

SEIZMIČKA AKTIVNOST NA PODRUČJU REPUBLIKE HRVATSKE

SAŽETAK: Uvodni dio ovog rada kratko je putovanje kroz povijest najznačajnijih znanstvenih istraživanja seizmičkih aktivnosti na teritoriju RH i susjednih regija. U nastavku je dan opis tektonskih događanja na promatranom prostoru čija je posljedica podrhtavanje tla, odnosno nastanak potresa. Uz seizmološke metode istraživanja potresa koje su obrađene u sklopu drugog poglavlja, treće poglavlje prikazuje doprinos geodetskih mjerenja toj grani znanosti. Slijede obilježja Jadranske mikroplоче kao glavnog pokretača seizmičke aktivnosti ovog područja, nakon čega se u petom poglavlju teritorij Hrvatske dijeli u zone prema potresnim obilježjima. Prije samog zaključka provedena je i analiza seizmološke karte.

KLJUČNE RIJEČI: potres, seizmičnost, seizmologija, Hrvatska, potresne zone, seizmološka karta.

Seismicity of Republic of Croatia

ABSTRACT: The introduction of this piece is a short travel through the history of the most important science research of seismic activity in Croatia and surrounding areas. In addition there will be a discussion about tectonic movements which are the main cause of earthquakes in general. Seismic research methods and great geodetic contribution to seismology development will be discussed in second and third chapter. Furthermore, for better understanding of all movements in this region, it is necessary to understand the term of the "Adriatic microplate". In the fifth chapter the authors are talking about most active seismic zones in Croatia. Lastly, the authors are presenting an analysis based on croatian seismic map made in 2008.

KEYWORDS: earthquake, seismicity, seismology, Croatia, seismic zones, seismic map.

1. UVOD

U ovom će radu biti obrađeni potresi, njihovi uzroci i posljedice, metode praćenja te podjela teritorija Hrvatske prema seizmičkoj aktivnosti. U uvodnom dijelu dan je kratki povijesni pregled istraživanja potresa na našem području i u susjednim regijama, a prije svega je potrebno definirati samu pojavu potresa. Potres je endogeni proces do kojeg dolazi uslijed pomicanja tektonskih ploča te uzrokuje podrhtavanje Zemljine kore zbog oslobađanja velike količine energije [URL1].

Na teritoriju se Hrvatske u prošlosti dogodilo nekoliko razornih potresa od kojih su zasigurno najpoznatiji onaj u Dubrovniku 1667. godine, za koji zapisi kažu da je porušio gotovo cijeli grad i odnio čak oko 3 000 žrtava [URL2], te Veliki zagrebački potres koji se dogodio 1880. godine, jačine 9 stupnjeva MCS ljestvice (Simović, 2000). Upravo zbog ovakvih, a i niza drugih događaja, već od kraja 19. stoljeća seizmička aktivnost predmet je interesa mnogih znanstvenika od kojih su najpoznatiji Mijo Kišpatić i Josip Torbar čija su potresna izvješća sačuvana do današnjih dana [URL3].

1.1. PREGLED ISTRAŽIVANJA POTRESA U REPUBLICI HRVATSKOJ

Kako bi mogli prognozirati potrese te ustanoviti njihove uzroke, 1970-ih godina kreću istraživanja povezanosti između tektonskih gibanja i

seizmičke aktivnosti, a nastaju i karte prognoze potresa čiju izradu predvode Skoko i Prelogović. Skoko i Cvijanović 1981. objavljuju karte rasporeda maksimalnog intenziteta potresa, a nakon toga Kuk 1987. objavljuje karte seizmičke opasnosti za razne vremenske periode. Oslanjajući se na prostorne odnose između geoloških struktura i novijih tektonskih gibanja, Skoko i Prelogović 1989. Hrvatsku dijele u pet seizmotektonskih zona: južni i zapadni rub Panonske nizine, njezin unutrašnji dio, uzdignuti dijelovi Dinarida te područje Jadrana. Markušić i Herak pak teritorij Hrvatske zajedno s bližim okolnim područjima dijele u 17 zona (Markušić i Herak, 1999).

Na karti seizmičnosti Hrvatske i okolnih područja, koju su objavili Davorka i Marijan Herak te Snježana Markušić, prikazano je više od 30 000 potresa koji su se dogodili od vremena prije Krista pa sve do 2008. godine [URL4]. Većina ovih znanstvenika djeluje i objavljuje svoje radove pod okriljem Geofizičkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu utemeljenog 1861. godine, u sklopu kojeg se nalazi i Seizmološka služba Republike Hrvatske koja brine o prikupljanju i analizi makroseizmičkih i mikroseizmičkih podataka te održavanju mreže stanica sastavljene od 15 digitalnih seizmografa i 14 akcelometara kojima se prati podrhtavanje tla uzrokovano potresima u nas i u svijetu [URL5].

2. UZROCI POTRESA I TEKTONIKA PLOČA

Teorija tektonike litosfernih ploča zasniva se na pretpostavci da

Zemljina vanjska ljuska, odnosno litosfera, nije homogena i čvrsta ovojnica, već razlomljena na veće i manje strukturne dijelove, tzv. litosferne (tektonske) ploče. Postoji 9 većih litosfernih i određen broj manjih ploča (Rožić, 2011). Ispod krute listosfere nalazi se astenosfera koja ima elastična svojstva. Temeljni uzrok gibanja litosfernih ploča jest konvekcijsko gibanje koje nastaje kao posljedica prijenosa toplinske energije iz Zemljine vruće unutrašnjosti prema hladnijoj površini.

