

POLIGON OS RH „EUGEN KVATERNIK” SLUNJ

REZULTATI PRAĆENJA LOKALNE SEIZMIČKE AKTIVNOSTI U 2015. GODINI - STUDIJA -

Tomislav Fiket, dipl.ing. fizike

dr. sc. Iva Dasović, 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

dr.sc. Josip Stipčević, dipl.ing. fizike

Danijel Štih, ing.

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet

Geofizički odsjek



Zagreb, listopad 2016

Voditelj Projekta:

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

SADRŽAJ

| | |
|--|-----------|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. METODE RADA | 2 |
| 3. REZULTATI RADA | 7 |
| <i>3.1. Potresi epicentralnih udaljenosti do 50 km od Slunja</i> | 15 |
| <i>3.2. Potresi epicentralnih udaljenosti od 50 do 100 km od Slunja</i> | 19 |
| <i>3.3. Lokalni potresi na području Slunja locirani u razdoblju od 1. siječnja 2007. godine do 31. prosinca 2015. godine</i> | 27 |
| 4 . ZAKLJUČAK | 31 |
| 5. LITERATURA | 34 |

1. UVOD

Sklapanjem Okvirnog sporazuma između Ministarstva obrane Republike Hrvatske i Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu omogućeno je i sklapanje Ugovora o nabavi usluge praćenja stanja okoliša - seismološki monitoring na VP „E. Kvaternik” Slunj. Na taj način se od kraja 2006. počinje s istraživanjem lokalne seizmičnosti Poligona i okolice. Samo istraživanje vršeno je i vrši se i dalje uz neke glavne ciljeve, od kojih su najvažniji:

- 1) Upotpunjavanje saznanja o recentnoj seizmičkoj i seismotektonskoj aktivnosti šireg prostora oko Poligona
- 2) Eliminiranje eventualnih dvojbi oko pojave šteta na civilnim objektima šireg područja oko Poligona
- 3) Jasno određivanje uzroka potencijalno nastalih oštećenja.

Tijekom 2015. godine provedeno je instrumentalno praćenje lokalne seizmičke aktivnosti na seismološkoj postaji Slunj na Kuranovom vrhu kao nastavak navedenih istraživanja.

Već 2006. godine seismološka postaja Slunj je opremljena modernim digitalnim širokopojasnim trokomponentnim seismografom engleske firme Guralp. Ovakav visokoosjetljivi seismograf omogućuje precizno i jednoznačno određivanje osnovnih parametara potresa lokalnog područja oko Poligona, što se može vidjeti iz tehničkih karakteristika uređaja.

Ova Studija prikazuje rezultate rada postaje Slunj tijekom 2015. godine.

2. METODE RADA

Seizmološka postaja Slunj postavljena je krajem 2006. godine i od samog početka rada opremljena je digitalnim mjernim sustavom engleskog proizvođača Guralp Systems Ltd. Postaja se vremenom sa lokacije Čatrinja izmakla na lokaciju Kuranov vrh, ali oprema se nije mijenjala, tj. cijelo vrijeme je praćena širokopojasnim trokomponentnim seismometrom. Ove, 2015. godine, kao i prošlih godina, postaja je locirana na Kuranovom vrhu.

Tijekom ovog promatranog razdoblja (od 1. siječnja do 31. prosinca 2015. 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.

Navedeni model seismometra ima ukupno tri senzora, od kojih je jedan vertikalni (Z) i dva horizontalna senzora (N-S, E-W) koji su međusobno okomiti s točnošću većom od 0.1 stupnja. Navedenim razmještajem senzora omogućeno je istovremeno mjerjenje gibanja tla u smjerovima gore-dolje (Z), sjever-jug (N-S) i istok-zapad (E-W). Instrument radi po principu naponske 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.

Zbog osiguranja nesmetanog rada postaje u što dužem vremenskom razdoblju, na postaji je postavljen sustav autonomnog napajanja koji omogućuje rad opreme u slučaju nestanka električne energije (npr. zbog udara groma, radova na održavanju mreže i sl.). Time je osiguran neprekidni rad instrumenta kroz razdoblje od nekoliko dana. Nakon povratka električne energije kao izvor napajanja ponovno se koristi javna elektronaponska mreža.

