

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geofizički odsjek

Poligon OS RH „Eugen Kvaternik” Slunj

**Rezultati praćenja lokalne seizmičke aktivnosti
u 2013. godini
- STUDIJA -**

Iva Dasović, dipl. ing. fizike

Tomislav Fiket, dipl. ing. fizike

mr. sc. Ivo Allegretti, dipl. ing. fizike

prof. dr. sc. Davorka Herak, dipl. ing. fizike

prof. dr. sc. Marijan Herak, dipl. ing. fizike

mr. sc. Ines Ivančić, dipl. ing. fizike

Krešimir Kuk, dipl. ing. fizike

doc. dr. sc. Snježana Markušić, dipl. ing. fizike

Snježan Prevolnik, dipl. ing. fizike

mr. sc. Ivica Sović, dipl. ing. fizike

Zagreb, listopad 2014.

Voditelj Projekta:
mr. sc. Ivo Allegretti, dipl. ing. fizike

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Metode rada	2
3. Rezultati rada	6
3.1. Potresi epicentralnih udaljenosti do 50 km od Slunja	13
3.2. Potresi epicentralnih udaljenosti od 50 do 100 km od Slunja	17
3.3. Lokalni potresi na području Slunja locirani u razdoblju od 1. siječnja 2007. godine do 31. prosinca 2013. godine	24
4. Zaključak	28
5. Literatura	31

1. Uvod

Temeljem Okvirnog sporazuma između Ministarstva obrane Republike Hrvatske i Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu sklopljen je Ugovor o nabavi usluge praćenja stanja okoliša – seizmološki monitoring na VP „E. Kvaternik“ Slunj. Time su krajem 2006. godine počela istraživanja lokalne seizmičnosti Poligona i okolice. Primarni cilj istraživanja bio je ne samo upotpunjavanje saznanja o recentnoj seizmičkoj i seismotektonskoj aktivnosti šireg prostora oko Poligona nego i mogućnost eliminiranja eventualnih dilema o pojavi šteta na civilnim objektima šireg područja oko Poligona, kao i egzaktnog odgovora na pitanje uzroka potencijalno nastalih oštećenja.

Instrumentalno praćenje lokalne seizmičke aktivnosti na seizmološkoj postaji Slunj na Kuranovom vrhu provedeno je tijekom 2013. godine kao nastavak navedenih istraživanja.

Seizmološka postaja Slunj je od samog početka rada opremljena modernim digitalnim širokopojasnim trokomponentnim seismografom engleske firme Guralp. S obzirom na tehničke karakteristike, ovakav visokoosjetljivi seismograf omogućuje precizno i jednoznačno određivanje osnovnih parametara potresa lokalnog područja oko Poligona.

U ovoj Studiji prikazuju se rezultati rada navedene postaje u 2013. godini.

2. Metode rada

Od samog početka rada seizmološka postaja Slunj na Kuranovom vrhu opremljena je digitalnim mjernim sustavom engleskog proizvođača Güräl System Ltd. U razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2013. godine na postaji je bio postavljen širokopojasni trokomponentni seismometar tipa *CMG-3ESP*, 24-bitni analogno digitalni (AD) pretvornik tipa *CMG-DM24 S3* te GPS (*Global Positioning System*) vremenski modul. Seismometar ima jedan vertikalni i dva horizontalna senzora koji su međusobno ortogonalni s točnošću većom od 0.1 stupnja. Takva konstrukcija omogućava istovremeno mjerjenje gibanja tla u smjerovima gore-dolje (Z), sjever-jug (N-S) i istok-zapad (E-W). Instrument radi po principu napomske vase, koristeći silu povratne sveze za uravnoteženje mase njihala za vrijeme gibanja uzrokovanog potresom. Time je u području frekvencija od 0.03 do 50 Hz postignut ravan frekvencijski odziv instrumenta u odnosu na brzinu gibanja tla. Dakle, instrument frekventno prekriva gotovo cijelo područje gibanja tla izazvanog potresima i k tome bilježi sve tri prostorne komponente gibanja istovremeno. Linearnost je zadovoljena u području preko 100 dB, a dinamički raspon veći je od 140 dB.

Senzori seismometra kao izlazni signal daju električni napon koji je proporcionalan brzini gibanja tla. Takav analogni signal zatim se digitalizira pomoću 24-bitnog trokanalnog AD pretvornika. Vremenski niz mjerenih podataka uzorkovan je s frekvencijom uzorkovanja od 50 Hz, dok je za vrijeme potresa (tzv. „trigger mod“) frekvencija uzorkovanja postavljena na 200 Hz što omogućuje prikupljanje većeg broja podataka za analizu. Na AD pretvornik priključen je GPS prijemnik koji daje vremensku bazu pomoću koje pripadni mikroprocesor u pretvorniku svakom pojedinom uzorku iz vremenskog niza mjerenih podataka pridjeljuje točno vrijeme. Tako dobiveni digitalizirani podaci pohranjuju se na računalo i spremni su za daljnju računalnu obradu.

Kako bi se osigurao što dulji neprestani rad instrumenta, na postaji je postavljen sustav autonomnog napajanja koji omogućuje rad opreme u slučaju nestanka električne struje (npr. zbog udara groma, radova na održavanju mreže i sl.). Time je osiguran neprekidni rad instrumenta kroz razdoblje od nekoliko dana. Nakon povratka struje kao izvor napajanja ponovno se koristi javna gradska mreža.

Prijenos podataka u približno realnom vremenu u centar za obradu seizmoloških podataka koji se nalazi na Geofizičkom odsjeku PMF-a u Zagrebu ostvaren je putem satelitskog interneta. Na taj način omogućena je još bolja kontrola rada seizmološke postaje Slunj.

Digitalni zapisi seismograma seizmološke postaje Slunj analizirani su programom SANDI2 koji je u tu svrhu razvijen na Geofizičkom zavodu. Točno vrijeme je primano GPS uređajem, a nastupna vremena su mjerena točno do na 0.001 s.

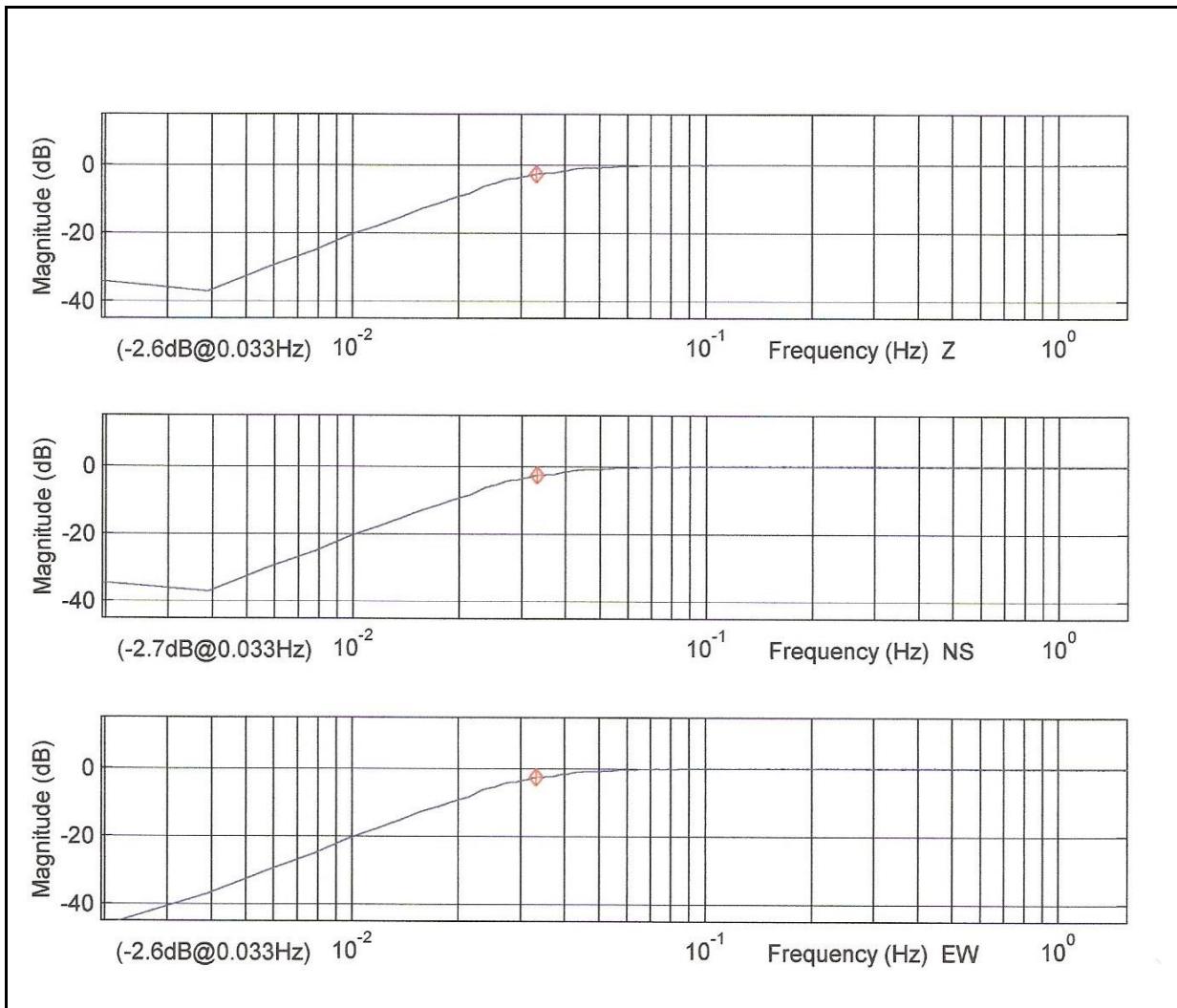
Osnovni parametri potresa (koordinate epicentra, dubina žarišta, vrijeme nastanka potresa) računati su HYPOSEARCH programom (Herak, 1989), pri čemu su uz registraciju seismografa na Poligonu, korišteni podaci stalnih i privremenih seismoloških postaja na području Republike Hrvatske, kao i svi dostupni podaci postaja iz susjednih i drugih država.

Tijekom 2011. godine, uslijed zahtjeva MORH-a izvršeno je izmjještanje postaje s dotadašnje lokacije (Čatrnja) na novu lokaciju (Kuranov vrh), gdje se i trenutno nalazi.

