

Potres u Zagrebu i utjecaj potresa na građevinske objekte

Hršak, Deni

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:149:790558>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-28**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Deni Hršak

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, rujan 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
POVJERENSTVO ZA ZAVRŠNE ISPITE

Kandidat Deni Hršak

Predao je izrađen završni rad dana: 15. rujna 2021.

Povjerenstvo u sastavu:

Izv. prof. dr. sc. Nevenka Vrbos, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu

Dr. sc. Lidija Furač, viša predavačica, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu

Prof. dr. sc. Aleksandra Sander, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu

Prof. dr. sc. Juraj Šipušić, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu, zamjena

povoljno je ocijenilo završni rad i odobrilo obranu završnog rada pred povjerenstvom u istom sastavu.

Završni ispit održat će se dana: 20. rujna 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Deni Hršak

Potres u Zagrebu i utjecaj potresa na građevinske objekte

ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada: izv. prof. dr. sc. Nevenka Vrbos, FKIT

Članovi ispitnog povjerenstva:

1. izv. prof. dr. sc. Nevenka Vrbos
2. prof. dr. sc. Aleksandra Sander
3. v. pred. Dr. sc. Lidija Furač

Zagreb, rujan 2021.

Zahvaljujem svojoj mentorici, izv. prof. dr. sc. Nevenki Vrbos na predloženoj zanimljivoj temi, stručnom vodstvu i strpljenju.

Također zahvaljujem se svojim prijateljicama Mariji Ćurić i Ornelli Host koje su mi tijekom studija bile bezuvjetna podrška.

SAŽETAK

U ovom radu opisane su posljedice potresa koji je pogodio Zagreb 22. ožujka 2020.god u jeku pandemije COVID-19. Potres je bio magnitude 5.5 prema Richteru te je uzrokovao veliku materijalnu štetu na području Grada Zagreba, Krapinsko-zagorske i Zagrebačke županije. Osim materijalne štete odnio je i jedan život. U radu je dan pregled pojmova vezanih uz potrese, njihov postanak, širenje i posljedice koje uzrokuju. Opisan je i pregled modernih saznanja o protupotresnoj gradnji i materijalima koji su povoljni za gradnju na seizmički aktivnim područjima. Sve ovo objedinjeno je u kontekstu zagrebačkog potresa, te su prikazana najčešća oštećenja koja su nastala na građevinama, kao i procjena nastale štete.

Ključne riječi: rasjed, potres u Zagrebu, šteta na građevinama, obnova Zagreba, protupotresna gradnja

SUMMARY

Within this paper, the topic of the Zagreb earthquake and its effects is covered. The earthquake happened on March 22nd, 2020 during the height of the COVID-19 pandemic. The magnitude of the earthquake was 5.5 according to Richter, and it caused tremendous material damage in Zagreb, Krapina-zagorje county, and Zagreb county. Besides the material damage, the earthquake has also caused a human fatality. Furthermore, earthquake terminology and newest earthquake engineering findings are covered within the paper. Both the earthquake and earthquake engineering terminology are used in the analysis of the Zagreb earthquake, as well as the most common types of damages suffered by buildings and the height of costs required to repair the city.

Key words: fault, Zagreb earthquake, damage to buildings, restauration of Zagreb, earthquake engineering

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. OPĆI DIO	2
2.1. Što su potresi	2
2.1.1. Teorija tektonskih ploča	2
2.1.2. Rasjedi, hipocentar i epicentar	4
2.1.3. Seizmički valovi i mjerenje potresa	6
2.2. Protupotresna gradnja	10
2.2.1. Interakcija tla i konstrukcija	10
2.2.2. Građevni materijali i potresi.....	12
2.2.3. Povoljni oblici građevina	14
2.2.4. Tehnologije umanjena djelovanja potresa na temelje.....	16
3. PREGLEDNI DIO	18
3.1. Zagrebački potres	18
3.1.1. Seizmotektonika zagrebačkog područja i predmetni potres	19
3.1.2. Mogućnost budućih potresa	23
3.2. Šteta na građevinama	24
3.2.1. Preliminarni pregledi zgrada	27
3.2.2. Najčešći oblici štete na građevinama	29
3.2.3. Obnova	33
4. ZAKLJUČAK.....	34
5. LITERATURA	35
6. ŽIVOTOPIS	38

1.UVOD

Zagreb je 22. ožujka 2020. u 6:24h pogodio potres magnitude 5,5 prema Richteru. Epicentar potresa nalazio se kod Markuševca, a intenzitet u epicentru bio je VII. stupnja prema MCS ljestvici. Nakon najjačeg potresa uslijedilo je puno naknadnih, slabijih potresa, najjači od njih je bio potres magnitude 5,0 prema Richteru, a desio se u 7:01h istoga dana. Potres se osjetio diljem Hrvatske, a i dalje. Sam potres izazvao je značajne štete na građevinama na području Grada Zagreba, Zagrebačke županije i Krapinsko-Zagorske županije. Jedan od simbola zagrebačkog potresa postao je oštećeni vrh južnog tornja zagrebačke katedrale. Zbog opsega nastale štete, zagrebački gradonačelnik istog je dana proglasio stanje prirodne nepogode te je oformljen stožer u sklopu Ureda za upravljanje hitnim situacijama, čija je zadaća bila koordinirati volontere i organizirati brze preliminarnе preglede kojima se utvrđivala uporabljivost građevina [1].

Osim materijalne štete, potres je uzrokovao i jednu mnogo veću štetu u vidu gubitka života petnaestogodišnje djevojčice, koja je 23. ožujka podlegla posljedicama povreda zadobivenih u potresu. Potres je utjecao i na mentalno zdravlje građana, tim više jer je u narednih pet dana nakon potresa zabilježeno više od 200 naknadnih podrhtavanja tla. Sama jačina potresa prema dosadašnjim istraživanjima ne bi smjela biti nikakvo iznenađenje, jer se Zagreb i šira okolica nalaze na trusnom području, gdje su i ranije zabilježeni potresi magnitude 5 i više prema Richteru. Neke procjene govore da bi maksimalna magnituda mogućeg potresa mogla doseći i 6,5 prema Richteru te se prilikom obnove Zagreba, a i daljnjeg prostornog planiranja i gradnje to definitivno mora uzeti u obzir i građevine projektirati prema standardima protupotresne gradnje, na način da mogu izdržati potrese jače od 6,5 prema Richteru [2].

2. OPĆI DIO

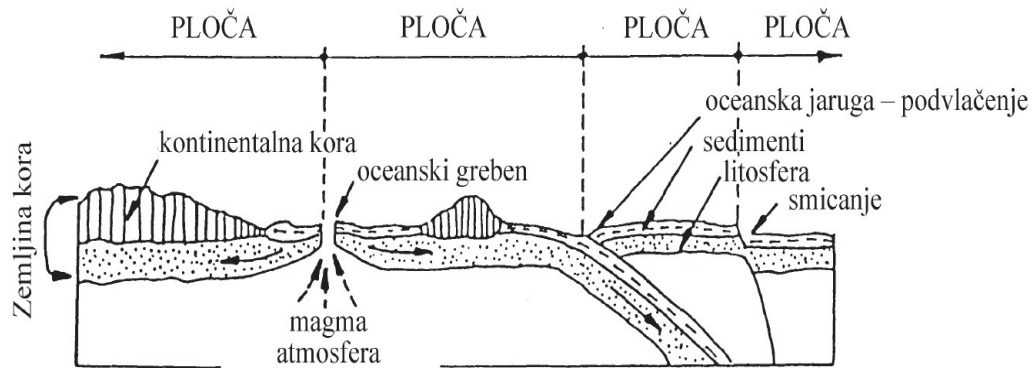
2.1. Što su potresi

Potresi su podrhtavanja ili trešnja tla uzrokovani naglim oslobađanjem potencijalne energije nakupljene u stijenama ispod Zemljine površine. Uzrok nakupljanja energije u stijenama su tektonske sile. Njihovim djelovanjem potencijalna energija se pohranjuje u stijenama te u početku uzrokuje njihovu deformaciju u vidu savijanja. Kada naprezanje u stijenama dosegne čvrstoću stijena, tada dolazi do naglog pucanja i pomicanja dviju stijenskih masa duž pukotine. Pomicanje stijena može se odvijati horizontalno, vertikalno ili u oba smjera istovremeno. Energija koja je oslobođena pucanjem uzrokuje pokretanje stijenskih masa u novi položaj i stvaranje seizmičkih valova koji se šire Zemljinom korom te uzrokuju podrhtavanje i trešnju tla, koju prepoznajemo kao potres [3].

U kontekstu djelovanja potresa na građevine najvažniji su tektonski potresi, a danas naj prihvaćenija teorija koja ih objašnjava je teorija tektonskih ploča. Drugi uzroci potresa su vulkani, točnije ispunjavanje podzemnih komora magmom prije erupcije, iznenadni lom i padanje materija u kraškim jamama i jake eksplozije [4].

