

Prostorna i vremenska analiza Petrinjske potresne serije u razdoblju 28.12.2020. - 14.02.2021.

Katić, Josip

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:940367>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-06**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Preddiplomski studij Geološkog inženjerstva

**PROSTORNA I VREMENSKA ANALIZA PETRINJSKE POTRESNE
SERIJE U RAZDOBLJU 28.12.2020.—14.02.2021.**

Završni rad

Josip Katić

G 2195

Zagreb, 2021.

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

PROSTORNA I VREMENSKA ANALIZA PETRINJSKE POTRESNE SERIJE U
RAZDOBLJU 28.12.2020.—14.02.2021.

JOSIP KATIĆ

Završni rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo

Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Ovim radom obuhvaćena je prostorna i vremenska analiza Petrinjske potresne serije koja je započela 28. prosinca 2020. godine potresom lokalne magnitude $M_L = 5$ po Richteru u 6 sati i 28 minuta po lokalnom vremenu, s epicentrom kod mjesta Strašnik u blizini Petrinje. U istom epicentralnom području, sljedeći dan 29. prosinca 2020. godine u 12 sati i 19 minuta po lokalnom vremenu, dogodio se najsnažniji potres magnitude $M_L = 6,2$ prema Richteru koji je prema preliminarnim podacima Seizmološke službe pri Geofizičkom odsjeku PMF-a ocijenjen intenzitetom u epicentru VIII—IX° EMS. U uvodnom dijelu rada opisani su glavni uzročnici tektonskih naprezanja koji dovode do potresa u Hrvatskoj. Potom su navedeni povijesni potresi koji su se dogodili na teritoriju Republike Hrvatske s osvrtom i na potrese u Petrinjskom potresnom području. Također, načinjena je i analiza prostorne i vremenske pojavnosti potresa koji su se dogodili prije i poslije glavnog udara zajedno sa žarišnim mehanizmima. Na samom kraju rada opisana je šteta prouzročena Petrinjskom potresnom serijom.

Ključne riječi: potres, epicentar, Petrinjska potresna serija, žarišni mehanizam

Završni rad sadrži: 31 stranicu, 3 tablice, 19 slika, 18 referenci, 7 web izvora

Jezik izvornika: Hrvatski

Završni rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Mentor: prof. dr. sc. Bruno Tomljenović

Ocjenjivači: prof. dr. sc. Bruno Tomljenović

doc. dr. sc. Iva Dasović

izv. prof. dr. sc. Marko Cvetković

Datum obrane: 16. rujna 2021.

SADRŽAJ:

1. UVOD.....	1
2. RAZLOZI POSTANKA, PROSTORNI RASPORED I OPASNOST OD POTRESA U HRVATSKOJ.....	2
3. PETRINJSKO POTRESNO PODRUČJE.....	8
4. PETRINJSKA POTRESNA SERIJA.....	
4.1 PRETHODNI POTRESI.....	10
4.2 GLAVNI POTRES I NAKNADNI POTRESI OD 29. PROSINCA 2020.....	11
4.3 USPOREDBA EPICENTARA POTRESA S GEOLOŠKIM PODACIMA NA OGK LISTA SISAK I OGK LISTA BOSANSKI NOVI.....	14
5. ŽARIŠNI MEHANIZMI GLAVNOG POTRESA PETRINJSKE SERIJE.....	15
6. UČINCI POTRESA.....	19
6.1 POMICANJE TLA.....	20
6.2 LIKVEFAKCIJA.....	22
6.3 URUŠNE VRTAČE.....	22
6.4 POVRŠINSKE PUKOTINE.....	24
7. MATERIJALNA ŠTETA.....	24
8. ZAKLJUČAK.....	27
9. POPIS LITERATURE.....	28

1. UVOD

U ovom završnom radu opisana je prostorna i vremenska analiza potresa Petrinjske potresne serije koji su se dogodili u razdoblju od 28. prosinca 2020. do 14. veljače 2021. godine. Podaci o ovoj potresnoj seriji za navedeno vremensko razdoblje preuzeti su iz arhiva Seizmološke službe pri Geofizičkom odsjeku PMF-a Sveučilišta u Zagrebu, tijekom kojeg je zabilježeno 2180 potresa, od kojih posebno treba istaknuti one koji su se dogodili 28. i 29. prosinca 2020. godine.

Petrinjska potresna serija započela je 28. prosinca u 6 sati i 28 minuta po lokalnom vremenu, kada se dogodio prvi jači potres lokalne magnitude $M_L = 5$ prema Richteru, a ubrzo nakon njega uslijedila su dva slabija potresa magnitude $M_L = 4,6$ i $3,9$, svi u istom epicentralnom području jugozapadno od Petrinje. Narednog dana pokazalo se da su ovi potresi bili prethodni potresi jačem potresu, jer se sljedeći dan, 29. prosinca 2020. u 12 sati i 19 minuta po lokalnom vremenu, dogodio glavni potres lokalne magnitude $M_L = 6,2$ prema Richteru, s epicentrom kod mjesta Strašnik udaljenom oko pet kilometara jugozapadno od Petrinje.

Glavni potres je prema preliminarnim podacima Seizmološke službe ocijenjen intenzitetom u epicentru VIII—IX°EMS i opisuje se kao teško oštećujući do razorni (Dasović i sur., 2020a). Potres se osjetio u cijeloj Hrvatskoj, dijelovima Slovenije, Bosne i Hercegovine, Srbije, Italije, Mađarske, Slovačke i Austrije (EMSC, 2021), a prouzročio je ljudska stradanja i velike materijalne štete na području gradova Glina, Petrinja i Sisak te i u okolnim selima.

Osim podataka o Petrinjskoj potresnoj seriji za razdoblje od 28. prosinca 2020. do 14. veljače 2021. godine čije je korištenje omogućila Seizmološka služba pri Geofizičkom odsjeku PMF-a Sveučilišta u Zagrebu, u izradi ovog rada korišteni su i geološki podaci s Osnovnih geoloških karata SFRJ 1:100.000 lista Sisak (Pikija, 1987a), lista Bosanski Novi (Šikić, 1990a) te podaci iz tumača tih listova (Pikija, 1987b) i (Šikić, 1990b). Za prostornu i vremensku analizu seizmoloških i geoloških podataka korišteni su računalni programi ArcMap 10.3.1 i Adobe Illustrator.

2. RAZLOZI POSTANKA, PROSTORNI RASPORED I OPASNOST OD POTRESA U HRVATSKOJ

Republika Hrvatska, zajedno sa susjednim zemljama, nalazi se u aktivnom potresnom području u istočnom dijelu Sredozemlja, koje je zbog konvergentnih kretanja Afričke tektonske ploče i Jadranske mikroploče prema Euroazijskoj ploči seizmotektonski umjereno aktivno s rijetkom pojavom jakih potresa (Dasović i sur., 2020a, b).

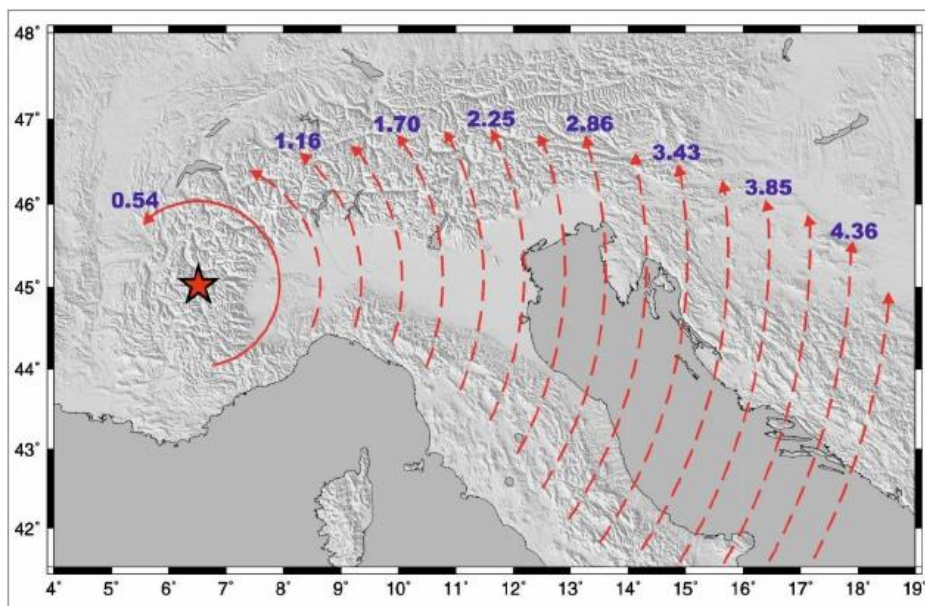
Prema podacima GPS mjerenja u području istočnog Sredozemlja, brzina konvergencije Afričke prema Euroazijskoj ploči procijenjena je u rasponu od 10 do 7 mm/god. (slika 2.1.). Duž Kalabrijskog i Helenskog luka, koji čine aktivne subdukcijske zone na kontaktu ovih dviju ploča, konzumira se jedan dio njihova konvergentnog kretanja, a preostali dio se prenosi u Jadransku mikroploču čiji se stabilan dio nalazi unutar Jadranskog i Jonskog mora. Na taj način ostvaruje se i konvergentno kretanje Jadranske mikroploče prema Euroazijskoj ploči s procijenjenom brzinom od 2 do 5 mm/god. (slika 2.1.), odnosno 0,5 – 4,5 mm/god. (slika 2.2.). Konvergentno kretanje Jadranske mikroploče prema Euroazijskoj ploči izaziva tektonsko naprezanje u rubnim dijelovima ovih ploča koje se prenosi i u okolne planinske lance Dinarida, Apenina i Alpa te i u dijelove Panonskog bazena s procijenjenim brzinama konvergencije Jadranske u odnosu na stabilnu Euroazijsku ploču kako je prikazano na slici 2.2.



Slika 2.1. Geodinamska skica koja prikazuje glavne tektonske granice u istočnom dijelu Sredozemlja s prikazanim brzinama i smjerovima konvergentnog kretanja Afričke ploče i Jadranske mikroploče u odnosu na stabilnu Euroazijsku ploču (iz Dasović i sur., 2020b; tektonske granice preuzete iz Handy i sur., 2019 i Reilinger i sur., 2006; GPS vektori pomaka preuzeti iz McClusky i sur., 2000 te Weber i sur., 2010; pojas Savske suturne zone označen zelenom bojom preuzet iz Schmid i sur., 2020).