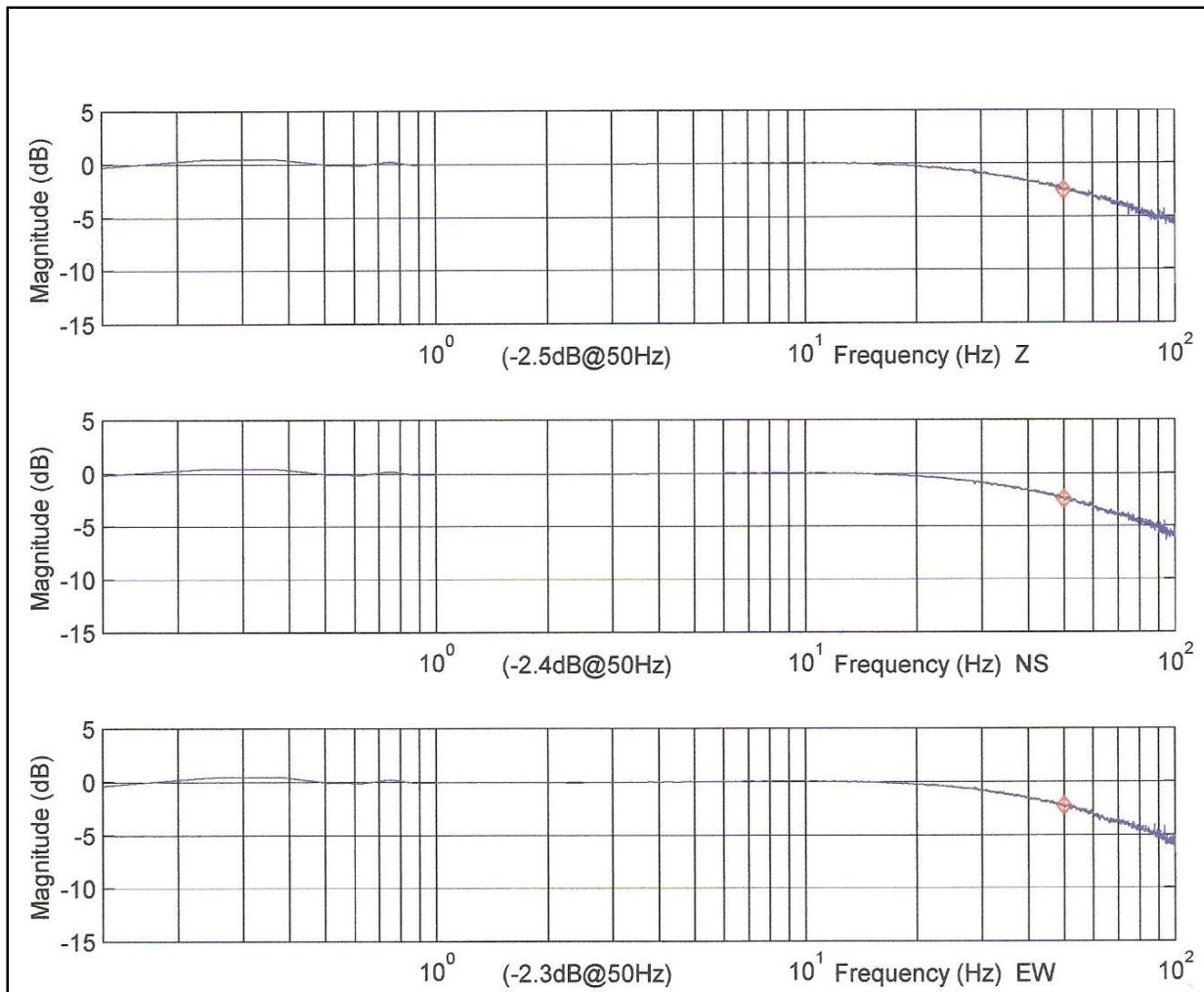
Do 2011. godine za potrebe istraživanja lokalne seizmičnosti Poligona radila je i seismološka postaja Kukača. Prestankom rada te postaje smanjena je kvaliteta i mogućnost detaljnijeg izučavanja lokalne seizmičnosti Poligona.

Magnituda potresa određuje se na temelju maksimalne amplitudne brzine osciliranja tla. Sama se amplituda očitava iz registracije potresa pa je nužno poznavati povećanje seismometra pri svakom periodu osciliranja tla. Takva frekventna karakteristika, definirana kao ovisnost odnosa registrirane amplitude i amplitude brzine gibanja tla o pripadnoj frekvenciji, prikazana je krivuljom dinamičkog povećanja instrumenta u odnosu na brzinu. Zbog velike dinamike digitalnog mjernog sustava postavljenog na postaji Slunj, krivulja dinamičkog povećanja instrumenta u odnosu na brzinu prikazana je u logaritamskom mjerilu. Uobičajena je praksa zasebno prikazati niskofrekventni i visokofrekventni dio te krivulje zbog širokog pojasa frekvencija unutar kojeg seismometar može registrirati gibanje tla. Krivulja dinamičkog povećanja u odnosu na brzinu seismometra postavljenog na seismološkoj postaji Slunj prikazana je na slikama 2.1.a. i 2.1.b.

Instrument postavljen na seizmološkoj postaji Slunj namijenjen je radu u terenskim uvjetima. Unatoč tome za uredan i kvalitetan rad nužan je obilazak, kontrola ispravnosti rada i umjeravanje seismometra od strane stručne osobe, što je redovito obavljano tijekom 2013. godine. Pri umjeravanju seismometra provjeravalo se odstupanje od tvorničkih krivulja. Umjeravanje je izvođeno koristeći metodu simulacije potresa sinusnom strujom iz AD pretvornika (Willmore, 1959) ili je bila primijenjena funkcija skoka akceleracije na njihalo seismometra (Wielandt, 2002).



Slika 2.1.a. Krivulja dinamičkog povećanja u odnosu na brzinu u niskofrekventnom području za seismometar postavljen na seismološkoj postaji Slunj na vojnom poligonu „Eugen Kvaternik“.



Slika 2.1.b. Krivulja dinamičkog povećanja u odnosu na brzinu u visokofrekventnom području za seismometar postavljen na seismološkoj postaji Slunj na vojnom poligonu „Eugen Kvaternik“.

3. Rezultati rada

Iz Kataloga potresa Hrvatske i susjednih područja, koji je sačinjen na temelju zapisa seismografa Slunj (smještenog unutar Poligona na Kuranovom vrhu) te ostalih naših i inozemnih seismoloških postaja, izdvojeni su potresi locirani unutar kruga radijusa 100 km oko seismološke postaje Slunj (u dalnjem tekstu samo Slunj), a koji su se dogodili u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2013. godine. Locirani potresi razdijeljeni su u dvije grupe prema epicentralnoj udaljenosti. Prva grupa obuhvaća bliže lokalne potrese do 50 km epicentralne udaljenosti, dok druga grupa obuhvaća dalje lokalne potrese od 50 do 100 km epicentralne udaljenosti.

Tijekom 2013. godine unutar kruga radijusa 100 km oko Slunja locirano je sveukupno 1668 potresa. Od toga je:

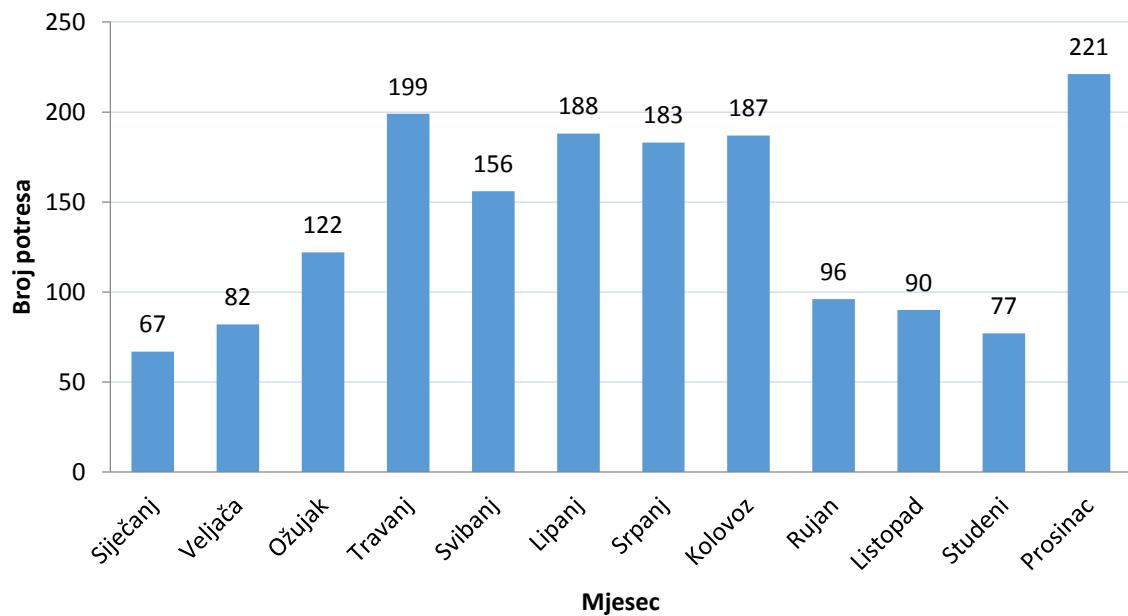
- 303 potresa epicentralnih udaljenosti do 50 km i
- 1365 potresa epicentralnih udaljenosti od 50 do 100 km.

Da bismo stekli bolji i temeljitiji uvid u najosnovnije značajke lokalne seizmičnosti promatranog područja radimo analizu vremenske i prostorne raspodjele lociranih lokalnih potresa.

Mjesečna razdioba čestina potresa

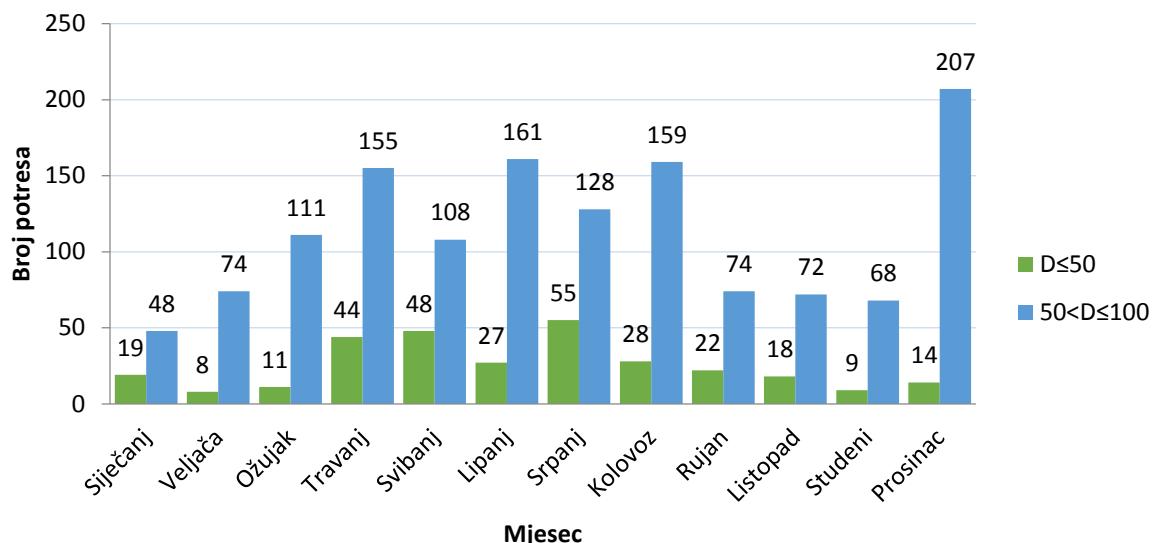
Mjesečna razdioba čestina potresa lociranih u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2013. godine prikazana je u obliku histograma na slici 3.1. Broj potresa lociranih po pojedinim mjesecima varira od 67 potresa, koliko ih je locirano tijekom siječnja do čak 221 potresa, koliko ih je locirano tijekom prosinca. Prema broju lociranih potresa seizmička aktivnost bila je nešto veća u između travnja i kolovoza kada je locirano 913 što čini 55% svih lociranih potresa u 2013. godini u radijusu do 100 km. Tom razdoblju prethode dva mjeseca s malim brojem potresa: tijekom siječnja i veljače locirano je 149 potresa, svega 9% od ukupnog broja potresa. Tijekom rujna, listopada i studenog broj potresa također je manji: locirano je njih 263 što čini 16% od ukupnog broja potresa. Nagli porast seizmičke aktivnosti dogodio se u prosincu. Tomu je najviše doprinijela pojačana seizmička aktivnost sredinom mjeseca nakon potresa lokalne

magnitude 3.4 koji se dogodio 13. prosinca 2013. u $22^{\text{h}} 15^{\text{min}} 19.1^{\text{s}}$ (UTC) na udaljenosti 89 km od Slunja.



Slika 3.1. Histogram razdiobe lokalnih potresa po mjesecima iz epicentralnih udaljenosti do 100 km od Slunja, lociranih u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2013. godine.

