

Primljen / Received: 8.5.2020.

Ispravljen / Corrected: 9.9.2020.

Prihvaćen / Accepted: 15.9.2020.

Dostupno online / Available online: 10.11.2020.

Potres u Zagrebu 22. ožujka 2020. – preliminarni izvještaj o seizmološkim istraživanjima i oštećenjima zgrada

Autori:

¹Doc.dr.sc. **Marta Šavor Novak**, dipl.ing.građ.
marta.savor.novak@grad.unizg.hr

Autor za korespondenciju

¹Doc.dr.sc. **Mario Uroš**, dipl.ing.građ.
mario.uros@grad.unizg.hr

¹Izv.prof.dr.sc. **Josip Atalić**, dipl.ing.građ.
josip.atalic@grad.unizg.hr

²Prof.dr.sc. **Marijan Herak**, dipl.ing.fizike
mherak@irb.hr

¹Doc.dr.sc. **Marija Demšić**, dipl.ing.građ.
marija.demsic@grad.unizg.hr

¹**Maja Baniček**, mag.ing.aedif.
maja.banicek@grad.unizg.hr

¹Prof.dr.sc. **Damir Lazarević**, dipl.ing.građ.
damir.lazarevic@grad.unizg.hr

³Dr.sc. **Nenad Bijelić**, dipl.ing.građ.
nenad.bijelic@epfl.ch

⁴**Milan Crnogorac**, dipl.ing.građ.
crnogorac.milan@gmail.com

⁵**Mario Todorčić**, dipl.ing.građ.
mario.todoric@toding.hr

¹Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet
Zavod za tehničku mehaniku

²Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geofizički odsjek

³EPFL, Švicarska
(u trenutku pisanja: University of Innsbruck,
Austrija)

⁴KON-VIS d.o.o., Zagreb

⁵Toding d.o.o., Zagreb

Prethodno priopćenje

Marta Šavor Novak, Mario Uroš, Josip Atalić, Marijan Herak, Marija Demšić, Maja Baniček, Damir Lazarević, Nenad Bijelić, Milan Crnogorac, Mario Todorčić

Potres u Zagrebu od 22. ožujka 2020. – preliminarni izvještaj o seizmološkim istraživanjima i oštećenjima zgrada

U radu su opisane bitne značajke i glavne posljedice potresa magnitude 5,5 koji je u jeku pandemije virusa COVID-19 zadesio Zagreb i okolice. Premda je potres, seizmološki gledano, bio umjerene magnitude, prouzročio je gubitak jednoga života i veliku materijalnu štetu. Napravljen je pregled stanja prije trešnje te prikaz lokacije, seizmičke aktivnosti i organizacije pregleda zgrada. Grubo su razvrstani podaci o oštećenjima, s težištem na povijesnoj jezgri i četvrtima blizu epicentra. Na kraju su istaknute nužne aktivnosti koje je odavno trebalo provesti, s nadom da će ih ovaj potres potaknuti.

Ključne riječi:

potres u Zagrebu, pregledi zgrada nakon potresa, zidane zgrade, oštećenja, povijesna jezgra, kulturna baština

Research Paper

Marta Šavor Novak, Mario Uroš, Josip Atalić, Marijan Herak, Marija Demšić, Maja Baniček, Damir Lazarević, Nenad Bijelić, Milan Crnogorac, Mario Todorčić

Zagreb earthquake of 22 March 2020 – preliminary report on seismologic aspects and damage to buildings

Significant characteristics and main consequences of the 5.5 magnitude earthquake that struck Zagreb and its surroundings in the midst of the COVID-19 pandemic are presented in the paper. Although, from the seismologic aspect, the earthquake was of moderate magnitude, it caused the loss of one life and considerable material damage. An overview of the situation before the quake is given, and information about the location, seismic activity, and organisation of building inspection activity, is presented. The data on damage are roughly classified, with the focus on historic core of the city and districts situated close to the epicentre. A strong emphasis is placed on indispensable activities that should have been carried out a long time ago, in the hope that they will be prompted by this earthquake.

Key words:

Zagreb earthquake, post-earthquake building inspections, masonry buildings, damage, historic core, cultural heritage

Vorherige Mitteilung

Marta Šavor Novak, Mario Uroš, Josip Atalić, Marijan Herak, Marija Demšić, Maja Baniček, Damir Lazarević, Nenad Bijelić, Milan Crnogorac, Mario Todorčić

Erdbeben in Zagreb am 22. März 2020 – vorläufiger Bericht über seismologische Phänomene und Gebäudeschäden

Die Arbeit beschreibt die wichtigen Merkmale und wichtigsten Folgen des Erdbebens der Stärke 5,5, das Zagreb und seine Umgebung inmitten der COVID-19-Virus-Pandemie getroffen hat. Obwohl das Erdbeben aus seismischer Perspektive eine mäßige Stärke hatte, verursachte es den Tod eines Menschen und großen materiellen Schaden. Es wurden eine Übersicht über den Zustand vor dem Beben sowie eine Darstellung des Standorts, der seismischen Aktivität und der Organisation der Gebäudeinspektion erstellt. Die Schadensdaten wurden grob klassifiziert, wobei der Schwerpunkt auf dem historischen Kern und den Stadtteilen in der Nähe des Epizentrums liegt. Schließlich wurden die notwendigen Aktivitäten hervorgehoben, die vor langer Zeit hätten durchgeführt werden sollen, in der Hoffnung, dass dieses Erdbeben sie anregen wird.

Schlüsselwörter:

Erdbeben in Zagreb, Gebäudeinspektionen nach dem Erdbeben, Mauerwerksgebäude, Schäden, historischer Stadtkern und Kulturerbe

1. Uvod

U nedjelju 22. ožujka 2020. godine u ranojutarnjim satima, s odmakom od približno četrdeset minuta, glavni grad Hrvatske Zagreb i okolicu pogodila su dva potresa s epicentrom kod Markuševca, na sjevernom dijelu grada. Prvi, u 06:24 po lokalnom vremenu, bio je magnitude 5,5 prema Richteru, preliminarno procijenjenoga intenziteta u epicentru VII.–VIII. stupnja MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg) ljestvice, a magnituda druga, naknadnog, u 07:01 po lokalnom vremenu, iznosila je 4,9 [1].

Potresi su seizmološki gledano bili umjerene magnitude, ali su prouzročili gubitak jednoga života i velike materijalne štete (trenutačne su procjene obnove oko 10 milijardi eura), posebice u zaštićenoj povijesno-urbanoj sredini grada i oko epicentralnog područja. Pretpostavlja se da je zahvaćeno oko petine stambenoga fonda (do 25.000 zgrada), a u najviše ugroženoj staroj jezgri oštećene su brojne građevine kritične infrastrukture, posebice škole i bolnice, ali i zgrade ključne za funkcioniranje grada i države, jer je riječ o administrativnom središtu Hrvatske. Također, oštećeni su i mnogi zaštićeni spomenici kulture, sakralne građevine poput zagrebačke katedrale i brojni muzeji (slika 1.). Potres je prouzročio uglavnom manja do umjerena oštećenja konstrukcijskih sustava stambenih zgrada, pa nije bilo mnogo žrtava, a povoljna je bila i smanjena aktivnost stanovništva zbog istodobne pandemije virusa Covid-19. Okupljanja su bila zabranjena, što je posebice značajno za stoljetne crkve koje su pretrpjele teška oštećenja i u kojima bi se u normalnim uvjetima održavale mise, a nije bilo ni stanovnika na ulicama, jer bi mnogi stradali zbog rušenja brojnih dimnjaka, parapeta, zabatnih zidova i drugih nepridržanih dijelova zgrada. Velik broj građana privremeno je iselio iz središnjega dijela grada; preliminarni (neslužbeni) podaci govore o 15.000 do 20.000 ljudi, a službeno je potvrđen smještaj 500 građana u studentski dom Cvjetno naselje. Mnogi stanovnici su samo dan prije zabrane napuštanja prebivališta zbog pandemije napustili Zagreb i privremeni smještaj našli kod rodbine, pa se točni učinci potresa na stanovništvo teško mogu potpuno odvojiti od učinaka pandemije. Težište je rada na prikazu podataka iz Grada Zagreba, jer su u susjednim županijama, Zagrebačkoj i u Krapinsko-zagorskoj, štete vrlo male.

U nastavku rada se navode osnovni seizmološki podaci o glavnom i naknadnim potresima, preliminarna zapažanja o oštećenjima građevina, prikupljena hitnim (brzim) pregledima, a

ukratko se opisuje i šire značenje potresnog događaja. Posebno je istaknuto uspostavljanje sustava za preglede oštećenja te su prikazani brojni problemi na koje se naišlo zbog nedostatka aktivnosti u vremenu prije potresa. Prikupljeni su brojni podaci, ali zbog velike količine materijala obrada još traje (ovdje je opisano stanje u lipnju 2020.).

Autori ovog rada izravni su sudionici odnosno nositelji organizacije sustava pregleda oštećenja nakon potresa, ali i dugogodišnji glavni izvršitelji (koje je imenovala država) brojnih aktivnosti vezanih za rizik od potresa (uključujući nacionalne procjene rizika). Stoga je nužno i odgovorno osvrnuti se na dosadašnje aktivnosti u području upravljanja rizikom od potresa (točnije, uputiti na nedostatke), uz objašnjenje zašto su posljedice i pouke potresa, (srećom) umjerene magnitude, velike i bitne za građane Hrvatske i čitavoga okruženja. Godinama se upozoravalo, a neposredno prije potresa pokrenuto je nekoliko inicijativa (čak i medijskih), ponajprije usmjerenih na podizanje svijesti građana, oslanjajući se na naša izravna iskustva s nedavnim potresom u Albaniji. Upozoravalo se na moguće posljedice koje mogu zadesiti Hrvatsku, s posebnim naglaskom na grad Zagreb koji je i obrađen kao najgori mogući scenarij u nacionalnim procjenama rizika iz 2014. i 2018. godine [2, 3]. Nažalost, s obzirom na složenu financijsku i političku situaciju u Hrvatskoj, lakše je bilo ignorirati problem nego naučiti na primjerima drugih i preventivno ulagati, no "quod nocet, docet"; i sada su pred Republikom Hrvatskom velike odluke. Nadamo se da će strategija obnove započeti kao sustavan i cjelovit proces, u kojem će se razmotriti sva stajališta i uključiti svi potrebni sudionici.

Ključno je iskoristiti ovo seizmološki umjereno, ali iznimno važno upozorenje kao priliku za sustavno pokretanje, usmjeravanje i traženje podrške stručnih, znanstvenih i društvenih krugova radi umanjivanja potresnoga rizika, jer svijest o ugrozi obično brzo počinje opadati. Nadamo se da nećemo morati čekati novi potres poput onoga u Moliseu u Italiji (2002. godine), kad je poginulo 27 učenika u rušenju jedne škole, da bismo počeli sustavno planirati i ulagati u otpornost naših urbanih sredina i zajednica.

2. Grad Zagreb: osnovni podaci o lokaciji

Grad Zagreb, kao glavni grad, središte je državne uprave Republike Hrvatske, a ujedno je i regionalno te kulturno središte od izuzetne važnosti. U njemu se nalaze važne obrazovne,



Slika 1. Učinci potresa na povijesni centar grada (autori fotografija: AIR-RMLD d.o.o. www.air-rmld.com, Filip Foretić, Karlo Jandrić)

kulturne, umjetničke i zdravstvene ustanove, industrijski pogoni i kulturna baština iznimne nacionalne i svjetske vrijednosti. S obzirom na strukturu gospodarstva, industrijske kapacitete i postotak gradskoga proračuna u odnosu na druge gradove u Hrvatskoj, Zagreb se može smatrati glavnim gospodarskim središtem. Primjerice, prema podacima Državnoga zavoda za statistiku, s obzirom na bruto domaći proizvod, u Zagrebu je koncentrirana trećina ukupnoga gospodarstva Hrvatske. S druge strane, zbog velikog broja tijela državne uprave, očita je važnost Zagreba u administrativnoj i političkoj stabilnosti države. Osim toga, Zagreb je državno središte cestovnoga, željezničkoga i zračnog prometa te sjecište europskih prometnih smjerova istok–zapad i sjever–jug.

U gradu Zagrebu, prema popisu stanovništva iz 2011. godine, na površini od 641,37 km² živi 790.017 stanovnika (približno 20 % stanovništva Hrvatske) ili prosječno 1.213 stanovnika na km². Prema istom popisu, u Zagrebu ima 279.656 kućanstava i 334.888 stanova. Grad je administrativno podijeljen na 17 gradskih četvrti (GČ) i 218 mjesnih odbora (MO). Najgušće su naseljene GČ Donji grad s 12.274 stanovnika/km² i GČ Trešnjevka – sjever s 9.542 stanovnika/km², a najrjeđe GČ Podsljeme s 928 stanovnika/km² i GČ Brezovica sa samo 85 stanovnika/km². Neposredno ispod Medvednice u GČ Donji grad (označenoj na

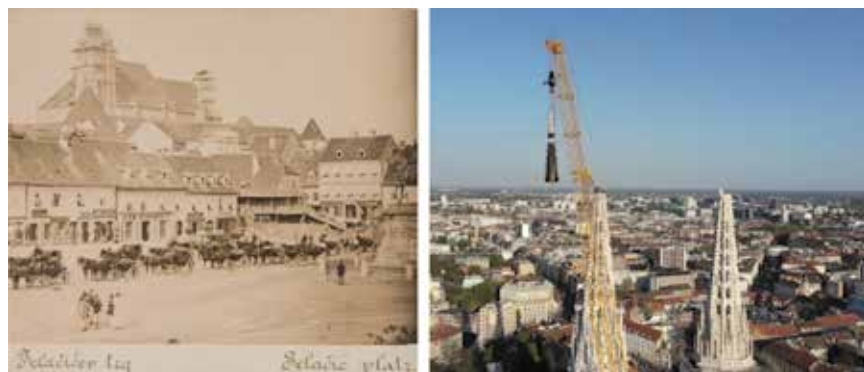
slici 2.a) i dijelovima susjednih GČ smještena je povijesna jezgra grada s najviše pojedinačnih nepokretnih kulturnih dobara (ukupno ih ima oko 400) i većinom površine zaštićenih urbanih cjelina (slika 2.b).

Poznato je da je područje grada u seizmički aktivnom području, a poseban je dokaz povijesni potres iz 1880. godine, procijenjene magnitude 6,2, koji je prouzročio goleme štete i iseljavanje stanovništva [4, 5]. I tada je stradala zagrebačka katedrala (slika 3.), pa je današnji, točnije donedavni izgled, dobila temeljitom obnovom koja je trajala do početka 20. stoljeća. Može se općenito zaključiti da je Zagreb od jednog malog provincijskog grada postao suvremeno središte upravo zbog temeljite obnove koja je uslijedila nakon potresa. Doista se nadamo da će i nakon ovoga potresa, gotovo stoljeće i pol kasnije, doći do temeljite i stručne sanacije nastalih šteta, ali i cjelovite urbanističke obnove grada.

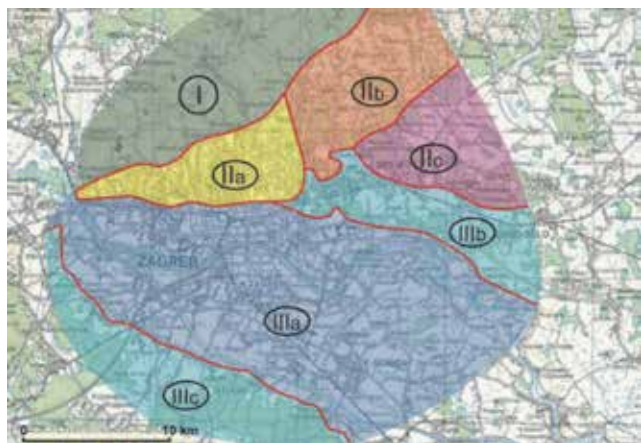
Ovdje će se objasniti bitni čimbenici koji utječu na rizik od potresa u Zagrebu, uključujući osnovne definicije, budući da rizik od potresa nije u središtu zanimanja stručnjaka u Hrvatskoj. Rizik od potresa u pravilu se definira kao kombinacija vjerojatnosti da dođe do posljedica događaja (štete) i odgovarajuće vjerojatnosti njegove pojave [5]. Izražava se u obliku konvolucije individualnih čimbenika: seizmičkoga hazarda (opasnosti), izloženosti i oštetljivosti koje ćemo u nastavku ukratko opisati, a zainteresirane čitatelje upućujemo na rad [5] u kojem postoji detaljniji opis. Seizmički hazard ili potresna opasnost obuhvaća potencijalno razorne učinke potresa (primjerice podrhtavanje tla, likvefakciju, odrone i slično) na promatranoj lokaciji. Izražava se statističkom vjerojatnošću premašivanja odabranoga parametra u zadanom razdoblju, primjerice vršnoga ubrzanja tla ili spektralnoga ubrzanja. Izloženost se može definirati kao razmjernost ljudske aktivnosti (primjerice prisutnost građevina) u područjima izloženima seizmičkome hazardu. Najvažniji dio podataka o izloženosti odnosi se na popis postojećih zgrada (fond) koji značajno doprinosi društvenom i ekonomskom riziku. Fizička oštetljivost može se definirati kao podložnost izloženih građevina učincima potresa (oštećenjima), a cilj je njezine procjene odrediti vjerojatnost pojave zadane razine oštećenosti kod određenoga tipa građevine zbog djelovanja potresa. Na području Republike Hrvatske seizmički hazard ili opasnost definiran je sadašnjom kartom potresnih područja [6], prema kojoj se u Zagrebu i okolici mogu očekivati vršna ubrzanja tla



Slika 2. Karta Zagreba: a) Prikaz gradskih četvrti s istaknutim položajem GČ Donji grad (obojeno žuto) i epicentra glavnoga potresa (crvena točka); b) Položaj urbano-povijesnih cjelina (izvor: <https://geoportal.zagreb.hr/karta>)



Slika 3. Zagrebačka katedrala – uklanjanje tornja: a) nakon potresa 1880. (izvor: Muzej grada Zagreba); b) nakon potresa 2020. godine (izvor: Ministarstvo obrane Republike Hrvatske)



Oznaka	Opis
I	Gorska jezgra Medvednice
II	Medvedničko prigorje – Podsljemenska urbanizirana zona
IIa	Periklinalno položene mlađe naslage (neogenske i starije kvartarne)
IIb	Strukture boranja u mlađim naslagama (neogenskim)
IIc	Uzvisina starijega kvartara i nanosa brdskih potoka
III	Prisavska naplavna ravnica
IIIa	Savske naplavine
IIIb	Terasna izdignuća (terase)
IIIc	

Slika 4. Makrozoniranje šireg područja Zagreba po geološko-topografsko-hidromorfološkom kriteriju [7]

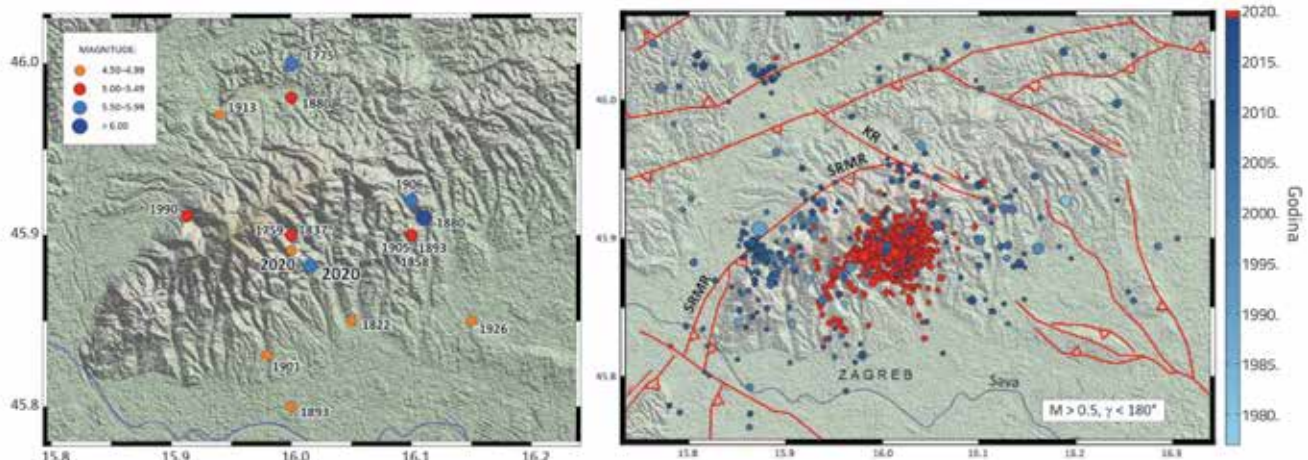
na osnovnoj stijeni od 0,20 do 0,28g za povratno razdoblje od 475 godina. Većina tala (slika 4.) odgovara tipovima B i C prema klasifikaciji u skladu s normom za projektiranje potresne otpornosti HRN EN 1998 [7-10].