Satelitskim sustavom podatkovne veze osiguran je prijenos podataka u približno realnom vremenu u centar za obradu seizmoloških podataka koji se nalazi na Geofizičkom odsjeku PMF-a u Zagrebu. Tako je osigurana bolja kontrola

rada seizmološke postaje Slunj, trenutni uvid u probleme u protoku podataka, kao i rana detekcija kvara postaje, što značajno skraćuje vrijeme reakcije na eventualne probleme u radu postaje.

Tri senzora seismometra kao izlazni signal daju električni napon koji je proporcionalan brzini gibanja tla. Zatim se analogni signal digitalizira pomoću 24-bitnog trokanalnog AD pretvornika. Vremenski niz mjerenih podataka uzorkovan je s frekvencijom uzorkovanja od 50 Hz, dok je za vrijeme potresa („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. Uporeni podaci o gibanju tla i točnom vremenu spremni su za pohranu na računalu, šalju se sustavom podatkovne veze u centar u Zagrebu, te su spremni za daljnju računalnu obradu.

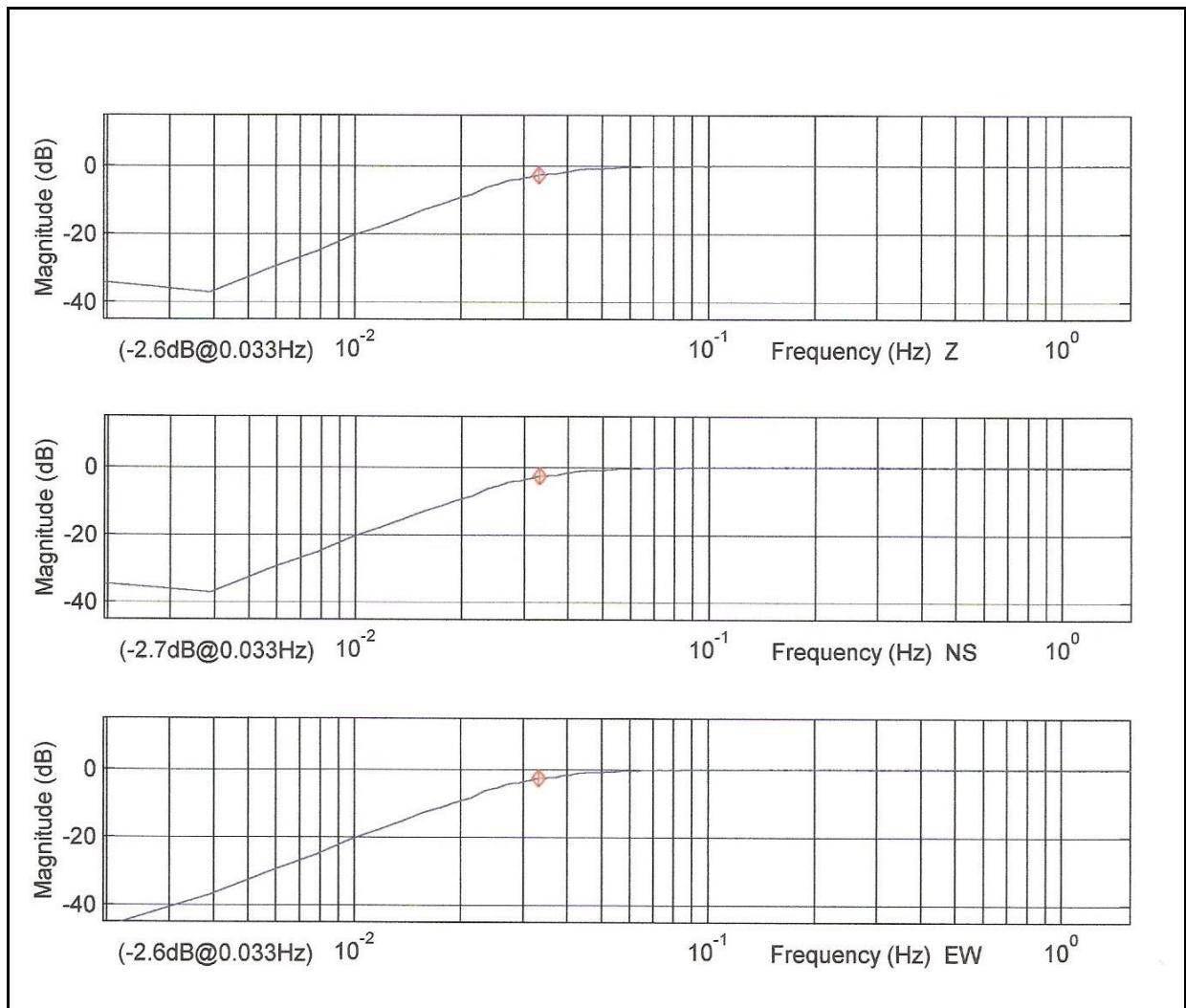
Prikupljeni digitalni zapisi seismograma seizmološke postaje Slunj analiziraju se od strane seismologa programom SANDI2 koji je u tu svrhu razvijen na Geofizičkom zavodu. Kao što je već navedeno, točno vrijeme je primano GPS uređajem, a nastupna vremena su mjerena točno do na 0.001 s.

