

O potresima u Hrvatskoj

Dasović, Iva; Herak, Davorka; Herak, Marijan; Latečki, Helena; Mustać, Marija; Tomljenović, Bruno

Source / Izvornik: **Vijesti Hrvatskoga geološkog društva, 2020, 57, 4 - 27**

Journal article, Published version

Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:952624>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-29**



Repository / Repozitorij:

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



O POTRESIMA U HRVATSKOJ

Iva Dasović, Davorka Herak, Marijan Herak, Helena Latečki, Marija Mustać i Bruno Tomljenović

Premda su potresi prirodne pojave koje mogu značajno utjecati na život ljudi u tektonski aktivnim područjima, nažalost s materijalnim pa i katastrofalnim posljedicama, za geoznanstvenike, a naročito za seizmologe, oni su prozori pomoću kojih posredno promatraju u unutrašnjost Zemlje. Njihove pojave ukazuju nam na aktivne geodinamičke procese u Zemljinoj kori, a seizmički valovi koji pritom nastaju i koje oblikuje sredstvo kroz koje putuju idući od žarišta do površine, otkrivaju nam složenu građu našeg planeta ne samo u gornjem dijelu kore, već i u Zemljinom plaštu i jezgri. Iako su snažni potresi rijetki i kvaziperiodički (ponavljaju se u nepravilnim razmacima), oni slabi česta su pojava. S obzirom da i mi u Hrvatskoj živimo u seizmički aktivnom području, na što nas je ponovno podsjetio i proljetni zagrebački potres, namjera ovog osvrtaja je odgovoriti na pitanja koja u takvim trenucima često postavljaju osobe koje su izravno ili neizravno povezane s potresom – zašto se potresi događaju u Hrvatskoj, tko ih i kako bilježi, jesu li prostorno jednoliko raspoređeni, za što se koriste zabilježeni potresni podaci, u kojoj se mjeri mogu predvidjeti mjesta, jačine i pojave budućih potresa, odnosno kolika je potresna opasnost (seizmički hazard), a kolika je potresna ugroženost (seizmički rizik) u pojedinim područjima Hrvatske? Na kraju, ovaj osvrt posvećen je zagrebačkom potresnom području i njegovim seizmotektonskim značajkama, s naglaskom na aktualnu potresnu seriju koja je započela potresom 22. ožujka 2020. godine.

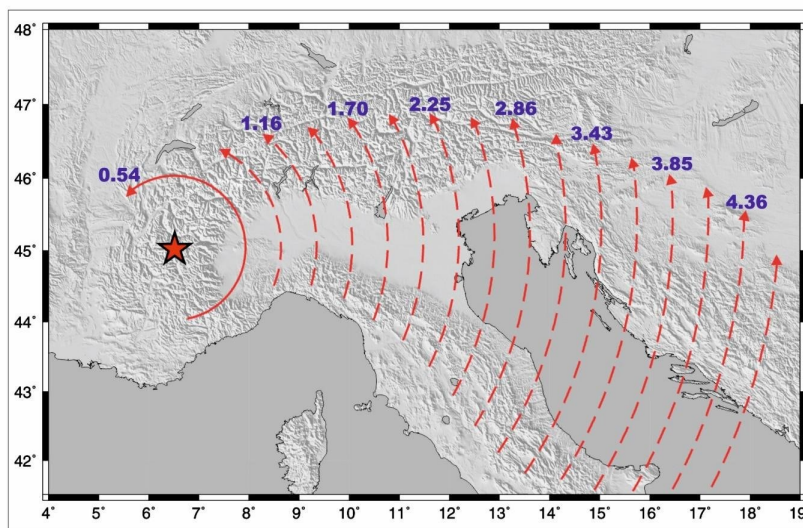
1. Zašto se u Hrvatskoj događaju potresi?

Područje Hrvatske nalazi se u dijelu Sredozemlja koje je seizmički i tektonski aktivno zbog konvergentnog kretanja Afričke (Nubijske) prema Euroazijskoj ploči, brzinom od oko 9 – 10 mm/god. na temelju GPS mjerenja (slika 1). Približno pola ovog konvergentnog kretanja konzumira se u aktivnim subdukcijskim zonama duž Helenskog i Kalabrijskog luka, dok se preostali dio prenosi prema sjeveru u relativno stabilni dio Jadranske



Slika 1. Geodinamska skica područja istočnog Sredozemlja i brzine konvergentnih kretanja Afričke (Nubijske), Anatolijske i Jadranske mikroploče prema Euroazijskoj ploči (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, preuzet iz Schmid i sur., 2020, označen je zelenom bojom).

mikroploče u Jonskom i Jadranskom moru, odakle se pak prenosi u okolne planinske lance Apenina, Alpa i Dinarida, a dijelom i u Panonski bazen u Hrvatskoj i Mađarskoj. Konvergentno kretanje u tom stabilnom dijelu Jadranske mikroploče u odnosu na Euroazijsku ploču je u rasponu od 0,5 do 4,5 mm/god., dijelom translacijom prema sjeveru i istovremenom rotacijom u smjeru obrnutom od kretanja kazaljki sata oko osi čiji se pol nalazi u zapadnim Alpama (slika 2). To kretanje lokalno se akumulira u stjenovitom, krutom dijelu kore u obliku tektonskih



Slika 2. Raspored i brzina konvergentnih kretanja (mm/god.) u stabilnom dijelu Jadranske mikroploče i u okolnim planinskim lancima proračunati na temelju GPS mjerenja (iz Weber i sur., 2010).

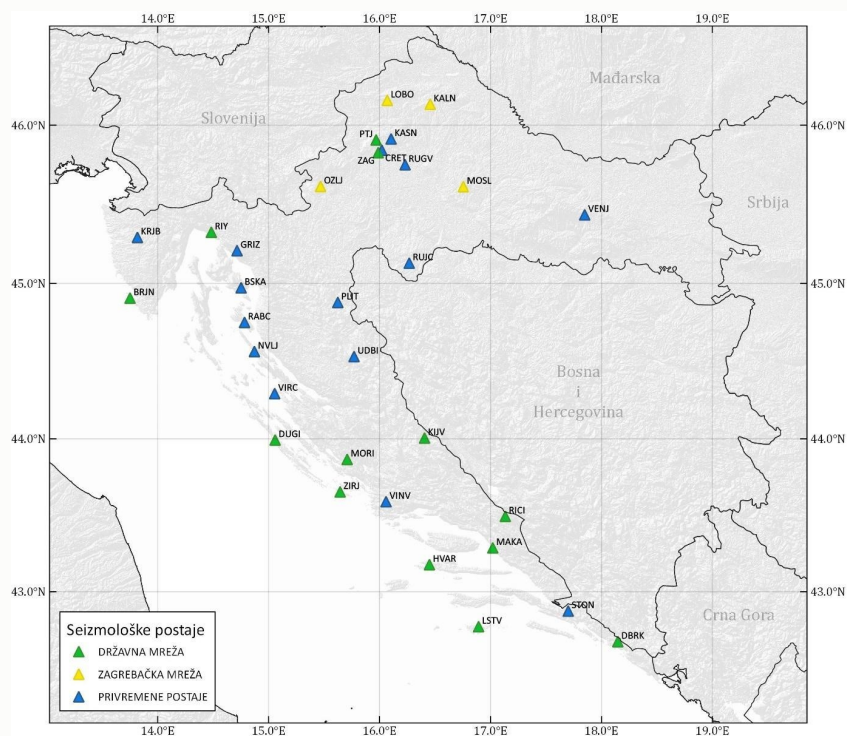
napetosti koje kad premaše granične vrijednosti posmične čvrstoće stijena ili postojećih rasjeda dovode do sloma i naglog otpuštanja dotad akumulirane energije u obliku seizmičkih valova – nastaje potres.

Središnji i relativno stabilni dio Jadranske mikroploče, u kojem se jaki potresi rijetko pojavljuju ili pak dosad nisu zabilježeni, tek je manji dio nekada prostranije tektonske ploče, preostao nakon alpske orogeneze tijekom koje su se njeni rubni dijelovi postupno ugrađivali u okolne planinske lance, dijelom podvlačenjem i navlačenjem, a na kraju i njenom kolizijom s Euroazijskom pločom. Tom su se kolizijom, koja se u Dinaridima odigrala duž Savske (suturne) zone krajem krede i početkom paleogena, istočni dijelovi Jadranske ploče ugradili u planinski lanac Unutrašnjih Dinarida, odakle su napredovanjem navlaka prema jugozapadu, i njeni preostali dijelovi postupno ugrađeni u pojas Vanjskih Dinarida tijekom eocena i oligocena. Preostali, najmanje deformirani dio Jadranske mikroploče, koji se tijekom dugotrajne alpske orogeneze nije ugradio u planinski lanac Dinarida, nalazi se jugozapadno od navlačnog čela Vanjskih Dinarida u podmorju Jadrana, a dijelom i na površini u dijelu Istarskog poluotoka jugozapadno od Učke i Ćićarije. Taj dio Jadranske mikroploče, zajedno s onim ispred čela navlaka u južnim Alpama, Apeninima i Helenidima danas čini njen relativno stabilan dio koji je seizmički najmanje aktivan. Ipak, u novije vrijeme seizmička aktivnost zabilježena je i u tom dijelu mikroploče, više izražena u središnjem i južnom dijelu, znatno manje izražena u sjevernom dijelu od linije Ancona – Zadar.

2. Tko, kako i otkad bilježi potrese u Hrvatskoj?

Seizmičku aktivnost na području Hrvatske sustavno bilježe Seizmološka služba i Geofizički zavod pri Geofizičkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Hrvatska seizmografska mreža (doi: 10.7914/SN/CR; slika 3) danas se sastoji od 32 suvremena digitalna trokomponentna širokopojasna seizmografa na postajama koje pokrivaju cijeli hrvatski teritorij od Kalnika do Lastova, od Brijuna do Dubrovnika. Svi se podaci u realnom vremenu skupljaju u centralnom opservatoriju u Zagrebu





Slika 3. Hrvatska mreža seizmoloških postaja (stanje u lipnju 2020. godine).

koji je s postajama povezan internetskim vezama (CARNet, satelitski prijenos, mobilne mreže). U ovom trenutku, svake se sekunde u prosjeku bilježi oko 7500 podataka koji se svi arhiviraju i čuvaju na tri međusobno neovisna servera.

Analizom digitalnih seizmograma potrese je moguće locirati te im odrediti vrijeme nastanka i magnitudu (M), što su ujedno i osnovni podaci koje sadrži Hrvatski katalog potresa (HKP, Herak i sur., 1996, dopunjen do kraja 2019. godine). Uz rutinsku, svakodnevnu analizu, seizmogrami omogućuju i dublji uvid u svojstva potresnih izvora (npr. određivanje mehanizma pomaka na seizmogenom rasjedu), kao i u karakteristike Zemljine

unutrašnjosti. Uz podatke prikupljene analizom seizmograma (mikroseizmički podaci), važnu ulogu imaju i makroseizmička istraživanja koja se provode nakon svakog osjećenog potresa. Pri tome se sustavno prikupljaju i arhiviraju podaci o efektima pojedinog potresa na predmete, građevine, ljude i okoliš gdje god se potres osjetio. Time je omogućena i procjena intenziteta potresa (I) u pojedinom mjestu. Intenzitet se izražava u stupnjevima makroseizmičke ljestvice – u Hrvatskoj se tradicionalno koristila Mercalli-Cancani-Siebergova (MCS) ljestvica od 12 stupnjeva, koju je danas zamijenila Europska makroseizmička ljestvica (EMS). Iako su definicije pojedinih stupnjeva ponešto različite (u EMS su bolje prilagođene suvremenim načinima gradnje), numerički se MCS i EMS u prosjeku ne razlikuju.