Teorijska razmatranja o linearnom pojačavanju (amplifikaciji) potresnoga gibanja u Zagrebu na osnovi hibridnoga postupka generiranja sintetičkih akcelerograma (zbrajanje oblika titranja i modeliranje konačnim razlikama) objavili su Lokmer i suradnici 2002. godine [11] te Herak i suradnici 2004. godine [12].

Seizmička opasnost Zagreba potječe uglavnom iz medvedničkoga epicentralnog područja, iako se ne mogu zanemariti ni utjecaji potresa u okolici Ivančice, Brežica, Krškog pa i udaljenijih područja poput Pokuplja ili Žumberka. O tektonici širega područja Medvednice objavljeni su mnogi radovi, primjerice [13-20]. O seizmičnosti sjeverozapadne Hrvatske, pa i okolice Zagreba, izvijestili su Herak i suradnici 2009. godine [21]. U tom je radu sažeto prikazana povijest seizmičnosti, opisani su i do tada riješeni mehanizmi potresa, kao i analiza položaja hipocentara u prostoru i njihova veza s pretpostavljenim aktivnim seizmogenim rasjedima. Seizmotektonska obilježja medvedničkog područja izložili su i Herak i suradnici 2016.

godine [22]. Kao za sam Zagreb najvažniji seizmički izvori identificirani su reversni Sjeverni rubni medvednički rasjed (SRMR) koji se pruža sjeverozapadnim rubom Medvednice (s padom paraklaze prema jugoistoku), te na njega približno okomiti Kašinski rasjed (KR) s pomakom po pružanju (engl. strike-slip). U [16] identificirani su ispod Medvednice još neki reversni rasjedi (poput Sljemenskog rasjeda) čija seizmoga aktivnost za sada nije dokazana. Slika 5. prikazuje glavne rasjede u okolici Medvednice (pojednostavljeno prema [22]), kao i epicentre pouzdano lociranih potresa s lokalnom magnitudom $M_L > 0,5$ prema Richteru u razdoblju 1975.–2018. (plavo), te serije potresa od 22. ožujka do 5. svibnja 2020. (crveno).

Na slici 5. prikazani su potresi magnitude $M_L > 0,5$ s epicentrom unutar mreže seizmografa koji su ih zabilježili (maksimalni kontinuirani nepokriveni interval azimuta (engl. gap) $\gamma < 180^\circ$). Crvene linije prikazuju površinske tragove sustava rasjeda na zagrebačkom području (pojednostavljeno prema [22]): SRMR – Sjeverni rubni medvednički rasjed, KR – Kašinski rasjed). Trokutaste oznake nalaze se na krovini reversnih rasjeda, dok strelice označavaju smjer relativnoga pomaka rasjednih krila kod rasjeda s pomakom po pružanju (engl. strike-slip).



Slika 5. a) Epicentri potresa magnitude $M_L \geq 4,5$ u širem području Zagreba s godinom događaja; b) Epicentri pouzdano lociranih potresa u razdoblju 1975.–2018. (plavo) i niz potresa 2020. godine (crveno)

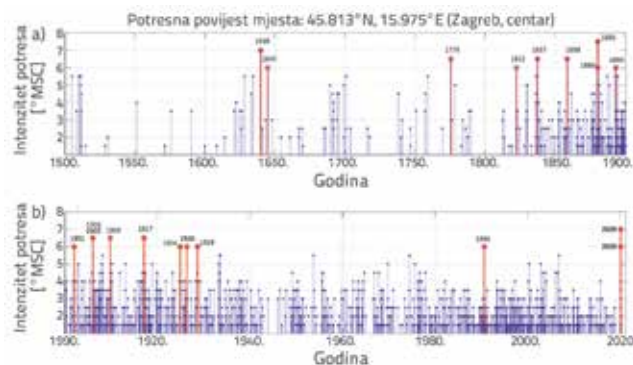
Iako se, kad se raspravlja o povijesnim potresima u Zagrebu, obično spominje veliki potres 1880., interesantno je pogledati i tzv. prikaz potresne povijesti za grad Zagreb. Slika 6. prikazuje intenzitete potresa (prema Mercalli-Cancani-Siebergovoj ljestvici, MCS) za sve potrese iz Hrvatskog kataloga potresa koje su opisali Herak i suradnici [23]. Katalog je ažuriran do kraja 2018. godine, a dodan je i do sada locirani niz potresa 2020. Slikom prikazani intenziteti izračunani su primjenom empirijskih relacija koje povezuju intenzitet potresa u epicentru (I_0), magnitudu potresa (M_L), dubinu žarišta (h), udaljenost lokacije od epicentra potresa (D), te intenzitet potresa na razmatranoj lokaciji (I_L), izraz (1), prema [24] i izraz (2), prema [25]:

$$M_L = 0,721 I_0 + 1,283 \log h - 1,130 \quad (1)$$

$$I_L = I_0 - 3 \log(R/h) - 3 \mu \alpha (R - h), \quad R = (D^2 + h^2)^{1/2} \quad (2)$$

$$\mu = \log(e) = 0,43429, \quad \alpha = 0,005 \text{ km}^{-1}$$

Navedene relacije odnose se, kao što je za intenzitet potresa uobičajeno, na takozvano srednje tlo koje nema formalnu definiciju, a opisuje tlo prosječnih amplifikacijskih svojstava na velikom području. Za tla znatno lošija (npr. meka glina) ili bolja od prosječnoga (npr. čvrsta stijena), uobičajeno je izračunanom intenzitetu dodati (ili oduzeti) određeni prirast intenziteta zbog očekivanoga pojačavanja (amplifikacije) valnoga gibanja u površinskim slojevima tla.



Slika 6. Povijest potresa u Zagrebu (centar): a) Razdoblje 1500.–1899.; b) Razdoblje 1900.–2020.

Svaki stupić na slici 6. odnosi se na jedan potres iz Hrvatskoga kataloga potresa ([26], ažuriran 2019.) čiji je izračunani intenzitet u središtu Zagreba premašio $1,0^\circ$ MCS. Potresi čiji intenzitet na srednjem tlu doseže ili premašuje $6,0^\circ$ MCS označeni su crveno. Intenziteti su zaokruženi na pola stupnja. Pretpostavljeno je izotropno makroseizmičko polje i tzv. srednje tlo (bez prirasta intenziteta).

Slika 6. odnosi se na središte Zagreba te bi bila zamjetno drugačija da je izračunana primjerice za Markuševac, Novi Zagreb ili Podsused. Slika daje tek orijentacijsku procjenu intenziteta (u obzir nisu uzeta pojačavanja (amplifikacije) u površinskim

slojevima tla, anizotropnost makroseizmičkoga polja, mehanizam potresa, topografija i sl.), pa se o stvarnom intenzitetu može govoriti samo nakon provedenoga makroseizmičkoga istraživanja. Ipak, uočavamo da se samo u posljednjih 200 godina dogodilo čak 16 potresa čiji je procijenjeni intenzitet u Zagrebu bio VI° MCS ili viši, te su mogli uzrokovati štetu. Najvažniji među njima su potresi 1837. (Medvednica), 1858. i 1905. (Prekvršje), 1880. (Planina), 1906. (Planina–Kašina), 1909. (Pokuplje–Vukomeričke gorice), 1917. (Brežice) te 2020. (Markuševac), slika 5. Nažalost, samo su Veliki zagrebački potres od 9. studenoga 1880. te čuveni Pokupski potres 1909. primjereno makroseizmički obrađeni, pa bi bilo vrlo korisno da se dostupni povijesni podaci ponovno vrednuju, prikupe po mogućnosti novi, te preispitaju i po potrebi isprave hipocentri, intenziteti i procijenjene magnitude tih potresa. Primjerice, preliminarna istraživanja upućuju na to da je intenzitet potresa od 17. prosinca 1905., kako je naveden u katalozima, znatno precijenjen. Obrada je makroseizmičkih podataka za Markuševčki potres od 22. ožujka 2020. u tijeku. Takve analize bit će vrlo vrijedne pri izradi nove karte seizmičke opasnosti.

Uz seizmički hazard, bitnu komponentu procjene rizika na određenoj lokaciji čine značajke zgrada i ostale infrastrukture. Gotovo trećina svih stambenih jedinica u Zagrebu izgrađena je prije 1964. godine, kad su doneseni prvi seizmički propisi u bivšoj državi (nakon potresa u Skopju 1963. godine). Drugim riječima, one nisu uopće projektirane na opterećenja od potresa. Nadalje, više od polovine stambenih jedinica nalazi se u zgradama izvedenima poslije 1964. godine, do primjene suvremenih norma, pri čemu je propisana razina potresnih djelovanja bila i nekoliko puta manja nego danas [2, 27–29]. Europske norme (Eurokodovi) za projektiranje potresne otpornosti konstrukcija službeno su u uporabi od 2005. godine za betonske zgrade te od 2007. godine za zidane zgrade (prednorme ENV), uz korištenje seizmološke karte iz 1987. godine. Nova je seizmološka karta 2012. godine službeno ušla u uporabu uz niz europskih normi, no čak do 2017. godine nije bila obvezna primjena Eurokoda 8 za sve zgrade.

Treba istaknuti da su tijekom godina zgrade često rekonstruirane, ne uvijek u skladu s pravilima struke, i na taj su način dodatno oslabljene. Također, materijali nosivih elemenata, primjerice mort i opeka, s vremenom degradiraju i gube mehanička svojstva. Intuitivno je jasno da je veliki dio zgrada u Zagrebu značajno ugrožen zbog djelovanja potresa.

Zaključno, područje je Zagreba pod umjerenim do visokim potresnim hazardom (opasnosti), velike je izloženosti (zbog guste naseljenosti, kulturnoga naslijeđa, važnosti grada) i velike oštjetljivosti građevina (zbog nepovoljne koncepcije nosive konstrukcije, starosti, lošega održavanja, nezakonitih izvedbi i rekonstrukcija). Zato je potresni rizik grada vrlo velik. Prema posljednjoj službenoj nacionalnoj procjeni rizika od potresa za najgori mogući događaj na području grada možemo očekivati direktan novčani gubitak do 16 milijardi eura na stambenom fondu, uz velika oštećenja i rušenja zgrada, te gotovo 3000 ljudskih žrtava [2, 3, 5]. Nažalost, unatoč dugogodišnjim

upozorenjima stručnjaka na veliki rizik od potresa, koja je moguće dokumentirati još od Mohorovičićevih predavanja građevinarima i arhitektima 1909. godine [30, 31], ovaj problem, ključan za sigurnost građana, stabilan razvoj i očuvanje kulturne baštine Republike Hrvatske, nisu na odgovarajući način prepoznale odgovorne osobe i institucije, niti je njegovo rješavanje primjereno obuhvaćeno stručnim i istraživačkim aktivnostima.

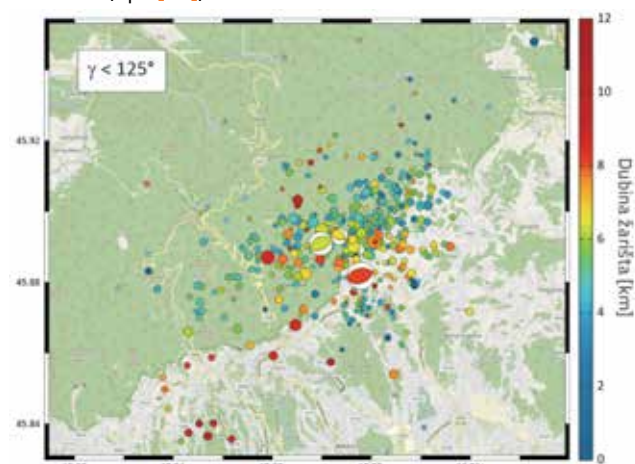
3. Glavni potres i naknadna seizmička aktivnost

Glavni se potres dogodio 22. ožujka 2020. u 05:24 UTC, te je bio lokalne magnitude $M_L = 5,5$ prema Richteru (momentna magnitude $M_w = 5,3$). Epicentar je bio u Markuševcu, a samo žarište na dubini otprilike 8 km. Preliminarna procjena intenziteta u epicentru je VII.–VIII. stupnja MCS ljestvice. Najjači naknadni potres dogodio se isti dan, u 06:01 UTC ($M_L = 4,9$, $M_w = 4,7$). Tijekom cijeloga niza dogodilo se (do trenutka pisanja ovoga dijela rada – svibanj 2020.) još 10 potresa s magnitudom $M_L \geq 3,0$. U prvih 45 dana ovoga potresnog niza bilo je moguće locirati više od 1400 potresa.

Prilagodбом Gutenberg–Richterove relacije razdiobi magnituda lociranih naknadnih potresa može se procijeniti da je taj katalog potresa potpun za magnituda $M_L > 1,0$ (ukupno 724 takva potresa), što je izvrstan rezultat s obzirom na gustoću seizmoloških postaja u okolici Zagreba. Naime u krugu polumjera od 20 km oko epicentra radile su prije potresa samo dvije seizmološke postaje (Zagreb i Puntijarka, te još četiri akcelerografske postaje). Unutar kruga od 50 km rade još dvije hrvatske (Lobor i Kalnik), te tri slovenske postaje. Dva dana nakon glavnog potresa instalirane su još i tri privremene stanice u Kašinskoj Sopnici, Rugvici i Čretu.

