za gradsko područje Qutio: pregled godišnjih gubitaka uslijed prepostavljenog scenarija potresa (Calderón i dr., 2022)

## **7.6 Zaključak i smjernice za buduće aktivnosti**

U ovom je elaboratu prikazan način kartiranja potresnog rizika na urbanoj razini. Primjerima karata prikazani su i opisani različiti načini prikazivanja prostorne raspodjele podataka iz modela izloženosti i to zasebno za model izloženost zgrada, izloženost stanovništva te ekonomsku izloženost.

Predviđene aktivnosti i istraživanja vezana za kartografiju u okviru ovog projekta su sljedeća:

**Prvi dio istraživanja** obuhvaća provedbu prikupljanja podataka iz različitih izvora, odnosno, prikupljanje karata koje sadrže podatke o zgradama, stanovništvu itd. Većina podataka o zgradama prikupljena je vizualnim pregledom zgrada uz pomoć GIS sustava koji u realnom vremenu prikazuje stanje unesenih podataka na kontrolnim pločama. Prikupljeni podaci skupljaju se u zajedničku bazu, tablicu, koja predstavlja modele izloženosti, odnosno, koja sadrži podatke o izloženosti zgrada, stanovništvu i ekonomskim podacima. Korištenjem različitih nijansa boja, na kartama izloženosti pokazuju se osnovni podaci o prostornoj raspodijeli broja zgrada te broju stanovnika i izloženoj površini i vrijednosti zamjenske cijene, a takve karte zovu se karte izloženosti zgrada, stanovništva i ekonomске izloženosti.

**Drugi dio istraživanja** odnosi se na prikazivanje prostorne raspodjele pojedinih atributa/varijabli na kartama izloženosti budući da svaki redak tablice iz modela izloženosti predstavlja točku (zgradu) u prostoru. Dodatnom statičkom obradom tih podataka i njihovim prikazima na kartama na kojima glavni preliminarni indikatori rizika za promatrano područje (fizička šteta, utjecaj na stanovništvo i ekonomski gubici) ističu područja s potencijalno većim rizikom u odnosu na ostale dijelove promatranog područja.

**Treći dio istraživanja** obuhvaća proračun potresnog rizika korištenjem programske pakete OpenQuake čiji rezultati uključuju i podatke pripremljene za prikazivanje na kartama. Podaci koji će se prikazati na kartama su prostorna raspodjela materijalne štete koja se odnosi na fizičku štetu na konstrukciji zgrade u slučaju potresnog događaja, te prikaz materijalne štete prema pojedinom razredu oštećenja. Također će se prikazati podaci o posljedicama na stanovništvo koje daju pregled prostorne raspodjele broja ljudi koji će trebati medicinsku pomoć ili broj žrtava nakon određenog potresnog događaja. Na kraju, prikazuju se karte ekonomskih gubitaka. Korištenjem posebno izrađenih vizualnih i programskih skripti omogućuje se prikazivanje podataka posebnom simbologijom i nijansama boja. Budući da se provodi procjena potresnog rizika na razini grada koja uključuje i metode procjene pojedinih podataka o zgradama i stanovništvu karte ne prikazuju rezultate na razini pojedine zgrade, već na većoj razini kao što su područja unutar administrativnih granica gradskih četvrti ili mjesnih odbora.

**U dugoročnim planovima i budućim fazama** istraživanja, a koja se ne provode u okviru ovog projekta, je izrada profila potresnog rizika za Grad Zagreb po pojedinim četvrtima koji bi službama za upravljanje u hitnim situacijama te donositeljima odluka pomogli u upravljanju i smanjenju potresnog rizika. Kao što je pokazano u ovom elaboratu, profil potresnog rizika za Republiku Hrvatsku izrađen je na dosta „gruboj“ razini, na aproksimaciji podataka na razini županija. Za službe za upravljanje hitnim situacijama i donositeljima odluka prije i nakon nekog katastrofalnog događaja potrebni su detaljniji podaci na urbanoj razini, a primjer takvih profila dan je za grad Quito. Ovaj način prikazivanja rezultata dobar je primjer i za ostala gradska područja Republike Hrvatske.

Osim poboljšanja podataka na većini regija svijeta, prednosti nedavno predstavljenog globalnog modela potresne opasnosti u odnosu na zadnju objavljenu verziju 2018. godine je i veća rezolucija podataka (sada 2,5 puta veća), a tome teži i globalni model potresnog rizika. Međutim, da bi se povećala rezolucija globalnog modela, potrebni su detaljniji podaci o modelima izloženosti i modelu oštetljivosti za pojedine države/regije. Zaklada GEM u suradnji s mnogim znanstvenicima i institucijama iz područja pojedinih država/regija neprestano poboljšava podatke potrebne za detaljnije proračune potresnog rizika. Budući da i projekt „Procjena potresnog rizika za Grada Zagreba“ prati metode, postupke i alate za proračun potresnog rizika koje je razvila GEM Zaklada, dobiveni rezultati će se moći integrirati u buduće inačice globalnog potresnog rizika. Također, programske skripte izrađene za obradu podataka i prikaz rezultata na kartama izloženosti i kartama rizika moći će se primijeniti i za buduće faze istraživanja.

## 8. Prikupljanje i obrada podataka o građevinama te uspostava baze podataka

### 8.1 Uvod

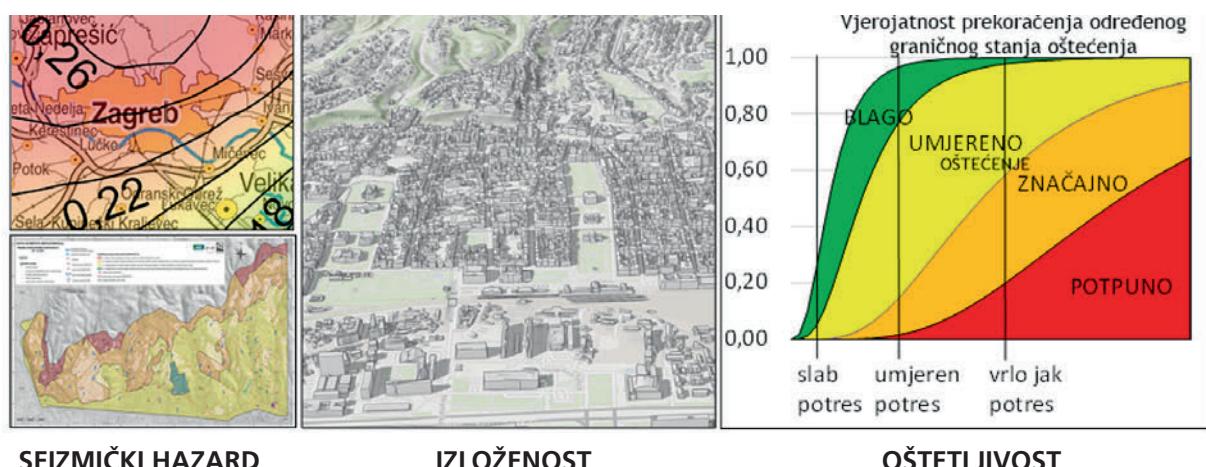
U ovom izdvojenom poglavlju će se opisati aktivnosti vezane za **prikupljanje i obradu podataka o građevinama te uspostavu baze podataka**. Predviđene aktivnosti su ključne za definiranje jednog od elemenata procjene rizika izloženosti (Slika 1), a ova aktivnost predstavlja **najopsežniju aktivnost** predmetnog projekta obzirom na broj građevina, ali i broj atributa koje su predviđeni projektnim zadatkom (detaljnije opisano u poglavlju 8.2).