Iz podataka sa postaje Slunj i ostalih postaja seizmološke mreže Republike Hrvatske (po potrebi i šire okolice, tj. podataka iz okolnih zemalja) određuju se osnovni parametri potresa. To su redom: koordinate epicentra, dubina žarišta, vrijeme nastanka potresa. Navedeni osnovni parametri potresa izračunati 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.

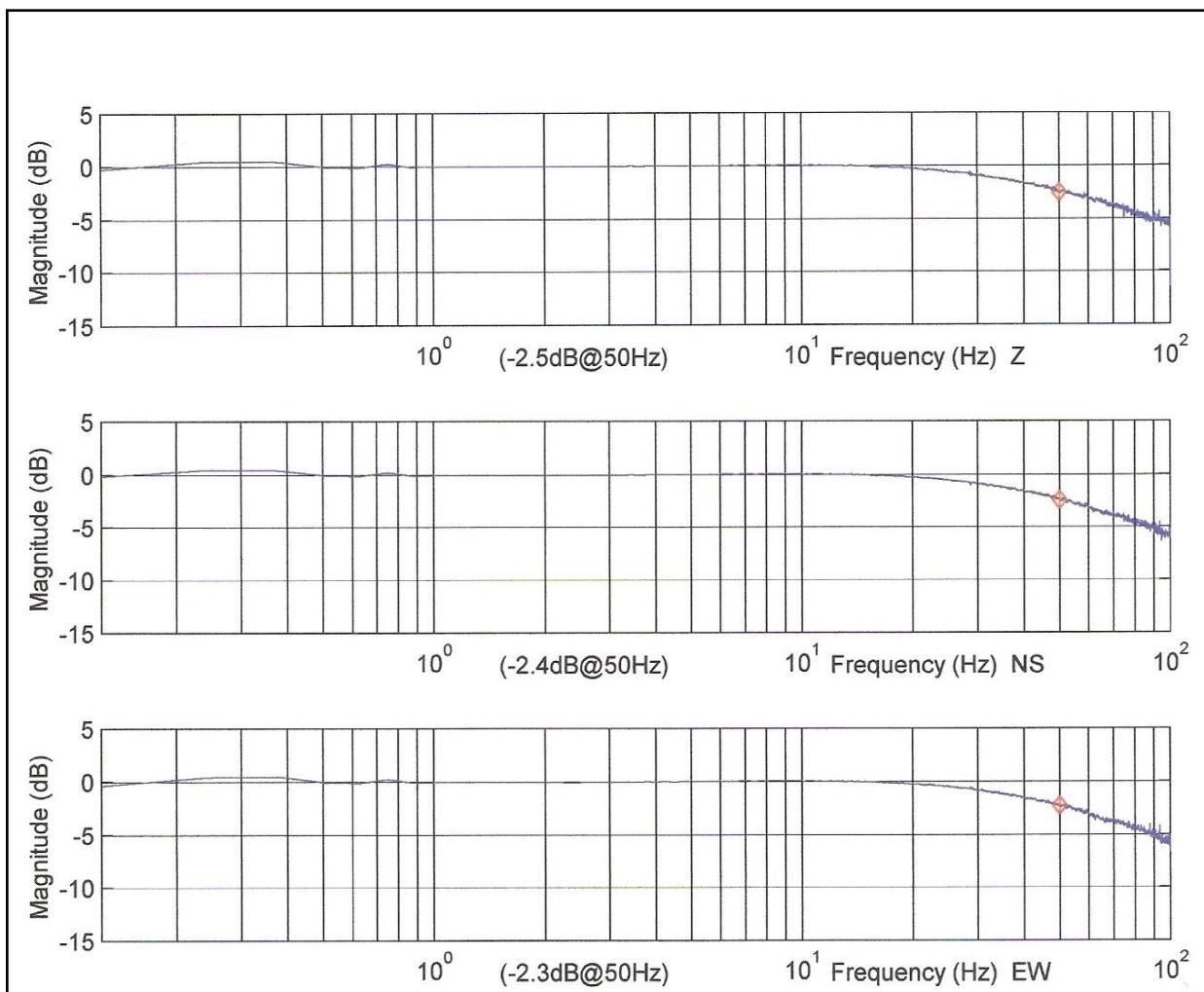
Kao što smo već naveli, u 2011. godini, uslijed zahtjeva MORH-a izvršeno je izmjehstanje postaje s dotadašnje lokacije (Čatrna) na novu lokaciju (Kuranov vrh), gdje se i trenutno nalazi.