Do potresa dolazi na mjestima dodira dviju ploča koje se gibaju jedna prema drugoj, ali i na pojedinima gdje se ploče međusobno ne dodiruju. Zemlja nije jednoliko seizmički aktivna te se potresi uglavnom događaju duž linija koje definiraju granice tektonskih ploča iz čega je jasno vidljiva povezanost globalne razdiobe potresa i aktivne tektonike ploča (Markušić, 2003). Pri tome treba napomenuti kako na različitim vrstama granica između tektonskih ploča dolazi do potresa različitih jakosti. Na divergentnim granicama dolazi do plitkih i slabih potresa, na transformnim granicama do plitkih i srednje dubokih potresa, no vrlo često razornih, dok na konvergentnim granicama dolazi do najdubljih i najrazornijih potresa [URL 6].

2.1. METODE ISTRAŽIVANJA POTRESA

Seizmologija je znanost koja se bavi istraživanjem potresa i svih njegovih posljedica (Markušić, 2003). Postoje dvije metode istraživanja potresa: makroseizmička i mikroseizmička. Za makroseizmičku metodu može se reći da je zapravo opisna metoda s obzirom na to da se ljestvice koje ova metoda koristi pri određivanju intenziteta potresa temelje na opisima pojava na površini Zemlje primijećenih za vrijeme trajanja potresa, kao i na posljedicama koje ostaju trajno iza potresa. Ti isti opisi i posljedice potresa razvrstani su u klase kojima su definirani određeni stupnjevi intenziteta potresa, a prema broju i opisu klasa razlikujemo nekoliko ljestvica. Dakle, mjera je jakosti potresa kod makroseizmičke metode intenzitet potresa (I) na pojedinom mjestu izražen u stupnjevima neke od empirijskih ljestvica. Kao i u Europi, u Hrvatskoj se koristi Mercalli–Cancani–Sieberg (MSC) ljestvica, a u novije vrijeme njezina preinaka Mercalli–Sponhauer–Karnik (MSK) ljestvica. Više informacija o MCS ljestvici može se naći na URL 7. Za razliku od

makroseizmičke metode, mikroseizmička se metoda za analizu potresa služi konkretnim podacima mjerenja, a specifičan uređaj kojim su mjerenja dobivena zove se seizmograf. Seizmograf može registrirati tako mala podrhtavanja tla koja nisu u dosegu ljudskih osjetila. Da bi odredili sve parametre koji definiraju neki potres (vrijeme nastanka potresa ili hipocentralno vrijeme – H, geografske koordinate epicentra – ϕ i λ , dubina hipocentra – h, magnituda – M) potrebno je raspolagati podacima mjerenja najmanje tri seizmološke postaje. Kod mikroseizmičke metode mjera jakosti potresa magnituda potresa (M), proporcionalna oslobođenoj energiji u njegovu žarištu. Uspostava poveznice između dvije različite mjere jakosti istog potresa (dobivene različitim metodama) moguća je ukoliko se izvede empirijska relacija koja za područje Hrvatske glasi (Markušić, 2003):

$$M = 0.721 * I_{MAX} + 1.283 * \log h - 1.13$$

Osim seizmografa, za registriranje potresa koriste se i akcelerometri, uređaji koji mjere promjenu brzine po jedinici vremena. Također, jačinu potresa moguće je zabilježiti i drugim instrumentima od kojih je bitno istaknuti gravimetre kao uređaje koji, jednako precizno kao i seizmografi, a u nekim slučajevima i točnije, mogu mjeriti uslijed potresa nastale vertikalne pomake (Marjanović Kavangh, 2013). Uz gravimetre, i druge geodetske mjerne tehnike imaju važnu ulogu u praćenju tektonskih

aktivnosti kako na globalnom tako i na lokalnom nivou. Razlog tome ponajviše leži u razvoju mjernih tehnika kao što su VLBI (engl. Very Long Base Interferometry), SLR (Satellite Laser Ranging) i GNSS.

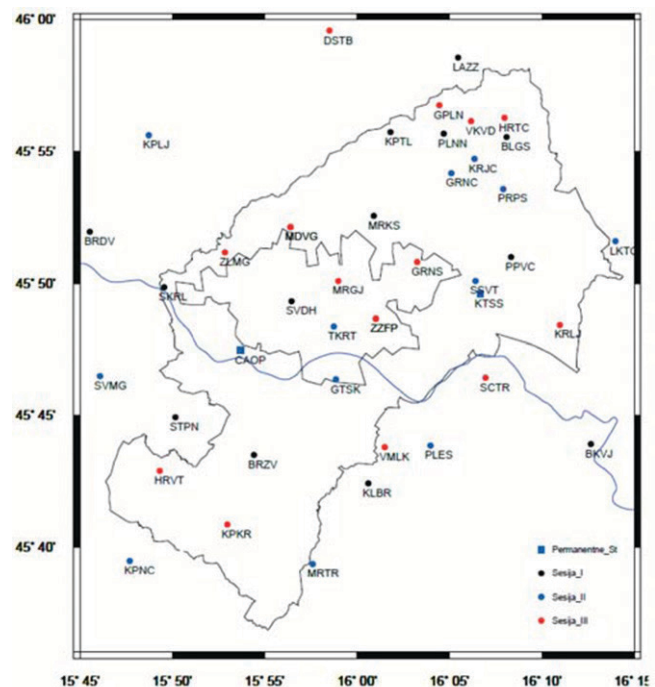
3. GEODINAMIČKA ISTRAŽIVANJA U RH

Na području Republike Hrvatske za praćenje tektonskih pomaka korišten je GPS u dvama glavnim geodinamičkim projektima:

1. Hrvatski geodinamički projekt CRODYN
2. Geodinamička mreža grada Zagreba

Hrvatski geodinamički projekt CRODYN pokrenut je 1994. godine čime je započelo kontinuirano dugoperiodično praćenje pomaka Zemljine kore na području Republike Hrvatske. Praćenjem ovih pomaka omogućeno je geometrijsko modeliranje i deformacijska analiza područja Jadranske mikroploče, predmeta mnogih istraživanja (Pavasović, 2014). Ovaj projekt pokrenula je Državna geodetska uprava Republike Hrvatske u suradnji s Geodetskim fakultetom Sveučilišta u Zagrebu. Pri uspostavljanju 1994. godine mreža je brojala 20 točaka na području Hrvatske, Slovenije i Italije, da bi u kasnijim kampanjama iz 1996. i 1998. bila proširena za još 14 točaka (Altiner i dr, 2006). U rujnu 2013, nakon gotovo 15 godina, projekt je nastavljen CRODYN13 mjernom kampanjom s mjerenjima na ukupno 32 lokacije.

