

Potresi u Hrvatskoj

- JOSIPA HUMSKI
- KATARINA FRANULOVIC
- MARIJANA KRIŽIĆ
- ANDREA KUJUNDŽIĆ-LUJAN

BREAKING NEWS!

Zagreb, 22.03.2020.

Jutros u 6 sati i 24 minute seizmografi Seizmološke službe Republike Hrvatske zabilježili su vrlo jak potres s epicentrom kod Markuševca. Magnituda potresa iznosila je 5,5 prema Richteru na dubini od 10 km, a intenzitet u epicentru VII stupnja MCS ljestvice.

U 7:01 sati uslijedio je još jedan potres jačine 5,0 stupnjeva po Richteru.

Petrinja, 29.12.2020.

U 12 sati i 19 minuta stanovnike Hrvatske uzdrmao je novi potres! Snažan potres magnitude 6,2 s epicentrom kod Petrinje osjetio se u cijeloj zemlji. Ukidaju se propusnice, u pomoć stižu policija, Civilna zaštita, vatrogasci, vojska, HGSS...

„Potres razara zemlju, ali ujedinjuje ljude“

KRATKO O POTRESIMA

Potres je kratkotrajno gibanje tla uzrokovano poremećajima i pokretima u Zemljinoj kori i litosferi nastalih zbog naglog i neočekivanog oslobađanja energije u Zemljinoj litosferi koje stvara seizmičke valove. Prirodna je to pojava koja je dovoljno jaka da ju osjete ljudi, ali i zabilježe seizmografi u širem području. Potresi tako mogu varirati u veličini od onih koji su toliko slabi da se ne mogu osjetiti do onih koji su dovoljno jaki da ruše predmete i objekte i izazovu razaranja u cijelim gradovima. Seizmičnost ili seizmička aktivnost područja je učestalost, vrsta i veličina potresa tokom određenog vremenskog razdoblja.

Na površini Zemlje potresi se očituju potresanjem i pomicanjem ili narušavanjem tla. Koliko će koji potres napraviti štete ovisi o dubini na kojoj on nastaje. Mjesto nastanka potresa u dubini Zemlje naziva se hipocentar (žarište ili fokus), a epicentar je mjesto na površini gdje se potres najviše osjetio (neposredno iznad hipocentra). Ukoliko je hipocentar u dubini do 70 km potres je plitak, a sve dublji od 300 km ispod Zemljine površine nazivamo dubokim.

Za potrese koji se obrađuju u ovom tekstu, može se utvrditi da su bili plitki i to na dubini od deset kilometara: (Zagreb) M 5,5 - dubina potresa 10 Km, (Petrinja) M 6,4 - dubina potresa 10km.

Kada se epicentar velikog potresa nalazi na moru, morsko dno može biti dovoljno pomaknuto da izazove tsunami. Potresi također mogu izazvati klizišta, odrone, likvefakciju i, povremeno, vulkansku aktivnost.

Postoji nekoliko vrsta potresa na Zemlji i oni mogu biti prirodno ili umjetno izazvani: ruševni (izazvani udarcem pri urušavanju podzemnih šupljina), vulkanski (uzrokovani magmatskom aktivnošću), tektonski (uzrokovani tektonskim

poremećajima u litosferi i dijelom u Zemljinom plaštu) i umjetni (eksplozije, inducirani potresi) potresi. Znanost koja se bavi proučavanjem potresa naziva se seizmologija, a instrument kojim se mjeri jačina potresa zove se seizmograf, dok se njihovi zapisi nazivaju seizmogrami.

Tektonski potresi čine oko 85% svih potresa i izazivaju najveća rušilačka djelovanja. Nastaju uslijed tektonskih pokreta u litosferi. Izvor tektonskih potresa su naprezanja u Zemljinoj kori. Potres nastaje onda kada naprezanja prijeđu granicu elastičnosti materije, pri čemu dolazi do naglog oslobađanja akumulirane energije. Vulkanski potresi (čine 7% svih potresa) uzrokovani su kretanjem magme prema površini. Imaju samo lokalni učinak, budući da se samo mali dio ukupne energije pretvori u mehaničku energiju seizmičkih valova. Potresi urušavanja nastaju prilikom urušavanja šupljina u Zemljinoj kori, koje nastaju djelovanjem vode na materije topive u vodi. Izvor energije im potječe od polja sile teže, tako da kod urušavanja naglo opadne potencijalna energija postojeće raspodjele masa. Energija tih potresa je jako mala i analogna oslobođenoj energiji kod pada meteora. Čine 3% svih potresa.

Potres ili podrhtavanje zemlje je uobičajena pojava koja je nesumnjivo poznata ljudima od najranijih vremena. Prije razvoja akcelerometara koji mogu izravno mjeriti brzinu podrhtavanja tla i ubrzanje, intenzitet potresa zemlje procijenjen je na temelju uočenih efekata, kategoriziranih na različitim ljestvicama seizmičkog intenziteta. Snagu (energiju) samog potresa prikazujemo magnitudom. Prvu ljestvicu za mjerenje magnituda potresa razvio je Charles F. Richter 1935. godine. Zanimljivo je za spomenuti, ako potres bude jako duboko, i/ili usred oceana magnitudu 7 nitko neće osjetiti, tj. intenzitet je svuda jako malen. Richterova ljestvica jakosti potresa prikazana je u Tablici 1. S druge strane, intenzitet (EMS, MCS, MSK, ...) govori o učincima potresa pa tako isti potres ima mnogo intenziteta ovisno o udaljenosti od žarišta, dubini žarišta, trajanju potresa, utjecaju temeljnog tla, itd. U Europi se uglavnom primjenjuje Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS) makroseizmička ljestvica s dvanaest stupnjeva prikazana u Tablici 2. Iako mediji

obično navode magnituda potresa kao "Richterovu ljestvicu", standardna praksa većine seizmoloških institucija je izražavanje jačine potresa na ljestvici trenutne magnituda, koja se temelji na stvarnoj energiji oslobođenoj potresom. Zaključno, magnituda po Richteru pokazuje

amplitudu tj. količinu energije oslobođene u hipocentru (Tablica 1), dok MCS ljestvica mjeri intenzitet potresa u epicentru (Tablica 2).