Prikupljeni i obrađeni podaci će se u konačnici **sinkronizirati s novo kreiranim bazom podataka**, koja je kreirana u koordinaciji s tvrtkom GDi. d.o.o. (u projektu zaduženi za programska rješenja i za izradu modela baze podataka) za potrebe ovog projekta. Kreiranje ovakve baze podataka predstavlja jedan od ključnih koraka (model baze podataka je opisan u poglavlju 8.3), a posebice jer prije početka projekta nije postojala ni kvalitetna početna podloga (sloj) koja bi identificirala lokaciju i ukupni broj građevina.

Ključno je istaknuti da su za kvalitetnu bazu podataka presudni **pouzdani ulazni podaci** o svojstvima građevina što se osigurava korištenjem svih raspoloživih izvora koji se dodatno provjeravaju i po potrebi nadopunjavaju. U poglavlju 8.4 su istaknuti svi korišteni izvori, opisan je način popunjavanja baze podataka i obrade atributa, a posebice uočena problematika.

Proces prikupljanja podataka je bio najizazovniji zadatak, a za potrebe ovog dokumenta su izdvojene neke osnovne napomene obrade karakterističnih tipova "Stambene zgrade" (poglavlje 8.5.1.) i "Gospodarske zgrade" (poglavlje 8.5.2.). Primjerice, opisane su prilagodbe procesa ovisno o tipu, pridruživanje karakterističnih atributa te ilustracijski primjeri odabranih tipova.

U konačnici su izdvojeni ključni **zaključci i smjernice** (poglavlje 8.6) za provođenje sličnih projekata s naglaskom na uočenu problematiku u provedbi ovog pilot projekta.



Slika 1 Elementi rizika od potresa

## 8.2 Projektni zadatak

Projektnim zadatkom su definirani atributi koji se prikupljaju te način obrade podataka. U ovom poglavlju su istaknuti karakteristični dijelovi nužni za cjeloviti opis procesa.

### 8.2.1 Atributi definirani projektnim zadatkom

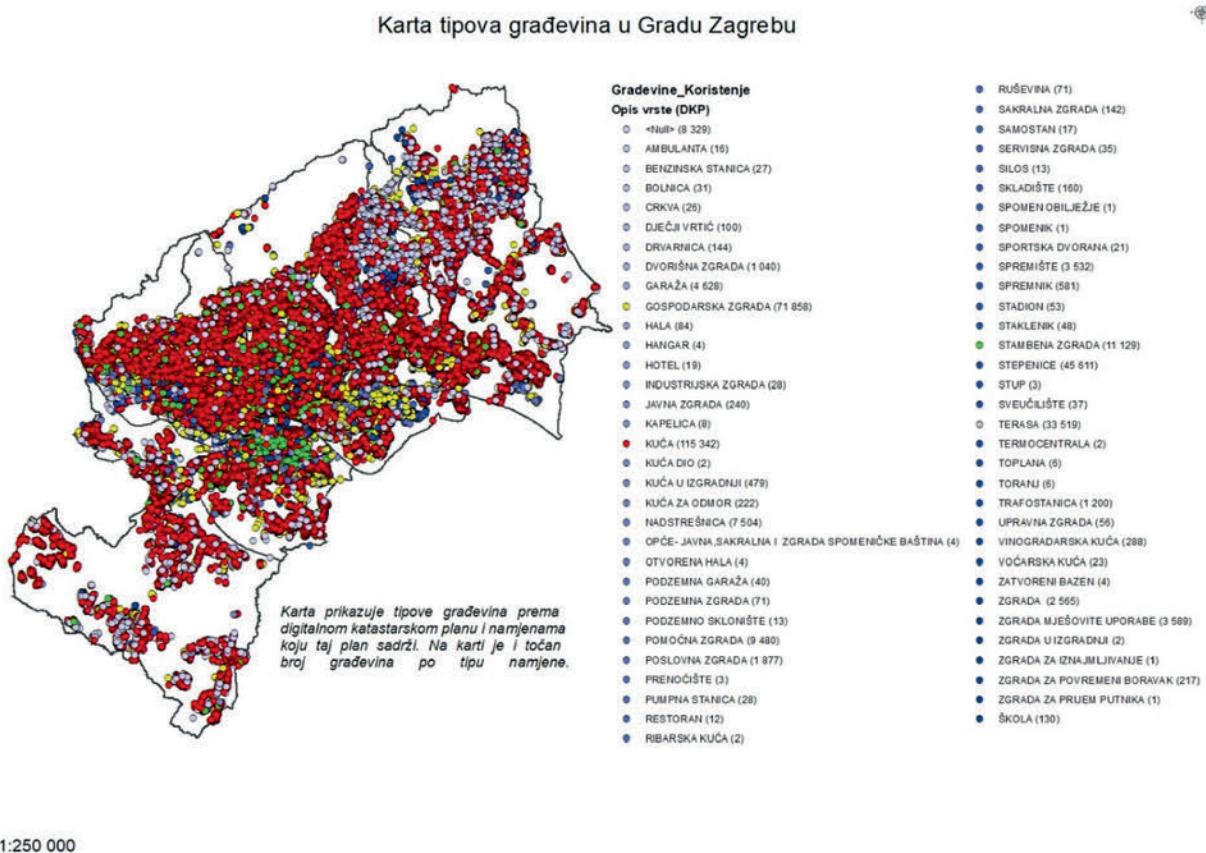
Prema projektnom zadatku predmetnog projekta (Aktivnost 3) prikupljanje podataka za uspostavu baze podataka o građevinama obuhvaća sve dostupne podatke (različiti dokumenti, fotografije i slično) iz raznih izvora poput arhiva, postojećih dokumentacija vlasnika i drugo. Također, predviđeno je da jedan od bitnih elemenata u prikupljanju i obradi podataka budu podaci dobiveni projektom "Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske za potrebe procjene smanjenja rizika od katastrofa" čiji je dio i predmetni projekt "Potresni rizik Grada Zagreba". Dodatno je predviđeno prikupljanje podataka s terena (obilazak objekata) prema definiranim zahtjevima od strane Naručitelja koji su navedeni u Tablici „Podaci za prikupljanje na terenu o građevinama“.

