

Tomislav Fiket, Ines Ivančić, Ivica Sović

Djelovanje Seizmološke službe Republike Hrvatske u razdoblju 2020. – 2022.

Tomislav Fiket
Ines Ivančić
Ivica Sović
Seizmološka služba RH
Geofizički odsjek PMF-a Sveučilišta u Zagrebu
HR – 10000 Zagreb, Horvatovac 95

UDK: 550.34.037(497.5)“2020/2022”
550.34(497.521.2)“2020”
550.34(497.527Petrinja)“2020”
Pregledni članak / Review paper
Primljeno / Received: 31. 1. 2023.

Ovim tekstom opisat će se postojeće i buduće stanje instrumentacije Seizmološke službe Republike Hrvatske smještene pri Geofizičkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu te njezin rad vezan uz potrese tijekom i nakon 2020. godine.

U Republici Hrvatskoj u 2020. godini dogodila su se dva potresa koja su odnijela ljudske živote i nanijela veliku materijalnu štetu. Prvi potres dogodio se u nedjelju, 22. ožujka 2020. godine, s epicentrom kod Markuševca u Zagrebu. Drugi, razorniji potres, dogodio se u utorak 29. prosinca 2020. godine, s epicentrom kod mjesta Strašnik nedaleko Petrinje. Uz navedeno, opisat će se naponi u unapređenju rada i opremanju Službe novom opremom i ustrojavanjem za djelovanje u nadolazećim godinama. Ukratko će se prikazati plan razvoja Službe, kao i donirana oprema za pokretne seizmološke postaje koja je, odlukom Vlade Republike Hrvatske preko Ministarstva znatnosti i obrazovanja, donirana Službi nakon razornoga petrinjskog potresa.

Ključne riječi: seizmološka služba, 2020., potres, oprema, seizmološke postaje, pokretna mreža, naknadni potresi

Keywords: seismological survey, 2020, earthquake, instruments, seismological stations, mobile seismic network, aftershocks

UVOD

Seizmološka služba Republike Hrvatske (u daljnjem tekstu: Služba) osnovana je 1976. godine kao Seizmološka služba Socijalističke Republike Hrvatske odlukom Izvršnog Vijeća Sabora SRH (tadašnje Vlade). Od svog osnutka, u cilju smanjivanja troškova, smještena je pri Geofizičkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu kako bi koristila zajedničke službe Fakulteta. Kako je već od osnutka bila smještena na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu (u daljnjem tekstu: PMF), 1985. godine donesen je Zakon o seizmološkim poslovima kojim

se PMF-u nalaže da osigura provedbu Zakona.¹ PMF provodi nalog Vlade povjeravanjem tih poslova Službi (koja ih je i do tada obavljala). Dio zadaća koje je država povjerila Službi je: opažanje potresa, izgradnja i održavanje nacionalne mreže seizmoloških postaja, lociranje potresa i izrada kataloga, održavanje seizmološkog arhiva seizmograma, akcelerograma i makropodataka, procjena potresne opasnosti na temelju analize seizmičnosti, izvješćivanje javnosti, suradnja s državnim tijelima u cilju smanjenja posljedica potresa i dr. Kako su navedene zadaće od najveće važnosti za domovinsku sigurnost, a Republika Hrvatska je ugrožena potresima, djelatnost Službe pripada u strateški važne djelatnosti. Republika Hrvatska od 70-ih godina prošlog stoljeća sredstva za poslove Službe osigurava državnim proračunom. Tijekom 2020. godine u Republici Hrvatskoj dogodila su se dva jaka potresa koja su odnijela ljudske živote i nanijela veliku materijalnu štetu. Prvi potres dogodio se u nedjelju, 22. ožujka 2020. godine u 6 sati i 24 minute po lokalnom vremenu, s epicentrom kod Markuševca u Zagrebu (u daljnjem tekstu: zagrebački potres), magnitude $M_L=5.5$. Drugi, razorniji potres, dogodio se u utorak 29. prosinca 2020. godine u 12 sati i 19 minuta, s epicentrom kod mjesta Strašnik nedaleko Petrinje (u daljnjem tekstu: petrinjski potres), magnitude $M_L=6.2$. U nastavku je osvrtna na rad Službe u vrijeme i neposredno nakon zagrebačkog i petrinjskog potresa.

Prvi potres je za rad djelatnika Službe bio znatno zahtjevniji iz više razloga. Kako je epicentar potresa bio u Zagrebu, gdje je i sjedište Službe, njegove posljedice su uvelike utjecale na mobilnost djelatnika Službe i rad instrumentacije u samom sjedištu Službe. Osim toga, potres se dogodio u nedjelju u 6 sati i 24 minute ujutro, izvan radnog vremena i radnog dana većine djelatnika Službe izuzev dežurnog seizmologa. Kako bi situacija bila još zahtjevnija, na snazi

¹ Zakon o seizmološkim poslovima, *Narodne novine*, 1985., br. 44



1 Prva bušotinska postaja u RH. Korištena oprema je post-hole instrument tvrtke Guralp Systems Ltd. (model Radian post-hole) i digitalizator Minimus (Guralp Systems Ltd.). Oprema je nabavljena zahvaljujući donaciji tvrtke Termostroj d.o.o. a bušotina je izvedena donacijom tvrtke Geotehnički studio d.o.o. Ogradu oko postaje je donirao Geofizički odsjek PMF-a.

The first borehole station in the Republic of Croatia. The equipment used is a Guralp Systems Ltd. post-hole instrument (Radian post-hole model) and a Minimus digitizer (Guralp Systems Ltd.). The equipment was acquired thanks to a donation from Termostroj d.o.o. and the borehole was drilled thanks to a donation from Geotehnički studio ltd. The fence around the station was donated by the Department of Geophysics of the Faculty of Science.

su bile brojne epidemiološke mjere i odluka o posebnoj organizaciji rada uslijed epidemije Covid-19 donesene dva dana ranije, u petak 20. ožujka. Naime, zbog epidemije Covid-19 na snazi su bila ograničenja kretanja i okupljanja većeg broja ljudi na jednom mjestu u cilju sprečavanja širenja zaraze. Zbog velike količine srušenoga građevnog materijala na prometnicama, djelatnici su se otežano probijali do službenih prostorija Službe na Horvatovcu 95, dok je nestanak električne energije na području grada Zagreba uslijed potresa dodatno otežao njihov rad. Operativni centar Službe posjeduje sustave neprekidnog napajanja za svoje servere i dežurnu sobu, međutim, internetska veza kojom se prenose podaci tada je bila realizirana preko čvorišta izvan nadzora Službe, a ono nije bilo opremljeno generatorskim napajanjem u slučaju nestanka električne energije, tako da je prijenos podataka bio prekinut tim putem. Iako Služba raspolaže vlastitim satelitskim prijemnikom i dediceranim računalom kao osiguranje upravo u ovakvim slučajevima, isto je moguće koristiti samo na jednom računalu, zbog čega je istovremena analiza dolaznih podataka/potresa od strane više djelatnika Službe u takvim izvanrednim situacijama otežana. Nažalost, sam proračun Službe u razdoblju

koje je prethodilo zagrebačkom potresu nije bio dostatan za uklanjanje navedenih nedostataka.

Petrinjski potres, iako razorniji od zagrebačkog, djelatnicima Službe je bio ponešto jednostavniji za obradu. Naime, kako se dan ranije, 28. prosinca 2020. u Petrinji dogodio prethodni potres magnitude $ML=5.0$, djelatnici Službe su bili mobilizirani te su se djelatnici, izuzev članova koji su bili u stožeru Civilne zaštite, odnosno na terenu prikupljajući makroseizmičke podatke, u trenutku petrinjskog potresa 29. prosinca nalazili na radnom mjestu i odmah proveli analizu istog. Nadalje, ovaj potres nije isključio električnu energiju u Zagrebu, čime se analiza radila na svim radnim mjestima bez zapreka.