MAGNITUDA JAKOSTI POTRESA **OPIS POTRESA** **UČINAK DJELOVANJA POTRESA**

TABLICA 1: RICHTEROVA LJESTVICA JAKOSTI POTRESA

Ispod 2,0	Mikro	Mikropotresi, ne osjećaju se.
2,0 – 2,9	Manji	Općenito se ne osjete, ali bilježe ih seizmografi.
3,0 – 3,9		Često se osjete, no rijetko uzrokuju štetu.
4,0 – 4,9	Lagani	Osjetna drmanja pokućanstva, zvukovi trešnje. Značajnija oštećenja rijetka.
5,0 – 5,9	Umjereni	Uzrokuje štetu na slabijim građevinama u ruralnim regijama, moguća manja šteta kod modernih zgrada.
6,0 – 6,9	Jaki	Može izazvati štete u naseljenim područjima 160 km od epicentra.
7,0 – 7,9	Veliki	Uzrokuje ozbiljnu štetu na velikom području.
8,0 – 8,9	Razarajući	Može prouzrokovati golemu štetu i po tisuću kilometara od epicetra.
9,0 – 9,9		Katastrofalni potres koji uništava većinu objekata u krugu od nekoliko tisuća kilometara.
10,0+	Epski	Nikada nisu zabilježeni.

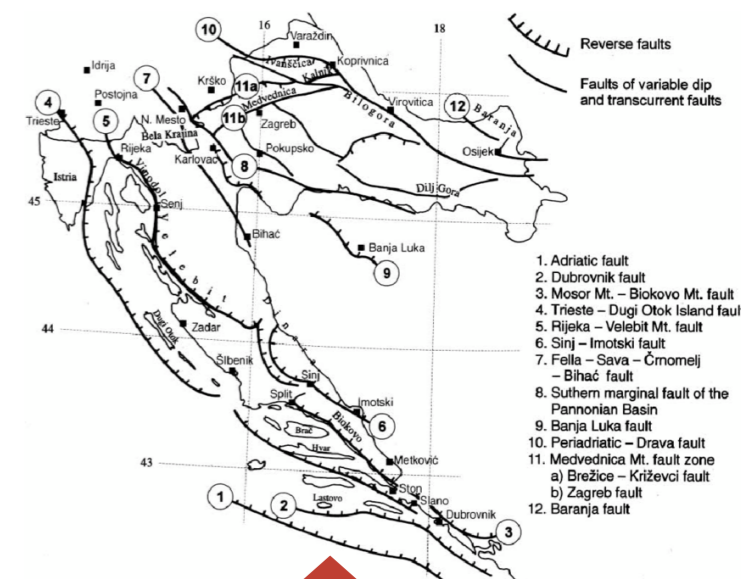


SLIKA 1. NAJVAŽNIJE ZEMLJINE LI-TOSFERNE PLOČE

SEIZMIČKA AKTIVNOST HRVATSKE

Područje Hrvatske nalazi se u dijelu Sredozemlja koje je seizmički i tektonski aktivno zbog konvergentnog kretanja Afričke prema Euroazijskoj ploči. One međusobno djeluju kroz Sredozemno more no, postoje i mali fragmentarni dijelovi koji su zaglavljani između tih većih ploča. Jedna od tih mikroploča je Jadranska mikroploča koja se nalazi na području Jadranskog mora. Pojam Jadranske mikroploče prvi put uvodi McKenzie, opisujući je kao ploču neovisnu od Afričke i Euroazijske ploče (Pavasović, 2014), dok naziv Jadranska ploča prvi daje Suess te njime definira područje koje obuhvaća Jadransko more (Anderson i Jackson, 1987). Zbog pomicanja Jadranske mikroploče postoji materijal s obje strane koji je napet. Taj napon, ili energija stresa, nakuplja se u kori te se oslobađa u obliku potresa. Upravo je taj sudar stvorio sve planine koje postoje po cijelom Jadranu – Apenine, Alpe i Dinarske Alpe. Također, odgovoran je i za niz vulkana koje nalazimo u zapadnoj Italiji i one više prema jugu Italije, od kojih su neki još uvijek aktivni. Pomicanje ploča, njihovo sudaranje, rastezanje ili klizanje događa se već milijardama godina, a samo se na našem području događa već mnogo milijuna godina. Budući da se to događa kroz tako dugo vremensko razdoblje i da se kretanje još uvijek događa, neke linije rasjeda postaju neaktivne, dok su druge aktivne.

Na području Hrvatske ima nekoliko zona veće seizmičke aktivnosti. U priobalnome dijelu takva se zona proteže od slovensko-hrvatske granice do područja južno od Dubrovnika. Druga se zona proteže od slovenske granice zapadno od Karlovca preko Žumberačkoga gorja i Medvednice do Bi-logore. Seizmički je aktivna i zona od Pokuplja prema Banjoj Luci (BiH). Manje su aktivna seizmička područja slavonske planine Psunj, Papuk, Krndija i Dilj. Ostali središnji i istočni dijelovi Hrvatske seizmički su aktivni još manje. Svi potresi na području Hrvatske ubrajaju se u red plitkih potresa (Slika 2 i 3).



SLIKA 2. KARTA RASJEDA

STUPANJ POTRESA **NAZIV POTRESA** **UČINAK POTRESA**

TABLICA 2: MERCALLIJEVA MAKROSEIZMIČKA LJESTVICA

I	Nezamjetljiv potres	Bilježe ga jedino seizmografi.
II	Vrlo lagan potres	Osjeti se samo u gornjim katovima visokih zgrada.
III	Lagan potres	Podrhtavanje tla kao pri prolazu automobila.
IV	Umjeren potres	Prozorska okna i staklenina zveče kao da je prošao težak teretni automobil.
V	Prilično jak potres	Njišu se slike na zidu. Samo pojedinci bježe na ulicu.
VI	Jak potres	Slike padaju sa zida, ormari se pomiču i prevrću. Ljudi bježe na ulicu.
VII	Vrlo jak potres	Ruše se dimnjaci, crjepovi padaju sa krova, kućni zidovi pucaju
VIII	Razoran potres	Sabije građene kuće se ruše, a jače građene oštećuju. Tlo puca.
IX	Pustošni potres	Kuće se teško oštećuju i ruše. Nastaju velike pukotine, klizišta i odroni zemlje
X	Uništavajući potres	Većina se kuća ruši do temelja, ruše se mostovi i brane. Izbija podzemna voda.
XI	Katastrofalan potres	Srušena je velika većina zgrada i drugih građevina. Kidaju se i ruše stijene.
XII	Veliki katastrofalan potres	Do temelja se ruši sve što je čovjek izgradio. Mijenja se izgled krajolika, rijeke mijenjaju korito, jezera nestaju ili nastaju.