**Tablica 1** Podaci za prikupljanje na terenu o građevinama

RED. BROJ	PODACI ZA PRIKUPLJANJE
1	GPS koordinate:
2	Gradska četvrt:
3	Potresna zona - P.P. 475 god:
4	Potresna zona - P.P. 95 god:
5	Naziv građevine, adresa:
6	Godina projekta:
7	Godina izgradnje:
8	Rekonstrukcije (godina rekonstrukcije)
9	Tip konstrukcije: (zidana; armirano betonska; drvena; čelična; montažna)
10	Katnost (broj etaža ispod/iznad razine tla; visoko prizemlje; potkrovље; garaža)
11	Pravilnost konstrukcije (pravilnost u tlocrtu; pravilnost po visini)
12	Namjena građevine: (stambena; poslovna; javna; ili drugo)
13	Zgrada je zaštićeni spomenik kulture:
14	Stanje korištenja građevine: (useljena, neuseljena)
15	Debljina nosivih zidova (vanjski; unutarnji)
16	AB serklaži (horizontalni; vertikalni)
17	Liftna jezgra:
18	Lift:
19	Pregradni zidovi: (puna opeka, šuplja opeka, beton, gipsane ploče, ostalo)
20	Međukatne konstrukcije: (AB ploča, drvena, montažna, sitnorebrasta, svodovi)
21	Krovište (nagib krova; prohodnost; vrsta pokrova; krovna konstrukcija)
22	Toplinska izolacija (debljina toplinske izolacije; vrsta toplinske izolacije)
23	Stubište (vanjsko, unutarnje)
24	Tip stubišta: (jednokrako, dvokrako, trokrako, zavojito)
25	Konstrukcija stubišta: (AB, drveno, čelično)
26	Temelji (vrsta temelja; materijal temelja)
27	Kategorija temeljnog tla:
28	Tlocrtna površina zgrade [ $m^2$ ]:
29	Bruto razvijena površina [ $m^2$ ]:
30	Instalacije struje:
31	Vodovodne instalacije:
32	Požarni put (dostupnost vatrogascima):
33	Dostupnost vatrogasnim vozilima u blizinu zgrade:
34	Zgrada je blizu ili u kontaktu sa susjednom zgradom (s koliko strana)
35	Na građevini su vidljiva oštećenja:

## 8.2.2 Broj i tipovi građevina definirani projektnim zadatkom

Podloga na temelju koje je definiran projektni zadatak i prema kojoj se definirao broj od oko 300.000 građevina je uključivala preklop tri službene/dostupne baze podataka - Digitalnog katastarskog plana (DKP, izvor: Gradski ured za katastar i geodetske poslove), Registra prostornih jedinica (RPJ izvor: Gradski ured za katastar i geodetske poslove) i Postojeće namjene površina 2020. (izvor: Gradski ured za strategijsko planiranje i razvoj Grada), a s ciljem dobivanja početne informacije o građevinama na području Grada Zagreba obzirom da još uvijek ne postoji Registar zgrada. U nastavku je izdvojena karta tipova građevina u Gradu Zagrebu (Slika 2) koja je korištena kao osnovna podloga.



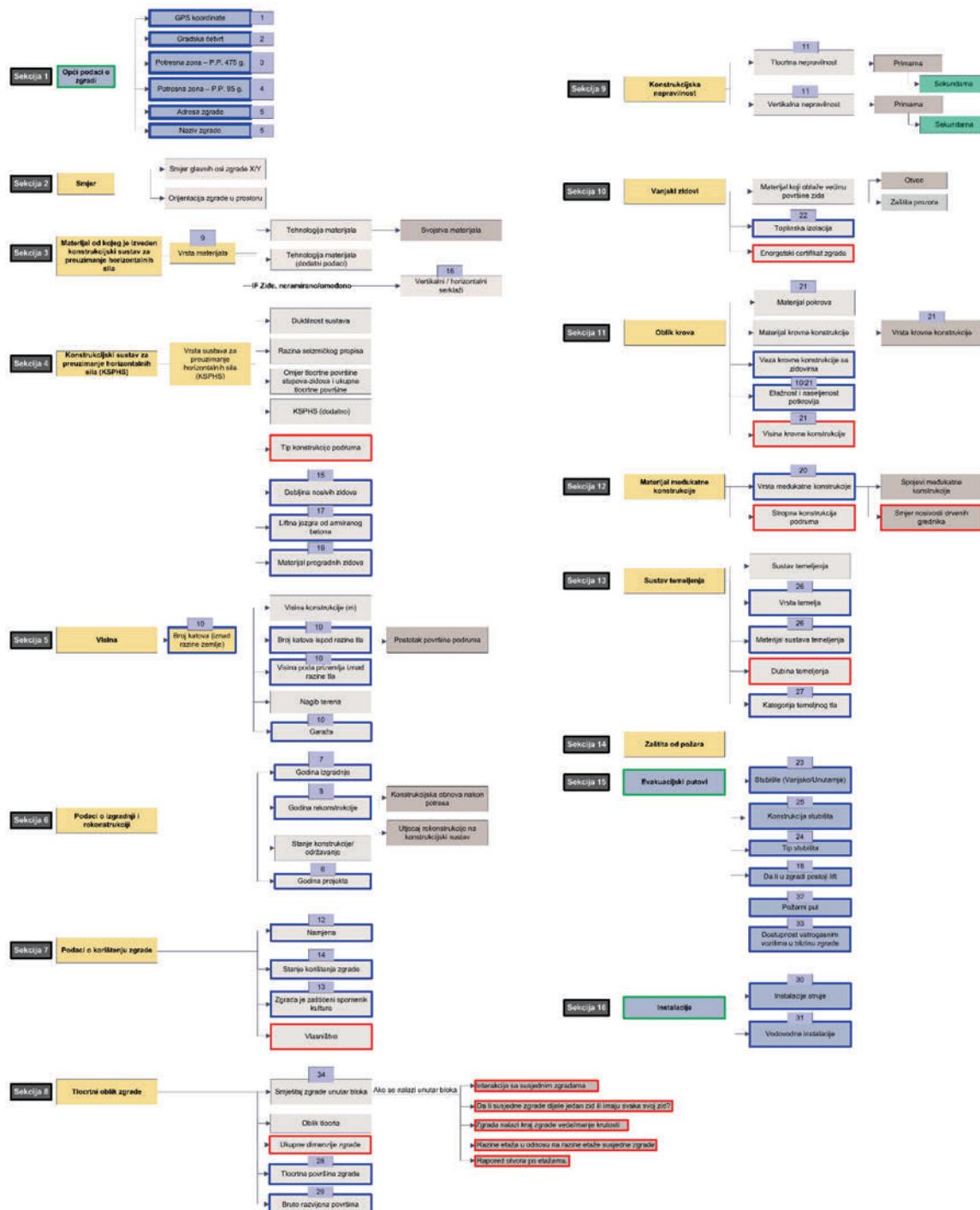
**Slika 2** Karta tipova građevina u Gradu Zagrebu (DKP)