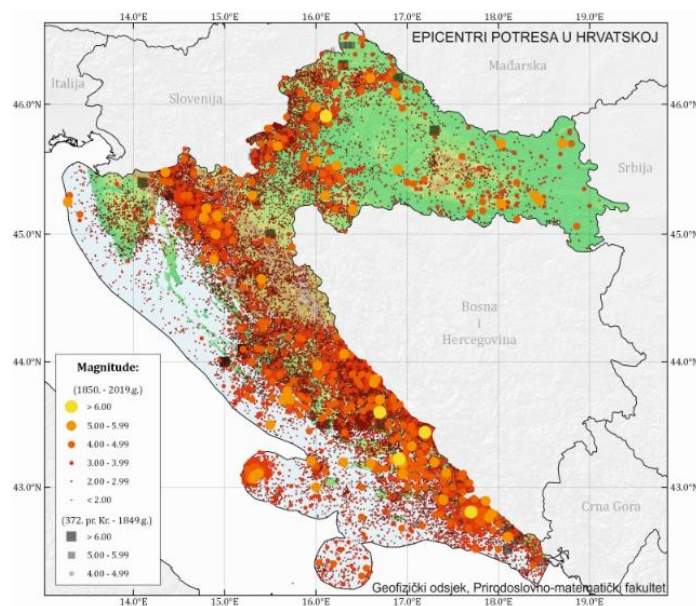
Prema seizmološkim podacima (npr. Anderson & Jackson, 1987) i podacima GPS mjerenja (npr. Weber i sur., 2010), konvergentno kretanje Jadranske mikroploče prema stabilnoj Euroazijskoj ploči iskazuje se translacijom Jadranske mikroploče prema sjeveru i njenom istovremenom rotacijom u smjeru obrnutom od kretanja kazaljki na satu oko osi čiji se pol nalazi u zapadnim Alpama (slika 2.2.).

Postupno akumuliranje naprezanja u stijenama u krutom dijelu kore i na postojećim rasjedima dovodi do povećanja tektonske napetosti koje se povećava do određene kritične vrijednosti posmične čvrstoće u stijenama i na rasjedima. Premašivanjem te kritične vrijednosti dolazi do sloma u stijenama i na rasjedima uz trenutno otpuštanje akumulirane energije u obliku potresnih valova koji na površini izazivaju trešnju, odnosno pojavu potresa.



Slika 2.2. Raspored i brzina konvergentnih kretanja (u mm/god.) u stabilnom dijelu Jadranske mikroploče i u okolnim planinskim lancima proračunati na temelju GPS mjerenja (iz Weber i sur., 2010).

Svi potresi koji su se dogodili kroz povijest na području Republike Hrvatske, koji su dijelom zapisani u povijesnim zapisima ili su instrumentalno zabilježeni, bilježe Seizmološka služba i Geofizički zavod pri Geofizičkom odsjeku PMF-a Sveučilišta u Zagrebu, a ti podaci pohranjuju se u Hrvatskom katalogu potresa (HKP). U katalogu se nalaze osnovni podaci o potresima: koordinate epicentra, vrijeme nastanka, magnituda i intenzitet potresa. Do kraja 2019. godine, u katalogu je registrirano više od 135 000 potresa (Dasović i sur., 2020b), uz njegovo redovno dopunjavanje svake godine.



Slika 2.3. Karta epicentara potresa na području Hrvatske od prije Krista do 2019. godine prema Katalogu potresa Hrvatske i susjednih područja (Arhiva Geofizičkog odsjeka, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu; Herak i sur., 1996; Markušić i sur., 1998; Ivančić i sur., 2002, 2006).

Prostorna razdioba potresa u Hrvatskoj nije jednaka po njenom cijelom teritoriju, kao što se može jasno vidjeti iz karte epicentara potresa zabilježenih u HKP (slika 2.3.). Povijesno gledano na teritoriju Republike Hrvatske dogodilo se nekoliko značajnih potresa koji su izazvali veliku štetu (tablica 2.1.). Jedan od najpoznatijih i najjačih potresa dogodio se u Dubrovniku 6. travnja 1667. godine čija je magnituda procijenjena na 7,1. Od teških oštećenja bile su pošteđene samo obrambene zidine i tvrđave Dubrovačke Republike, a veliki požar koji je uslijedio nakon potresa dodatno je povećao broj žrtava (procjene se kreću od 2000 do 2200 žrtava(https://www.pmf.unizg.hr/download/repository/Veliki_dubrovacki_potres_1667.pdf)).

Veliki Zagrebački potres dogodio se 9. studenoga 1880. godine s najvećim intenzitetom procijenjenim na VIII° MCS i magnitudom 6,2 koja je procijenjena iz intenziteta u epicentru. Poginulo je dvoje ljudi, a oštećene su brojne kuće i sakralne građevine u Zagrebu i okolnim mjestima.

Imotska krajina tresla se usred Drugog svjetskog rata 1942. godine, magnituda potresa bila je 6,2 po Richteru, a dvadeset godina kasnije, u siječnju 1962., potres magnitude 6,1 prodrmao je Makarsko primorje pri čemu je napukla Makarska riva u duljini 700-tinjak

metara(https://www.pilar.hr/wp-content/images/stories/dokumenti/zbornici/40/mpd_knjiga_277.pdf). Oštećeno je oko 11 tisuća stambenih objekata, uz jednu ljudsku žrtvu.

U jutarnjim satima 22. ožujka 2020. Zagreb i šire zagrebačko područje pogodio je snažan potres magnitude 5,5 s epicentrom na području Markuševca i Čučerja. Dubina žarišta procijenjena je na 10 km, a intenzitet u epicentru ocjenjen je s VII° EMS. Potres je uzrokovao veliku materijalnu štetu, a stradala je jedna osoba.

Tablica 2.1. Najjači potresi u Hrvatskoj (od 17.st. do 2019.g.) (https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska_sluzba/seizmicnost_hrvatske).

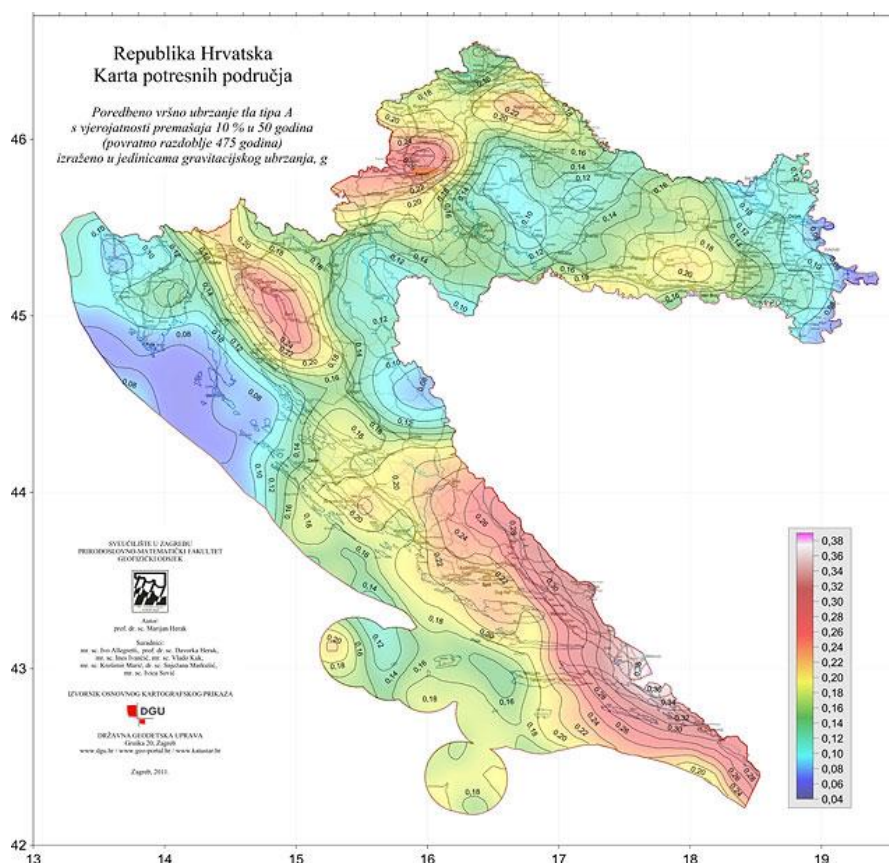
DATUM	MJESTO	MAGNITUDA	IO
6. TRAVNJA 1667.	DUBROVNIK	7,1*	IX—X
2. SRPNJA 1898.	TRILJ	6,7*	IX
9. STUDENOG 1880.	ZAGREB	6,2*	VIII
29. PROSINCA 1942.	IMOTSKI	6,2	VIII—IX
29. PROSINCA 2021.	PETRINJA	6,2	VIII—IX
11. SIJEČNJA 1962	MAKARSKA	6,1	VIII—IX
5. RUJNA 1996.	STON-SLANO	6	VIII
8. LISTOPADA 1909.	POKUPLJE	5,8	VIII
12. OŽUJKA 1916.	VINODOL	5,8	VIII
13. TRAVNJA 1964	DILJ GORA	5,7	VIII
* POVIJESNI POTRESI - MAGNITUDA JE PROCIJENJENA IZ INTENZITETA			

Osim Hrvatskog kataloga potresa, u analizi seizmičnosti i procjeni potresne opasnosti ili potresnog hazarda na teritoriju Republike Hrvatske izrađuju se karte potresne opasnosti za različita povratna razdoblja. One predstavljaju osnovu za prostorno planiranje i kvalitetnu primjenu protupotresnih normi pri gradnji objekata.

Na kartama potresne opasnosti se kao parametar trešnje tla rabe vrijednosti maksimalnog horizontalnog ubrzanja tla (a_g) tijekom potresa koje su izražene u jedinicama ubrzanja Zemljine teže g ($1 g = 9,81 \text{ m/s}^2$). Parametri poput maksimalnog horizontalnog ubrzanja tla (a_g), unaprijed određene vjerojatnosti p (koja obično iznosi 10%) i referentnog razdoblja t_{ref} (obično se uzima 50 godina) pomažu u brojčanom iskazivanju potresne opasnosti. Pri tome se umjesto t_{ref} i p može koristiti i povratno razdoblje T_{pov} definirano kao prosječni interval između dva premašivanja a_g . Ako se za povratno razdoblje uzme $T_{pov} = 225$ godina, tada se može reći da će se u prosjeku a_g premašiti jedanput za to povratno razdoblje. Ovaj

parametar se uzima s velikim oprezom, jer je moguće da pojedini intervali između premašivanja budu mnogo kraći ali i mnogo dulji.

Karte potresne opasnosti za područje Hrvatske s pridruženim tumačima (Herak i sur., 2011) su sastavni dio Nacionalnog dodatka Eurokodu-8 koji sadrži niz normi za protupotresnu gradnju (HRVATSKI ZAVOD ZA NORME, 2011). Karte su načinjene za tri različita povratna razdoblja (T_{pov}) od 95, 225 i 475 godina (Herak i sur., 2011).