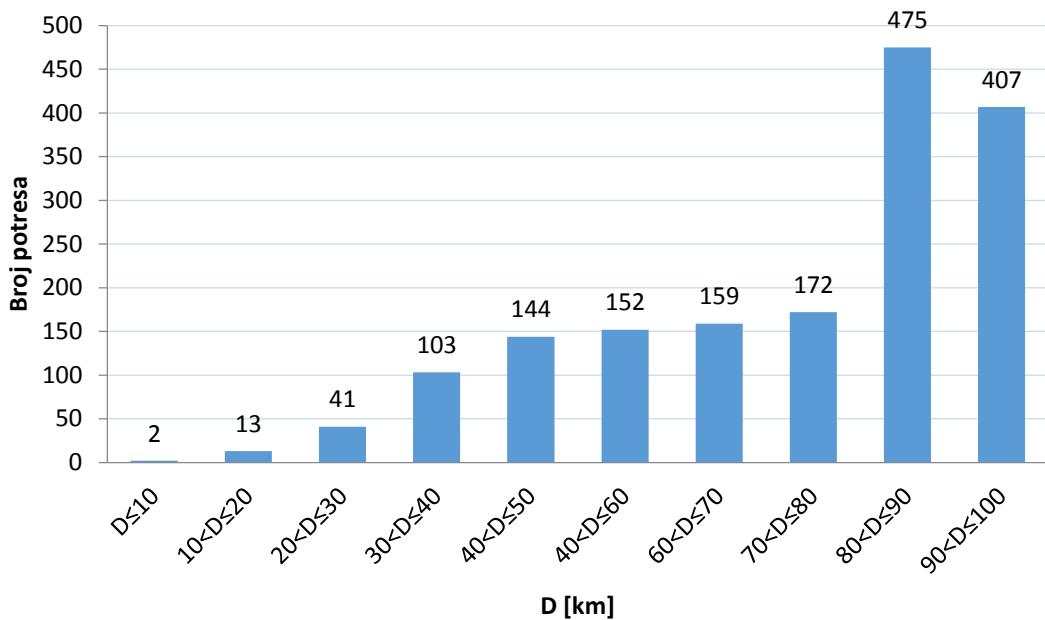
Mjesečna razdioba potresa po epicentralnim udaljenostima (bliži i dalji lokalni potresi) prikazana je na slici 3.2. U 2013. godini, kao i prethodnih godina, broj daljih lokalnih potresa višestruko je veći od broja bližih lokalnih potresa. Navedeno je jednim dijelom posljedica činjenice da se seizmički najaktivnija područja nalaze upravo unutar epicentralne udaljenosti od 50 do 100 km od Slunja. S druge pak strane, takva opažena razlika u broju bližih i daljih lokalnih potresa posljedica je činjenice da je seismološka postaja Slunj jedina postaja unutar kruga do 50 km od Slunja. Zbog toga je znatno smanjena mogućnost registriranja i lociranja vrlo slabih potresa koji se dogode unutar tog područja, a koji ujedno čine i većinu lociranih potresa. Broj bližih lokalnih potresa po pojedinim mjesecima kreće se u rasponu od osam, koliko ih je locirano u veljači, do 55 lociranih u srpnju. U posljednja dva dana srpnja locirana su čak 23 bliža potresa, a uslijedili su nakon potresa lokalne magnitude 4.8 koji se dogodio 30. srpnja 2013. u $12^{\text{h}} 58^{\text{min}} 30^{\text{s}}$ 40 km od postaje Slunj, ujedno i najjači potres u 2013. u cijelom promatranom području. Broj daljih lokalnih potresa kreće se u rasponu od 48 u siječnju do čak 207 u prosincu.



Slika 3.2. Mjesečna razdioba čestina lokalnih potresa po epicentralnim udaljenostima D [km] od Slunja, lociranih u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2013. godine.

Histogram čestina potresa po epicentralnim udaljenostima

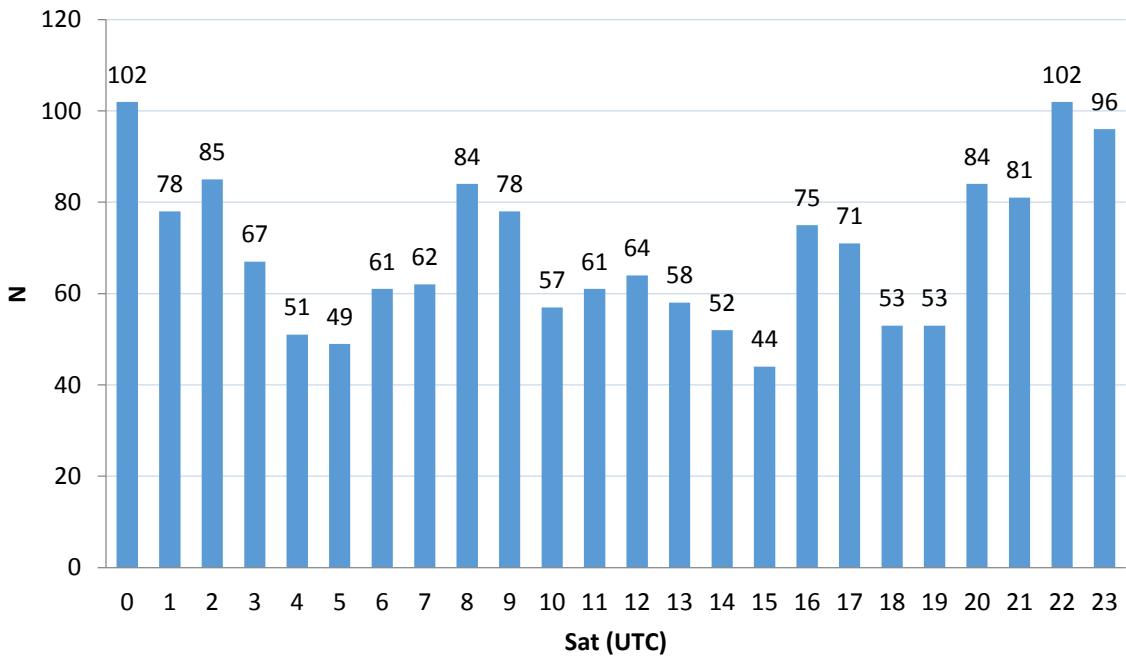
Histogram čestina potresa po epicentralnim udaljenostima do 100 km od Slunja, lociranih u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2013. godine, prikazan je na slici 3.3. Odabrana širina razreda epicentralnih udaljenosti iznosi 10 km. I ove godine nastavlja se trend općenitog porasta broja lociranih potresa unutar pojedinog razreda za veće epicentralne udaljenosti. Seizmička aktivnost prema broju lociranih potresa ponovno je znatno manje izražena unutar područja epicentralnih udaljenosti do 50 km, a izraženija je unutar područja epicentralne udaljenosti od 50 do 100 km od Slunja. U području epicentralnih udaljenosti do 50 km locirano je 303 potresa, što čini tek 18% od ukupnog broja lociranih potresa. U području epicentralne udaljenosti od 50 do 100 km locirano je 1365 potresa, što čini 82% od ukupnog broja potresa. U području između 80 i 100 km radiusa u 2013. godini locirano je čak 982 potresa, što čini 53% svih lociranih potresa u radijusu do 100 km, dok su u radijusu do 10 km locirana tek 2 potresa. Slična prostorna razdioba potresa po razredima epicentralne udaljenosti vidljiva je i u Izvještajima iz prethodnih godina (vidi poglavlje 3.3), a posljedica je rasporeda seizmički najaktivnijih područja upravo na epicentralnim udaljenostima većim od 40 km, a koja obuhvaćaju područje oko Rijeke, Sjevernog i Južnog Velebita, zatim područje Novog Mesta – Žumberka – Krškog u Sloveniji te Medvednice.



Slika 3.3. Histogram čestina potresa po epicentralnoj udaljenosti D [km] do 100 km od Slunja lociranih u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2013. godine.

Dnevni hod čestina potresa

Dnevni hod čestina potresa lociranih unutar epicentralne udaljenosti do 100 km od Slunja, u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2013. godine prikazan je na slici 3.4. Dnevni hod čestina potresa daje korisne informacije o mogućim umjetno izazvanim potresima (eksplozijama). Takve umjetne potrese potrebno je prepoznati i izdvojiti prije provođenja analize kako bi se stekao što kvalitetniji uvid u stvarnu seizmičnost promatranog područja. Eksplozije uzrokuju slabe potrese čiji su seizmogrami slični seismogramima prirodnih potresa. Međutim, eksplozije je moguće razlikovati od prirodnih potresa na temelju analize prvih pomaka, ali samo ako ih je zabilježio veći broj seismografa raspoređenih ravnomjerno u sva četiri kvadranta oko mjesta gdje se događaju. Zbog prerijetke mreže seismografa i činjenice da se radi o slabim potresima, eksplozije najčešće ne registrira dovoljan broj seismoloških postaja da bi ih se sa sigurnošću moglo identificirati. Stoga povećanje broja lociranih potresa tijekom dana često može biti posljedica krive interpretacije eksplozija kao potresa. S druge pak strane, ako su žarišta potresa plitka, relativno blizu seismografa i malih magnituda, to može ukazivati na njihovo umjetno porijeklo.



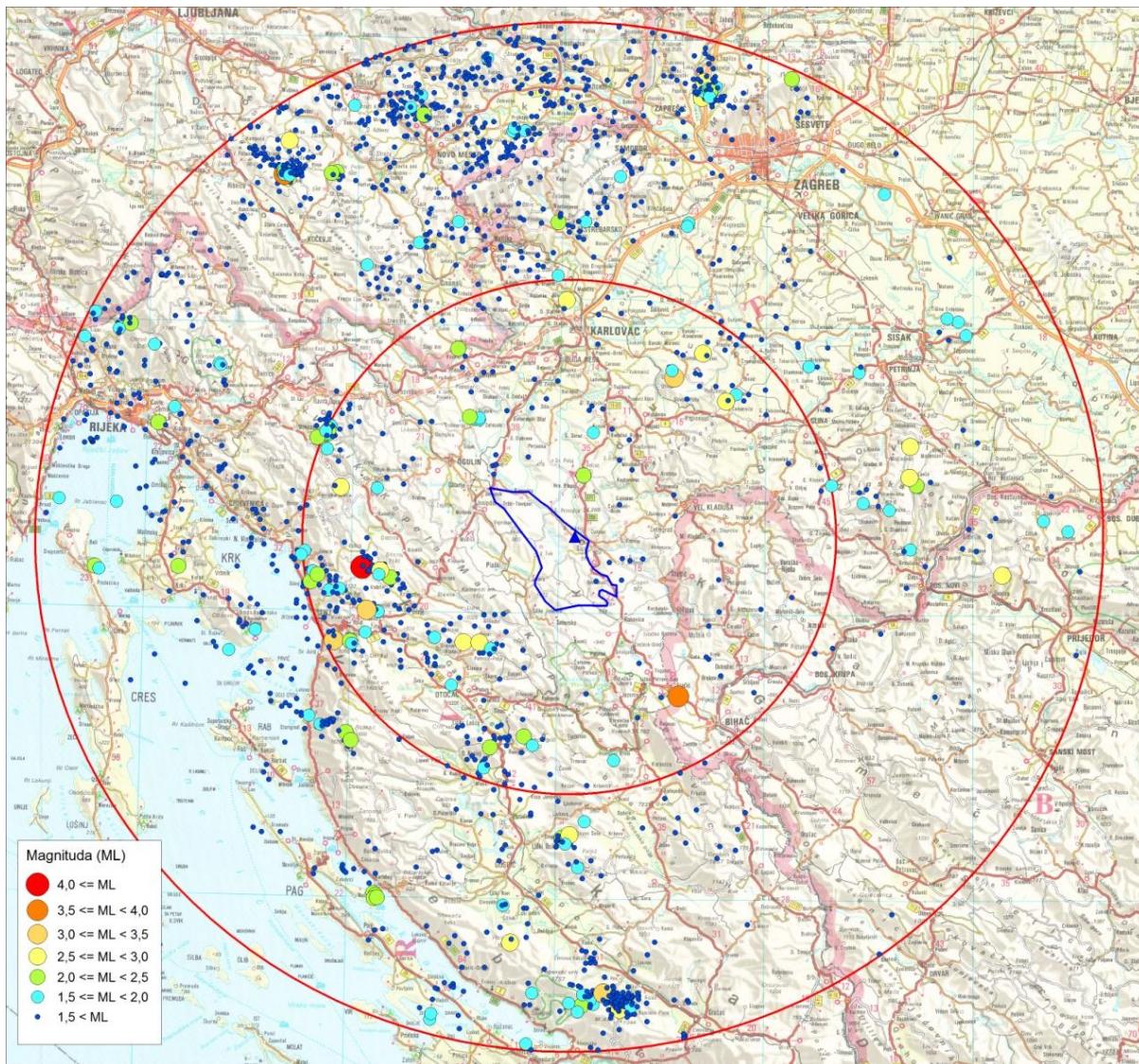
Slika 3.4. Dnevni hod čestina lokalnih potresa iz epicentralnih udaljenosti do 100 km od Slunja lociranih u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2013. godine.