Tijekom provedbe projekta pojedini slični tipovi građevina su se dodatno grupirali, a može se istaknuti primjer za tip/vrstu/sloj građevina (vrsta DKP-a) pod nazivom **"Gospodarske zgrade"** koji je proširen s nekoliko sličnih tipova: "Pomoćne zgrade", "Nadstrešnice", "Garaže", "Dvorišne zgrade", "Skladišta", "Drvarnice" i "Hale". Na isti način je tip/vrstu/sloj građevina (vrsta DKP-a) pod nazivom **"Stambene zgrade"** proširen s sličnim tipovima pod nazivom "Kuće", "Zgrade mješovite uporabe", "Zgrade", "Poslovne zgrade", "Kuće u izgradnji", "Vinogradske kuće", "Javne zgrade", "Kuće za odmor", "Zgrade za povremeni boravak", "Ruševine", "Upravne zgrade" i "Voćarske kuće".

Istaknuto grupiranje sličnih tipova građevina je napravljeno na dubinske analize atributa koje je potrebno prikupljati za određeni tip, a proces će se detaljnije opisati u poglavljiju 9.5.

## 8.3 Model baze podataka

Sukladno projektnom zadatku kreirana je baza podataka za potrebe ovog projekta u koordinaciji s tvrtkom GDi. d.o.o. koja je u projektu zadužena za programska rješenja i za izradu modela baze podataka. Kvalitetne baze podataka su identificirane kao **kritični problem** u svim postojećim procjenama rizika, a nije postojala baza podataka na koju se ovaj projekt mogao osloniti. Stoga je kreiranje modela sveobuhvatne baze podataka (Slika 2) jedan od ključnih koraka i veliki dio vremena projekta je bio posvećen kreiranju ove baze - prepoznaјući njenu važnost i za proces prikupljanja podataka što je uzrokovalo i početnu odgodu prikupljanja podataka.



**Slika 3** Model baze podataka

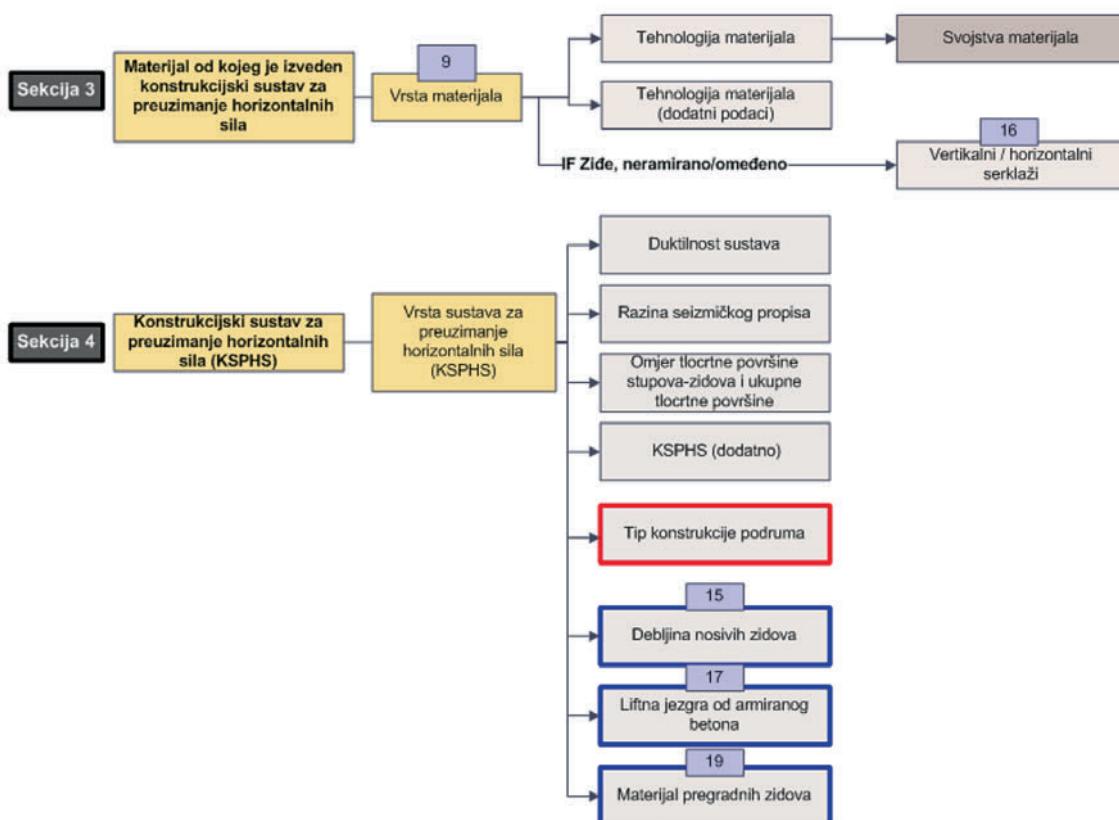
Struktura modela baze podataka je prilagođena atributima definiranim projektnim zadatkom (niječajem), iskustvima nakon potresa u Zagrebu i Petrinji, potrebama gradskih službi, a posebice procesima prikupljanja atributa na terenu imajući u vidu i završnu procjenu rizika. Početno predviđeni atributi (projektnim zadatkom) su se proširili sukladno rezultatima analiza provedenim u Aktivnosti 1 i potrebama za završnu procjenu rizika u Aktivnosti 4 ovog projekta. Model baze podataka je podijeljen u karakteristične dijelove ovisno o atributima koji se planiraju prikupljati. U nastavku će se opisati istaknuti samo određeni **karakteristični dijelovi**.

Prvi općenitiji dio modela baze podataka „Opći podaci o zgradama“ (sekcija 1) sadrži atribute koji se odnose na podatke o GPS koordinatama, adresi i nazivu zgrade, gradskoj četvrti, vršnom ubrzaju tla za povratni period od 95 i 475 godina (Slika 3).