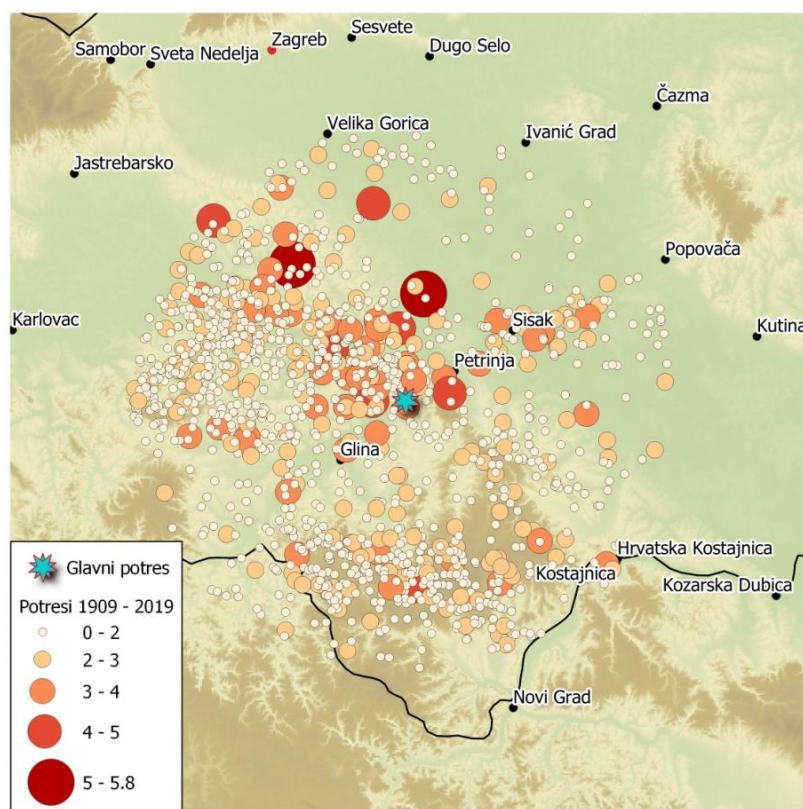
Slika 2.4. Karta potresne opasnosti za područje Hrvatske (povratno razdoblje 475 godina) na razini osnovne stijene (Herak i sur., 2011; Hrvatski zavod za norme, 2011). Karta u punoj rezoluciji, zajedno s kartom za povratno razdoblje od 95 godina, dostupna je na <http://seizkarta.gfz.hr>

Slika 2.4. prikazuje kartu potresne opasnosti za teritorij Republike Hrvatske za povratno razdoblje $T_{pov} = 475$ godina s vrijednostima parametra a_g proračunatim za razinu osnovne stijene (u kojima je prosječna brzina S-vala u gornjih 30 m tla $V_{s,30} \geq 800 \text{ m/s}^2$). Prema ovoj karti, najveća opasnost od potresa je u području Dalmacije, posebice na području Dubrovnika, Stona, Imotskog i Makarske. Također, izraženija potresna opasnost je i na području Hrvatskog primorja i Kvarnera idući sjeverozapadno od Senja prema Ilirskoj

Bistrici u Sloveniji, a također i u kontinentalnom dijelu Hrvatske na području Žumberka, Samoborskog gorja, Medvednice i zapadne Bilogore.

3. PETRINJSKO POTRESNO PODRUČJE

Prema Hrvatskom katalogu potresa, na ovom području dogodilo se 1364 potresa u razdoblju od 1909. godine, kada su se nabavili prvi moderni seizmografi, pa do kraja 2019. godine (slika 3.1.). Od tih 1364 potresa, dva su bila magnitude veće od pet, devet potresa magnituda između 4 i 5, 57 potresa magnituda između 3 i 4, 252 potresa magnituda između 2 i 3, i preostalih nešto više od tisuću potresa magnituda manjih od 2.

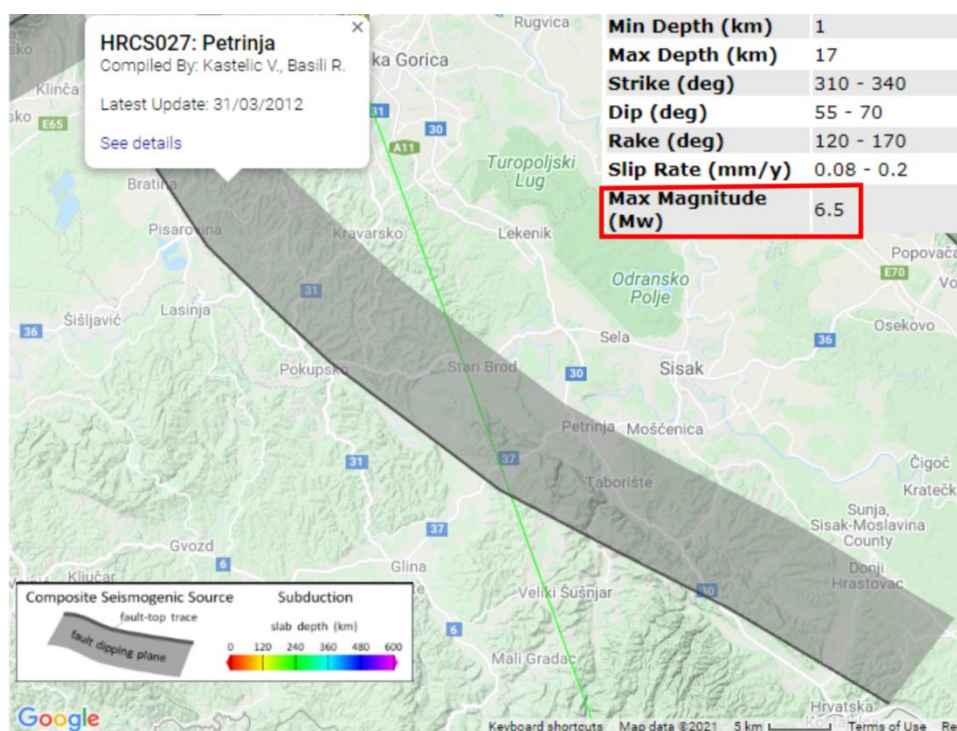


Slika 3.1. Epicentri potresa koji su se dogodili na Petrinjskom potresnom području u razdoblju od 1909-2019 prema Katalogu potresa Hrvatske. Plavom zvjezdicom označen je glavni potres Petrinjske potresne serije (Arhiva Geofizičkog odsjeka, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu; Herak i sur., 1996; Markušić i sur., 1998; Ivančić i sur., 2002, 2006).

Najjači, a ujedno i najznačajniji potres koji se dogodio u Pokuplju prije Petrinjske potresne serije koja je započela 28. prosinca 2020., bio je Pokupski potres koji se dogodio 8. listopada 1909. na dubini oko 14 ± 7 km (Herak & Herak, 2010), s epicentrom oko 20 km sjeverozapadno od glavnog potresa Petrinjske serije. Procijenjena magnituda toga potresa bila je $M_s = 5,8$ s intenzitetom u epicentru VIII° EMS (Herak & Herak, 2010).

Hrvatski geofizičar i seizmolog Andrija Mohorovičić, analizirajući podatke ovog potresa koje je dobio od kolega seizmologa iz Mađarske, Austrije, Italije i Njemačke, došao je do jednog od najvećih otkrića u povijesti seizmologije: postojanja granice između kore i plašta koja je po njemu nazvana Mohorovičićev diskontinuitet ili kraće MOHOsloj.

U Europskoj bazi seizmogenih rasjeda (SHARE), za Petrinjsko potresno područje opisan je kompozitni seizmogeni izvor ili seizmogena zona označena oznakom HRCS027: Petrinja (Basili i sur., 2013). Sivi poligon na slici 3.2. označava petrinjski kompozitni seizmogeni izvor, što znači da se unutar toga područja mogu očekivati pojave seizmogenih rasjeda od kojih neki mogu prouzročiti potres maksimalno očekivane magnitude 6,5 po Richteru što se nažalost pokazalo gotovo u potpunosti istinitim tijekom Petrinjske potresne serije.



Slika 3.2. Kompozitni seizmogeni izvor ili seizmogena zona HRCS027: Petrinja opisana u Europskoj bazi seizmogenih rasjeda (SHARE; Basili i sur., 2013). Sivi poligon označava prostorni položaj tog kompozitnog seizmogenog izvora (http://diss.rm.ingv.it/share-edsf/SHARE_WP3.2_Database.html).

4. PETRINJSKA POTRESNA SERIJA

4.1 PRETHODNI POTRESI

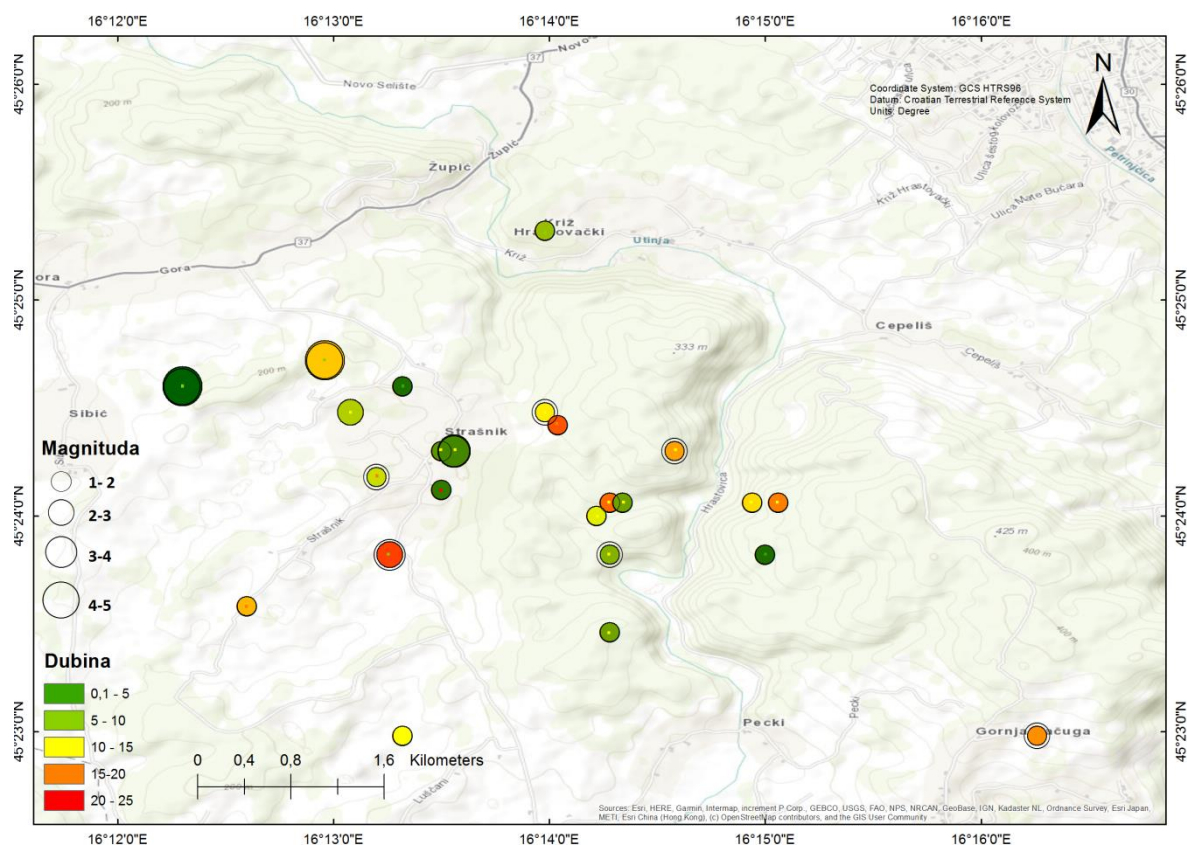
Petrinjska potresna serija započela je 28. prosinca 2020. godine u 6 sati i 28 minuta po lokalnom vremenu potresom lokalne magnitude $M_L = 5$ po Richteru i epicentrom u mjestu Strašnik, pet kilometara jugozapadno od Petrinje. Ubrzo nakon tog udara, uslijedila su još dva snažnija potresa na istom epicentralnom području. Prvi se dogodio u 7 sati i 49 minuta po lokalnom vremenu s magnitudom 4,6 i drugi sa magnitudom 3,9 u 7 sati i 51 minutu.