Prikupljanje podataka o potresima i njihova obrada u Hrvatskoj počinje nakon velikog zagrebačkog potresa 1880. godine kad je tadašnja Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti osnovala „Potresni odbor“ na čelu s Josipom Torbarom, a za potrebe znanstvenog istraživanja tog potresa. Godine 1882. JAZU osniva stalni „Odbor za opažanje potresnih pojava“ na čelu s Josipom Torbarom. Torbar je sastavio opširne Upute za opažanje potresnih pojava i posebni upitni arak, koji su u siječnju 1883. godine razaslani povjerenicima u sva veća mjesta. Članom tog Odbora postao je i Mijo Kišpatić koji se već otprije zanimao za pojavu potresa. Kako navodi Dragutin Skoko (2002): „Akademijin odbor angažirao se na prikupljanju podataka o učincima naših potresa počam od 1883. i njihovom proučavanju. Istraživanja su obuhvatila tadašnju Hrvatsku, Slavoniju i Dalmaciju te Bosnu i Hercegovinu. Podaci su objavljeni u Akademijinim „Radovima“ pod nazivom Izvješće potresnog odbora. Glavni posao Odbora obavljao je, međutim, sam Mijo

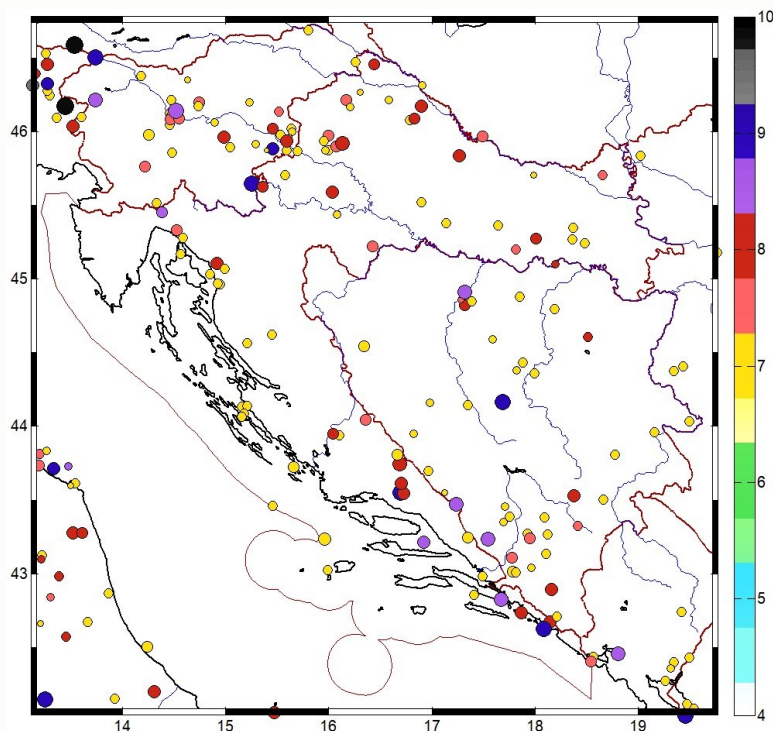


Kišpatić te je i jedini autor Izvješća. Počam od 1891. čak je i naziv izvješća promijenjen u Potresno izvješće. U isto vrijeme i Meteorološki opservatorij u Zagrebu, počinje se angažirati u redovitom bilježenju svih potresa koji su se osjetili u Zagrebu nakon potresa 8. studenog 1880. Dolaskom Andrije Mohorovičića u Zagreb, gdje 1892. godine postaje upraviteljem Opservatorija, počinje njegova intenzivna suradnja s Kišpatićem te se Opservatorij počam od 1893. uključuje u sustavno prikupljanje podataka o potresima“. Kišpatić početkom 1906. prestaje s radom na prikupljanju podataka o potresima a nasljeđuje ga Andrija Mohorovičić koji je zaslužan da je na zagrebačkom Griču 1906. godine postavljen najprije posuđeni seizmograf Vicentinijeve konstrukcije, da bi ga 1908. i 1909. godine zamijenio kvalitetnim Wiechertovim seizmografima. Time je osnovana i zagrebačka seizmološka postaja, a Wiechertovi seizmografi bili su glavni instrumenti u Hrvatskoj sve do 1980-ih. Sustavno prikupljanje podataka o potresima u Hrvatskoj i njihovo katalogiziranje započelo je početkom 70-ih godina 20. stoljeća nakon modernizacije seizmološke mreže postaja u sklopu UNDP/UNESCO projekta „Istraživanje seizmičnosti na području Balkana“ (Shebalin i sur., 1974).

Istraživanje povijesnih potresa nije nimalo jednostavan zadatak jer zahtijeva pretraživanje arhivske građe u potrazi za informacijama, povratak primarnim izvorima i njihovu provjeru. Informacije je potrebno istovremeno analizirati i u kontekstu vremena u kojem su nastale i s aspekta suvremene seizmologije. Za područje Hrvatske proučavanje povijesnih potresa najčešće započinje pregledom rada „Potresi u Hrvatskoj“ Mije Kišpatića iz 1891. godine, a nastavlja se pretragom povijesnih spisa, časopisa i knjiga iz raznih arhiva i knjižnica, starih novina i sl.

3. Hrvatski katalog potresa

Podaci o povijesno i instrumentalno zabilježenim potresima pohranjuju se u Hrvatskom katalogu potresa (HKP), a sežu od 373. god. pr. Kr. s podatkom o potresu koji se tada dogodio u Korintskom kanalu u Grčkoj. Prvi i vrlo nepouzdana podaci o potresima u Hrvatskoj odnose se na potres koji se navodno zbio 306. godine kod današnjeg Opuzena. Svoj današnji oblik katalog je dobio pri reviziji za razdoblje 1908. – 1992. (Herak i sur., 1996) – katalog se redovito dopunjuje



Slika 4. Epicentri glavnih potresa s intenzitetom u epicentru $I_0 \geq VII$ °MCS (pr. Kr. – 2019. godine). Epicentri su slučajno pomaknuti za do ± 5 km kako bi se izbjeglo preklapanje. Nisu prikazani epicentri vrlo nepouzdanijih potresa, uglavnom prije 1750. godine. Intenzitet je označen bojom u skladu sa skalom na desnom rubu slike. Podaci iz Hrvatskog kataloga potresa reprezentativni su samo za teritorij Republike Hrvatske.

svake godine, a njegova najnovija inačica pohranjena je u arhivu Geofizičkog odsjeka PMF-a. Hrvatski katalog potresa navodi osnovne podatke (koordinate žarišta, vrijeme, magnitudu i intenzitet) za više od 135 000 potresa koji su se dogodili do kraja 2019. godine. Danas hrvatski seizmolozi u prosjeku godišnje lociraju i u katalog dodaju 10 000 – 12 000 potresa, od kojih je nešto više od polovine s epicentrima u Hrvatskoj.

Na slici 4 prikazana je karta s epicentrima potresa intenziteta u epicentru $I_0 \geq VII$ °MCS (koliko iznosi i procijenjeni intenzitet i glavnog zagrebačkog potresa 2020. god.). Unutar hrvatskih granica u Katalogu takvih potresa ukupno ima 110, a od početka 19. stoljeća do danas navedeno ih je 73 – dakle u prosjeku jedan svake tri godine! Karta pokazuje i to da su potresi sposobni uzrokovati znatnu štetu događaju – rijetko, ali ipak(!) – i u inače seizmički slabo aktivnim područjima poput Međimurja, Slavonije, Baranje ili Like (vidi i tablicu 1).

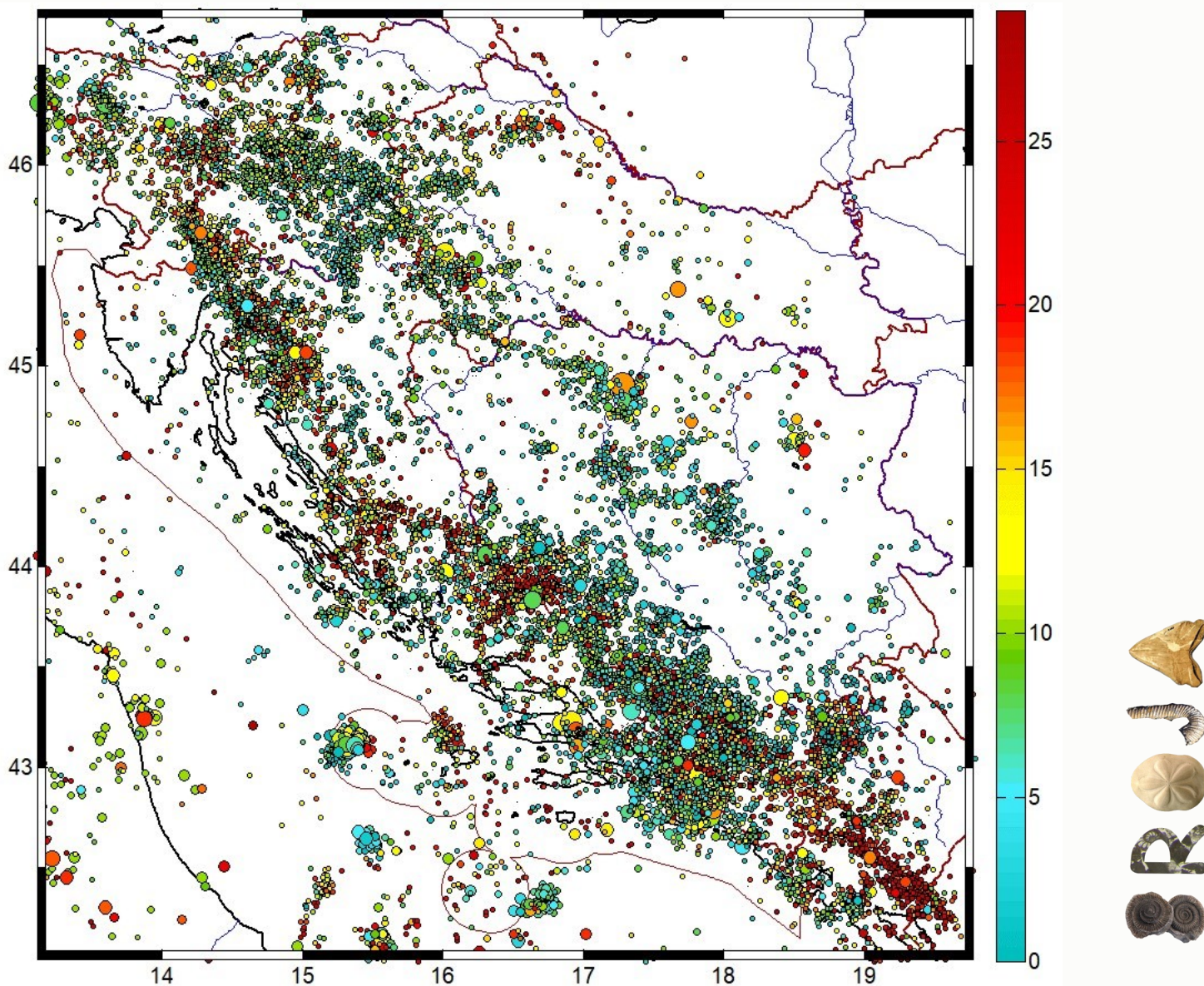
Slika 4 prikazuje i nekoliko razornih potresa od kojih su najpoznatiji Veliki zagrebački potres iz 1880. godine te potres u Dubrovniku iz 1667. godine. Popis značajnih i snažnih potresa (prema intenzitetu) koji su se dogodili u Hrvatskoj od 17. stoljeća do 2019. godine prikazan je tablicom 1. Neki od njih su poslužili kao poticaj i predmet istraživanja koji su doveli do novih spoznaja. Upravo su dva potresa s područja Hrvatske odigrala važnu ulogu u počecima seizmologije: Pokupski potres iz 1909. godine „zaslužan“ je za Mohorovičićevo otkriće diskontinuiteta koji odjeljuje koru od gornjeg dijela plašta Zemlje (Mohorovičić, 1910), dok je potres kod Klane 1870. godine poslužio za povezivanje svojstava lokalnog tla i stupnja oštećenja građevina, kao i za klasifikaciju potresa prema njihovom uzroku (Herak i sur., 2018).

Slikom 5 prikazana je tzv. instrumentalna seizmičnost, dakle epicentri potresa nakon 1908. godine koji su locirani na temelju podataka očitanih sa seizmograma. Prikazano je više od 22 500 epicentara pouzdano lociranih potresa magnitude $M \geq 1,0$ prema Richteru, za koje je postojalo barem deset očitanih nastupnih vremena faza potresa, te za koje je

Tablica 1. Dvanaest značajnih potresa intenziteta u epicentru $I_0 \geq VIII$ °MCS koji su se dogodili u Hrvatskoj od 17. stoljeća do 2019. godine.

Datum	Mjesto	Magnituda	I_0
6. travnja 1667.	Dubrovnik	7,1*	IX – X
30. ožujka 1738.	Međimurje	5,1*	VIII
1. ožujka 1870.	Klana	5,5*	VIII
9. studenog 1880.	Zagreb	6,2*	VIII
2. srpnja 1898.	Trilj	6,7*	IX
8. listopada 1909.	Pokuplje	5,8	VIII
12. ožujka 1916.	Vinodol	5,8	VIII
27. ožujka 1938.	Bilogora	5,6	VIII
29. prosinca 1942.	Imotski	6,2	VIII – IX
11. siječnja 1962.	Makarska	6,1	VIII – IX
13. travnja 1964.	Dilj Gora	5,7	VIII
5. rujna 1996.	Ston-Slano	6,0	VIII
* Povijesni potresi – magnituda je procijenjena iz intenziteta.			





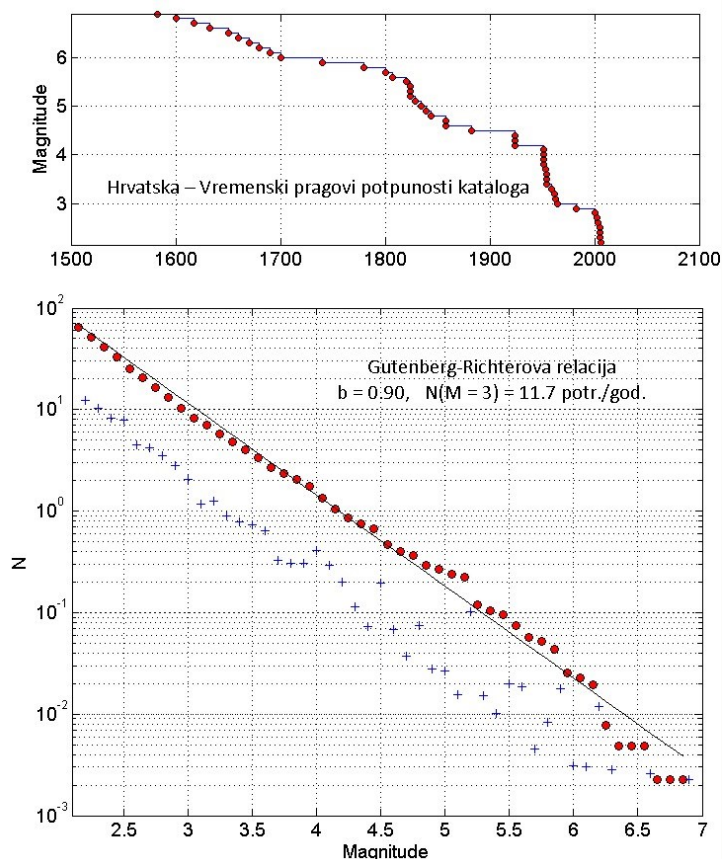
Slika 5. Epicentri potresa, 1908. – 2019. godine, magnitude $M \geq 1,0$ locirani s najmanje deset podataka o nastupnim vremenima faza potresa, te s rezultatnom pouzdanošću lokacije bolje od ± 4 km. Dubina žarišta označena je bojom prema skali na desnom rubu slike, dok je magnituda proporcionalna površini simbola. Podaci iz Hrvatskog kataloga potresa reprezentativni su samo za područje Republike Hrvatske.

numerička nepouzdanost lokacije epicentra bila manja od 4 km. Na slici se jasno ocrtavaju glavna seizmički aktivna područja.