Iz dnevnog hoda čestina potresa lociranih tijekom 2013. godine, prikazanog na slici 3.4., uočljivo je da je broj lociranih potresa tijekom noćnih sati veći nego tijekom dnevnih sati. Jedan od uzroka leži u činjenici da je razina mikroseizmičkog nemira (koji zapravo predstavlja šum i smetnju pri analizi potresa) tijekom noći manja nego tijekom dana, što utječe na mogućnost kvalitetnijeg registriranja i lociranja slabijih potresa, a koji zapravo čine većinu lociranih potresa. Pretpostavimo li da je noćna polovina dana 18–5 h (UTC; 19–6 h SEV prema zimskom računanju vremena odnosno 20–7 h SEV prema ljetnom računanju vremena), u tom razdoblju locirano je 55% potresa, pri čemu je 32% (530 potresa) između 22 i 3 h. Tijekom dnevne polovine dana (6–17 h UTC) locirano je 45% potresa, pri čemu je 34% (560 potresa) u razdoblju između 7 i 15 h (UTC). Tijekom dnevnih sati uočava se povećanje broja lociranih potresa u razdoblju od 8 do 9 sati kada je locirano 162 potresa, te između 16 i 17 h kada je locirano njih 146. Tijekom navedenih dnevnih razdoblja zabilježeno je samo trinaest potresa bliskih epicentralnih udaljenosti koji su imali iznimno malu dubinu žarišta (manju od 2 km) i male magnitude (manje od 2), od čega je njih četiri locirano na blagdan 25. prosinca 2013. te je vrlo vjerojatno da to nisu bile eksplozije. Takvih potresa u dnevnoj polovini

dana locirano je ukupno 30, dok ih je u noćnoj polovini dana locirano 31. Iz navedenog možemo zaključiti kako je utjecaj eksplozija na broj potresa sveden na minimum.

Prostorna razdioba epicentara potresa

Karta epicentara potresa lociranih unutar kruga radijusa 100 km od Slunja u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2013. godine prikazana je na slici 3.5.

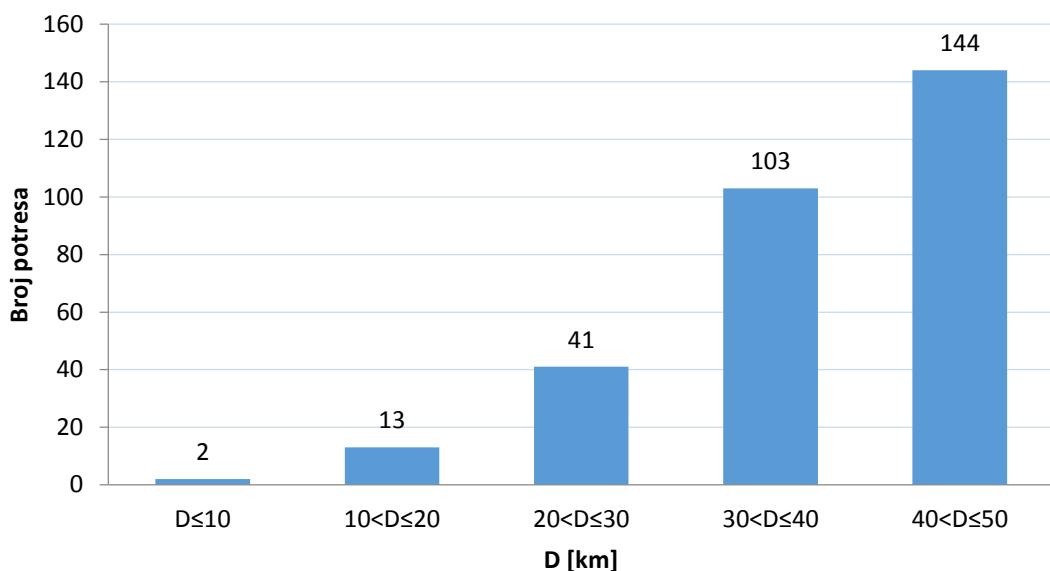


Slika 3.5. Karta epicentara potresa lociranih unutar kruga radijusa 100 km od Slunja u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2013. godine. Seizmološka postaja Slunj označena je plavim trokutom. Granice poligona OS RH „Eugen Kvaternik“ Slunj iscrtane su plavom linijom. Crvene kružnice odgovaraju kružnicama radijusa 50 i 100 km sa središtem u seismološkoj postaji Slunj.

Karta predstavlja detaljni prikaz prostorne razdiobe epicentara potresa i na njoj se uočavaju područja na kojima se dogodila većina potresa tijekom 2013. godine. Ta područja obuhvaćaju područje u okolini Senja (od Krmpota preko Krivog Puta prema Senjskom bilu, u okolini Otočca (Dabar i Ličko Lešće – Donji Kosinj – Ramljane), Južnog Velebita (Sv. Rok – Paklenica – Ričice), zatim područje Kočevje – Ribnica, Trebnje – Novo Mesto – Žumberak – Brežice – Krško te područje Bistre (Medvednica). Najjači potres koji se dogodio unutar kruga radijusa 100 km od Slunja tijekom 2013. godine bio je magnitude $M = 4.8$, s epicentrom lociranim nedaleko između Krivog puta i Drežnice, sjeveroistočno od Senja. Tijekom 2013. godine dogodilo se još četiri potresa magnitude veće od 3 u radijusu od 50 km: magnitude 3.6 s epicentrom lociranim kod mjesta Izačić između Ličkog Petrovog Sela i Bihaća 37 km od Slunja, zatim $M = 3.2$ između Krivog Puta i Prokika, istočno od Senja, na udaljenosti 41 km, magnitude 3.3 s epicentrom između Gornjeg Sjeničaka i Utinja jugoistočno od Karlovca udaljen 37 km, te magnitude 3.5 između Melnika i Sv. Juraja južno od Senja na udaljenosti 49 km. U području radijusa 50–100 km dogodila su se još dva potresa magnitude veće od 3: $M = 3.8$ s epicentrom sjeverno od Kočevja u Sloveniji (88 km) te 3.4 u Južnom Velebitu između Sv. Roka i Paklenice (89 km).

3.1. Potresi epicentralnih udaljenosti do 50 km od Slunja

Od ukupno 1668 potresa lociranih tijekom 2013. godine unutar kruga radijusa 100 km od Slunja, njih 30 (18%) epicentralne je udaljenosti do 50 km. Histogram čestina tih potresa prema epicentralnoj udaljenosti prikazan je na slici 3.6.

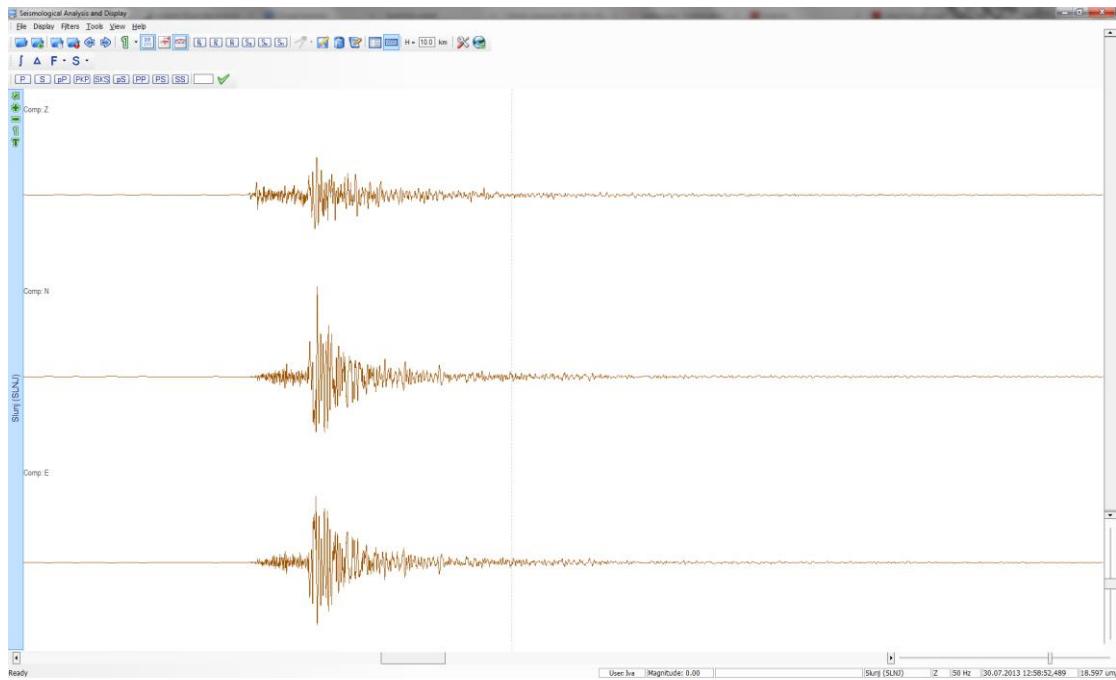


Slika 3.6. Histogram čestina potresa po epicentralnim udaljenostima do 50 km od Slunja lociranih u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2013. godine.

Seizmička aktivnost prema broju lociranih potresa vrlo je slabo izražena unutar područja epicentralnih udaljenosti do 20 km (svega 15 potresa), no postaje sve izraženija s porastom epicentralne udaljenosti. Slični rezultati analize seizmičnosti bili su i prethodnih godina. Skoro polovina (47%) svih potresa lociranih unutar kruga radijusa 50 km od Slunja locirano je unutar područja epicentralnih udaljenosti od 40 do 50 km, njih 144, dok je u području radijusa između 30 i 50 km locirano njih 81% (247 potresa).

Većina potresa u području do 50 km od postaje Slunja nalazi se jugozapadnom kvadrantu. Tu pak dominiraju potresi iz okolice Senja i po brojnosti i jačini. Tako se i najjači potres u krugu od 100 km, magnitude 4.8, dogodio 30. srpnja 2013. u $12^{\text{h}}\ 58^{\text{min}}\ 30^{\text{s}}$ (UTC) u okolini Senja, između Krivog Puta i Drežnice, s epicentrom geografskih koordinata $\varphi = 45.068^{\circ}\text{N}$ i $\lambda = 15.030^{\circ}\text{E}$, na dubini od 18 km i 40 km zapadno od Slunja. Seizmogram ovog potresa zabilježenog na seismološkoj postaji Slunj prikazan je na slici 3.7. Nakon njega uslijedio je niz slabih potresa, a najjači naknadni potres bio je

magnitude 2.7 i dogodio se sljedeći dan, 1. kolovoza 2013. u $10^h 7^{min} 58.3^s$ s epicentrom u $\varphi = 45.062^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.074^\circ\text{E}$ na dubini od 8 km na udaljenosti 36 km od Slunja.



Slika 3.7. Seizmogram potresa magnitude $M = 4.8$ koji se dogodio 30. srpnja 2013. godine u $12^h 58^{min} 30.0^s$ (UTC), epicentralne udaljenosti $D = 40$ km zapadno od Slunja, zemljopisnih koordinata epicentra $\varphi = 45.068^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.030^\circ\text{E}$, zabilježen na seizmološkoj postaji Slunj.