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.

Na temelju maksimalne amplitudne brzine osciliranja tla određuje se magnituda potresa. Maksimalna amplitudna brzina osciliranja tla određuje se iz zapisa registracije potresa pa je nužno poznavati značajke seismometra za svaki period osciliranja tla (povećanje seismometra, u ovom slučaju). Takva frekventna karakteristika, definirana kao ovisnost odnosa registrirane amplitudne i amplitudne 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. Prikazana je krivulja dinamičkog povećanja u odnosu na brzinu seismometra postavljenog na seismološkoj postaji Slunj (slike 2.1.a. i 2.1.b.).



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

Kao i većina ostalih seismoloških instrumenata, tako je i instrument postavljen na seismološkoj postaji Slunj namijenjen radu u terenskim uvjetima. Iako se radi o uređaju koji zahtjeva vrlo malo održavanja, za uredan i kvalitetan rad nužan je obilazak, kontrola ispravnosti rada i umjeravanje seismometra od strane stručnih osoba, što je redovito obavljano i 2015. godine. Umjeravanje je provedeno korištenjem pomoću dvije metode: metode simulacije potresa sinusnom strujom iz AD pretvornika (Willmore, 1959) i metode primjene funkcije skoka akceleracije na njihalo seismometra (Wielandt, 2002).

3. REZULTATI RADA

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 2015. godine. Navedeni potresi nalaze se u Katalogu 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. Prema epicentralnim udaljenostima locirani potresi razdijeljeni su u dvije grupe. 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.

Unutar kruga radijusa 100 km oko Slunja locirano je sveukupno 2229 potresa u 2015. godini. Od toga je:

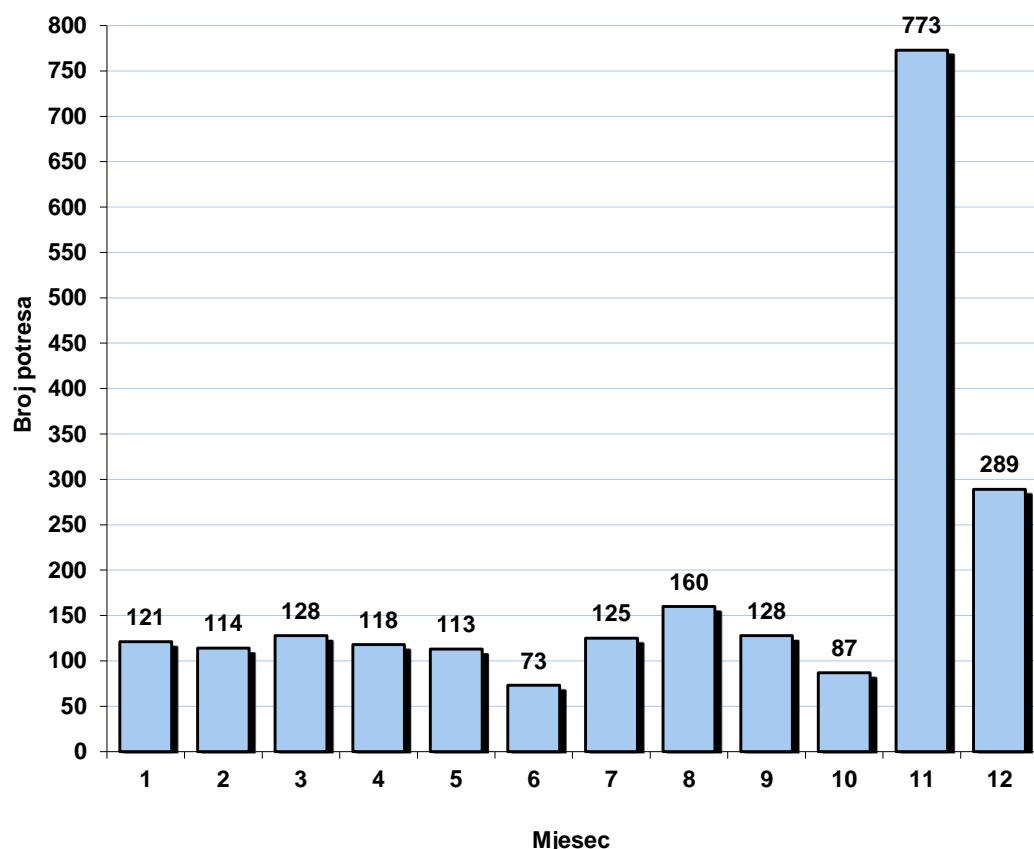
- **271** potres iz epicentralnih udaljenosti do 50 km (**bliži lokalni potresi**) i
- **1958** potresa iz epicentralnih udaljenosti od 50 do 100 km (**dalji lokalni potresi**).

Navedene potrese je potrebno analizirati, kako njihovu vremensku raspodjelu tako i prostornu raspodjelu, zbog stjecanja kvalitetnijeg i temeljitijeg uvida u najosnovnije značajke lokalne seizmičnosti promatranog područja.

1. - Mjesečna razdioba čestina potresa lociranih u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2015. godine prikazana je u obliku histograma na slici 3.1. Broj potresa lociranih po pojedinim mjesecima varira od 73 potresa, koliko je locirano tijekom lipnja do 773 potresa, koliko je locirano tijekom studenog (posljedica serije potresa u blizini Krškog, više u tekstu). Prema broju lociranih potresa seizmička aktivnost bila je puno izraženija u drugom dijelu godine, s maksimumom tijekom studenog. U prvom polugodištu locirano je ukupno 667 potresa, a u drugom 1562. Varijabilnost broja lociranih potresa po mjesecima izraženija je tijekom drugog polugodišta, posebice zbog studenog koji značajno odstupa od ostalih mjeseci u polugodištu (studeni sa 773 potresa daleko

nadmašuje sve ostale mjeseca u 2015. godini). Studeni je sa 773 locirana potresa mjesec s najviše lociranih potresa tijekom 2015. godine. Prosinac također odstupa sa gotovo dvostruko više potresa (njih 289) u odnosu na ostale mjesece u godini (izuzev studenog).

Prvo polugodište ima ravnomjernije raspoređene čestine lociranih potresa izuzev lipnja koji je sa 73 lociranih potresa mjesec s najmanje lociranih potresa u 2015. godini.



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 2015. godine.