Podaci arhivirani u Katalogu sustavno se analiziraju uz opetovane proračune radi preciznije odredbe lokacija žarišta i epicentara zabilježenih potresa. Također, ti se podaci periodički objavljuju u znanstvenim publikacijama (npr. Ivančić i sur., 2002, 2006, 2018; Herak i sur., 1996, 2019; i dr.).

Kako se na temelju kataloga potresa statistički procjenjuje vjerojatnost događanja potresa određene magnitude na nekom mjestu, katalogi moraju biti homogeni i potpuni. Idealni katalog bi sadržavao podatke o svim potresima iznad određenog magnitudnog praga na području koje pokriva, i to daleko u prošlost. Naravno, takvo što je nemoguće, jer je pokrivenost seizmografima uvijek vrlo nejednolika, te se mijenja s vremenom. Zbog toga je prije svake statističke analize nužno odrediti vremenske i prostorne pragove potpunosti kataloga čiji se podaci obrađuju. Pri tome iz kataloga valja najprije izbaciti sve prethodne i naknadne potrese, tako da u njemu ostanu jedino glavni potresi. To je nužno napraviti da bi u katalogu ostali samo međusobno nezavisni potresi, što je uvjet za daljnje korištenje pretpostavke o Poissonovoj razdiobi potresa. Slikom 6 prikazana je takva analiza za HKP te za glavne potrese unutar hrvatskih granica, kao i rezultatna razdioba potresa po magnitudi poznata pod nazivom Gutenberg-Richterova relacija: $\log N = a - bM$. Ovdje je N broj potresa s magnitudom M ili većom, a a i b su koeficijenti. Vrijednost b je obično blizu $b = 1,0$, što znači da se broj potresa poveća 10 puta kada se magnituda smanji za jedinicu magnituda.

Sa slike vidimo da se potpunost kataloga za područje Hrvatske s protekom vremena pomiče prema sve manjim magnitudama – dok je katalog potpun za magnituda veće od 7,0 još od 16. stoljeća, danas je njegova potpunost na razini $M \geq 2,0$. Potresi se ponašaju u skladu s Gutenberg-Richterovom relacijom uz koeficijent $b = 0,90$, pa je moguće izračunati da će se npr. u prosjeku svake godine dogoditi dvanaestak potresa magnitude veće ili jednake $M = 3,0$, dok će se potresi magnitude $M = 6,0$ ili veći događati u



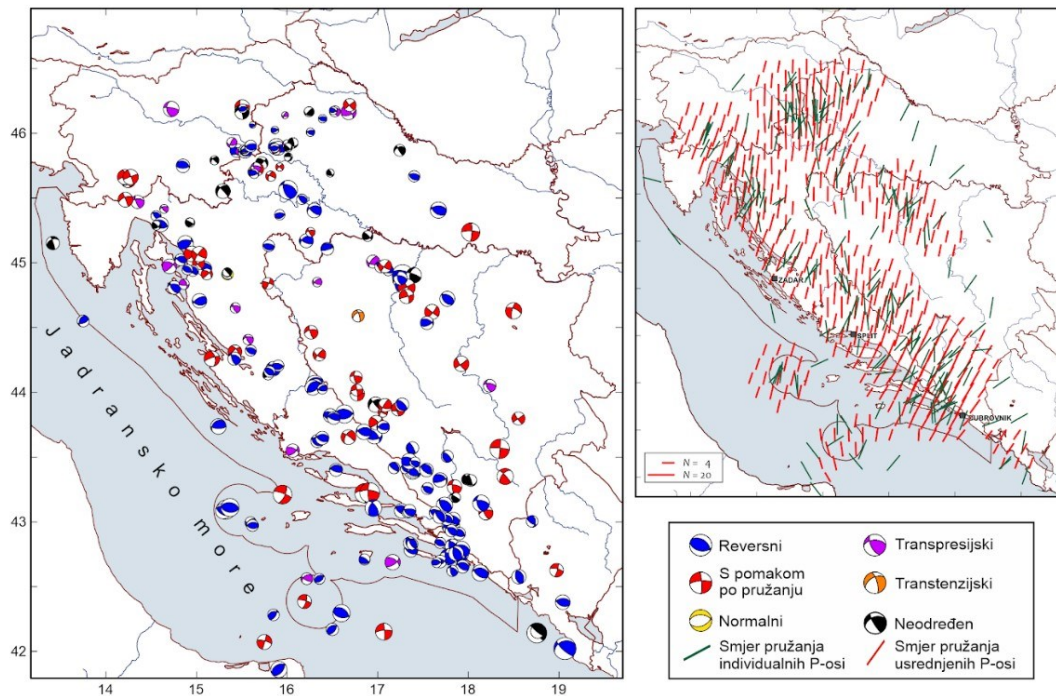
Slika 6. Gore: Potpunost Hrvatskog kataloga potresa prema magnitudi (M) za glavne potrese unutar hrvatskih granica u ovisnosti o vremenu. Dolje: Opažena čestina događanja potresa prema magnitudi (za magnituda $M \geq 2,2$) u logaritamskom mjerilu sa širinom klase magnituda $\Delta M = 0,1$. Crveni kružići prikazuju kumulativne čestine (broj potresa/god. s magnitudom $\geq M$), a plavi obične, nekumulativne čestine (broj potresa/god. s magnitudom između $M + \Delta M/2$ i $M - \Delta M/2$). Crna linija je prilagodba Gutenberg-Richterove relacije $\log(N) = a - bM$.

prosijeku jednom u 45 godina. Ovo se ne smije shvatiti kao periodičnost – navedeni su tek prosječni razmaci među sličnim potresima u veoma dugom vremenskom razdoblju!

4. Prostorna razdioba potresa u Hrvatskoj i vrste seizmogenih rasjeda na kojima nastaju

Prema podacima Hrvatskog kataloga potresa, epicentri potresa nisu jednoliko raspoređeni na području Hrvatske, već su najviše koncentrirani u trima područjima: u priobalnom području Dalmacije i njenom zaleđu, u priobalnom pojasu Hrvatskog primorja od Ilirske Bistrice u Sloveniji do Senja i u sjeverozapadnom području Hrvatske (slika 5).

Najizraženija seizmička aktivnost prisutna je u području Dalmacije i u njenom zaleđu, gdje je i konvergentno kretanje Jadranske mikroploče u odnosu na Euroaziju s najvišim proračunatim vrijednostima oko 4,5 mm/god. (slika 2). U tom području prevladavaju potresi nastali u kompresijskom režimu tektonske napetosti o čemu svjedoče žarišni mehanizmi načinjeni analizom prvih nailazaka P-valova zabilježenih na seizmogramima potresa toga područja (slika 7). Pružanje najdulje osi tektonske napetosti (P-osi) u ovom je području pretežito SI – JZ, odnosno okomito na dinaridsko pružanje SZ – JI i na pružanje glavnih seizmogenih, reversnih rasjeda. Osim ovih rasjeda, lokalno su u ovom području zabilježeni i potresi nastali u transpresijskom režimu tektonske napetosti, po rasjedima s pretežito horizontalnim pomakom, odnosno pomakom po pružanju, među kojima su najčešći oni s desnim



Slika 7. Prikaz žarišnih mehanizama potresa u Hrvatskoj i okolnim područjima, u razdoblju 1909. – 2016. godine.

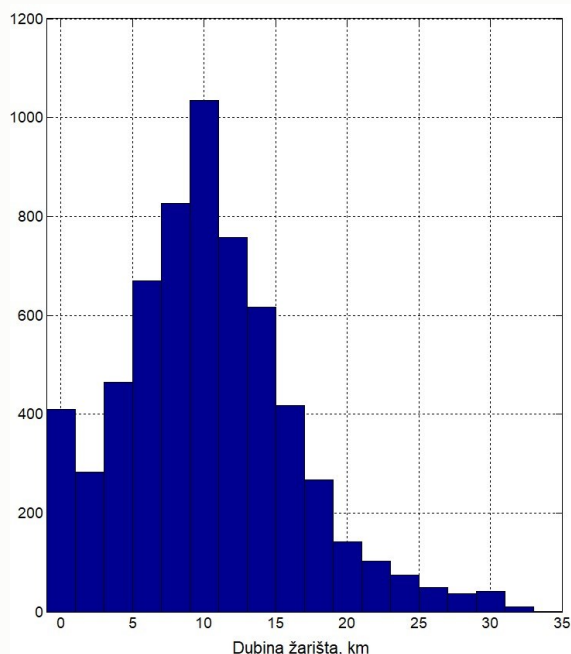
Mehanizmi su prikazani u stereografskoj projekciji na donju žarišnu hemisferu, a boja kompresijskog kvadranta označava režim tektonske napetosti, odnosno tip uzročnog rasjeda prema legendi. Prikazana su također i pružanja kompresijskih osi tektonske napetosti (P-osi) za pojedine potrese (zelene crte), kao i usrednjene kliznim prostornim prozorom (crvene crte). Prema Heraku i sur. (2016a).



pomakom i pružanjem SSZ – JJI. Bez obzira na ovu lokalnu razdiobu tektonske napetosti dijelom po reversnim, a dijelom po desnim rasjedima, pružanje P-osi je kod jednih i drugih prilično ujednačeno s pružanjem SI – JZ. Najjači potresi u ovom epicentralnom području zabilježeni su kod Dubrovnika ($I_0 = IX - X$ °MCS, 1667. godine; npr. Albin, 2015; Herak i sur., 2017a; Markušić i sur., 2017), Makarske ($M = 6,1$, 1962. godine; Herak i Herak, 2012) i Stona ($M = 6,0$, 1996. godine, Markušić i sur., 1998; Herak i sur., 2001; Govorčin i sur., 2020), a također i dosad najjači, instrumentalno zabilježeni potresi u crnogorskom primorju ($M = 7,1$ i $6,2$, 1979. godine) koji pripadaju istom regionalnom, seizmotektonskom pojasu koji se iz Dalmacije nastavlja prema JI u Crnu Goru i Albaniju.

Za razliku od područja Dalmacije, gdje su potresi raspoređeni u širokom pojasu idući od otoka preko priobalja i zaleđa u područje Bosne i Hercegovine, u epicentralnom području Hrvatskog primorja potresi su koncentrirani u relativno uskom, priobalnom pojasu koji se pruža od Senja do Ilirske Bistrice u Sloveniji u duljini oko 100 km. U ovom epicentralnom području, gdje je konvergencija Jadranske mikroplače prema Euroaziji s proračunatim vrijednostima između 3 i 3,5 mm/god. (slika 2), režim tektonske napetosti pretežito je transpresijski, s P-osi pružanja S – J i SI – JZ. Ta se napetost većinom oslobađa po seizmogenim rasjedima s desnim pomakom po pružanju SZ – JI, lokalno i u kombinaciji s reversnim rasjedima dinaridskog, ali i poprečnog pružanja SI – JZ (slika 7). Sličan režim tektonske napetosti, također i uz dominantne seizmogene rasjede s desnim pomakom po pružanju SZ – JI, nalazimo i sjevernije u području zapadne Slovenije u zoni dodira JI Alpa i SZ Dinarida. Najjači potresi u epicentralnom području Hrvatskog primorja i Kvarnera zabilježeni su kod Bakra ($I_0 = VII - VIII$ °MSK, 1750. godine, Herak i sur., 2017b), kod Rijeke i na Krku $I_0 = VII$ °MSK, 1838. godine, Herak i sur., 2017b), kod Klane ($I_0 = VIII$ °MSK, 1870. godine, Herak i sur., 2018), i kod Vinodola ($I_0 = VIII$ °MCS, 1916. godine).

U kontinentalnom SZ dijelu Hrvatske, koji obuhvaća dodirno područje sjeverozapadnih Dinarida, istočnih Alpa i jugozapadnog dijela Panonskog bazena, seizmičnost je uglavnom umjerena te popraćena rijetkim pojavama snažnih potresa. Ipak, kao što je i proljetos potvrđeno potresom u Zagrebu i umjereno jaki potresi imaju ovdje značajan utjecaj na potresnu opasnost i potresnu ugroženost. Epicentri potresa u ovom području uglavnom su koncentrirani u središtima i u rubnim dijelovima otočnih gora poput Žumberka, Medvednice, Ivanščice, Kalnika i Bilogore. Režim tektonske napetosti ovdje je pretežito kompresijski s pružanjem P-osi S – J, uz dominantno aktivne seizmogene rasjede s reversnim pomakom i pružanjem I – Z, odnosno SI – JZ, koji su nastali krajem miocena u završnoj fazi alpske orogeneze i tektonske inverzije u JZ dijelu Panonskog bazena. Uz ove reversne rasjede, žarišni mehanizmi ukazuju i na seizmogenu aktivnost



Slika 8. Histogram dubina žarišta glavnih potresa u području koje pokriva slika 5 (ordinata grafa prikazuje broj potresa). U obzir su uzeti potresi koji su se dogodili nakon 1980. godine, te su locirani s najmanje deset očitanih nastupnih vremena faza potresnih valova, a standardna pogreška dubine hipocentra im je manja od ± 4 km.



rasjeda s lijevim ili desnim pomakom po pružanju SI – JZ, odnosno SZ – JI. Taj tip rasjeda često je zabilježen na Žumberku, u Hrvatskom zagorju i na području Bilogore. O potresima u SZ Hrvatskoj pisali su Herak i sur. (2009), a Međimurski potres ($I_0 = VIII$ °MSK, 1738. godine) obradili su Herak i sur. (2020). Osvrt na znameniti Pokupski potres 1909. godine su o njegovoj stogodišnjici objavili Herak i Herak (2010), a o velikom zagrebačkom potresu 1880. godine bit će više riječi kasnije u nastavku ovog osvrt.