Izdvajanjem potresa s najvećim magnitudama stječe se uvid u energetske značajke seizmičnosti promatranog područja. Tijekom 2013. godine od ukupno 303 locirana potresa unutar kruga radijusa 50 km oko Slunja dogodilo se 23 potresa magnitude veće ili jednake 2.0, što je više nego trostruko od takvih potresa u prethodnoj godini, te dvanaest potresa $M \geq 2.5$. Posebno ćemo se osvrnuti na potrese magnitude veće ili jednake 2.5.

U okolini Senja dogodila su se, uz niz potresa uzrokovanih najjačim potresom, još dva potresa $M \geq 2.5$ zapadno-jugozapadno od Slunja. Prvi se dogodio 30. travnja 2013. u $0^h 10^{min} 24.5^s$ (UTC) s epicentrom u $\varphi = 44.993^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.040^\circ\text{E}$, između Krivog Puta i Prokika, magnitude 3.2 i na udaljenosti 41 km od Slunja. Drugi je bio magnitude 3.5 13. srpnja 2013. u $18^h 47^{min} 16.7^s$ (UTC) s epicentrom u $\varphi = 44.940^\circ\text{N}$ i $\lambda = 14.960^\circ\text{E}$, u Sjevernom Velebitu između Sv. Jurja i Melnica na dubini od 15 km, 49 km od Slunja.

Dva potresa $M \geq 2.5$ locirana su kod Dabra nedaleko Otočca, jugozapadno od Slunja, u istom danu 7. siječnja 2013.:

- u $22^h 50^{\text{min}} 20.5^s$ (UTC) s epicentrom u $\varphi = 44.937^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.273^\circ\text{E}$ magnitude 2.6 udaljen 27 km od Slunja, te
- u $23^h 3^{\text{min}} 25.6^s$ (UTC) s epicentrom u $\varphi = 44.936^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.311^\circ\text{E}$ magnitude 2.7 udaljen 27 km od Slunja.

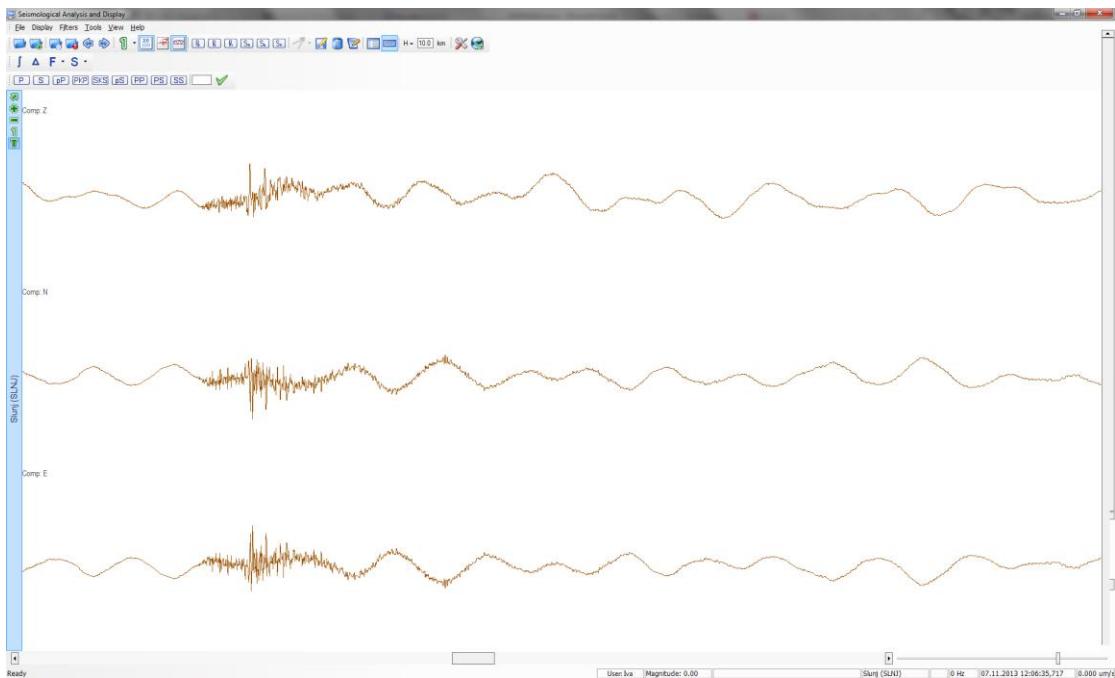
Na širem području Korduna dogodila su se tri potresa magnitude veće ili jednake 2.5. Prvi i najjači potres magnitude $M = 3.3$ dogodio se 29. svibnja 2013. u $13^h 31^{\text{min}} 22.5^s$ (UTC) u Kordunu kod mjesta Gornji Sjeničak nedaleko Karlovca na epicentralnoj udaljenosti od 37 km sjeveroistočno od Slunja, s geografskim koordinatama epicentra $\varphi = 45.399^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.787^\circ\text{E}$. Drugi, slabiji potres magnitude $M = 2.5$ dogodio se kasnije istog dana u $13^h 48^{\text{min}} 23.5^s$ (UTC), na epicentralnoj udaljenosti od 40 km sjeveroistočno od Slunja, u epicentru s geografskim koordinatama $\varphi = 45.357^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.911^\circ\text{E}$, nedaleko Vrginmosta. Treći se potres dogodio 10. srpnja 2013. u $8^h 43^{\text{min}} 14.6^s$ (UTC) pokraj Sjeničaka Lasinjskom, na granici s Pokupljem, s epicentrom u $\varphi = 45.441^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.857^\circ\text{E}$ na udaljenosti od 44 km od Slunja, a magnituda mu je bila 2.6.

Unutar promatranog područja epicentralnih udaljenosti do 50 km od Slunja dogodila su se još tri potresa magnitude veće ili jednake 2.5:

- 21. siječnja 2013. u $1^h 42^{\text{min}} 26.2^s$ (UTC) magnitude 3.6 s epicentrom u $\varphi = 44.842^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.789^\circ\text{E}$ udaljen 37 km jugoistočno od Slunja, kod Izačića (BiH),
- 4. svibnja 2013. u $20^h 36^{\text{min}} 24.5^s$ (UTC) magnitude 2.8 s epicentrom u $\varphi = 45.208^\circ\text{N}$ i $\lambda = 14.981^\circ\text{E}$ udaljen 44 km sjeverozapadno od Slunja, između Breza i Jasenka u zaleđu Vinodola, te
- 17. srpnja 2013. u $11^h 56^{\text{min}} 5.0^s$ (UTC) magnitude 2.7 s epicentrom u $\varphi = 45.534^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.530^\circ\text{E}$ udaljen 46 km sjeverno od Slunja, između Zadoborja i Mahičnog nedaleko Karlovca.

Najbliži potres postoji Slunj dogodio se na epicentralnoj udaljenosti od 9 km, u teritoriju poligona „Eugen Kvaternik“. Potres se dogodio 7. studenog 2013. godine u $12^h 9^{\text{min}} 36.2^s$ (UTC) te mu je magnituda bila 0. Epicentar mu je bio južno-jugoistočno od

postaje Slunj, kod mjesta Broćanac, s geografskim koordinatama $\varphi = 45.076^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.626^\circ\text{E}$. Na slici 3.8 prikazan je zapisa tog potresa na postaji Slunj.

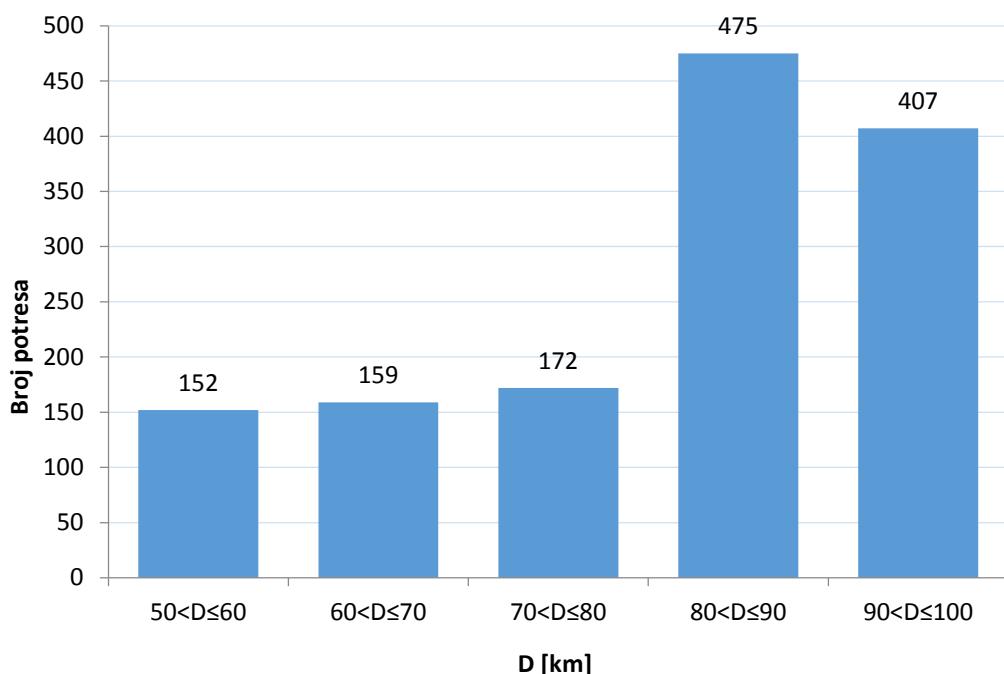


Slika 3.8. Seizmogram potresa najbližeg postaji Slunj. Potres je bio magnitude $M = 0$ i epicentralne udaljenosti 9 km, unutar teritorija poligona, a dogodio se 7.studenog 2013. godine u $12^h 9^{min} 36.2^s$ (UTC) jugoistočno od postaje, s epicentrom u $\varphi = 45.076^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.626^\circ\text{E}$.

Usporedimo li broj potresa magnitude veće ili jednake 2.0 u krugu do 50 km tijekom prethodnih godina, od kraja 2006. kada je počelo praćenje lokalne seizmičnosti Poligona, možemo zaključiti da ih je 2013. godine zabilježeno najviše, njih 24. Najmanje ih je zabilježeno u 2012. godini i to njih tek sedam.

3.2. Potresi epicentralnih udaljenosti od 50 do 100 km od Slunja

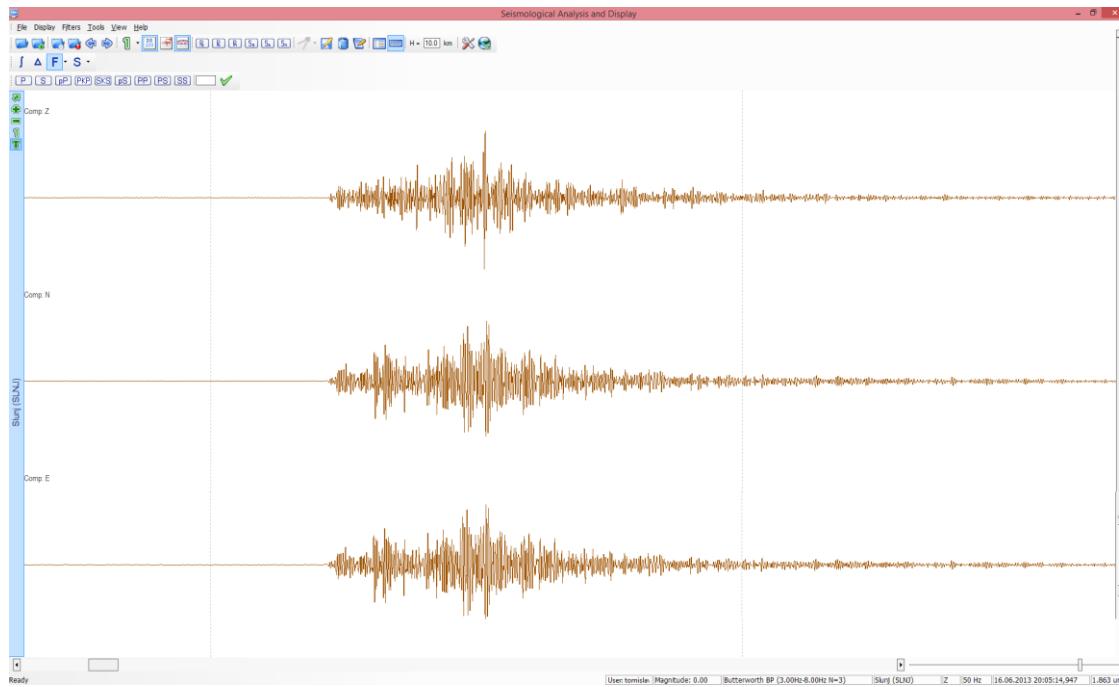
Od ukupno 1668 potresa koji su locirani na cjelokupnom analiziranom području u 2013. godini, njih 1365, odnosno 82%, pripada grupi daljih lokalnih potresa čija je epicentralna udaljenost između 50 i 100 km od Slunja. Na slici 3.9 prikazan je histogram čestina tih potresa s obzirom na epicentralnu udaljenost.