Nakon petrinjskog potresa na sjednici Vlade RH donesena je odluka o znatnom povećanju godišnjih izdvajanja za Službu i, što se pokazalo izuzetno značajnim, donesena je odluka Vlade RH, odnosno Ministarstva znanosti i obrazovanja o donaciji u iznosu od 4.5 milijuna kuna za potrebe nabavke prve pokretne mreže seizmografa i akceleroografa za praćenje niza naknadnih potresa nakon jakih potresa u Republici Hrvatskoj. Navedena sredstva su u najkraćem mogućem roku iskorištena za nabavku 20 kompleta seizmometara s digitalizatorima podataka i 20 akceleroografa te je oprema stigla u Zagreb iz Sjedinjenih Američkih Država već 12. siječnja 2021. godine. Nekoliko dana nakon toga prve postaje su već radile na širem petrinjskom području.

U daljnjem tekstu opisan će se stanje opreme i seizmoloških postaja prije 2020. godine te postavljanje privremene seizmološke mreže na petrinjskom području i rezultati njezinog rada. Također, bit će prikazani i neki osnovni rezultati aktivnosti djelatnika Službe, uključujući i ulogu Službe u nizu upravnih i radnih tijela RH (Savjeta za obnovu, Vlade RH, Ministarstva graditeljstva i prostornog uređenja, Ministarstva znanosti i obrazovanja, Ministarstva kulture i medija, Ministarstva unutarnjih poslova – Operativnog centra civilne zaštite (MUP-OCCZ) itd...). Nadalje, prikazat će se osvrt na projekt Službe u provedbi „Razvoj mreže seizmoloških podataka” (CROSSNET, 2021.-2026.)², financijski najveći i najzahtjevniji projekt u povijesti seizmologije RH osiguran kroz Nacionalni plan oporavka i otpornosti (NPOO)³, kao i plan razvoja Službe u razdoblju od 2021. godine do 2031. godine.

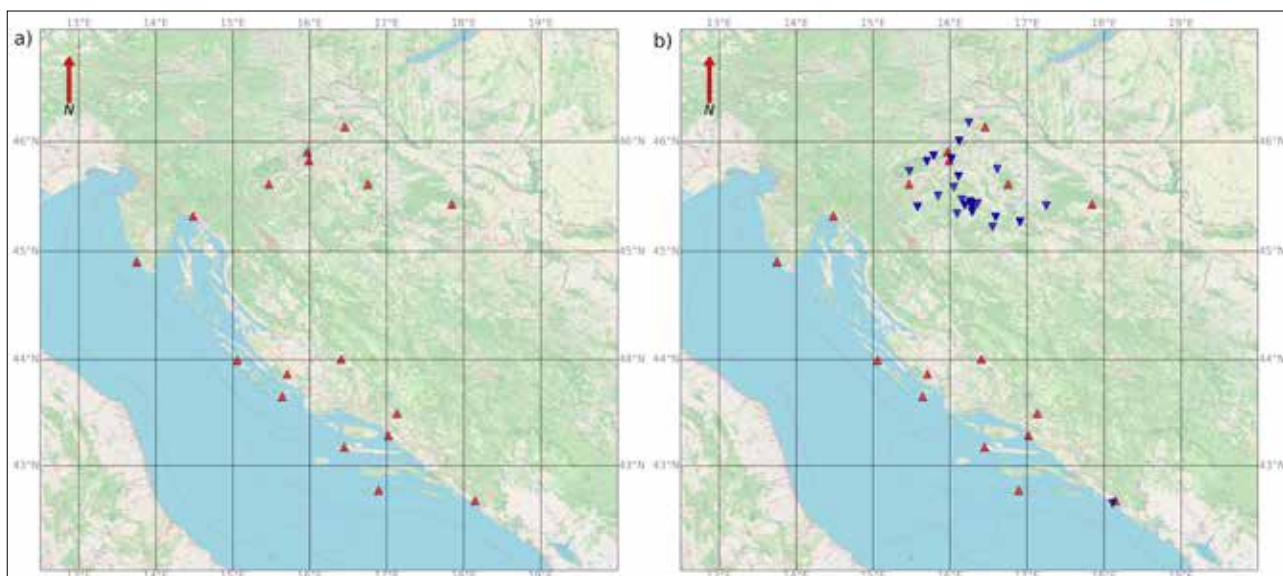
AKTIVNOSTI SEIZMOLOŠKE SLUŽBE REPUBLIKE HRVATSKE

Seizmološka služba RH

U Službi je zaposleno ukupno deset djelatnika, od toga osam seizmologa, jedan IT specijalist i jedan tehničar. Zbog prirode posla, rad u Službi organiziran je uz osiguravanje

² Projekt CROSSNET, 2022., <https://crossnet.potres.hr>

³ Nacionalni plan oporavka i otpornosti, 2021., <https://planoporavka.gov.hr>



2 Raspored postaja osnovne mreže seizmoloških postaja RH koju održava Seizmološka služba RH a) stanje do 2021. godine, b) stanje od 2021. godine nakon donacije. Crveni trokuti predstavljaju postaje državne mreže do 2021. godine. Plavi trokuti predstavljaju postaje mobilne mreže iz donacije Vlade RH.

The distribution of stations of the basic network of seismological stations in the Republic of Croatia maintained by the Seismological Survey of the Republic of Croatia: a) before 2021, b) after the 2021 donation. The red triangles indicate the state network stations before 2021. The blue triangles indicate the mobile network stations donated by the Government of the Republic of Croatia.

permanentne pripravnosti, uz dežurstvo od 07 do 21 sat, koje podrazumijeva fizičku nazočnost dežurnog, te pripravnost od 21 sat do 07 sati po pozivu. Dužnost je Službe pravovremeno obavještavanje Ministarstva unutarnjih poslova – Operativnog centra civilne zaštite (u daljnjem tekstu: MUP – OCCZ) o potresima na teritoriju RH, odnosno na susjednim područjima ukoliko su isti imali učinke na građane i imovinu u RH. Također, Služba je ustrojena kako bi obavljala i druge seizmološke poslove prema posebnom Zakonu o seizmološkim poslovima (NN, 1985.).

Osnovne zadatke Službe, između ostalog, čini uspostavljanje i održavanje osnovne mreže seizmoloških postaja RH sredstvima izravno iz državnog proračuna RH. Ista služi prvenstveno lociranju potresa na teritoriju RH te je stoga primarna odgovornost djelatnika Službe rad iste bez prekida. Uz navedeno, u okviru Službe održava se i razvija sustav automatske lokacije potresa primjenom SeisComP programskog paketa⁴. Kako do sada nije postignuta zadovoljavajuća gustoća seizmoloških postaja da bi sustav radio potpuno autonomno, analize se provode ručno. Ručna analiza vrši se programom Sandi2, razvijenim upravo za te svrhe na Geofizičkom odsjeku PMF-a. Također, zbog razloga koji potječu iz prethodnih perioda i specifičnosti opreme koja se koristila u RH, djelatnici Službe održavaju i još uvijek valjani sustav za akviziciju podataka Scream (trenutno verzija 4.6) britanske tvrtke Guralp Systems Limited⁵. U Službi se održavaju vlastiti

serveri koji služe za prikupljanje podataka, njihovu analizu i pohranu te se održava i arhiva povijesnih zapisa potresa, kao i cijela seizmološka arhiva. Izuzev nekih sustava satelitskog prijenosa podataka, gdje dobavljač ne dopušta Službi samostalno održavanje, djelatnici Službe održavaju sve sustave prijenosa podataka (putem mobilnih modema, CARNET-a, ADSL-a, VPN-a, satelita i slično). Uz navedeno, djelatnici Službe postavljaju i održavaju sustave napajanja postaja, npr. solarne panele, punjače i baterije, sustave autonomnog napajanja i sl. Svakako valja naglasiti kako nakon jačih potresa djelatnici Službe obavezno izlaze na teren i prikupljaju makroseizmičke podatke o osjećenosti potresa na određenom području te izrađuju karte izoseista (linija jednakih osjećenosti/učinaka potresa na zemljopisnoj karti) svakoga takvog potresa. Uz navedeno, prikupljaju se podaci o osjećenosti potresa od građanstva putem internetske stranice Službe i online upitnika kao i podjelom upitnika na terenu.