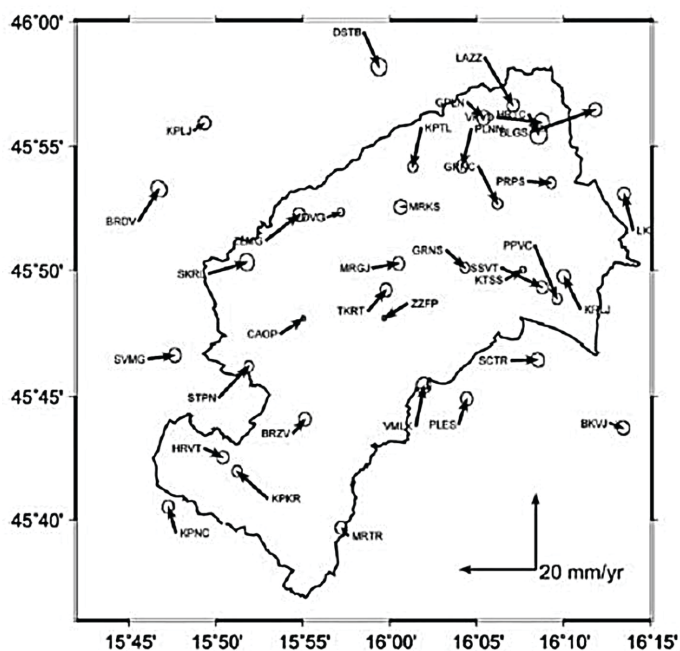
Geodinamička istraživanja na širem zagrebačkom području primjenom geodetskih metoda preciznog satelitskog pozicioniranja započela su 1997. godine uspostavljanjem Temeljne mreže grada Zagreba, koja je nakon druge serije mjerenja 2001. preimenovana u Geodinamičku mrežu grada Zagreba. Mreža se početno sastojala od 43 točke na prosječnoj međusobnoj udaljenosti od 7 kilometara (Čolić i dr, 1998). Točke su postavljene tako da najbolje predstavljaju geodinamička događanja na području istraživanja, no s obzirom na to da su neke od točaka uništene, 2005. godine su dodane nove točke, i to u područja na kojima je analizom utvrđena najveća seizmotektonska aktivnost. Mjerenja se provode svakih nekoliko



Slika 1. Raspored točaka u nekim od kampanja te model njihovog gibanja

godina u obliku GPS mjernih kampanja, a svaka se kampanja sastoji od dvije do tri 24-satne sesije. Zadnja kampanja održana je početkom srpnja ove godine. Na slikama 1 i 2 prikazan je raspored točaka u nekim od kampanja te model njihovog gibanja. Na temelju dosadašnjih mjerenja utvrđena je stalna tektonska aktivnost u cijelom obuhvaćenom području, a osobito je naglašena u Medvednici, zonama Zagrebačkog rasjeda i rasjeda Stubica–Kašina. Ovakvim mjerenjima dobiven je model gibanja pripovršinskih slojeva Zemljine kore šireg zagrebačkog područja koji se može primijeniti za točnije definiranje granica mikrosezmičkog zoniiranja tog područja (Pribičević i dr, 2011).

Uz ova dva glavna geodinamička projekta, Solaric (2013) najavljuje praćenje tektonskih gibanja te predviđanje potresa primjenom hrvatskog pozicijskog sustava CROPOS. U Japanu je postavljena mreža od 1200 GNSS permanentnih stanica, a S. Murai i H. Araki patentirali su pronalaznje GNSS signala prije potresa računanjem površina trokuta u čijim vrhovima se nalaze GNSS stanice. GNSS signal koji prethodi potresu nalazili su kad je promjena površine trokuta u jednom danu bila veća od 3 sigma (grube pogreške mjerenja). Na sličan način bi i CROPOS mreža mogla poslužiti za najavu većeg potresa u okolici Zagreba i u okolici nuklearne elektrane Krško, kao i na drugim trusnim područjima u Hrvatskoj. U tom bi slučaju u Zagrebu i okolici trebalo postaviti još desetak novih GNSS permanentnih stanica s posebno dobrom stabilizacijom. Na



Slika 2. Raspored točaka u nekim od kampanja te model njihovog gibanja

taj bi način CROPOS, osim čiste geodetske primjene, dobio i dodatnu funkciju za praćenje geodinamike te eventualno najavio veći potres.

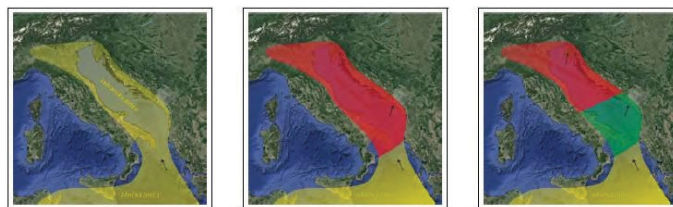
4. SMJEŠTAJ I GIBANJE JADRANSKE MIKROPLOČE

U drugom poglavlju govori se općenito o tektonici ploča, no s ciljem boljeg razumijevanja seizmičke aktivnosti teritorija RH potrebno je preciznije odrediti njegov smještaj i tektonska zbivanja na tom području.

Mediterransko područje predstavlja granicu između Afričke i Euroazijske ploče te je obilježeno nizom pukotina, rasjeda i tektonskih cjelina. Glavni uzrok tektonskih aktivnosti Mediteranskog područja jest

rotacija Afričke ploče u odnosu na Euroazijsku ploču oko pola smještenog u Atlantskom oceanu koja uzrokuje konvergentnu prirodu granice između navedenih ploča (Westaway, 1990).