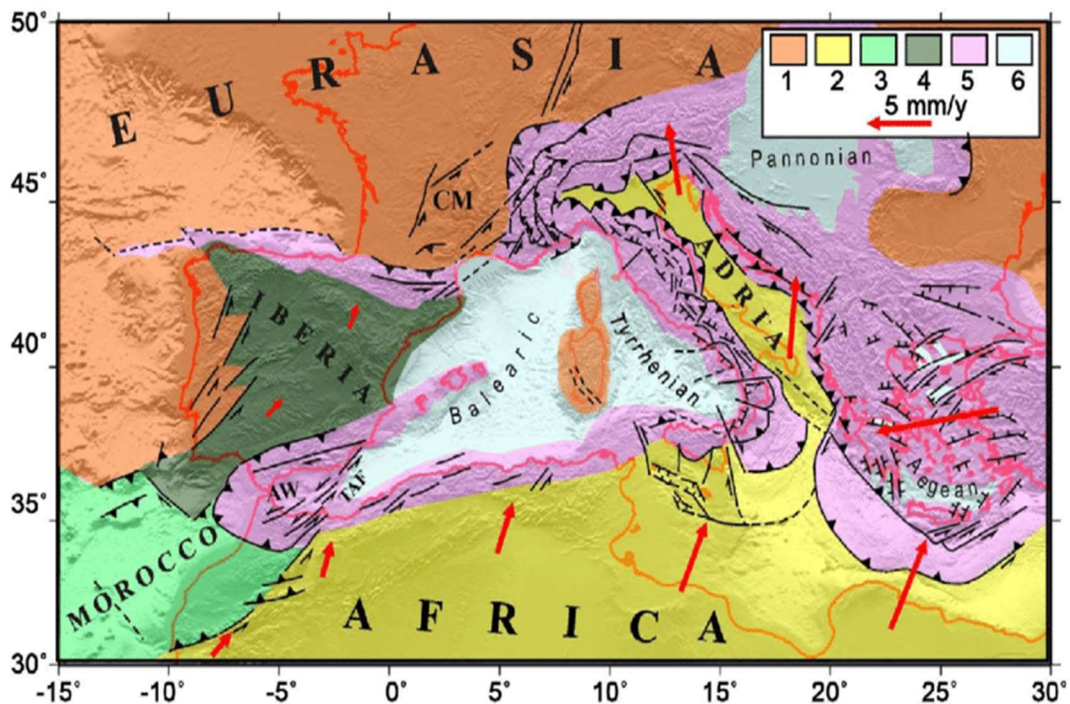
2.1.1. Teorija tektonskih ploča

Zemljina litosfera, sačinjena od Zemljine kore i vanjskog dijela omotača jezgre, razlomljena je na ploče. Te se ploče pomiču po relativno mekoj podlozi, astenosferi. Ploče se odmiču jedna od druge na područjima koja nazivamo oceanskim grebenima te na tim mjestima iz Zemljine unutrašnjosti izvire užarena magma koja se hladi na morskom dnu. Zbog tih razmicanja dolazi do sudaranja ploča na drugim mjestima i podvlačenja ploča jedne pod drugu. Na mjestima podvlačenja litosfera se vraća u astenosferu, a ta mjesta nazivamo oceanskim jarugama. Na slici 1 nalazi se ilustrirani prikaz spomenutih procesa i tipova granica ploča [4].



Slika 1. Prikaz tipova granica tektonskih ploča [4]

Mjesta dodira ploča, na kojima dolazi do posmika, nazivamo rasjedima. Zbog relativnog pomicanja ploča na rasjedima dolazi do gomilanja potencijalne energije. Kada se posmična nosivost stijena u rasjedu iscrpi, dolazi do naglog pomicanja, što je uzrok potresa. Na našem području najveći broj potresa uzrokovan je pritiskom koji Afrička ploča i Jadranska mikro ploča stvaraju na južnu konturu Euroazijske ploče (Slika 2) [4].



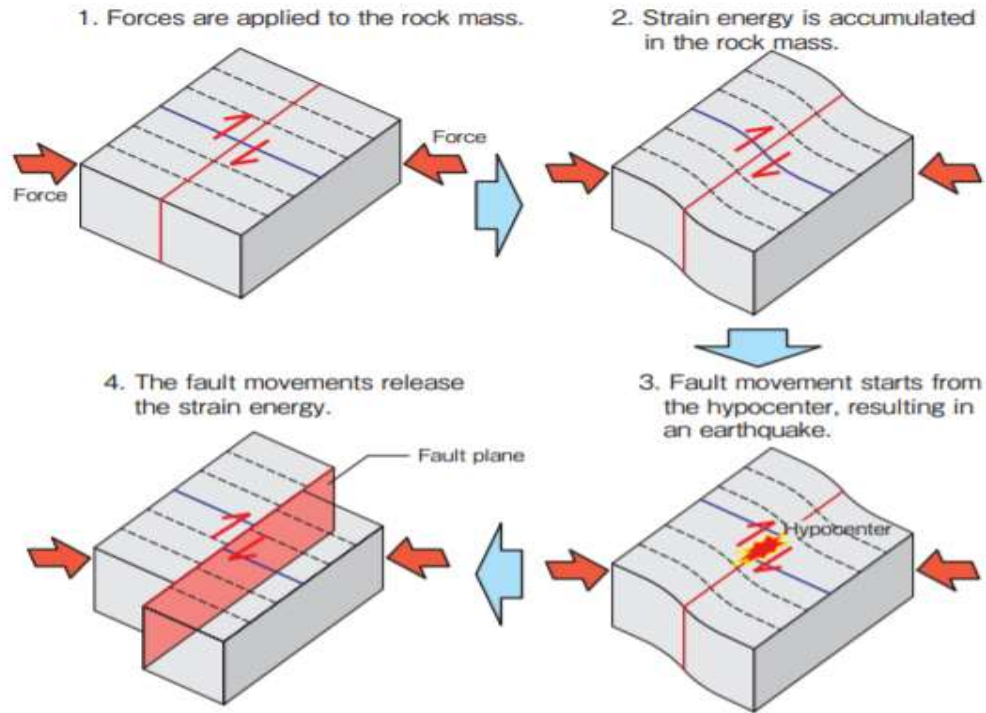
Slika 2. Prikaz kinematike Afričke i Jadranske ploče na Euroazijsku [5]

Međutim, svi potresi ne mogu se objasniti dešavanjima na granicama tektonskih ploča, jer se dešavaju u unutrašnjosti ploča, daleko od rasjeda na rubovima tektonskih ploča. Pretpostavlja se da je uzrok takvih potresa naprezanje unutar same ploče, koje nastaje kao posljedica pritiska na njenim rubovima.

2.1.2. Rasjedi, hipocentar i epicentar

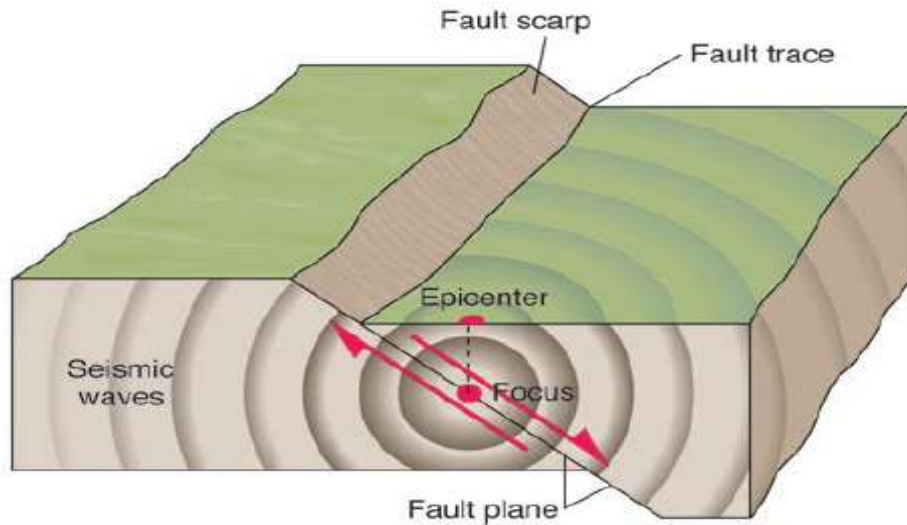
Rasjedi su, kao što je već spomenuto, puknuća u Zemljinoj kori. Da bi se potres mogao dogoditi, nužan uvjet je postojanje aktivnog rasjeda na tom području. Pomicanje stijenskih masa duž rasjeda može, ali i ne mora uzrokovati potrese. Hoće li se potres desiti ovisi o tome dešava li se pomak duž rasjeda sporo i kontinuirano ili se desi nagli pomak koji uzrokuje potres. Rasjedi mogu biti kilometrima dugački, a potres se ne mora nužno desiti duž cijelog rasjeda [6]. Neki su vidljivi golim okom, a neki se nalaze kilometrima ispod Zemljine površine i ne možemo ih samo tako uočiti. Aktivan rasjed je onaj rasjed na kojem se desio jedan pomak u posljednjih 35000 godina ili više od jednog pomaka u posljednjih 500 000 godina. To je kriterij koji nam je dovoljan kako bismo rasjed smatrali neaktivnim, odnosno područje sigurnim za izgradnju objekata [4].

Razlikujemo rasjede s pomakom po pružanju (desni ili lijevi rasjed), rasjede s pomakom na pružanje (normalni ili reversni), s pomakom dijagonalno na pružanje i rasjede s rotacijom krila. Svim tipovima rasjeda zajedničko je nagomilavanje potencijalne energije i dešavanje pomaka duž rasjeda, razlikuju se po smjeru u kojem se stijene miču, a posljedično se razlikuju i vizualne promjene u okolišu [7].



Slika 3. Pojednostavnjeni prikaz dešavanja u aktivnom rasjedu [8]

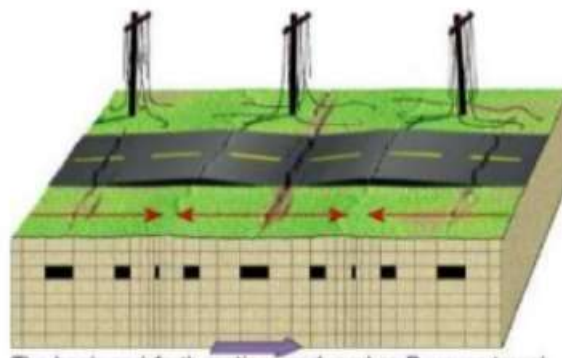
Nadalje, bitni pojmovi koje treba zapamtiti vezano uz potrese su fokus ili hipocentar i epicentar. Hipocentar je mjesto unutar rasjeda, sama točka pucanja stijena, odnosno mjesto prvog pokreta stijena. Epicentar je mjesto na površini, smješteno direktno iznad hipocentra. Fokus je mjesto na kojem se generiraju prvi seizmički valovi, koji su već ranije spomenuti kao uzrok podrhtavanja tla. Za vrijeme potresa zapravo nastaju 2 vrste valova, jedni su prostorni, a drugi površinski. Prostorni se šire od fokusa u svim smjerovima po Zemljinoj kori, dok se površinski šire od epicentra površinom, kao što se šire valovi po vodi kad u nju ubacimo kamenčić [3].



Slika 4. Ilustracijski prikaz rasjeda, fokusa, epicentra i širenja seizmičkih valova [3]

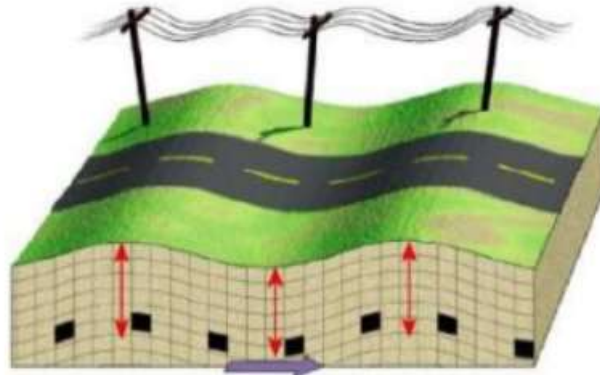
2.1.3. Seizmički valovi i mjerenje potresa

Kao što je već spomenuto, seizmički valovi dijele se na 2 tipa. Prvi tip valova su prostorni valovi. Prostorni valovi šire se od fokusa u svim smjerovima. Kod prostornih valova razlikujemo još 2 podtipa valova, a to su P i S valovi. P valovi, poznati i kao primarni ili longitudinalni, su valovi koji se šire brzinom od 4 do 7 km/s, a za vrijeme njihova prolaska stijene vibriraju paralelno sa smjerom širenja vala [3].