Lokacije žarišta potresa određene su programom *HYPOSEARCH* [23] koji je prilagođen korištenju prostorno varijabilnih staničnih korekcija (engl. *source-specific station corrections*). Program u iteracijskom procesu prilagođava optimalne lokacije i potrebne sustavne korekcije opaženih vremena nastupa faza potresa na pojedinim seizmološkim postajama kako bi se minimizirao utjecaj odabranoga modela Zemljine unutrašnjosti na konačan rezultat. Slika 7. prikazuje epicentre pouzdano lociranih potresa tijekom prvih 45 dana nakon glavnog potresa 22. ožujka 2020. Dubina žarišta označena je odgovarajućom bojom, te se velika većina njih nalazi na dubinama između 3 i 10 km. Većina epicentara leži istočno od potoka Bliznec, unutar površine dimenzija približno 6,5 km x 4,0 km koje se izvrsno poklapa s prostornom razdiobom najvećih opaženih pomaka tla preliminarno procijenjenih analizom satelitskih *DInSAR* podataka (M. Govorčin, 2020., osobno priopćenje). Međutim, vidljive su i manje koncentracije epicentara izvan toga područja (primjerice ona na jugozapadnom kraju oblaka epicentara na području Pantovčaka), što upućuje na to da su se vjerojatno aktivirali i manji okolni rasjedi. Dubine hipocentara u prosjeku rastu u smjeru SZ–JI, što je u skladu s pretpostavljenom geometrijom Sjevernoga rubnog medvedničkog rasjeda. Svi potresi magnitude $M_L \geq 3,0$ dogodili su se na dubinama

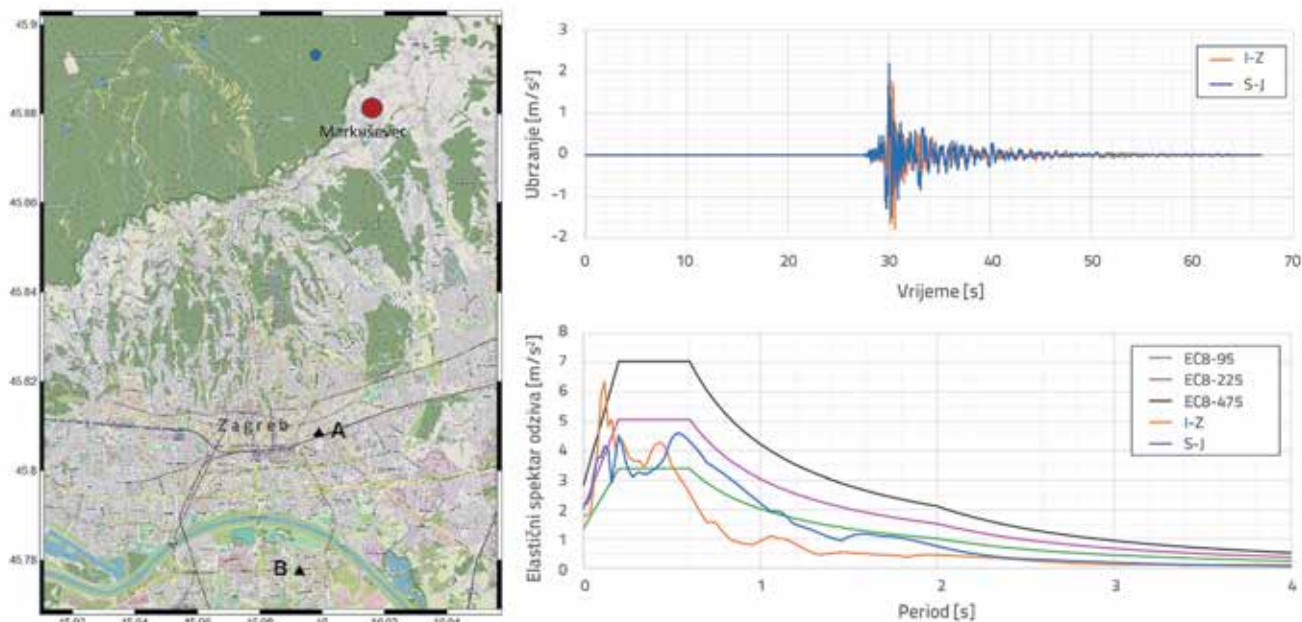
između 6 i 9 km. Žarišni mehanizam (slika 7.) bilo je moguće izračunati na temelju podataka o polaritetu prvoga pomaka P-vala za glavni potres i za dva naknadna potresa (u 06:02, $M_w = 4,7$ i 06:41, $M_w = 3,3$). Rješenja za glavni i najveći naknadni potres vrlo su slična i upućuju na to da su potresi bili na čisto reversnom rasjedu nagnutom ili prema SSZ ili prema JJI. Položaji hipocentara jasno daju prednost drugoj mogućnosti. Rješenje za slabiji naknadni potres manje je pouzdano i također upućuje na dominantno reversno rasjedanje, ali uz malu komponentu pomaka uzduž pružanja. S obzirom na drugačiji smjer pružanja mogućih rasjednih ploha, možda je riječ o aktiviranju nekog manjeg rasjeda. Međunarodne agencije i organizacije (npr. NEIC, GFZ, SLU, OCA, INGV) za te su potrese objavile mehanizme rasjedanja i postupkom inverzije centroida seizmičkog momenta. Njihova su rješenja sukladna onima prikazanim na slici 7. Os najvećega tektonskog tlaka usmjerena je JJI–SSZ, što je u skladu s dosadašnjim spoznajama za sjeverozapadnu Hrvatsku (npr. [21]).



Slika 7. Preliminarne lokacije epicentara potresa, 22. ožujka do 5. svibnja 2020.

Na slici 7. prikazani su samo potresi koje su zabilježile u prostoru jednoliko raspodijeljene seizmičke postaje (s maksimalnim kontinuiranim nepokrivenim intervalom azimuta o odnosu na epicentar (engl. *azimuthal gap*) $\gamma < 125^\circ$). Dubina žarišta označena je bojom u skladu s ljestvicom boja na desnoj strani slike. Prikazana su i tri žarišna mehanizma (donja žarišna hemisfera u stereografskoj projekciji) za glavni i dva naknadna potresa, pri čemu je kompresijski kvadrant označen bojom koja odgovara dubini žarišta.

U trenutku pripreme ovoga poglavlja (svibanj 2020.) niz naknadnih potresa još uvijek traje, pa su svi navedeni podaci još uvijek preliminarni naravi. Konačne lokacije svih zabilježenih potresa, opis makroseizmičkoga polja, statističke, geološke, geodetske i seizmotektonske analize (npr. konačnu identifikaciju seizmogenog rasjeda i detalja rasjedanja) te inženjersko–seizmološka obilježja ovoga niza potresa bit će moguće izračunati, provesti ili procijeniti tek nakon što potresi uminu te se prikupe i pažljivo analiziraju svi dostupni podaci.



Slika 8. a) Lokacije akcelerografskih postaja A i B (crni trokuti) na kojima su zabilježeni glavni potres ($M_L = 5,5$, crveni krug) i najjači naknadni potres ($M_L = 4,9$, plavi krug); b) zabilježeni zapisi ubrzanja tla u dva horizontalna smjera (sjever-jug S-J i istok-zapad I-Z) na lokaciji A za vrijeme glavnog potresa [32]; c) elastični spektri odziva zabilježenih zapisa i elastični spektri odziva prema važećoj normi HRN EN 1998-1 za lokaciju A uz pretpostavljeni tip tla C

Potres se dogodio u jeku krize izazvane pandemijom virusa Covid-19. Ta je činjenica uvelike utjecala na odziv seizmologa, jer su sve uobičajene procedure odmah nakon potresa (ali i kasnije) bile ili otežane ili onemogućene. Ipak, mala seizmološka zajednica u Hrvatskoj dobro se snašla, te se u javnosti nije primijetilo da kolege iz Seizmološke službe i Geofizičkog zavoda pri Geofizičkom odsjeku PMF-a uglavnom rade od kuće, da se komunikacija odvija uglavnom na daljinu ili da je obilazak terena otežan. Uz redovan rad uspješno je organizirano redovito izvješćivanje nadležnih službi, instalacija dodatnih uređaja, makroseizmički obilazak terena, ažurna analiza brojnih naknadnih potresa, te komunikacija s javnošću bilo u obliku izjava i intervjua u medijima, bilo na mrežnoj stranici i putem društvenih mreža koje su moderirali kolege seizmolozi.

Prema podacima Seizmološke službe [32] akcelerografi na lokacijama A i B (slika 8.a) koje su od epicentra glavnog potresa udaljene 8,2 km, odnosno 11,7 km, su zabilježili i glavni potres ($M_L = 5,5$) i najjači naknadni potres ($M_L = 4,9$). Tijekom glavnog potresa opaženo je vršno ubrzanja temeljnoga tla na lokacijama A i B od $a_{\max,A} = 0,22$ g, te $a_{\max,B} = 0,20$ g. Zabilježeni zapisi ubrzanja u smjerovima sjever-jug (S-J) i istok-zapad (I-Z) na lokaciji A tijekom glavnog potresa su pokazani na slici 8.b [32]. Najjači naknadni potres ($M_L = 4,9$) imao je vršna ubrzanja tla $a_{\max,A} = 0,07$ g, odnosno $a_{\max,B} = 0,04$ g. Kako se niti jedna od akcelerografskih postaja ne nalazi na osnovnoj stijeni, navedena je ubrzanja potrebno korigirati kako bi se procijenilo poredbeno vršno ubrzanje za temeljno tlo tipa A (a_g). Pošto za taj dio Zagreba još nije provedeno seizmičko mikrozoniranje, u ovom trenutku nije moguće sa sigurnošću procijeniti tip tla.

Međutim, lokacija A nalazi se vrlo blizu južnom rubu područja za koje je mikrozoniranje provedeno ("Podsljemenska zona", [10]), a kako je u cijelom južnom njegovom dijelu prevladavajuće tlo tipa C (uz manje površine tipa B), razumno je pretpostaviti da će i na lokaciji A tlo biti tipa C ili B–C. Za lokaciju B koja se nalazi s južne strane Save, u savskoj poplavnoj nizini, gdje se očekuje da je osnovna stijena relativno duboko, tlo tipa C još je vjerojatnije. Za taj tip tla važeći propisi navode amplifikaciju vršnog ubrzanja od $S = 1,15$ (faktor tla za tlo tipa C i spekter tipa 1 koji je u nas u službenoj primjeni). Prije detaljnije analize koja je u pripremi [32] moguće je tek reći da očekivana amplifikacija vršne akceleracije na te dvije lokacije vjerojatno nije veća od 20 %. Prema karti potresnih područja [6] koja se koristi za projektiranje, iznosi a_g za lokaciju A iznose $a_g = 0,12$ g za povratno razdoblje od 95 godina, te $a_g = 0,25$ g za povratno razdoblje od 475 godina. Za lokaciju B ti su iznosi slični: $a_g = 0,12$ g (95 god.) i $a_g = 0,24$ g (475 god.). Na slici 8.c su prikazani elastični spektri odziva zabilježenih zapisa ubrzanja tla u smjerovima sjever-jug (S-J) i istok-zapad (I-Z) na lokaciji A te elastični spektri odziva prema važećoj normi HRN EN 1998-1 za lokaciju A uz pretpostavljeni tip tla C, za različite vrijednosti povratnih razdoblja (95, 225 i 475 godina).

4. Organizacija sustava odgovora na katastrofe

4.1. Stanje prije potresa

Za bolje razumijevanje učinaka potresa u Zagrebu nužno je približiti čitateljima sliku sustava vezanoga za odgovor na COVID-19 krizu, ali i na opću situaciju u odnosu na pandemiju.

Samo tri dana prije potresa Stožer civilne zaštite Republike Hrvatske donio je odluku o zabrani javnih i vjerskih okupljanja te sportskih događaja, obustavljen je rad ugostiteljskih obrta i prodavaonica (osim prehrambenih trgovina i ljekarni), sportskih i rekreacijskih centara. Dan prije potresa uvedena je mjera strogoga ograničavanja zadržavanja na ulicama i drugim javnim mjestima na kojima se može istodobno kretati i zadržavati veći broj osoba (trgovi, rive, parkovi i druge javne površine). Dodatno, uvedena je i privremena zabrana kretanja osoba preko graničnih prijelaza, a najavljena je odluka o zabrani napuštanja mjesta prebivališta u RH (donesena 23. ožujka 2020.). Određeni je broj građana i zbog te najave napustio Zagreb (primjerice u vikendice), što je moglo utjecati na broj žrtava, ali i na otežanu mogućnost pružanja pomoći iz drugih dijelova Hrvatske ili iz susjednih država.

Okviri sustava odgovora na katastrofe razmjerno su dobro postavljeni, pri čemu možemo istaknuti organizaciju i edukaciju interventnih postrojbi, formiranje timova MUSAR-a (engl. *Medium Urban Search and Rescue*), sudjelovanje na brojnim vježbama i slično. Posebno je bitno istaknuti *Hrvatsku platformu za smanjenje rizika od katastrofa* postavljenu unutar Državne uprave za zaštitu i spašavanje (DUZS) koja od početka 2019. godine djeluje unutar Ravnateljstva civilne zaštite Ministarstva unutarnjih poslova (MUP). Na lokalnoj razini unutar Grada Zagreba postoji Ured za upravljanje u hitnim situacijama (UHS) koji je organizirao različite aktivnosti vezane za situacije nakon potresa (vježbe, opremanje i slično) i financirao studije/projekte u kojima su se obrađivale različite teme radi umanjenja posljedica potresa. Mora se istaknuti da je Ured takvih kapaciteta jedinstveni primjer u Hrvatskoj i da načelno okviri državnoga i gradskoga sustava za područje Zagreba djeluju ohrabrujuće.

Nažalost, s obzirom na razinu rizika od potresa, odnosno na razmjere katastrofe koja se može očekivati, Hrvatskoj/Zagrebu to nije dovoljno. Primjerice, za Zagreb je napravljen niz procjena rizika [5], uključujući i dvije nacionalne procjene službeno donesene 2015. i 2019. godine, u kojima je Zagreb istaknut kao najgori mogući scenarij za RH. Unatoč brojnim manjkavostima i razlikama u rezultatima, sve postojeće procjene rizika jasno ističu potres kao jedan od najvećih rizika za RH, s mogućim katastrofalnim posljedicama koje mogu ugroziti stabilnost države. Dodatno, potres je unutar nacionalnih procjena vrednovan kao neprihvatljiv rizik za RH, ali provedene aktivnosti odgovornih ne odgovaraju takvim zaključcima. Štoviše, ni nacionalna razvojna strategija (trenutačno u izradi) ne smatra rizik od potresa važnim elementom (spominje se marginalno), pa se čini da se procjene donose samo formalno, radi obveze (prema Europskoj komisiji ili našim pravilnicima), odnosno da ne služe kao podloga za sustavno djelovanje prema ublažavanju rizika.

Često se postavljalo (i dalje se postavlja) pitanje o spremnosti, sposobnosti i kapacitetima sustava u slučaju potresa u nekom od većih gradova, a upravo je potres u Zagrebu istaknuo mnoge slabosti. Pritom treba istaknuti da timovi interventnih službi za traganje i spašavanje iz ruševina gotovo i nisu imali posla

(nije bilo urušavanja zgrada), a oni su bili u središtu pripremnih radnji (i investicija) na razini države i grada. Čini se da se sustav pripremao na znatno veći potres, a pritom je zanemaren dio koji se odnosi na procjene oštećenja zgrada. Štoviše, prije potresa u Zagrebu nisu postojali službeni obrasci za preglede građevina nakon potresa, niti je provedena sustavna izobrazba stručnjaka koji mogu sudjelovati u pregledima građevina nakon potresa. Ipak, treba istaknuti pojedinačne inicijative, koje su se pokazale presudnima za uspostavu sustava nakon potresa u Zagrebu, u okviru kojih su stručnjaci sudjelovali u izobrazbama u sklopu različitih europskih projekata, brojnim vježbama civilne zaštite i u konačnici na pregledima zgrada nakon potresa u Albaniji, kao dio hrvatskoga tima za tehničko-taktičku potporu [33]. U tim je aktivnostima educirano dvadesetak osoba, koje su činile jezgru sustava za preglede oštećenja građevina nakon potresa u Zagrebu.

Kad govorimo o pripremnim fazama, velik problem pri procjenama oštećenja i u razmatranju učinaka potresa na zajednicu predstavlja nepostojanje baze podataka o građevinama. Općenito su baze podataka gorući problem u Hrvatskoj, a ni potencijalni službeni izvori nisu usustavljeni i povezani, a najčešće nisu održavani, nadopunjeni ili osuvremenjeni. Trenutačno ne postoje ni podaci o broju zgrada, a kamoli o tlocrtnim mjerama, presjecima, materijalu izvedbe, namjeni i slično. Postoje ograničeni podaci o stambenim jedinicama dobiveni iz popisa stanovništva, a unatoč brojnim potcijajima, podaci o zgradama nisu uključeni u novi popis stanovništva predviđen za 2021. godinu. Takvi su podaci ključni za tvorbu kvalitetne baze podataka potrebne za procjene rizika i strateško promišljanje.

Općenito se može zaključiti da, premda su Republiku Hrvatsku i područje bivše države pogađali potresi i većega intenziteta od ovog u Zagrebu (primjerice Dubrovnik $M_L = 7,1^*$ (1667.), Zagreb $M_L = 6,2^*$ (1880.), Pukoplje $M_S = 5,8$ (1909.), Imotski $M_L = 6,2$ (1942.), Makarska $M_L = 6,1$ (1962.), Banja Luka $M_L = 6,4$ (1969.), Skoplje $M_L = 6,1$ (1963.), Crnogorsko primorje $M_W = 7,0$ (1979.), Ston $M_W = 6,0$ (1996.), Drač (Albanija) $M_W = 6,4$ (2019.); magnitude označene zvjezdicom procijenjene su na temelju intenziteta potresa u epicentru), svijest je zajednice o riziku od potresa minimalna. Brojni manji potresi godinama su nas upozoravali (gotovo mjesečno), ali reakcija javnosti ili društva najčešće se svodi na tumačenja, objašnjavanja i mišljenja različitih stručnjaka i sve brzo utihne bez daljnjih djelovanja [5]. To je možda i osnovni problem pri aktivnostima ublažavanja rizika od potresa, jer bi nadležne vlasti i zajednica trebali zajednički djelovati, kao primjerice u Italiji, u kojoj se vlasnike različitim programima, potporama, poreznim olakšicama i sličnim potiče na ojačavanje zgrada.

U konačnici, mora se priznati da je potres zadesio sustav koji za njega nije bio spreman, pa se nameće pitanje o budućnosti protupotresnih aktivnosti s obzirom na gospodarsku situaciju u našoj zemlji i stalni nedostatak financijskih sredstava – u Zagrebu i u Hrvatskoj već su se događali, i opet će se dogoditi znatno jači potresi!



Slika 9. Volonteri na terenu

4.2. Prvi sati nakon potresa

Već je istaknuto da je u to rano nedjeljno jutro grad bio pust, što je bila vrlo sretna okolnost s obzirom na posljedice potresa. Odmah su aktivirane službe civilne zaštite, a u Ured za upravljanje u hitnim situacijama Grada Zagreba i u Ravnateljstvo civilne zaštite Ministarstva unutarnjih poslova uputili su se djelatnici Građevinskoga fakulteta i autori ovoga rada, koji su bili hitno pozvani na temelju dugogodišnje suradnje s tim institucijama, radi pomoći u organizaciji sustava i uspostavi kriznoga stožera za operativno upravljanje procjenama oštećenja zgrada na terenu. U tim trenucima nisu bili poznati razmjeri katastrofe, pa je odlučeno da sjedište stožera bude u Uredu za upravljanje u hitnim situacijama. U prvim satima nakon potresa stručnjaci pripremljeni za preglede, koji su prošli izobrazbu i vježbe, pregledali su bolnice u starom dijelu grada koje su pretrpjele umjerena i znatna oštećenja. Istodobno su neovisno organizirani i pregledi savskih mostova koji su uglavnom građeni prije više od 50 godina, a izrazito su bitni za funkcioniranje grada. S obzirom na to da se svakim satom povećavao broj prijava građana, koordinacijom iz stožera, a imajući u vidu da inženjeri uglavnom nisu prošli edukacije, najprije su dodatno pozvani stručnjaci s iskustvom pregleda građevina nakon potresa i poslijeratne obnove te stručnjaci s posebnim znanjima vezanima za tradicijske zidane konstrukcije. Ubrzo je u suradnji s Ravnateljstvom civilne zaštite MUP-a predloženo slanje poziva za mobilizaciju inženjera građevinarstva ("statičara", zapravo konstruktora) preko Hrvatske komore inženjera građevinarstva, koja je i inače pružila veliku potporu. Samo se prvi dan odazvalo više od 150 inženjera za volontiranje u provedbi brze procjene oštećenja građevina i svi su u UHS-u opremljeni prijeko potrebnom zaštitnom opremom (šljemovima, prslucima i slično) radi sigurnosti tijekom ulaska u oštećene građevine, a maskama, rukavicama i dezinfekcijskim sredstvima zbog pandemije. S obzirom na nestašicu zaštitnih maski i dodatne opreme na tržištu, od brojnih je dobrotvora i donatora kontinuirano stizala pomoć. Ubrzo su se počeli javljati i kolege iz drugih dijelova Hrvatske i iz susjednih zemalja, ali zbog zatvorenih granica i zabrane kretanja izvan mjesta prebivališta nisu mogli doći u Zagreb. U prvom tjednu

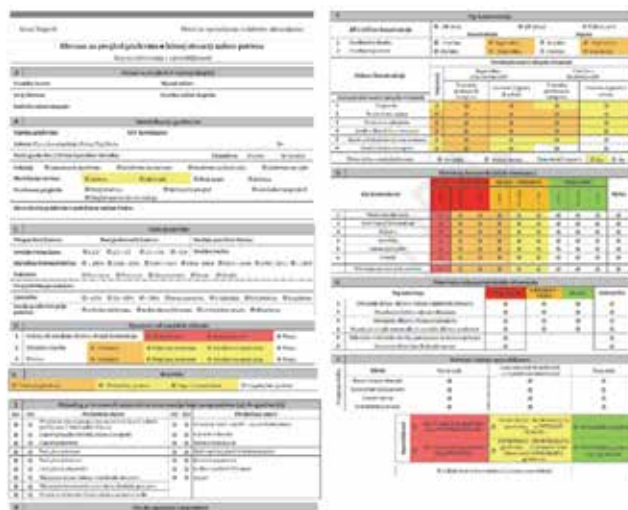
broj je volontera (slika 9.) bilo više od 500, no rad pojedinih timova značajno je ovisio i o njihovim redovnim poslovima.