Prema globalnom kinematičkom modelu NUVEL-1A, konvergencija Afričke i Euroazijske ploče iznosi od 10mm/g. u istočnom Mediteranu, do 4mm/g. u zapadnom Mediteranu s relativnom brzinom 8–9mm/g. (DeMets i dr, 1994), dok REVEL model predviđa relativnu brzinu od 6mm/g. (Sella i dr, 2002). Jadranska mikroploča smjestila se upravo u ovoj složenoj zoni sudara, preciznije između Alpa, Dinarida i Panonskog bazena, a njeno podvlačenje pod Dinaride pokreća je seizmičke aktivnosti na području Hrvatske. Kao posljedica tog podvlačenja, uz izdizanje Dinarida, odvija se i skraćivanje Panonskog bazena (Grenerczy i dr, 2005). Panonski bazen smješten je istočno od Jadranske mikroploče, okružen Karpatima i Dinaridima te se nalazi na spojnici tri transkurentna rasjeda: Balatonskog, Jadranskog te Dravskog (Herak i dr, 1996). Zbog slabije i tanje litosfere se deformira, i to u vertikalnom smislu, a kao posljedica na tom području nastaju rjeđi, veliki potresi (Markušić, S, 2008). Za razliku od veće seizmičke aktivnosti na rubnim područjima i visokim planinskim lancima, Jadransku mikroploču karakterizira vrlo mala seizmička aktivnost u Jadranskom moru. Budući da se većina Jadranske mikroploče nalazi ispod Jadranskog mora, izravna geološka i geodetska mjerenja nisu moguća, a istraživanja njezinog gibanja i deformacija provode se kroz



Slika 3. Model gibanja Jadranske mikroploče

geološka i geodetska mjerenja njezinog rubnog područja (Marjanović, 2009). Točan model gibanja Jadranske mikroploče nije poznat te postoji više teorija koje objašnjavaju njegovu geometriju i smjer (slika 3).

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). Analizirajući brojne potrese na rubnim područjima Jadranske mikroploče, teoriju o Jadranskoj mikroploči kao neovisnoj podupiru i McKenzie, (1972), Anderson i Jackson (1987), Westaway (1990), Calais i dr. (2002) i Altiner i dr. (2006). Druga skupina znanstvenika, među kojima su Braitenberg i dr. (2001) i Mele (2001), podupiru teoriju da je Jadranska mikroploča samo nastavak Afričke ploče te se pomiče u sjeverozapadnom smjeru u iznosu od 5 mm/g.

Ovu teoriju podupire činjenica da je dno Jadranskog mora u odnosu na tektonski aktivno planinsko područje po svojoj strukturi jednostavnije i stabilnije. Treća teorija predstavlja Jadransku mikroploču kao neovisnu, ali podijeljenu na dva bloka odijeljena linijom Gargano – Dubrovnik, a podupiru ju Mantovani i dr. (2006), Oldow i dr. (2002), Battaglia i dr. (2004), Grenerczy i dr. (2005) i Weber i dr. (2005).

5. ANALIZA TERITORIJA RH NA TEMELJU SEIZMIČKIH ZBIVANJA

Seizmičnost sjeverozapadne Hrvatske može se okarakterizirati kao

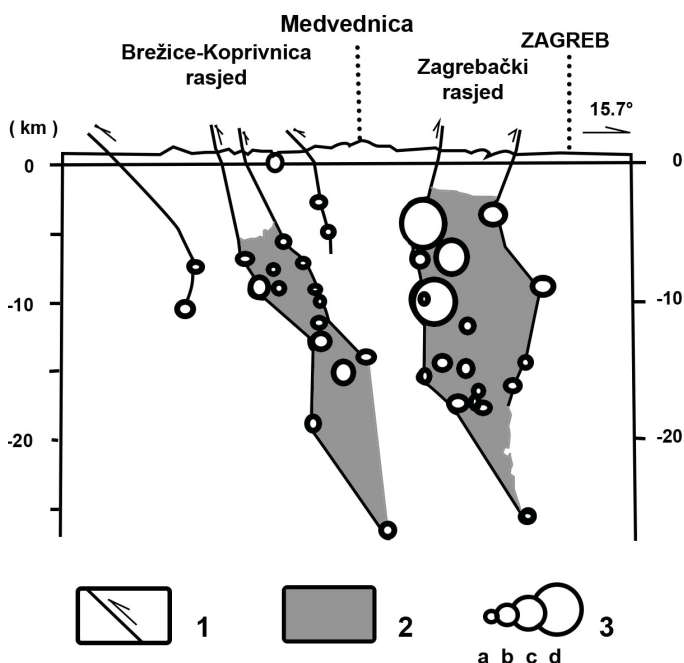
umjerena s rijetkim pojavama jačih potresa. Medvednica i šira okolica Zagreba pripadaju seizmotektonski aktivnom području. Na tu činjenicu ukazuju povijesni podatci o potresima i ne tako davna seizmička aktivnost. Kada govorimo o geološkom položaju, navedeno je područje smješteno na granici između zapadnog 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 4. Zagrebački rasjed koji je sačinjen od niza manjih rasjeda

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, Ivanščice i Kalnika. Područje samog grada Zagreba presijeca zagrebački rasjed koji je sačinjen od niza manjih rasjeda: Podsused–Markuševac–Kašina–Zelina i Kerestinec–Ilica–Maksimir–Sesvete (slika 4).

Zajedno, oni čine snop paralelnih rasjeda različita karaktera i nagiba. Najčešći nagibi u prostoru su između 70° i 80° (Herak i dr, 2009). U dolini Save su još dva reversna rasjeda orijentacije jug–jugoistok. U Medvednici se ističe rasjed Bistra–Laz, orijentiran sjever–zapad, širok 1 km. Uz njega, veliku važnost ima rasjed Stubica–Kašina koji Medvednicu dijeli na



Slika 5. Žarišta potresa na ovom području

dva dijela. Pojave potresa prema pravilu ovise o rasporedu masa stijena u dubini (u Medvednici su relativno velike gustoće) i mogućim deformacijama izazvanim kompresijom (zapadnog dijela Panonskog bazena). Najveće koncentracije žarišta potresa na ovom području su na dubini između 5 i 15 km (slika 5).