Slika 3.9. Histogram čestina potresa po epicentralnoj udaljenosti D (km) od 50 do 100 km od Slunja lociranih u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2013. godine.

Seizmička aktivnost prema broju lociranih potresa postaje sve izraženija kako razredi obuhvaćaju veće epicentralne udaljenosti, što je bio slučaj i prethodnih godina uključenih u ovo istraživanje. Promatraljući kartu prostorne raspodjele potresa na slici 3.4, kao seizmički najaktivnija ističu se sljedeća područja: šire područje koje se proteže od Ilirske Bistrice preko Rijeke i Novog Vinodolskog do Senja, Goli Otok – Rajinac, Starigrad – Ričice, Ribnica – Žužemberk u Sloveniji, zatim područje Žumberak – Brežice – Krško, šire područje Novog Mesta (naročito potez Trebnje – Novo Mesto) u Sloveniji, Pojatno – Jakovlje kod Zaprešića. Seizmički je aktivno bilo i područje koje se proteže od Pokupskog preko Siska prema Lonjskom polju te područje koje se proteže od Gline preko Zrinske gore do Prijedora u susjednoj Republici BiH. Najjači dalji lokalni potres bio je magnitude 3.8 i dogodio se 16. lipnja 2013. godine u $20^{\text{h}} 04^{\text{min}} 58.9^{\text{s}}$ (UTC) u Sloveniji,

nedaleko Kočevja, na epicentralnoj udaljenosti od 88 km sjeverozapadno od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.754^\circ\text{N}$ i $\lambda = 14.853^\circ\text{E}$. Seizmogram navedenog potresa zabilježenog na seismološkoj postaji Slunj prikazan je na slici 3.10.



Slika 3.10. *Seizmogram najjačeg daljeg lokalnog potresa magnitude $M = 3.8$ koji se dogodio 16. lipnja 2013. godine u $20^h 04^{min} 58.9^s$ (UTC), epicentralne udaljenosti $D = 88$ km sjeverozapadno od Slunja, zemljopisnih koordinata epicentra $\varphi = 45.754^\circ\text{N}$ i $\lambda = 14.853^\circ\text{E}$, zabilježen na seismološkoj postaji Slunj.*

Izdvajanjem potresa s najvećim magnitudama stječe se uvid u energetske značajke seizmičnosti promatranog područja. Izdvojeni su potresi s magnitudom većom ili jednakom 2.0. Tijekom 2013. godine od ukupno 1365 daljih lociranih potresa dogodilo se 37 takvih potresa. U sljedećim odlomcima navodimo ih prema područjima u kojima su se dogodili.

U području Zrinske gore, locirana su tri potresa magnitude veće ili jednake 2.0, a navedeni su kronološki:

- 14. veljače 2013. godine u $5^h 35^{min} 2.8^s$ (UTC), magnitude $M = 2.1$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.210^\circ\text{N}$ i $\lambda = 16.368^\circ\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 66 km,

- 5. svibnja 2013. godine u $20^{\text{h}} 30^{\text{min}} 31.5^{\text{s}}$ (UTC), magnitude $M = 2.6$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.278^{\circ}\text{N}$ i $\lambda = 16.354^{\circ}\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 67 km,
- 27. studenog 2013. godine u $8^{\text{h}} 29^{\text{min}} 53.3^{\text{s}}$ (UTC), magnitude $M = 2.6$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 45.224^{\circ}\text{N}$ i $\lambda = 16.351^{\circ}\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 65 km.

U Pounju, u okolini Bosanskog Novog, dogodio se jedan potres magnitude veće ili jednake 2.0:

- 23. prosinca 2013. godine u $1^{\text{h}} 42^{\text{min}} 35.5^{\text{s}}$ (UTC), magnitude $M = 2.6$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.053^{\circ}\text{N}$ i $\lambda = 16.572^{\circ}\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 82 km.

U okolini Jastrebarskog, lociran jedan potres magnitude veće ili jednake 2.0:

- 10. ožujka 2013. godine u $0^{\text{h}} 11^{\text{min}} 5.9^{\text{s}}$ (UTC), magnitude $M = 2.1$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.670^{\circ}\text{N}$ i $\lambda = 15.512^{\circ}\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 61 km.

U okolini Gornje Bistre, locirana su četiri potresa magnitude veće ili jednake 2.0 (kronološkim redom):

- 25. kolovoza 2013. godine u $22^{\text{h}} 39^{\text{min}} 41.4^{\text{s}}$ (UTC), magnitude $M = 2.8$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.887^{\circ}\text{N}$ i $\lambda = 15.861^{\circ}\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 89 km,
- 27. kolovoza 2013. godine u $15^{\text{h}} 6^{\text{min}} 11.6^{\text{s}}$ (UTC), magnitude $M = 2.4$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.908^{\circ}\text{N}$ i $\lambda = 15.870^{\circ}\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 92 km,
- 27. kolovoza 2013. godine u $17^{\text{h}} 16^{\text{min}} 20.0^{\text{s}}$ (UTC), magnitude $M = 2.6$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.918^{\circ}\text{N}$ i $\lambda = 18.867^{\circ}\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 92 km,
- 29. kolovoza 2013. godine u $15^{\text{h}} 24^{\text{min}} 52.8^{\text{s}}$ (UTC), magnitude $M = 2.1$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 45.899^{\circ}\text{N}$ i $\lambda = 15.881^{\circ}\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 91 km.

U okolici Čučerja zabilježen je jedan potres magnitude veće ili jednake 2.0 i to:

- 29. studenog 2013. godine u $14^h 15^{min} 20.1^s$ (UTC), magnitude $M = 2.0$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 45.920^\circ\text{N}$ i $\lambda = 16.078^\circ\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 99 km.

U okolici Novog Mesta (Slovenija) zabilježen je jedan potres magnitude veće ili jednake 2.0:

- 30. kolovoza 2013. godine u $9^h 2^{min} 28.3^s$ (UTC), magnitude $M = 2.1$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 45.858^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.190^\circ\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 86 km.

U zaleđu Kočevja (Slovenija) dogodilo se sedam potresa magnitude veće ili jednake 2.0 (kronološkim redom):

- 14. lipnja 2013. godine u $18^h 35^{min} 59.1^s$ (UTC), magnitude $M = 2.9$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.813^\circ\text{N}$ i $\lambda = 14.866^\circ\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 93 km,
- 14. lipnja 2013. godine u $18^h 36^{min} 0.6^s$ (UTC), magnitude $M = 2.9$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.748^\circ\text{N}$ i $\lambda = 14.861^\circ\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 87 km,
- 16. lipnja 2013. godine u $20^h 4^{min} 58.9^s$ (UTC), magnitude $M = 3.8$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.754^\circ\text{N}$ i $\lambda = 14.853^\circ\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 88 km,
- 23. lipnja 2013. godine u $8^h 18^{min} 21.5^s$ (UTC), magnitude $M = 2.5$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.757^\circ\text{N}$ i $\lambda = 14.854^\circ\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 88 km,
- 30. kolovoza 2013. godine u $17^h 22^{min} 52.9^s$ (UTC), magnitude $M = 2.4$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.758^\circ\text{N}$ i $\lambda = 14.855^\circ\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 88 km,
- 25. studenog 2013. godine u $22^h 12^{min} 0.9^s$ (UTC), magnitude $M = 2.2$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.758^\circ\text{N}$ i $\lambda = 14.979^\circ\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 83 km,

- 25. studenog 2013. godine u $22^h\ 40^{\text{min}}\ 53.8^s$ (UTC), magnitude $M = 2.1$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 45.756^\circ\text{N}$ i $\lambda = 14.967^\circ\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 83 km.

U širem riječkom području, locirano je šest potresa magnitude veće ili jednake 2.0 (navedeni kronološki):

- 7. siječnja 2013. godine u $16^h\ 20^{\text{min}}\ 36.7^s$ (UTC), magnitude $M = 2.2$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.070^\circ\text{N}$ i $\lambda = 14.587^\circ\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 74 km,
- 22. siječnja 2013. godine u $14^h\ 22^{\text{min}}\ 45.8^s$ (UTC), magnitude $M = 2.0$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.321^\circ\text{N}$ i $\lambda = 14.543^\circ\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 80 km,
- 12. veljače 2013. godine u $21^h\ 41^{\text{min}}\ 8.3^s$ (UTC), magnitude $M = 2.2$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.494^\circ\text{N}$ i $\lambda = 14.479^\circ\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 92 km,
- 11. ožujka 2013. godine u $8^h\ 19^{\text{min}}\ 37.6^s$ (UTC), magnitude $M = 2.4$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.070^\circ\text{N}$ i $\lambda = 14.386^\circ\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 90 km,
- 4. svibnja 2013. godine u $10^h\ 6^{\text{min}}\ 21.1^s$ (UTC), magnitude $M = 2.2$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.300^\circ\text{N}$ i $\lambda = 14.941^\circ\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 50 km,
- 4. svibnja 2013. godine u $22^h\ 49^{\text{min}}\ 27.4^s$ (UTC), magnitude $M = 2.4$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.295^\circ\text{N}$ i $\lambda = 14.926^\circ\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 51 km.

U blizini Jablanca dogodila su se dva potresa magnitude veće ili jednake 2.0 i to (kronološkim redom):

- 30. prosinca 2013. godine u $8^h\ 37^{\text{min}}\ 57.0^s$ (UTC), magnitude $M = 2.1$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.780^\circ\text{N}$ i $\lambda = 14.987^\circ\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 57 km,
- 30. prosinca 2013. godine u $11^h\ 56^{\text{min}}\ 54.7^s$ (UTC), magnitude $M = 2.0$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.766^\circ\text{N}$ i $\lambda = 14.998^\circ\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 57 km.

U okolici Karlobaga dogodila su se četiri potresa magnitude veće ili jednake 2.0 (kronološkim redom):

- 19. lipnja 2013. godine u $12^h 57^{\text{min}} 32.0^s$ (UTC), magnitude $M = 2.2$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.499^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.049^\circ\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 79 km,
- 19. lipnja 2013. godine u $14^h 34^{\text{min}} 50.6^s$ (UTC), magnitude $M = 2.3$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.495^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.054^\circ\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 79 km,
- 20. lipnja 2013. godine u $13^h 51^{\text{min}} 8.8^s$ (UTC), magnitude $M = 2.0$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.490^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.050^\circ\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 80 km,
- 16. kolovoza 2013. godine u $10^h 15^{\text{min}} 60.2^s$ (UTC), magnitude $M = 2.5$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.491^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.057^\circ\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 79 km.