Stanje opreme i seizmoloških postaja Službe prije 2020. godine

Do razdoblja razornih potresa koji su zadesili RH tijekom 2020. godine osnovna mreža je brojila ukupno 17 seizmografa.

Nakon zagrebačkog potresa, donacijom tvrtke Termostroj d.o.o. i investicijom ostatka vrijednosti proračuna Službe, nabavljena je oprema za prvu bušotinsku seizmološku postaju u RH. Zahvaljujući donaciji tvrtke Geotehnički studio d.o.o. (koja je izbušila i ucijevila bušotinu), postavljena je probna bušotinska postaja na Horvatovcu 95 (sl. 1). Procedura bušenja, kao i sama oprema koja se postavlja u bušotine,

⁴ SeisComP seizmološki programski paket, 2023., <https://seiscomp.de>

⁵ Scream programski paket, 2023., <https://www.guralp.com/sw/scream.shtml>



3 Oprema nabavljena iz donacije Vlade RH 2021. godine. Od gore prema dolje: seizmometar MBB-2, digitalizator podataka Q330S+ i akcelerograf ETNA2.

The equipment purchased from the 2021 donation by the Government of the Republic of Croatia. From top to bottom: seismometer MBB-2, data digitizer Q330S+ and accelerometer ETNA2.

financijski su i tehnički znatno zahtjevnije za postavljanje od standardnih seizmoloških postaja pa, do spomenute donacije, takvih postaja u RH nije bilo.

Naime, većina seizmoloških postaja u Republici Hrvatskoj postavljena je u postojeće objekte, s iznimkom seizmoloških postaja Puntijarka, Hvar, Moslavačka gora i Lastovo, gdje se radi o namjenski izgrađenim objektima za smještaj seizmoloških postaja. Uz navedeno, donacijom tvrtke Centar za vozila Hrvatske d. d. nabavljen je jedan akcelerograf ETNA2, koji je odmijenio neispravni uređaj GeoSig u Dubrovniku u prostoru palače Sponza.

Nakon petrinjskog potresa, zahvaljujući donaciji Vlade RH, broj postaja povećao se za 20 seizmografa i 20 akcelerografa, što je znatno povećanje opreme kojom Služba raspolaže u odnosu na prethodno razdoblje. Na slikovnom prilogu 2. prikazan je raspored postaja osnovne mreže seizmoloških postaja RH do 2021. godine.

Nabavljena je pokretna seizmološka mreža koja se sastoji

od 20 digitalizatora, model Quanterra Q330S+, 20 široko-pojasnih seizmometara, model MBB-2 te 20 akcelerografa, model Etna-2, sve iz tvrtke Kinometrics iz SAD (sl. 3).

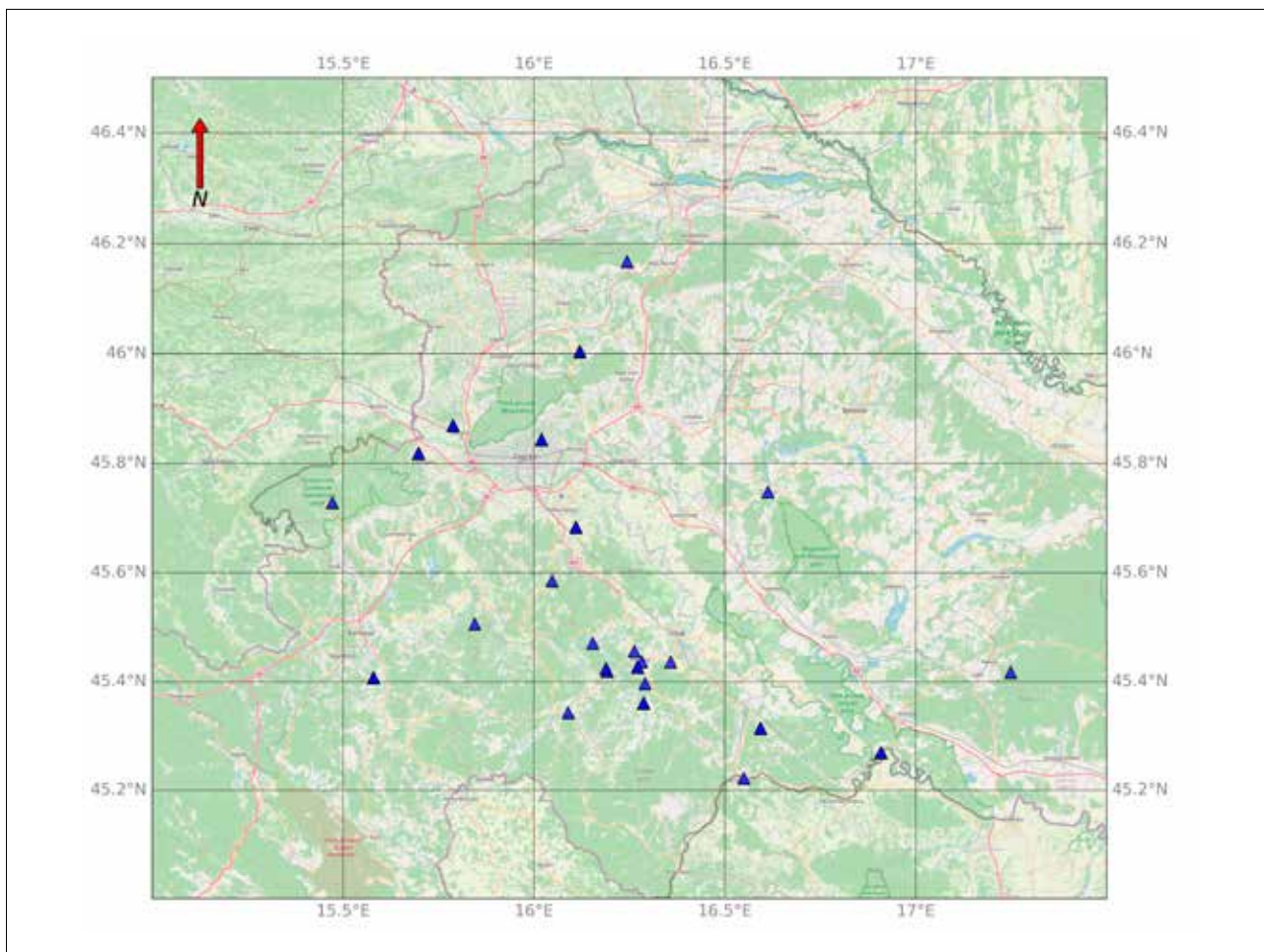
Navedena pokretna mreža je opremljena sustavima napajanja i veza iz proračuna Službe te je postavljena na šire područje Petrinje kako bi pratila naknadne potrese koji su uslijedili nakon razornog potresa od 29. prosinca 2020. godine (sl. 4).