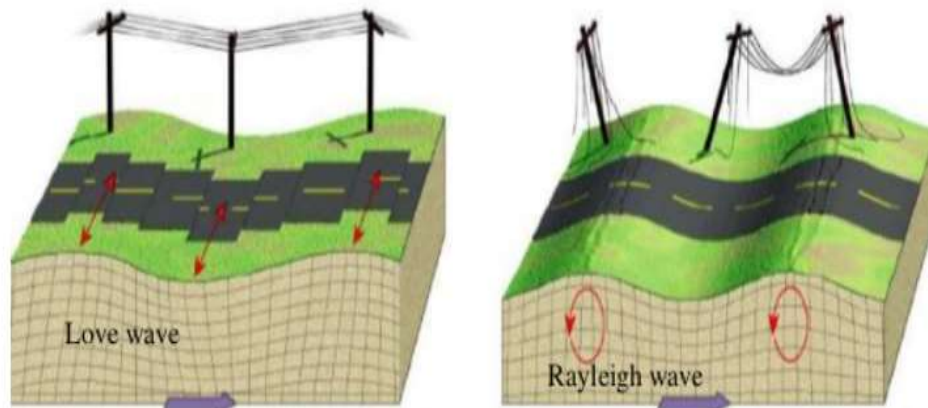
Slika 5. Prikaz širenja P vala i prouzrokovane trešnje tla [9]

Drugi podtip prostornih valova su S valovi, poznati i kao sekundarni ili poprečni valovi, a šire se sporije od P valova. Brzina širenja S vala je 2 do 5 km/s , što znači da oni do nekog mjesta dolaze kasnije od P valova. Smjer titranja stijena tijekom prolaska S vala je okomit na smjer širenja vala. Također važno za spomenuti je da P valovi prolaze i kroz plinove i tekućine, dok se S valovi ne mogu širiti kroz plinove i tekućine [3].



Slika 6. Prikaz širenja S vala i prouzrokovane trešnje tla [9]

Kod površinskih valova razlikujemo opet 2 podtipa valova, a to su R (Rayleigh) i L (Love) valovi. R valovi uzrokuju eliptično kretanje tla, suprotno smjeru širenja vala, uzrokujući pomicanje tla po vertikalnoj osi. L valovi se šire slično kao i S valovi, uzrokujući horizontalno pomicanje tla. Površinski valovi predstavljaju najveću opasnost za građevine, a zbog načina na koji se šire i činjenice da imaju najmanju brzinu širenja, zbog čega im treba da najdulje da prođu, R valovi su najopasniji za građevine. Šteta tipična za L valove je prevrtanje građevina u samom temelju, dok R valovi uzrokuju štetu i puknuća na cijeloj građevini [3].



Slika 7. Prikaz širenja L i R valova i prouzrokovane trešnje tla [9]

Potresi se bilježe uz pomoć seizmografa, uređaja postavljenih diljem svijeta, koji imaju mogućnost bilježenja seizmičkih valova veoma odaljenih potresa. Kao što je već spomenuto, seizmički valovi ne putuju istom brzinom, upravo zbog te razlike u brzini, oni bivaju zabilježeni na seizmografima s vremenskim razmacima. Na temelju tih razmaka moguće je odrediti na kojoj se udaljenosti od mjerne stanice desio potres te povlačenjem kružnica oko više mjernih stanica dobiti mjesto epicentra potresa. Na temelju zabilježenih podataka može se još odrediti dubina fokusa i magnituda potresa [3]. Nikako ne smijemo miješati magnitudu i intenzitet potresa, magnituda se dobiva na temelju mjernih podataka, dok se intenzitet potresa određuje prema vanjskim utjecajima potresa (utjecaj na građevine, prirodu, živa bića). Magnituda je kvantitativna mjera energije oslobođene u potresu, a danas se najčešće koristimo izražavanjem magnitude prema Richteru. Richter je pretpostavio da je jačina potresa proporcionalna maksimalnoj amplitudi vibracije tla te je magnitudu definirao kao logaritam, s bazom deset, maksimalne amplitude seizmičkih valova mjerenih u mikronima na standardno seizmografu tipa Wood-Anderson na udaljenosti 100 km od epicentra [4]. Intenzitet potresa se s druge strane temelji na opažanjima ljudi i govori o utjecajima potresa na živa bića i građevine, ako ne postoji opažatelj na nekom području, intenzitet se mora definirati kao nula. Intenzitet generalno opada s udaljenošću od epicentra, no to ovisi o podlozi na kojoj je građeno, građevinskom materijalu i samom načinu na koji je projektirana građevina. Intenzitet se izražava različitim ljestvicama, a sve od njih imaju 12 stupnjeva intenziteta. Kod nas se najčešće za brze procjene koristi MCS ljestvica (prikazana u

tablici 1), dok se za detaljne analize koriste MSK ljestvica i najsloženija EMS ljestvica [10].

Tablica 1. Skraćeni opis opažanja prema MCS ljestvici intenziteta [10]

Stupanj	Naziv	Kratak opis opažanja
I°	Nezamjetljiv potres	Bilježe ga samo seizmografi
II°	Jedva osjetan	Osjetljiv u gornjim katovima visokih zgrada
III°	Lagan	Tlo podrhtava kao i kod prolaska automobila
IV°	Umjeren	Prozori i staklenina zveče
V°	Prilično jak	Njihanje slika, pojedinci bježe na ulicu
VI°	Jak	Padanje slika, prevrtanje ormara, ljudi na izlaze na ulice
VII°	Vrlo jak	Rušenje dimnjaka, padanje crijepova, pucanje zidova
VIII°	Razoran	Slabe građevine se ruše, jače pucaju, puca tlo
IX°	Pustošni	Teško oštećenje i urušavanje građevina, klizišta i odroni zemlje
X°	Uništavajući	Rušenje do temelja, rušenje mostova i brana, izbijanje podzemne vode
XI°	Katastrofalan	Većina građevina srušena, kidanje stijena
XII°	Veliki katastrofalan	Do temelja srušene sve građevine, drastično izmijenjen izgled krajolika

2.2. Protupotresna gradnja

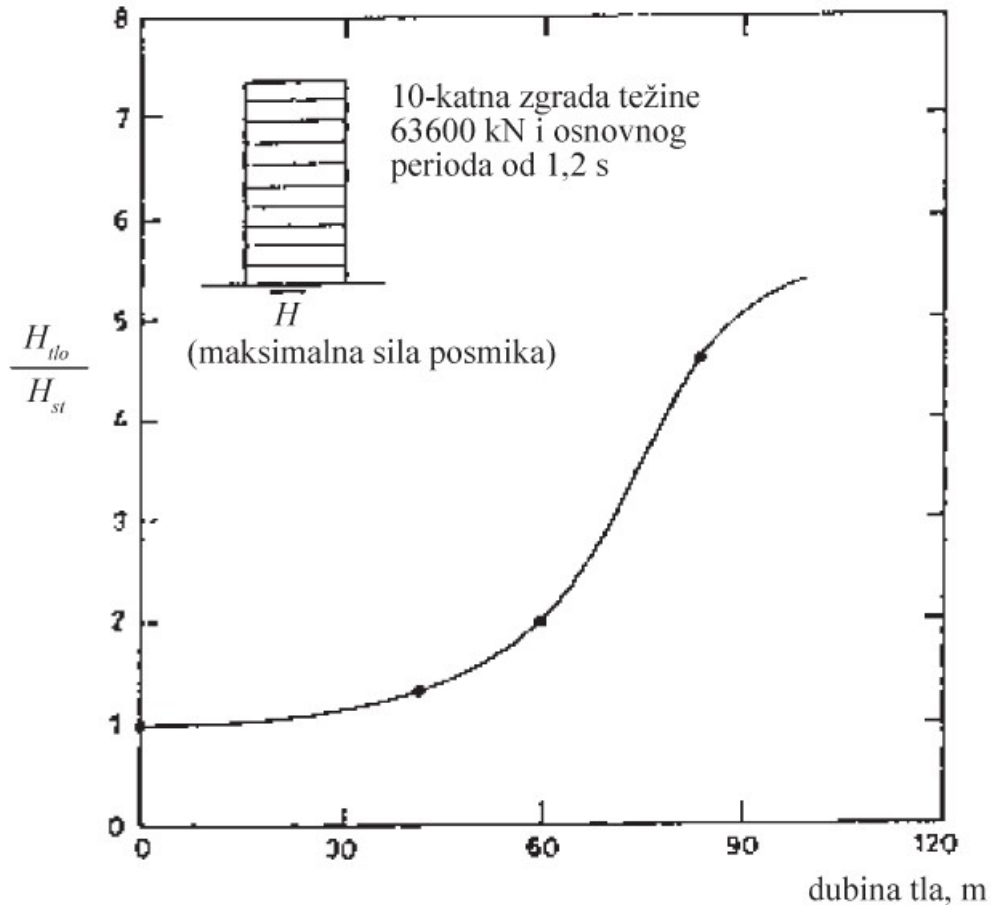
Protupotresna gradnja je skup standarda koji vrijede prilikom projektiranja i izgradnje građevinskih objekata u svrhu zaštite života ljudi i umanjenja oštećenja građevina tijekom potresa. Danas prilikom građenja dužni smo se pridržavati skupa propisa pod nazivom Eurocode 8, kojima je definirano i projektiranje i građenje objekata uzimajući u obzir mogućnost potresa. Zbog toga što je to postala zakonska obveza, a pravilnik je na snazi od 1998. godine, možemo reći da su zgrade građene nakon 1998. godine poprilično otporne na utjecaje potresa [11].

2.2.1. Interakcija tla i konstrukcija

Ono što se pokazalo kao jedna od najvažnijih komponenti protupotresne gradnje su međudjelovanja tla i konstrukcije koja je na njemu podignuta. Prilikom dinamički proračuna mora se uzeti u obzir na kakvom će tlu građevina biti izgrađena i kolika je visina tla iznad bazne stijene. Pokazalo se da proračuni koji uzimaju u obzir kako je građevina podignuta na čvrstoj podlozi, odnosno baznoj stijeni, daju premale izračune sila koja djeluju na građevinu tijekom potresa i to za više reda veličina. Postojanje medija (tla) između temelja konstrukcije i bazne stijene omekšava sklop konstrukcija-tlo, a sam medij također vibrira te se na taj način seizmičke sile uvećavaju i stvarni periodi vibracije konstrukcija bivaju većim od onih kada se to ne uzima u obzir prilikom izračuna. Za tlo, kao i za građevine, osnovne dinamičke karakteristike su prvi vlastiti period i prigušenje. Na vlastiti period tla najviše utječe njegova visina iznad bazne stijene.