Najmanje seizmički aktivna područja u Hrvatskoj su u istočnom dijelu Panonskog bazena, odnosno u istočnoj Slavoniji, također to vrijedi i za područje Like i Velebita, a naročito za područje Istre zapadno od Učke i Ćićarije. Naime, jači tektonski potresi u tom dijelu Istre nisu dosad zabilježeni, no ipak se i tamo lokalno mogla osjetiti trešnja izazvana potresima iz okolnih seizmički aktivnih područja Kvarnera, Slovenije i južnih Alpa u Italiji, ali i zbog gorskih udara, tj. potresa prouzročenih podzemnim rudarenjem na ugljen na području Labinštine (taj tip kratkotrajnih potresa tamo su zvali „škopijo“, odnosno „škopiji“).

Žarišta potresa u Hrvatskoj su plitka, gotova sva ograničena po dubini na gornji krti dio Zemljine kore. Njihova srednja dubina je između 10 i 12 km (ovisno o području), a histogram dubina žarišta na području koje pokriva slika 5 prikazuje slika 8.

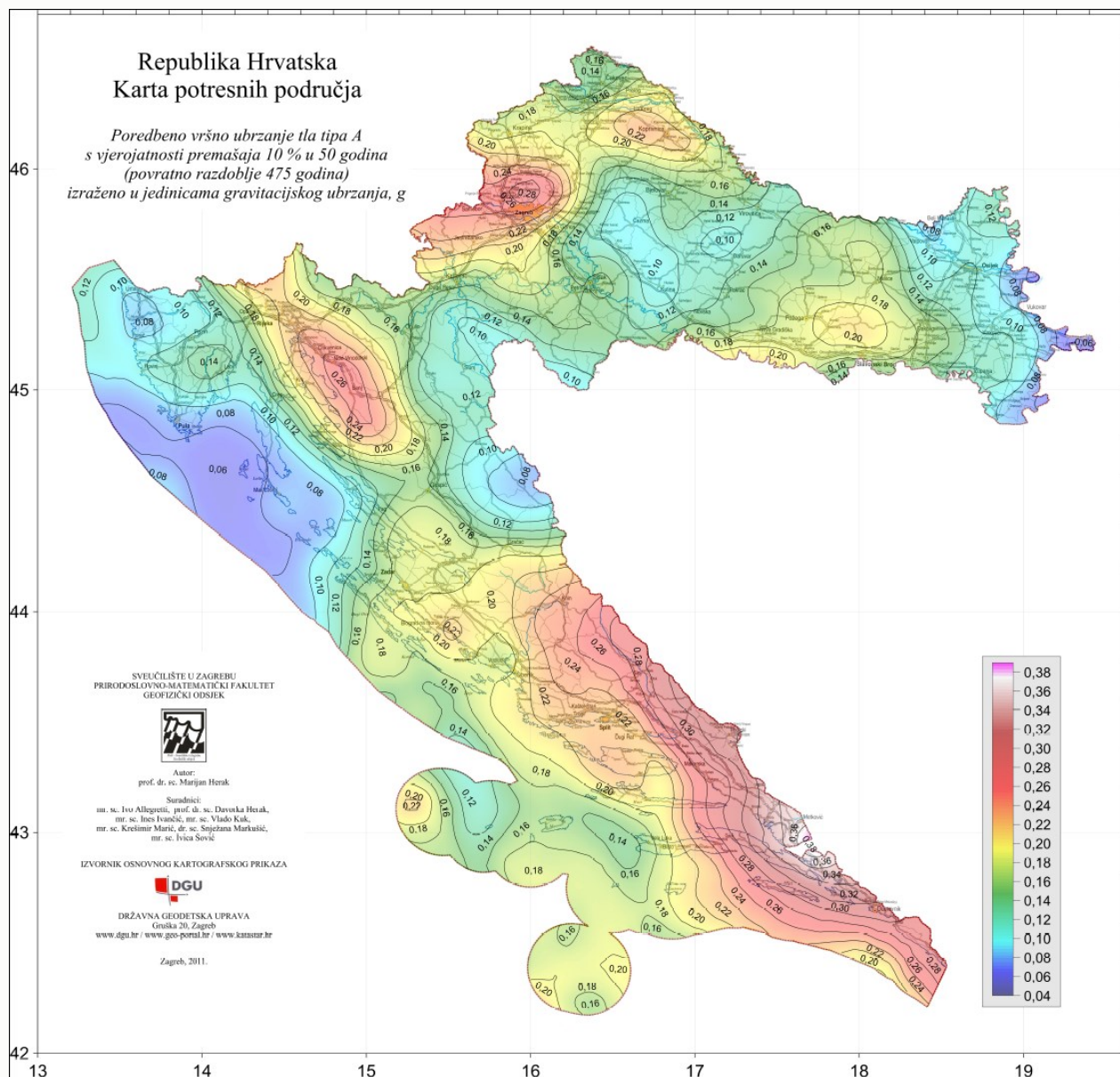
5. Kako seizmološki podaci pomažu smanjiti ugroženost od potresa?

Dobro poznavanje seizmičnosti Hrvatske i okolnih područja nužan je preduvjet za korektnu procjenu potresne opasnosti, odnosno procjenu seizmičkoga hazarda. Osim potpunog i homogenog kataloga potresa, za koji je poželjno da seže što je moguće dalje u prošlost, valja raspolagati i podacima o položaju i tipu aktivnih, potencijalno seizmogenih rasjeda, njihovoj povijesnoj i recentnoj aktivnosti, te o građi kore i geomehaničkim svojstvima površinskih slojeva tala.

Potresna se opasnost uobičajeno izražava preko iznosa nekog parametra gibanja tla tijekom potresa koji će se s unaprijed odabranom vjerojatnosti premašiti tijekom referentnog razdoblja. Uobičajeno je za referentno razdoblje uzeti $t_{ref} = 50$ godina, a za vjerojatnost $p = 10\%$. Kao parametar trešnje tla danas se standardno rabi maksimalno horizontalno ubrzanje tla (a_g) tijekom potresa, pa potresnu opasnost nekog mjesta možemo izraziti iznosom a_g koji će s 10% -tnom vjerojatnosti biti premašen tijekom 50 godina. Maksimalno horizontalno ubrzanje tla (a_g) uobičajeno se izražava u jedinicama ubrzanja Zemljine teže, g ($1g = 9,81 \text{ m/s}^2$). Ponekad se umjesto iskazivanja seizmičkoga hazarda preko t_{ref} i p rabi povratno razdoblje T_{pov} , definirano kao prosječni interval između dva premašivanja a_g . Može se pokazati da će se u prosjeku a_g ($t_{ref} = 50 \text{ god.}$, $p = 10\%$) premašivati jednom u $T_{pov} = 475$ godina, pa je hazard često izražen u odnosu na povratno razdoblje. Pri tome valja imati na umu da ovdje nema nikakve implicirane periodičnosti, pa stoga $T_{pov} = 475$ godina samo znači da će se u vrlo dugačkom razdoblju a_g premašiti u prosjeku jednom u 475 godina, ali pojedini intervali između premašivanja mogu biti i mnogo dulji i mnogo kraći.

Slika 9 prikazuje kartu potresne opasnosti za područje Hrvatske (Herak i sur., 2011) koja je dio Nacionalnog dodatka Eurokodu-8, europskoj zbirci normi za protupotresnu gradnju. Prikazane proračunate vrijednosti parametra a_g vrijede na razini osnovne stijene (odnosno za sredstvo u kojem je prosječna brzina S-vala u gornjih 30 m tla $V_{s,30} \geq 800 \text{ m/s}$), pa zato ne uključuje utjecaj površinskih slojeva tala na amplifikaciju potresne trešnje koju valja procijeniti ili postupkom mikrozoniranja, ili posebnim studijama prije projektiranja važnih objekata. Karta jasno pokazuje područja gdje je u Hrvatskoj opasnost od potresa najveća: u Dalmaciji, osobito južno od Splita, u širem području Medvednice, te u obalnom





Slika 9. 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>.

pojasu Hrvatskog primorja i Kvarnera sjeverno od Senja, za razliku od područja s najmanjom potresnom opasnosti u dijelu zapadne i istočne Slavonije, Korduna i Like te u zapadnom dijelu Istre.

Takve su karte osnova za prostorno planiranje, te za korektnu primjenu odgovarajućih protupotresnih normi pri projektiranju i gradnji.

Za razliku od potresne opasnosti (hazarda) koja ovisi samo o prirodnim faktorima, potresna ugroženost (seizmički rizik) ovisi i o izloženosti potresu, pa je rizik najveći tamo gdje uz veliku potresnu opasnost postoji i najveća koncentracija stanovnika, industrije te drugih važnih resursa. U Hrvatskoj je stoga rizik najveći u Zagrebu gdje živi petina stanovništva, pa bi jaki potres ovdje mogao prouzročiti i najveće ljudske i materijalne gubitke. Na to nas je bolno podsjetio umjereno jak potres od 22. ožujka ove godine.

6. Zagrebačko potresno područje

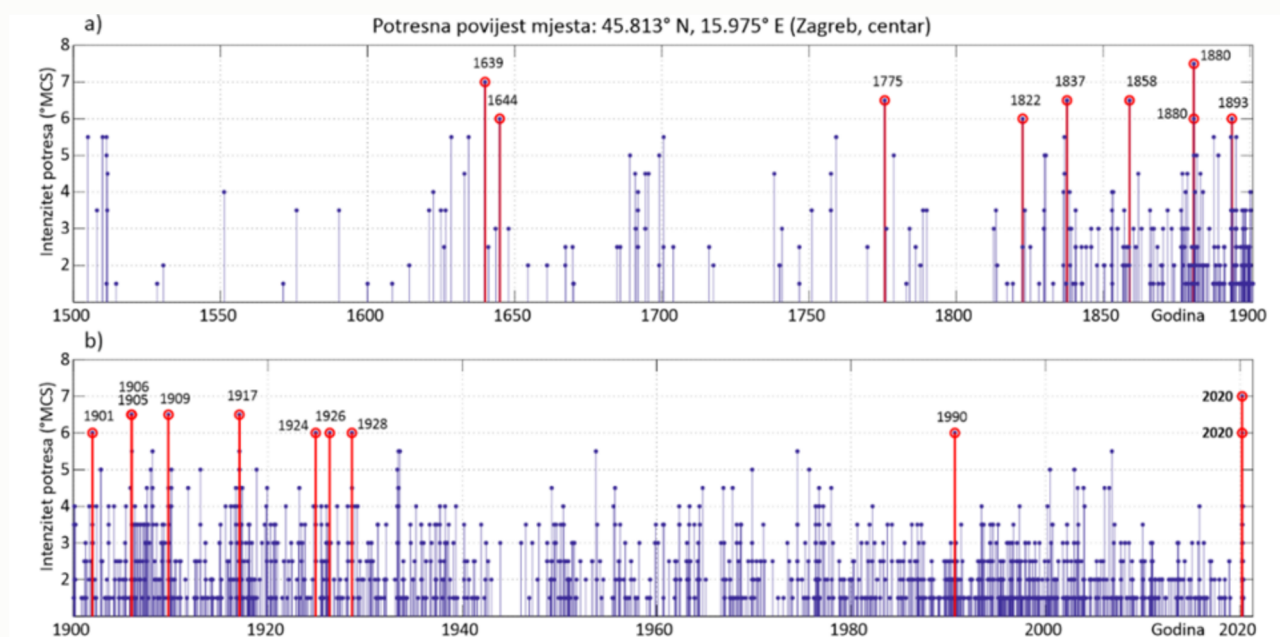
Jedan od najznačajnijih povijesnih potresa u kontinentalnom dijelu Hrvatske svakako je Veliki zagrebački potres koji se dogodio 9. studenog 1880. godine u 6:34 (UTC, engl. *Coordinated Universal Time*), s epicentrom kod Planine Gornje. Najveći intenzitet procijenjen je na VIII °MCS, a magnituda $M = 6,2$ je procijenjena iz intenziteta u epicentru. U to vrijeme u Zagrebu je živjelo oko 30 000 stanovnika: dvoje ih je stradalo, a 1400 zgrada, od njih 2500, zadobilo je oštećenja ili su bile srušene (slika 10). Potres je potaknuo seriju naknadnih slabijih potresa koja je bila posebno izražena sljedećih šest mjeseci. Za zagrebačko područje još su važni i potresi od 17. prosinca 1905. godine i 2. siječnja 1906. godine koji su bili slabiji od onoga iz 1880. godine, no načinili su na nekim mjestima ozbiljnu materijalnu štetu. Iako su ovi potresi vrlo dobro dokumentirani (posebno je važno izvješće koje je nakon potresa sastavio Josip Torbar 1882. godine), svakako bi bilo dobro i detaljnije ih istražiti iz današnje perspektive kako bismo pouzdanije procijenili položaj njihovog žarišta te intenzitet i magnitudu. Posljednji snažni potres magnitude 5,0 dogodio se u Medvedničkom epicentralnom području 1990. godine s epicentrom kod Kraljevog vrha (Markušić i sur., 1993).