Prema onome što znamo, područja Hrvatske s najmanjom seizmičkom aktivnošću su Istra te neki dijelovi Slavonije i Baranje. Iako su nam poznati potresi i na tom području poput onog u okolici Đakova 1884. godine i na širem području Slavonije 1964. godine. Seizmički najugroženiji dio Hrvatske je upravo južna Dalmacija čemu svjedoči jedan od najvećih hrvatskih potresa prošlog tisućljeća (Dubrovnik M 7,6, 1667.). Seizmičnost sjeverozapadne Hrvatske može se okarakterizirati kao umjerena s rijetkim pojavama jačih potresa. Medvednica i šira okolica Zagreba pripadaju tektonski aktivnom području. Na tu činjenicu ukazuju povijesni podatci o potresima i ne tako davna seizmička aktivnost. Kada govorimo o geološkom položaju, navedeno je područje sm-

ješteno na granici između zapadnog i središnjeg dijela Panonskog bazena. Njegovu granicu određuje žumberačko-medvednički rasjed širine 12-25 km, duljine 100 km i orijentacije sjeveroistok-jugozapad (Kuk i dr, 2000).



SLIKA 3. ZAGREBAČKI RASJED

Općenito, tektonska aktivnost Zagreba uvjetovana je pokretima u regionalnom strukturnom sklopu u kojem vrlo važnu ulogu igra Jadranska mikroploča koja uzrokuje jaku kompresiju u području Alpa i sjevernog dijela Dinarida. Regionalni stres dodatno pokazuje najjaču kompresiju u području žumberačko-medvedničkog rasjeda, Ivanšćice i Kalnika. Područje samog grada Zagreba presijeca zagrebački rasjed koji je sačinjen od niza manjih rasjeda: Podsused-Markuševac-Kašina-Zelina i Kerestinec-Ilica-Maksimira-Sesvete (Slika 3).

Ako uzmemo u obzir kompresiju prostora u zoni žumberačko-medvedničkog rasjeda, tektonske pomake dijelova Medvednice, amplitude pokreta i potrese koji su se dogodili, možemo izdvojiti seizmički najaktivniji prostor, odnosno dionicu zagrebačkog rasjeda između Markuševca i Moravča, u duljini od oko 20 km. Također, koncentraciji žarišta potresa pridonose i pomaci blokova Medvednice u zoni rasjeda Stubica-Kašina. Podatci o potresima šireg regionalnog područja grada govore o dvadesetak potresa u periodu od 16. do 20. stoljeća koji su prouzročili veću štetu. Najvažniji je, dakako, potres koji se dogodio 9. 11. 1880. godine u 7:33h. Njegova epicentralna jačina je procijenjena na oko IX MCS, a žarišnu dubinu je prvi procijenio J. Torbar između 10 i 15 km.

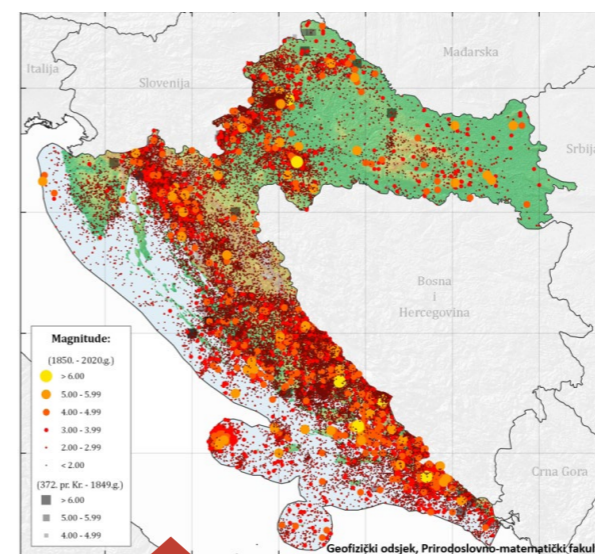
Dolina Kupe je zona u kojoj je koncentracija potresa otkrivena u blizini Pokupskog, a najjači zabilježeni potres dogodio se 1909. godine. To je ujedno i najslavniji potres u Hrvatskoj jer je Andrija Mohorovičić 1910. na osnovu tog potresa otkrio tzv. „Moho“ sloj. Razdoblje povećane seizmičke aktivnosti u ovom području je trajalo sve do 1914. godine. Otada se nije dogodio potres jači od VI MCS. Svi zabilježeni potresi dogodili su se u gornjem plaštu (Markušić i Herak, 1999). Dolina Drave seizmička je zona koja obuhvaća područje Koprivnice, Kalnika i Bilogore. Najjači potresi za koje postoje pisani dokazi su iz 1757. godine u Virovitici (9°MCS) i 1778. u Koprivnici (8°MCS). U 20. je stoljeću zabilježen potres jačine 8°MCS (1938) s epicentrom u Bilogori, smještenoj u rasjednoj zoni Medvednica-Kalnik. Samo je gornji plašt seizmički aktivan, a hipocentri su smješteni na dubini od 10 km (Markušić i Herak, 1999). U Baranji ih katalog potresa bilježi samo 24. Zapravo je ova zona bila seizmički najaktivnija između 1922. i 1924. kada se tu dogodio potres jačine VII-VIII MCS s epicentrom sjeverno od Osijeka (Markušić i Herak, 1999). Područje južnog dijela Hrvatske je zona izrazitih potresa što se da zaključiti izučavanjem Hrvatske seizmološke karte (Slika 4).

Ako se uzme u obzir broj potresa, Dinara je najaktivniji dio hrvatskog teritorija. Općenito jačina potresa raste od jugoistoka prema sjeverozapadu. Iako su nam seizmički zapisi za to područje dostupni od 18. stoljeća te ukazuju na pojavu četiri potresa koji prelaze jačinu od 8° MCS, seizmička aktivnost područja oko Dinare poznatija je samo u zadnjih 100 godina. Potresi se javljaju na rasjedima koji pripadaju zoni Sinj-Imotski. Najveći poznati potres (jačina potresa = 9° MCS) dogodio se 1898. godine kod Sinja.

Na karti potresnih područja Hrvatske (Slika 4) prikazani su epicentri od oko 30 000 potresa, a na prikazanom

području u prosjeku se svake godine dogodi potres magnitude veće od 6 prema Richterovoj ljestvici te se osjeti oko 65 potresa godišnje.