Uzevši za primjer građevinu od deset katova s osnovnim periodom građevine od 1,2 s, na njoj će biti generirano mnogo veće ubrzanje, ako je temeljena na tlu veće dubine, a to znači da će i B.S. koeficijent biti veći. B.S. koeficijent ili koeficijent posmika za ton, koristi se kod proračuna poprečnih sila u razini temelja građevine prema jednadžbi: $V_{0,n} = (B.S.)_n * W_n$, gdje je $V_{0,n}$ poprečna sila u razini temelja, a W_n sudjelujuća težina za ton. Iz oblika jednadžbe vidljivo je da što je veći koeficijent posmika za ton, to će i poprečna sila na temelj biti veća, što je naravno nepovoljno za

građevinu. Na idućoj slici biti će prikazana spomenuta ovisnost za navedenu zgradu prilikom jednog od potresa koji je pogodio San Fernando u Kaliforniji [4].

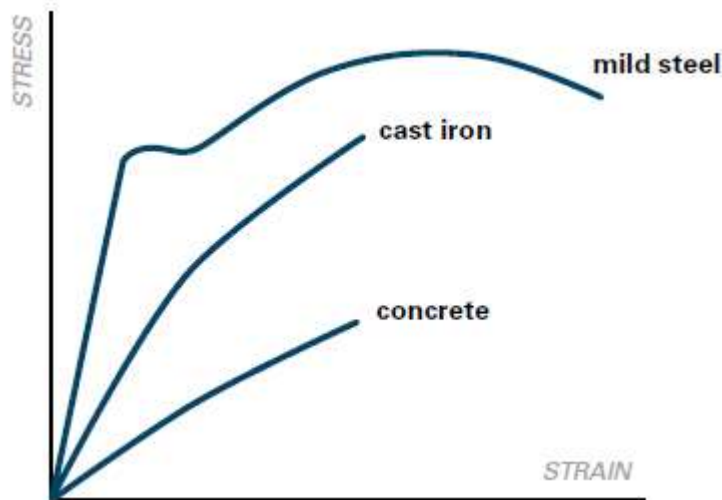


Slika 8. Grafički prikaz ovisnosti maksimalne sile posmika u razini temelja u ovisnosti o dubini tla [4]

Istraživanja su pokazala, da osim dubine tla, veliku ulogu igra i vrsta tla na kojoj se gradi. Primjer toga je građevina temeljena na glinenom tlu, čiji je osnovni period otprilike 1,5 s, sile potresa mogu biti do tri puta veće u odnosu na istu građevinu kada bi ona bila temeljena na stijeni. Danas postoje uređaji koji se mogu implementirati u građevinu prilikom izgradnje ili čak i u postojeće građevine, s ciljem smanjenja seizmičkih utjecaja na građevine, no o tome će biti rečeno nešto više kasnije [4].

2.2.2. Građevni materijali i potresi

Danas najčešći materijal koji se koristi prilikom gradnje zgrada koja se izložene seizmičkoj aktivnosti jest strukturni čelik. Čelik je mnogo bolji konstrukciji materijal od betona zbog veće duktilnosti. Još jedna od prednosti čelika pred betonom jest njegova težina. U prosjeku višekatne zgrade koje imaju čelični okvir su šezdeset do sedamdeset puta lakše i do deset puta snažnije od zgrada s betonskim okvirom. To je tako jer prema zakonu inercije proizlazi da što je zgrada lakša, to će manje utjecaja seizmički valovi imati na nju. Na prikazanom dijagramu naprezanja (slika 9), vidljivo je kako čelik ima veliko područje plastične deformacije do koje dolazi prije trenutka loma, dok beton nema [12].



Slika 9. Dijagram naprezanja za čelik, lijevano željezo i beton [13]

Jedan od načina popravljivanja svojstava betona jest postavljanje čeličnih elementa unutar betona, takvu konstrukciju nazivamo armirano betonskom konstrukcijom i na taj se način povećava duktilnost betona. Armirani beton je također jedan od često korištenih materija u protupotresnoj gradnji. Ne smijemo nikako zaboraviti ni tradicionalne materijale kao što je drvo, primjerice bambus. Drvo je veoma duktilan materijal, lagan jer, relativno lako dostupan i jeftiniji od iznad navedenih materijala. Zbog toga su drvo i bambus idealni za niske građevine [14].

Uz sve poznate materijale i njihova ponašanja, u današnje vrijeme znanstvenici konstantno rade na otkrivanjima novih materijala koji bi još bolje izdržali potrese. Primjer toga su i memorijske legure, koje su kombinacija tradicionalnih materijala i nekoliko vrsta polimera, najčešće izvedenih u obliku omotača. Takvi materijali pokazuju i do 38 % veću duktilnost [15]. Nadalje neki od novijih materijala su i boje ojačane vlaknima, koje su razvijene u Japanu te beton otporan na potrese razvijen u Kanadi. Boja ojačana vlaknima je zapravo boja koja u sebi sadržava staklene niti, veoma ju je lako nanijeti i na već postojeće strukture, a svrha joj je učvršćivanje i sprječavanje opadanja materijala prilikom potresa. Testovi su pokazali da primjenom te boje cigle ostaju na mjestu, čak i nakon što spojevi od morta između njih popuste. Beton otporan na potrese je zapravo cementni kompozit koji sadrži polimerna vlakna, leteće pepele i druge industrijske aditive [16]. Ispitivanja su pokazala da njegovim nanošenjem na već postojeće strukture iste bivaju višestruko ojačane, a sama proizvodnja je ujedno i ekološki prihvatljivija od proizvodnje klasičnog cementa [17].



Slika 10. Nanošenje betona otpornog na potrese na već postojeći zid [18]

2.2.3. Povoljni oblici građevina

Važan pojam za razumijevanje normi protupotresne gradnje je kriterij regularnosti građevinskih konstrukcija jer on utječe na vrijednosti ponašanja i vrijednosti seizmičkih sila. Konstrukcija građevine mora biti povoljna za seizmičko područje na kojem je izgrađena, no teško je postići da neki univerzalni oblik odgovara svim seizmičkim područjima. Ipak postoje neka načela kojih se moramo pridržavati prilikom gradnje na seizmički aktivnim područjima (tablica 2), a ako ih ne pridržavamo, potrebno je provesti opsežnu dinamičku analizu konstrukcije [4].

Tablica 2. Koncepti projektiranja na potresnom području [4]

1	Čim jednostavnija konstrukcija
2	Simetričnost
3	Ne previše izdužena u tlocrtu, ni u visinu
4	Jednoliko i kontinuirano raspodijeljena krutost po tlocrtu i u visinu
5	Konstrukcija proračunati da plastični zglobovi prije nastaju u horizontalnim, nego vertikalnim elementima
6	Konstrukcija određene krutosti u odnosu na tlo ispod temelja

Iskustvo je pokazalo da se najjednostavnije konstrukcije najmanje urušavaju tijekom potresa. Kada pričamo o jednostavnosti, poželjno je da je konstrukcija simetrična u tlocrtu u oba pravca, odnosno da je tlocrt što bliži kvadratnom, jer se tako umanjuju nepovoljni torzijski efekti na konstrukciju. Kada to nije slučaj i građevina je izdužena u tlocrtu, za vrijeme potresa dolazi do različitih, istovremenih pomaka na oba kraja građevine, što ima katastrofalne posljedice na konstrukciju. Prilikom odstupanja od kvadratnog tlocrta potrebno je izduženi tlocrt razlomiti na više dijelova približno kvadratnog tlocrta i predvidjeti seizmičke dilatacije između njih. Dilatacije moraju biti

dovoljno široke, kako se izlomljeni dijelovi tlocrta ne bi sudarali za vrijeme trešnje tijekom potresa [4].

Kada pričamo o odstupanju od jednostavnosti u visinu, odnosno o vitkim i visokim građevinama, potrebno je upamtiti da prilikom potresa dolazi do koncentracije naprezanja u vanjskim stupovima konstrukcije. Kako bi krutost bila kontinuirano i jednoliko raspodijeljena u tlocrtu i po visini građevine potrebno je pridržavati se koncepta projektiranja danog u tablici 3 [4].

Tablica 3. Načela projektiranja na seizmički aktivnom području [4]

1	Noseći elementi jednoliko raspoređeni u tlocrtu da se izbjegne efekt torzije
2	Vertikalna platna kontinuirano izvedena od temelja do krovišta
3	Stupovi i grede međusobno okomiti
4	Armiranobetonski stupovi i grede približno iste širine
5	Glavni elementi konstrukcije ne mijenjaju naglo svoj poprečni presjek
6	Konstrukcija što više statički neodređena i monolitna

Posebno opasnim pokazalo se ne pridržavanje drugog načela iz tablice 3. Odstupanje od načela se radi, kako bi se dobio što veći i nepregrađen prostor, najčešće u prizemlju zgrade, za komercijalne svrhe. Takvu izvedbu nazivamo „mekim katom“, a oni su osobito podložni oštećenjima tijekom potresa [4].

Nadalje, jedan od nepovoljnih oblika tlocrta je i vanjska izvedba stepeništa ili dizala, jer na tim mjestima dolazi do koncentriranja sila za vrijeme potresa. Kada se takvi elementi projektiraju van gabarita građevine, to se radi na zasebnim temeljima i s veoma oprezno izvedenom vezom s glavnom konstrukcijom [4].