**Slika 4** Sekcija 1 „Opći podaci o zgradama“

Sekcije 3 i 4 sadrže atribute o materijalu od kojih je izведен konstrukcijski sustav za preuzimanje horizontalnih sila i vrsti konstrukcijskog sustava za preuzimanje horizontalnih sila (Slika 4). Navedeni atributi su važni za podjelu konstrukcijskih sustava građevina u karakteristične tipove.



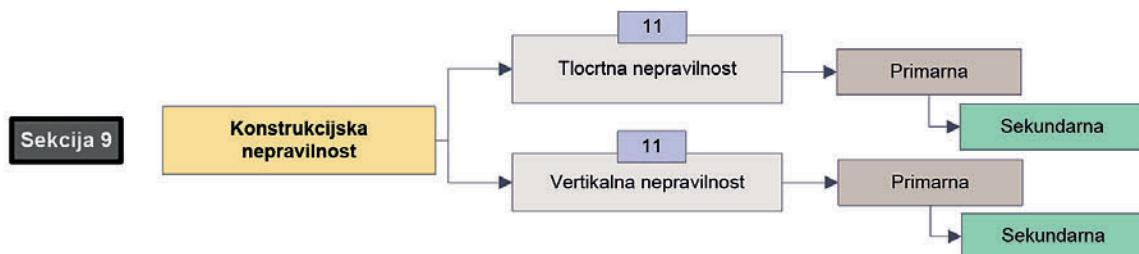
**Slika 5** Sekcije 3 i 4 i prikaz pripadajućih atributa

Primjerice u sekciji 8 „**Tlocrtni oblik zgrade**“ osim podataka o dimenzijama i površini, te samom obliku tlocrta zgrade, vrlo važan podatak za zgrade u gradu Zagrebu, a pogotovo u povijesnom centru grada, je položaj zgrade unutar bloka/niza, što je obuhvaćeno atributom „Smještaj zgrade unutar niza“ i njemu pripadajući podatributi (Slika 5).



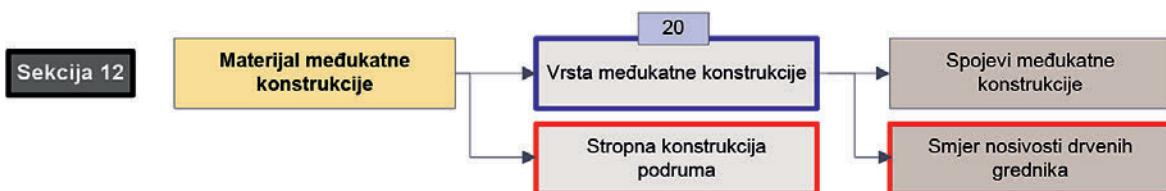
**Slika 6** Sekcija 8 i prikaz pripadajućih atributa o podacima o tlocrtnom obliku zgrade

Budući da ponekad vrsta konstrukcije nije jednaka u tlocrtu ili visini zgrade. Česti primjer vertikalne nepravilnosti je mehani kat, posebice u prizemlju. Podaci o **konstrukcijskoj nepravilnosti** obuhvaćeni su atributima iz sekcije 9 (Slika 6).



**Slika 7** Sekcija 7 i prikaz pripadajućih atributa o podacima o konstrukcijskoj nepravilnosti zgrade

Podatak o **međukatnoj konstrukciji** igra važnu ulogu pri odgovoru konstrukcije zgrade na djelovanje potresa pa je podatak o vrsti i materijalu međukatne konstrukcije jedan od ključnih podataka, a predviđen je atributima iz sekcije 12 (Slika 14). Sustav temeljenja, vrsta temelja, materijal sustava temeljenja, dubina temeljenja te kategorija temeljnog tla i slično su pokriveni sekcijom 13 (Slika 15).



**Slika 8** Sekcija 12 i prikaz pripadajućih atributa o podacima o međukatnoj konstrukciji

Kreiranjem sveobuhvatne baze otvorena su vrata za prikupljanje kvalitetnih podataka što je preduvjet svim procesima u ovom projektu. Prikazani model se može **prilagođavati različitim potrebama** što ju čini iznimnim i dugoročnim plodom ovog projekta.

## 8.4 Izvori podataka

Nastavno na model baze podataka, što je neizostavni temelj, od presudne važnosti za konačan rezultat je **popunjavanje baze kvalitetnim podacima**. Stoga su pokrenute brojne aktivnosti prema svim poznatim raspoloživim izvorima, zajedničkim naporom svih dionika projekta. Osim uobičajenih izvora, posebice treba istaknuti važnost korištenja i povezivanja podataka koji postoje unutar gradske uprave jer bi rezultati procjena rizika u konačnici trebali biti implementirani u sustave.

U nastavku će se istaknuti neke od **korištenih baza** s ciljem da se ukaže na različitost korištenih izvora, a s napomenom da se kontinuirano tijekom provedbe projekta otkrivalo nove izvore podataka koje su pojedine službe ili pojedinci prikupljali u individualnim aktivnostima.

Korištene su **baze podataka**:

- Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske za potrebe procjene smanjenja rizika od katastrofa (primjerice, visine zgrada, nagibi krova, susjedne zgrade i slično),
- upis podataka od strane inženjera (pregledom postojećih baza, karata ili obilaskom terena),
- procjena oštećenja i uporabljivosti građevina nakon potresa u Zagrebu i kod Petrinje 2020. godine (primjerice, oštećenja zgrada, pravilnost, katnost, tip konstrukcije i slično),
- nacionalnih procjena rizika iz 2015 i 2018. godine (primjerice, tip konstrukcije, visine i slično),
- podaci iz Državnog Zavoda za statistiku (primjerice, godina izgradnje, broj stanovnika površina stanova, vlasništvo, način korištenja, instalacije i slično),
- državni arhiv (primjerice, tip konstrukcije, godina izgradnje i slično – iz skaniranih nacrta),
- podaci iz ministarstava (primjerice, energetska obnova, proces legalizacije, registar kulturnih dobara i slično),
- upitnika (Slika 9) za upis podataka za procjenu rizika za građane (omogućen je upis svih podataka)
- baze vezane za održavanje zgrada (primjerice, tip konstrukcije),
- različite arhitektonske podloge (primjerice, razvoj Grada kroz povijest),
- različite baze gradskih službi (primjerice, namjena, kulturna dobra, različiti podaci o kritičnoj infrastrukturi i slično),
- brojne druge.