U početku su pregledi tekli prema hitnim pozivima, a potom su organizirani na temelju zapažanja i dojava građana na terenu. Prijave su se zaprimale putem telefonskih poziva, elektroničke pošte, a ubrzo i putem interneta na uspostavljenim mrežnim stranicama Grada. Osim pregleda oštećenja, gradski i državni stožer organizirali su raščišćavanje i uklanjanje potencijalno opasnih dijelova zgrada pod vodstvom Javne vatrogasne postrojbe Grada Zagreba, kojima su se pridružili i volonteri

alpinisti, odnosno penjači za rad na visinama, a svi su koristili podatke iz pregleda oštećenja. Hrvatski Crveni križ osiguravao je smještaj, prehranu i zbrinjavanje osoba čiji su domovi stradali, a podignuto je i šatorsko naselje. Brojne aktivnosti radile su se istodobno, a organizirali su ih gradski i državni stožeri formirani nakon potresa.

4.3. Preliminarni pregledi uporabljivosti zgrada na terenu

Budući da nije unaprijed definiran službeni obrazac za preglede zgrada nakon potresa, upotrijebljen je predložak obrasca razvijen u sklopu Studije za saniranje posljedica potresa koja se već dugi niz godina provodi u suradnji Građevinskoga fakulteta i Ureda za upravljanje u hitnim situacijama [28]. Osnova obrasca definirana je na temelju talijanskih iskustava [34], a zatim se obrazac postupno prilagođavao specifičnim uvjetima u Hrvatskoj. Tiskani je obrazac rabljen prva dva dana (slika 10.), a već je prvu noć počela izrada digitalnoga obrasca primjenom aplikacije na *ArcGIS Online* geoinformacijskoj platformi.



Slika 10. Obrazac za pregled građevina nakon potresa

U aplikaciji prilagođenoj za skupljanje podataka s terena – *Collector for ArcGIS* (slika 11.) [35] – obrazac je pojednostavljen, prilagođen je situaciji na terenu (prema povratnim informacijama o karakterističnim oštećenjima), a aplikacija je u potpunoj uporabi bila već treći dan nakon potresa. *Collector for ArcGIS* je aplikacija za instalaciju na računalima i mobilnim telefonima, te se u postupku brzih procjena nakon potresa u Zagrebu pokazala vrlo prikladnom i stručnjaci na terenu su je izvrsno prihvatili. Dodatnom aplikacijom za *online* prijavu oštećenih zgrada, na temelju ankete *ArcGIS Survey*, preko "žive" je karte omogućena izravna prijava oštećenja, što je ubrzalo komunikaciju sa stručnjacima na terenu.

Mobilna je aplikacija stručnjacima znatno ubrzala preglede zgrada, jer su izravno unosili tražene značajke, a u velikoj je mjeri smanjen i broj kontakata (posebice sa stožerom) s obzirom na pandemiju. Dodatno, aplikacija je omogućila i geoprostorno praćenje timova u realnom vremenu, što je olakšavalo koordinaciju odnosno usmjeravanje na kritična područja. Podaci su bili smješteni u oblaku *Esri Geospatial* te se svakodnevno vršilo pretraživanje i analiza podataka, a posebice su bile važne fotografije s terena koje su davale precizniji uvid u stanje na terenu.

Iznimna praktičnost aplikacije pokazala se bitnom tijekom dva istodobna hazarda – potresa i pandemije. U daljnjem razvoju aplikacije na kartu su dodani podaci o adresama na kojima su bili građani u samoizolaciji. Prvih tjedan dana takvi su se podaci izvlačili iz prijave građana o oštećenjima, ali se pokazalo da nisu potpuno pouzdani, jer su neki građani u strahu da im zgrada neće biti pregledana izbjegavali prijaviti samoizolaciju. Zaštita zdravlja stručnjaka na terenu bio je razlog petodnevne obustave pregleda, potrebne za usklađivanje i izravno povezivanje sa službenim podacima o adresama samoizoliranih, ali i dodatnu prilagodbu pregleda s obzirom na probleme uočene na terenu. U nastavku pregleda podaci o samoizolaciji svakodnevno su pristizali od Hrvatskoga zavoda za javno zdravstvo, a uz strogo pridržavanje epidemioloških uputa izrazito je smanjen rizik širenja zaraze među stručnjacima na terenu. Na terenu je prosječno radilo oko dvjesto volontera dnevno – pretežito građevinara i arhitekata. Grad Zagreb im je nešto kasnije (dva tjedna nakon potresa) omogućio naknadu za obavljeni posao, što je iskoristila približno polovina stručnjaka, a ostali su nastavili volontirati.

U prvim danima je središte pozornosti bilo na procjeni sigurnosti građevina, jer je trebalo u što kraćem vremenu odrediti i provesti hitne mjere ublažavanja rizika od rušenja dijelova zgrada na susjedne zgrade i/ili prilaze, privremeno zbrinuti ljude i dobiti preliminarni uvid u razmjere štete. Procjenama oštećenja zgrade su dobivale oznake: zelenu (uporabljiva bez ograničenja – U1 ili s preporukom o postupanju – U2), žutu (privremeno neuporabljiva koju treba detaljno pregledati – PN1 ili može postati uporabljiva uz mjere hitne intervencije – PN2) i crvenu (neuporabljiva zbog vanjskih utjecaja – N1 ili zbog oštećenja – N2). Izravan uvid u podatke koji se prikupljaju

na terenu imale su vatrogasne i komunalne službe koje su zatim poduzimale hitne mjere poput uklanjanja ruševina, oštećenih i urušenih dimnjaka, visećih dijelova fasada i ostalih opasnosti za ljudske živote. Osim vatrogasnih službi, uvid o broju procjena i prijavljenih odnosno uporabljivih zgrada, ovisno o razini ovlasti, imale su različite gradske službe i ministarstva što je omogućilo transparentnost i razmjenu podataka do određene razine. Građevinama kritične infrastrukture pristupalo se posebno, a odluke o uporabljivosti su se, ako se radilo o zgradama, donosile u dogovoru sa stožerom i odgovornim osobama u instituciji.

Budući da veliki broj građevinskih stručnjaka nije imao iskustva s procjenama uporabljivosti zgrada i određivanjem razina oštećenja, osiguranje kvalitete i usklađivanje procjena u hodu bio je velik izazov. Općenito, tema rizika od potresa nije prisutna u praksi niti se inženjeri školuju u tom smjeru. Štoviše, mnogi se mlađi inženjeri (zahvaćeni promjenama u bolonjskom procesu) tijekom svoga obrazovanja uopće nisu susreli s predmetima poput dinamike konstrukcija, potresnoga inženjerstva ili inženjerske seizmologije! Zanimljivo je istaknuti da se u veljači 2020. (mjesec dana prije potresa) na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu pokrenuo prijedlog specijalističkoga studija koji detaljnije obrađuje takve teme, što je bilo motivirano upravno činjenicom da je uočena niska razina znanja u tom području. S obzirom na navedeno, ključnom se pokazala edukacija stručnjaka, ali i koordinacija – slaganje timova i raspored na terenu – s obzirom na stupanj oštećenja i važnost građevina.

Prvih dana nakon potresa, izobrazbe za provođenje pregleda oštećenih zgrada i ocjenu njihove uporabljivosti, s težištem na karakterističnim oštećenjima dojavljenim s terena (dimnjaci, zabati, krovšta i slično), bile su organizirane u prostorima UHS-a, osobnim razgovorima i raspravama (slika 12.), a potom, s obzirom na epidemiološke zahtjeve o zabrani kontakata, objavljene su u digitalnom obliku zajedno s popratnim webinarima na mrežnoj stranici www.hcpi.hr (koja je uspostavljena netom nakon potresa). Priručnik i webinar nadahnuti su projektom *MATILDA* [36], brojnim vježbama [27, 37], a posebice iskustvima u procjeni oštećenih zgrada stečenima u Albaniji 2019. godine [33]. Istodobno se provodila i izobrazba za instalaciju, primjenu i način unosa podataka u aplikaciju *Collector for ArcGIS*, pri čemu su također izrađene upute.

Imajući u vidu potencijalne probleme, izravna je komunikacija s inženjerima ostvarena unutar triju *WhatsApp* grupa koje su



Slika 11. Popunjavanje obrasca u aplikaciji *Collector for ArcGIS*

početno zamišljene za međusobnu komunikaciju odnosno savjetovanje stručnjaka na terenu (usklađivanje procjena), ali i pitanja prema stožeru (rješavanje nedoumica). Dodatno, preko grupa su inženjeri svako jutro primali bitne informacije. Za pružanje informacija i kao baza ključnih informacija iskorištena je i spomenuta internetska stranica www.hcpi.hr, a poslužila je i za informiranje građana o procedurama pregleda zgrada te značenju pojedine oznake. To je bilo posebno važno, jer su građani često višestruko prijavljivali štete na istoj adresi (svaki stan za sebe) ili su postojale proturječne rasprave u medijima iz različitih izvora, a naročito zbog općenito niske razine znanja o posljedicama potresa (manjak svijesti) i slično.

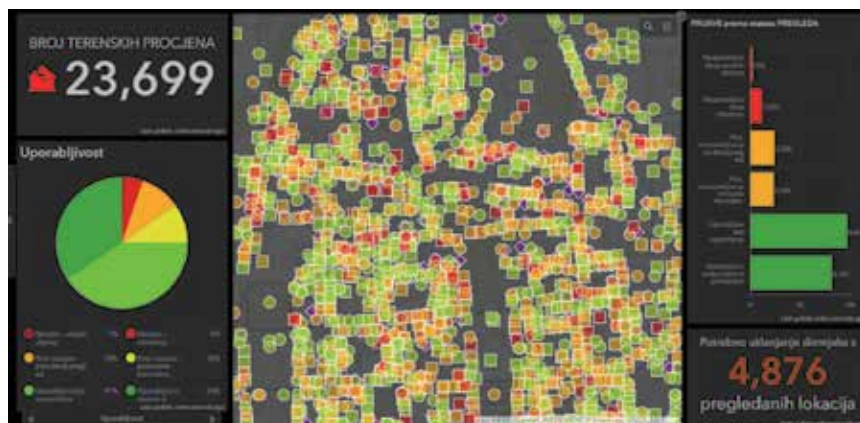


Slika 12. Izobrazba u Stožeru radi pregleda građevina

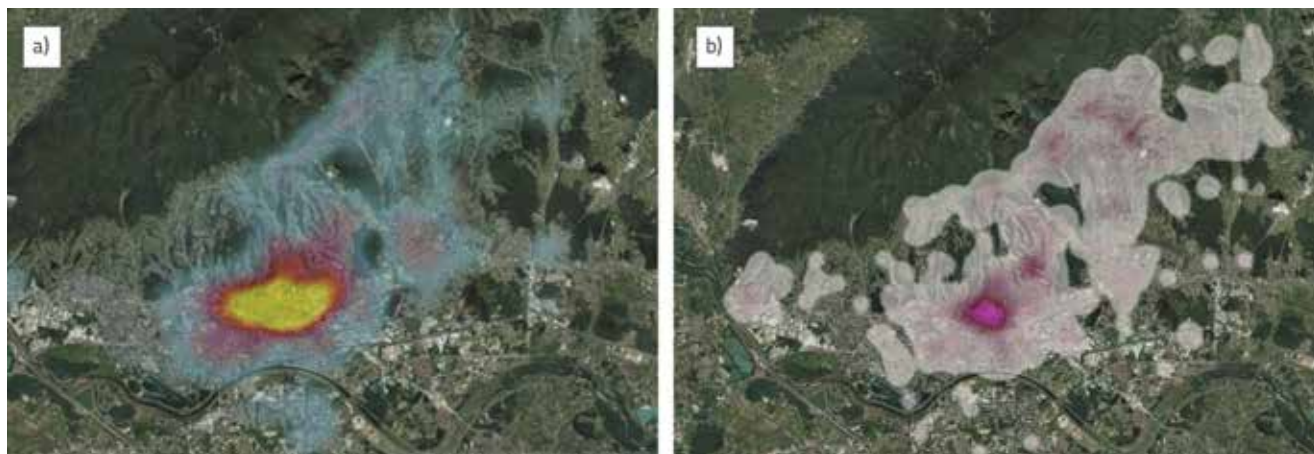
Brzi pregledi oštećenja i sigurnosti korištenja trajali su nešto više od mjesec dana uzmemo li u obzir početne prijave građana. Izdvojeni rezultati za datum 25. travnja 2020. govore o 10.357 zgrada sa zelenom oznakom (U1 i U2), 3.342 zgrade sa žutom oznakom (PN1 i PN2) i 788 zgrada s crvenom oznakom (N1 i N2). Tada je ukupni broj pregledanih zgrada bio 14.487, a treba istaknuti da su prvi tjedan pregledane 5.622 zgrade. Pregledi nisu službeno zaustavljeni jer je stvorena baza podataka bila jedina povratna informacija s terena te su se brojne državne i gradske odluke oslonile na nju, pa su i pregledi postali sve detaljniji i sporiji. Primjerice, početkom svibnja Vlada je donijela *Odluku o osiguranju novčane pomoći za privremenu*

i nužnu zaštitu i popravak zgrada oštećenih potresom na području grada Zagreba i okolice (INN 55/20) kojom se osiguravaju sredstva za nužnu privremenu zaštitu zgrade od utjecaja atmosferilija ili za uklanjanje/pridržanje opasnih dijelova zgrade te popravak ili zamjenu dimnjaka, zabata i dizala, a odluka se vezala za oznake iz postojeće baze. Dodatno, sredinom svibnja donesena je *Odluka o financiranju najamnine za stambeno zbrinjavanje osoba čije su nekretnine stradale u potresu na području grada Zagreba, Zagrebačke županije i Krapinsko-zagorske županije (INN 57/20)*, a odnosi se na osobe čije su zgrade u pregledima označene crvenom oznakom. Usporedno s time je krajem svibnja Grad Zagreb donio odluku o donaciji građevnoga materijala nužnog za hitne sanacije te su uvedene brojne olakšice vezane za prijevoz, parkiralište, plaćanje režijske i slično, a sve se uglavnom vezalo za stvorenu i osmišljenu bazu podataka. Poseban je problem bio velik broj oštećenih dimnjaka (oko 5.300), zbog čega se preventivno isključivao plin, a kasnije se postavilo pitanje tko će preuzeti odgovornost odnosno izdati potvrdu o uporabljivosti zastarjelih zidanih dimnjaka i atmosferskih plinskih bojlera koji se više ne izvode. Konačno, nužno je istaknuti da se baza koristila i za prvu preliminarnu procjenu šteta i troškova obnove, što je bio nužan podatak za donošenje *Zakona o obnovi zgrada oštećenih potresom*. Prema toj preliminarnoj procjeni šteta je bila oko 1,2 milijarde eura, a između 7 inačica obnove odabrana je "srednja" za koju su procijenjeni troškovi oko 5,6 milijardi eura. Trenutačno je u izradi procjena prema metodologiji Svjetske banke, koja također koristi istu bazu podataka, ali uključuje i princip BBB (Build Back Better) pa se pretpostavlja da će troškovi obnove prijeći 10 milijardi eura.

S obzirom na sve potrebe i na to da je početna inicijativa bila pomoći sugrađanima, pregledi su nastavljeni, a usput su obrađivani brojni problemi poput dodatnih oštećenja od naknadnih potresa, propuštenih (ili dodatnih) prijava, ažuriranja podataka (odrađene hitne mjere), ispravaka nedostataka u bazi i slično (slike 13. i 14.). Ipak, bitno je istaknuti da je početna zamisao pregleda bila povećati sigurnost građana, pa primjena takve baze izvan tog okvira krije opasnosti, posebice kod odluka koje se odnose na izdvajanje znatnih financijskih sredstava.



Slika 13. Statistika pregledanih zgrada prema razinama oštećenosti i uporabljivosti zgrada nakon potresa; stanje 8. lipnja 2020.



Slika 14. Prikaz prostornih gustoća (engl. *heatmap*) prijava: a) oštećenih zgrada od strane građana; b) neuporabljivih zgrada (N1 i N2)

U konačnici, oko tri mjeseca nakon potresa pregledi su službeno prekinuti. Napravljeno je 25.528 pregleda (neke zgrade su imale i više pregleda), a ukupno je prijava bilo više od 42.163 (uz mnogo dvostrukih prijava). Izdvojeni rezultati za datum 30. lipnja 2020. govore o 19.188 (oko 75 %) zgrada sa zelenom oznakom (U1 = 10.309 i U2 = 8.879), 4.998 (oko 20 %) zgrada sa žutom oznakom (PN1 = 2.585 i PN2 = 2.413) i 1.342 zgrade (oko 5 %) s crvenom oznakom (N1 = 178 i N2 = 1.164). Službenim prekidom pregleda zaključana je baza podataka, a samo je desetak timova angažirano za dodatne aktivnosti.