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 dva-desetak 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 sati, 33 minute i 50 sekundi. Njegova epicentralna jačina je procijenjena na oko 9°MCS, a žarišnu dubinu je prvi procijenio J. Torbar između 10 i 15 km, što je odredio teorijskim izvodima „o odnosu smjera padanja



Slika 6. Potres koji se dogodio 9. 11. 1880.

predmeta i smjera rasprostiranja valova potresa“ (Simović, 2000). Taj potres je, uz materijalne gubitke, uzrokovao i gubitak dva ljudska života te nemali broj ozlijeđenih (slika 6).

Tada je utemeljeno uvjerenje da proučavanje potresa nikako ne može biti osobni interes pojedinih građana nego interes cjelokupne zajednice. Sljedeća dva potresa, s epicentrom u Medvednici, dogodila su se 1905. i 1906. godine. Kad je riječ o bližoj prošlosti, jedan je od jačih potresa bio 1190. godine s epicentrom također u Medvednici kod Kraljevog vrha, epicentralnog intenziteta 7°MCS (Kuk i dr, 2000).

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 6°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. 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 7–8° MCS s epicentrom sjeverno od Osijeka (Markušić i Herak, 1999).

Područje Dilj gore nije, ili je vrlo slabo, seizmički aktivno. Katalog potresa bilježi 28 potresa. Najjači se dogodio 1964. a bio je jačine 8–9° MCS te popraćen nizom manjih potresa. Nakon toga su zabilježeni vrlo slabi potresi epicentralne jačine 5–6° MCS (Markušić i Herak, 1999).

Područje južnog dijela Hrvatske je zona izrazitih potresa što se da zaključiti izučavanjem Hrvatske seizmološke karte 2011–2012 [URL 4]. Na području je Dubrovnika većina potresa uzrokovana klizanjem duž rasjeda u dubrovačkoj i jadranskoj seizmičkoj zoni.

Povijesni zapisi iz 15. 16. i 17. stoljeća kazuju nam o 8 potresa intenziteta 9–10° MCS ljestvice, od kojih je najvažniji veliki potres u Dubrovniku 1667. godine ($I = 9^\circ$ MCS). Od tad je seizmička aktivnost umjerena, karakteriziraju je potresi magnitude do 5.5. Vrlo jak nedavni događaj u toj zoni je potres koji se dogodio 1995. godine, magnitude 5.1. Ako sagledamo jako izraženu seizmičku aktivnost u prošlosti, kao i izražajnije aktivnosti obližnje zone, nedostatak velikih događanja u zadnjih 330 godina možemo smatrati neprirodnim seizmičkim mirovanjem (Skoko, 1989).

U zoni Ston–Metković nalazimo 7 potresa s epicentralnim intenzitetom od 7 i više stupnjeva po MCS ljestvici. Najjači je potres bio 1479. godine, s procijenjenim intenzitetom od 9° MCS i epicentrom u blizini Metkovića. Od važnosti je i najnoviji potres iz 1996. godine ($M = 6$, $I = 7^\circ$ MCS) koji je izazvao veliku štetu u regiji Ston–Slano. Ova zona je nakon tog potresa postala neuobičajeno duga (oko 70 km), a produžena je gotovo okomito u odnosu na obalu te na novonastali rasjed.

Nakon tog su se potresa dogodila 2 manja za koja, skupa s glavnim potresom, imamo podatke uzroka nastanka potresa, tj. hvatište vektora ploče koja se pomaknula (kliznula) prema drugoj ploči, kao i podatke o epicentrima. Žarišne dubine su u rasponu između 2 i 20 km. Svi ti potresi su rezultat uranjanja Jadranske mikroploče pod Alpe i Dinaride (zona subdukcije), a rezultat je rasjed koji se proteže u pravcu sjeverozapad–jugoistok. Kao i u susjednim područjima, os tektonskog pritiska je gotovo horizontalna i orijentirana u smjeru sjeverozapad–jugoistok (Herak i dr, 2001).

Zona južnog Jadrana obuhvaća područje jugozapadno od otoka Lastova i nalazi se u području umjerene seizmičke aktivnosti. Dio je ruba zone Gargano, najaktivnijeg dijela jadranske platforme koji razdvaja središnji od južnog Jadrana. Seizmička aktivnost je dobro poznata samo u nekoliko posljednjih godina kada su postali dostupni instrumentalni podatci dobre kvalitete. Najjači poznati potresi na tom području imaju magnitudu do 5.6. Podvlačenje Jadranske mikroploče pod Alpsku ploču i Dinaride i ovdje dovodi do stvaranja rasjeda koji zbog jačine udarca mijenja smjer prema sjeveru i sjeverozapadu. Vrlo je vjerojatno da će se granice ove zone u budućnosti redefinirati jer je u procesu prikupljanje novih podataka (Markušić i Herak, 1999).