Prema podacima Seizmološke službe takvih naknadnih potresa je 28. prosinca bilo još sedamnaest, od kojih je sedam bilo $M \geq 2$, a deset $M < 2$. Na dan 29. prosinca do 12 sati i 19 minuta dogodilo se još pet potresa i to jedan magnitude 3,1, jedan magnitude 2,6 i tri magnitude $M < 2$. To nam daje zbroj od ukupno 25 potresa koji su se dogodili u nešto manje od trideset sati prije razornog, glavnog potresa. U tablici 4.1. prikazani su podaci za deset najjačih potresa koji su prethodili glavnom potresu.

Tablica 4.1. Podaci za deset najjačih potresa koji su prethodili glavnom potresu Petrinjske serije (vrijeme pojave potresa u tablici prikazano je u UTC-u, engl. Coordinated Universal Time; h označava dubinu žarišta potresa, M označava magnitudu potresa).

godina	mjesec	dan	sat	min	sek	lat	lon	h	M
2020	12	28	5	28	7.3	45.412	16.216	9.2	5
2020	12	28	6	6	37.9	45.397	16.238	13.2	2.2
2020	12	28	6	17	47.6	45.408	16.233	13.5	2.1
2020	12	28	6	40	36.3	45.383	16.271	12.8	2.2
2020	12	28	6	49	56	45.41	16.205	9.9	4.6
2020	12	28	6	51	28	45.405	16.226	10.4	3.9
2020	12	28	8	59	54.6	45.405	16.243	11.9	2.1
2020	12	28	20	32	24.6	45.403	16.22	16.1	2.2
2020	12	29	0	19	1.4	45.397	16.221	7.8	3.1
2020	12	29	6	5	50.3	45.408	16.218	11.6	2.6

Iz tablice 4.1. se može zaključiti kako se radi o vrlo plitkim potresima, a na slici 4.1. prikazan je i prostorni raspored epicentara tih prethodnih potresa.



Slika 4.1. Epicentri potresa Petrinjske serije u razdoblju od 28.-29. prosinca 2020. godine koji su prethodili glavnom potresu (Prema podacima Seizmološke službe).

4.2 GLAVNI POTRESI NAKNADNI POTRESI OD 29. PROSINCA 2020.

29. prosinca 2020. godine u 12 sati, 19 minuta i 54 sekunde po lokalnom vremenu, seizmografi Seizmološke službe RH zabilježili su razoran potres s epicentrom pet km jugozapadno od Petrinje. Magnituda potresa iznosila je 6,2 prema Richteru, a intenzitet u epicentru VIII-IX°EMS ljestvice. Radilo se o plitkom potresu sa žarištem na dubini 8,8 km, a potres se osjetio u cijeloj Hrvatskoj, dijelovima Slovenije, Bosne i Hercegovine, Srbije, Italije, Mađarske, Slovačke i Austrije (EMSC, 2021).

Prema podacima Seizmološke službe, od glavnog udara pa do 14. veljače 2021. dogodilo se 2154 potresa. Najjači naknadni potres magnitude 5,1 po Richteru dogodio se 6. siječnja 2021. s epicentrom kod mjesta Župić, a nakon njega uslijedila su dva potresa magnitude

4,8 po Richteru (tablica 4.2.). Prvi se dogodio 4 minute poslije glavnog udara, a drugi se dogodio dan poslije u 6:15 po lokalnom vremenu.

U istom razdoblju dogodio se 1051 potres čija je magnituda $M \geq 2$ te 1103 potresa s magnitudom $M < 2$. U prvih tjedan dana nakon glavnog potresa dogodilo se 1504 potresa sa $M \geq 1,5$, što znači da se 70% svih potresa u promatranom razdoblju dogodio u prvih tjedan dana nakon glavnog potresa.

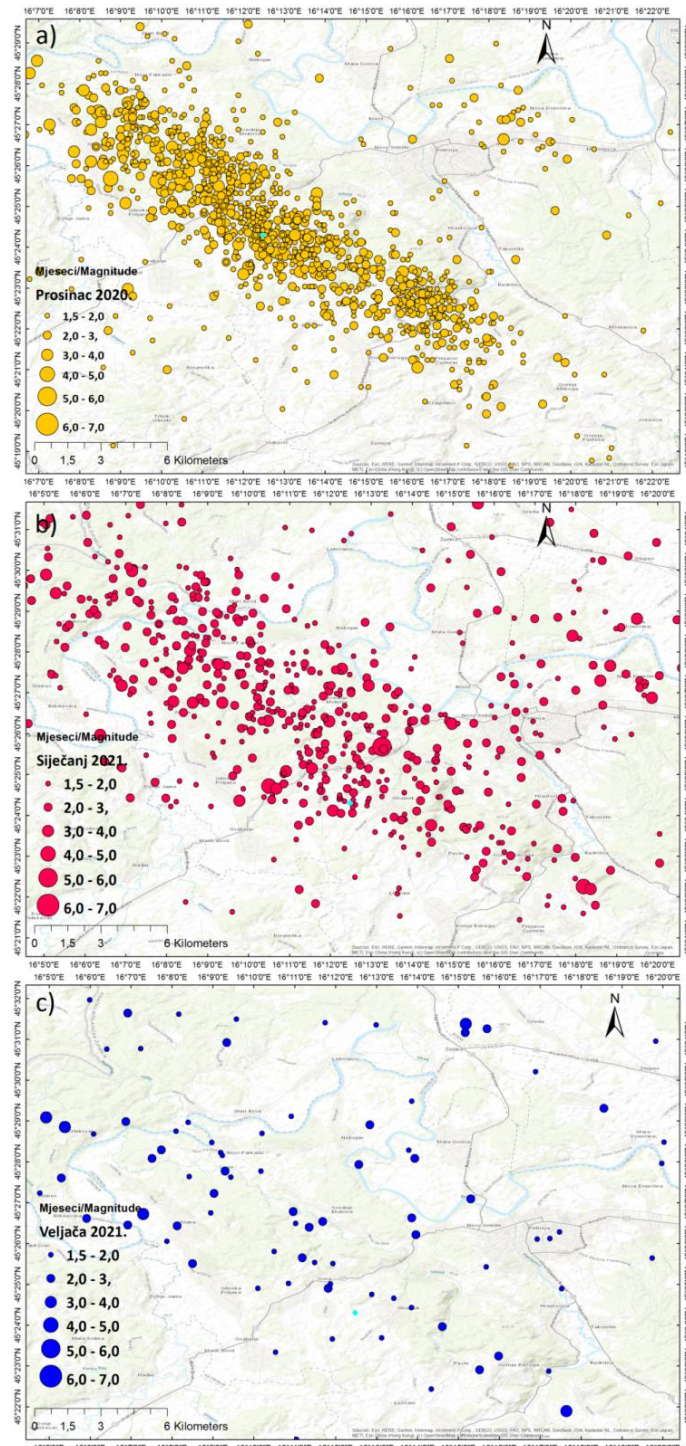
U tablici 4.2. prikazano je deset najjačih aftershockova skupa sa svojim karakteristikama poredanih po magnitudi.

Tablica 4.2. Podaci za deset najjačih naknadnih potresa Petrinjske potresne serije u razdoblju od 29. prosinca 2020. do 14. veljače 2021. (vrijeme u tablici prikazano u UTC-u, engl. Coordinated Universal Time; h označava dubinu žarišta potresa, M označava magnitudu potresa).

godina	mjesec	dan	sat	min	sek	lat	lon	h	M
2021	1	6	17	1	43.6	45.428	16.221	11.3	5.1
2020	12	29	11	23	47	45.441	16.165	9	4.8
2020	12	30	5	15	4.8	45.436	16.18	9.3	4.8
2020	12	30	5	15	4.8	45.428	16.146	10.1	4.7
2020	12	30	5	26	40.8	45.428	16.175	6	4.6
2020	12	30	5	26	40.8	45.427	16.165	8.7	4.6
2021	1	9	21	29	10.28	45.371	16.3031	6.5	4.6
2021	1	4	6	49	54.3	45.412	16.175	5.9	4.5
2020	12	29	11	22	37	45.42	16.185	11.2	4.2
2020	12	29	12	34	42.8	45.419	16.19	17	4.2

Na slici 4.2. prikazani su epicentri svih naknadnih potresa Petrinjske potresne serije koji su se dogodili do 14. veljače 2021. godine: na slici 4.2.a prikazani su epicentri potresa koji su se dogodili tijekom prosinca 2020., na slici 4.2.b epicentri potresa koji su se dogodili tijekom siječnja 2021. i na slici 4.2.c epicentri potresa koji su se dogodili između 1. i 14. veljače 2021. godine. Na sve tri slike je svijetloplavim kružićem označen i epicentar glavnog potresa. Na temelju prostornog rasporeda epicentara potresa tijekom triju analiziranih perioda vidljivo je njihova pojava unutar zone pružanja sjeverozapad-jugoistok, na duljini oko 32 km i u širini oko 12 km. Usporedbom slika 4.2. i 3.2. vidljiva je prostorna podudarnost s pružanjem kompozitnog, petrinjskog seizmogenog izvora HRCS027.