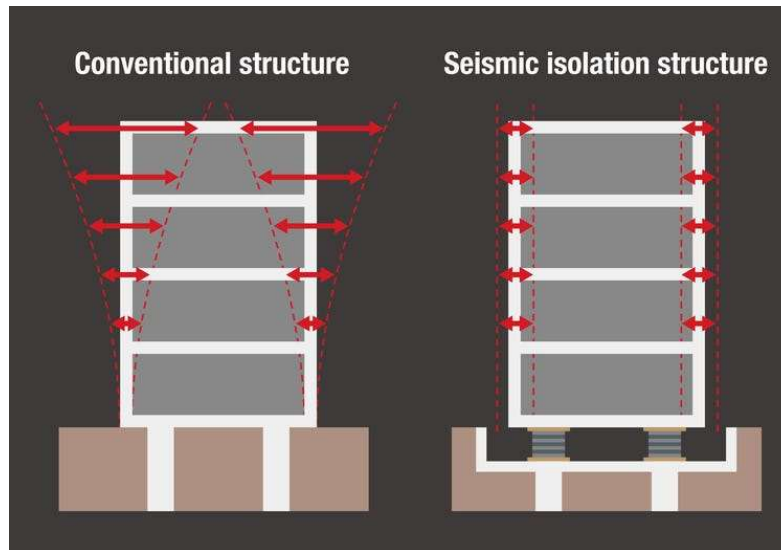


Slika 11. Primjer dobro izvedenog vanjskog stepeništa na vlastitim temeljima [19]

2.2.4. Tehnologije umanjavanja djelovanja potresa na temelje

Istraživanjima su postignuti napredci na području protupotresne gradnje. Otkrivene su tehnologije koje pomažu minimizirati efekte seizmičkih valova na građevine. Neke od tih tehnologija moguće je naknadno ugraditi i na već postojeće građevine [20].

Jedan od načina na koji se postiže zaštita od potresa jest da se zgrada projektira na fleksibilnom temelju, odnosno da zgrada ima baznu izolaciju [20]. Princip bazne izolacije temelji se na tome da je zgrada uzdignuta od temelja, odnosno da „lebdi“ iznad njega te se na taj način smanjuje prijenos energije s temelja na samu građevinu. Postoji šest tipova bazne izolacije, a to su : elastomerni ležajevi, ležajevi s visokim prigušivanjem, olovno-gumeni ležajevi, ravni klizni ležajevi, zakrivljeni klizni ili klatni ležajevi i kuglični i valjkasti ležajevi [21]. Velika prednost bazne izolacije je u tome što ju je moguće implementirati u protupotresnu zaštitu starih i povijesnih građevina [22].



Slika 12. Prikaz pomicanja zgrade bez i sa baznom izolacijom tijekom potresa [23]

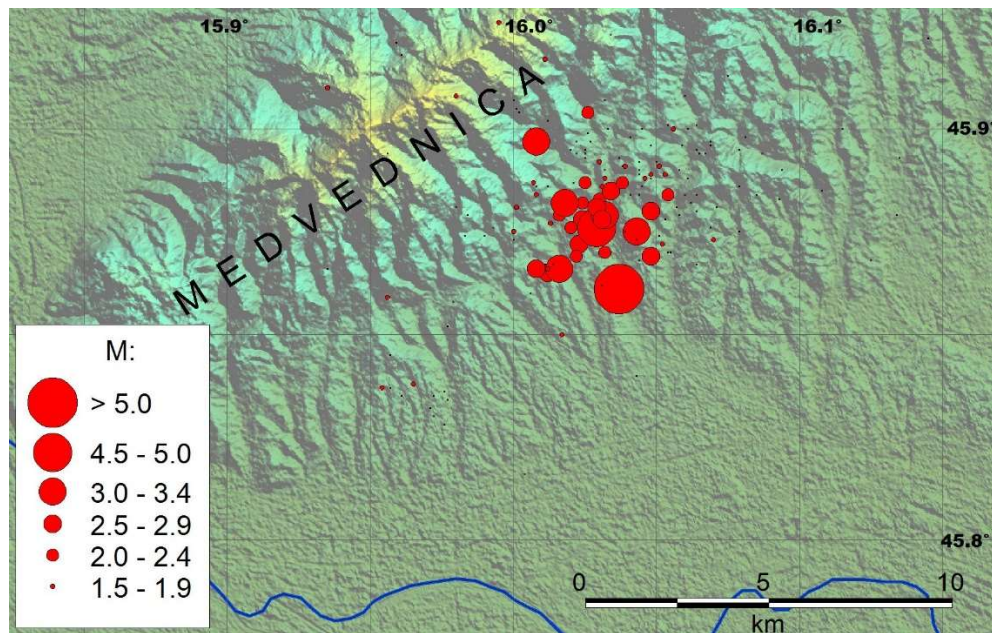
Drugi način kako umanjiti djelovanje potresa jest ugradnjom prigušivača. To se može napraviti ugradnjom dviju vrsta naprava. Prva su viskozni prigušivači koji su zapravo pomični klipovi ispunjeni silikonskim uljima. Oni prilikom potresa rasipaju energiju dovedenu seizmičkim valovima pretvarajući je u toplinu. Druga opcija je kompenzirati sile dovedene potresom ugradnjom njihala. To se pretežito radi u neboderima, na način da se pri vrhu zgrade u gradi njihalo velike mase koje se za vrijeme potresa pomiče u smjeru suprotnom od pomicanja zgrade i tako stabilizira zgradu [20].

Treći način je usmjeravanje seizmičkih valova oko temelja zgrade. To se postiže stavljanjem stotinjak koncentričnih betonskih ili polimernih prstenova ispod temelja zgrade, a seizmički valovi bivaju pomoću njih skrenuti oko temelja. Moglo bi se reći da zgrada na taj način dobiva „plašt nevidljivosti“ pred seizmičkim valovima [20].

3. PREGLEDNI DIO

3.1. Zagrebački potres

Zagreb je 22. ožujka 2020., u 6 sati i 24 minute po lokalnom vremenu, zadesio potres magnitude 5.5 prema Richteru. Potres je preliminarno ocijenjen intenzitetom VII. stupnja MCS ljestvice [2], koja je prikazana u tablici 1. Epicentar potresa bio je na području Medvednice, točnije na području Markuševca, s dubinom hipocentra na otprilike 10 km. Potres je nastao zbog pomaka na Markuševčkom rasjedu [24]. Nakon najjačeg potresa uslijedio je niz naknadnih podrhtavanja, točnije u narednih 5 dana preko 200 naknadnih potresa. Najjači od naknadnih potresa magnitude 5.0 prema Richteru uslijedio je istog dana u 7 sati i 1 minutu [2]. Kroz period od 2 mjeseca zagrebačko područje zatreslo je 1650 potresa, od čega njih 613 magnitude veće od 1.0 prema Richteru [24].



Slika 13. Karta epicentara potresa u zagrebačkom području od 22.03.2020. do 26.03.2020. [25]

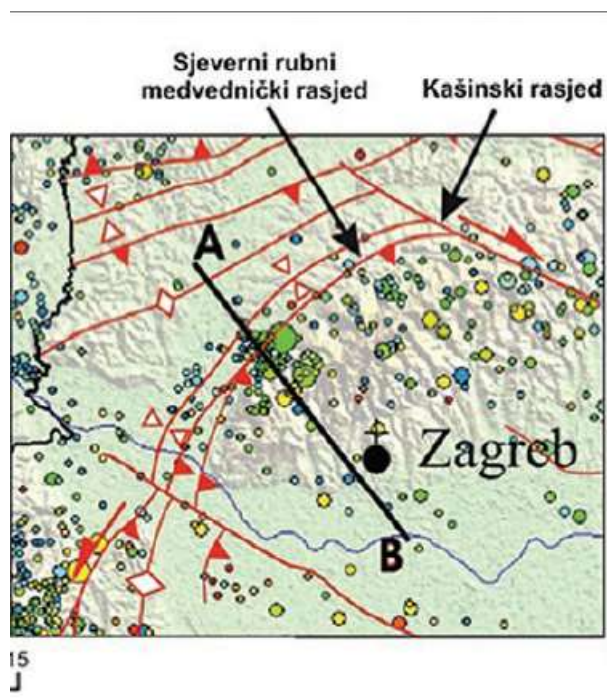
3.1.1. Seizmotektonika zagrebačkog područja i predmetni potres

Za Zagreb i za njegovu širu okolicu dugo je poznato da pripada seizmotektonski aktivnom području. Postoje brojni povijesni zapisi o potresima, no relevantnim se smatraju tek oni od 16. st. nadalje [26]. Zbog toga se u Republici Hrvatskoj od 1994. godine kontinuirano prati pomak Zemljine kore. Od 1997. do 2015. godine pomoću geodinamičkih istraživanja dobiven je i model gibanja pri površinskih slojevima Zemljine kore na širem zagrebačkom području, a osobita tektonska aktivnost zabilježena je na području Medvednice, u zonama zagrebačkog rasjeda i rasjeda Stubica-Kašina [24]. Tektonska aktivnost zagrebačkog područja vezana je uz pomake Jadranske mikroploče i posljedične kompresije koja nastaje u Južnim Alpama i sjeverno dijelu Dinarida. Regionalne deformacije su reversni pomaci i desni transkurentni pomaci strukturnih jedinica Alpa i Dinarida uz prisutnost transverzije prostora u zapadnom rubnom dijelu Panonskog bazena, što znači da uz kompresiju postoji i tektonski transport duž transkurentnih rasjeda. Taj tektonski transport najviše se očituje unutar rasjedne zone Žumberačko-medvedničkog rasjeda [26].



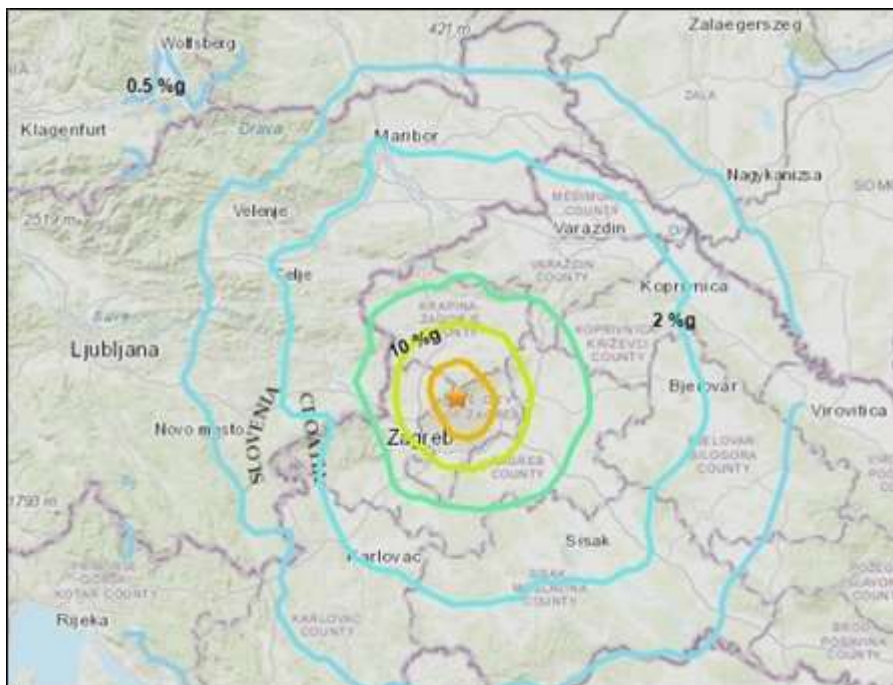
Slika 14. Prikaz Panonskog bazena, Južnih Alpi i Dinarida [27]

Unutar rasjedne zone Žumberačko-medvedničkog rasjeda [26], dva posebno seizmogeni rasjeda su Sjeverni rubni medvednički rasjed i Kašinski koji je okomit na prethodni [24]. Posebnu važnost ima rasjed Stubica-Kašina, jer dijeli Medvednicu na dva bloka te je duž njega posebno vidljiv desni pomak dijelova Medvednice [26].