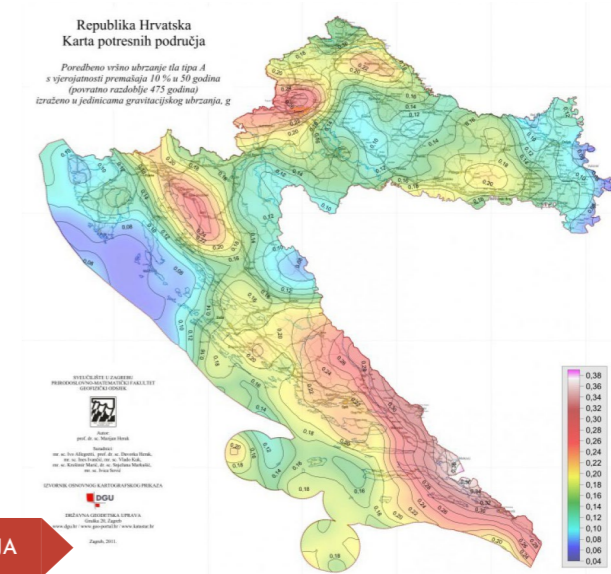
Usporedno je prikazana i karta potresnih područja za povratno razdoblje od 475 godina na kojoj su prikazane vrijednosti višeg ubrzanja tla, izraženog u jedinicama gravitacijskog ubrzanja gdje je $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ (Slika 5) Na slici se vidi da su najveća ubrzanja tla (crvena i žuta boja na karti) upravo na mjestima gdje je najveća koncentracija potresa na karti seizmičke aktivnosti (crvene točke). Također je vidljivo da je u posljednjih 47 godina Dinara tektonski najaktivnije područje, a slijedi okolica Dubrovnika, sjeverni Jadran te sjeverozapadni dio Hrvatske. Plavom i zelenom bojom prikazana su područja koja karakterizira najmanja vrijednost ubrzanja tla, a to su Panonski bazen, Istra i Lika.



SLIKA 4. - KARTA EPICENTARA POTRESA NA PODRUČJU HRVATSKE OD 372. G. PR. KR. DO 2020. GODINE PREMA KATALOGU POTRESA HRVATSKE I SUSJEDNIH PODRUČJA (ARHIVA GEOFIZIČKOG ODSJEKA, PMF, SVEUČILIŠTE U ZAGREBU)

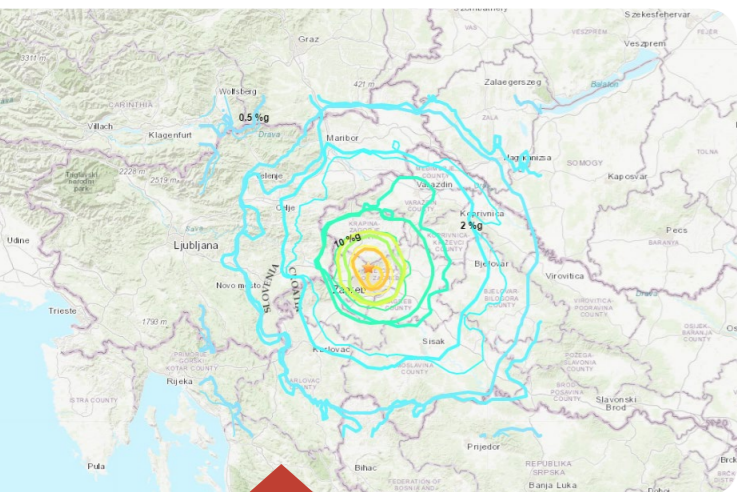
DATUM	MJESTO	MAGNITUDA (RICHTER)	INTENZITET (°MCS)	UČINAK POTRESA	EPICENTAR
6. travanj 1667.	Dubrovnik	7,6	IX-X	Oko 2200 žrtava, porušen gotovo cijeli grad, tsunami uništio brodove u luci, a jak vjetar raspirio požare	-
9. studeni 1880.	Zagreb	6,3	VIII	Dvije ljudske žrtve, oštećeno ili porušeno oko 1400 zgrada	Kašina Planina Gornja
2. srpanj 1898.	Trilj	6,7	IX		-
8. listopada 1909.	Pokuplje	5,8	VIII	Potres na temelju kojeg je Andrija Mohorovičić otkrio diskontinuitet u Zemljinoj unutrašnjosti	Pokuplje
12. ožujak 1916.	Vinodol	5,8	VIII		
15. ožujak 1923.	Imotski	6,2	IX	Dvije ljudske žrtve, velika materijalna šteta	ispod planine Biokova, na granici između Hrvatske i BiH
27. ožujak 1938.	Novigrad Podravski	5,6	VIII		

TABLICA 3. NAJJAČI POTRESI ZABILJEŽENI U HRVATSKOJ (OD 17. ST DO 2019. GODINE)



SLIKA 5. - KARTA POTRESNIH PODRUČJA

POTRES U ZAGREBU 22.03.2020.



SLIKA 6. KARTA PODRHTAVANJA TLA NA POVRŠINI ZA VRIJEME POTRESA U ZAGREBU IZRAŽENO VRIJEDNOSTIMA HORIZONTALNIH VRŠNIH UBRZANJA U POSTOTCIMA GRAVITACIJSKOG UBRZANJA

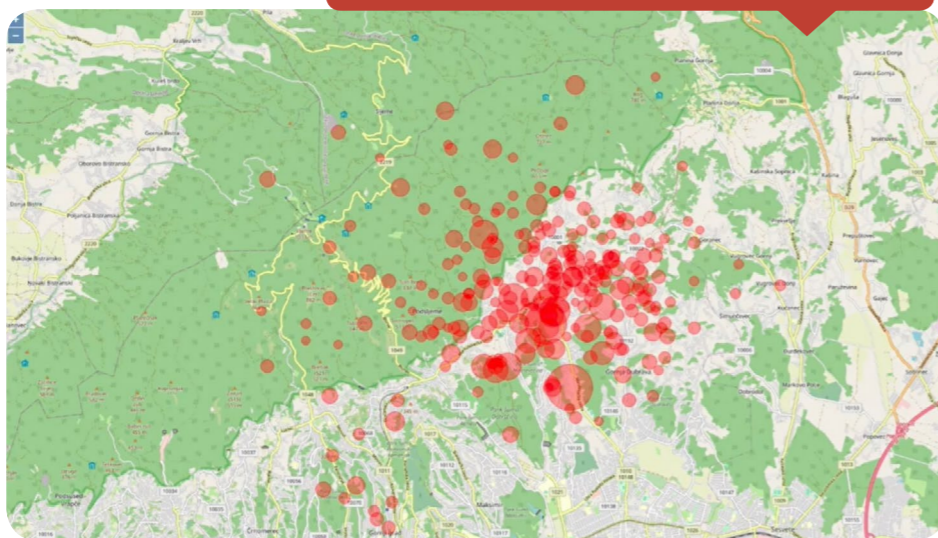
Kao da globalna pandemija korona virusa nije bila dovoljno teška kriza, dana 22. ožujka 2020. Zagrepčane je pogodio naj snažniji potres u posljednjih 140 godina. Potres jačine 5,5 stupnjeva po Richteru dogodio se u rano nedjeljno jutro, u 06:24 sati, dok je većina stanovnika još spavala. Euromediteranski seizmološki centar utvrdio je da se epicentar nalazio sedam kilometra sjeverno od središta Zagreba, u naselju Markuševac, na dubini od deset kilometara. Nakon glavnoga udara, oko pola sata poslije, u 7:01 sati uslijedio je još jedan potres jačine 5,0 stupnjeva po Richteru. U nešto više od 24 sata od prvoga potresa na području grada Zagreba, prema podacima Seizmološke službe i Euromediteranskog seizmološkog centra, zabilježeno je 57 potresa, među kojima je najjači bio magnitude 5,5 stupnjeva po Richterovoj ljestvici, a najslabiji 2,0. Seizmološka služba objavila je da je do 1. lipnja zabilježeno oko 613 potresa koje su