Slika 10. Štete na zgradama nakon Velikog zagrebačkog potresa 1880. godine. Marofska ulica u Zagrebu (lijevo) i crkva sv. Katarine u Zagrebu (desno). Iz arhive Geofizičkog odsjeka PMF-a, Zagreb.

Da su jaki potresi u Zagrebu relativno česti, svjedoči i prikaz potresne povijesti Zagreba koja je prikazana slikom 11. Na njoj su stupićima prikazani izračunati intenziteti u centru Zagreba za sve potrese iz Hrvatskog kataloga potresa uz pretpostavku da se tlo na toj lokaciji smije smatrati tzv. srednjim ili prosječnim tлом. Može se uočiti da se npr. u posljednjih 200 godina dogodilo 16 potresa koji su mogli uzrokovati štetu, tj. potresi čiji je izračunati intenzitet u Zagrebu bio VI °MCS ili viši. Najvažniji među njima





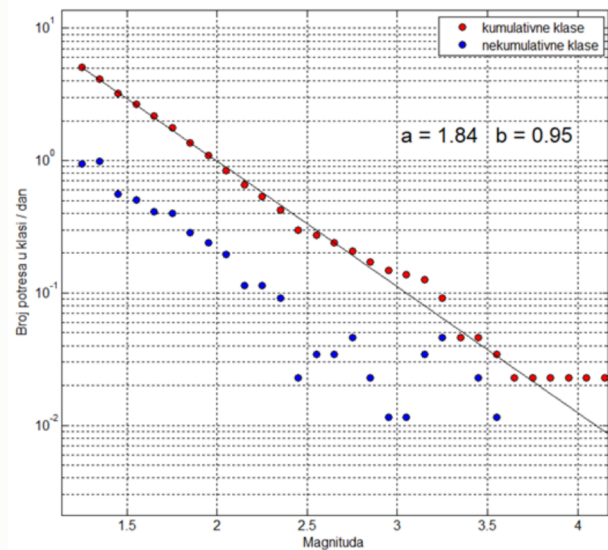
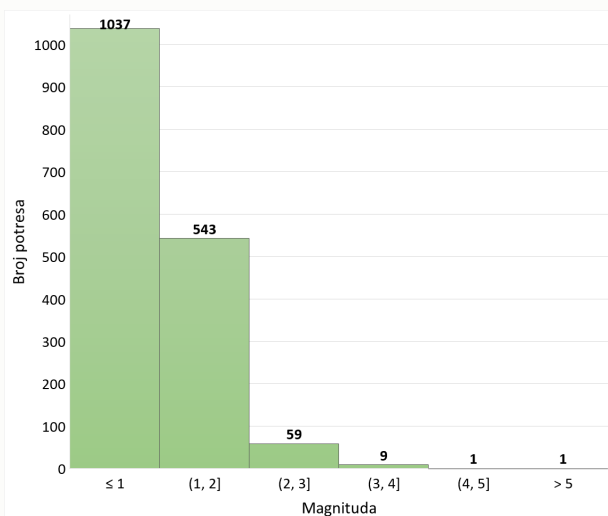
Slika 11. Potresna povijest Zagreba (centar) prikazana procijenjenim intenzitetima potresa iz prošlosti. a) Razdoblje 1500. – 1899.; b) Razdoblje 1900. – 2020. godine. Svaki stupić odnosi se na jedan potres iz Hrvatskog kataloga potresa čiji je izračunati intenzitet u centru Zagreba premašio 1,0 °MCS. Potresi čiji intenzitet na srednjem tlu u centru Zagreba doseže ili premašuje 6,0 °MCS označeni su crveno. Intenziteti su zaokruženi na pola stupnja. Pretpostavljeno je izotropno makroseizmičko polje, i tzv. srednje tlo (bez prirasta intenziteta).

bili su potresi 1837. godine (Medvednica), 1858. i 1905. godine (Prekvršje), 1880. godine (Planina Gornja), 1906. godine (Planina – Kašina), 1909. godine (Pokuplje – Vukomeričke gorice), 1917. godine (Brežice), te 2020. godine (Markuševac). Kako je zagrebačko epicentralno područje vrlo blizu samom gradu, da smo umjesto centra račun proveli za npr. Čučerje, Dugave ili Vrapče, rezultat bi za neke potrese bio i znatno različit. Također valja imati na umu da bi za lokacije na čvrstoj stijeni, odnosno na tlu s dvadesetak metara aluvijalnog materijala na vrhu rezultat bio pola ili cijeli stupanj intenziteta manji, odnosno veći.

Zagrebačka serija potresa nakon glavnog potresa od 22. ožujka 2020.

Dana 22. ožujka 2020. godine u 5:24 (UTC, engl. *Coordinated Universal Time*), odnosno 6:24 po lokalnom vremenu, dogodio se potres s epicentrom na području Markuševca i Čučerja, 7 km sjeverno od centra grada Zagreba. Radi se o plitkom potresu dubine žarišta oko 10 km i umjerene jakosti s lokalnom magnitudom procijenjenom na 5,5 (momentnom magnitudom 5,4), no intenzitet u epicentru ocijenjen je s VII °EMS što ga klasificira kao oštećujući jer je prouzročio značajnu materijanu štetu zbog čega je nažalost stradala i jedna petnaestogodišnja djevojka. Osim diljem Hrvatske, potres se osjetio i u široj okolici (čak i do 1000 km udaljenosti od epicentra!), ponajviše u Sloveniji i u Bosni i Hercegovini.

Nakon glavnog potresa, uslijedio je niz slabijih naknadnih potresa od kojih se najjači magnitude 4,9 dogodio manje od 40 minuta nakon glavnog potresa, u 6:01 (UTC). Do 1. lipnja 2020. godine ukupno je locirano 1650 potresa, od kojih je njih 613 magnitude veće od 1. Raspodjela potresa prema magnitudama od 22. ožujka do 1. lipnja 2020. godine prikazana je na slici 12, a u tablici 2 navedeno je deset najjačih



Slika 12: Gore: Raspodjela naknadnih potresa zagrebačke serije po magnitudama u razdoblju između 22. ožujka i 1. lipnja 2020. godine. Dolje: Razdioba magnituda potresa (za magnitudo $M \geq 1,2$) u logaritamskom mjerilu sa širinom klase magnitudo $\Delta M = 0,1$. Crveni kružići prikazuju kumulativne čestine (broj potresa/dan s magnitudom $\geq M$), a plavi obične, nekumulativne čestine (broj potresa/dan s magnitudom između $M + \Delta M/2$ i $M - \Delta M/2$). Crna linija je prilagodba Gutenberg-Richterove relacije $\log(N) = a - bM$ (prema preliminarnim podacima D. Herak, 2020, osobno priopćenje).

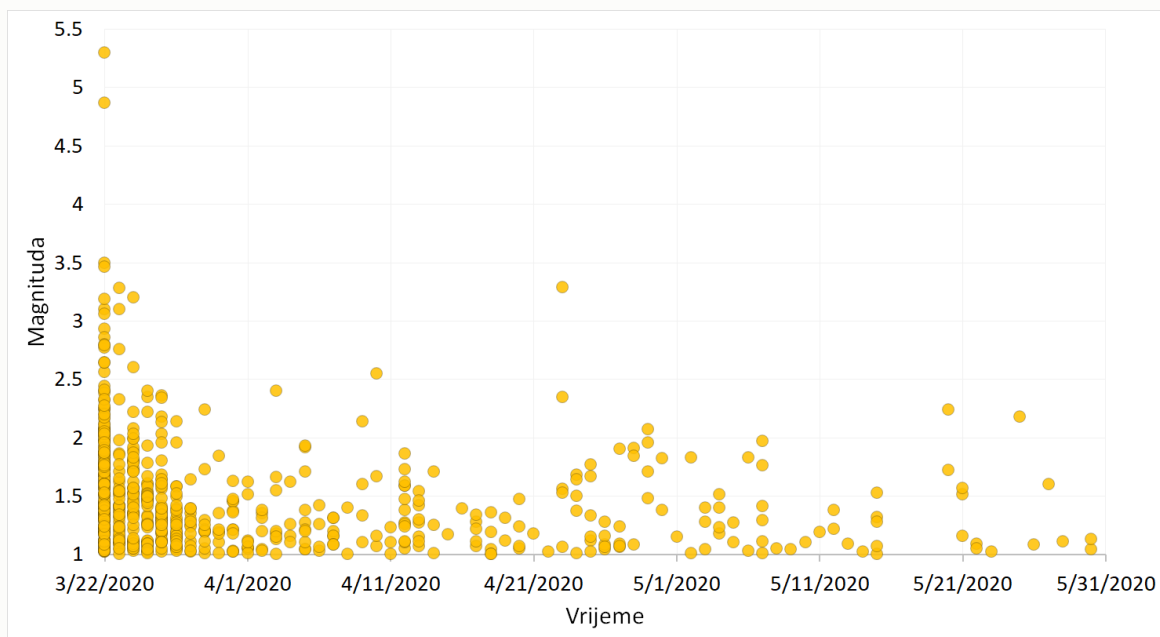
Tablica 2. Deset najjačih naknadnih potresa zagrebačke serije potresa do 1. lipnja 2020. (prema preliminarnim podacima Herak i sur., 2020, osobno priopćenje).

Datum i vrijeme (UTC)	Magnituda
22. ožujka 2020., 6:01	4,9
22. ožujka 2020., 5:29	3,5
22. ožujka 2020., 6:41	3,5
23. ožujka 2020., 10:12	3,3
23. travnja 2020., 7:52	3,3
22. ožujka 2020., 8:04	3,2
24. ožujka 2020., 19:53	3,2
22. ožujka 2020., 5:26	3,1
22. ožujka 2020., 9:11	3,1
23. ožujka 2020., 2:00	3,1

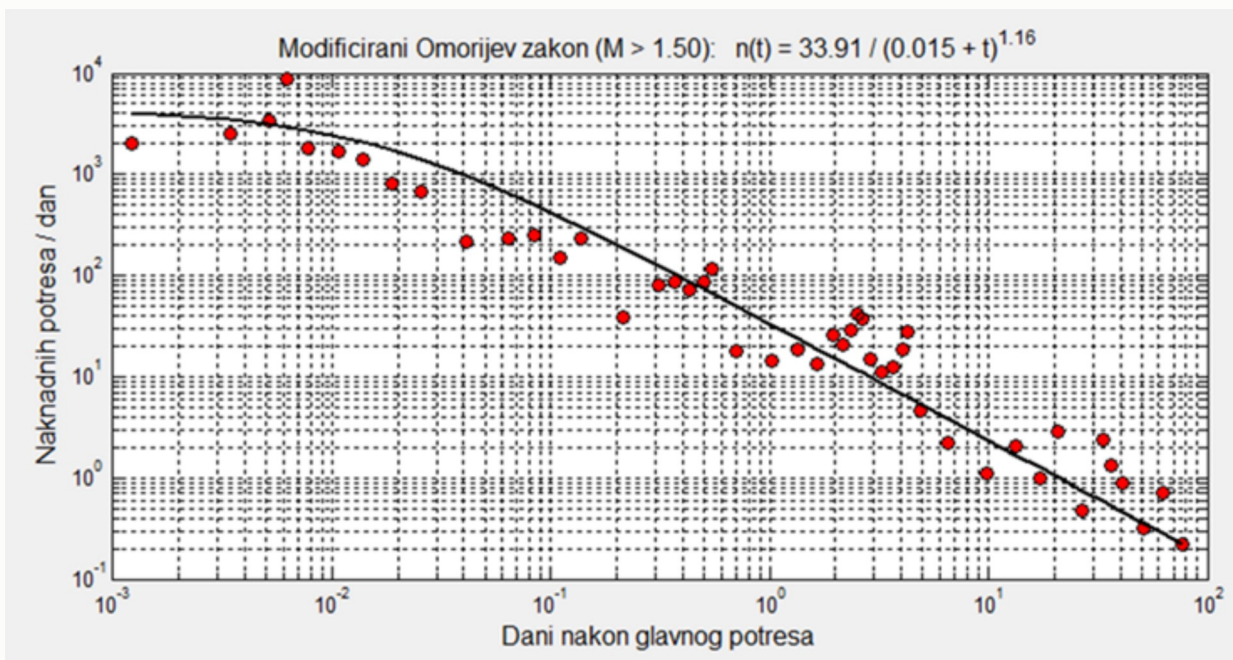
naknadnih potresa ove potresne serije. Samo u prvih tjedan dana locirana su 404 naknadna potresa, što je skoro 1/3 od ukupnog broja lociranih potresa $M > 1,0$ koji su se dogodili za prva dva i pol mjeseca od početka serije! U donjem dijelu slike 12 prikazana je i Gutenberg-Richterova relacija koja govori o tome kako s magnitudom potresa opada njihov broj. Iznos koeficijenta $b = 0,95 \approx 1,00$ znači da se za svaku jedinicu povećanja magnitudo broj potresa smanjuje približno deset puta.

Učestalost pojavljivanja naknadnih potresa sve je manja kako vrijeme protječe što ukazuje na mogućnost da se aktivirana, seizmogeno rasjedna zona polako stabilizira (slika 13). Ipak, kako je nepoznato koliko je nakon potresa preostalo nakupljene energije elastičke deformacije na rasjednom sustavu, nije moguće precizno reći koliko će još trajati taj niz naknadnih potresa.