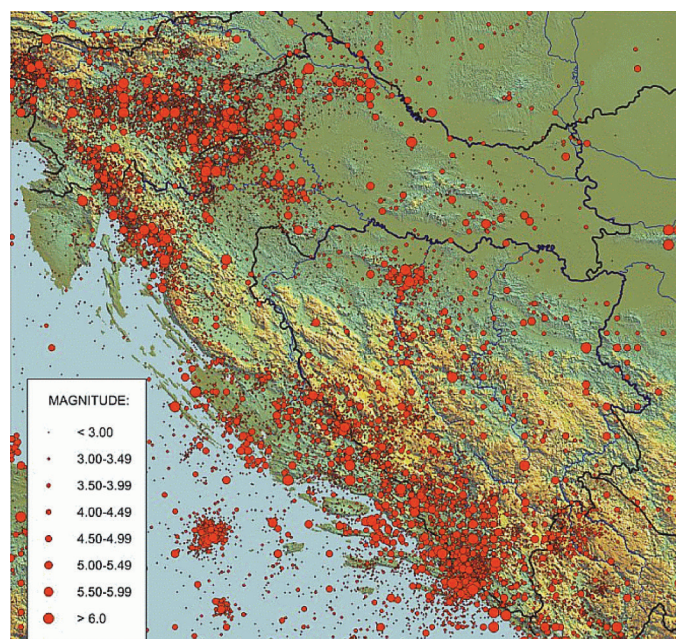
Dalmacija je zona koja obuhvaća najveći dio središnjeg jadranskog područja. Potresi se uglavnom javljaju na južnom dijelu zone Trst–Dugi Otok te u zoni između planina Mosor i Biokovo. Iz arhive (Kišpatić

saznajemo da se na ovim prostorima u 15. stoljeću dogodio destruktivni potres, no njegov položaj i intenzitet nisu poznati. Područje Šibenika je bilo posebno aktivno između 1923. i 1926, kada se dogodio velik broj umjerenih potresa magnitude koja ne prelazi 5.3. Najvažniji potresi su se dogodili na području između Biokova i Hvara i počeli su u siječnju 1962. godine, s dva glavna potresa magnitude 5.9 i 6.1. Raspon žarišnih dubina za tri najveća potresa iz ovog slijeda su slični, smjer nastanka rasjeda je subhorizontalan smjeru rotacije Zemlje s orijentacijom u smjeru sjeverozapad–jugoistok. Ovdje se najjači potresi javljaju u dubini između 9 i 20 km (Markušić i Herak, 1999).

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.

Najjači potres u Hrvatskoj u ovom stoljeću dogodio je se 1942. godine i to u jugoistočnom dijelu zone, blizu Imotskog. Potres je bio magnitude od 6.2 s jačinom u epicentru od 8 do 9° MCS. Drugu polovicu ovog stoljeća karakterizira pojava brojnih umjerenih potresa magnitude koja ne prelazi 5.6. Značajni potresi su: potres iz 1986. godine ($M = 5.5$) u sjeverozapadnom dijelu zone te dva potresa iz 1990. godine ($M = 5.6$ i $M = 5.5$) u središnjem dijelu. Značajan je potres iz 1986. godine uzrokovan podvlačenjem Jadranske ploče pod Alpsku i Dinaride, a proklizavanjem Dinarida nastaje rasjed orijentiran u smjeru sjever–jug (Herak i Herak, 1995).

Najstariji potresi vezani za područje Zadra datiraju iz 12. st. Nepouzdana izvori spominju velike potrese iz 13, 14, 15. i 18. stoljeća s jačinom od 9° MCS. Zatim su prijavljeni samo umjereni potresi koji ne prelaze intenzitet veći od 7° MCS. Seizmičnost ovog područja je uglavnom uzrokovana tektonskim procesima na Dugom Otoku. Jedina rješenja zone subdukcije dostupna za ovo područje su ona za potrese iz 1963. godine ($M = 4.8$). To su rijetka rješenja koja ukazuju na nastanak rasjeda u smjeru



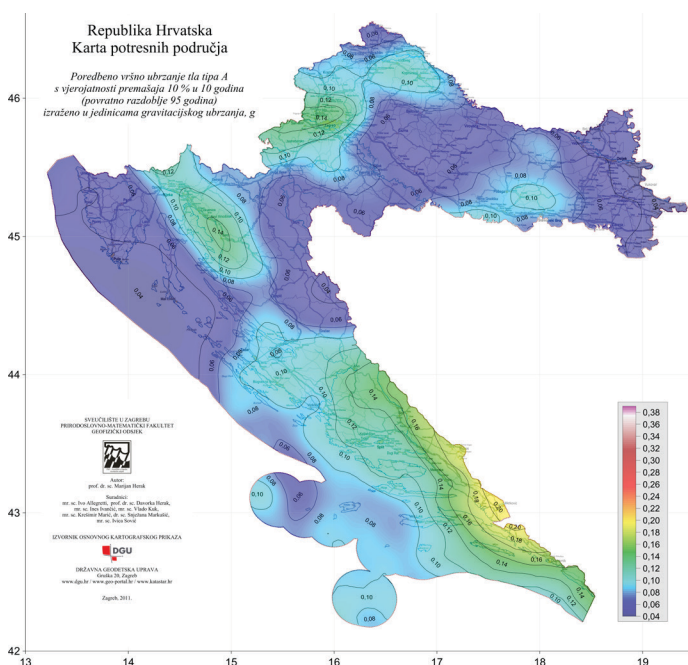
Slika 7. Karta seizmičnosti Hrvatske i okolnih područja

sjeverozapad–jugoistok. To je, međutim, teško ocijeniti reprezentativnim rješenjem za cijelo područje. Najpouzdanije su utvrđena žarišta potresa koja se nalaze na dubini od 4 do 18 km (Markušić, i Herak, 1999).

Posljednja se zona proteže od Rijeke, zapadno do Slovenije i sjeverozapadno prema Italiji. Najveći potres u ovom stoljeću dogodio se 1926. godine u neposrednoj blizini Postojne u Sloveniji ($M = 5.6$, $I = 7-8^{\circ}$ MCS). Prema povijesnim izvorima, jaki potresi intenziteta $9-10^{\circ}$ MCS dogodili su se 1511. (Idrija, Slovenija) i 1721. godine (Rijeka, Hrvatska). U ovoj zoni imamo slabije potrese koji dovode do zaključka da se rasijedanje odvija na poledini i ima gotovo vertikalne rasjede s dominantnom horizontalnom komponentom pokreta. Tektonski pritisak je u smjeru sjever–jug. Hipocentri se uglavnom nalaze na dubini od 8 do 18 km (Markušić i Herak, 1999).