U svakom slučaju, posebno priznanje cijele zajednice treba odati svim stručnjacima koji su svojim nesebičnim zalaganjem pridonijeli sigurnosti svojih sugrađana. Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu potaknuo je organizaciju sustava i radi pomoći sugrađanima stavio na raspolaganje niz djelatnika (43), što se i očekivalo s obzirom na iskustva i znanje iz prethodno istaknutih projekata i vježbi. Ipak, ključna je potpora i suradnja mnoštva institucija, tvrtki i pojedinaca, ponajprije Ureda za upravljanje u hitnim situacijama, tvrtke GD i d.o.o., Hrvatske komore inženjera građevinarstva, Hrvatske komore arhitekata, Ureda za strategijsko planiranje i razvoj grada, Ravnateljstva Civilne zaštite Ministarstva unutarnjih poslova, Ureda za prostorno uređenje, izgradnju grada, graditeljstvo, komunalne poslove i promet, Hrvatskoga društva sudskih vještaka i procjenitelja, Prirodoslovno-matematičkoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu – Geofizičkoga odsjeka i Seizmološke službe, Ministarstva graditeljstva i prostornoga uređenja, Državnoga inspektorata, Hrvatske udruge kriznoga menadžmenta, Sveučilišnoga računskog centra Sveučilišta u Zagrebu, niza kolega iz Splita, Osijeka, Rijeke i ostalih dijelova Hrvatske, Hrvatskog saveza građevinskih inženjera, Društva građevinskih inženjera Zagreb, Društva arhitekata Zagreb te kolega iz Slovenije, Srbije, Italije, Švicarske, Sjeverne Makedonije i Kanade.

Bitno je istaknuti da je Ministarstvo kulture dodatno detaljno, po posebnim obrascima, pregledavalo kulturna dobra, a po hitnoj je proceduri Vlada početkom travnja donijela *Odluku o provedbi popisa štete na nepokretnim kulturnim dobrima* te ubrzo i odluku za pokretna kulturna dobra. Konačno, prema postojećem *Zakonu o*

ublažavanju i uklanjanju posljedica prirodnih nepogoda (NN 16/2019) i pripadnom *Pravilniku o registru šteta od prirodnih nepogoda* (NN 65/2019) moraju se napraviti službene procjene šteta. Procjene su započele oko tri mjeseca nakon potresa dijelom preuzevši organizaciju i stručnjake koji su sudjelovali u brzim pregledima. U vezi s tim procjenama postoje brojni problemi i nedoumice jer propisana metodologija uopće nije prilagođena štetama od potresa, što je uglavnom posljedica manjka svijesti o riziku od potresa. S obzirom na trenutačnu dinamiku očekuje se trenutak kad će se odustati od navedenih procjena.

5. Zapažena oštećenja prema preliminarnim podacima s terena

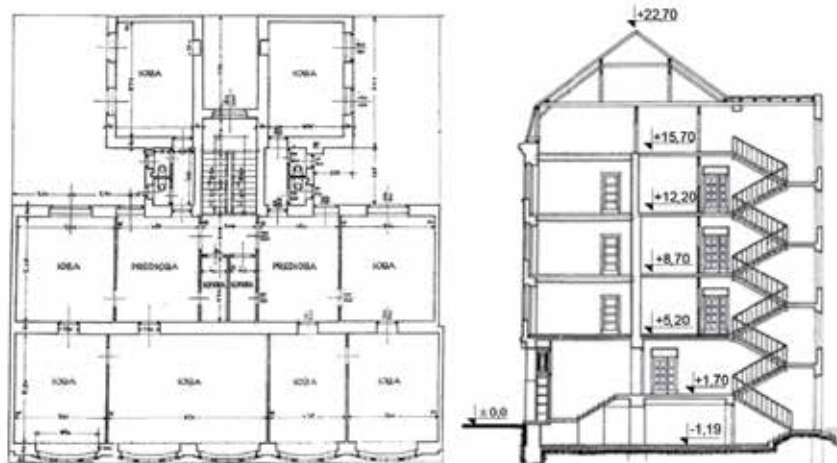
5.1. Tipologija zgrada na području Zagreba s naglaskom na najčešće tipove koji su bili oštećeni u potresu

U procjeni rizika od potresa [3] za stambeni je fond u Zagrebu na razini mjesnih odbora određeno detaljno svrstavanje zgrada po statičkim sustavima. Definirano je 14 čestih tipova zgrada koji obuhvaćaju zidane zgrade bez serklaža, zgrade s armiranobetonskim zidovima, zgrade kojima je dominantan statički sustav armiranobetonski okvir s ispunom i omeđeno žiđe, tipske armiranobetonske zgrade i armiranobetonske tornjeve [27]. Budući da su u potresu u Zagrebu stradale pretežito starije zidane zgrade u povijesnoj gradskoj jezgri, s drvenim stropovima (najčešći sustav, no postoje i drugi sa svodovima, armiranobetonskim pločama u nekim katovima i slično), te obiteljske kuće u blizini epicentralnog područja, uglavnom zidane bez serklaža ili slabije kvalitete izvedbe, težište u ovom radu bit će na takvim zgradama. Nećemo opisivati statičke sustave specifičnih građevina, poput primjerice sakralnih. Stambena zgrada, tlocrta prikazanoga na slici 15., tipičan je primjer gradnje s početka 20. stoljeća u Donjem gradu. Sagrađena je 1920. godine i ima podrum, visoko prizemlje, 3 kata i potkrovlje. Tlocrtne su dimenzije 24,40 × 12,0 m (ulični dio) i 10,6 × 12,0 m (dvorišni dio), ukupno 396 m² (bruto tlocrtne površine).

Visina zgrade iznosi 22,70 m. Potkrovlje nije bilo namijenjeno stanovanju, ali je u jednoj od rekonstrukcija prenamijenjeno u stambeni prostor. Konstrukciju čini sustav međusobno povezanih zidova od pune opeke, bez serklaža, koji kontinuirano sežu od temelja do krova. Vanjski i unutarnji nosivi zidovi prizemlja i katova od pune opeke staroga formata debljine 30, 45 i 60 cm, dok su pregradni zidovi od pune opeke debljine 15 cm, a očita je neravnomjerna raspodjela krutosti. Ploština zidova prizemlja u uzdužnom smjeru je oko 8,0 %, a u poprečnom 9,35 %, dok je na prvom katu 6,8 % u oba smjera. Zidovi podruma debljine su 60, 75 i 90 cm. Stropnu

konstrukciju iznad podruma čini puna armiranobetonska ploča (inače, umjesto ploče česti su zidani svodovi), a iznad prizemlja i katova nalaze se drveni grednici orijentirani u poprečnom smjeru (oslanjaju se na uzdužne zidove). Krovna je konstrukcija drvena. Građevina ima unutarnje dvokrako stubište od montažnih elemenata oslonjenih na čelične profile s armiranobetonskim podestima.

Važno je istaknuti da su zgrade u povijesnom središtu grada građene u blokovima, a ne kao samostojeće cjeline, što dodatno otežava analizu ponašanja pri djelovanju potresa. Uz starost većine stradanih zgrada u centru, dodatni je problem loše održavanje te naknadne prenamjene i nadogradnje. Primjerice, vrlo često se pri pojedinačnim rekonstrukcijama stambenih jedinica uklanjaju zidovi bez razumijevanja koncepcije nosivosti konstrukcije primjenjujući zamjenske čelične elemente (popularne "traverze") ili armiranobetonske okvire. Eventualne analize (proračuni konstrukcija) uglavnom uzimaju u obzir samo vertikalno opterećenje, a analiza djelovanja horizontalnih opterećenja (primjerice proračun potresne otpornosti zgrade) izbjegava se jer zahtijeva složenije proračune, dodatna financijska sredstva, te zato što je vrlo teško dokazati otpornost po sadašnjim normama. Vrlo često se projektanti pokušavaju "izvući" na odredbu *Tehničkoga propisa za građevinske konstrukcije* "dokazujući" da je promjena tehničkih svojstava konstrukcije manja od 10 %. Upravo se ta odredba često zlorabi, jer omogućava rekonstrukciju stambene jedinice bez dokaza mehaničke otpornosti i stabilnosti zgrade prema sadašnjim normama. Zanimljivo je da ne postoji obveza dokumentiranja takvih rekonstrukcija pri pojedinom zahvatu (niti se stvara baza podataka), pa se može dogoditi da tijekom duljega vremenskog razdoblja većina stanova u nekoj zgradi biva rekonstruirana (prilagodba na nove stilove stanovanja) i konstrukcija zgrade bude značajno oslabljena. Dodatno, zahvati u starijim stanovima često predviđaju uklanjanje zidova manje debljine, smatrajući ih nenosivima prema uobičajenoj praksi vezanoj za novije dispozicije. Nažalost, takvi zahvati rezultiraju vanjskim zidovima nepridrzanima izvan vlastite ravnine, što



Slika 15. Tlocrt i presjek tipične zgrade u Donjem gradu

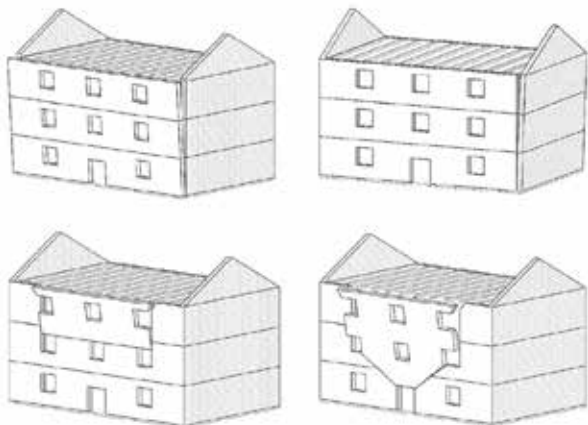
je loše za djelovanje potresa, posebice s obzirom na njihovu visinu. Uz to, u tradicijskoj se gradnji pregradni zidovi obično nastavljaju po visini (preuzimaju opterećenje), što u slučaju neprikladnoga podupiranja pri izvedbi traverze nerijetko uzrokuje otvaranje pukotina u stropnim pločama [33]. U konačnici su brojne pukotine i dokumentacija koja ne odgovara zatečenom stanju zgrade (primjerice značajne razlike u odnosu na izvornu dokumentaciju iz arhiva) stručnjacima uzrokovali velike nedoumice pri procjeni oštećenja.

Što se tiče obiteljskih kuća blizu epicentralnoga područja, nužno je istaknuti *Zakon o postupanju s nezakonito izgrađenim zgradama*, kojim je omogućena legalizacija zgrada pri čemu je ispunjenje temeljnoga zahtjeva mehaničke otpornosti i stabilnosti svedeno na izdavanje potvrda dok je projektant najčešće imao minimalna znanja o svojstvima nosive konstrukcije. Samo je u Zagrebu zaprimljeno više od 100.000 zahtjeva za legalizaciju, a nikada se izvan stručne zajednice nije postavilo pitanje sigurnosti takvih zgrada. Prilikom pregleda građevina naišlo se na brojne primjere mješovitih sistema po principu "uradi sam", a ovdje bismo opisali jedan uobičajeni (karakteristični) primjer s oštećenjima. Riječ je o kući tlocrtne površine oko 100 m², koju čine podrum, prizemlje, kat i potkrovlje (nije stambeno). Konstrukciju tvore nosivi zidovi debljine 25 cm izvedeni od pune opeke (nažalost) bez serklaža (neomeđeno žiđe), a međukatna je konstrukcija drveni grednik ili polumontažna armiranobetonska konstrukcija nosiva u jednom smjeru (poznati "FERT strop"). Krovništa su uglavnom drvena, dvostrešna, a temelji su betonski (bez armature). I u ovom je primjeru nadogradnjama i rekonstrukcijama i izvorno loš statički sustav dodatno oslabljen, što se može uočiti i na ostalim konstrukcijskim sustavima. Vrlo često su izvedene nadogradnje jednoga ili više katova, pri čemu prizemlje nije pojačano, premda u novim katovima možemo naići na zidove sa serklažima (ne nastavljaju se u prizemlju). Dodatno, često je pri preuređenju uklonjena podna daščana oplata sa šutom i zamijenjena betonskom pločom bez armature i primjerenoga sidrenja u zidove.

5.2. Uobičajena oštećenja

5.2.1. Uvod

Tradicijske zidane zgrade najčešće su se izvodile kao sustavi međusobno povezanih nosivih zidova i s drvenim međukatnim konstrukcijama, a njihova oštećenja u potresu najčešće nastaju zbog neravnomjerne raspodjele krutosti, neprikladnih ili nepostojećih međusobnih veza te loših kontakata s krovnim i međukatnim konstrukcijama (vrlo su fleksibilne, pa zidovi mogu ispasti izvan svoje ravnine). Očit je nedostatak elemenata za omeđenje (vertikalnih i horizontalnih serklaža), slaba nosivost u vlastitoj ravnini i nedovoljna nosivost krovnih i međukatnih konstrukcija, što uzrokuje dodatna oštećenja. Zbog dugovječne uporabe zgrada, nerijetko lošega održavanja i nedostatka fasade na nekim vanjskim zidovima (primjerice zabatnim), dolazi i do propadanja materijala, a time i povećane nehomogenosti zida i gubitka veziva.



Slika 16. Skice otklona zida izvan ravnine

Najčešća oštećenja starih zidanih zgrada u središnjem dijelu grada odnose se na rušenja dimnjaka, zabatnih tavanjskih zidova i ostalih konzolnih dijelova na vrhu (parapeti, razne istake i slično) te oštećenja krovišta. U rijetkim je slučajevima došlo i do znatnijega odvajanja zabatnoga zida po cijeloj visini zgrade, a ponegdje i do rušenja dijela fasadnoga zida. Zbog naginjanja zidova, odvojile su se međukatne konstrukcije i izvukli grednici iz ležajnih utora.



Slika 17. Rušenja dimnjaka i lastavice zabatnoga zida (autor fotografija: Mario Todorčić, [39])

Osim mehanizama sloma ziđa izvan ravnine (slika 16.), u mnogim su zgradama nastale karakteristične kose pukotine i nosivim (konstrukcijskim) i nenosivim (nekonstrukcijskim) zidovima i nadvojima zbog prekoračenja nosivosti ziđa u vlastitoj ravnini. U nastavku su prikazane neke fotografije čestih oštećenja koje su poslali brojni stručnjaci koji su provodili preglede na terenu.

5.2.2. Rušenja i oštećenja dimnjaka

Mnogo oštećenja i troškova na krovštima i u tavanima nastalo je zbog djelomičnoga ili potpunog urušavanja tavanjskih dimnjaka (slike 17.a, 17.b i 18.). Izvorno su ti dimnjaci napravljeni od opeke i morta, te nisu otporni na horizontalna djelovanja. Često su slobodno zidani od poda tavana, visine i veće od 5 m, a u rijetkim slučajevima pridržani su za krovnu konstrukciju. Dimnjaci su stradali uglavnom na spoju s krovštem ili pri podu tavana na spoju s međukatnom konstrukcijom [38].

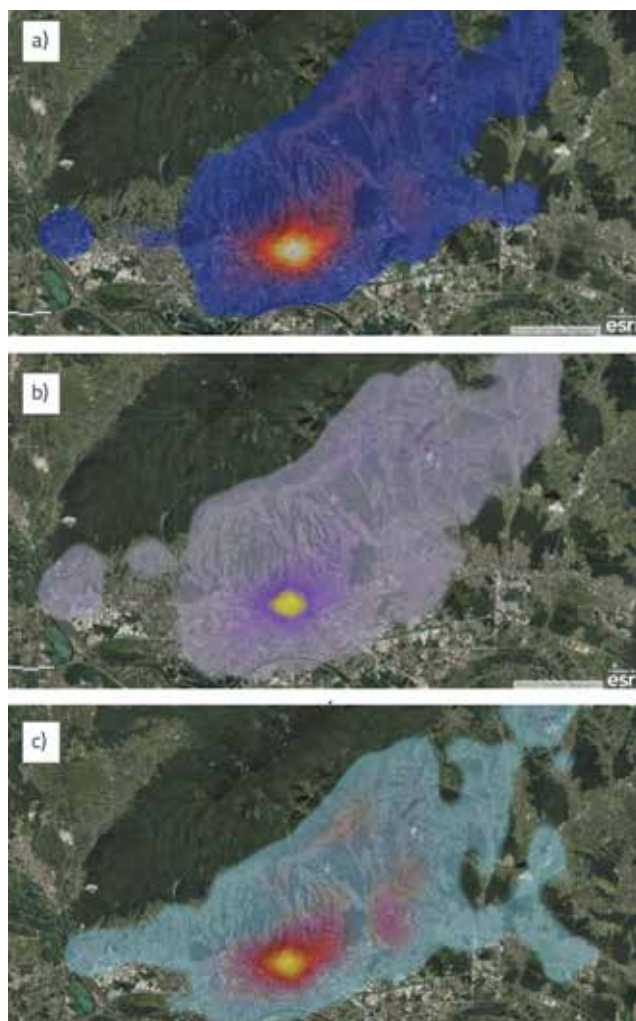
5.2.3. Rušenja i oštećenja tavanjskih zabatnih zidova

Uz dimnjake, najčešće je oštećenje djelomično ili potpuno rušenje zabatnih tavanjskih zidova (slika 17.c). Često su ti zidovi debljine 15 cm i nisu odgovarajuće pridržani za krovnu konstrukciju, a uglavnom su izvedeni kao obično ziđe bez stabilizacije izvan ravnine. Uz zabatne zidove u tavanu, na manjem dijelu zgrada urušili su se i oštetili na njih okomiti nepridržani zidovi (uzdužni zidovi prednje i stražnje fasade) [38].

Dodatna je slabost što zidovi i inače nisu valjano pridržani u razinama etaža. Drvene se grede oslanjaju u utore na uzdužnim zidovima, međusobno su razmaknute približno 80 cm i nemaju konstrukcijsku vezu sa zidom.

5.2.4. Odvajanje zabatnih zidova

Osim lokalnoga rušenja dijelova zabata u tavanu, u težim je slučajevima došlo do odvajanja zabatnih zidova po cijeloj visini ili kroz više katova (slika 19.). Razlog je loša veza sa zidovima iz drugoga smjera.