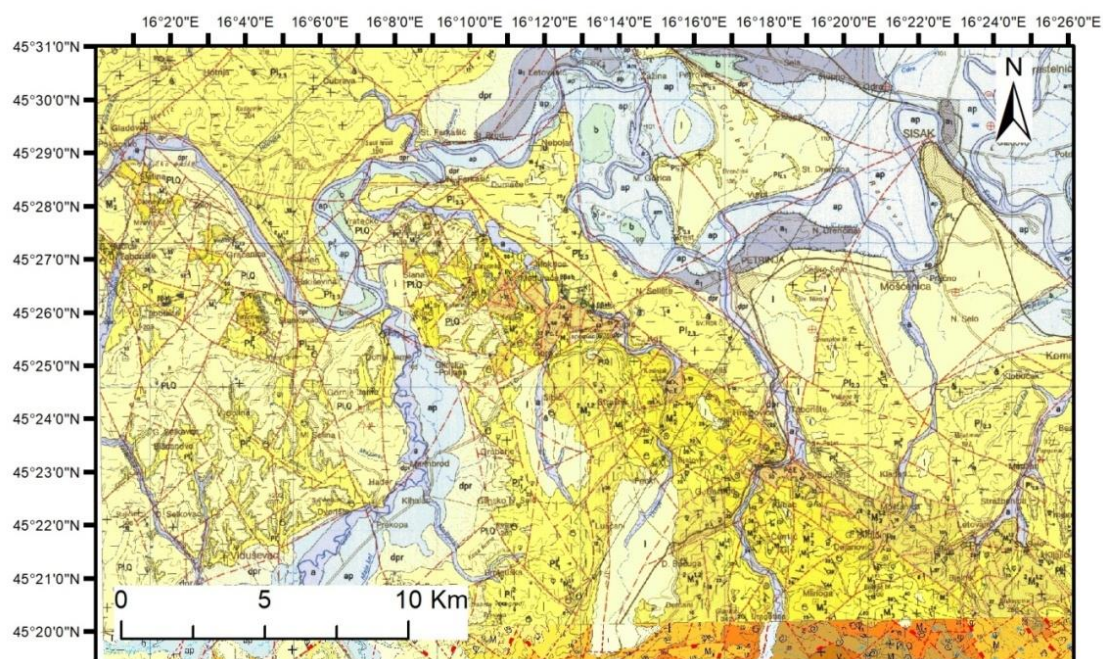
Također, ova analiza ukazuje da se jedan manji dio epicentara potresa prostorno grupira i u zoni pružanja SZ-JI na oko 9 km sjeveroistočno od glavne potresne zone, čija je duljina oko 13 km i širina 6 km.



Slika 4.2. Epicentri naknadnih potresa Petrinjske potresne serije; a) epicentri potresa koji su se dogodili u prosincu 2020; b) epicentri potresa koji su se dogodili u siječnju 2021; c) epicentri potresa koji su se dogodili do 14. veljače 2021. godine. Na svakoj slici plavom bojom označen je epicentar glavnog potresa.

4.3 USPOREDBA EPICENTARA POTRESA S GEOLOŠKIM PODACIMA NA OGK LISTA SISAK I OGK LISTA BOSANSKI NOVI

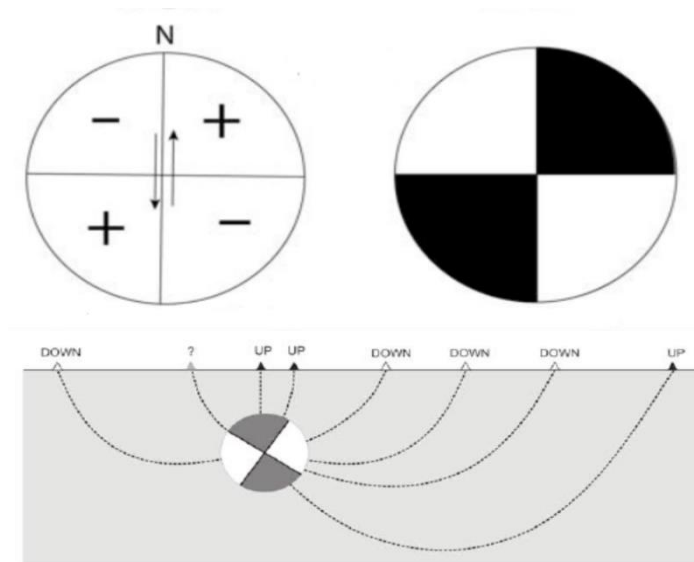
Pogledom na sliku 4.3. gdje je prikazan isječak OGK 1:100 000 lista Sisak (Pikija, 1987) i lista Bosanski Novi (Šikić, 1990), i usporedbom sa slikom 4.2., uočava se prostorna podudarnost glavne epicentralne zone petrinjske potresne serije s geološkim strukturama prikazanim na toj karti. Što se tiče rasjeda koji su prikazani na karti može se reći da je područje u okolici Petrinje ispresijecano brojnim pokrivenim i fotogeološki interpretiranim rasjedima najčešće bez oznake karaktera pomaka. Ipak, uočava se prostorna podudarnost glavne epicentralne zone s morfološki izraženom strukturnom Hrastovičke gore koja se kao i epicentralna zona pruža od rijeke Kupe na SZ do Zrinske gore na JI u duljini oko 40 km. Prema podacima OGK lista Sisak (Pikija, 1987) ova gora predstavlja asimetričnu antiklinalu s blago nagnutim JZ krilom i izrazito kraćim i strmo nagnutim SI krilom koje je omeđeno rasjedom koji je na toj karti označen kao normalni rasjed (slika 4.3.). Osim ovog rasjeda, na istoj karti prikazani su i tragovi preostalih brojnih rasjeda interpretiranih na tom području koji se s obzirom na pružanje mogu razvrstati u dva rasjedna seta: jedan s pružanjem SZ-JI i drugi s pružanjem SI-JZ. Prema pružanju i prostornom položaju glavne epicentralne zone, može se zaključiti da je uzročnik glavnog i većine prethodnih i naknadnih potresa jedan od rasjeda koji pripada rasjednom setu pružanja SZ-JI, a koji je prostorno povezan s Hrastovičkom gorom, odnosno Hrastovičkom antiklinalom.



Slika 4.3. Petrinjsko potresno područje - isječak OGK Sisak (Pikija, 1987) i OGK Bosanski Novi (Šikić, 1990).

5. ŽARIŠNI MEHANIZMI GLAVNOG POTRESA PETRINJSKE SERIJE

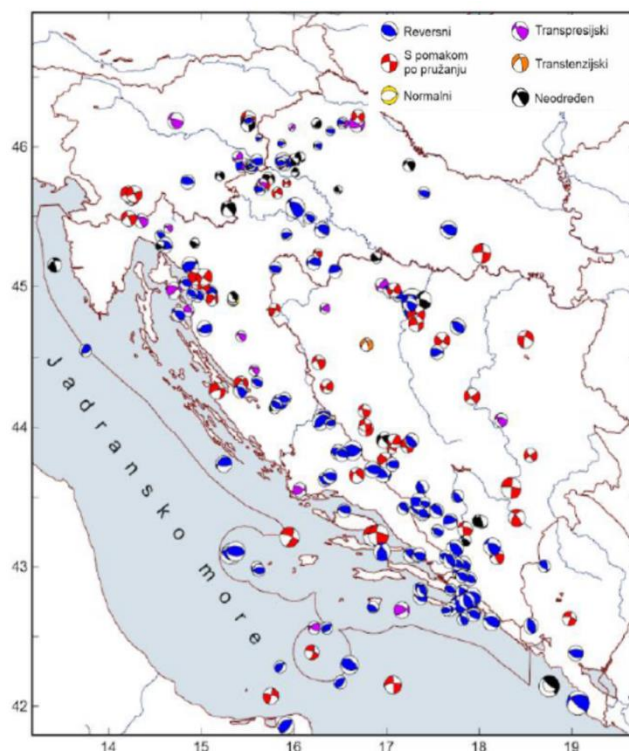
Žarišni mehanizam potresa, odnosno mehanizam pomaka u žarištu potresa, zasniva se na karakteru prvog nailaska P-vala koji se očitava na seizmogramu zabilježenog potresa na određenoj seizmološkoj postaji. Grafički prikaz žarišnog mehanizma zbog svog izgleda neformalno se naziva i *beach ball* dijagram. Ta vrsta dijagrama nam je nužna da bismo nakon što su poznate lokacija i magnituda potresa, moguće odredili i tip rasjeda koji je uzročnik potresa.



Slika 5.1. Gore: Beach ball dijagram – crna polja i plusevi na dijagramu označavaju tenzijske kvadrante, a bijela polja i minusi označavaju kompresijske kvadrante., Dolje: Princip izrade žarišnog mehanizma prema prvim nailascima P-vala na seizmološkim postajama(iz <http://rses.anu.edu.au/~hrvoje/PHYS3070/Lectures10-11.pdf>).

Beach ball dijagram je podijeljen na četiri kvadranta, pri čemu su nasuprotni kvadranti označeni najčešće bijelom i crnom bojom (slika 5.1.). Crno označeni kvadranti su tenzijski ili dilatacijski kvadranti u kojima su zabilježeni prvi kompresijski nailasci P-vala, tj. pomaci čestica koje su pri potresu krenule jedna prema drugoj i na taj način nastavile prema seizmološkoj postaji. Za razliku od toga, bijeli kvadranti su kompresijski kvadranti u kojima su zabilježeni prvi tenzijski nailasci P-vala, tj. pomaci čestica koje su pri potresu krenule jedna od druge. Drugim riječima, seizmološke postaje koje se nalaze u crnim kvadrantima zabilježile su prve nailaske P-valova koji su na seizmogramu zabilježeni sa skokom krivulje prema gore, dok su u bijelim kvadrantima one postaje koje su zabilježile prve nailaske P-valova sa skokom krivulje prema dolje. Seizmolozi koriste informacije dobivene iz seizmograma za izračunavanje žarišnog mehanizma tako da prikupe podatke prvih nailazaka P-vala sa što je moguće većeg broja seizmoloških postaja.

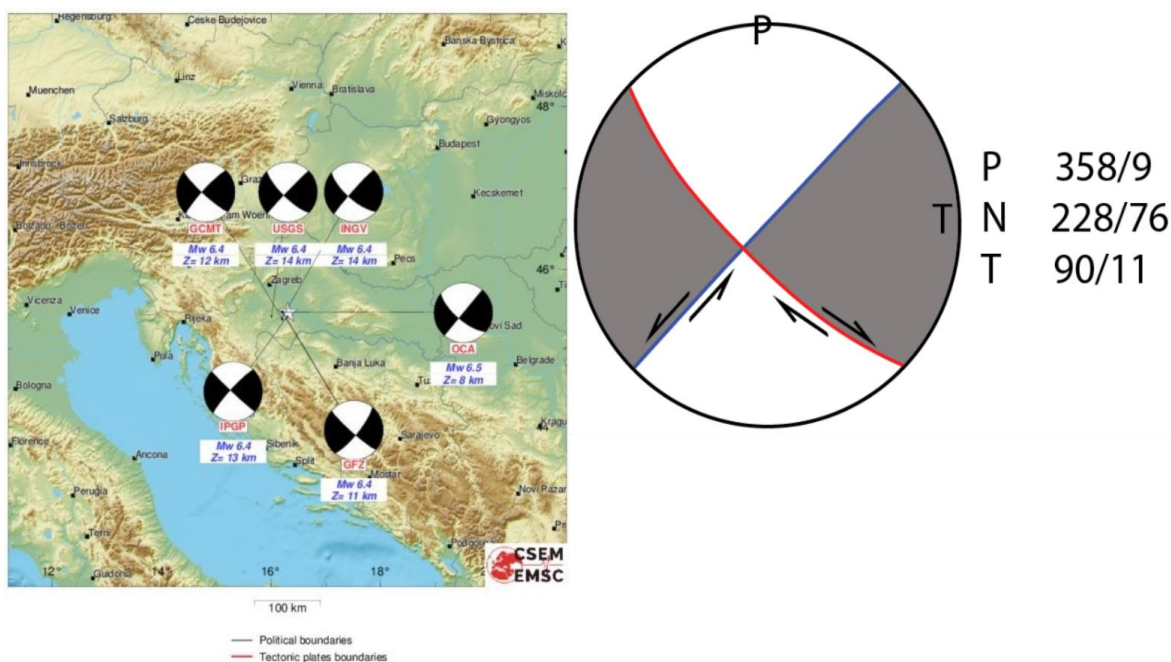
Slika 5.2. prikazuje žarišne mehanizme potresa u Hrvatskoj i susjednim zemljama u razdoblju 1909. – 2016. godine s tipom uzročnih rasjeda kako su prikazani u legendi (Herak i sur., 2016).