osjetili građani, magnitude iznad 1,3 stupnja po Richterovoj ljestvici, dok su seizmografi zabilježili još oko 1037 potresa magnituda manjih od 1,3 stupnja (Slika 7). U sljedećoj tablici prikazano je deset najjačih potresa ove potresne serije u razdoblju od 22.03.2020 do 1. lipnja 2020.

TABLICA 4: DESET NAJJAČIH POTRESA ZAGREBAČKE SERIJE POTRESA DO 1. LIPNJA 2020.

DATUM	VRIJEME (UTC)	MAGNITUDA
22.03.2020.	5:53:07	3,4
22.03.2020.	6:24:02	5,5
22.03.2020.	7:01:20	5
22.03.2020.	7:41:05	3,7
22.03.2020.	9:04:01	3,1
22.03.2020.	10:11:57	3,3
23.03.2020.	11:12:53	3,7
23.03.2020.	20:49:54	3,2
24.03.2020.	20:53:49	3,2
23.04.2020.	9:52:34	3,5

SLIKA 7. KARTA EPICENTARA POTRESA U ZAGREBAČKOM PODRUČJU U RAZDOBLJU OD 22.03.2020. DO 14. TRAVNJA 2020.

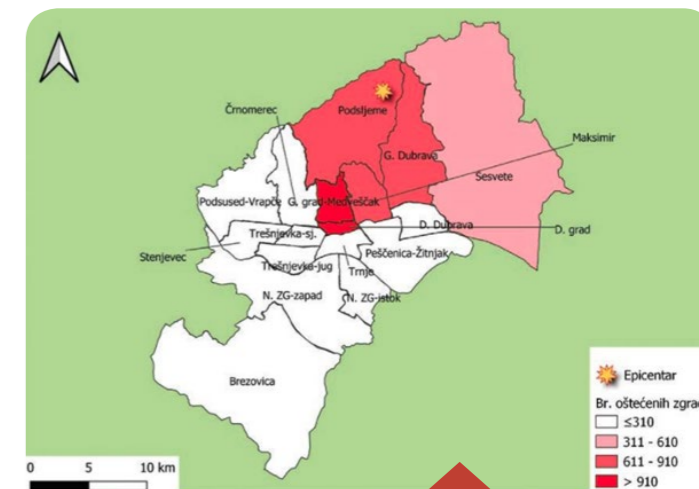


PROSTORNA ANALIZA POSLJEDICA ZAGREBAČKOG POTRESA

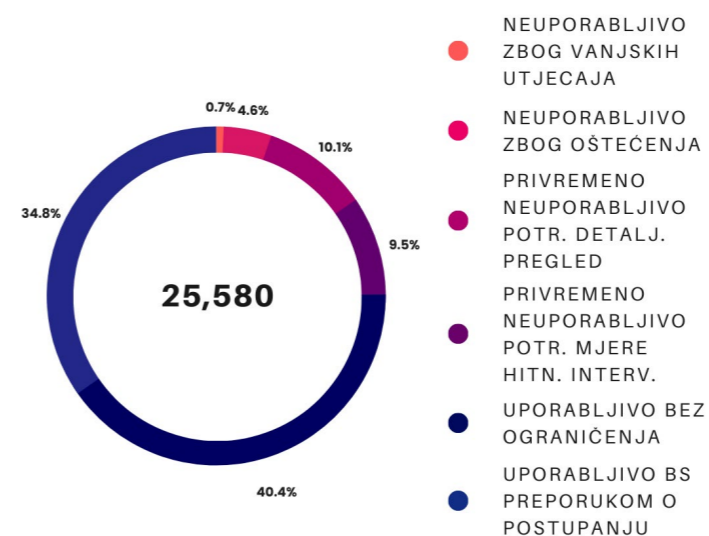
Ukoliko se vratimo nazad i pogledamo što nam o zagrebačkom potresu kaže Richterova ljestvica možemo zaključiti da je bila riječ o umjerenom potresu koji uzrokuje manju štetu na građevinama, no je li bilo tako?

Osvrnemo li se na poznate podatke procjene oštećenja građevina nakon potresa u Zagrebu od 22.03.2020 do 1.07.2020 možemo zaključiti da serija potresa koja je pogodila grad Zagreb i okolicu nije bila umjereni već razorna. Do 22. rujna 2020. godine obavljeno je 26 334 pregleda građevina u Gradu Zagrebu, Zagrebačkoj županiji i Krapinsko-zagorskoj županiji. Od toga je sa zagrebačkog područja 24 897 valjanih prijava i pregleda. Najviše prijava štete zaprimljeno je s područja gradske četvrti Maksimir, a potom slijede i Gornja Dubrava, Gornji grad- Medveščak i Donji grad. Po broju oštećenih zgrada u odnosu na gustoću stanovništva prednjači gradska četvrt Donji grad, a najmanje su oštećene četvrti Novi Zagreb i Brezovica.

Prema prostornom rasporedu gradskih četvrti, vidljivo je da su najviše štete pretrpjele četvrti na sjeveru grada Zagreba, a najmanje one na jugu i zapadu (Slika 9). Takvi su rezultati očekivani s obzirom da je epicentar najjačeg potresa bio oko naselja Markuševac, u gradskoj četvrti Podsljeme na sjeveru samog grada. Od posebne važnosti bila su oštećenja zagrebačkih bolnica. U potresu su stradali Klinički bolnički centar (KBC) Rebro, Klinika za ženske bolesti i porode u Petrovoj ulici, Klinika za traumatologiju u Draškovićevoj ulici, KBC Sestre Milosrdnice, Zagrebačka katedrala, bazilika Srca Isusova u Palmotičevoj, palača Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti, glavna zgrada Pravnog fakulteta, muzej za umjetnost i obrt, arheološki muzej te Hrvatsko narodno kazalište.