Slika 13. Raspodjela potresa zagrebačke serije $M > 1,0$ u vremenu tijekom prva dva i pol mjeseca (prema preliminarnim podacima Herak i sur., 2020, osobno priopćenje).



Slika 14. Prosječan broj potresa ($M > 1,5$) normiran na jedan dan, u odnosu na vrijeme koje je proteklo od glavnog potresa 22. ožujka 2020. (crveni kružići). Crna krivulja je opažanjima prilagođen modificirani Omorijev zakon (numerički iskazan iznad grafa, t – vrijeme nakon glavnog potresa u danima) (preliminarni podaci prema D. Herak, 2020, osobno priopćenje).

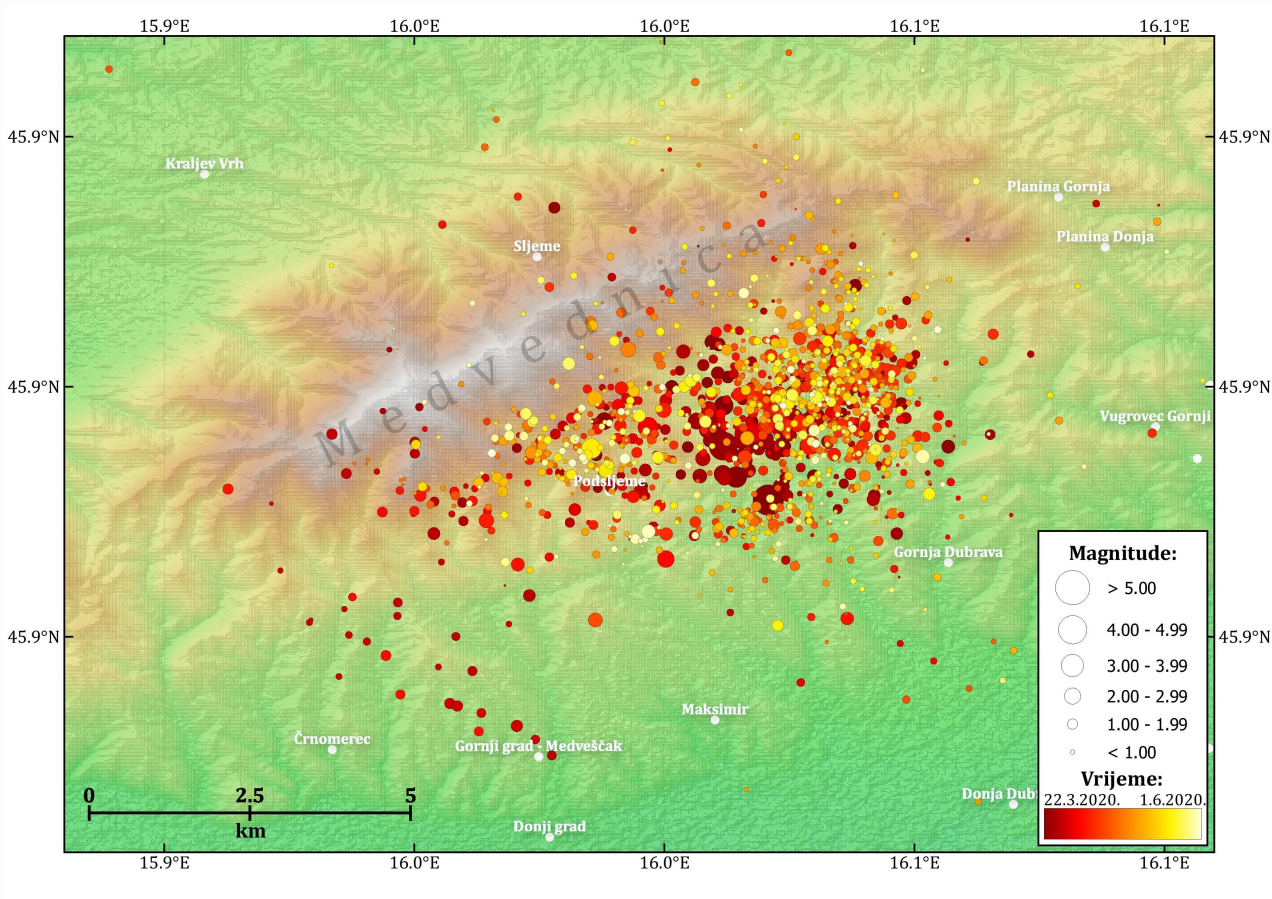


TEMA

Približan odgovor na to pitanje može dati prilagodba tzv. modificiranog Omorijevog zakona o opaženom broju potresa u vremenu. Slika 14 prikazuje prosječan broj potresa s magnitudom većom od 1,5 u jednom danu u odnosu na vrijeme koje je proteklo od glavnog potresa 22. ožujka 2020. godine (D. Herak, 2020, osobno priopćenje). Analizom kataloga potresa za isto područje za razdoblje 2009. – 2018. godine, može se zaključiti da se u tom razdoblju prosječno takvih potresa ovdje događalo 0,014/dan (oko pet potresa s magnitudom većom od 1,5 godišnje). Crnom krivuljom prikazan je modificirani Omorijev zakon prilagođen opažanjima do 10. srpnja 2020., kojim je moguće procijeniti da će se razina seizmičnosti prije potresa dosegnuti za nešto više od dvije godine. Kako ovaj niz potresa još uvijek traje, a prije konačnih zaključaka valja provesti i analizu potpunosti i homogenosti kataloga, ovo valja uzeti *cum grano salis*.

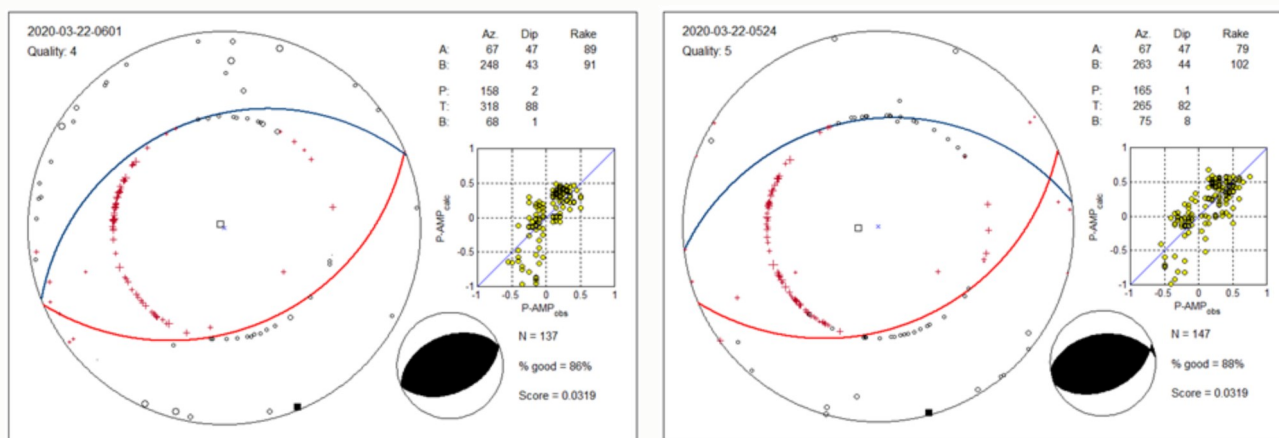
Žarišno područje

Na slici 15 prikazani su epicentri glavnog i naknadnih potresa zagrebačke serije u razdoblju između 22. ožujka i 1. lipnja 2020. godine. Žarišta potresa nalaze se većinom na dubinama 4 – 12 km. Najveći broj epicentara potresa smješten je u sjeveroistočnom dijelu grada Zagreba, posebice na području Markuševca i Čučerja.



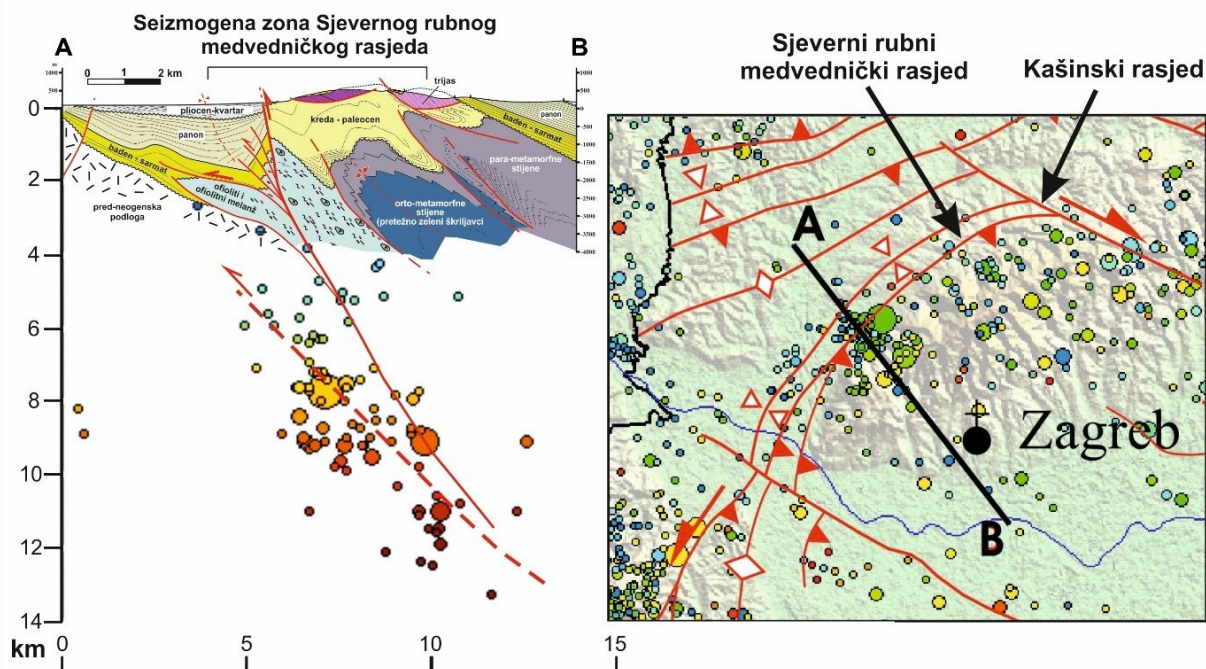
Slika 15. Epicentri glavnog i naknadnih potresa zagrebačke serije u razdoblju između 22. ožujka i 1. lipnja 2020. godine (prema preliminarnim podacima Herak i sur., 2020, osobno priopćenje).





Slika 16. Žarišni mehanizmi potresa od 22. ožujka 2020. u 5:24 (UTC) (glavni potres, lijevo) i najjačeg naknadnog potresa u 6:01 UTC (desno) na kojima su plavim i crvenim tragovima prikazane orijentacije dviju ravnina, od kojih je jedna seizmogeni izvor potresa. Prvi kompresijski nailasci P-vala (pomak tla prema gore) označeni su crvenim križićima, a prvi dilatacijski nailasci (pomak tla prema dolje) praznim kružićima. Os najvećeg tektonskog tlaka (P-os, crni kvadratić) je za oba potresa horizontalna s pružanjem SSZ – JI, dok je os najmanjeg tlaka (T-os, bijeli kvadratić) vertikalna (M. Herak, osobno priopćenje).

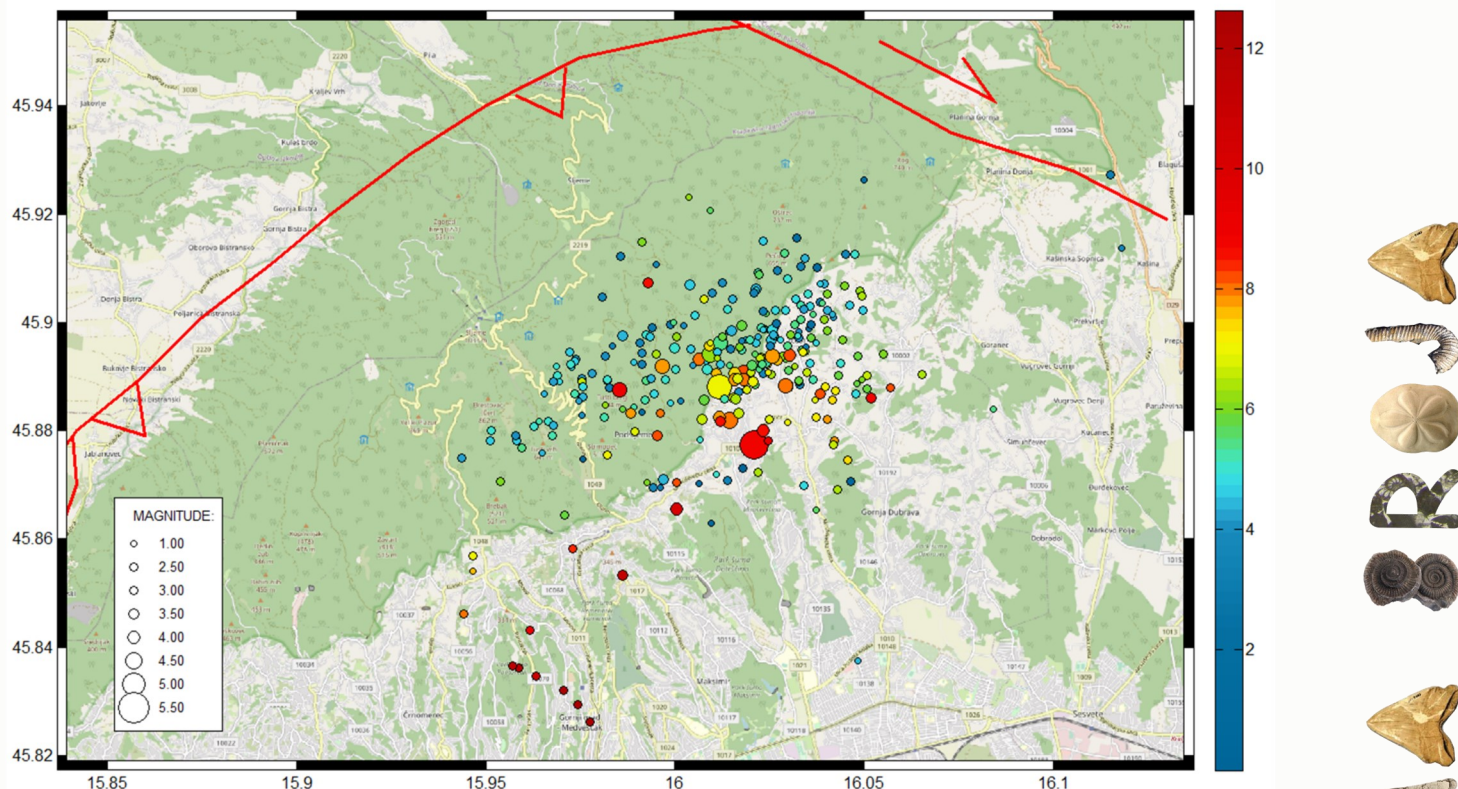
TEMA
 BR
 J
 2020



Slika 17. Lijevo: Seizmotektonski profil kroz Medvednicu i seizmogenu zonu Sjevernog rubnog medvedničkog rasjeda na kojem su projicirana žarišta potresa zabilježenih u periodu 1970. – 2016. godine, u zoni oko ravnine profila širine 10 km. Desno: Tragovi dvaju glavnih seizmogenih rasjeda na području Medvednice pretpostavljenih na temelju geoloških i geofizičkih istraživanja. Autori: Herak i sur. (2016b).