REZULTATI I RASPRAVA

Stanje opreme i seizmoloških postaja prije i nakon 2021. godine

Tijekom 2018., 2019. i u prva tri mjeseca 2020. godine (do 22. ožujka 2020.) sustav automatske lokacije Seis-ComP, koji se za potrebe Službe održava i nadograđuje, locirao je redom 1275, 1808, 458 potresa godišnje. Analizom koju provode djelatnici Službe, tijekom 2018., 2019. i 2020. godine (prije 22. ožujka 2020.) locirano je redom 10048, 10102, 2161 potresa (od ukupno 16212 lociranih potresa tijekom cijele 2020. godine). U razdoblju od 22. ožujka 2020. godine pa do kraja 2020. godine locirano je ukupno 1662 potresa sustavom automatske lokacije. Tijekom 2021. godine, a zahvaljujući značajnom povećanju broja seizmografa i akcelerografa, taj broj je narastao na 5423 lociranih potresa istim sustavom, a 2022. godine je locirano još 3053 potresa. Naravno, osim same činjenice da se dogodilo mnoštvo naknadnih potresa nakon jakih potresa u 2020. godini, pokretna mreža omogućila je da sustav zabilježi znatno više slabijih potresa na petrinjskom području što ih, uz prethodni raspored postaja, nije bilo moguće detektirati. To je najbolje vidljivo iz usporedbe postotka lociranih potresa sustava automatske lokacije u odnosu na potrese locirane ručnom analizom (pri čemu se koriste dodatne postaje stranih zemalja). Taj je udio iznosio 13% u 2018. godini, 18% u 2019. godini te 21% u prva tri mjeseca 2020. godine, odnosno 13% na razini cijele godine. U 2021. godini postotak je iznosio čak 30%, čime je očit napredak u lociranju slabijih potresa (uglavnom u epicentralnom području Petrinje) nakon instalacije pokretne mreže.

Postavljena pokretna mreža seizmoloških postaja pridonijela je povećanju pouzdanosti rada sustava automatske lokacije za petrinjsko područje (sl. 5), kao i povećanju pouzdanosti određivanja dubine hipocentra (žarišta) potresa. Sustavom automatske lokacije je prije postavljanja pokretne mreže seizmografa locirano ukupno 1893 potresa u prva tri mjeseca 2021. godine, dok je nakon postavljanja pokretne mreže i uključivanja iste u sustav automatske lokacije uspješno detektirano i locirano 3630 potresa. Naime, u prvo vrijeme pokretna mreža je, zbog problema u uspostavljanju neprekinutog prijenosa podataka, bilježila vibracije tla samo lokalno bez slanja podataka u centralu, dok je od



4 Pokretna seizmološka mreža za praćenje seizmičke aktivnosti nakon Petrinjskog potresa 29. prosinca 2020. godine. Mrežu je postavila i održava Seizmološka služba RH. Plavi trokuti označavaju lokacije postaja. Na slici su također označeni rasjedi (crvene i plave linije).

The mobile seismological network for monitoring seismic activity after the Petrinja earthquake on December 29, 2020. The network was installed and maintained by the Seismological Survey of the Republic of Croatia. The blue triangles indicate station locations. The image also indicates faults (marked as red and blue lines).

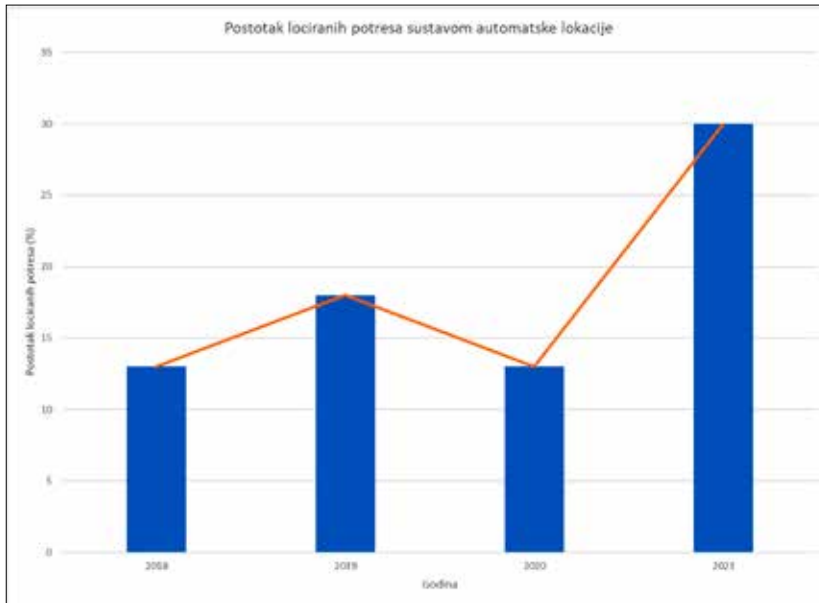
1. travnja 2021. godine uspostavljen prijenos podataka u realnom vremenu i mreža je uključena u sustav automatske lokacije. Od tada je pokretnom mrežom omogućeno lociranje ukupno 3271 potresa na petrinjskom području do kraja 2022. godine. Važno je napomenuti da je najveći broj naknadnih potresa uslijedio upravo neposredno nakon glavnog potresa, tako da je ovo mnogo veći napredak u radu sustava automatske lokacije nego što se čini na prvi pogled.

Osim navedenog, djelatnici Službe odradili su i terenski rad na prikupljanju makroseizmičkih podataka. Na slikovnim prilozima 6 i 7 prikazani su rezultati makroseizmičkoga terenskog rada, odnosno izoseiste intenziteta potresa za zagrebački i petrinjski potres. Osim terenskog rada prikazani su i intenziteti procijenjeni iz ispunjenih online upitnika.

Po povećanju redovnog proračuna Službe, realizirane su i brojne manje investicije s ciljem modernizacije postojeće opreme i nabavka nove, pa su tako u kratkom vremenu nabavljeni:

- 1) mobilni modemi za potrebe pokretne mreže seizmoloških postaja;
- 2) sustavi napajanja za potrebe pokretne mreže seizmoloških postaja;
- 3) serveri sa pripadajućom pohranom;
- 4) uspostavljanje servera s VPN vezom za mobilne postaje koji se održava i preko kojeg trenutno s centralom komunicira više od 20 postaja.

Donacija Vlade RH i povećani proračun Službe omogućili su prelazak na moderniju seizmološku opremu i uklapanje u suvremene programske sustave. Za razliku od prije korištene opreme i programske podrške, komunikacija opreme s centralnim sustavom je s “primanja podataka” prešla na “povlačenje podataka”. Odnosno, moderni sustavi znaju na kojoj IP adresi se nalazi koja oprema, i u slučaju prekida dotoka podataka, zahtijevaju od stanica podatke koji nedostaju. Postojeći sustav prikupljanja podataka iz postaja (koji je još uvijek u uporabi za staru opremu), nema



5 Učestalost lociranih potresa sustavom automatske lokacije SeisComP Službe prije i nakon postavljanja pokretne seizmološke mreže postaja za potrese na Petrinjskom području. The frequency of earthquakes located by the automatic location system of the SeisComP Survey before and after the installation of the mobile seismological network of earthquake stations in the Petrinja area.

tu mogućnost. Odnosno, kako stanice šalju podatke, nisu sposobne odrediti je li ili nije centralni programski paket primio poslane podatke. S druge strane, programski paket ne može zahtijevati podatke koji nedostaju jer ne zna IP adresu na kojoj se oprema nalazi. Stoga se u tim slučajevima mora ručno dopunjavati i najkraće prekide u prijenosu podataka. Navedeno je vremenski i financijski zahtjevno jer je često nužan fizički posjet postaji kako bi se prikupili podaci koji nedostaju, a kraći prekidi u prijenosu se ni ne evidentiraju.