SLIKA 9. PROSTORNI RASPORED OŠTEĆENIH ZGRADA



Najalost, uz veliku materijalnu štetu na građevinama u epicentralnom području i naročito u središnjoj, staroj jezgri Zagreba, urušavanjem dijela zgrade u Đorđićevoj ulici teško je ozlijeđena 15-godišnja djevojčica, koja je naredni dan preminula u Klajićevoj bolnici.

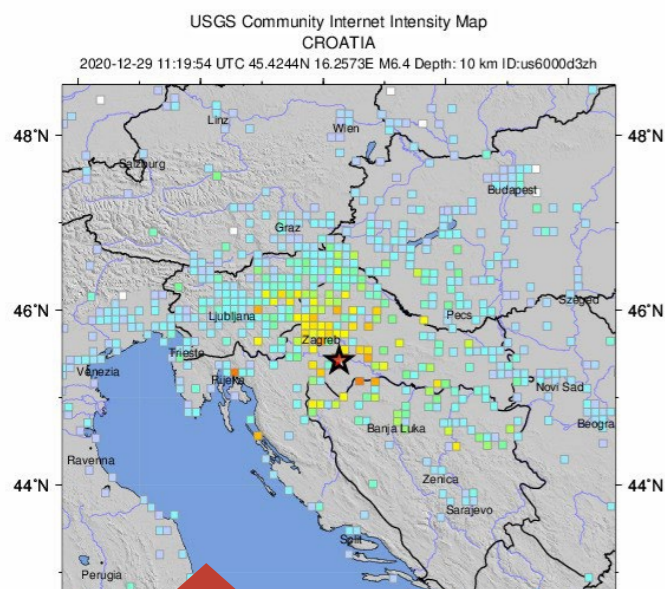
SLIKA 8. REZULTATI PROCJENA OŠTEĆENJA GRAĐEVINA NAKON POTRESA U ZAGREBU 2020.



POTRES U PETRINJI

29.12.2020.

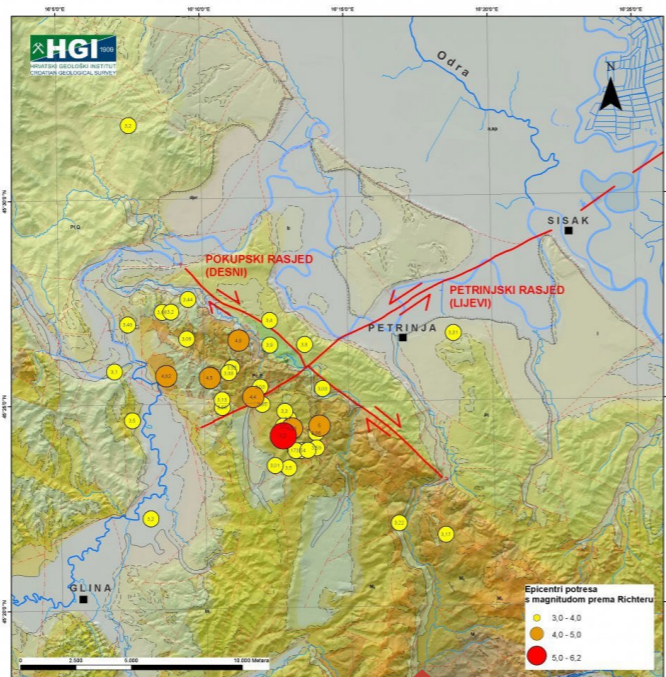
Kao da jedan potres usred pandemije nije bio dovoljan, još je jedan uzdrmao Hrvatsku. 29. prosinca 2020. godine u 12:19 sati Sisačko-moslavačku županiju pogodio je potres magnitude 6,4 prema Richterovoj ljestvici s epicentrom 3 km jugozapadno od grada Petrinje (naselje Strašnik) i dubinom od 10 km. Maksimalni intenzitet osjećaja procijenjen je na VIII (jako štetno) do IX (razorno) stupanj na europskoj makroseizmičkoj ljestvici. Ovom su događaju prethodila tri velika potresa, od kojih najjači magnitude 5,2 MW. Nakon ovoga, uslijedila je serija nekoliko stotina potresa, od kojih najjači magnitude 5,0 po Richterovoj ljestvici. Potres se, osim u cijeloj Hrvatskoj, osjetio i u dijelovima Austrije, BiH, Crne Gore, Češke, Italije, Mađarske, Slovenije, Srbije, Rumunjske, Slovačke i Njemačke (Slika 10).



SLIKA 10. USGS KARTA INTENZITETA OSJETA POTRESA

narida i Panonskog bazena. No, iako se potres dogodio na rasjedu, uzrok nastanka je daleko od grada Petrinje i same Banovine. Naime, rasjedanje je posljedica podvlačenja ploča. U ovom slučaju uzrok je podvlačenje Jadranske mikroploče pod Euroazijsku litosfernu ploču.

U razdoblju od 4. do 28. siječnja 2021. godine, službenici Državne geodetske uprave obavili su kontrolnu izmjeru homogenih polja stalnih točaka geodetske osnove na području Gline, Petrinje i Siska u svrhu određivanja pomaka tla na potresom



SLIKA 11. POKUPSKI I PETRINJSKI RASJED

pogođenom području. Na širem epicentralnom području u krugu od 10 - 15 km, uz točke homogenih polja, obavljena su mjerenja i na točkama GPS mreže 2. reda te trigonometrijskim točkama koje su mjerene za računanje transformacijskih parametara i izrada T7D modela. Tri terenske ekipe obavile su mjerenja na ukupno 84 točke koristeći visokoprecizni servis pozicioniranja CROPOS VPPS. Koordinate točaka su određene u službenoj ravninskoj projekciji HTRS96/TM i službenom visinskom referentnom sustavu HVRS71.