Očito je da je novo kreirana baza podataka **vrlo opterećena podacima**, obzirom na veliki broj atributa i veliki broj građevina, a posebice jer se popunjava iz više izvora. Tijekom provedbe projekta je odlučeno da će se primijeniti koncept popunjavanja iz više paralelnih sekundarnih baza podataka/ slojeva ("**satelita**") u kojima će se prikupljati podaci iz različitih izvora. U konačnici će se definirati kriteriji odnosno težinski faktori za podatke iz različitih izvora (obzirom na pouzdanost podataka) i popuniti glavna ("master") baza.

E-upis zgrada i obiteljskih kuća u Gradu Zagrebu

Obrasci Upute Pomoći dokument

U Zagrebu kreće popisivanje zgrada i obiteljskih kuća što je sastavni dio EU projekta Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske za potrebe procjene smanjenja rizika od Katastrofe - Potresni rizik Grada Zagreba.



Cilj projekta Potresni rizik Grada Zagreba je utvrditi rizik od potresa u svremensim razinama postupima, što će omogućiti stratešku prenihiljanju, donošenje odluka i organizaciju procesa u cilju povećanja sigurnosti grada. Sve postupke procjene rizika od potresa imaju bitan manjakovit vezan za kvalitetu podataka o svojstvima zgrada i stoga je stvaranje kvalitetne baze podataka sredstvo dlo projekta.

Projekt sufinancira Evropska unija iz Europskog fonda za regionalni razvoj.



Next

Page 1 of 16

#### Katnost (broj etaža/razina) i osnovne dimenzije

U ovoj sekciji se definira katnost odnosno broj etaža/razina zgrade te karakteristične visine.

#### Upišite broj etaža (katova) iznad zemlje

Unesite broj katova koji uključuje i prizemje (ako nije ukopano) i poskrovje (ako je nastanljivo).  
- vidi sliku



#### Unesite prosječnu (pretežitu) visinu etaže (kata) u cm

Odredite visinu kata „od poda do poda“ - koristiti visinu iz dokumentacije (ako postoje) ili izmjerite visinu prostorija, ali morate dodati debjinu međukatne konstrukcije ili pročišćenje. Ukoliko postoji različite visine po visini zgrade ili unutar jedne etaže odaberite pretežitu.



#### Upišite broj etaža ispod zemlje

U zatoči ispod zemlje (podzemiske) u računavaju se one koje su većim dijelom ukopane (vidi sliku) - ako nemate podruma, upišite 0.



#### Zemljani podrum

U zatoči ispod zemlje (podzemiske) u računavaju se one koje su većim dijelom ukopane (vidi sliku) - ako nemate podruma, upišite 0.



#### Nepravilnost nosive konstrukcije

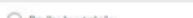
Osnovno pravilo projektiranja konstrukcija otvornih na potres je da budu pravilne odnosno da ne mijenjaju znatno krutost u tlocrtu i po visini. Ilustrativna nakon razgovora potresna ukazivač na veću oboljelost nepravilnih konstrukcija (posebice onih "mekani kat" i koje su nepovoljno rekonstruirane) stoga je posebice važno upozoriti na potencijalne nepravilnosti.

#### Pravilnost konstrukcije

Ukoliko zgrada ima jednoliki raspored zidova u tlocrtu i nema značajnih promjena po visini, može se smatrati pravilnom. Nepravilne konstrukcije imaju primjercice „mekani kat“ (pogledati sliku), uvozne katove, promjene tipa konstrukcije (zidanu/betonku) po visini, zidove koncentrirane samo u jednom dijelu zgrade, promjene u visini zgrade, kratke stupove i slično.



#### Prawilna konstrukcija



#### Nepopravljiva konstrukcija



#### Ima li vaša zgrada "Mekani kat" (pogledati sliku i opis)



[www.zagreb.hr/spremnost-a-zagreb-za-tsunam](http://www.zagreb.hr/spremnost-a-zagreb-za-tsunam)

Primjerice, jedan kat (primjerice prizemje) je viši od ostalih (za više od cca 15 % od etaže).

Ispod/iznad) ili slabiji od ostalih (primjerice, ima cca 30 % stupova/zidova manje). Ova

#### Godina izgradnje/rekonstrukcije/legalizacije zgrade

U ovoj sekciji se definiraju karakteristične godine/razdoblja vezane za životni vijek građevine.

#### Unesite godinu/razdoblje izgradnje

Ukoliko znate točnu godinu ili vrlo blisku godinu izgradnje (umtar par godina) unesite je u prvoj mogućnosti; Ukoliko znate približnu godinu odabirte jedan od ponuđenih intervala u drugoj mogućnosti. Ukoliko stvarno ne znate odaberite treću mogućnost (nepoznata godina izgradnje).

Točna godina izgradnje

Interval godine izgradnje (gornja i donja granica)

Nepoznata godina izgradnje

#### Navedite godinu izgradnje

Primjerice: 1980

?

#### Odaberite materijal međukatne konstrukcije

Početno se odabire materijal od kojeg je izgrađena stropna (međukatna) konstrukcija izgrađena (pretežno), a po odabiru se otvara (nize) detaljniji odabir vezan za tip nosive konstrukcije.

Materijal međukatne konstrukcije, nepoznat

Jednoetažna zgrada (nema međukatne konstrukcije)

Drvo

Beton / Armirani beton

Metal

Zide

Žemljani

Ostali materijal

#### Odaberite materijal od kojeg je izgrađena nosiva konstrukcija zgrade (primjerice nosivi zidovi)

Odaberite se vrsta materijala koja je pretežno korištena za nosivu konstrukciju (u Hrvatskoj su to najčešći zidovi).

Vrsta materijala nije poznata

Zide (obično zide od opeke/kamena i morta)

Zide, omeđeno (zide sa vertikalnim/horizontalnim armiranobetonskim elementima)

Beton, armirani

Beton, nearmirani (nema ugrađene armature)

Beton, nije poznato postoji li ugrađena armatura

Čelik

Drvo

Ostali materijal

#### Postoje li vertikalni serklaži (vertikalni armiranobetonski elementi)?

Primjerice, vertikalni armiranobetonski elementi u uglovima zidova (vidi sliku)

DA, na svima etazama zgrade



Da, samo u prizemlju



DA, samo na gornjim etazama zgrade



#### Srotna konstrukcija podruma

Budući da je stropna konstrukcija podruma često različita od ostalih međukatnih konstrukcija, odaberite vrstu stropne konstrukcije podruma.