Prelazak na novi sustav prikupljanja podataka bio je dodatno zahtjevan jer podrazumijeva stalne IP adrese opreme na terenu. Naime, poznate IP adrese na mobilnoj mreži su ili izvan financijskih mogućnosti Službe (npr. satelitski prijenos podataka koji daje nepromjenjivu IP adresu prijatelju pripada u profesionalnu opremu, što povlači i znatno višu cijenu prijenosa podataka i opreme) ili su teško dostupne (npr. u mobilnoj telefoniji teško je dobiti stvarnu javnu nepromjenjivu IP adresu). Jedno od rješenja je instalacija VPN mreže, gdje se ustvari stvara privatna mreža između stanice i VPN servera (koji stanici dodjeljuje jednu, uvijek istu IP adresu, neovisno o tome koja je IP adresa stanice). Instalacijom vlastitog OpenVPN servera i podešavanjem primopredajne opreme osigurana je stabilna i pouzdana komunikacija sa svim mobilnim stanicama. Takvim rješenjem u Službi je ostvarena priprema za izgradnju suvremene mreže seizmoloških postaja koja otpočinje projektom CROSSNET. Pritom je donacija opreme Vlade RH iz prosinca 2020. godine iskorištena kao priprema za buduću izgradnju suvremene seizmološke službe kakvu Republika Hrvatska i njezini građani zaslužuju.

U okviru projekta CROSSNET (crossnet.potres.hr) planirano je postići sljedeće ciljeve:

Postojeća mreža seizmoloških postaja RH povećat će se za najmanje 95 novih postaja. Od toga će biti 25 bušotinskih

postaja, za što su osigurana i oprema i sredstva u okviru projekta;

Postići će se jednaka pokrivenost cijelog teritorija Republike Hrvatske, od njenog krajnjeg istoka do krajnjeg juga;

Po prvi puta Služba će imati 10 instrumenata za postavljanje na morsko dno, čime će se moći detaljnije proučavati seizmička aktivnost na morskom dnu;

Služba će se opremiti najmodernijom mjernom opremom i od slabo opremljene Službe postati jedna od kvalitetnije opremljenih Službi u EU;

Znatno će ojačati ljudski kapaciteti Službe s devet novo-zaposlenih stručnjaka;

Uspostavit će se moderan sustav automatske lokacije visoke pouzdanosti i integrirati u sustave OCCZ, kao i poboljšati sustave informiranja javnosti;

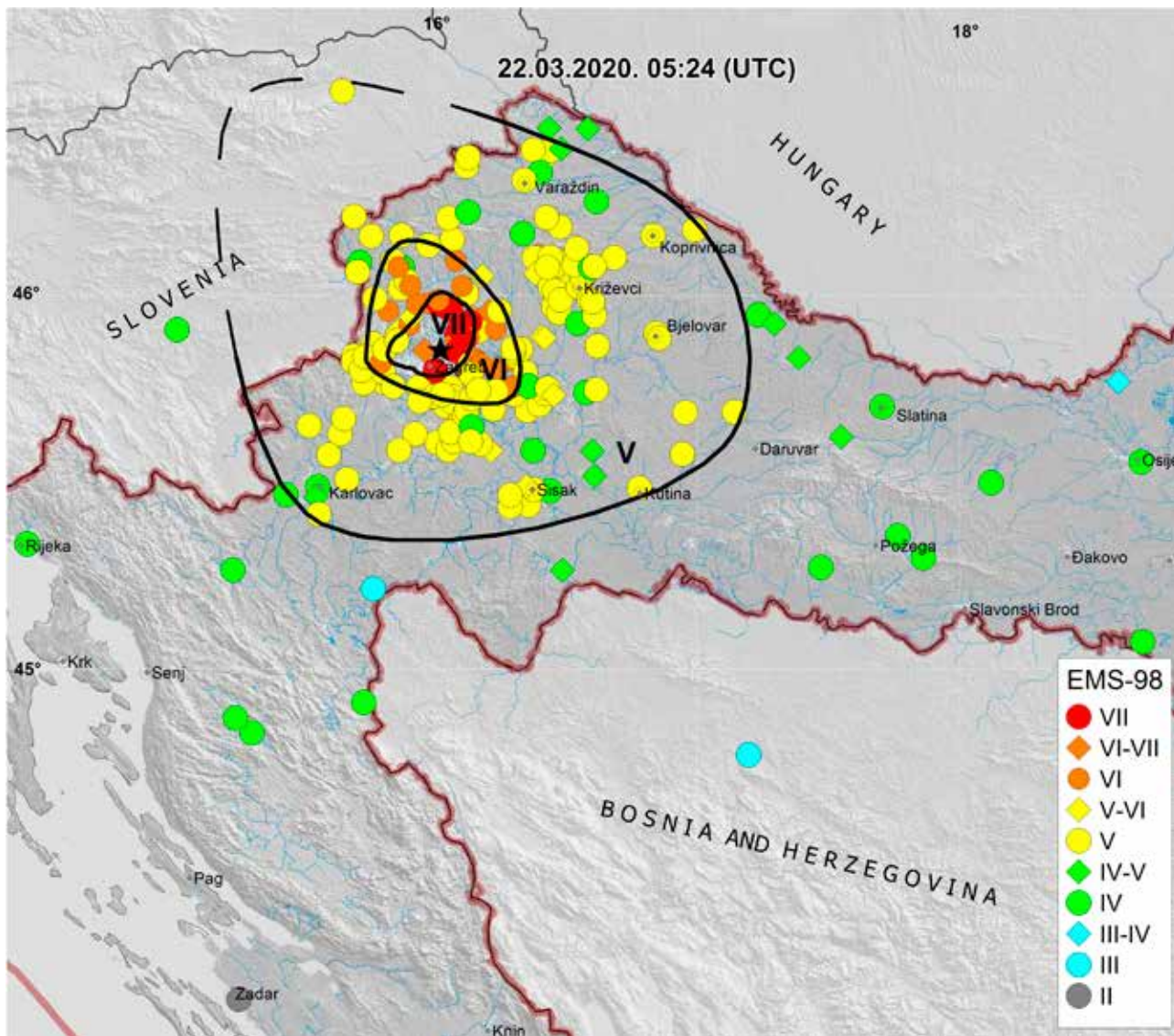
Poboljšat će se kvantiteta i kvaliteta seizmoloških podataka, čime će se izravno pridonijeti boljim propisima i sigurnijoj gradnji.

Osim navedenog, Služba će se jače povezati s domaćim i stranim partnerima, prvenstveno Geološkom službom pri Hrvatskom Geološkom Institutu (HGI-CGS).

Rad Službe u vrijeme i nakon razornih potresa

Ne smijemo zaboraviti ni angažman djelatnika Službe u obavješćivanju javnosti, pri čemu je odrađeno više stotina javljanja u medije i objavljeno više desetaka članaka u tiskovinama i portalima.

Cijelo to vrijeme sustav je, unatoč brojnim pritiscima, uspio izdržati i Služba je uspjela spremno odgovoriti na izazove dva jaka potresa koja su se dogodila na području RH u kratkom vremenskom razmaku. Takve situacije jasno upućuju ne samo na jake strane sustava, nego i na njegove nedostatke.