Slika 15. Pružanje dvaju najvažnijih rasjeda na području Medvednice [24]

Analizom hipocentara potresa 22. ožujka 2020. zaključak je da su potresi posljedica jakog pomaka na glavnom navlačnom rasjedu koji se pruža iz sjeverozapadnog dijela Hrvatskog zagorja u dubinu prema središnjem dijelu Medvednice. Posljedično se aktivirao cijeli kompleksni sustav rasjeda u sjeveroistočnom dijelu grada, a isto tako i sekundarni rasjed koji se nalazi ispod glavnog grebena Medvednice. Prvi potres uzrokovao je uzdizanje epicentralnog područja površine oko 20 km² za 3 cm, a osjetio se na udaljenosti i do 1000 km od epicentra [24].



Slika 16. Karta podrhtavanja tla za vrijeme zagrebačkog potresa 22. ožujka 2020.

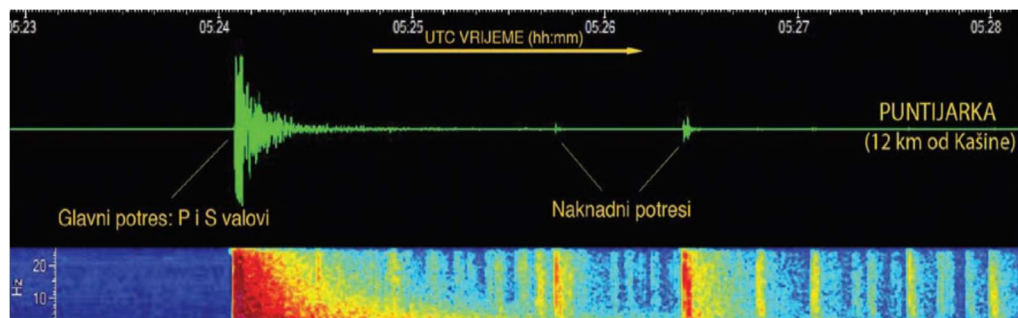
[2]

Broj naknadnih potresa, kao i njihova magnituda, kroz naredne dane eksponencijalno je padao, pa je zahvaljujući geofizičkim izračunima zaključeno da su prvi potresi oslobodili glavninu elastične energije [24]. S obzirom na gustoću seizmoloških postaja u okolini Zagreba, obavljene izračune mogu se smatrati priličnim uspjehom. Prije potresa u krugu 20 km od epicentra bile su samo dvije mjerne postaje, Zagreb i Puntijarka. Dodatne postaje s kojih su podaci uzimani su postaje Lobar i Kalnik, 3 postaje iz Slovenije koje su u krugu 50 km od epicentra. U narednim danima postavljene su i 3 privremene postaje u Kašinskoj Sopnici, Rugvici i Čretu [28].



Slika 17. Mreža seizmoloških postaja Seizmološke službe do potresa 22. ožujka 2020. [29]

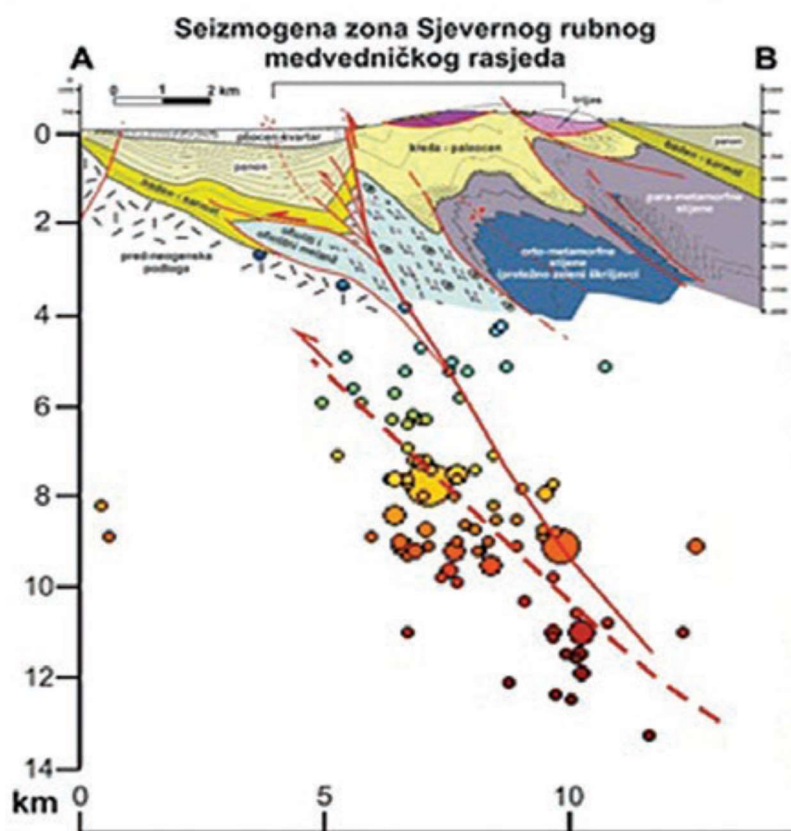
Kao što je već ranije spomenuto, vibracije se od hipocentra šire dvama tipovima valova, takozvanim P i S valovima. Na slici 18 prikazan je seizmogram za glavni potres 22. ožujka 2020. [24].



Slika 18. Seizmogram glavnog potresa 22. ožujka 2020. [24]

3.1.2. Mogućnost budućih potresa

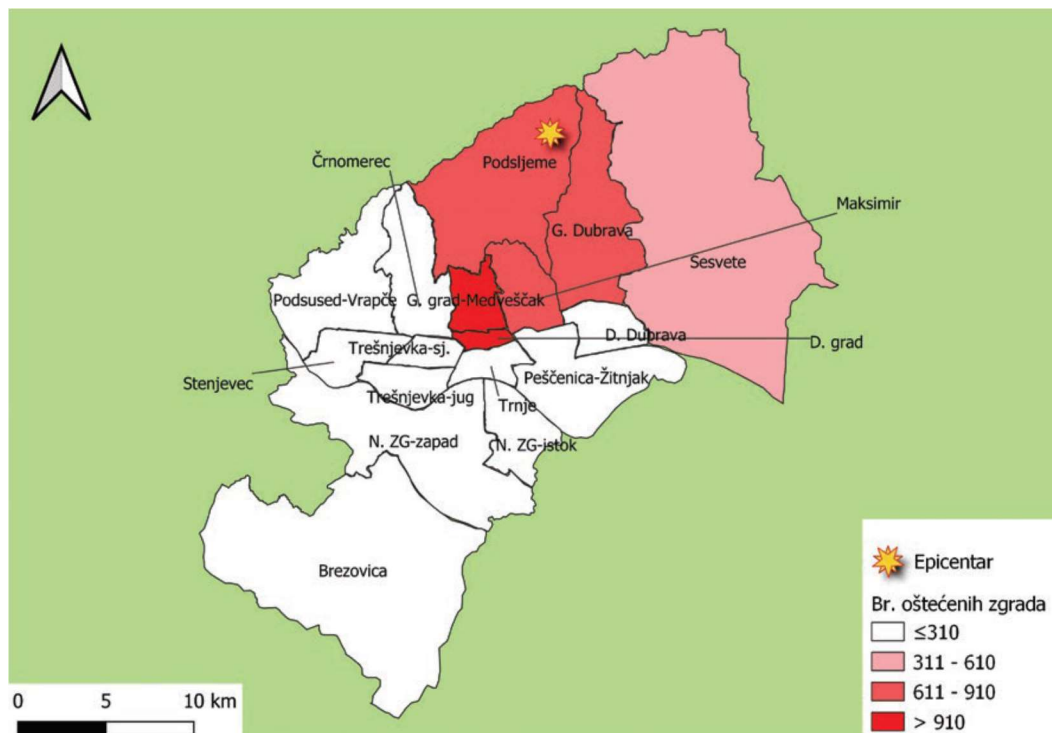
Poučeni povijesnim izvorima i činjenicom da je Zagreb smješten ispod Medvednice, odnosno na nizu sjeveroistočno-jugozapadno položenih rasjeda za očekivati je kako ovo nije bio posljednji jaki potres koji je pogodio zagrebačko područje [24]. Niz ovih reversnih rasjeda pripada seizmogenoj zoni Sjevernog rubnog medvedničkog rasjeda. Ova seizmogena zona pruža se oko 20 km u duljinu i doseže dubine do 12 km ispod površine. Uzevši to u obzir seizmogeni potencijal Sjevernog rubnog medvedničkog rasjeda, odnosno maksimalna magnituda potresa koji možemo očekivati procjenjuje se na oko 6.5. prema Richteru [2].



Slika 19. Seizmotektonski profil kroz Medvednicu i seizmogenu zonu Sjevernog rubnog medvedničkog rasjeda na kojem su projicirana žarišta potresa zabilježenih u periodu 1970. – 2016. godine [24]

3.2. Šteta na građevinama

Prijava štete na građevinama vršila se samostalno, a na temelju zaprimljenih prijava vršili su se pregledi građevina. Šest mjeseci nakon potresa na području Grada Zagreba, Zagrebačke županije i Krapinsko-zagorske županije izvršeno je 26 334 pregleda. Gradske četvrti iz kojih je zaprimljeno najviše prijava o nastaloj šteti su Maksimir, Gornja Dubrava, Gornji grad-Medveščak i Donji Grad. Kada se broj oštećenih zgrada gleda u odnosu na gustoću stanovnika najgore je prošla četvrt Donji grad, a iznadprosječno su oštećene Gornji grad-Medveščak, Podsljeme, Maksimir i Sesvete. Najmanje štete zabilježeno je u četvrtima Novi Zagreb-istok i Brezovica. Raspodjela šteta je i logična s obzirom da je epicentar bio oko naselja Čučerje i Markuševac u četvrti Podsljeme na sjeveru grada. Zbog blizine epicentra i činjenice da se u četvrtima Gornji grad-Medveščak i Donji grad nalaze najstarije građevine u gradu nije iznenađujuće što je tamo nastala najveća šteta [24].