Nema podruma

Nepoznato

Svodovlukovi bez zatega

Svodovlukovi sa zategama

Pruski svod/kapa

Drveni gredici

Slika 9 Upitnik za upis podataka/atributa prilagođen za građane

Za bolji prikaz ovog složenog procesa može se **detaljnije opisati "preklapanje"** s bazama podataka kreiranim tijekom pregleda oštećenja i uporabljivosti građevina te postojećih procjena rizika jer iste slijede sličnu ideju opisa nosive konstrukcije. Atributi koji se poklapaju s podacima definiranim u projektnom zadatku su: tip konstrukcije (atribut 9 iz natječajne dokumentacije), katnost (atribut 10), pravilnost konstrukcije (atribut 11), debljina nosivih zidova (atribut 15), AB serklaži (atribut 16), pregradni zidovi (atribut 19), međukatne konstrukcije (atribut 20), krovište (atribut 21), konstrukcija stubišta (atribut 25), temelji (atribut 26), tlocrtna površina zgrade (atribut 28), BRP (atribut 29), kontakt sa susjednom zgradom (atribut 34) i vidljiva oštećenja (atribut 35). Dodatno, osim opisa nosive konstrukcije u bazu pregleda oštećenja su upisivani i ostali podaci poput godine izgradnje (atribut 7) i godine rekonstrukcije (atribut 8).

Nekoliko atributa je bilo **dostupno iz postojećih baza podataka** raspoloživih u gradskim službama, a to su GPS koordinata (atribut 1), gradska četvrt (atribut 2), adresa i naziv građevine (atribut 5), namjena građevine (atribut 12), spomenik kulture (atribut 13) i korištenje građevine (atribut 14).

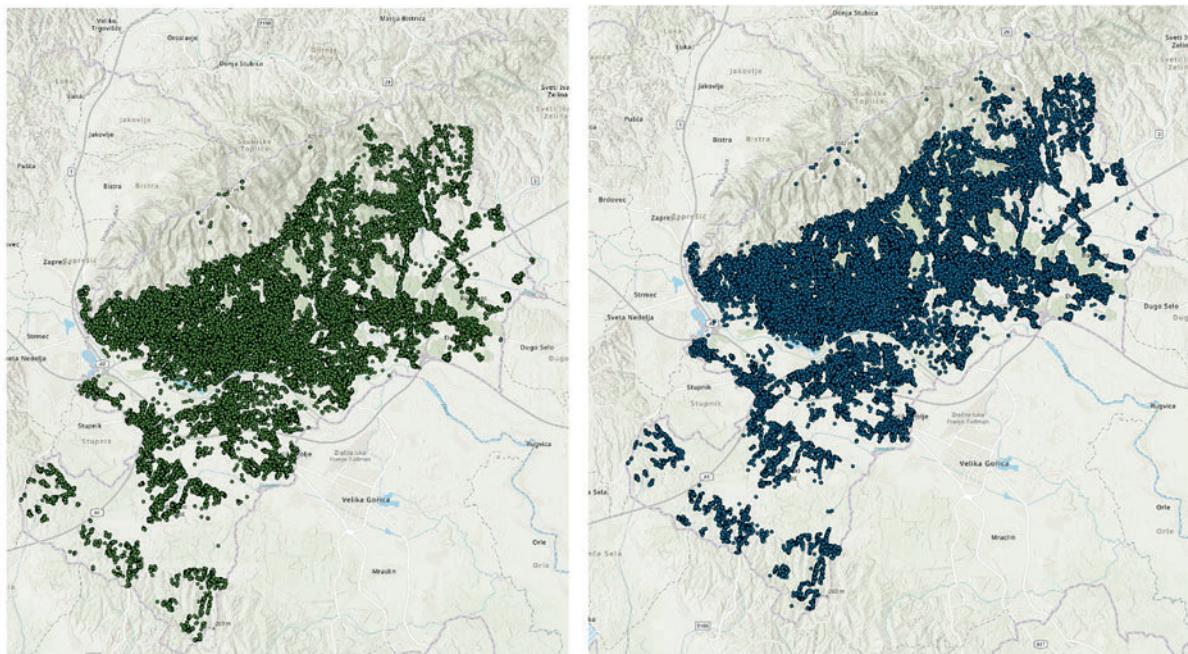
Pojedini atributi poput potresne zone za p.p. 475 god (atribut 3), p.p. 95 god (atribut 4) i kategorija temeljnog tla (atribut 27) su preliminarno definirani koristeći raspoložive karte odnosno rezultate postojećih istraživanja (primjerice Karte potresnih područja Republike Hrvatske i slično), a isti će se su se nadopunili sukladno istraživanjima predviđenim u Aktivnosti 2. Ostali atributi koji nisu toliko vezani za konstrukciju građevine već više za interventne službe – primjerice podaci o liftu (atributi 17 i 18), podaci o stubištu (atributi 23, 24 i 25), toplinskoj izolaciji (atribut 22), podaci o instalacijama (atributi 30 i 31) i podaci o vezani za djelovanje požara (atributi 32 i 33) su definirani u suradnji s gradskim službama prema trenutno raspoloživim podacima.

Treba jasno istaknuti da nisu svi projektnim zadatkom definirani atributi uvijek **primjenjivi** na sve građevine pa se za takve slučajeve koristio atribut "nije primjenjivo" (primjerice, krovišta nemamo kod stubišta ili terasa, AB serklaža nemamo kod AB zgrada već se oni prvenstveno odnose za zidane zgrade i slično).

Ključno je istaknuti **problematiku dostupnosti podataka/atributa o građevinama** jer ista ima veliki utjecaj na kvalitetu baze podataka, ali i rezultate procjene rizika. Najčešći slučaj je da građani ne žele omogućiti podatke o građevini. Uobičajeno se pozivaju na privatnost ili nedostatak vremena, ali iskustva stručnjaka s terena često upućuju na problematiku nezakonito izgrađenih ili rekonstruiranih građevina (dodatno potvrđeno usporedbama s dokumentacijom iz arhiva). Dodatno, građani često ističu da brojni podaci (nažalost većina nije primjenjiva za ovaj projekt) već postoje u gradskim i državnim službama te podsjećaju na inicijative koje su uključivale prikupljanje podataka poput popisa stanovništva, energetskog certificiranja i slično. Nastavno na navedeno potrebno je istaknuti da institucije koje i posjeduju određene podatke, nemaju dovoljno kapaciteta za kooperaciju, obradu/prilagodbu podataka odnosno cijelovitu sinkronizaciju. Višestruko se pokušavalo senzibilizirati građane i institucije kroz medijske aktivnosti, a kao dodatna aktivnost je izrađen i internet upitnik upis podataka (prilagođen za građane i službenike). Ispunjavanje online upitnika nije u potpunosti zaživjelo što dodatno potvrđuje prethodno istaknute zaključke. Navedena problematika se djelomično kompenzirala korištenjem rezultata multisenzorskog zračnog snimka građevina, ali obzirom na kašnjenje sestrinskog projekta, nije se u potpunosti iskoristio potencijal.