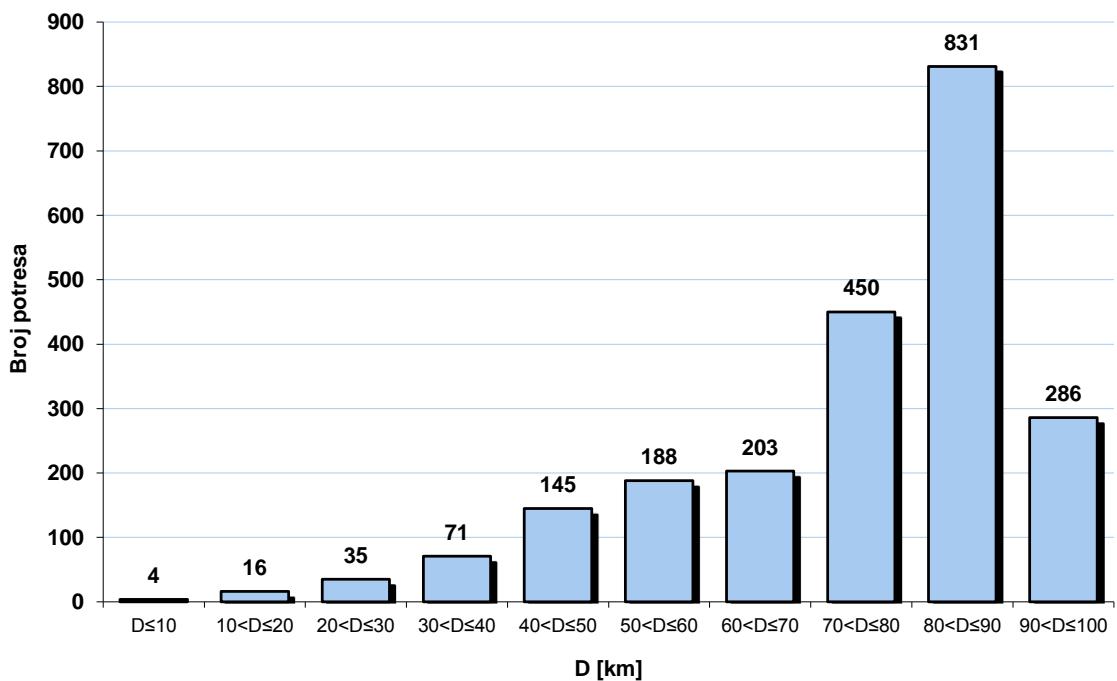
Mjesečna razdioba potresa po epicentralnim udaljenostima (bliži i dalji lokalni potresi) prikazana je u tablici 3.1. Kao što je bio slučaj i prethodnih godina

uključenih u ovo istraživanje, postoji velika razlika u udjelu bližih i daljih lokalnih potresa u ukupnom broju potresa. Naime, vidljivo je kako je tijekom svih mjeseci broj daljih lokalnih potresa puno veći od broja bližih lokalnih potresa. Navedeno je jednim dijelom posljedica činjenice kako se seizmički najaktivnija područja nalaze upravo unutar epicentralnih 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 kako je seizmološka postaja Slunj jedina postaja unutar područja epicentralnih udaljenosti do 50 km od Slunja. Iz tog je razloga znatno smanjena mogućnost registriranja i lociranja slabijih 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 11 (lipanj) do 36 (studen) lociranih potresa, dok se broj daljih lokalnih potresa kreće u rasponu od 62 (lipanj) do 737 (studen) lociranih potresa. Studeni je najaktivniji mjesec u 2015. godini i na udaljenosti unutar 50 km od postaje Slunj.

Tablica 3.1. *Mjesečna razdioba čestina lokalnih potresa po epicentralnim udaljenostima D (km) od Slunja, lociranih u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2015. godine.*

| Mjesec | 0<D≤50 | 50<D≤100 | Ukupno |
|---------------|------------|-------------|-------------|
| Siječanj | 18 | 103 | 121 |
| Veljača | 17 | 97 | 114 |
| Ožujak | 19 | 109 | 128 |
| Travanj | 23 | 95 | 118 |
| Svibanj | 27 | 86 | 113 |
| Lipanj | 11 | 62 | 73 |
| Srpanj | 20 | 105 | 125 |
| Kolovoz | 28 | 132 | 160 |
| Rujan | 20 | 108 | 128 |
| Listopad | 24 | 63 | 87 |
| Studen | 36 | 737 | 773 |
| Prosinac | 28 | 261 | 289 |
| Ukupno | 271 | 1958 | 2229 |