Slika 5.2. Prikaz žarišnih mehanizama potresa u Hrvatskoj i okolnim područjima u razdoblju 1909. – 2016. godine. Mehanizmi su prikazani u stereografskoj projekciji na donju žarišnu hemisferu, a boja kompresijskog kvadranta označava tip uzročnog rasjeda prema legendi. Prema Herak i sur., 2016.

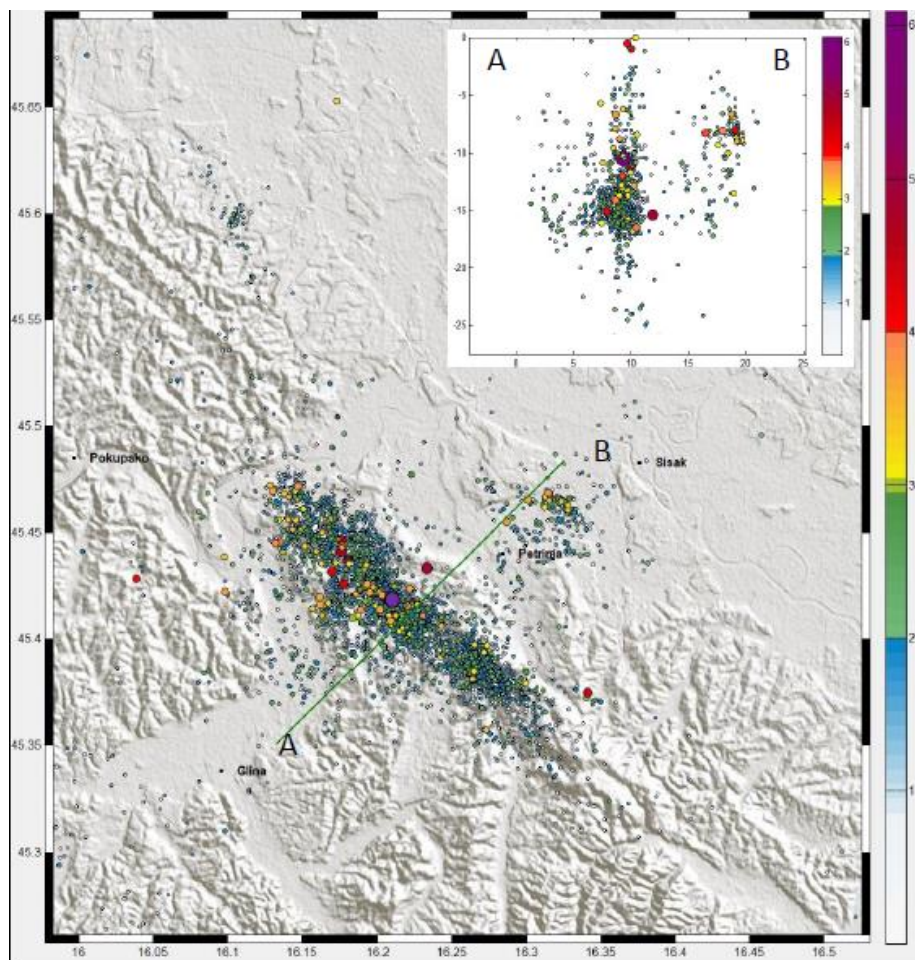
Za glavni potres petrinjske potresne serije, proračunati žarišni mehanizmi bili su dostupni vrlo brzo nakon glavnog potresa. Stručnjaci iz različitih institucija proračunali su žarišne mehanizme glavnog potresa i objavili *beach ball* dijagrame koji se međusobno vrlo slični neovisno o različitim metodama kojim su dobiveni (slika 5.3.). Svi oni gotovo jednoznačno ukazuju na dvije nodalne ravnine koje predstavljaju dvije subvertikalne rasjedne plohe, jedna pružanja SZ-JI s desnim karakterom pomaka (na slici 5.3. ta je nodalna ravnina označena crvenim tragom), a druga pružanja SI-JZ s lijevim karakterom pomaka (na slici 5.3. ta je nodalna ravnina označena plavim tragom).

Usporedimo li pružanje nodalne ravnine označene crvenim tragom na slici 5.3. s pružanjem glavne epicentralne zone petrinjske serije prikazane na slici 4.2., a također i projekciju žarišta potresa petrinjske serije na profilu prikazanom na slici 5.4., tada je jasno kako je glavni seizmogeni izvor za glavni i većinu potresa ove serije rasjed s pružanjem SZ-JI koji je subvertikalne orijentacije i s desnim karakterom pomaka.



Slika 5.3. Lijevo: Žarišni mehanizmi glavnog potresa petrinjske serije iz različitih izvora: GCMT – Global Centroid-Moment-Tensor, GFZ – Geo Forschungs Zentrum Potsdam, INGV – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, IPGP – Institut de Physique du Globe de Paris, OCA – Observatoire de la Côte d’Azur, USGS – United States Geological Survey, Desno: Žarišni mehanizam glavnog potresa na kojem su plavim i crvenim tragovima prikazane orijentacije dviju nodalnih ravnina, pri čemu je crvenim tragom prikazana orijentacija rasjeda koji je prouzročio glavni potres. Os najvećeg tektonskog naprezanja (P-os) je horizontalna s pružanjem sjever-jug, a os najmanjeg naprezanja (T-os) također je horizontalna, ali s pružanjem istok-zapad. (<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000d3zh/moment-tensor>).

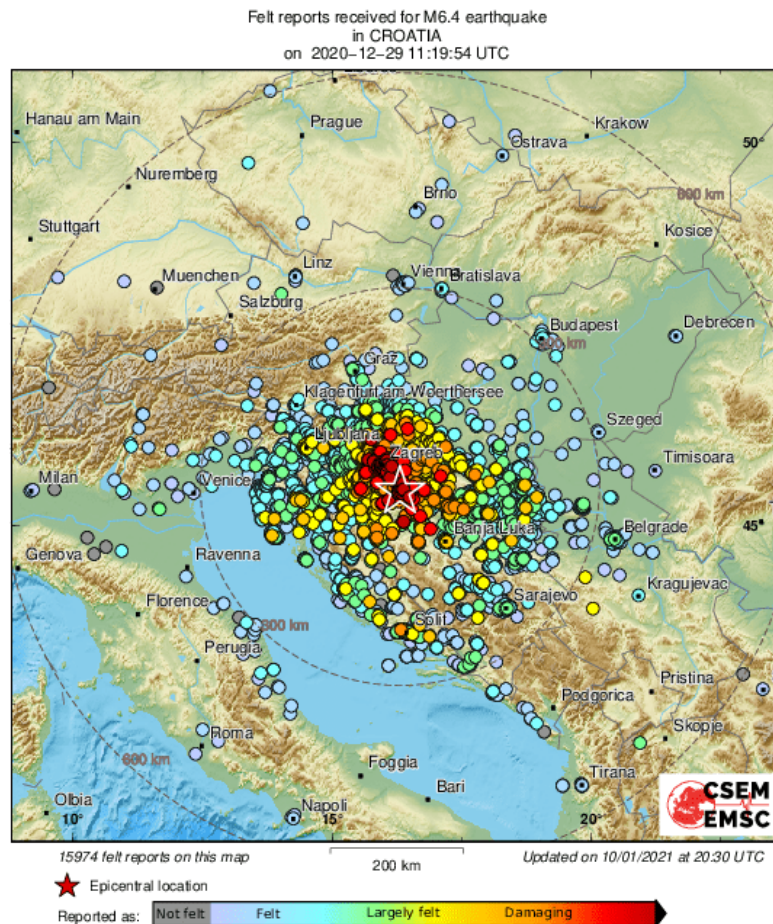
Na slici 5.4. prikazani su epicentri i hipocentri potresa na profilu AB u razdoblju 28. prosinca 2020. – 22. veljače 2021. Prema položaju žarišta potresa vidljivo je kako je glavni seizmogeni izvor glavnog i većine drugih potresa subvertikalan rasjed sa desnim pomakom s pružanjem SZ-JI što dodatno potvrđuje točnost proračunatih žarišnih mehanizama.



Slika 5.4. Epicentri potresa lociranih u razdoblju između 28. prosinca 2020. i 22. veljače 2021. godine (preuzeto iz Stipčević i sur., 2021). Veličina kružnice i boja odražava magnitudu potresa. Gore desno: Projekcije hipocentara na poprečni profil AB. Najveća udaljenost od profila je 2 km na svaku stranu.

6. UČINCI POTRESA

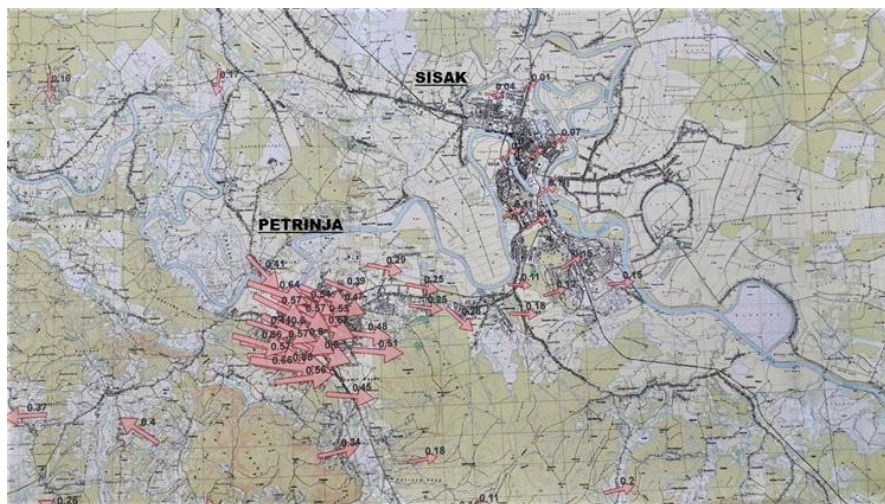
Odmah nakon glavnog udara, Euromediterranski seizmološki centar (EMSC) preko svoje aplikacije “*I felt this earthquake*” primio je više od 160 000 dojava svjedoka o potresanju tla, pri čemu je maksimalni intenzitet u samom epicentralnom području procijenjen na VIII-IX° EMS (slika 6.1.).



Slika 6.1. Lokacije dojava građana i procijenjeni intenziteti javljeni preko aplikacije “I felt this earthquake” Euromediterranskog seizmološkog centra (<https://static2.emsc.eu/Images/FELTREPORTS/93/933701/IntensityMap.png>).