Na temelju parametara koji opisuju žarišni mehanizam glavnog i najvećeg naknadnog potresa (slika 16) i sličnih žarišnih mehanizama koje su objavile seizmološke agencije i instituti u Europi i SAD-u, razvidno je da su ti potresi bili uzrokovani oslobađanjem kompresijske tektonske napetosti u stijena u jezgri Medvednice, koje su nastale pod dominantnim tektonskim tlakom usmjerenim SSZ – JJI i uz pomak po reversnom rasjedu pružanja ISI – ZJZ.

Usporedbom prikazanih žarišnih mehanizama potresa i podataka o geološkoj građi Medvednice, moguće je preliminarno pretpostaviti da je seizmogeni, potresni izvor za glavni i najveći naknadni potres, moguće i za većinu naknadnih potresa, reversni rasjed, odnosno reversni rasjedi koji pripadaju seizmogenoj zoni Sjevernog rubnog medvedničkog rasjeda (SRMR) (slika 17). Tome u prilog govore i preliminarno procijenjene dubine žarišta potresa iz te serije (slika 18) koja su u prosjeku to dublja što su epicentri dalje od traga SRMR. Površinski prepoznatljiv rasjed ove seizmogene zone, koji se pruža duž sjevernog ruba Medvednice, zabilježen je geološkim kartiranjem i interpretacijom refleksijskih seizmičkih profila, s nagibom od površine prema JJI pod središnji dio Medvednice (Tomljenović i Csontos, 2001;



Slika 18. Epicentri glavnog i naknadnih potresa 22. ožujka – 1. lipnja 2020. godine. Prikazani su samo potresi locirani s najmanje 12 podataka o nastupnim vremenima valova potresa, sa standardnom pogreškom epicentra manjom od 2 km te s maksimalnim kontinuiranim nepokrivenim intervalom azimuta u odnosu na epicentar (engl. azimuthal gap) < 125°. Boja simbola odgovara dubini žarišta prema skali na desnom rubu slike (prema preliminarnim podacima Herak i sur., 2020, osobno priopćenje). Crvenim linijama prikazani su i presjeci s površinom reversnog sjevernog rubnog medvedničkog rasjeda (pružanja JZ – SI), te Kašinskog rasjeda (pružanja SZ – JI) (prema Herak i sur., 2016b).

Tomljenović i sur., 2008; Matoš i sur., 2014). Analizom satelitskih podataka DInSAR postupkom ustanovljeno je da je na području koje pokrivaju epicentri potresa na slici 18 došlo do uzdizanja tla (krovine rasjeda) s maksimalnim površinskim pomakom od oko 3 cm (npr. Markušić i sur., 2020).

Seizmogena zona Sjevernog rubnog medvedničkog rasjeda najvjerojatnije je bila i uzročnik brojnih slabijih i jačih potresa u periodu od Velikog zagrebačkog potresa 1880. godine pa do potresa 22. ožujka 2020. godine. S obzirom na duljinu ove seizmogene zone po pružanju (oko 20 km) i dubinu do koje doseže pod površinom (oko 12 km), seizmogeni potencijal ove zone, odnosno maksimalno očekivane magnitude potresa koje može prouzročiti, procjenjuju se na oko 6,5.

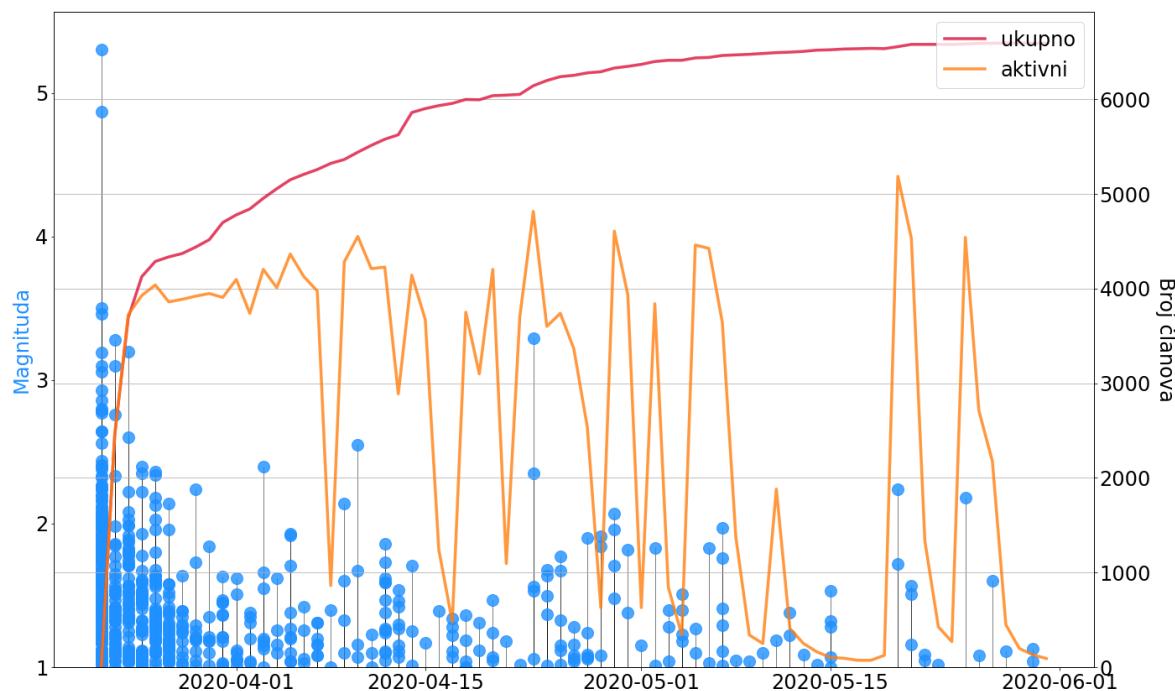
Učinci potresa i interakcija s javnošću

Potres je uzrokovao znatnu materijalnu štetu, ponajviše na povijesnim i kulturnim građevinama u centru Zagreba, ali i na bolnicama, školama, fakultetima te stambenim zgradama. Stradale su i mnoge obiteljske kuće u epicentralnom području, u mjestima Podsljeme, Markuševac, Čučerje, Medvedski Breg, Vugrovec, Trnava, Kašina, Vidovec i Popovec (Bogdan, 2020). Povrh toga, potres se dogodio tijekom epidemije koronavirusa, četiri tjedna nakon početka širenja te infektivne bolesti u Hrvatskoj. U to vrijeme u Hrvatskoj je 206 osoba bilo zaraženo virusom COVID-19, zatvorene su škole i fakulteti te je velik dio građana radio od kuće (Čivljak i sur., 2020). Sretna je okolnost da se potres dogodio u nedjelju, rano ujutro, kada je i zbog izolacije građana uslijed sprječavanja širenja bolesti, na ulicama bilo vrlo malo ljudi. Ipak, u potresu je ozlijeđeno 27 osoba, a jedna petnaestogodišnja djevojčica preminula je od ozljeda dobivenih prilikom urušavanja zgrade u Đorđićevoj ulici.

Oštećene građevine pregledali su građevinski stručnjaci neformalno i *ad hoc* okupljeni u Hrvatski centar za potresno inženjerstvo. Brzi pregled zgrada započeo je već na dan potresa, s ciljem utvrđivanja stupnja oštećenosti zgrada radi zaštite života i imovine. Oštećenja su kategorizirana prema Europskoj makroseizmičkoj ljestvici (EMS) te je na svaku zgradu stavljena oznaka zelene, žute ili crvene boje s dodatnom oznakom, ovisno o stanju građevine. Zelene oznake podijeljene su na *U1: Uporabljivo bez ograničenja* i *U2: Uporabljivo s preporukom*, žute oznake su *PN1: Privremeno neuporabljivo – potreban detaljan pregled* i *PN2: Privremeno neuporabljivo – potrebne mjere hitne intervencije*, a crvene oznake postavljene su na neuporabljive zgrade te se dijele na *N1: Neuporabljivo – zbog vanjskog utjecaja* i *N2: Neuporabljivo – zbog oštećenja* (Šavor Novak i sur., 2020). Najveći problem predstavljali su urušeni zabatni zidovi i teški dimnjaci koji su morali biti hitno uklonjeni kako bi se spriječila dodatna oštećenja. Do 1. srpnja 2020. godine brzi pregled obavljen je za 25 560 zgrada (<https://www.hcpi.hr/>, 13. srpnja 2020.), od čega je 19 206 označeno kao uporabljivo (oznake U1 i U2), 5009 privremeno neuporabljivo (oznake PN1 i PN2), a 1345 zgrada je bilo neuporabljivo (oznake N1 i N2).

Prema Prijedlogu zakona o obnovi zgrada oštećenih potresom na području Grada Zagreba, Krapinsko-zagorske županije i Zagrebačke županije, u pregledima zgrada do 15. lipnja ustanovljeno je da je u Krapinsko-zagorskoj županiji oštećeno 409 zgrada, od čega je 28 neuporabljivo, a 53 privremeno neuporabljivo. Najpogođeniji su bili općina Gornja Stubica i grad Donja Stubica. U Zagrebačkoj županiji 11 objekata je potpuno neuporabljivo, 29 privremeno neuporabljivo, a ukupno je oštećeno 510 zgrada. Prirodna nepogoda proglašena je za cijelu Zagrebačku županiju, a najprije za gradove Sveti Ivan Zelina, Sveta Nedjelja i Velika Gorica te općine Jakovlje, Luka, Klinča Sela, Orle, Križ i Stupnik. U ove dvije županije većinom se radi o oštećenim obiteljskim kućama te pokojom gospodarskom zgradom. Potres je utjecao i na zgradu Geofizičkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Pretrpjela je





Slika 19. Raspodjela potresa zagrebačke serije s magnitudom $M > 1,0$ u vremenu tijekom prva dva i pol mjeseca (prema preliminarnim podacima Herak i sur., 2020, osobno priopćenje) te prikaz ukupnog broja (crvena krivulja) i broja aktivnih članova (narančasta krivulja) Facebook grupe „Zagrebački potres 2020 – vaše info za seizmologe“.

manje materijalne štete te je prekinut dovod električne energije, što je utjecalo na rad Seizmološke službe u prvim trenucima nakon potresa.

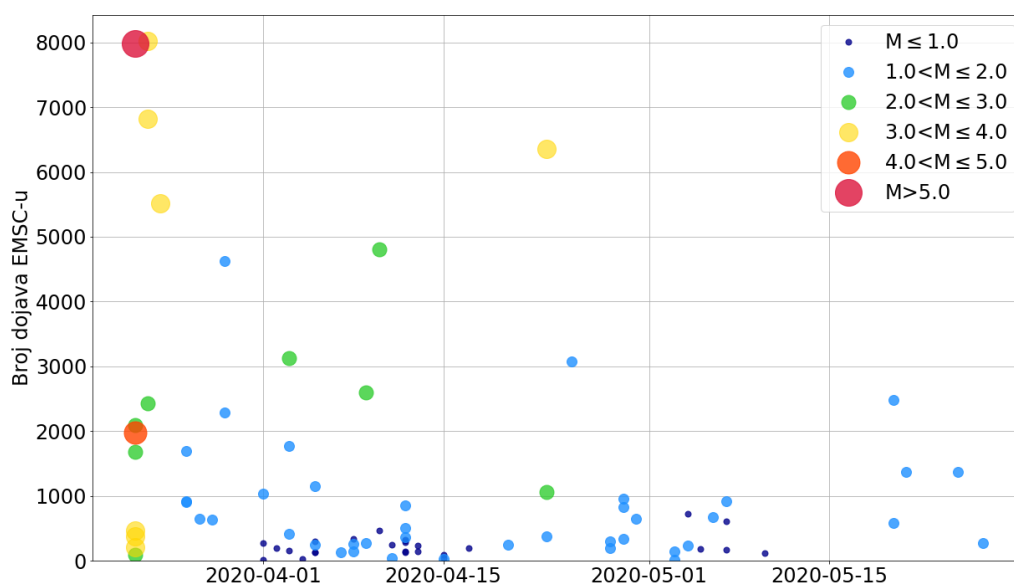
Seizmološka služba obavještava javnost o potresima izvješćima na internetskoj stranici i obavijestima na Twitter profilu *seismo_hr*. Dana 22. ožujka, zbog velikog broja potresa koji su se neprekidno analizirali, objavljena su grupna izvješća za veći broj potresa. Nakon toga izvještavalo se za pojedinačne potrese magnitude veće od 2,0 te su se do 27. ožujka dva puta dnevno objavljivali podaci o svim potresima magnitude veće ili jednake 1,3. Osnovne upute o ponašanju tijekom i nakon potresa dijeljene su putem Twitter profila i Facebook stranice Geofizičkog odsjeka „Geofizika uživo“.