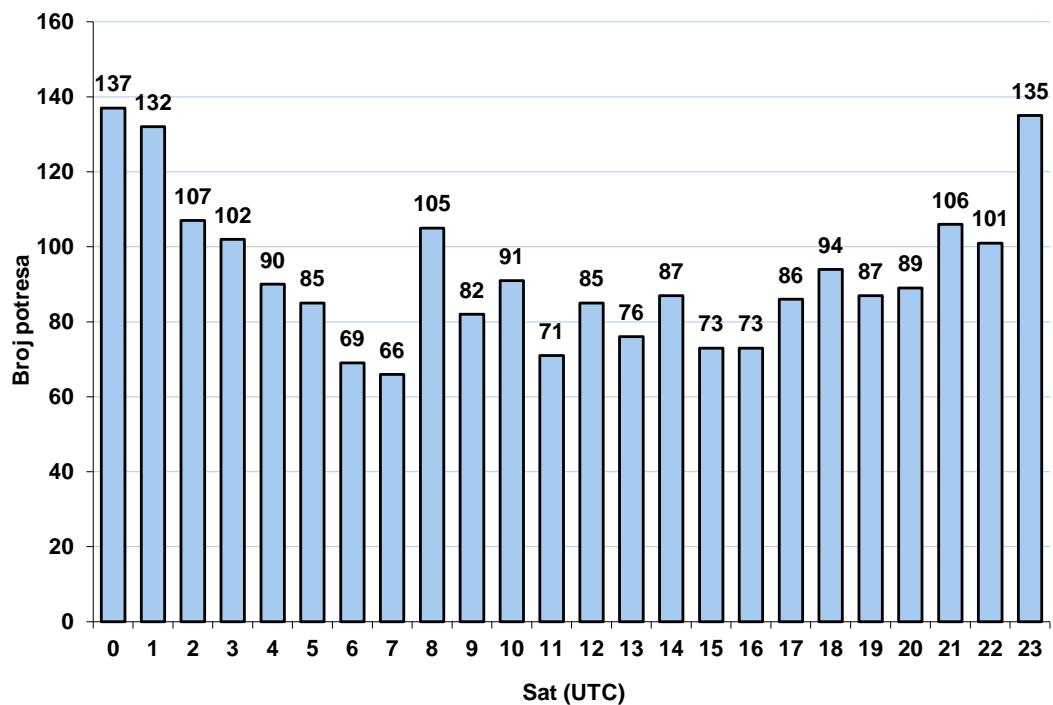
2. - Histogram čestina potresa po epicentralnim udaljenostima do 100 km od Slunja, lociranih u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2015. godine, prikazan je na slici 3.2. Kao širina razreda epicentralnih udaljenosti odabранa je širina od 10 km. Trend općeg porasta broja lociranih potresa unutar razreda kako se udaljujemo od postaje Slunj vidljiv je i ove godine. Ove godine još je izraženija razlika u seizmičkoj aktivnosti prema broju lociranih potresa bližih i daljih epicentralnih udaljenosti. U području epicentralnih udaljenosti do 50 km locirano je svega 271 potresa, što čini tek 12.2 % od ukupnog broja lociranih potresa. U području epicentralnih udaljenosti od 50 do 100 km locirano je 1958 potresa, što čini 87.8 % od ukupnog broja potresa. Slična prostorna razdioba potresa po razredima epicentralnih udaljenosti vidljiva je i u Studijama iz prošlih godina (vidi poglavlje 3.3), a posljedica je rasporeda seizmički najaktivnijih područja upravo na epicentralnim udaljenostima većim od 40 km. Ta seizmički najaktivnija područja obuhvaćaju područje od Rijeke do Senja, zatim područje Žumberak – Brežice – Krško i okolicu Novog Mesta u Sloveniji te Medvednicu. Ove, 2015. godine područje Brežice-Krško serijom potresa u 11 mjesecu znatnije iskače od ostalih područja i doprinosi velikom broju potresa na epicentralnim udaljenostima od 70-90 km od Slunja.



Slika 3.2. Histogram čestina potresa po epicentralnim udaljenostima do 100 km od Slunja lociranih u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2015. godine.

3. - **Dnevni hod čestina potresa** lociranih unutar epicentralnih udaljenosti do 100 km od Slunja, u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2015. godine prikazan je na slici 3.3. 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 kako 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