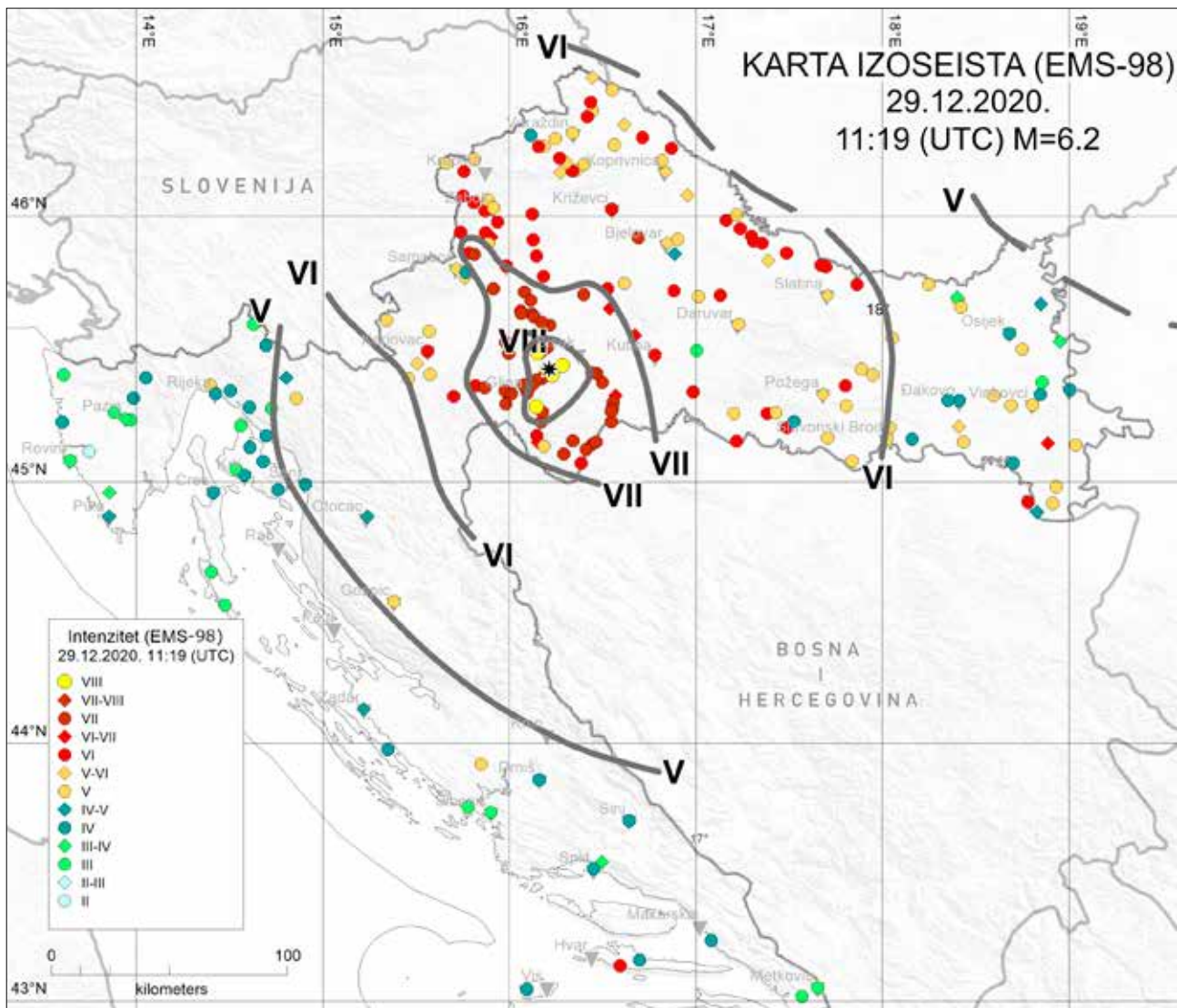
6 Karta izoseista potresa koji se dogodio 22. ožujka 2020. godine u 6 sati i 24 minute s epicentrom kod Markuševca (Zagreb) magnitude $M_L=5.5$ i $I_{max}=VII - VIII$.

Isoseist map of the earthquake that occurred on March 22, 2020 at 6 hours and 24 minutes with the epicentre near Markuševac (Zagreb) with the magnitude $M_L=5.5$ and $I_{max}=VII - VIII$.

Prvi i najvažniji nedostatak koji je uočen tijekom zagrebačkog potresa je slabost postojeće internet veze. Odmah po uočavanju ovog nedostatka ostvareni su kontakti s upravom CARNET-a kako bi se Službi (odnosno cijelom Geofizičkom odsjeku PMF-a) osigurala direktna internetska optička veza spojena na sustav neprekidnog napajanja informatičkog sustava Službe. Zahvaljujući razumijevanju uprave CARNET-a za posebnosti i važnosti aktivnosti koje Služba provodi, veza je uspostavljena u svibnju 2022. godine. Posebna optička internetska veza je dovedena na Geofizički odsjek PMF-a i spojena na infrastrukturu kojom upravlja Seizmološka služba RH, odnosno na sustav samostalnoga neprekidnog napajanja, koji čine UPS-ovi i generator električne energije. Time je uspješno otklonjen prvi i najvažniji nedostatak uočen nakon zagrebačkog potresa. Zahvaljujući navedenom,

djelatnici Službe imaju pod kontrolom internetsku vezu kojom joj dolaze podaci sa seizmoloških postaja na servere. Radi se na dodatnoj redundanciji sustava ugovaranjem još jedne optičke veze, koja bi išla drugom trasom i kojom bi se osigurala neprekinutost dotoka podataka čak i u slučaju fizičke havarije optičkog cjevovoda jedne trase.

Drugi problem koji je uočen i koji će se djelomice riješiti kroz osigurana sredstva projekta CROSSNET, koji je odobren i financiran kroz Nacionalni plan oporavka i otpornosti, jest nedostatak materijalnih i ljudskih resursa Službe. Navedenim projektom zaposleno je 9 stručnjaka koji će se školovati i osposobiti za obavljanje zadaća koje Služba provodi. Osim zapošljavanja dostatnog broja stručnjaka, projektom je predviđena i nabavka moderne seizmološke opreme, čime će se dugoročno riješiti problem nedovoljno guste mreže



7 Karta izoseista potresa koji se dogodio 29. prosinca 2020. godine u 12 sati i 19 minuta s epicentrom kod Strašnika (Petrinja) magnitude $M_L=6.2$ i $I_{max}=VIII$.

Isoseist map of the earthquake that occurred on December 29, 2020 at 12 hours and 19 minutes with the epicentre near Strašnik (Petrinja) with the magnitude $M_L=6.2$ and $I_{max}=VIII$.

osnovnih seizmoloških postaja RH, kao i kvalitetna programska podrška komercijalnih seizmoloških sustava prikupljanja i obrade podataka. Naime, do sada su se u Službi, zbog nedostatka financija, koristili otvoreni programski paketi nekomercijalne prirode i vlastita rješenja stvorena unutar Službe, odnosno Geofizičkog odsjeka. Naravno, unapređivanje materijalnih resursa Službe znači i nužnost napuštanja većine privremenih, besplatnih i otvorenih rješenja i implementaciju suvremenih, profesionalnih rješenja koja su najčešće vrlo skupa za implementaciju i održavanje.

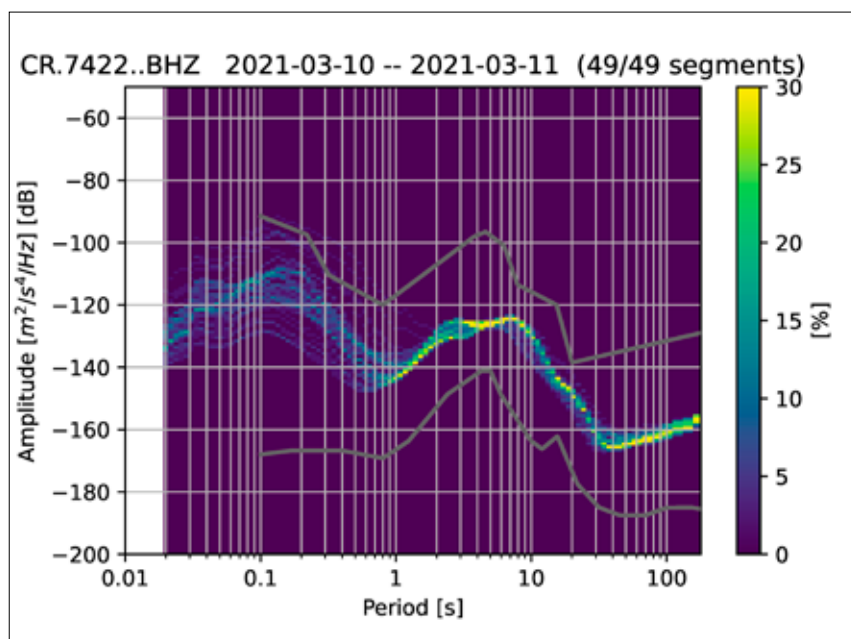
Osim navedenog, isto zahtijeva i opsežni preustroj i uvođenje sustava upravljanja u skladu s važećim EU regulativama kako bi Služba mogla nesmetano funkcionirati i u kriznim situacijama promptno reagirati.