Makroseizmički podaci prikupljali su se izravno na terenu i upitnicama o potresu na internetskoj stranici Seizmološke službe. Osim toga, 23. ožujka otvorena je Facebook grupa „Zagrebački potres 2020 – vaše info za seizmologe“ s ciljem prikupljanja fotografija i videa posljedica potresa. Ona je također služila za prenošenje objavljenih izvješća o potresima te edukaciju građana o potresima dijeljenjem informativnih materijala i medijskih nastupa seizmologa. U prva tri dana u grupu se učlanilo više od 4000 korisnika te je broj članova nastavio rasti do 1. lipnja (slika 19). Broj aktivnih članova grupe, tj. članova koji pregledavaju sadržaj i/ili komentiraju odražava interes građana za objavljeni sadržaj. U grupi je svakodnevno bilo oko 4000 aktivnih članova do 8. travnja. Nakon toga je primijećen povećani interes



članova na dane s potresima magnitude veće od 1,3, koje su ljudi osjetili i za koje su u grupu puštane objave. U grupi su dane obavijesti za 55 potresa.

Građani su se također informirali o potresima koristeći mobilnu aplikaciju Europsko-mediteranskog seizmološkog centra (EMSC), ostavljali makroseizmičke informacije o osjećenosti potresa te komentirali potrese. Najviše dojava da je potres osjećen, oko 8000, prikupljeno je za potres lokalne magnitude 3,1 koji se dogodio 23. ožujka u 19:49 UTC te za glavni potres (slika 20). Broj dojava uglavnom je veći za potrese veće magnitude, ali je veći broj dojava opažen i za potrese magnituda između 1,0 i 2,0 nakon 20. svibnja. Kako se ova serija potresa događa u gusto naseljenom području, osjećeni su i potresi magnitude manje od 1,0.



Slika 20. Ovisnost broja dojava osjećenih potresa Europsko-mediteranskom seizmološkom centru (EMSC, Francuska, <http://emsc-csem.org>) o vremenu i magnitudi potresa.

Umjesto zaključka...

Hrvatska se nalazi na seizmički aktivnom području, no vrlo jaki potresi su ovdje relativno rijetki. Upravo nas ta njihova rijetka pojavnost čini ranjivima jer i kao društvo i kao pojedinci na potrese brzo zaboravljamo i nedovoljno marimo o njihovom mogućem djelovanju. Zato je potrebno da geofizičari, geolozi i građevinari zajednički ustrajno rade na edukaciji i informiranju građana svih uzrasta i stupnjeva odgovornosti, kako bismo osvijestili potresnu opasnost i izgradili društvo koje će biti otporno na potrese. Nemili podsjetnik o tome imali smo s početkom proljeća ove godine i prilika je da ga iskoristimo za korak naprijed u zajedničkom djelovanju na smanjenju potresne ugroženosti u Hrvatskoj.

Literatura

- Albini, P. (2015). The Great 1667 Dalmatia Earthquake. An In-Depth Case Study. Cham: Springer, 96 pp.
- Bogdan, A. (2020). Najsnažniji potres u posljednjih 140 godina. *Građevinar*, 72(4), 361–370.
- Čivljak, R., Markotić, A., Capak, K. (2020). Earthquake in the time of COVID-19: The story from Croatia (CroVID-20). *Journal of Global Health*, 10(1), 010349, doi: 10.7189/jogh.10.010349.
- Govorčin, M., Herak, M., Matoš, B., Pribičević, B., Vlahović, I. (2020). Constraints on Complex Faulting during the 1996 Ston–Slano (Croatia) Earthquake Inferred from the DInSAR, Seismological, and Geological Observations. *Remote Sensing*, 12, 1157; doi:10.3390/rs12071157. (<https://www.mdpi.com/2072-4292/12/7/1157>).
- 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 rollback along the Dinaride-Hellenide orogen. *Tectonics*, 38, 1–26.
- Herak, M., Allegretti, I., Herak, D., Ivančić, I., Kuk, V., Marić, K., Markušić, S., Sović, I. (2011). Republika Hrvatska. Karta potresnih područja, <http://seizkarta.gfz.hr>.
- Herak, D., Herak, M. (2010). The Kupa Valley (Croatia) earthquake of 8 October 1909 – 100 years later. *Seismological research letters*, 81 (1), 30–36, doi:10.1785/gssrl.81.1.30.
- Herak, D., Herak, M. (2012). Seizmičnost i potresna opasnost na Makarskom primorju. U: Makarsko primorje danas. Institut društvenih znanosti Ivo Pilar, Zagreb, 265–276. (https://bib.irb.hr/datoteka/577934.ZBORNIK_makarsko_primorje_danas_2012_pdf.pdf)
- Herak, M., Herak, D., Dasović, I. (2016a). 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.
- Herak, M., Herak, D., Markušić, S. (1996). Revision of the earthquake catalogue and seismicity of Croatia. 1908–1992, *Terra Nova*, 8, 86–94.
- Herak, M., Herak, D., Markušić, S., Ivančić, I. (2001). Numerical modeling of the Ston-Slano (Croatia) aftershock sequence, *Studia geophysica et geodaetica.*, 45(3), 251–266.
- Herak, M., Herak, D., Stipčević, J. (2019). Seismology in Croatia, 2015–2018, *Geofizika*, 36(2), 171–224.
- Herak, D., Herak, M., Tomljenović, B. (2009). Seismicity and earthquake focal mechanisms in North-Western Croatia. *Tectonophysics*, 465, 212–220, doi: 10.1016/j.tecto.2008.12.005.
- Herak, M., Herak, D., Tomljenović, B. (2016b). Seismicity and Neotectonics in the Greater Zagreb Area. U Fact Finding Workshop on the Active Tectonics of the Krško Region (Ur. K. Decker), Technical Workshop, Klagenfurt/Celovec, Austria, Ministerium für Lebenswertes Oesterreich, Vienna, 16–20. (<https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REPO612.pdf>).
- Herak, D., Herak, M., Tomljenović, B. (2020). Rukopis u pripremi za časopis Geofizika, osobno priopćenje.
- Herak, D., Herak, M., Vrkić, I. (2017a). Velika trešnja, seizmičnost i potresna opasnost na širem dubrovačkom području. *Dubrovnik: časopis za književnost i znanost XXVIII*, 1, 5–18.
- Herak, D., Sović, I., Cević, I., Živčić, M., Dasović, I., Herak, M. (2017b). Historical seismicity of the Rijeka region (NW External Dinarides, Croatia) – Part I: Earthquakes of 1750, 1838 and 1904 in the Bakar epicentral area. *Seismological research letters*, 88, 904–915.



- Herak, M., Živčić, M., Sović, I., Cević, I., Dasović, I., Stipčević, J., Herak, D. (2018). Historical seismicity of the Rijeka region (NW External Dinarides, Croatia) – Part II: The Klana earthquakes of 1870. *Seismological research letters*, 89, 1524–1536, 55.
- Herak, D., Živčić, M., Vrkić, I., Herak, M. (2020). The Međimurje (Croatia) Earthquake of 1738. *Seismological research letters*, 91, 1042–1056.
- 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.
- Ivančić, I., Herak, D., Herak, M., Allegretti, I., Fiket, T., Kuk, K., Markušić, S., Prevolnik, S., Sović, I., Dasović, I., Stipčević, J. (2018). Seismicity of Croatia in the period 2006 – 2015. *Geofizika*, 35, 69–98.
- Ivančić, I., Herak, D., Markušić, S., Sović, I., Herak, M. (2002). Seismicity of Croatia in the period 1997–2001. *Geofizika*, 18–19, 17–29.
- Ivančić, I., Herak, D., Markušić, S., Sović, I., Herak, M. (2006). Seismicity of Croatia in the period 2002 – 2005. *Geofizika*, 23, 87–103.
- Kišpatić, M. (1891). Potresi u Hrvatskoj, Rad Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti. 13, 81–164.
- Markušić, S., Herak, D., Ivančić, I., Sović, I., Herak, M., Prelogović, E. (1998). Seismicity of Croatia in the period 1993–1996 and the Ston-Slano earthquake of 1996. *Geofizika*, 15, 83–101.
- Markušić, S., Herak, D., Sović, I., Herak, M. (1993). Seismicity of Croatia in the period 1990–1992. *Geofizika*, 10, 19–34.
- Markušić, S., Ivančić, I., Sović, I. (2017). The 1667 Dubrovnik earthquake – some new insights. *Studia geophysica et geodaetica*, 61 (3), 587–600.
- Markušić, S., Stanko, D., Korbar, T., Belić, N., Penava, D., Kordić, B. (2020). The Zagreb (Croatia) M5.5 Earthquake on 22 March 2020. *Geosciences*, 10, 252. doi:10.3390/geosciences10070252.
- Matoš, B., Tomljenović, B., Trenc, N. (2014). Identification of tectonically active areas using DEM: a quantitative morphometric analysis of Mt. Medvednica, NW Croatia. *Geological quarterly*, 58, 1, 51–70.
- 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., Toksöz, 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.
- Mohorovičić, A. (1910): Potres od 8. X 1909. Godišnje izvješće Zagrebačkog meteorološkog opservatorija za godinu 1909. 9/4, 1910, 1-56.
- 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., Dmitrotsa, 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.



- Schmid, S.M., Fügenschuh, B., Kounov, A., Matenco, L., Nievergelt, P., Oberhansli, R., Pleuger, J., Schefer, S., Schuster, R., Tomljenović, B., Ustaszewski, K., van Hinsbergen, D.J.J. (2020). Tectonic units of the Alpine collision zone between Eastern Alps and western Turkey. *Gondwana Research*, 78, 308–374.
- Shebalin, N. V., Karnik, V., Hadžievski, D. (1974). Catalogue of earthquakes I–III, UNDP/UNESCO Survey of the seismicity of the Balkan region. Skopje.
- Skoko, D. (2002). Kišpatičev doprinos seizmologiji, U: Spomenica preminulim akademikima, Sv. 102, Mijo Kišpatić: 1851.–1926. (Ur. S. Šćavničar, V. Majer), Zagreb, HAZU, pp 74.
- Šavor Novak, M., Uroš, M., Atalić, J., Herak, M., Demšić, M., Baniček, M., Lazarević, D., Bijelić, N., Crnogorac, M., Todorić, M. (2020). Potres magnitude 5,5 u Zagrebu od 22. ožujka 2020. godine: preliminarni izvještaj o seizmološkim stajalištima i oštećenjima zgrada. Rukopis na recenziji.
- Tomljenović, B., Csontos, L. (2001). Neogene – Quaternary structures in the border zone between Alps, Dinarides and Pannonian Basin (Hrvatsko zagorje and Karlovac Basins, Croatia). *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)*, 90, 3, 560–578.
- Tomljenović, B., Csontos, L., Marton, E., Marton, P. (2008). Tectonic evolution of the northwestern Internal Dinarides as constrained by structures and rotation of Medvednica Mountains, North Croatia. U: *Tectonic Aspects of the Alpine-Dinaride-Carpathian System* (Ur.: Siegesmund, S., Fügenschuh, B., Froitzheim, N.), Bodmin, Cornwall, Geological Society London, 145–167.
- Torbar, J. (1882). Izvješće o zagrebačkom potresu 8. studenoga 1880. Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb, 141 p.
- Weber, J. Vrabec, M., Pavlovčić-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.

Potresi u Zagrebu 22. ožujka 2020. godine

Tvrtko Korbar i Snježana Markušić

Dva jaka potresa dogodila su se 22. ožujka 2020. godine, oba s epicentrima u sjeveroistočnom dijelu grada Zagreba te izazvala znatnu materijalnu štetu s kojom su nažalost povezane i ljudske žrtve. Već su prve objavljene lokacije žarišta i mehanizmi pomaka u žarištu potresa EMSC-a (*European-Mediterranean Seismological Centre*, slika 1) upućivale da su oba potresa vjerojatno povezana s aktivnošću reverznog rasjeda na dubini od oko 10 km, o čemu su na svojim mrežnim stranicama i u medijima izvijestili i iz Geofizičkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (GFZ), pri kojem djeluje i Seizmološka služba, a nešto kasnije i na stranicama vodećih hrvatskih geoloških institucija (vidi popis mrežnih stranica).

Na temelju analize svih dostupnih geofizičkih podataka i znanstvenih radova, moglo se zaključiti da je u ranim jutarnjim satima 22. ožujka 2020. nagli pomak duž rasjeda reverznog karaktera na dubini od oko 10 km oslobodio veliku količinu energije u hipocentru (žarištu) potresa koji je bio magnitude 5,4.