5.1. ANALIZA HRVATSKE KARTE POTRESNIH PODRUČJA

Na karti seizmičnosti Hrvatske i okolnih područja prikazani su epicentri od oko 30 000 potresa, a na prikazanom području u prosjeku se svake godine dogodi potres magnitude veće od 6 prema Richteru te se osjeti oko 65 potresa godišnje (slika 7).



Slika 8. Karta potresnih područja za povratno razdoblje od 95 godina

Usporedno je prikazana i karta potresnih područja za povratno razdoblje od 95 godina na kojoj su prikazane vrijednosti vršnog ubrzanja tla, izraženog u jedinicama gravitacijskog ubrzanja gdje je $1g = 9.81\text{m/s}^2$ (slika 8).

Na slici se vidi da su najveća ubrzanja tla (žuta i zelena boja na karti) upravo na mjestima gdje je najveća koncentracija potresa na karti seizmičke aktivnosti (crvene točke). Također je vidljivo da je u posljednjih 95 godina Dinara tektonski najaktivnije područje, a slijedi okolica Dubrovnika, sjeverni Jadran te sjeverozapadni dio Hrvatske. Tamnijom plavom bojom prikazana su područja koja karakterizira najmanja vrijednost ubrzanja tla, a to su Panonski bazen, Istra i Lika.

6. ZAKLJUČAK

Područje Republike Hrvatske nalazi se na tektonski vrlo aktivnom području čiju aktivnost dokazuju mnogi potresi zabilježeni kroz povijest. Seizmički su najaktivnija područja sjeverozapadna Hrvatska i okolica glavnog grada Zagreba, područje sjevernog Jadrana (okolica Rijeke, Krka i Vinodola) te grad Dubrovnik i otok Lastovo. S druge strane, područja koja gotovo da i nisu seizmički aktivna su južni Panonski bazen, područje Like i Velebita te Istra koja se cijela nalazi u unutrašnjosti Jadranske mikroploče čije se gibanje, odnosno rotacija, smatra uzrokom potresa na ovim područjima. Tijekom dugog niza godina provedena su mnoga istraživanja u svrhu praćenja geodinamike, a jednako tako i seizmike, što je posebno omogućeno razvojem novih mjernih tehnologija. Geodetske mjerne tehnike također uvelike pridonose praćenju pomaka Zemljine kore, a poseban značaj svakako imaju hrvatski geodinamički projekt CRODYN, čija mreža stanica pokriva područje cijele države, te geodinamička mreža grada Zagreba kojom se prate pomaci na širem području glavnog grada. Veliki doprinos u bližoj budućnosti očekuje se uključivanjem mreže stanica CROPOS-a u projekte praćenja tektonskih gibanja, koji će prema nekim idejama služiti i za predviđanje većih potresa. Za ove potrebe trebalo bi mrežu točaka učiniti gušćom, unaprijediti softver za obradu podataka i proširiti kapacitet kontrolnog centra, a velike su šanse da uloženi naponi neće biti uzaludni.

LITERATURA

- Altiner, Y; Marjanović, M; Medved, M; Rasić, Lj. 2006. Active Deformation of the Northern Adriatic Region: Results from the CRODYN geodynamical experiment. Proceedings of the NATO Advances Workshop. The Adria Microplate: GPS Geodesy, Tectonics and Hazards. Veszprem. str. 257–267.
- Anderson, H. i Jackson J. 1987. Active tectonics of the Adriatic Region. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, Volume 91. str. 937–983.
- Battaglia, M; Murray, M. H; Serpelloni, E; Burgmann, R. 2004. The Adriatic region: An independent microplate within the Africa–Eurasia collision zone. Geophysical Research Letters, vol. 31, L09605, str. 1–4. doi: 10.1029/2004GL019723.
- Braitenburg, C; Nagy, I; Negusini, M; Romagnoli, C; Zadro, M; Zerbini, S. 2001. Geodetic measurements at the northern border of the Adria plate. Journal of Geodynamics 32 (2001). str. 267–286.
- Calais, E; Nocquet, J.–M; Jouanne, F; Tardy, M. 2002. Current strain regime in the Western Alps from continuous Global Positioning System measurements, 1996–2001. Geology, Volume 30, no. 7. str. 651–654.
- Čolić, K; Pribičević, B; Švehla, D. 1998. Hrvatski geodinamički projekt CRODYN i GPS mreža grada Zagreba. Zbornik radova Andrija Mohorovičić, 140. obljetnica rođenja. str. 141–152.
- DeMets, C; Gordon, R. G; Argus, D. F; Stein, S. 1994. Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions. Geophys. Res. Lett. 21, 20. str. 2191–2194.
- Grenerczy, G; Sella, G; Stein, S; Kenyeres, A. 2005. Tectonic implication of the GPS velocity field in the northern Adriatic region. Geophysical Research Letters, vol. 32, L16311, doi: 10.1029/2005GL022947.
- Herak, D. i Herak, M. 1995. Body–wave velocities in the circum–Adriatic region. Tectonophysics, 241. str. 121–141.
- 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.