Slika 20. Prikaz epicentra i raspodjele štete po gradskim četvrtima [24]

U potresu su loše prošle zagrebačke bolnice. Stradala je Klinika za ženske bolesti i porode u Petrovoj, KBC Sestre Milosrdnice, Klinika za traumatologiju u Draškovićevoj, KBC Rebro [24] i ostale.



Slika 21. Stanje bolnice u Petrovoj ulici nakon potresa [30]

Najveće štete pretrpjeli su sakralni objekti i zgrade javne namjene koje su karakteristične po tome da imaju prostore velikih dimenzija. Većina starijih zgrada zidane su od opeke s drvenim međukatnim konstrukcijama [31], gdje spadaju zgrade građene do 1945. godine do kad se nisu primjenjivali nikakvi standardi protupotresne granje [32].



Slika 22. Zgrada zidana od opeke s drvenom međukatnom konstrukcijom [33]

Veoma je teško procijeniti kolika je točna šteta nastala ovim potresom. Do sada je napravljeno više procjena koje međusobno odstupaju, a kao službena prihvaćena je ona s procjenom štete za zagrebačko područje od 5,6 milijardi eura, odnosno 42 milijarde kuna. Također jedna od važnih stvari za napomenuti je da kada bi se sve zgrade oštećene potresom išlo pojačavati na način da budu na razini današnjih propisa protupotresne gradnje iznos za obnovu iznosio bi 13,3 milijardi eura [24].

Osim na području Grada Zagreba i Zagrebačke županije dosta štete zabilježeno je i na području Krapinsko-zagorske županije. Dio Krapinsko-zagorske županije koji je bio najviše pogođen je kraj oko Stubice [34], što je opet logično ako se prisjetimo pružanja jednog od glavnih rasjeda Medvednici, a to je rasjed Stubica-Kašina koji Medvednicu dijeli na dva bloka [26]. Najveća šteta nastala je u naselju Slani Potok, gdje prema riječima župana nije bilo praktički ni jedne kuće koja nije pretrpjela neku vrstu oštećenja. Najčešća oštećenja bila su popadali crijepovi i dimnjaci, no bilo je i kuća s ogromnim pukotinama koje su im narušile statiku i učinile ih ne nastanjivim [34].



Slika 23. Primjer oštećenja u stubičkom kraju [35]

Isto kao i Zagrebu, obitelji iz Krapinsko-zagorske županije bile su primorane napustiti svoje domove, a konačna procjena štete za Krapinsko-zagorsku županiju popela se na iznos od 73,5 milijuna kuna [36].

3.2.1. Preliminarni pregledi zgrada

Odmah nakon što je potres zadesio Zagreb aktivirane su službe civilne zaštite i kontaktirani su stručnjaci s Građevinskog fakulteta kako bi se čim prije organizirao krizni stožer i napravile preliminarne procjene nastale štete na građevinama. Najprije su se izvršili pregledi bolnica u starom dijelu grada i mostova preko Save, većina kojih je sagrađena prije pedesetak godina, pošto su to građevine koje su potrebne za normalno funkcioniranje grada. Nadalje u prvim danima nakon potresa skupilo se 150 inženjera

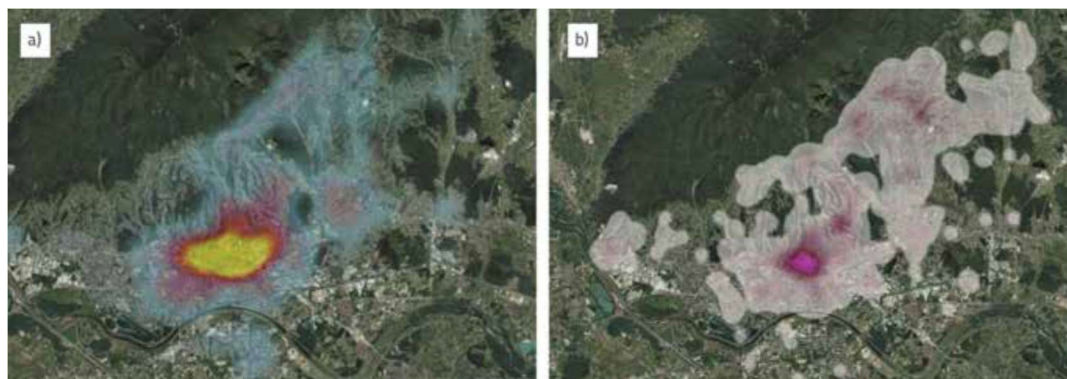
koji su na volonterskoj bazi vršili preliminarne inspekcije uporabljivosti građevina. Uveden je sustav naljepnica koje su postavljane na zgrade odmah nakon pregleda, s ciljem da se utvrdi koje su zgrade uporabljive, a koje predstavljaju rizik za građane i okolne zgrade. Cilj toga bio je omogućiti što brži povratak građana u njihove domove, ako isti ne predstavljaju nikakvu ugrozu [28].



Slika 24. Prikaz naljepnica o uporabljivosti zgrada [37]

Paralelno uz preglede organizirano je i čišćenje grada te otklanjanje opasnih dijelova građevina, a taj je zadatak potpao pod Javnu vatrogasnu postaju grada Zagreba. Vatrogascima su na volonterskoj bazi pomagali alpinisti i građevinski radnici osposobljeni za visinske radove [28].

Brzinski pregledi obavljani su mjesec dana nakon potresa, u prvih tjedan dana pregledano je 5 622 objekata, a sveukupno 14 487 do 25. travnja 2020. Od tih 14 487 građevina, njih 10 357 označeno je zelenom naljepnicom, 3 342 žutom naljepnicom, a 788 crvenom naljepnicom. Na temelju obavljenih pregleda izrađene su karte s koncentracijom prijava oštećenja od strane građana i s koncentracijom zgrada koje su označene kao neuporabljive [28].



Slika 25. a) šteta prijavljena od strane građana; b) neuporabljive građevine [28]

3.2.2. Najčešći oblici štete na građevinama

Tradicionalne zidane zgrade građene su najčešće tako da su nosivi zidovi međusobno povezani i da zgrade imaju drvene podne i krovne konstrukcije. Za vrijeme potresa pretrpjele su velike štete zbog neravnomjerne raspodjele krutosti, loše izvedenih spojeva s krovnom i podnom konstrukcijom i činjenice da su dosta fleksibilne, što omogućuje pomicanje zidova iz ravnine. Također, zbog starosti zgrada, lošeg održavanja fasada ili izostanka fasada, došlo je do propadanja vezivnog materijala, što je uzrokovalo nehomogenost duž zidova [28].

Jedna od najčešćih šteta je bilo urušavanje dimnjaka, a posljedično i šteta na krovu ili tavanu zgrade. Dimnjaci starih zgrada najčešće su zidani od cigle i morta kao samostojeće strukture s poda tavana. Nerijetko je i visina tih dimnjaka bila oko ili čak i prelazila 5 metara. Tako zidani dimnjaci nisu otporni na djelovanje horizontalnih sila, odnosno ljučenje uzrokovano potresom [28].



Slika 26. Primjer štete nastale urušavanjem dimnjaka [38]

Nadalje smo mogli primijetiti da je često dolazilo do rušenja ili odvajanja zabatnih zidova na tavanu. Do toga je došlo zbog činjenice da su zabatni zidovi na tavanu najčešće debljine oko 15 cm i zidani su kao samostalne konstrukcije, bez ikakvih potpornja ili adekvatnog vezivanja za strukturu krova. U rjeđim slučajevima desilo se da se zabatni zidovi odvoje ili sruše i duž cijele visine ili nekoliko katova. To pak se desilo kod zgrada gdje zabatni zidovi nisu bili dobro povezani s drugim zidovima i međukatnim konstrukcijama [28].



Slika 27. Urušavanje zabatnog zida [28]

O oštećenjima krovova bilo je već govora kao o posljedici urušavanja dimnjaka, međutim to nije bio slučaj sa svim krovovima. Treba uzeti u obzir kako su ti krovovi poprilično stari, sama konstrukcija i crijep u ne malom broju slučajeva je veoma dotrajao te same konstrukcije nisu pravilno učvršćivane. To je uzrokovalo da na nekim zgradama dođe do opasnih pomaka konstrukcije krova, gdje jedina opcija sanacije postaje skidanje cijele konstrukcije i izgradnja nove [28].

Veliku štetu pretrpjeli su i dekorativni elementi na fasadama, kipovi na pročeljima i kupole na krovovima. Takvi elementi predstavljaju veliku opasnost tijekom potresa, jer uslijed loma i pada s velike visine predstavljaju opasnost za ljude, vozila i ostale niže objekte [28].



Slika 28. Kupola koja je uklonjena nakon potresa [39]

Na nosivim zidovima razlikujemo oštećenja iz nekoliko različitih razloga. Jedan od razloga je činjenica da neki zidovi sami po sebi nisu imali dovoljnu nosivost. Na takvim zidovima uočavamo dijagonalne pukotine koje su posljedica premašivanja posmične čvrstoće zida. Te su pukotine često popraćene i pukotinama na spojevima koje su se desile zbog lošeg morta koji je s vremenom izgubio svoja mehanička svojstva [28].



Slika 29. Pukotine na nosivim zidovima [28]

Često uočena šteta su i pukotine na nadvratnicima i svodovima. Ovdje razlikujemo dvije vrste pukotina. Prve su dijagonalne koje nastaju zbog premašivanja posmične čvrstoće, a druge su gotovo okomite koje nastaju zbog premašivanja vlačne čvrstoće zida.

Te pukotine ne predstavljaju nužno veliku opasnost, iako u nekim slučajevima zidanih zgrada je znalo doći do potpunog rušenja zida [28].



Slika 30. Pukotine na nadvratnicima i svodovima [28]

Idući česti oblik štete koji treba spomenuti su oštećenja na pregradbenim zidovima. Pošto su vremenom često rađene korekcije u prostorima, tako je dolazilo i do promjena pregradbenih zidova te zbog toga njihov raspored više nije bio pravilan. Zidovi su u nekim zgradama bili tek 7 cm debeli, a debljina je išla do 15 cm. Pregradbeni zidovi zbog malog otpora, velike početne krutosti i da su učvršćeni drvenim gredama, nisu mogli pratiti pomake ostatka konstrukcije te je zbog toga došlo do pucanja [28].

Oštećenja su zamjetljiva i na stropovima, najčešće u vidu tankih pukotina koje prate grede i spoja zidova i stropa. U slučajevima kada nije došlo do odvajanja i nagnjanja zidova, pokazalo se da je najčešće došlo samo do oštećenja gipsa [28].