## 8.5 Proces prikupljanja podataka

Tipovi građevina su navedeni u poglavlju 9.2.2, a u nastavku će se opisati proces prikupljanja podataka za dva karakteristična proširena tipa, a to su "Gospodarske zgrade" i "Stambene zgrade" (Slika 8). Kako je prethodno navedeno podaci su prikupljani iz svih raspoloživih izvora, pritom pokušavajući optimizirati procese i osigurati kvalitetu podataka. Svaki od tipova je zahtijevao određene prilagodbe procesa i svi su adekvatno održani unatoč činjenici da neki ne pridonose konačnoj procjeni rizika – primjerice tipovi "Stepenice" ili "Terase".



**Slika 10** Primjeri proširenih slojeva vrste građevine (vrsta DKP) "Gospodarske zgrade" i "Stambene zgrade"

### 8.5.1 Prikupljanje podataka za "Stambene zgrade"

Za svaki sloj/vrstu građevina (vrsta DKP-a), prije popunjavanja se napravi dubinska analiza i definiraju/pridružu se **karakteristični atributi** prema projektom zadatku. Za tip "Stambene zgrade" primjenjivi su gotovo svi atributi prema projektom zadatku što nije bio slučaj za sve druge tipove građevina. Bitno je istaknuti da je za proračune odnosno procjene rizika **od presudne važnosti** pouzdano identificirati tip građevine, definirati broj etaža (katova), razdoblje izgradnje, položaj zgrade, interakciju sa susjednom građevinom, pravilnost konstrukcije i slično.

Kod popunjavanja podataka dodatno je korištena **podjela po karakterističnim tipovima** "Stambenih zgrada" ovisno o tipu konstrukcije (omeđeno/neomeđeno ziđe, armiranobetonska, drvena ili metalna), vrsti sustava za preuzimanje horizontalnih sila (zidovi, okvirna konstrukcija i slično) te vrsti krovne konstrukcije (armiranobetonska, drvena ili metalna). Može se istaknuti nekoliko primjera: neomeđeno ziđe s drvenom međukatnom konstrukcijom, neomeđeno ziđe s krutom međukatnom konstrukcijom, omeđeno ziđe, armiranobetonske konstrukcije i slično.

Svaki od tipova ima i detaljnije podatke - primjerice, tip građevine "**neomeđeno ziđe s drvenom međukatnom konstrukcijom**" obuhvaća gradnju sa tradicijskom punom opekom (različitim formata), bez serklaža, s drvenim grednikom kod kojeg ne postoji kruta dijafragma (primjerice AB ploča), niti horizontalni serklaži. Najčešće takav tip građevine susrećemo kod "starijih" obiteljskih kuća (1-2 kata), u naseljima izvan centra i rubnim mjesnim odborima te kod zgrada u nizu s debljim nosivim zidovima.

U nastavku su istaknuti **ilustracijski primjeri**, ali bitno je istaknuti da u konačnici svaki tip građevine sadrži određeni broj specifičnosti koje rezultiraju različitom listom atributa unutar baze podataka



**Slika 11** Izdvojeni primjeri tipa "neomeđeno ziđe s drvenom međukatnom konstrukcijom"

### 8.5.2 Prikupljanje podataka za "Gospodarske zgrade"

Tijekom analize i popunjavanja atributa za građevine kategorizirane kao "**Gospodarske zgrade**" (vrsta DKP-a), uočilo se da postoje brojne sličnosti s nekoliko drugih/sličnih kategorija. S obzirom na navedeno, interno je "proširena" kategorija građevina "Gospodarske zgrade" s kategorijama: "Pomoćne zgrade", "Nadstrešnice", "Garaže", "Dvorišne zgrade", "Skladišta", "Drvarnice" i "Hale" (navedeno i u poglavlju 9.2.2). Svojstveno za predmetne kategorije građevina je što se određeni atributi mogu povezati s atributima susjednih građevina, a navedeno ovisi o razdoblju i načinu gradnje i razlikuje se u pojedinim dijelovima grada. Mogu se istaknuti primjeri garaža, spremišta, pomoćnih zgrada ili nadstrešica u neposrednoj blizini ili uz samu obiteljsku kuću (karakteristično za rubne dijelove grada); primjeri garaža (spremišta) u nizu u blizini višestambenih zgrada (karakteristično za Novi Zagreb); primjeri nadstrešica uz benzinsku pumpu i obiteljsku kuću; primjeri, hala, skladišta i slično.



**Slika 5** Karakteristični primjeri "Gospodarskih zgrada"

## **8.6 Zaključak i smjernice za buduće aktivnosti**

Nastavno na izdvojene karakteristične dijelove jednog opsežnog procesa prikupljanja i obrade podataka o građevinama te uspostava baze podataka navesti će se **ključni zaključci i smjernice** s naglaskom na uočenu problematiku u provedbi ovog pilot projekta.

Prvo je bitno još jednom istaknuti važnost osiguravanja **kvalitetnih podataka o građevinama** jer one osiguravaju pouzdanje procjene rizika. Isto se može ostvariti povezivanjem svih raspoloživih baza podataka i stručnom obradom podataka isključivo od stručnjaka u području. Kvalitetna obrada raspoloživih podataka se pokazala jednim od ključnih elemenata procesa, a posao je izrazito naporan.

Nastavno na navedeno potrebno je još jednom istaknuti **problematiku dostupnosti podataka/atributa** o građevinama, a posebice nevoljkost građana/institucija da prepoznaju važnost projekta i omoguće raspoložive podatke. Nakon niza pokušaja, online upitnik za popunjavanje baze podataka je nedvojbeno potvrdio prethodno istaknute zaključke.

Prethodno opisani procesima se napravio maksimum u definiranom rubnim uvjetima manjkavih i nepovezanih baza podataka. Napravljene su prilagodbe raspoloživim izvorima, ali i napravljeni su temelji za buduće aktivnosti prikupljanja i obrade podataka. Procjene rizika su **kontinuirani proces** koji treba pratiti kontinuiranim poboljšavanjem baza podataka.

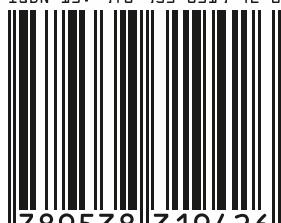
Projekt "Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske za potrebe procjene smanjenja rizika od katastrofa" čiji je dio i projekt "Potresni rizik Grada Zagreba" je **postavio temelje** procjenama rizika za Republiku Hrvatsku i otvorio vrata brojnim aktivnostima za koje se očekuje da će uslijediti.





Svi Elaborati su dostupni na stranici projekta  
potresni rizik grada Zagreba  
<https://potresnirizik.zagreb.hr/>

ISBN-13: 978-953-8319-42-6



9 789538 319426