POMACI [m] HTRS96/TM	HP PETRINJA			HP GLINA			HP SISAČ			~ 10 - 15 km od EPICENTRA		
	DE	DN	DH	DE	DN	DH	DE	DN	DH	DE	DN	DH
MIN	0,10	-0,29	-0,16	-0,07	0,02	-0,22	0,01	0,00	-0,12	-0,37	-0,31	-0,17
MAX	0,86	0,04	0,10	0,03	0,10	-0,04	0,15	0,08	0,07	0,53	0,40	0,14
SREDNJA VRIJEDNOST	0,45	-0,15	-0,01	-0,02	0,06	-0,10	0,09	0,04	-0,05	0,01	0,01	-0,02

TABLICA 3. - VRIJEDNOSTI MINIMALNIH I MAKSIMALNIH POMAKA TE SREDNJIH VRIJEDNOSTIMA POMAKA STALNIH TOČAKA GEODETSKE OSNOVE

Na temelju analize koordinata stalnih točaka geodetske osnove prije i nakon potresa utvrđeno je da se najveći pomak zemlje dogodio upravo na području epicentra (grad Petrinja) i to za čak 45 cm u smjeru jugoistoka dok srednje vrijednosti pomaka za Glinu iznose 10 cm u smjeru sjeverozapada i 10 cm u smjeru sjeveroistoka za područje Siska. Također, dokazan je i visinski pomak zemlje od čak 10 cm (spuštanje tla) za područje Gline (URL 14).

PROSTORNA ANALIZA POSLJEDICA PETRINJSKOG POTRESA

Na području Petrinje i Siska zabilježena je golema materijalna šteta; uglavnom je bila riječ o napuknutim zidovima, otpaljoj fasadi, žbuki te srušenim dimnjacima. Prema prvim procjenama postojali su stanovi neupotrebljivi za daljnje stanovanje. Okolica Petrinje i Gline teško je stradala. Sisačka je biskupija objavila da je u potresu stradala sisačka katedrala Uzvišenja Svetog Križa, crkva i župna kuća u Selima i Gori, župna crkva u Žažini, Peščenici, Odri, Hrastovci, Hrvatskom Čuntiću i Petrinji, kapela Pohoda Blažene Djevice Marije u Sisku i kapela sv. Jakova u Mošćenici. Oštećeno je preko 38 000 stambenih objekata, a prema podacima Sisačko-moslavačke županije do 24. rujna 2021. pregledano je 38 094 objekata te ih je 4 285 neupotrebljivo, a 8 315

objekata je privremeno neupotrebljivo (URL 15). Većina oštećenih zgrada je građena od nearmiranog zida i opeka koje su izgubile svojstva, kao i mort koji

ih povezuje, odnosno vezivni materijal. Ima i nove gradnje koja je stradala, ali gotovo u 95 posto slučajeva je stara. Najbolje su prošle drvene kuće jer su lagane i imaju sposobnost velikog prigušenja udara i velikog utroška energije.

Razorni potres, osim što je odnio mnoge domove, nanio je štetu i na prometnicama, mostovima kao i nasipima, a kao posljedica pojavila se i likvefakcija (pješčani ili muljni vulkani) i postseizmičke usjedne i sufozijske ponikve. Likvefakcija je proces tečenja podloge usred saturacije sedimenta vodom (URL 17). Taj proces najizraženiji je na pjeskovitom i vodom bogatom tlu. Na području Petrinje i Gline te njihovih okolnih naselja, tlo ispod površine čine naslage pijeska nastale plavljenjem rijeka Kupe, Save i Gline. Likvefakcija je uočena u Petrinji, Glini, selima Mečenčani, Brest, te u sisačkim prigradskim naseljima Galdovo i Topolovac. Najopasniji oblik likvefakcije su „rupe“ odnosno ponikve okruglog oblika. Ponikve su velikih dimenzija (najveća preko 25 m u promjeru), šire se, a i konstantno se pojavljuju nove (Slika 12).



SLIKA 12. LIKVEFAKCIJA TLA U MJESTU GLINA KOD PETRINJE

Potres u Petrinji, osim što je donio brojne materijalne štete, nažalost je odnio sedmero života, od toga petero u Majskim Poljanama, a preostali u Žažini i Petrinji.



PREDVIĐANJE POTRESA

Potres je prirodna pojava koja obično nastupa bez prepoznatljivog prethodnog upozorenja. Kako ga predvidjeti? To je pitanje koje nema direktnog odgovora. Od kraja 19. stoljeća istražuju se razni potencijalni prethodni signali potresa, no ništa nije bilo skroz efikasno. Seizmolozi su postali optimistični tek kada su se za predviđanje potresa počela koristiti geodetska GPS mjerenja. Tako je predviđanje potresa postala jedna od glavnih zadaća seizmologije. Ona obuhvaća specifikaciju vremena, mjesta i magnitude budućih potresa unutar navedenih granica. Unatoč značajnim istraživačkim naporima seizmologa, znanstveno ponovljiva predviđanja još se ne mogu napraviti za određeni dan ili mjesec.

Vrijedi spomenuti da je uspješan primjer prognoze razarajućeg potresa, i to njegovog mjesta, jačine i vremena koji se dogodio 4. veljače 1975. godine kod Haichenga u sjeveroistočnoj Kini. Prognoza je uslijedila nakon dugotrajnih ponavljanja preciznih geodetskih (i drugih) mjerenja, koji su omogućili korektno obuhvaćanje nastalih deformacija Zemljine površine neposredno prije razornog potresa. Zbog toga je izbjegnuta velika katastrofa uzrokovana razornim potresom magnitude 7,3 stupnja pošto su stanovnici napustili svoje kuće 6 sati prije nastupa potresa. Također, vrijedi spomenuti da je i Japan smješten na tektonski vrlo nestabilnom području na kojem se sudaraju ploče Zemljine kore: Pacifička, Filipinska, Sjevernoamerička i Euroazijska. Iz tog razloga se događaju česti potresi u Japanu te je potpuno razumljivo da su Japanci jako zainteresirani za predviđanje potresa. Zato nije ni čudo da su uložili znatna financijska sredstva za izgradnju guste mreže GPS-permanentnih stanica. U Japanu su tako postavili mrežu od 1200 GNSS permanentnih stanica, a S. Murai i H. Araki patentirali su pronalaženje GNSS signala prije potresa računanjem površina trokuta u čijim vrhovima se nalaze GNSS stanice. Prethodni GNSS signal za potres prije potresa nalazili su kad je promjena

površine trokuta u jednom danu bila veća od 3 sigma (grube pogreške mjerenja). Za 162 potresa većih od magnitude 6 stupnjeva po Richteru u Japanu dobili su prethodni GNSS signal za potrese prije potresa od jednog do 90 dana.