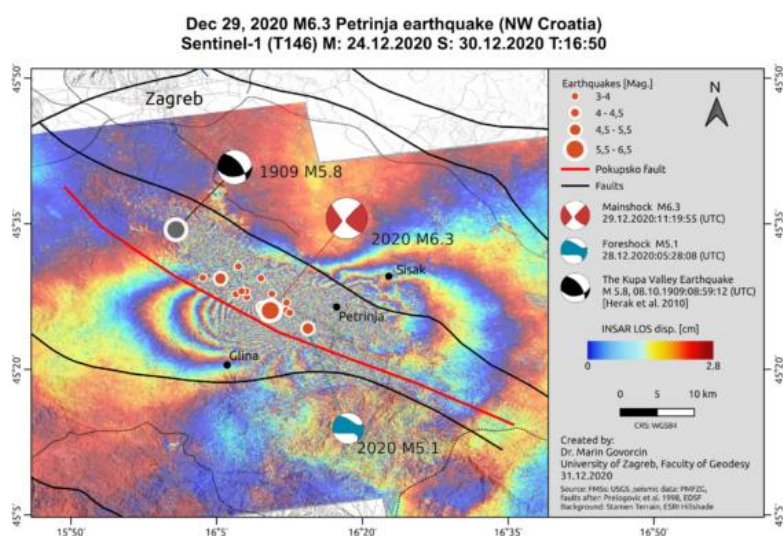
6.1 POMICANJE TLA

Prema preliminarnim istraživanjima koje su u razdoblju od 4. do 28 siječnja 2021. godine na potresom pogođenom području obavili službenici Državne geodetske uprave na području gradova Gline, Petrinje i Siska, analizom koordinata stalnih točaka geodetske osnove prije i nakon potresa, utvrđeno je sljedeće (slika 6.2.): najveći pomak pokazuju točke na području Petrinje i to sa srednjim vrijednostima pomaka 45 cm u smjeru jugoistoka, dok srednje vrijednosti pomaka za Glinu iznose 10 cm u smjeru sjeverozapada, odnosno 10 cm u smjeru istoka za područje Siska. Također, utvrđen je visinski pomak od 10 cm (spuštanje tla) za područje Grada Gline (iz <https://potresinfo.gov.hr/petrinja-i-sisak-pomaknuli-se-i-do-86-cm/300>).



Slika 6.2. Pomak stalnih točaka geodetske osnove nakon potresa na području Petrinje sa srednjim vrijednostima pomaka 45 cm u smjeru jugoistoka odnosno 10 cm u smjeru istoka za područje Siska (prema podacima Državne geodetske uprave).

Slične rezultate dobili su i stručnjaci s Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu koji su obrađivanjem opažanja Sentinel-1 satelitske misije, prije i poslije potresa, odredili pomak terena uzrokovan potresom. Na slici 6.3. pomak terena prikazan je u ciklusima plavo-crvene boje, gdje svaki ciklus predstavlja pomak od 2,8 cm u smjeru i pod kutom opažanja satelita. Prema tome je određeno da se jugozapadno krilo pomaklo cca 35 cm prema satelitu (u smjeru sjevero-zapada), a sjeveroistočno krilo se odmaklo cca 28 cm od satelita (u smjeru jugo-istok).



Slika 6.3. Karta površinskih pomaka dobivena satelitskom radarskom interferometrijom za Petrinjski potres magnitude 6,2 (<https://www.geof.unizg.hr/novosti/karta-povrsinskih-pomaka-dobivena-satelitskom-radarskom-interferometrijom-za-petrinjski-potres-magnitude-6-3/>).

6.2 LIKVEFAKCIJA

Prema Johnson & DeGraff (1988) likvefakcija je pojava naglog gubitka čvrstoće rahlih slojeva pijeska zasićenih vodom uslijed djelovanja seizmičkih valova izazvanih potresom. Javlja se kod potresa magnitude 5,0 i više, a posljedice se očituju u tonjenju i nagnjanu građevina na likvefiranom zemljištu, pojavi pukotina na površini tla, bočnom razmicanju tla, pojavi klizišta, izbacivanju vode i pijeska i formiranju stožaca pijeska na površini terena (*sand vulcanos* ili *sand boils*).

Pojave likvefakcije ubrzo nakon potresa primijećene su u širem području gradova Petrinje, Siska i Gline, a posebno u naseljima Brest Pokupski, Žažina, Letovanić, Palanjak, Hrastelnica, Erdedska Tišina, Dvorišće (slika 6.4.).



Slika 6.4. Primjeri stožaca pijeska na površini terena (*sand boils*) u asocijaciji sa likvefakcijom u okolini rijeke Kupe (<https://www.nature.com/articles/s41598-021-88378-2>).

6.3 URUŠNE VRTAČE

Pored likvefakcije, na Petrinjskom potresnom području pojavile su se i urušne vrtalice ili ponikve, koje su nastajale naglo te su vrlo brzo širile svoj promjer tako da su predstavljale veliki rizik za stanovništvo u selima Mečenčani i Borojevići i njihovu imovinu. Urušne vrtalice nastaju postupnim i dugotrajnim ispiranjem sitnozrnastog materijala iz pokrovnih naslaga koji odlazi u okršeno, vapnenačko podzemlje, čime i u pokrovnim naslagama ispod površine nastaju šupljine koje se postupno proširuju prema površini, sve do konačnog sloma vršnog dijela i urušavanja u podzemlje.

Geološka građa na području sela Mečenčani i Borojevići, koju čine površinske deluvijalno-proluvijalne naslage (šljunci-konglomerati, pijesak-pješčenjaci i glina) ispod kojih se nalazi okršena vapnenačka podloga izgrađena od badenskih vapnenaca s lokalnim pukotinama i kavernama, vrlo je pogodna za stvaranje ovih pojava, naročito za vrijeme trešnje izazvane jakim potresima (Tomljenović i sur., 2021).

Budući kako je to proces koji se neprekidno događa, potres je samo dodatno potaknuo pucanje tla i pojavljivanje vrtača, osobito na području između sela Mečenčani i Borojevići. Stožer civilne zaštite RH zabilježio je ukupno 104 urušnih vrtača različitih veličina od kojih je najveća promjera je 30 metara, a dubine oko 13 metara.



Slika 6.5. Najveća urušna vrtača nastala nakon glavnog potresa u selu Mečenčani, promjera 30 metara i dubine 13 metara (<https://potresinfo.gov.hr/u-mecencanima-88-urusnih-vrtaca/266>).

6.4 POVRŠINSKE PUKOTINE

Nakon potresa pojavio se velik broj površinskih pukotina u potresu pogođenom području. Preliminarnom analizom stručnjaka s RGNF-a (Tomljenović i sur., 2021) utvrđeno je da se radi o tenzijskim pukotinama, koje su nastale zbog razlike u mehaničkim svojstvima materijala gdje su se pukotine pojavile, te da ne predstavljaju odraz seizmogenog rasjeda na površini.



Slika 6.6. Lijevo: Pukotina poprečna na trasu ceste Petrinja–Glina na prijevoju Borovnik koja je sanirana nasipavanjem asfalta., Desno: Pukotina u postranom nasipu na lijevoj obali rijeke Save na izlasku iz sela Palanjak (<https://www.rgn.unizg.hr/hr/izdvojeno/2790-izvjesce-o-zabiljezenim-pojavama-koseizmickih-povrsinskih-deformacija-na-podrucju-pokuplja-i-banovine-nastalih-potresnom-serijom-od-28-12-2020-do-5-01-2021>).

7. MATERIJALNA ŠTETA

Potres je uzrokovao značajnu materijalnu štetu na stambenim zgradama i kućama, školama, bolnicama, sakralnim građevinama, cestama, a posebice je stradala povijesna jezgra grada Petrinje i zgrade bolnica u Sisku i Petrinji. Stradale su i mnoge obiteljske kuće oko epicentralnog područja u mjestima Strašnik, Sibić, Žažina, Majske Poljane, Brest Pokupski, Glina i drugdje u okolici ovih mjesta. Selo Majske Poljane su najteže pogođene potresom, oštećene su gotovo sve kuće, a mnoge su i srušene. Također, to je i naselje s najviše žrtava potresa; od ukupno sedmero žrtava, petero je poginulo u tom naselju pri urušavanju obiteljskih kuća. Ostale dvije žrtve bile su u Petrinji i Žažini. Nakon potresa, još dvije osobe su smrtno stradale pri saniranju štete, a ukupno je 25 osoba bilo ozlijeđeno, te je više stotina obitelji ostalo bez doma (iz <https://civilna-zastita.gov.hr/vijesti/potres-kod-petrinje-3357/3357>).

Dan nakon katastrofe počelo je skupljanje donacija za stradala mjesta, te su unatoč epidemiji uzrokovanoj širenjem korona virusa brojni volonteri pristizali u pogođena mjesta. Stanje katastrofe proglašeno je za Sisačko-moslavačku te dijelove Zagrebačke i Karlovačke županije. Elementarnu nepogodu zbog potresa proglasilo je nekoliko općina u Krapinsko-zagorskoj županiji. Građani pogođenih područja štetu na svojoj imovini su mogli prijaviti sve do 15. veljače 2021., nakon čega je slijedilo podnošenje zahtjeva za obnovu. Prijavljeno je 35 909 oštećenih stambenih objekata, pri čemu je do 15. veljače pregledano 26 091 objekata. Prema analizi Svjetske banke, šteta je procijenjena na 5,5 milijardi eura, odnosno oko 41,6 milijardi kuna, što je otprilike oko 10 posto ukupnog bruto domaćeg proizvoda Republike Hrvatske.

Dan nakon glavnog potresa građevinski stručnjaci i statičari počeli su pregledavati oštećene građevine. Oštećenja su kategorizirana prema Europskoj makroseizmičkoj ljestvici te su na zgrade postavljene naljepnice različite boje. Na zelenim oznakama izdvojene su dvije kategorije oštećenja: U1 - Uporabljivo bez ograničenja i U2 - Uporabljivo s preporukom. Na žutim oznakama također su izdvojene dvije kategorije oštećenja: PN1 - Privremeno neuporabljivo – potreban detaljan pregled i PN2 - Privremeno neuporabljivo – potrebne mjere hitne intervencije. Crvene oznake bile su postavljene na neuporabljive zgrade te su se dijelile na dvije kategorije: N1 - Neuporabljivo – zbog vanjskog utjecaja i N2 - Neuporabljivo – zbog oštećenja.

Iz Sisačko-moslavačke županije priopćeno je kako je do 15. veljače pregledom ustanovljeno sljedeće stanje građevina: neuporabljivo zbog vanjskih utjecaja je 317, a neuporabljivo zbog oštećenja 3162 pregledanih objekata. Privremeno je neuporabljivo i potreban je detaljan pregled za 2626 objekata. Uporabljivo bez oštećenja je 609 pregledanih objekata, a uporabljivo bez ograničenja je 5442 objekta. Uporabljivo s preporukom o postupanju je 10 773 pregledana objekta.