U okolici Ličkog Osika dogodila su se dva potresa magnitude veće ili jednake 2.0 (navedeni kronološki):

- 19. travnja 2013. godine u $8^h 49^{\text{min}} 13.7^s$ (UTC), magnitude $M = 2.6$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.600^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.523^\circ\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 58 km,
- 19. travnja 2013. godine u $10^h 5^{\text{min}} 25.1^s$ (UTC), magnitude $M = 2.4$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.595^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.504^\circ\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 58 km.

U okolici Počitelja zabilježen je jedan potres magnitude veće ili jednake 2.0 i to:

- 9. veljače 2013. godine u $10^h 37^{\text{min}} 4.1^s$ (UTC), magnitude $M = 2.7$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.412^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.378^\circ\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 80 km.

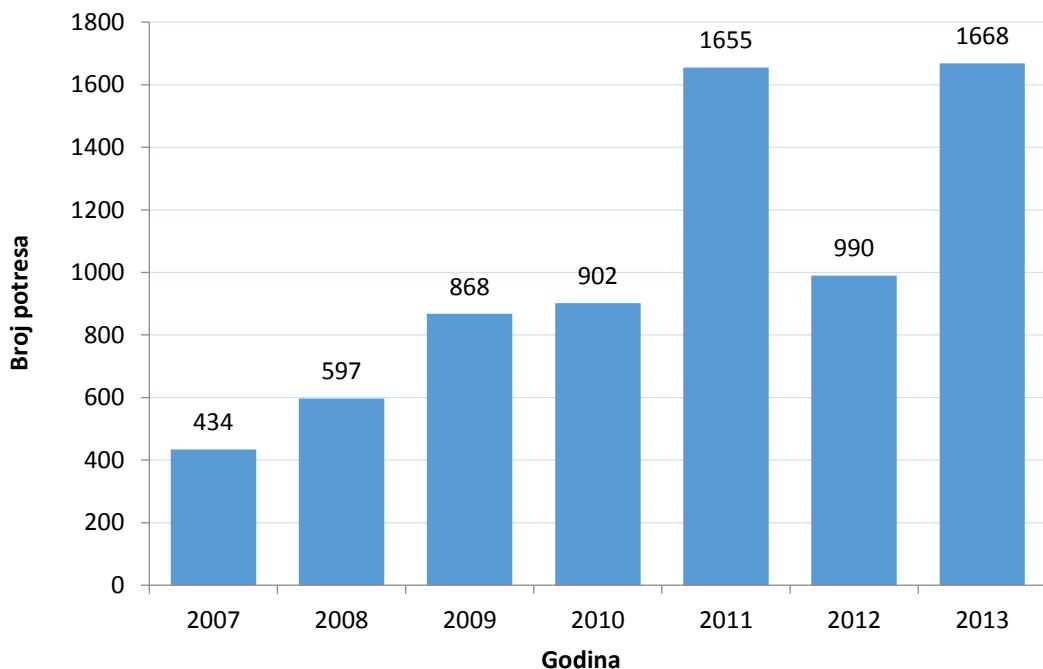
U okolici Sv. Roka zabilježena su tri potresa magnitude veće ili jednake 2.0 i to (kronološkim redom):

- 10. kolovoza 2013. godine u $6^{\text{h}} 43^{\text{min}} 19.8^{\text{s}}$ (UTC), magnitude $M = 2.3$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.302^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.548^\circ\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 91 km,
- 13. prosinca 2013. godine u $22^{\text{h}} 5^{\text{min}} 19.1^{\text{s}}$ (UTC), magnitude $M = 3.4$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.323^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.600^\circ\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 89 km,
- 13. prosinca 2013. godine u $23^{\text{h}} 33^{\text{min}} 35.0^{\text{s}}$ (UTC), magnitude $M = 2.8$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.295^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.639^\circ\text{E}$ i epicentralne udaljenosti 92 km.

Tijekom 2013. zabilježen je rast ukupno zabilježenih potresa, kao i potresa magnitude veće ili jednake 2.0.

3.3. Lokalni potresi na području Slunja locirani u razdoblju od 1. siječnja 2007. godine do 31. prosinca 2013. godine

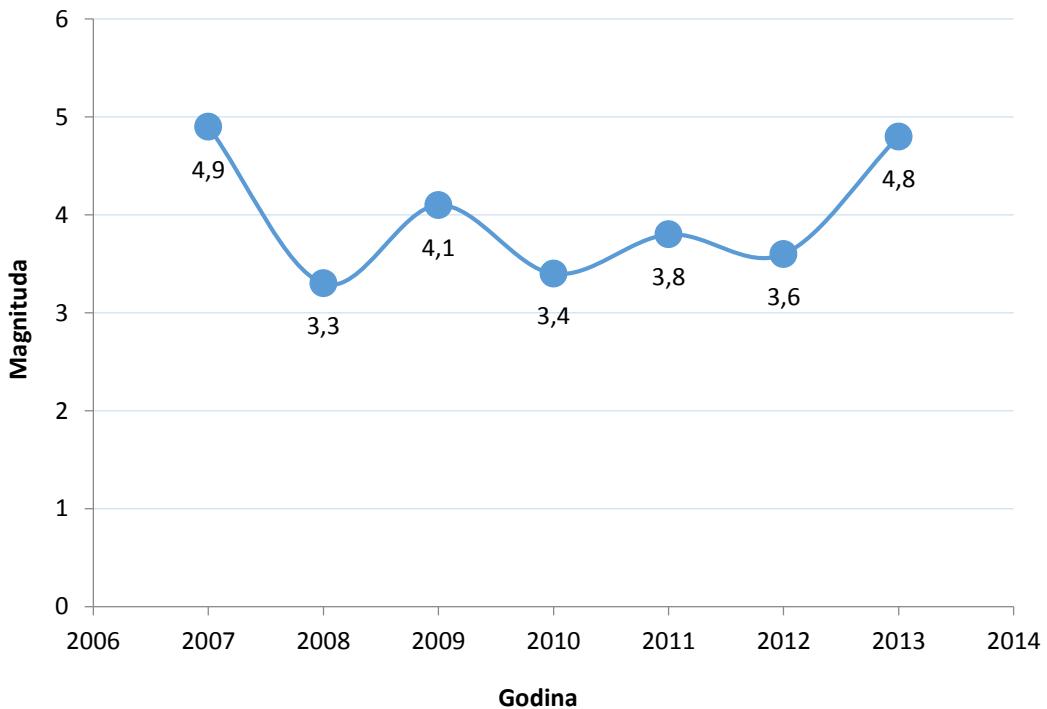
U razdoblju od 1. siječnja 2007. do 31. prosinca 2013. godine locirano je sveukupno **7114 potresa** iz epicentralnih udaljenosti do 100 km od Slunja. Histogram čestina tih potresa po godinama prikazan je na slici 3.11.



Slika 3.11. Histogram čestina lociranih potresa po godinama unutar kruga radijusa 100 km od Slunja u razdoblju od 1. siječnja 2007. godine do 31. prosinca 2013. godine.

U razdoblju u kojem traju istraživanja lokalne seizmičnosti područja oko Poligona 2013. godina je godina s najvećim brojem lociranih potresa. Broj potresa lociranih tijekom 2013. godine znatno je veći od broja potresa lociranih tijekom prethodne 2012. godine. Stoga se može reći kako je i dalje prisutan generalni trend porasta broja lociranih potresa po pojedinim godinama istraživanja. Ovaj porast dijelom je posljedica stalnog poboljšanja instrumentalnog praćenja seizmičnosti i unaprjeđenja programa i aplikacija za lociranje potresa, a dijelom je posljedica porasta seizmičke aktivnosti šireg lokalnog područja Slunja u promatranom razdoblju.

Na slici 3.12. prikazane su magnitude najjačih lokalnih potresa po pojedinim godinama u promatranom razdoblju s ciljem uvida u energetske karakteristike seizmičnosti promatranog područja. Najjači potres magnitude 4.9 dogodio se 2007. godine, a tijekom koje je ujedno locirano najmanje potresa, njih samo 434. Drugi najjači potres, magnitude 4.8 dogodio se ove, 2013. godine.



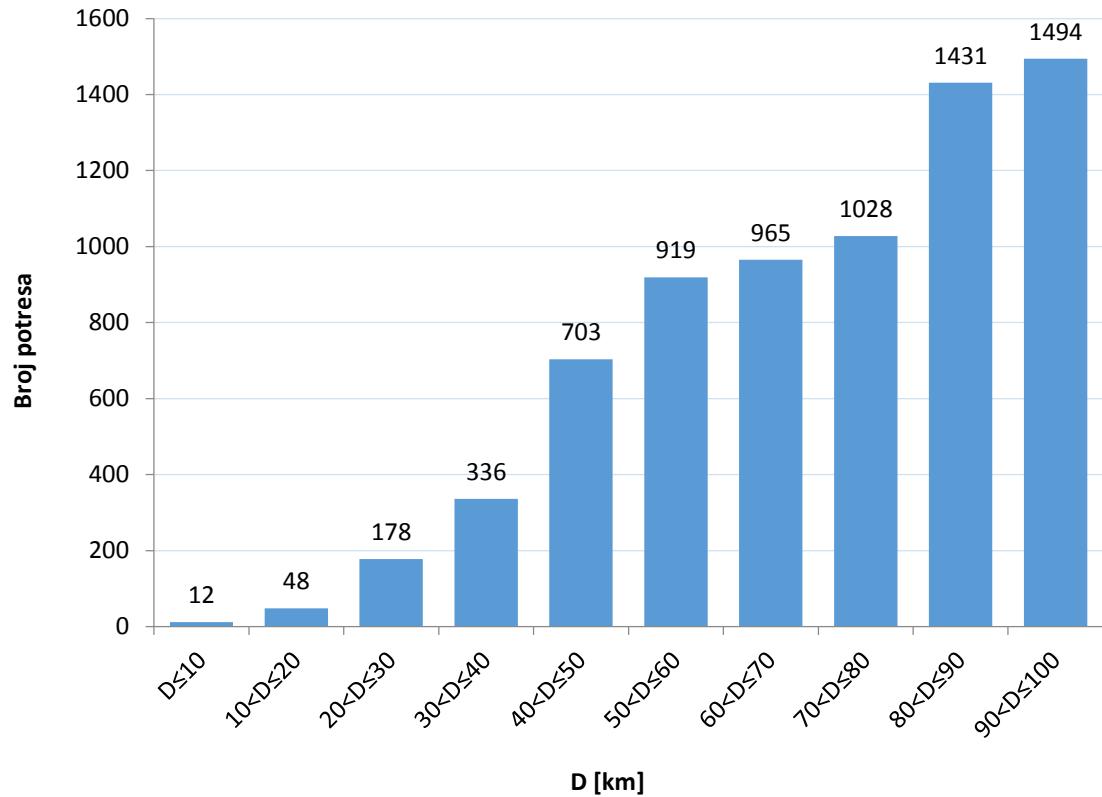
Slika 3.12. Maksimalne magnitude lokalnih potresa lociranih unutar kruga radijusa 100 km od Slunja u razdoblju od 1. siječnja 2007. do 31. prosinca 2013. godine.