CROPOS (Croatian Positioning System) sustav čine 33 referentne GNSS stanice na međusobnoj udaljenosti od 70 km raspoređenih tako da prekrivaju cijelo područje Republike Hrvatske u svrhu prikupljanja podataka satelitskih mjerenja i računanja korekcijskih parametara. Korekcijski parametri bit će dostupni korisnicima na terenu putem mobilnog Interneta (GPRS/GSM). Kako bi i rubna područja Hrvatske bila bolje pokrivena, u rad CROPOS-ova sustava uključene su i neke točke iz susjednih država koje imaju svoje pozicijske sustave. Tako je na osnovi međudržavne razmjene podataka mjerenja u CROPOS uključeno 7 točaka iz Slovenije, 4 točke iz Mađarske, 2 točke iz Crne Gore

točaka iz Bosne i Hercegovine (slika 2) (Marjanović i dr. 2009, Marjanović 2011, Pavasović i dr. 2015, Ciprijan i dr. 2015). Pozicijski sustav CROPOS ima znatne perspektive primjene i u geodinamici te u mogućnostima eventualne pomoći u predviđanju potresa u Hrvatskoj, ali i u susjednim državama i zemljama koje imaju sustave s permanentnim referentnim GNSS-postajama.

Uradu Solarić, N. i dr. analizirane su promjene duljina stranica između GNSS postaja u CROPOS-u te promjene njihovih visina prije, za vrijeme i nakon potresa u Drežnici 2013. godine. Iz dobivenih rezultata bilo je vidljivo da se obala u Senju prije potresa u Drežnici uzdizala u vremenu od dvadesetak dana i da će vjerojatno doći do potresa. Osim toga uočeno je da je dva dana prije potresa u Drežnici došlo do kompresije terena, koja je bila mala jer je potres koji je slijedio bio male magnitude. Prema tome može se zaključiti da je korisno ovom GNSS metodom pratiti promjene Zemljine kore uz

rokovane tektonskim pokretima. Tako će se uz ostale geofizičke i satelitske metode moći pravilnije predvidjeti dolazak potresa.

No, iako je spomenut uspješan primjer predviđanja potresa, može li se svaki potres tako predvidjeti i to njegova lokacija, jačina i vrijeme? Zemlja je ipak vrlo složena cjelina da bi odjednom mogli predvidjeti sva ta tri parametra. Najbolje što je po tom pitanju napravila svjetska seizmologija jest rano upozorenje na nadolazeći potres. Ipak, upozorenja se mogu izdati samo nekoliko sekundi prije potresa, a za njihovo je kreiranje potrebna kompleksna i skupa mreža seizmografa. U Japanu su uspješna takva upozorenja jer se potresi najčešće događaju u Tihom oceanu pa do dolaska valova do gradova protekne i 90 sekundi. Problem u slučaju zagrebačkog i petrinjskog potresa je taj što su izvori potresa previše blizu grada da bi se na vrijeme mogao detektirati potres i odaslati rano upozorenje.

Iz svega navedenog vidljivo je da je predviđanje potresa još dan danas "kvantna fizika" seizmologa, ali i nas geodeta. Poput nevremena i bolesti, potres je neizbježna sila generirana od moćnih prirodnih procesa koji oblikuju naš planet. Jedna od najvećih poteškoća u predviđanju potresa je ta što se smatra da mali potresi kao i veći počinju na isti način unatoč tome što u konačnici imaju različite jačine i trajanja. Stoga je jako teško pronaći jednostavan način za predviđanje potresa te još uvijek ne postoje znanstvene teorije koje bi ga mogle predvidjeti. Jedino što trenutno možemo napraviti je samo raditi i proširivati razumijevanje ovog fenomena te probati razviti najbolje načine da se nosimo s potresom. Učinkovito predviđanje potresa tek treba dokazati te se nadamo da ćemo i mi, kao budući geodeti, pripomoći u tom procesu.



Izvor: medium.com

i
5

LITERATURA:

McKenzie, D. 1972. Active Tectonics of the Mediterranean Region. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, Volume 30. str. 109–185.

Bašić T. (2020): Prezentacija iz predmeta Geofizička geodezija

Herak, M; Herak, D; Markušić, S. 1996. Revision of the earthquake catalogue and seismicity of Croatia, 1908–1992. Terra Nova, br. 8. str. 86–94.

POPIS URL-OVA:

URL 1: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Potres> (pristupljeno listopad 2021.)

URL 2: Karta seizmičnosti Hrvatske, <http://www.gfz.hr/seismap.php>, (pristupljeno listopad 2021.)

URL 3: Karta potresnih područja, <http://seizkarta.gfz.hr/karta.php> (pristupljeno listopad 2021.)

URL 4: Geografski Horizont, https://issuu.com/h.g.d./docs/gh2020_2 (pristupljeno listopad 2021.)

URL 5: Interaktivna mapa Hrvatske, <http://apps.jutarnji.hr/globe/> (pristupljeno listopad 2021.)

URL 6: https://hr.wikipedia.org/wiki/Potres_u_Zagrebu_2020. (pristupljeno listopad 2021.)

URL 7: Osvrt na potres u Zagrebu <https://www.rgn.unizg.hr/hr/izdvojeno/2587-osvrt-na-potres-u-zagrebu-2020-godine-autor-teksta-je-prof-dr-sc-bruno-tomljenovic> (pristupljeno listopad 2021.)

URL 8: https://hr.wikipedia.org/wiki/Potres_kod_Petrinje_2020. (pristupljeno listopad 2021.)

URL 9: List studenata Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, hrcak.srce.hr (pristupljeno listopad 2021.)

URL 10: <https://www.total-croatia-news.com/interviews/49805-croatia-earthquakes> (pristupljeno listopad 2021.)

URL 11: Časopis Građevinar, <http://casopis-gradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE-72-2020-4-6-R1.pdf> (pristupljeno listopad 2021.)

URL 12: USGS, <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us70008dx7/map> (pristupljeno listopad 2021.)

URL 13: Jutarnji list, <https://www.jutarnji.hr/vijesti/hrvatska/ovo-je-bio-najjaci-potres-otkad-u-hrvatskoj-postoje-seizmografi-uzrok-daleko-od-petrinje-15039948> (pristupljeno listopad 2021.)

URL 14: Novi list, <https://www.novolist.hr/novosti/hrvatska/petrinja-i-sisak-pomaknuli-se-i-do-86-centimetara-podrucje-gline-pak-potonulo-je-za-deset-centimetara/> (pristupljeno listopad 2021.)

URL 15: Sisačko-moslavačka županija podaci oštećenih objekata, <https://www.smz.hr/images/stories/potres/izvjesce2409.pdf> (pristupljeno listopad 2021.)

Fotografije na stranicama 60-61 i 64-65 preuzete su sa stranica: Jutarnjeg lista, Večernjeg lista, 24sata, Flickr.com, te Unsplash.com.

Studentski list Geodetskog fakulteta "Ekscentar" nije u vlasništvu ovih fotografija.