Dan nakon potresa Vlada Republike Hrvatske otvorila je službeni bankovni račun Državne riznice pri Hrvatskoj narodnoj banci za prikupljanje donacija novčanih sredstava za potresom pogođena područja. Iz Fonda solidarnosti Europske unije Hrvatska je zatražila isplatu 319,19 milijuna eura. Susjedne zemlje i druge države ponudile su pomoć u vidu novčanih sredstava, timove za zaštitu i spašavanje, kontejnere za stanovanje, šatore, grijalice, krevete i dr.

8. ZAKLJUČAK

Analizirajući podatke o 2180 potresa, koji su se dogodili u razdoblju 28. prosinca 2020. – 14. veljače 2021. na širem petrinjskom području, uspoređujući ih sa dobivenim rezultatima iz drugih istraživanja, zaključak je kako je glavni seizmogeni izvor za glavni i većinu potresa ove serije rasjed s pružanjem SZ-JI koji je subvertikalne orijentacije i s desnim karakterom pomaka, a što je i potvrđeno rješenjima žarišnog mehanizma te projiciranjem epicentara i hipocentara na priloženim slikama.

Nakon dužeg razdoblja tektonskog mirovanja i izostanka jačih potresa na teritoriju Republike Hrvatske, što nas je i učinilo ranjivima u smislu brzog djelovanja nakon potresnog hazarda, u razmaku od devet mjeseci dogodila su se dva značajna potresa koja su nas podsjetila i još jednom pokazala kako se teritorij Republike Hrvatske nalazi u seizmički aktivnom području. Iako nema izravne poveznice između Zagrebačkog i Petrinjskog potresa, zajedno su svakako skrenuli veću pozornost na potresnu opasnost u ovim područjima u kojim je moguće očekivati rijetke pojave jakih i razornih potresa.

9. POPIS LITERATURE

ANDERSON, H. & JACKSON, J. (1987): Active tectonics of the Adriatic region. *Geophys. J. R. Astr. Soc.* 91, 937-983.

BASILI, R., KASTELIC, V., DEMIRCIOGLU, M.B., GARCIA MORENO, D., NEMSER, E.S., PETRICCA, P., SBORAS, S.P., BESANA-OSTMAN, G.M., CABRAL, J., CAMELBEECK, T., CAPUTO, R., DANCIU, L., DOMAC, H., FONSECA, J., GARCIA MAYORDOMO, J., GIARDINI, D., GLAVATOVIC, B., GULEN, L., INCE, Y., PAVLIDES, S., SESETYAN, K., TARABUSI, G., TIBERTI, M.M., UTKUCU, M., VALENSISE, G., VANNESTE, K., VILANOVA, S., WOESSNER, J. (2013): The European Data base of Seismogenic Faults (EDSF) compiled in the framework of the Project SHARE. <http://diss.rm.ingv.it/share-edsf/>, doi: 10.6092/INGV.IT-SHARE-EDSF.

DASOVIĆ, I., HERAK, D., HERAK, M., STIPČEVIĆ, J. (2020a): Niz potresa na Baniji. *Vijesti Hrvatskoga geološkog društva* 57/2, 4–7.

DASOVIĆ, I., HERAK, D., HERAK, M., LATEČKI, H., MUSTAĆ, M., TOMLJENOVIĆ, B. (2020b): O potresima u Hrvatskoj. *Vijesti Hrvatskoga geološkog društva* 57/1, 4–27.

HANDY, M.R., GIESE, J., SCHMID, S.M., PLEUGER, J., SPAKMAN, W., ONUZI, K., USTASZEWSKI, K. (2019). Coupled crust-mantle response to slab tearing, bending, and roll back along the Dinaride-Hellenide orogen. *Tectonics*, 38, 1–26.

HERAK, D. & HERAK, M. (2010): The Kupa Valley (Croatia) Earthquake of 8 October 1909 – 100 Years Later. *Seismological Research Letters* 81/1, 30-36.

HERAK, M., HERAK, D., DASOVIĆ, I. (2016). Fault-plane solutions and stress orientation in the greater region of Northern and Central Dinarides. 35th general assembly of the European Seismological Commission. Trieste, Italy, 4–11.

HRVATSKI ZAVOD ZA NORME (2011). HRN EN 1998-1:2011/NA:2011, Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade – Nacionalni dodatak.

JOHNSON, R., & DEGRAFF, J. (1988): Principles of Engineering Geology. Wiley

MCCLUSKY, S., BALASSANIAN, S., BARKA, A., DEMIR, C., ERGINTAV, S., GEORGIEV, I., GURKAN, O., M. HAMBURGER, HURST, K., KAHLE, H., KASTENS, K., KEKELIDZE, G., KING, R., KOTZEV, V., LENK, O., MAHMOUD, S., MISHIN, A., NADARIYA, M., OUZOUNIS, A., PARADISSIS, D., PETER, Y., PRILEPIN, M., REILINGER, R., SANLI, I., SEEGER, H., TEALEB, A., TOKSOZ, M.N., VEIS, G. (2000). Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research*, 105 (B3), 5695–5719.

PIKIJA, M. (1987): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Sisak L33–93. – Geološki zavod, Zagreb (1975–1986); Savezni geološki institut, Beograd.

PIKIJA, M. (1987): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Sisak L33–93. – Geološki zavod, Zagreb (1986); Savezni geološki institut, Beograd, 55 str.

REILINGER, R., MCCLUSKY, S., VERNANT, P., LAWRENCE, S., ERGINTAV, S., CAKMAK, R., KADIROV, F., GULIEV, I., STEPANYAN, R., NADARIYA, M., HAHUBIA, G., MAHMOUD, S., ARRAJEHI, A., PARADISSIS, D., AL-AYDRUS, A., PRILEPIN, M., GUSEVA, T., EVREN, E., DMITROTSKA, A., FILIKOV, S.V., GOMEZ, F., AL-GHAZZI, R., KARAM, G., (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa–Arabia–Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research*, 111, B05411.

STIPČEVIĆ, J., POGGI, V., HERAK, M., PAROLAI, S., HERAK, D., DASOVIĆ, I., BERTONI, M., BARNABA, C., PESARESI, D., (2021). First results from temporary deployment of small seismic network following the Mw=6.4 Petrinja earthquake. University of Zagreb, Faculty of Science, Department of Geophysics, Zagreb, Croatia. Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, Udine, Italy.

ŠIKIĆ, K. (1990): Osnovna geološka karta Republike Hrvatske, list Bosanski Novi 1:100.000, L 33-105. Hrvatski geološki institut Zagreb, 2014.

ŠIKIĆ, K. (1990): Osnovna geološka karta Republike Hrvatske 1:100.000. Tumač za list Bosanski Novi 1:100.000, L 33-70. Hrvatski geološki institut Zagreb, 2014.

THE EUROPEAN-MEDITERRANEAN SEISMOLOGICAL CENTRE (2021): M6.4 CROATIA on December 29th 2020 at 11:19 UTC, Special report, <https://www.emsc-csem.org/Earthquake/264/M6-4-CROATIA-onDecember-29th-2020-at-11-19-UTC>. (26. kolovoz 2021.)

WEBER, J. VRABEC, M., PAVLOVČIČ-PREŠEREN, P., DIXON, T., JIANG, Y., STOPAR, B. (2010). GPS-derived motion of the Adriatic microplate from Istria Peninsula and Po Plain sites, and geodynamic implications. *Tectonophysics*, 483, 214–222.

www izvori:

THE EUROPEAN-MEDITERRANEAN SEISMOLOGICAL CENTRE (2021): M6.4 CROATIA on December 29th 2020 at 11:19 UTC, Special report, <https://www.emsc-csem.org/Earthquake/264/M6-4-CROATIA-onDecember-29th-2020-at-11-19-UTC> (6. kolovoz 2021.)

TONDI, E., BLUMETTI, A M., ČIČAK, M., DI MANNA, P., GALLI, P., INVERNIZZI, C., MAZZOLI, S., PICCARDI, L., VALENTINI, G., VITTORI, E., VOLATILI, T. (28. travanj 2021. *Nature*. ‘Conjugate’ coseismic surface faulting related with the 29 December 2020, Mw 6.4, Petrinja earthquake (Sisak-Moslavina, Croatia). URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-88378-2> (3.kolovoz 2021.)

VUKOVSKI, M., Potres u Petrinji – preliminarno izvješće. URL: <https://www.hgi-cgs.hr/potres-u-petrinji-preliminarno-izvjesce/> (3. kolovoz 2021.)

TOMLJENOVIĆ, B., STIPČEVIĆ, J., SEČANJ, M., (8. siječnja 2021. godine). Izvješće o zabilježenim pojavama koseizmičkih površinskih deformacija na području Pokuplja i Banovine nastalih potresnom serijom od 28.12. 2020 do 5.01.2021. URL:<https://www.rgn.unizg.hr/hr/izdvojeno/2790-izvjesce-o-zabiljezenim-pojavama-koseizmickih-povrsinskih-deformacija-na-podrucju-pokuplja-i-banovine-nastalih-potresnom-serijom-od-28-12-2020-do-5-01-2021> (3. kolovoz 2021.)

<https://potresinfo.gov.hr/vijesti/aktivnosti-obnove-na-banovini/501> (3. kolovoz 2021.)

STOŽER CIVILNE ZAŠTITE, U Mečenčanima 88 urušnih vrtača (4. veljače 2021.) URL: <https://potresinfo.gov.hr/u-mecencanima-88-urusnih-vrtaca/266> (3. kolovoz 2021.)

URL: https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmosloska_sluzba/izvjesca_o_potresima (3. kolovoz 2021.)

SEIZMOLOŠKA SLUŽBA. Preliminarni rezultati serije potresa kod Petrinje od 28. prosinca 2020. do 28. siječnja 2021.
https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmosloska_sluzba/mjesec_dana_od_glavnog_petrinjskog_potresa (3. kolovoz 2021.)



KLASA: 602-04/21-01/130
URBROJ: 251-70-14-21-2
U Zagrebu, 9.9.2021.

Josip Katić, student

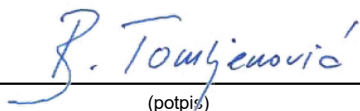
RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/130, URBROJ: 251-70-14-21-1 od 28.4.2021. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

PROSTORNA I VREMENSKA ANALIZA PETRINJSKE POTRESNE SERIJE U RAZDOBLJU 28.12.2020.—14.02.2021.

Za voditelja ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Prof. dr. sc. Bruno Tomljenović nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

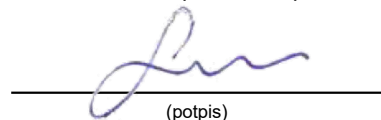
Voditelj:


(potpis)

Prof. dr. sc. Bruno Tomljenović

(titula, ime i prezime)

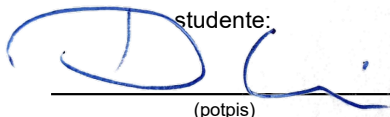
Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite:


(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Stanko
Ružičić

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i
studente:


(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Dalibor
Kuhinek

(titula, ime i prezime)