Slika 18. Prikaz prostornih gustoća (engl. *heatmap*): a) oštećenih i urušenih dimnjaka – podaci dobiveni iz prijave građana preko ankete *Survey for ArcGIS*; b) oštećenja zabatnih zidova i krovova iz baze terenskih procjena oštećenja i uporabljivosti zgrada; c) odrađenih intervencija oštećenih i urušenih dimnjaka – podaci dobiveni od Javne vatrogasne postrojbe Zagreb, posljednji put ažurirani 5. svibnja 2020.



Slika 19. Odvajanje zabatnoga zida i karakteristične pukotine u unutarnjem dijelu zgrade (autor fotografija: Mario Todorčić [39])

Već smo istaknuli da zabatni zidovi uglavnom nisu pridržani, jer nisu povezani s međukatnom konstrukcijom koju čine drveni grednici oslonjeni na uzdužne zidove, niti su adekvatno povezani s krovnom konstrukcijom. Zbog toga zabatni zidovi imaju malo vertikalno opterećenje, što pridonosi slaboj otpornosti na horizontalno djelovanje. Kod takvih odvajanja zabata nastaju karakteristične vertikalne pukotine u okomitom zidu i horizontalne pukotine po stropovima, pretežito na spoju međukatnih konstrukcija sa zabatnim zidom. Jače odvajanje može dovesti do prevrtanja zida i predstavljati veliku opasnost za konstrukciju i ljude u blizini zgrade.

5.2.5. Oštećenja krovišta

Istaknuli smo da je najčešći uzrok oštećenja krovne konstrukcije rušenje dimnjaka, zabatnih zidova i ostalih nepridržanih elemenata iznad krovne plohe. Riječ je uglavnom o lokalnim oštećenjima krovišta (slika 20.). Međutim, treba skrenuti pozornost na to da krovne konstrukcije uglavnom nemaju zadovoljavajuću stabilizaciju, a zbog neodržavanja i dotrajalosti dodatno su nesigurne i ne mogu pridržati dimnjake i tavanke zabatne zidove [38]. Ponegdje su kod fleksibilnih krovišta nastali trajni pomaci cijele konstrukcije krovišta, što je izrazito opasno i zahtijeva potpunu rekonstrukciju.



Slika 20. Oštećenja krovišta (autor fotografija: Mario Todorčić)

5.2.6. Oštećenja ostalih konzolnih elemenata (parapeta, atika, istaka i ukrasnih elemenata)

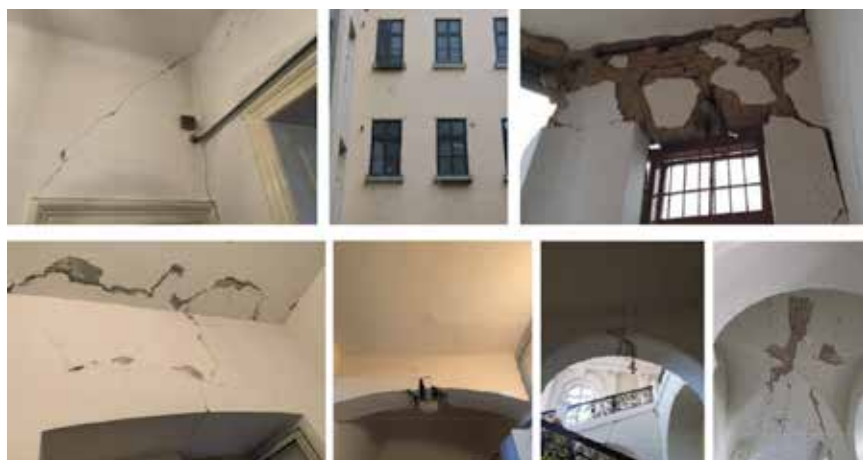
Znatno su oštećeni elementi graditeljske baštine, poput krovnih kupola, portala, vijenaca na pročeljima i ukrasnih skulptura (slika 21.). Takvi su elementi predstavljali, i još uvijek znače, veliku opasnost za sigurnost građana u slučaju potresa [38]. Budući da su uglavnom od opeke ili betona, pri padu s velike visine uzrokuju veliku štetu. Zanimljivo je da je i Andrija Mohorovičić početkom dvadesetoga stoljeća pisao da se takvi elementi uklone ili propisno stabiliziraju upravo zbog mogućega potresa.



Slika 21. Oštećenje ukrasnih elemenata (autor fotografija: Mario Todorčić i [39])



Slika 22. Dijagonalne pukotine u nosivim zidovima [39]



Slika 23. Oštećenja nadvoja: dijagonalne i vertikalne pukotine [39]

5.2.7. Karakteristična oštećenja zida u vlastitoj ravnini

Osim mehanizama sloma zidova izvan ravnine, vrlo je česta pojava pukotina zbog prekoračenja nosivosti zida u vlastitoj ravnini. Tu su najčešće dijagonalne pukotine koje nastaju zbog prekoračenja posmične čvrstoće (slika 22.). Takav mehanizam sloma često prati pukotina uz sljubnice zbog loše kvalitete morta koji je s vremenom izgubio svoja mehanička svojstva.

5.2.8. Oštećenja nadvoja i svodova

Jedan je od najčešćih oblika oštećenja raspucavanje nadvoja (slika 23.) i taj je oblik karakterističan za zidane i armiranobetonske zgrade. Vrlo često se mogu i u novijim zgradama vidjeti



Slika 24. Pukotine na stropovima [39]

dijagonalne pukotine u nadvojima. Ako su pukotine uske, ne znače nužno opasnost, ali ponekad je kod zidanih nadvoja došlo do potpunoga sloma s otpadanjem materijala. Oni su izrazito opasni i treba ih osigurati od urušavanja. Dijagonalne pukotine u nadvojima obično znače prekoračenje posmične čvrstoće, dok su približno vertikalne pukotine prouzročene prekoračenjem vlačne čvrstoće.

5.2.9. Pregradni zidovi

Uz zabatne zidove, unutar katova često postoje i međusobno paralelni pregradni zidovi debljine 15 cm ili samo 7 cm. Kod većih horizontalnih djelovanja takvi zidovi malo sudjeluju u krutosti zgrade, često nisu pravilno raspoređeni po visini (posljedice brojnih intervencija), a oslonjeni su na drvene grednike. Također, zbog male otpornosti i znatne početne krutosti, ne mogu pratiti pomake cijele konstrukcije, pa redovito pucaju. U središtu grada postoji velik broj oštećenih pregradnih zidova u smjeru okomitom na fasadni zid.

5.2.10. Pukotine na stropovima (međukatna konstrukcija)

Male pukotine u smjeru grednika najčešće su nastale zbog pomaka od savijanja među gredama. Takve pukotine rijetko nastaju od vlačnih sila okomitih na grednik. Uz spoj zida i stropne konstrukcije često je izražena pukotina zbog relativnih pomaka među tim elementima. Uglavnom, ako nije nastalo odvajanje i naginjanje zida, riječ je samo o pucanju žbuke (slika 24.).



Slika 25. Oštećenja stubišta [39]

5.2.11. Oštećenja stubišta

U starim zidanim zgradama središta grada često su oštećena stubišta (slika 25.). Uglavnom, riječ je o konstrukcijskim oštećenjima ili razdvajanju elemenata. Stubišta su često oslonjena na čelične nosače usidrene u podeste. Oko stubišta se može naći razmjerno kruta jezgra od debeloga zida.

5.3. Stambene i stambeno-poslovne zgrade

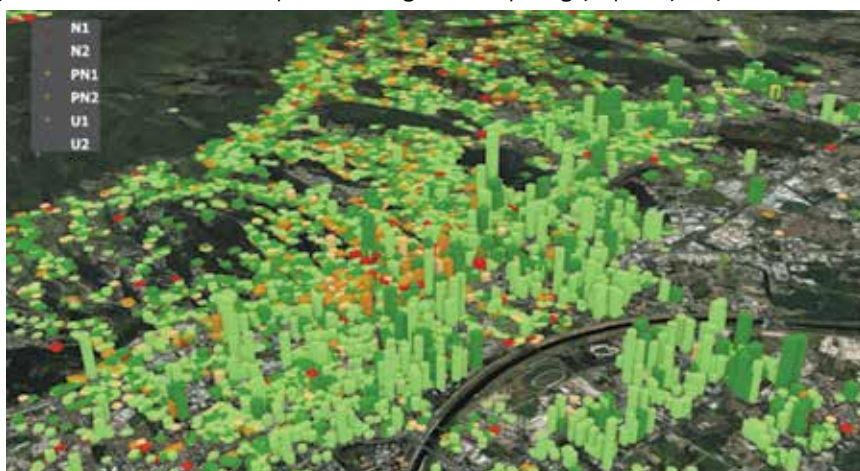
Iako su kulturna baština i neke zgrade javne namjene znatno stradale, što će biti opisano u sljedećem poglavlju, najveća je oštećenja ipak pretrpio stambeni fond. Slika 26. prikazuje rezultate pregleda uporabljivosti stambenih i stambeno-poslovnih zgrada, pri čemu boje odgovaraju dodijeljenim oznakama, a visina stupca bruto razvijenoj površini zgrade. Može se primijetiti da je najviše stradalo povijesno središte grada, pa ćemo u nastavku izdvojiti neke podatke o Donjemu gradu i jednom karakterističnom bloku, te pokazati fotografije karakterističnih oštećenja kuća blizu epicentra.

Prema podacima Zavoda za prostorno uređenje grada Zagreba, ukupna tlocrtna površina svih građevina u Donjem gradu iznosi približno 1.150.000 m², a tlocrtna je izgrađenost većine blokova između 40 % i 60 %. Ukupna je bruto izgrađena površina na području Donjega grada približno 5.200.000 m². Prosječna je katnost građevina 5 etaža (P+4) [40]. Na slici 27. prikazan je jedan gradski blok, površine 15.741 m², ukupne bruto površine zgrada 40.024 m², prosječne katnosti 4. Namjena je zgrada mješovita, ali pretežito stambena.

U odabranom gradskom bloku pregledano je 27 zgrada, od čega su četiri dobile zelenu oznaku U1 (uporabljivo bez

ograničenja), jedanaest zelenu oznaku U2 (uporabljivo s preporukom), dvije žutu oznaku PN1 (privremeno neuporabljivo – potreban detaljan pregled), šest žutu oznaku PN2 (privremeno neuporabljivo – potrebne mjere hitne intervencije), dvije crvenu oznaku N1 (neuporabljivo zbog vanjskih utjecaja) i dvije crvenu oznaku N2 (neuporabljivo zbog oštećenja). Pregledom obrazaca za procjenu možemo zaključiti:

- u zgradama kategorije uporabljivosti U1 uglavnom postoje neznatna oštećenja krovništa te pukotine (male širine i duljine) u konstrukcijskim i nekonstrukcijskim zidovima, pretežito oko stubišta
- u gotovo svim zgradama kategorija uporabljivosti U2 oštećeni su ili srušeni zidani dimnjaci (predstavljali su opasnost za građane); ponegdje postoje dijelom urušene



Slika 26. Prikaz oštećenja stambenih i stambeno-poslovnih zgrada prema oznakama uporabljivosti (boje) i bruto razvijenoj površini (visina stupca) na perspektivnom prikazu karte Zagreba



Slika 27. Primjer odabranoga bloka u Donjem gradu

lastavice, manje pukotine u nadvojima i dijelu nosivih zidova te oštećenja pregradnih zidova

- u zgradama kategorije uporabljivosti PN1 postoje umjerena do znatna oštećenja konstrukcijskih i nekonstrukcijskih elemenata, posebice u stubišnom dijelu, i teža oštećenja krovišta zbog rušenja dimnjaka. Brzim pregledom nije bilo moguće procijeniti utjecaj na nosivost, pa smo upućivali na detaljni pregled
- u zgradama kategorije uporabljivosti PN2 postoje znatna oštećenja zabatnoga zida, teža oštećenja krovišta zbog rušenja dimnjaka, a gornji su katovi često neupotrebljivi, pri čemu postoji neposredna opasnost od rušenja
- u zgradama kategorije uporabljivosti N1 uglavnom postoji opasnost od rušenja zabatnoga zida (ili drugih nepridrženih elemenata) susjedne kuće
- u zgradama kategorije uporabljivosti N2 postoje znatna i teška oštećenja na konstrukcijskim elementima, najčešće u stubišnom dijelu (što ih čini opasnim pri napuštanju), zatim teža oštećenja krovišta zbog rušenja dimnjaka te veća odvajanja i rušenja zabatnoga zida.

Na slikama 28. i 29. prikazana su učestala oštećenja kuća blizu epicentralnoga područja. Kao što je istaknuto, uglavnom je riječ o zidanim kućama bez serklaža, ali postoje i raznovrsni mješoviti sistemi, jer su stare prizemnice često nadograđivane.



Slika 28. Oštećenja kuća u MO Vidovec, GČ Podsljeme (autor fotografija: Luka Božić i [39])



Slika 29. Oštećenja kuće u MO Dankovec, GČ Gornja Dubrava (autor fotografija: Luka Božić i [39])

5.4. Zgrade javne namjene

Oštećene su brojne značajne građevine poput bolnica (primjerice, Klinika za plućne bolesti Jordanovac, Klinika za ženske bolesti i porodništvo Petrova, zgrada dječje bolnice u Klaićevoj, klinike na Šalati), brojne škole i dječji vrtići, zgrade Sveučilišta, 28 fakulteta i triju akademija (posebno su stradali Pravni fakultet, Medicinski fakultet i Likovna akademija), domovi za smještaj učenika i studenata, sakralne građevine (primjerice, zagrebačka katedrala i Nadbiskupski dvor, bazilika Srca Isusova u Palmotićevoj, crkva sv. Katarine na Gornjem gradu, crkva Uznesenja Blažene Djevice Marije u Remetama), zgrada Hrvatskoga sabora, zgrade pravosudnih tijela (Vrhovni i Županijski sud), muzeji (primjerice, Arheološki muzej, Muzej za umjetnost i obrt, Hrvatski školski muzej, Hrvatski prirodoslovni muzej, Umjetnički paviljon), kazališta (primjerice, Gavella, Komedija), palača i knjižnica Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti, te mnoge druge. Možemo istaknuti da su prema zadnjim obrađenim podacima s pregleda dvije bolnice dobile oznake neuporabljivo, kao i tri fakulteta, dječji vrtić, četiri škole, šest kulturnih ustanova i 15 sakralnih građevina, a velik je broj drugih važnih zgrada dobio oznaku privremene neuporabljivosti (preko 200, samo iz gore navedenih kategorija zgrada). Neka oštećenja prikazana su na slici 30.



Slika 30. Učinci potresa na neke znamenite građevine: gradsko groblje Mirogoj (a.-d.), Franjevački samostan na Kaptolu (e) zgrada starog dekanata Medicinskoga fakulteta na Šalati (f.-g.), zgrada Sveučilišta i Pravnoga fakulteta (h.-i.) [39]

Kao što je već rečeno, potres je ostavio goleme posljedice na zgradama zaštićene graditeljske baštine. Riječ je o posebno vrijednim građevinama različitih namjena unutar privatnoga i javnog sektora, koje predstavljaju kulturno obilježje grada Zagreba (tablica 1., slika 31.). Oštećenja se uglavnom odnose na zabatne zidove i krovne konstrukcije s dodatno urušenim dimnjacima. Zatim slijede unutarnja oštećenja konstrukcijskih elemenata, većinom svodova, nadvoja, u manjoj mjeri nosivih zidova, najviše na spojevima s fleksibilnim drvenim stropnim konstrukcijama.

Tablica 1. Broj oštećenih pojedinačno zaštićenih zgrada u različitim sektorima prema kategorijama uporabljivosti

Broj oštećenih pojedinačno zaštićenih zgrada	Grad Zagreb		
	U1 i U2	PN1 i PN2	N1 i N2
Ustanove u kulturi	21	10	6
Crkve i kapele	7	15	8
Druge sakralne građevine	6	10	4
Obrazovne i znanstvene institucije	27	29	1
Zdravstvene ustanove	7	4	0
Ostale privatne i javne zgrade	192	94	30
Ukupno	260	162	49



Slika 31. Prikaz oštećenja zgrada kulturne baštine prema oznakama uporabljivosti (boje) i bruto razvijenoj površini (visina stupca) na perspektivnom prikazu karte Zagreba



Slika 32. Prikaz oštećenja Župnog dvora katedrale i crkve sv. Marije (izvor: Ministarstvo kulture Republike Hrvatske te [39])

Među građevinama kulturne baštine najveća oštećenja bila su na mnogim višestoljetnim crkvama (slike 32.-34.). Od ukupno 43 oštećene crkve u gradu, 30 ih je kategorizirano kao zaštićeni spomenici kulture. Na najvećoj hrvatskoj sakralnoj građevini, zagrebačkoj katedrali, srušio se kameni vrh južnoga zvonika te je padom prouzročio oštećenja krovništva katedrale. Nakon pregleda utvrđeno je i znatno oštećenje sjevernoga zvonika, koji je zato trebalo ukloniti zbog mogućega pada na katedralu. Osim tornja zvonika srušena je i balustrada iznad apsida, a znatno su oštećeni fasadni zidovi i svodovi katedrale. Velika oštećenja svodova i krovništva nastala su i na Nadbiskupskom dvoru katedrale, kojemu su se također urušili dimnjaci.



Slika 33. Prikaz oštećenja u bazilici Presvetog Srca Isusova (autor fotografija: Ivan Ćurić)



Slika 34. Oštećenja u crkvi Uznesenja Blažene Djevice Marije u Remetama i oštećenje kipa u crkvi sv. Katarine Aleksandrijske (izvor: Ministarstvo kulture Republike Hrvatske)

Na crkvi sv. Marka Evanđelista, koja datira iz 15. stoljeća, postoje oštećenja zabatnih zidova koji su se i djelomice odvojili te oštećenja na zidovima pročelja, kamenim nadvojima, nosivim zidovima i svodovima. U bazilici Srca Isusova (slika 33.) u Palmotićevoj ulici urušila se gotovo trećina stropa. Znatno su oštećene crkva sv. Katarine

Aleksandrijske, crkva sv. Marije na Dolcu, crkva Uznesenja Blažene Djevice Marije u Remetama (slika 34.), crkva sv. Preobraženja, crkva Pohoda Blažene Djevice Marije u Čučerju, crkva Rođenja Blažene Djevice Marije u Granešini i mnoge druge. Ističemo da, osim na konstrukcijskim elementima, velika oštećenja postoje na ukrasnim elementima poput fresaka, vrijednih štukatura, skulptura, mramornih oltara i vitraja. Trenutačno nije moguće procijeniti koliko će trajati građevinsko-konstrukcijska obnova koja će morati biti u skladu s konzervatorsko-restauracijskim zahtjevima.