Četvrti uočen nedostatak postojećeg sustava je nedostatak prostora. Naime, u postojećim prostorima Služba je od

svog osnutka, kada je bilo svega 10-ak (analognih) instrumenata diljem RH i kada su postojeći prostori bili dostatni. Rastom i razvojem, ne samo Službe, nego i Geofizičkog zavoda „A. Mohorovičić“, porastom broja postaja Službe sa sadašnjih 17 na predviđenih više od 150, porastom broja zaposlenih (sa sadašnjih 10 na najmanje 19), i povećanih potreba za smještajem opreme i pribora, nametnula se potreba za izgradnjom posebne zgrade Službe. Iako je u okviru projekta CROSSNET predviđeno postavljanje modularnog objekta za smještaj opreme i novozaposlenih, trajnog rješenja problema prostora još uvijek nema.

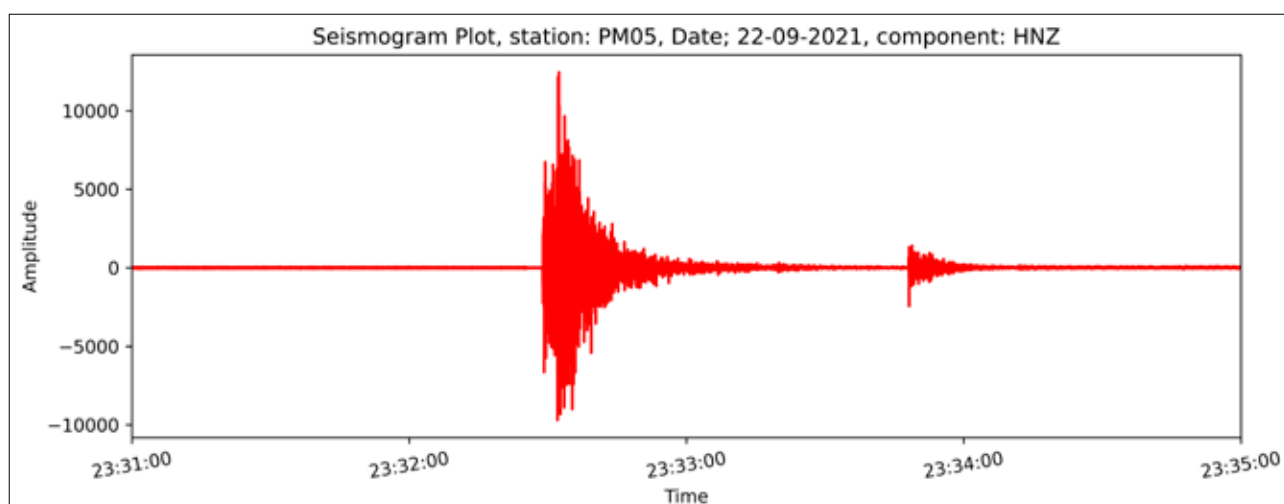
Obrada seizmoloških podataka

Nakon potresa djelatnici Službe su radili i na računalnim programskim rješenjima za lakšu obradu izvješća o potresima te su napravljene mnogi računalni programi koji



8 Razina šuma na jednoj postaji privremene mreže postavljenoj na Petrinjskom području. Sive linije označavaju granice prihvatljivosti šuma postaje. Vidljivo je kako je razina šuma unutar granica, što je jako dobro za privremene postaje. Gornja granica je oznaka novog modela razine visokog šuma, a donja granica novi model razine niskog šuma. Najčešće takve postaje imaju rezultate bliže gornjoj granici, odnosno često ju i premašuju.

The sensitivity measured at a station within the temporary network set up in the Petrinja area. The grey lines indicate the limits of the acceptable range. It can be seen that the sensitivity level is within the limits, which is very good for temporary stations. The upper limit represents the mark of the new model of the high sensitivity level, and the lower limit represents the new model of the low sensitivity level. Most often, such stations indicate results closer to the upper limit, often even exceeding it.



9 Zapis jednog od potresa na postaji privremene mreže postavljene na Petrinjskom području. Na apscisi je označeno vrijeme, a na ordinati zapis instrumenta u brojčanom obliku (nekorigirani zapis). Slika služi samo kao ilustracija zapisa potresa na instrumentima privremene mreže.

Record of one of the earthquakes measured at a station within the temporary network installed in the Petrinja area. The time is marked on the abscissa, and the instrument record in numerical form (uncorrected record) on the ordinate. The image serves only as an illustration of the earthquake record as measured on the instruments of the temporary network.

olakšavaju rad s prikupljenim podacima, njihovom manipulacijom i slično. Napravljena je i preliminarna kontrola kvalitete rada postaja privremene mreže seizmoloških postaja oko Petrinje, čiji rezultati su prikazani na slikovnim priložima 8 i 9.

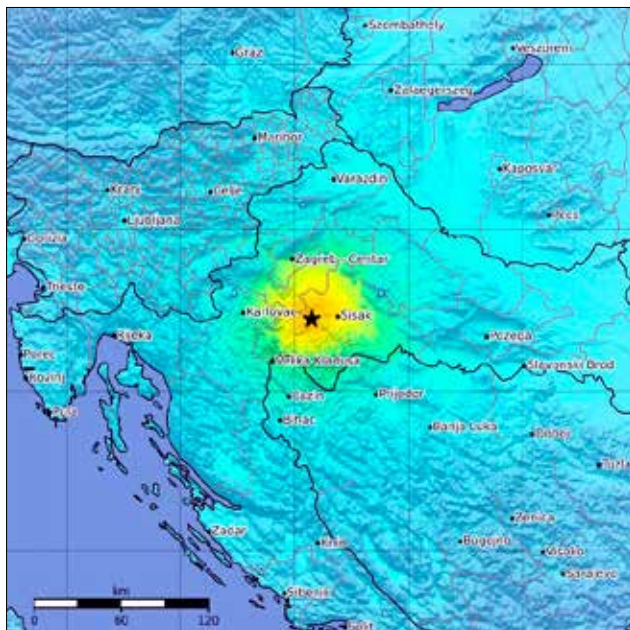
Iz navedenih priloga vidljivo je kako su, iako privremene, postaje na razini kvalitete stalnih postaja u RH.

Nadalje, u okviru sustava automatske lokacije SeisComP, uspostavljen je sustav za brzu ocjenu posljedica uz pomoć programskog paketa ShakeMap⁶. Napravljena je analiza većine jačih potresa petrinjske serije, a rezultati za glavni

petrinjski potres su na slikovnom prilogu 10. Napominjemo da se ovdje radi o potpuno automatiziranom procesu, čiji rezultati će biti znatno poboljšani uspostavom pravilne i guste mreže seizmoloških postaja, što je cilj projekta CROSSNET. Navedeno su samo primjeri rada Službe i mogućnosti sustava, a ne podaci koje treba uzimati kao spremne za interpretaciju ili korištenje.

Zanimljivo je usporediti kartu intenziteta dobivenu ovim automatskim programom (sl. 10) s makroseizmičkim intenzitetom dobivenim terenskim izvidima (sl. 7) i prikupljenim podacima preko upitnika.

6 WORDEN, HEARNE, THOMPSON, 2018.



10 Prikaz izolinija a) Intenzitet b) PGA – peak ground acceleration – vršno ubrzanje tla i c) PGV – peak ground velocity – vršna brzina tla za potres 29. prosinca 2020. godine u 12 sati i 19 minuta. Podaci su prikupljeni sustavom SeisComP i obrađeni sustavom ShakeMap 4.