- Herak, M; Herak, D; Markušić, S. i Ivančić, I. 2001. Numerical modeling of the Ston–Slano (Croatia) aftershock sequence. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 45. str. 251–266.
- Herak, D. i Herak M. 2009. Seismicity and earthquake focal mechanisms in North-Western Croatia. *Tectonophysics*, 465. str. 212–220.
- Herak, D. 2011. Fizika Zemlje–predavanje. Geofizički odsjek, Prirodoslovno–matematički fakultet. Zagreb.
- Kuk, V; Prelogović, E; Sović, I; Kuk, K. & Šariri, K. 2000. Seizmološke i seizmotektonske značajke šireg zagrebačkog područja. *Građevinar*, 52, 11. str. 647–653.
- Mantovani, E; Babbucci, D; Viti, M; Albarello, D; Mugnaioli, E; Cenni, N; Casula, G. 2006. Post–Late Miocene Kinematics of the Adria Microplate: Inferences from Geological, Geophysical and Geodetic Data. *Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop. The Adria Microplate, GPS Geodesy, Tectonics and Hazards*. 4–7 April 2004. *Veszprem*. str. 51–69.
- Marjanović, M. 2009. Primjena GPS mjerenja za određivanje horizontalnih i vertikalnih pomaka Jadranske mikroploče. Doktorska disertacija. Geodetski fakultet. Zagreb.
- Marjanović Kavanagh, R. 2013. Instrumenti na stanicima za praćenje disanja Zemljine kore na RGN fakultetu. *Geodetski list*, 2. Zagreb. str. 107–118.
- Markušić, S. i Herak, M. 1999. Seismic zoning of Croatia. *Natural Hazards* 18. str. 269–285.
- Markušić, S. 2003. Seizmologija i istraživanje unutrašnjosti Zemlje. Geofizički odsjek, Prirodoslovno–matematički fakultet. Zagreb.
- Markušić, S. 2008. Seismicity of Croatia, Earthquake Monitoring and Seismic Hazard Mitigation in Balkan Countries NATO Science Series, svezak 4. *Earth and Environmental Sciences*, br. 81. str. 81–98.
- McKenzie, D. 1972. Active Tectonics of the Mediterranean Region. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, Volume 30. str. 109–185.
- Mele, G. 2001. The Adriatic lithosphere is a promontory of the African plate: Evidence of a continuous mantle lid in the Ionian Sea from efficient Sn propagation. *Geophysical Research Letters*, vol. 28, no. 3. str. 431–434.
- Oldow, J. S; Ferranti, L; Lewis, D.S; Campbell, J.K; D'Argenio, B; Catalano, R; Pappone, G; Carmignani, L; Conti, P; Aiken, C.L.V. 2002. Active fragmentation of Adria, the north African promontory, central Mediterranean orogen. *Geology*, Volume 30, no. 9. str. 779–782.
- Pavasović, M. 2014. CROPOS kao Hrvatski terestrički referentni okvir i njegova primjena u geodinamičkim istraživanjima. Doktorska disertacija. Geodetski fakultet. Zagreb.
- Pribičević, B; Đapo, A; Medak, D. 2011. Geodetsko–geološka istraživanja na širem zagrebačkom području oslonjena na geodinamičku mrežu Grada Zagreba. *Geodetski list* 2011, 1. str. 1–19.
- Rožić, N. 2011. Teorija litosfernih ploča – predavanje. Zavod za geomatiku. Geodetski fakultet. Zagreb.
- Sella, G. F; Dixon, T.H; Mao, A. 2002. REVEL: A model for recent plate velocity from space geodesy. *J. Geophys. Res.*, 107, B4, 2081, doi:10.1029/2000JB000033.
- Simović, V. 2000. Potresi na zagrebačkom području. *Građevinar* 52 (2000) 11. str. 637–645.
- Skoko, D. 1989. Seizmičnost dubrovačkog područja. Simpozij “Otok Lokrum”. Dubrovnik. 8–11.9.1987. Hrvatsko ekološko društvo. Ekološke monografije, knjiga 1. Zagreb. str. 113–138.
- Solarić, N. i Solarić, M. 2013. Moguća primjena CROPOS–a i za najavu većeg potresa. *Zbornik radova 3. CROPOS konferencije*. str. 21–28.
- Weber, J; Vrabec, M; Stopar, B; Pavlovčić–Prešern, P; Dixon, T. 2006. The PIVO–2003 Experiment: a GPS Study of Istria Peninsula and Adria Microplate Motion, and Active Tectonics in Slovenian. *Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop. The Adria Microplate, GPS Geodesy, Tectonics and Hazards*. 4–7 April 2004. *Veszprem*. str. 305–320.
- Westaway, R. 1990. Present–day kinematics of the plate boundary zone between Africa and Europe, from the Azores to the Aegean. *Earth and Planetary Science Letters*, 96. 1990. str. 393–406.

POPIS URL-OVA

- URL 1: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Potres> (pristupljeno 25. studenog 2015.)
- URL 2: <http://www.hrt.hr/arhiv/ndd/04travanj/0406%20DubrovnikPotres.html> (pristupljeno 26. studenog 2015.)
- URL 3: HAZU, <http://katalog.hazu.hr/WebCGI.exe?Tip=Listic&Jbmg=022017&Baza=1> (pristupljeno 26. studenog 2015.)
- URL 4: Karta seizmičnosti Hrvatske, <http://www.gfz.hr/seismap.php>, (pristupljeno 26. studenog 2015.)
- URL 5: Geofizički odsjek PMF-a, <http://www.pmf.unizg.hr/geof/znanost> (pristupljeno 26. studenog 2015.)
- URL 6: Potresi, <https://geoclass.wordpress.com/2009/08/31/potresi/> (pristupljeno 25. studenog 2015.)
- URL 7: Enciklopedija, <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=49792> (pristupljeno 28. studenog 2015.)
- URL 8: http://www.sventv.info/Vijesti/1378460662_zagrebakirasjed_potres.jpg (pristupljeno 26. studenog 2015.)
- URL 9: Karta potresnih područja, <http://seizkarta.gfz.hr/karta.php> (pristupljeno 12. prosinca 2015.)

AUTORI | AUTHORS

Dino Gusić, univ.bacc.ing. geod. et geoinf., Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26 Zagreb, e-mail: dgusic@geof.hr

Josipa Landeka, univ.bacc.ing. geod. et geoinf., Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26 Zagreb, e-mail: jlandeka@geof.hr

Andrea Lukić, univ.bacc.ing. geod. et geoinf., Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26 Zagreb, e-mail: anlukic@geof.hr

Mile Prša, univ.bacc.ing. geod. et geoinf., Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26 Zagreb, e-mail: miprsa@geof.hr

Ivana Vidić, univ.bacc.ing. geod. et geoinf., Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26 Zagreb, e-mail: ividic@geof.hr