Na slici 35. prikazane su ocjene oštećenja kritične infrastrukture (bolnice, škole, fakulteti i vrtići), prema razini oštećenja (boja) i bruto površini (visina stupca), a u nastavku su detaljnije opisana dva primjera oštećenja bolnica.



Slika 35. Prikaz zgrada prema ocjeni oštećenja (boja) i bruto površini (visina stupca) iz područja: a) zdravstva i b) obrazovanja

Klinika za ženske bolesti i porode u Petrovoj – stara zgrada

Stanovnici Zagreba dugo će pamtili potresne scene rodilja i beba koje su nakon potresa hitno evakuirane ispred zgrade bolnice. Brzi vizualni pregled konstrukcije izvršen je odmah nakon potresa. Pregledana je glavna stara zgrada, koja je i najkritičnija, budući da je s početka 20. stoljeća. Razvedenoga je tlocrta, izvedena kao zidana od pune opeke staroga formata. Zgradu čine podrum, prizemlje, dva kata i potkrovlje. Međukatne su konstrukcije u području soba grednici, a u hodnicima zidani svodovi.

Potres je urušio dio dimnjaka, pa je ugašeno grijanje, isključen plin i prekinuta opskrba toplom vodom. Pregledom su uočena oštećenja stubišta koja su uzduž rubova istočnoga i zapadnog krila zgrade. Tijekom vremena napravljene su mnoge nestručne preinake i rekonstrukcije koje su popucale, premda nisu ugrozile nosivost građevine. Osim tih oštećenja, uočeno je i znatno pucanje nadozida potkrovlja i vijenca koje bi pri sljedećem potresu moglo ugroziti prostor ispred glavnoga ulaza, pa je predložen ograničeni pristup bolnici s prednje strane i uporaba alternativnoga ulaza. Zapažen je sustav pukotina koje sežu cijelom zgradom, ali one ne predstavljaju opasnost za nosivost i uporabljivost. Mjestimično postoje dijagonalne pukotine na kratkim zidovima, ali su lokalnoga karaktera. Stropne se konstrukcije nisu mogle detaljno pregledati, ali nisu vidljiva značajnija oštećenja i šire pukotine na spoju sa zidovima. Međutim, došlo je do lokalnoga padanja žbuke, nenosivih dijelova konstrukcije, opreme i instalacija. U prizemlju i prvome katu zapadnoga krila zgrade vide se konstrukcijska oštećenja svodova. Na temelju brzoga vizualnog pregleda konstrukcije preporučena je nesmetana uporaba središnjega i istočnog dijela zgrade (nakon dovođenja grijanja u funkciju), privremeno je ograničena primjena zapadnoga krila te pristupa i prolaza oko zgrade zbog mogućega pada krovnih prozora, crijepa i dijelova krovnoga vijenca. Stanje nakon potresa prikazano je na slici 36.



Slika 36. Oštećenja u staroj zgradi Klinike za ženske bolesti i porode u Petrovoj

Zgrada Klinike za ortopediju na Šalati

Zgrada Klinike za ortopediju na Šalati izgrađena je 1931. godine. Tlocrtno je izduženoga pravokutnog oblika i sastoji se od središnjega dijela s glavnim ulazom, te zapadnoga istočnog krila koji su međusobno simetrični. Tlocrtna dimenzije građevine su 17 × 60 metara. Zidovi podruma izvedeni su od betona, a zidovi iznad razine tla od pune opeke staroga formata. Različitih su debljina, a pružaju se uzdužno i poprečno, međusobno povezani armiranobetonskim stropnim konstrukcijama. Kliniku čine podrum, prizemlje i tri kata. Pregradni zidovi također su od pune opeke.

Zgrada je i prije potresa bila loše održavana, pa su fasadni zidovi od opeke izrazito izloženi atmosferijama, jer je otpao značajni dio žbuke. Potres je srušio vrhove obaju dimnjaka na zapadnoj strani zgrade (slika 37.). Jedan se dimnjak

odvojio desetak centimetara od fasadnoga zida, gledano u razini krova, te predstavlja veliku opasnost za osoblje i pacijente koji se nađu u blizini. Predložili smo hitno uklanjanje ili pridržanje u razinama AB ploča.

Pregledom su uočena znatna oštećenja na velikom broju nosivih i pregradnih zidova. Posebno su velika oštećenja na zidovima istočnoga krila, a sežu od prizemlja do potkrovlja. Uglavnom su stradali poprečni zidovi na kojima postoje izražene dijagonalne pukotine, većim dijelom zida. Na središnjem dijelu zgrade nosivi su zidovi manje oštećeni. Na nekim mjestima vidimo pukotine koje upućuju na posmični slom zidova. Pregradni su zidovi od pune opeke i uglavnom prilično oštećeni, s izraženim dijagonalnim pukotinama. Na temelju oštećenja može se zaključiti:

- Katovi zgrade u lošem su stanju i nisu sigurni za boravak osoblja i pacijenata.
- Jedino mjesto za boravak (s oprezom) jest podrum, jer nisu zabilježena veća oštećenja. Povoljno djeluje AB ploča podruma, jer i u slučaju djelomičnoga urušavanja zida na nekom od katova ne bi došlo do ugroze podrumske etaže.
- Za sigurnu uporabu podruma treba provesti ostale radnje radi uklanjanja opasnosti od pada dijelova dimnjaka, žbuke, pokrova i ostalih slabo pridržanih predmeta s visine. To se posebno odnosi na osiguranje ulaza u podrum sa sjeverne strane zgrade koji se odvija zatvorenom rampom.

6. Obnova

U trenutku pisanja rada (svibanj i lipanj 2020.) u fazi javnoga savjetovanja je *Zakon o obnovi zgrada* oštećenih potresom koji bi trebao pomoći u bržem oporavku zajednice. Zakonom bi se trebao urediti način i postupak obnove oštećenih zgrada, moguće uklanjanje i gradnja zamjenskih obiteljskih kuća, određivanje nadležnih tijela, procedure za postupanje i slično. Predviđene su četiri razine (načina) obnove, ovisno o namjeni zgrade i stupnju oštećenja, što je trenutačno detaljno opisano u stručnim smjernicama koje su prilog Zakonu, a razmatra se uključivanje u tehnički propis. U njihovoj je izradi sudjelovalo tridesetak stručnjaka, mahom projektanata zidanih konstrukcija koji imaju iskustva u složenim projektima rekonstrukcije različitih zgrada, a jezgra su radne skupine stručnjaci koji se u svome znanstvenom i stručnom radu bave područjem potresnoga inženjerstva i analizom rizika od potresa. Osim toga, inženjeri su dva mjeseca nakon potresa ponudili i priručnik *Urgentni program potresne obnove* – UPPO [38] u kojemu su obrađena tehnička građevinska rješenja za provedbu neodgodivih (urgentnih) zahvata sanacije potresnih oštećenja radi zaštite građevina od daljnjega širenja oštećenja te ostvarivanja minimalnih uvjeta korištenja. Može se zaključiti da se *Urgentnim priručnikom* pokrila prva razina obnove, a trenutačno se izrađuju i ostali priručnici koji se odnose na ostale razine.

Jedna je od ključnih namjera smjernica da se zgrade znatno oštećene ovim potresom, ipak umjerene magnitude, ne obnavljaju izvedbom loših detalja koje su imale, već da se razmjerno jednostavnim zahvatima bez velikih neizravnih troškova i iseljavanja stanara na dulje vrijeme za sljedeće potrese poboljša otpornost zgrada (tzv. *build back better* princip). Pokušao se napraviti iskorak (iskoristiti prilika) u osvješćivanju građana i odgovornih o tome da je otpornost oštećenih zgrada bila i prije potresa mala i da ih je gotovo nemoguće (uz razumne troškove) podići na otpornost koju zahtijevaju sadašnje norme. Odnosno, potpuna razina sigurnosti može se jamčiti samo provedbom složenih i skupih zahvata, što za većinu stambenoga fonda nije ekonomski isplativo i/ili tehnički provedivo. Uostalom, treba uzeti u obzir i kulturnu vrijednost većine zgrada u centru, jer bi se složenim zahvatima obnove mogao umanjiti njihov povijesni značaj.

Vodeći računa o navedenom, imajući na umu tehničku ispravnost i ekonomsku isplativost provedbe razina obnove te brojne prethodno istaknute postojeće



Slika 37. Prikaz oštećenja u zgradi Klinike za ortopediju na Šalati

probleme u Hrvatskoj, smjernicama se pokušalo optimalno pristupiti ovom problemu. Kao svojevrsnu zaštitu struke, svaka zgrada bi u odnosu na razinu obnove i dokazanu mehaničku otpornost i stabilnost za potresno djelovanje određene razine dobila seizmičku potvrdu (certifikat) kojom bi se dodatno osvijestilo vlasnike o razinama sigurnosti njihovih nekretnina i motiviralo ih se na donošenje dugoročnoga plana postupanja s njima.

7. Budući iskoraci u ublažavanju seizmičkog rizika

Potres koji je zadesio Zagreb i okolice u proljeće 2020. godine je nažalost usmjerio pozornost na sve probleme Republike Hrvatske vezane za nedostatak aktivnosti i strategije ublažavanja rizika od potresa. Ključno je shvatiti ga kao upozorenje, odnosno kao priliku za djelovanje, jer je potres bio magnitude mnogo manje od one koju možemo očekivati. Znači, treba razmotriti i potencijalne posljedice jačih potresa, u skladu s tektonskim potencijalom medvedničkoga područja. Iako je na moguće katastrofalne posljedice potresa upozoravano postojećim službenim procjenama rizika od potresa i brojnim istraživanjima, trebao se nažalost dogoditi potres da se upozorenja ozbiljno shvate.

Nadamo se da je potres podigao razinu svijesti tako da će biti lakše sustavno i cjelovito rješavati brojne probleme s kojima smo suočeni te da će se donijeti dugoročna strategija na razini Republike Hrvatske, a ne samo za trenutačno pogođena područja. Zaključci koji slijede vezani su uz rad [33] objavljen mjesec dana prije potresa, u kojem je upozoreno na brojne probleme, a povezat ćemo ih s posljedicama potresa kojima smo svjedočili, tako da ne ponovimo iste pogreške.

Zaključak 1: "Rizik od potresa jedan je od najvećih rizika za Hrvatsku uzimajući u obzir razmjere posljedica koje su predviđene važećim procjenama rizika. Unatoč činjenici da procjene mogu biti pouzdanije u slučaju detaljnijih ulaznih podataka (primjerice, o građevinskom fondu), gotovo sve ističu tisuće poginulih, značajan broj srušenih zgrada, troškove u razini državnoga proračuna i slično (katastrofalne posljedice). Takva razina šteta u konačnici može ugroziti ekonomsku stabilnost države te dodatno povećati trenutno aktualno iseljavanje stanovništva odnosno ugroziti društvenu i političku stabilnost države (zaključci nacionalnih procjena rizika)." – navedeno se odnosi na najgori scenarij koji je mogao zadesiti Zagreb i Hrvatsku, a prikazane štete ovoga, samo umjerenoga potresa, jasno upućuju na navedene činjenice.

Zaključak 2: "Pouzdanije procjene rizika ključne su za donošenje kvalitetnih strategija, a u Hrvatskoj imamo brojnih problema (izazova) koje treba riješiti. Nužna su kontinuirana ulaganja u svaki od elemenata rizika, a može se istaknuti znatno progušćenje seizmografske i akcelerografske mreže te mikrozoniranje (za definiranje seizmičkoga hazarda), kreiranje baze podataka s konstrukcijskim svojstvima zgrada (definiranje izloženosti) i analize

karakterističnih građevina (definiranje oštetljivosti). Također, ključno je da dobiveni rezultati procjena i analiza ne ostanu mrtvo slovo na papiru (samo zadovoljenje forme ili propisa), odnosno, iz njih bi trebale izići konkretne mjere za umanjene rizika." – nažalost potres se dogodio prije realizacije navedenih aktivnosti (uobičajenih u razvijenim državama ugroženima potresom), te stoga treba iskoristiti ovo upozorenje, vrijeme koje imamo, a posebice znanja i iskustva i ispravno osmisliti sustav odnosno strategiju za budućnost.

Zaključak 3: "Provođenje mjera za ublažavanje rizika (posljedica) potresa i pripremljenost društvene zajednice od iznimne su važnosti. Mjere se najčešće (najlakše) usmjere prema promjeni propisa koji bi trebali osigurati potresno otporne građevine (primjerice propis iz 1964. godine) i pripremi interventnih službi, što je u Hrvatskoj na zadovoljavajućoj razini. S druge strane, budući da se u Hrvatskoj ne očekuje velika izgradnja novoga stambenog fonda, ključna je kvalitetna strategija prema postojećim građevinama (posebice kritičnoj infrastrukturi). Za prvi su korak potrebne detaljne analize, jer one omogućavaju brojne korisne podatke - primjerice za seizmička pojačanja (ključna mjera koja se u Hrvatskoj ne provodi) ili za pomoć interventnim službama. Trenutačno su mjere (aktivnosti) koje se provode u Hrvatskoj minimalne i nepovezane, pa teret ostaje na pojedincima, a s druge se strane može istaknuti primjer Italije sa strateškim ulaganjima od više od milijarde € u ovom desetljeću" – nedavni potres je također potaknuo retroaktivno pisanje zakona, priručnika i mnoge aktivnosti koje nisu bile unaprijed pripremljene, ali u konačnici se sve svodi na investiranje u ključna seizmička pojačanja, posebice građevina kritične infrastrukture (bolnice, škole i slično), što je višestruko isplativije napraviti unaprijed.

Zaključak 4: "Globalne istraživačke aktivnosti (primjerice, Global Earthquake Model) prilika su za Hrvatsku da ulovi korak s najnovijim istraživanjima i metodologijama. Globalnom se rezolucijom teško zahvaćaju specifičnosti pojedine države, te je zato ključan doprinos lokalnih stručnjaka koji poznaju stanje istraživanja i tradiciju gradnje u državi. Primjerice, u Hrvatskoj treba imati na umu masovnu nezakonitu gradnju, brojne nedokumentirane rekonstrukcije, lokalno specifične građevine, starost te neodržavanje stambenoga fonda (uključujući kritičnu infrastrukturu) i slično. Povezivanjem i suradnjom s globalnim inicijativama omogućava se prijenos znanja, a otvaraju se i brojne prilike za ulaganja kojima možemo riješiti neke od brojnih izazova s kojima smo suočeni" – povezivanje s globalnim i europskim istraživačkim aktivnostima treba ohrabrivati, ali valja istaknuti da su to zasad tek pojedinačni naponi znanstvenih institucija ili pojedinaca, a nedostaje centralno povezivanje institucija unutar države, čime bi se potaknula konkretna primjena rezultata istraživanja.

Zaključak 5: "Svijest o riziku od potresa ključni je faktor, jer zahvaća sve dijelove društva: od odgovornih koji donose strateške odluke (mjere za ublažavanje rizika) do građana koji odlučuju kako će izgraditi svoje domove (poštujući važeće propise ili nezakonitim intervencijama). Ključan je kontinuirani rad na osveščivanju, kako bi građanstvo naučilo živjeti s rizikom od potresa (primjerice kao Japan koji je izložen značajno većem

hazardu nego Hrvatska), uključilo brigu o sigurnosti svojih nekretnina kao sastavnu komponentu svojih aktivnosti i barem bismo manje propuštali prilike koje možemo ostvariti (neke i bez značajnih ulaganja)." – zadatak osvješćivanja napravio je sam potres, a nedostatak svijesti u proteklom razdoblju uzrok je brojnim oštećenjima, što se posebice vidi na velikom broju rekonstruiranih i neodržavanih zgrada. Ne bi se smjelo dopustiti da svijest o opasnosti od potresa umine samo zato što je kolektivno sjećanje razmjerno kratko, pa se posljednji potres brzo zaboravi.

Zaključak 6: *"Propuštanje prilika si država s ograničenim financijskim mogućnostima, poput Hrvatske, ne bi smjela dopuštati. Istaknut će se primjer baza podataka o konstrukcijskim svojstvima građevina (jedan od glavnih problema za procjene rizika) i prilike koje smo propustili u aktivnostima vezanima za energetska učinkovitost (certificiranje), postupak ozakonjenja zgrada ili popisa stanovništva. U postojećem popisu stanovništva iz 2011., ali i onom planiranom 2021. godine, obrađuju se samo stambene jedinice (ne zgrade u cjelini), za razliku od Albanije u kojoj se prikupljaju i ostali podaci bitni za procjene rizika. Uglavnom, radi manjka osviještenosti ljudi koji upravljaju takvim aktivnostima propuštamo priliku prikupiti nužne podatke, ali i obraditi (i primijeniti) postojeće za koje možda nismo ni svjesni da ih imamo (i da su potrebni)."* – u aktivnostima koje su slijedile nakon potresa (pregledi oštećenja, procjene troškova, određivanje prioriteta, zbrinjavanje ljudi i slično) nedostatak kvalitetnih baza podataka veoma je zakomplicirao organizaciju i funkcioniranje sustava u cjelini. Za to nisu potrebna znatna ulaganja i to mora biti prvi korak prema boljem organiziranju sustava.