Slika 31. Oštećenja stropa u palači Pongratz [40]

Kao posljednje od najčešćih nastalih oštećenja valja spomenuti oštećenja koja su nastala na stubištima. Kod njih je najčešće došlo do odvajanja stubišta od zidova ili pukotina. Stubišta su najčešće projektirana na način da su usidrena čeličnim nosačima koji se nalaze na odmorištima, a oko se nalaze kruti i debeli zidani zidovi [28].

3.2.3. Obnova

Za područja pogođena potresom donesen je od strane Hrvatskog sabora „Zakon o obnovi zgrada oštećenih potresom u Zagrebu, Krapinsko-zagorskoj i Zagrebačkoj županiji“. Zakon specificira obnovu zgrada javne namjene, obiteljskih kuća, stambeno poslovnih zgrada, višestambenih i poslovnih zgrada, ali ne i pojedinačnih stanova. Zakonom su također definirane i mogućnosti sufinanciranja obnove oštećenih građevina[24].

Svakako prilikom obnove područja stradalih ovim potresom treba voditi računa o mogućnosti budućih i jačih potresa, kao što je već i ranije spomenuto. Prilikom obnove postoji mogućnost primjene novih tehnologija protupotresne gradnje, o čemu je detaljnije pisano u poglavlju 2.2. Prilikom obnove starih građevina, pogotovo onih koje spadaju u kulturno dobro, trebalo bi se prijeći ugradnji bazne izolacije ili neke druge metode osiguranja od potresa [24].

Procjene o trajanju obnove se uvelike razlikuju, no realno očekivanje je da će obnova Zagreba i okolnih područja trajati desetljećima [41].

4. ZAKLJUČAK

U potresu koji je pogodio Zagreb 22. ožujka 2020. godine tijekom vrhunca pandemije COVID-19 nastale su velike materijalne štete na području grada Zagreba, Zagrebačke i Krapinsko-zagorske županije. Najveća šteta koju je društvo, već uzdrmano pandemijom i mjerama koja su bile na snazi te samim potresom podnijelo je bio gubitak mladog života. Sreća u nesreći koja je snašla zagrebačko područje jest upravo uvođenje mjera vezanih za pandemiju COVID-19, zbog čega su gradske ulice tog jutra bile velikom većinom prazne, inače bismo mogli očekivati i veći broj ljudskih žrtava, pogotovo kad se uzme u obzir da se potres desio u nedjelju ujutro i opseg u kojem su stradali sakralni objekti.

Obnova oštećenog područja trajat će desetak ili više desetaka godina. Ono na što svakako moramo obratiti pažnju je ne samo da vratimo zgrade u postojeće stanje, nego da računamo i s mogućnošću jačeg potresa te da na starijim zgradama primijenimo nove tehnologije protupotresne gradnje, kako bismo spriječili katastrofe ovakvih razmjera u budućnosti. Potrese ne možemo predvidjeti, no možemo biti spremniji u slučajevima kada se oni se dese.

5. LITERATURA

- [1] <https://www.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=873cdbc59f1246f7b4b1abd7275f9712> (pristup 23. srpnja 2021.)
- [2] <https://www.rgn.unizg.hr/hr/izdvojeno/2587-osvrt-na-potres-u-zagrebu-2020-godine-autor-teksta-je-prof-dr-sc-bruno-tomljenovic> (pristup 29. srpnja 2021.)
- [3] Plummer, C.C., Earthquakes, u: Plummer, C.C., Carlson, D.H., Hammersley, L., Physical Geology, 15th edition, New York, McGraw Hill Education, 16 (2016.) 382-411
- [4] Čaušević, M., u Čaušević, M., Dinamika konstrukcija: potresno inženjerstvo, aerodinamika, euronorme, Zagreb, Tehnička knjiga, 2016
- [5] https://www.researchgate.net/figure/Kinematics-of-the-Africa-Iberia-and-Adria-plates-with-respect-to-Eurasia-1-39-51_fig4_311973138 (pristup 3. kolovoza 2021.)
- [6] <https://www.kean.edu/~csmart/Observing/06.%20Earthquakes.pdf> (pristup 10. kolovoza 2021.)
- [7] http://rgn.hr/~bruntom/nids_bruntom/PDF%20Strukturna%20geologija/06-%20Rasjedi.pdf (pristup 10. kolovoza 2021.)
- [8] https://www.jishin.go.jp/main/pamphlet/brochures2014en/understanding_earthquakes.pdf (pristup 10. kolovoza 2021.)
- [9] <https://www.kids-fun-science.com/earthquake-waves.html> (pristup 10. kolovoza 2021.)
- [10] https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska_sluzba/o_potresima?@=1lrg8 (pristup 10. kolovoza 2021.)
- [11] <https://www.zagrebmax.hr/potres-u-zagrebu-i-utjecaj-potresa-na-gradjevinske-objekte> (pristup 11. kolovoza 2021.)
- [12] <https://newsroom.posco.com/en/steel-steady-building-earthquake-resistant-buildings/> (pristup 11. kolovoza 2021.)
- [13] <https://precast.org/2013/09/steel-concrete-yin-yang/> (pristup 11. kolovoza 2021.)
- [14] <https://blog.iseekplant.com.au/blog/5-features-earthquake-proof-building> (pristup 12. kolovoza 2021.)
- [15] <https://www.bigrentz.com/blog/earthquake-proof-buildings> (pristup 12. kolovoza 2021.)

- [16] https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Earthquake_resistant_building_materials (pristup 12. kolovoza 2021.)
- [17] <https://www.ipwea.org/blogs/intouch/2017/10/16/researchers-develop-earthquake-resistant-concrete> (pristup 12.kolovoza 2021.)
- [18] <https://newatlas.com/edcc-earthquake-resistant-concrete/51754/> (pristup 12.kolovoza 2021.)
- [19] <https://www.24sata.hr/news/zagrebacki-sc-u-domu-ostaju-svi-cije-kuce-jos-nisu-sigurne-689560/galerija-629327> (pristup 12.kolovoza 2021.)
- [20] <https://www.bigrentz.com/blog/earthquake-proof-buildings> (pristup 12.kolovoza 2021.)
- [21] <https://civildigital.com/base-isolation-system-outline-on-principles-types-advantages-applications/> (pristup 12.kolovoza 2021.)
- [22] <https://www.urban-hub.com/cities/built-in-earthquake-safety-cities-and-designs-on-the-frontlines/> (pristup 12.kolovoza 2021.)
- [23] <https://www.businessinsider.com/base-isolation-buildings-safe-earthquake-2019-6> (pristup 12.kolovoza 2021)
- [24] Bonesvka, T., Grlić, M., Horvat, M., Miholić, L., Martinić, I., Zagrebački potres 22. ožujka 2020., Geografski horizont, 2 (2020) 21-32
- [25] http://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska_sluzba/o_zagrebackom_potresu_2020?@=1lq1i#news_97581 (pristup 22. kolovoza 2021.)
- [26] Kuk, V., Prelogović, E., Sović, I., Kuk, K., Šariri, K., Seizmološke i seizmotektonske značajke šireg zagrebačkog područja, Građevinar 52, 11 (2000) 647-653
- [27] https://3.bp.blogspot.com/-oL2hhc0816k/WISvGC_Wm1I/AAAAAAAAHZ0/6KpLQvMY1GkC7a5oiiFveraHX79hEF1wCLcBGAs/s1600/0.jpg (pristup 23. kolovoza 2021.)
- [28] Šavor Novak, M., Uroš, M., Atalić, J., Herak, M., Demšić, M., Baniček, M., Lazarević, D., Bijelić, N., Crnogorac, M., Todorić, M., Zagreb earthquake of 22 March 2020 – preliminary report on seismologic aspects and damage to buildings, Građevinar 72, 10 (2020) 843-867
- [29] https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska_sluzba/seizmoloske_postaje (pristup 23. kolovoza 2021.)

- [30] <https://www.rtl.hr/vijesti-hr/foto/2745431/bebe-su-se-vratile-u-petrovu-bolnicu-pogledajte-kako-je-izgledala-nakon-potresa/?slika=4424091> (pristup 24. kolovoza 2021.)
- [31] <https://min-kulture.gov.hr/vijesti-8/obavijesti-vezane-uz-potrese/19354> (pristup 24. kolovoza 2021.)
- [32] https://www.zagreb.hr/UserDocsImages/hitne_situacije/Potresni%20rizik%20Grada%20Zagreba%20s%20osvrtom%20na%20gra%C4%91evine%20kriti%C4%8Dne%20infrastrukture%20.pdf (pristup 24. kolovoza 2021.)
- [33] <https://www.vecernji.hr/vijesti/kalinic-izadite-van-ocekuje-se-drugi-udar-1387752/galerija-411150?page=14> (pristup 24. kolovoza 2021.)
- [34] <http://www.kzz.hr/najvece-stete-od-potresa-u-stubickom-kraju> (pristup 24. kolovoza 2021.)
- [35] http://www.kzz.hr/sadrzaj/novosti/najvece-stete-od-potresa-u-stubickom-kraju/D76BCC24-F90B-433A-A982-74E18BD64FD0.jpeg_photogallery_normal.jpg (pristup 24. kolovoza 2021.)
- [36] <http://www.kzz.hr/obljetnica-potresa-zagreb-okolica> (pristup 24. kolovoza 2021.)
- [37] <https://www.hcpi.hr/upute-za-gradane> (pristup 24. kolovoza 2021.)
- [38] https://doz.hr/wp-content/uploads/2020/03/ZG_nakon_potresa_1-6.png (pristup 25. kolovoza 2021.)
- [39] https://static.jutarnji.hr/images/slike/2020/04/27/o_Untitled-1_1280.jpg (pristup 25. kolovoza 2021.)
- [40] https://www.hr-nekretnine.hr/wp-content/uploads/2020/04/Potres_Visoka_strop.jpg (pristup 25. kolovoza 2021.)
- [41] <https://www.24sata.hr/news/minimalni-troskovi-obnove-zagreba-cak-42-milijarde-kuna-702667> (pristup 25. kolovoza 2021.)

6. ŽIVOTOPIS

Deni Hršak [REDACTED] Od 2003. do 2011. godine pohađao je osnovnu školu „Ljudevit Gaj“ Krapina, a zatim je upisao prirodoslovno-matematičku gimnaziju u Srednjoj školi Krapina. Srednju školu završio je 2015. godine nakon čega je upisao Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, smjer Kemijsko inženjerstvo, a od 2017. smjer Kemija i inženjerstvo materijala. Tijekom studija odradio je stručnu praksu u Vetropack Straža d.d. .