Lokalni potresi najveće magnitude unutar promatranog vremenskog razdoblja po godinama dogodili su se:

- 5. veljače 2007. u $8^{\text{h}} 30^{\text{m}} 04.5^{\text{s}}$ (UTC), magnitude $\mathbf{M = 4.9}$, epicentralne udaljenosti $D = 47$ km zapadno od Slunja, kod Drežnice, zemljopisnih koordinata epicentra $\varphi = 45.070^{\circ}\text{N}$ i $\lambda = 14.950^{\circ}\text{E}$,
- 23. svibnja 2008. u $11^{\text{h}} 09^{\text{m}} 25.5^{\text{s}}$ (UTC), magnitude $\mathbf{M = 3.3}$, epicentralne udaljenosti $D = 49$ km jug-jugoistočno od Slunja, nedaleko Korenice, zemljopisnih koordinata epicentra $\varphi = 44.713^{\circ}\text{N}$ i $\lambda = 15.773^{\circ}\text{E}$,

- 21. lipnja 2009. u $10^h\ 54^m\ 37.1^s$ (UTC), magnitude **$M = 4.1$** , epicentralne udaljenosti $D = 96$ km južno od Slunja, nedaleko Starigrad-Paklenice, zemljopisnih koordinata epicentra $\varphi = 44.261^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.419^\circ\text{E}$,
- 3. studenog 2010. u $15^h\ 08^m\ 9.0^s$ (UTC), magnitude **$M = 3.4$** , epicentralne udaljenosti $D = 68$ km sjeverno od Slunja, nedaleko Jastrebarskog, zemljopisnih koordinata epicentra $\varphi = 45.703^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.796^\circ\text{E}$,
- 6. svibnja 2011. u $23^h\ 44^m\ 52.0^s$ (UTC), magnitude **$M = 3.8$** , epicentralne udaljenosti $D = 42$ km zapad-jugozapadno od Slunja, u zaleđu Senja, zemljopisnih koordinata epicentra $\varphi = 44.997^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.023^\circ\text{E}$,
- 18. svibnja 2012. u $20^h\ 38^{\min}\ 53.0^s$ (UTC), magnitude **$M = 3.6$** , epicentralne udaljenosti $D = 41$ km jugozapadno od Slunja, zemljopisnih koordinata epicentra $\varphi = 44.913^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.115^\circ\text{E}$
- 30. srpnja 2013. u $12^h\ 58^{\min}\ 30.0^s$ (UTC), magnitude **$M = 4.8$** , epicentralne udaljenosti $D = 40$ km zapadno-jugozapadno od Slunja, zemljopisnih koordinata epicentra $\varphi = 45.068^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.030^\circ\text{E}$.

U proteklih sedam godina rada seismografa (od 1. siječnja 2007. godine do 31. prosinca 2013. godine) na seismološkim postajama Slunj i Kukača načinjena je kumulativna razdioba lokalnih potresa po razredima epicentralne udaljenosti širine 10 km (Slika 3.13). Svaka godina tijekom koje se provodio *monitoring* istraživanja seizmičnosti povećava uzorak lociranih potresa na temelju kojeg se izučava prostorna karakteristika seizmičnosti promatranog područja. Povećanjem uzorka uvid u prostornu karakteristiku seizmičnosti promatranog područja postaje kvalitetniji i pouzdaniji. Uočava se kako broj lociranih potresa raste kako razredi obuhvaćaju veće epicentralne udaljenosti. Nadalje, prema broju lociranih potresa izdvajaju se dva područja epicentralnih udaljenosti. Prvo, koje obuhvaća epicentralnu udaljenost do 40 km od Slunja, okarakterizirano je znatno manjim brojem lociranih potresa. Drugo područje, koje obuhvaća epicentralne udaljenosti od 40 do 100 km, okarakterizirano je znatno većim brojem lociranih potresa. Takva razdioba broja potresa logičan je slijed prostornog rasporeda glavnih zona seizmičke aktivnosti unutar promatranog područja. Naime, glavne zone seismotektonske aktivnosti, a koje obuhvaćaju područje Sjevernog Jadrana i Sjevernog Velebita od Rijeke do Senja, zatim područje Žumberak – Brežice – Krško i šire područje Novog Mesta u Sloveniji te Medvednicu, nalaze se upravo na tim udaljenostima.



Slika 3.13. Kumulativna razdioba lokalnih potresa po epicentralnim udaljenostima D (km) do 100 km od Slunja za razdoblje od 1. siječnja 2007. godine do 31. prosinca 2013. godine.

4. Zaključak

Koristeći zapise seizmografa u Slunju, te ostalih naših i inozemnih seismoloških postaja, sačinjen je Katalog potresa koji predstavlja osnovu za analizu značajki lokalne seizmičke aktivnosti područja Poligona Slunj. Prema tom Katalogu unutar kruga radijusa 100 km oko Slunja u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2013. godine **locirano je 1668 potresa**, od kojih je:

- 303 epicentralne udaljenosti do 50 km i
- 1365 epicentralne udaljenosti od 50 do 100 km.

Od 303 potresa epicentralne udaljenosti do 50 km najveći broj (njih 144) dogodio se u području epicentralnih udaljenosti $40 < D \leq 50$ km. Kao seizmički najaktivnije izdvaja se područje koje obuhvaća zaleđe Senja (Krmpote – Krivi put) i okolicu Otočca (Gacka polje). Unutar navedenog područja nalaze se epicentri većine bližih lokalnih potresa. Tijekom 2013. godine u krugu radijusa 50 km dogodilo se 23 potresa magnitude veće ili jednake 2.0, što je najviše od kada se prati lokalna seizmičnost područja oko Poligona, dok je bilo njih pet $M \geq 3.0$.

Najjači potres unutar kruga radijusa 50 km od Slunja, ujedno i najjači u cijelom promatranom području oko Slunja bio je magnitude **$M = 4.8$** , a dogodio se 30. srpnja 2013. godine u $12^h 58^{min} 30.0^s$ (UTC), s epicentrom lociranim između Krivog Puta i Drežnice u senjskom zaleđu, na epicentralnoj udaljenosti od 40 km zapadno od Slunja, s geografskim koordinatama epicentra $\varphi = 45.068^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.030^\circ\text{E}$.

Najbliži potres Slunju dogodio se 7. studenog 2013. u $12^h 9^{min} 36.2^s$ (UTC), na **epicentralnoj udaljenosti 9 km** jugo-jugoistočno od Slunja, magnitude $M = 0.0$ i s geografskim koordinatama epicentra $\varphi = 45.076^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.626^\circ\text{E}$.

Od 807 potresa epicentralne udaljenosti od 50 do 100 km njih 19 imalo je magnitudu veću ili jednaku 2.0. Seizmičkom aktivnošću naročito se ističu sljedeća područja: šire područje koje se proteže od Ilirske Bistrice preko Rijeke i Novog Vinodolskog do Senja, zatim područje Žumberak – Brežice – Krško te šire područje Novog Mesta u Sloveniji. Seizmički je aktivno bilo i područje koje se proteže od Pokupske preko Siska prema Lonjskom polju te područje koje se proteže od Gline preko Zrinske gore do Prijedora u susjednoj Federaciji BiH.

Najjači dalji lokalni potres bio je magnitude 3.4 i dogodio se 20. srpnja 2013. godine u $20^h 51^{min} 33.7^s$ (UTC) u zadarskom zaleđu, nedaleko Ražanca, na epicentralnoj udaljenosti 100 km južno-jugozapadno od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.234^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.336^\circ\text{E}$.

U 2013. godini nije bilo potresa koji su se makroseizmički izraženije manifestirali na širem području Slunja.

U dosadašnjih sedam godina rada seismografa postavljenih na privremenim seismološkim postajama Slunj i Kukača mogu se izvući neki konkretniji zaključci. U razdoblju **od 1. siječnja 2007. do 31. prosinca 2013. godine** sveukupno je **locirano 7114 potresa** epicentralne udaljenosti do 100 km od Slunja. Tijekom 2013. godine locirano je najviše potresa, njih 1668. Može se zaključiti kako je i dalje prisutan generalni trend porasta broja lociranih potresa po pojedinim godinama istraživanja. Ovaj porast dijelom je posljedica stavnog poboljšanja instrumentalnog praćenja seizmičnosti i unaprjeđenja programa i aplikacija za lociranje potresa, a dijelom je posljedica porasta seizmičke aktivnosti šireg lokalnog područja Slunja u promatranom razdoblju. Lokalni potres najveće magnitude lociran je 2007. godine tijekom koje je ujedno locirano najmanje potresa. Iz razdiobe epicentara lokalnih potresa po epicentralnoj udaljenosti u promatranom razdoblju, mogu se izdvojiti područja unutar kojih se dogodila većina potresa. Riječ je o područjima epicentralne udaljenosti od 40 do 100 km od Slunja, unutar kojeg su epicentri velike većine potresa locirani u području Sjevernog Jadrana i Sjevernog Velebita od Rijeke do Senja, zatim u području Žumberak – Brežice – Krško i širem području Novog Mesta u Sloveniji te na Medvednici.

Dosadašnji rad seismografa u Slunjtu, kojim se proteklih sedam godina prati lokalna seizmičnost područja oko Poligona, pokazao je da je i **u najužem lokalnom području oko Slunja prisutna izražena seizmička aktivnost** što je naglašavano i u prethodnim Izvješćima. Upravo ta činjenica ukazuje na potrebu nastavka rada seismološke postaje Slunj, kao i povratak seismološke postaje Kukača, čime bi se opseg i mogućnost detaljnijeg izučavanja seizmičnosti užeg i šireg lokalnog područja oko Poligona bitno poboljšala. Time bi bila povećana mogućnost lociranja slabijih potresa epicentralnih udaljenosti do 50 km od same postaje, a koji predstavljaju vrlo vrijedan izvor podataka jer je za istraživanje seismoloških parametara za neku lokaciju najvažnija lokalna seizmičnost. Stoga je neophodno nastaviti seismološka istraživanja područja

Poligona zbog toga što rezultati imaju veću težinu kada je vremenski niz mikroseizmičkih mjerena duži. To posljedično omogućava bolje određivanje relevantnih parametara potresa za buduća razdoblja. Time bi bila omogućena bolja i kvalitetnija analiza seizmičnosti s osnovnim ciljem utvrđivanja što egzaktnijih seizmotektonskih modela koji su osnova za sve daljnje preventivne aktivnosti.

5. Literatura

Herak, M. (1989): HYPOSEARCH – An earthquake location program. Computers & Geosciences, Vol.15, No.7, 1157–1162.

Katalog potresa Hrvatske i susjednih područja. Arhiv Geofizičkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilište u Zagrebu.

Kuk V. i sur. (2008): Poligon OS RH „Eugen Kvaternik“ Slunj: Rezultati praćenja lokalne seizmičke aktivnosti u 2007. godini. Geofizički zavod PMF-a, Zagreb.

Kuk V. i sur. (2009): Poligon OS RH „Eugen Kvaternik“ Slunj: Rezultati praćenja lokalne seizmičke aktivnosti u 2008. godini. Geofizički zavod PMF-a, Zagreb.

Kuk V. i sur. (2010): Poligon OS RH „Eugen Kvaternik“ Slunj: Rezultati praćenja lokalne seizmičke aktivnosti u 2009. godini. Geofizički zavod PMF-a, Zagreb.

Kuk V. i sur. (2011): Poligon OS RH „Eugen Kvaternik“ Slunj: Rezultati praćenja lokalne seizmičke aktivnosti u 2010. godini. Geofizički zavod PMF-a, Zagreb.

Kuk V. i sur. (2012): Poligon OS RH „Eugen Kvaternik“ Slunj: Rezultati praćenja lokalne seizmičke aktivnosti u 2011. godini. Geofizički zavod PMF-a, Zagreb.

Kuk V. i sur. (2013): Poligon OS RH „Eugen Kvaternik“ Slunj: Rezultati praćenja lokalne seizmičke aktivnosti u 2012. godini. Geofizički zavod PMF-a, Zagreb.

Prelogović, E., Kuk, V., Marić, K., Kuk, K. (2003): Studija ciljanog sadržaja za Vojno vježbalište „Eugen Kvaternik“ Slunj, Geomorfologija, Seismotektonika i Seizmologija.

Wielandt, E. (2002): Seismic sensors and their calibration. U „IASPEI New Manual of Seismological Practice“ P. Borman (Editor), Geoforschungs Zentrum, Potsdam.

Willmore, P. L. (1959): The application of the Maxwell impedance bridge to the calibration of the electromagnetic seismographs. Bull. Seism. Soc. Am., Vol.49, pp. 99–114.