Zaključak 7: *"Platforma za smanjenje rizika od katastrofa (dio MUP-a), unutar koje se pokušavaju povezati svi akteri vezani za pojedini rizik, izvrstan je primjer dobre prakse. Zamisao je na tragu iskustava iz Italije, u kojoj je povezano, ali i formirano nekoliko institucija vezanih uglavnom za rizik od potresa. Objedinjavanjem znanja te centraliziranim povezivanjem stručnjaka i institucija pristupa se problematici potresa na sustavan i cjelovit način. Prema prethodno izvedenim zaključcima i opsegu aktivnosti koje su nužne i u Hrvatskoj je potrebno specijalizirano tijelo (platforma) za potrese koja bi sustavno radila na rješavanju istaknutih problema i umanjenju posljedica, oslanjajući se na suvremena znanstvena dostignuća."* – nakon iskustava iz potresa, ovaj zaključak je potpuno jednak – formiranje institucije/centra ključan je i neizostavan za svaku državu koja ozbiljno strateški razmišlja o riziku od potresa. Za kraj, potres je u Zagrebu bio upozorenje i bolan pokazatelj ne samo za Hrvatsku nego i za zemlje na području bivše države, pa i za cijelu Europu. Ključno je iskoristiti ovu priliku i povećanu svijest zajednice te napraviti već odavno zagovarane korake prema smanjenju posljedica prirodnih nepogoda. Predanost odgovornih osoba i institucija u RH treba ići u smjeru strategije i vizije upravljanja rizicima od prirodnih nepogoda s naglaskom na potres, uz odgovarajući zakonski okvir i programe. Bitno je izbjeći da nakon svakog potresa osnivamo zavode/fondove za pogođeno područje i donosimo zakone retroaktivno (nakon katastrofe –

primjerice Gunja, Zagreb i slično), već bismo korak po korak trebali biti sve spremniji na potencijalne katastrofe (u bilo kojem mjestu u RH). S tim ciljem, a na primjeru iskustava drugih država, predlaže se interdisciplinarni centar za potresno inženjerstvo koji bi okupio stručnjake iz prakse i znanosti posvećene upravljanju rizikom od potresa te zagovaranju sveobuhvatnih i izvedivih mjera usmjerenih umanjivanju posljedica potresa, uključujući međunarodno umrežavanje i razmjenu iskustava. Nužno je i nadopuniti postojeće studijske programe i stručna usavršavanja kako bi se mogli osposobiti stručnjaci koji bi se učinkovito uhvatili u koštac s ovom interdisciplinarnom problematikom, a Hrvatsku treba podići na svjetsku razinu istraživanja u području potresnoga inženjerstva. Drugim riječima, ne smijemo dopustiti da još jednom zaboravimo na moguće katastrofalne posljedice potresa, već se moramo sustavno pripremiti na miran suživot s njima.

Zahvala

Članak je zamišljen kao sveobuhvatni izvještaj izravnih sudionika u aktivnostima nakon potresa u Zagrebu pri čemu okuplja veliki broj autora, a sve osobe koje su doprinijele i koje zaslužuju puno više od zahvale je gotovo nemoguće u ovom formatu pobrojati. U poglavlju 4.3 smo već zahvalili brojnim institucijama bez kojih bi ova katastrofa imala značajno veće i dugoročnije posljedice, a ovdje bismo iskoristili priliku se zahvaliti brojnim pojedincima. Sve zahvale počinjemo i vjerujemo da nećemo nikada prestati zahvaljivati brojnim volonterima koji su svojom žrtvom prvenstveno doprinijeli sigurnosti svojih sugrađana, ali i spasili sustav koji nije bio spreman za ovakvu katastrofu te postavili temelje za dugoročnu obnovu Zagreba (Mihaela Zamolo, Ivica Skender, Krunoslav Komesar, Dražen Aničić, Igor Magdalenić, Krešimir Mičić, Juraj Pojatina, Dragan Kovač, Mate Baričević, Marijan Župan, Miljenko Srkoč, Dinko Čondić, Luka Božić, Krešimir Tarnik, Josip Galić, Miljenko Haiman, Nina Dražin Lovrec, Željka Jurković, Tihomir Matković, Višeslav Franić, Boris Mijić, Tomislav Češljaš, Igor Hranilović, Ivan Fabijanić, Ivan Matorić, Filip Prekupec, Ana Majstorović, Nino Katić i njih još barem 500). Bez uske suradnje s nizom gradskih ureda i ministarstava te otvorenosti njihovih čelnika mnoge aktivnosti se ne bi mogle odraditi, ali bitno je istaknuti i brojne pojedince unutar gradskih i državnih institucija koji su tijekom i izvan svog radnog vremena, iznimnim naporima, održavali sustav u ovakvoj izvanrednoj situaciji (Dalibor Belegić, Kristina Martinović, Dino Bečić, Davorin Oršanić, Nives Škreblić, Ivana Krišto, Vanja Tešić, Tomislav Marević, Damir Borović, Zaviša Šimac, Nataša Holcinger, Igor Milić i brojni drugi). Zbog pandemije je Zagreb ostao uskraćen za pomoć iz ostalih dijelova Hrvatske, ali niz kolega je iskazao spremnost i na različite načine su pomogli Zagrebu (Boris Trogrlić, Berislav Borovina, Ante Mihanović, Davor Grandić, Damir Varevac, Ivica Guljaš i brojni drugi). U prvim danima nakon potresa ključna je bila pomoć kolega iz svijeta, a posebice kolega iz Italije koji su svojim iskustvom usmjerili aktivnosti nakon potresa (Helen Crowley, Agostino Goretti, Paolo Morandi, Guido Magenes, Simone Peloso, Marco Di Ludovico, Miroslav Nastev, Vitor Silva, Andrea Penna,

Chiara Casarotti i mnogi drugi). Ta znanstvena mreža uspostavljena prije potresa je davala sigurnost, a tu su najviše doprinijeli brojni kolege iz Hrvatske koji žive i rade u inozemstvu (Sanja Hak, Ljupko Perić, Krunoslav Katić, Igor Tomić, Mladenka Dabac, Ingrid Tomac i mnogi drugi) te kolege iz susjednih država (regije) koji već uobičajeno prvi priskaču u pomoć u kriznim situacijama (Radomir Folić, Svetlana Brzev, Veronika Shendova, Matjaž Dolšek, Marko Marinković, Senad

Medić i brojni drugi). Konačno, nužno je zahvaliti brojnim kolegama s kojima radimo (gotovo nemoguće nabrojati, ali i odužiti se koliko su nas zadužili) koji su sudjelovali kroz brojne aktivnosti, ali i našim institucijama (Građevinski fakultet i Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu te University of Innsbruck) i tvrtkama (Toding d.o.o. i KON-VIS d.o.o.) koje su nas podržale u brojnim vanrednim aktivnostima - vjerujemo da su bile na opće dobro svih.

LITERATURA

- [1] Seizmološka služba Geofizičkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, www.pmf.unizg.hr/geof/seizmološka_sluzba/o_zagrebackom_potresu_2020, 22.4.2020.
- [2] Atalić, J., Hak, S.: Procjena rizika od katastrofa u Republici Hrvatskoj – rizik od potresa, Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet u suradnji s Ministarstvom graditeljstva i prostornoga uređenja i Državnom upravom za zaštitu i spašavanje, Hrvatska, 2014.
- [3] Atalić, J., Šavor Novak, M., Uroš, M.: Procjena rizika od katastrofa u Republici Hrvatskoj, Ažuriranje procjene rizika od potresa, Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet u suradnji s Ministarstvom graditeljstva i prostornoga uređenja i Državnom upravom za zaštitu i spašavanje, 2018.
- [4] Simović, V.: Potresi na zagrebačkom području, GRAĐEVINAR, 52 (2000) 11, pp. 637–645.
- [5] Atalić J., Šavor Novak M., Uroš M.: Rizik od potresa za Hrvatsku: pregled istraživanja i postojećih procjena sa smjericama za budućnost, GRAĐEVINAR, 71 (2019) 10, pp. 923–947.
- [6] Herak, M., Allegretti, I., Herak, D., Ivančić, I., Kuk, V., Marić, K., Markušić, S., Sović, I.: Republika Hrvatska, Karta potresnih područja, <http://seizkarta.gfz.hr>, 2011.
- [7] Jurak, V., Ortolan, Ž., Ivšić, T., Herak, M., Šumanovac, F., Vukelić, I., Jukić, M., Šurina, Z.: Geotehničko i seizmičko mikrozoniranje grada Zagreba - pokušaji i ostvarenje, Zbornik radova konferencije Razvitak Zagreba, SECON HDGK, pp. 99–108, 2008.
- [8] Herak, M., Miklin, Ž., Allegretti, I., Dasović, I., Fiket, T., Herak, D., Ivančić, I., Kuk, K., Kuk, V., Marić, K., Markušić, S., Prevolnik, S., Podolszki, L., Sović, I., Stipčević, J.: Seizmičko i geološko mikrozoniranje prema standardima Eurokoda 8 za zapadni dio podsljemenske urbanizirane zone KNJIGA 1, SEIZMOLOŠKA ISTRAŽIVANJA I REZULTATI STUDIJE, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geofizički odsjek, Zagreb, 2013.
- [9] Miklin, Ž., Novosel, T., Podolszki, L., Terzić, J., Dolić, M., Burić, H., Pomper, N., Frbežar, K., Sokolić, I., Sokolić, Ž., Ofak, J., Dobrilović, I., Padovan, B., Špoljar, J., Zailac, K., Sović, I., Herak, M.: Seizmička i geološka mikrozonacija dijela grada Zagreba, Knjiga 1 – Seizmička i geološka mikrozonacija, Hrvatski geološki institut, Zagreb, 2019.
- [10] Sović, I., Allegretti, I., Dasović, I., Fiket, T., Herak, D., Herak, M., Ivančić, I., Kuk, K., Markušić, S., Mustač, M., Prevolnik, S., Stipčević, J.: Seizmička i geološka mikrozonacija dijela grada Zagreba, Knjiga 4 – mjerenja i interpretacija mikrosezmičkog nemira, Geofizički odsjek PMF-a, Zagreb, 2019.
- [11] Lokmer, I., Herak, M., Panza, G.F., Vaccari, F.: Amplification of strong ground motion in the city of Zagreb, Croatia, estimated by computation of synthetic seismograms. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22 (2002), pp. 105–103.
- [12] Herak, M., Lokmer, I., Vaccari, F., Panza, G.F.: Linear Amplification of Horizontal Strong Ground Motion in Zagreb (Croatia) for a Realistic Range of Scaled Point Sources, *Pure appl. geophys.* 161 (2004), pp.1021–1040.
- [13] Pamić, J., Tomljenović, B.: Basic geologic data from the Croatian part of the Zagorje-Mid Transdanubian zone, *Acta Geol. Hung.*, 41 (1998), pp. 389–400.
- [14] Haas, J., Mioč, P., Pamić, J., Tomljenović, B., Árkai, P., Bérczi-Makk, A., Koroknai, B., Kovács, S., Felgenhauer, E.R.: Complex structural pattern of the Alpine-Dinaridic-Pannonian triple junction, *Int. J. Earth Sci.*, 89 (2000), pp. 377–389.
- [15] Tomljenović, B., Csontos, L.: Neogene-Quaternary structures in the border zone between Alps, Dinarides and Pannonian Basin (Hrvatsko Zagorje and Karlovac Basins, Croatia), *Int. J. Earth Sci.*, 90 (2001) 3, pp. 560–578.
- [16] Tomljenović, B.: Structural characteristics of Medvednica and Samoborsko Gorje Mts., PhD thesis, Univ. of Zagreb, 208 pp., 2002.
- [17] Tomljenović, B., Csontos, L., Márton, E., Márton, P.: Tectonic evolution of the northwestern Internal Dinarides as constrained by structures and rotation of Medvednica Mountains, *North Croatia, Geol. Soc. London Spec. Publ.*, 298 (2008) 1, pp. 145–167.
- [18] Judik, K., Rantitsch, G., Rainer, T.M., Árkai, P., Tomljenović, B.: Alpine metamorphism of organic matter in metasedimentary rocks from Mt. Medvednica (Croatia), *Swiss J. Geosci.*, 101 (2008) 3, pp. 605–616.
- [19] Matoš, B., Tomljenović, B., Trenc, N.: Identification of tectonically active areas using DEM: A quantitative morphometric analysis of Mt. Medvednica, NW Croatia, *Geol. Quart.*, 58 (2014) 1, pp. 51–70.
- [20] van Gelder, I.E., Matenco, L., Willingshofer, E., Tomljenović, B., Andriessen, P.A.M., Ducea, M.N., Beniést, A., Gruič, A.: The tectonic evolution of a critical segment of the Dinarides-Alps connection: Kinematic and geochronological inferences from the Medvednica Mountains, NE Croatia, *Tectonics*, 34 (2015), pp. 1952–1978, doi:10.1002/2015TC003937.
- [21] Herak, D., Herak, M., Tomljenović, B.: Seismicity and earthquake focal mechanisms in North-Western Croatia. *Tectonophysics*, 465 (2009), pp. 212–220.
- [22] Herak, M., Herak, D., Tomljenović, B.: Seismicity and Neotectonics in the Greater Zagreb Area. In: *Fact Finding Workshop on the Active Tectonics of the Krško Region* (ed. Decker, K.), Technical Workshop, Klagenfurt/Celovec, Austria, Ministerium für Lebenswertes Oesterreich, Vienna, Austria, 2016.
- [23] Herak, M.: HYPOSEARCH – An earthquake location program. *Comput. Geosci.*, 15 (1989), pp. 1157–1162.
- [24] Herak, D.: Razdioba brzina prostornih valova potresa i seizmičnost šireg područja Dinare, disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 145 pp., 1995.
- [25] Jánosi, I.: Makroszeizmikus rengések feldolgozása a Cancani-féle egyenlet alapján. In: Réthly, A., (Ed.) *Az 1906 évi Magyarországi Földrengések*, A. M. Kir. Orsz. Met. Föld. Int., Budapest, 1907, pp. 77–82.
- [26] Herak, M., Herak, D., Markušić, S.: Revision of the earthquake catalogue and seismicity of Croatia, 1908–1992. *Terra Nova*, 8/1 (1996), pp. 86–94.

- [27] Šavor Novak, M., Atalić, J., Uroš, M., Prevolnik, S., Nastev, M.: Seismic risk reduction in Croatia: mitigating the challenges and grasping the opportunities. *Future Trends in Civil Engineering*, University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering, Croatia, pp. 71-109, 2019.
- [28] Atalić, J., Krolo, J., Damjanović, D., Uroš, M., Sigmund, Z., Šavor Novak, M., Hak, S., Korlaet, L., Koščak, J., Duvnjak, I., Bartolac, M., Serdar, M., Dokoza, I., Prekupec, F., Oreb, J., Mušterić, B.: Studija za saniranje posljedica potresa, I-VII faza, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2013-2019.
- [29] Atalić, J., Šavor Novak, M., Uroš, M., Hak, S., Damjanović, D., Sigmund, Z.: Measures for the earthquake risk reduction in the City of Zagreb, Croatia, *Proceedings of 16th European Conference on Earthquake Engineering, EAEE (ur.)*, Solun, Grčka, 2018.
- [30] Mohorovičić, A.: Djelovanje potresa na zgrade, Predavanje prof. dr. Andrija Mohorovičića u H. D. I. i A. dne. 1. ožujka 1909., Preštampano iz "Vijesti Hrv. društva inženjera i arhitekta", Tiskara i litografija C. Albrechta, Zagreb, pp. 79., 1911.
- [31] Mohorovičić, A.: Effects of earthquakes on buildings. Lecture given by Professor Andrija Mohorovičić, Ph. D. at the Croatian Society of Engineers and Architects (CSEA) on March 1st, 1909. Printing and lithography C. Albrecht, Zagreb, 1911. (Prijevod V. Lopac) *Geofizika*, 26 (2009), pp. 1-65.
- [32] Prevolnik, S., Herak, M., Markušić, S., Ivančić, I.: Strong ground motion records of the Zagreb earthquake of 22 March 2020. U pripremi za objavu u časopisu *GEOFIZIKA*, (2020).
- [33] Atalić, J., Šavor Novak, M., Uroš, M., Baniček, M.: Rizik od potresa u Hrvatskoj i mjere njegova ublažavanja prema iskustvima nedavnih potresa u Albaniji, *Hrvatski graditeljski forum 2020: Izazovi u graditeljstvu 5* (ed. Lakusic, S.), Zagreb, pp. 149-185, 2020.
- [34] Baggio, C. et al.: *Field Manual for post-earthquake damage and safety assessment and short term Countermeasures (AeDES)*, EUR 22868, European Commission, Joint Research Centre, 2007.
- [35] ESRI, Collector for ArcGIS, <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/collector-for-arcgis/overview>
- [36] EUCENTRE, MATILDA Project, <http://www.eucentre.it/matilda-project/?lang=en>
- [37] Atalić, J., Sigmund, Z., Šavor Novak, M., Uroš, M., Damjanović, D., Duvnjak, I., Koščak, J., Dokoza, I., Reich, S., Prekupec, F.: Uloga građevinskih stručnjaka u situacijama nakon razornih potresa, *Zbornik VII. Konferencije Hrvatske platforme za smanjenje rizika od katastrofa*, Zagreb: Državna uprava za zaštitu i spašavanje, pp. 137-145, 2018.
- [38] Crnogorac, M., Todorić, M., Uroš, M., Atalić, J.: Urgentni program potresne obnove – UPPO, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Hrvatska komora inženjera građevinarstva, Zagreb, 2020.
- [39] Baza podataka s pregleda uporabljivosti zgrada, Hrvatski centar za potresno inženjerstvo, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Grad Zagreb, lipanj 2020.
- [40] Kiš-Bonačić, K., Žic, D., Bubrić, M.: *Donji grad: blokovi*, katalog, Zavod za prostorno uređenje grada Zagreba, Hrvatska, 2009.

Napomena uredništva:

Fotografije autora uobičajeno se objavljuju na prvoj stranici njihova rada, na kojoj se nalaze sažetak, ključne riječi i podaci o autorima. Budući da ovaj rad ima 10 autora, to se nije moglo provesti na prvoj stranici, pa su fotografije autora otisnute na kraju članka.



Prof.dr.sc. **Damir Lazarević**, dipl.ing.građ.
damir.lazarevic@grad.unizg.hr



Doc.dr.sc. **Marta Šavor Novak**, dipl.ing.građ.
marta.savor.novak@grad.unizg.hr



Prof.dr.sc. **Marijan Herak**, dipl.ing.fizike
mherak@irb.hr



Dr.sc. **Nenad Bijelić**, dipl.ing.građ.
nenad.bijelic@epfl.ch



Doc.dr.sc. **Mario Uroš**, dipl.ing.građ.
mario.uros@grad.unizg.hr



Doc.dr.sc. **Marija Demšić**, dipl.ing.građ.
marija.demsic@grad.unizg.hr



Milan Crnogorac, dipl.ing.građ.
crnogorac.milan@gmail.com



Izv.prof.dr.sc. **Josip Atalić**, dipl.ing.građ.
josip.atalic@grad.unizg.hr



Maja Baniček, mag.ing.aedif.
maja.banicek@grad.unizg.hr



Mario Todorić, dipl.ing.građ.
mario.todoric@toding.hr