Depiction of isolines a) Intensity b) PGA – peak ground acceleration and c) PGV – peak ground velocity for the earthquake that occurred on December 29, 2020 at 12 hours and 19 minutes. Data was collected using the SeisComP system and processed using the ShakeMap 4 system.

Uloga Službe u ostalim upravnim i radnim tijelima RH

Paralelno svemu navedenom, Služba je djelovala u radu brojnih upravnih i radnih tijela RH. Zajedno s Ministarstvom kulture i medija i Hrvatskim povjerenstvom za UNESCO sudjelovala je u instalaciji doniranih instrumenata od strane japanske tvrtke Challenge Co Ltd na više lokacija u gradu Zagrebu: u Klinici za dječje bolesti Klaićeva, katedrali Uznesenja Blažene Djevice Marije i svetih Stjepana i Ladislava

(Zagrebačkoj katedrali), Kliničkoj bolnici Sestara Milosrdnica i crkvi Uznesenja Blažene Djevice Marije u Remetama. Također je radila na dokumentu koji je pripremila Vlada RH za potrebe Svjetske banke o brznoj procjeni štete i potreba (The Croatia Earthquake – Rapid Damage and Needs Assessment, 2020.)⁷ te sudjelovala u radu Savjeta za obnovu. Uz navedeno, pomagala je pri postavljanju edukativnih izložbi o potresima, Kad zemlja zatrese u Tehničkom muzeju Nikola Tesla u Zagrebu⁸, ZG 22. 3. 2020.: od magnitude do intenziteta u Muzeju grada Zagreba⁹ te ZG POTRES. HALO 193 u Muzeju grada Zagreba¹⁰.

ZAKLJUČAK

Pokazalo se kako razorni potresi naglašavaju jake strane sustava, kao i njegove slabosti. Republika Hrvatska je 2020. godine imala dva takva potresa, oba nažalost s ljudskim žrtvama. Služba je bila svjesna nedostatne pokrivenosti područja Republike Hrvatske seizmološkom opremom, odnosno da 17 postaja za područje RH nije dovoljno za kvalitetno praćenje seizmičnosti (u usporedbi s Republikom Italijom, gdje se postaje broje u tisućama) i srećom se, uz razumijevanje Vlade RH i MZO, omogućilo Službi pristup izvorima financiranja koji joj do tada nisu bili dostupni. Prvom donacijom opreme te povećanjem proračuna Službe krenulo se u uklanjanje gorućih nedostataka sustava, a kroz projekt CROSSNET isti će se uspješno završiti. Tek po uspostavljanju pravilne, guste mreže seizmoloških postaja budućim ćemo generacijama osigurati kvalitetne podatke o tlu na kojem grade svoju budućnost, kao i dodatna saznanja o tome koje im potresne opasnosti prijete.

⁷ Skupina autora, CROATIA EARTHQUAKE – Rapid Damage and Needs Assessment 2020., 2020.

⁸ DRVAR, 2021.

⁹ BUŠIĆ, VRKIĆ, 2022.

¹⁰ KRANJEC, 2022.

LITERATURA

Zakon o seizmološkim poslovima, *Narodne novine*, 1985., br. 44.

INTERNETSKI IZVORI

Bušić, Milena, Vrkić, Iva, ZG 22.3.2020. Od magnitude do intenziteta, Muzej grada Zagreba, ožujak 2022., <https://www.mgz.hr/hr/izlozbe/povremene-izlozbe/zg-22-3-2020--od-magnitude-od-intenziteta-1607.html> (31. siječanj 2023.)

Drvar, Zvonimir, Kad Zemlja zatrese, Tehnički muzej Nikola Tesla, prosinac 2021., <https://tmnt.hr/izlozba?id=8229> (31. siječanj 2023.)

Grupa autora, CROATIA EARTHQUAKE – Rapid Damage and Needs Assessment 2020., 2020. <https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/Potres/>

RDNA_web_04082020.pdf (31. siječanj 2023.)

Kranjec, Iva, Zg potres. Halo 193, Muzej grada Zagreba, listopad 2022., <https://www.mgz.hr/hr/izlozbe/izlozba/izlozba-zg-potres-halo-193,3480.html> (31. siječanj 2023.)

Nacionalni plan oporavka i otpornosti, 2021., <https://planoporavka.gov.hr> (31. siječanj 2023.)

Projekt CROSSNET, 2022., <https://crossnet.potres.hr> (31. siječanj 2023.)

Scream programski paket, 2023., <https://www.guralp.com/sw/scream.shtml> (31. siječanj 2023.)

SeisComp seizmološki programski paket, 2023., <https://seiscomp.de> (31. siječanj 2023.)

Worden, Charles B, Hearne Mike, Thompson, Eric M., Programski paket ShakeMap v4, 2018., <https://code.usgs.gov/ghsc/esi/shakemap> (31. siječanj 2023.)

Abstract**ACTIVITIES OF THE SEISMOLOGICAL SURVEY OF THE REPUBLIC OF CROATIA IN THE PERIOD 2020 – 2022**

The Croatian Seismological Survey (CSS), operational since 1976 and based at the University of Zagreb, has made an important contribution to the country's seismic monitoring and emergency response, especially during the turbulent period of 2020 to 2022. This report provides a comprehensive overview of the Survey's activities, instrument upgrades and challenges faced by the CSS during two major seismic events in 2020, as well as its strategic initiatives and future development plans.

In 2020, Croatia experienced two devastating earthquakes. The first, in Zagreb on March 22, and the second, more destructive, near Petrinja on December 29, both resulted in a tragic loss of life and significant damage. These events tested the capacity of the survey authority, especially under COVID-19 restrictions and infrastructural challenges. Despite these disadvantages, the Survey's commitment to seismic monitoring and public safety was unwavering. The immediate response to these disasters was to assess the damage, mobilize resources and disseminate important information to the authorities and the public.

The Croatian Seismological Survey, acknowledging its central role in national security due to Croatia's vulnerability to earthquakes, has continuously strived to improve its capabilities. Significant progress has been made in the post-Petrinja period thanks to substantial government investment and donations. These funds enabled the purchase of 20 new seismographs and accelerographs, the establishment of a mobile seismic network to monitor aftershocks and the improvement of seismic data collection.

The state of the Survey's equipment and network prior to

2020 is meticulously described, highlighting the limitations, and subsequent upgrades and modernizations. The establishment of a temporary seismic network in the Petrinja region has not only improved earthquake detection, but also expanded research and analysis capabilities. The operational structure of the survey is characterized by its round-the-clock readiness, which is essential for fast and accurate reporting of seismic events.

The CROSSNET project (2021-2026), a major financial and technical undertaking supported by the National Recovery and Resilience Plan, aims to revolutionize the Croatian Seismological Survey. It provides for a significant increase in the number of seismic stations covering the entire Croatian territory and introduces instruments for comprehensive monitoring of seismic activity on the seabed. This project is an important step towards modernizing the Survey with the latest equipment and software and bringing it up to European standards.

The role of the Survey as an authority goes beyond seismic monitoring. Its active involvement in public education, cooperation with various government agencies and contribution to national and international earthquake projects underline its multi-faceted approach to earthquake safety and education. The Survey's efforts in rapid damage assessment, public warnings and involvement in reconstruction and policy-making initiatives reflect its commitment to reducing the impact of earthquakes and improving public safety.

In summary, the Croatian Seismological Survey has proven its resilience and adaptability in the face of major

seismic challenges. Its proactive approach to modernizing equipment, improving data quality and participating in strategic projects such as CROSSNET makes it a key player in national security and a role model for seismic services

worldwide. The progress made during this period lays the foundation for a future in which Croatia is better prepared against seismic threats and ensures the safety and resilience of its citizens.