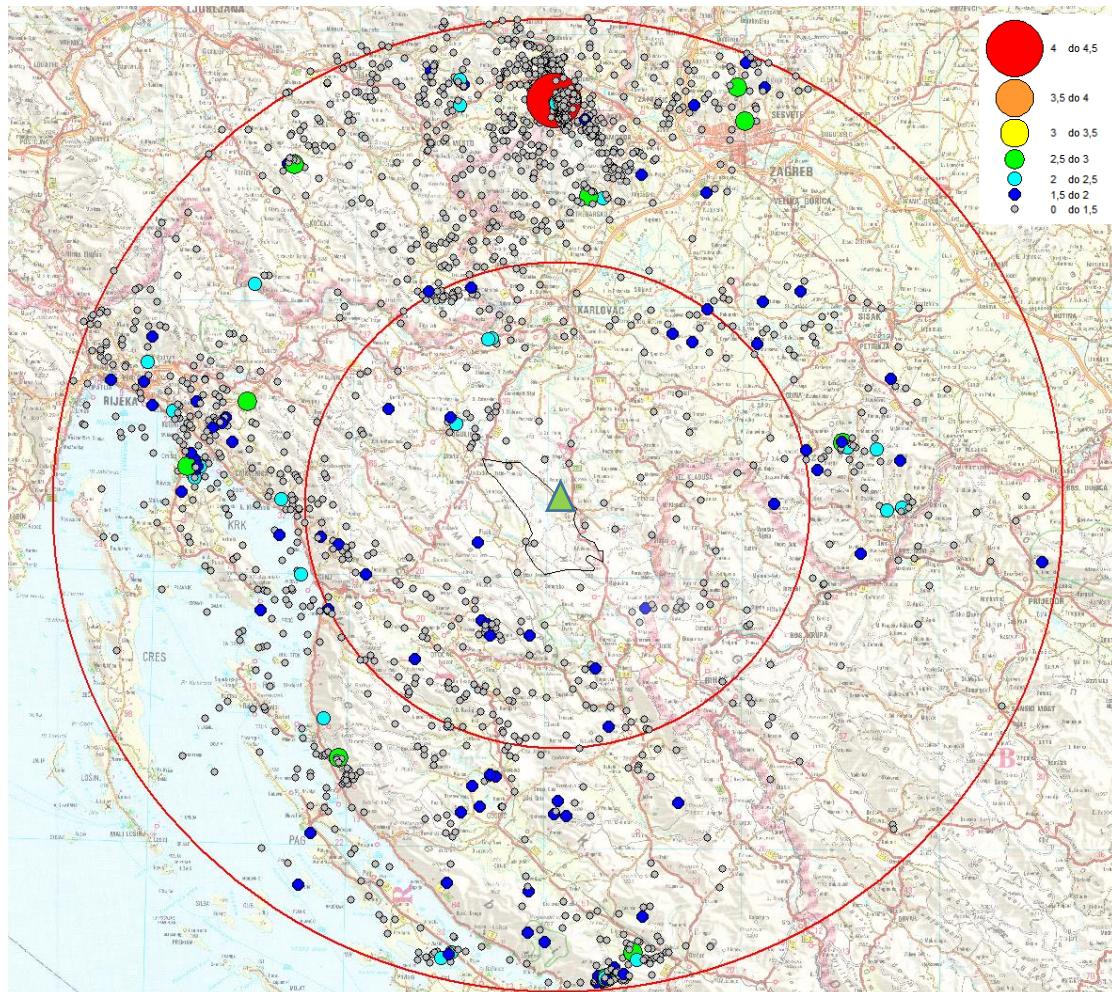
žarišta potresa plitka, relativno blizu seismografa i malih magnituda, to može ukazivati na njihovo umjetno porijeklo.



Slika 3.3. Dnevni hod čestina lokalnih potresa iz epicentralnih udaljenosti do 100 km od Slunja lociranih u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2015. godine.

Iz dnevnog hoda čestina potresa lociranih tijekom 2015. godine (slika 3.3.) vidljivo je da je broj lociranih potresa ujednačen kroz cijeli dan, uz manja odstupanja. Tijekom noćnih sati maksimalan broj potresa zabilježen je tijekom 23, 0 i 1 sata (404 potresa). Tijekom dnevnih sati uočava se povećanje broja lociranih potresa u razdoblju od 8 sati nadalje, s najvećim brojem potresa lociranih upravo u 8 sati kada je locirano 105 potresa. Tijekom 2015. godine zabilježeno je 74 potresa bliskih epicentralnih udaljenosti koji su imali iznimno malu dubinu žarišta (manju od 2 km) i male magnitudo. Potresi su bili ravnomjerno raspoređeni tijekom cijelog dana, stoga se može zaključiti kako je utjecaj eksplozija na broj potresa sveden na minimum.

4. - Karta epicentara potresa lociranih unutar kruga radijusa 100 km od Slunja u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2015. godine prikazana je na slici 3.4.



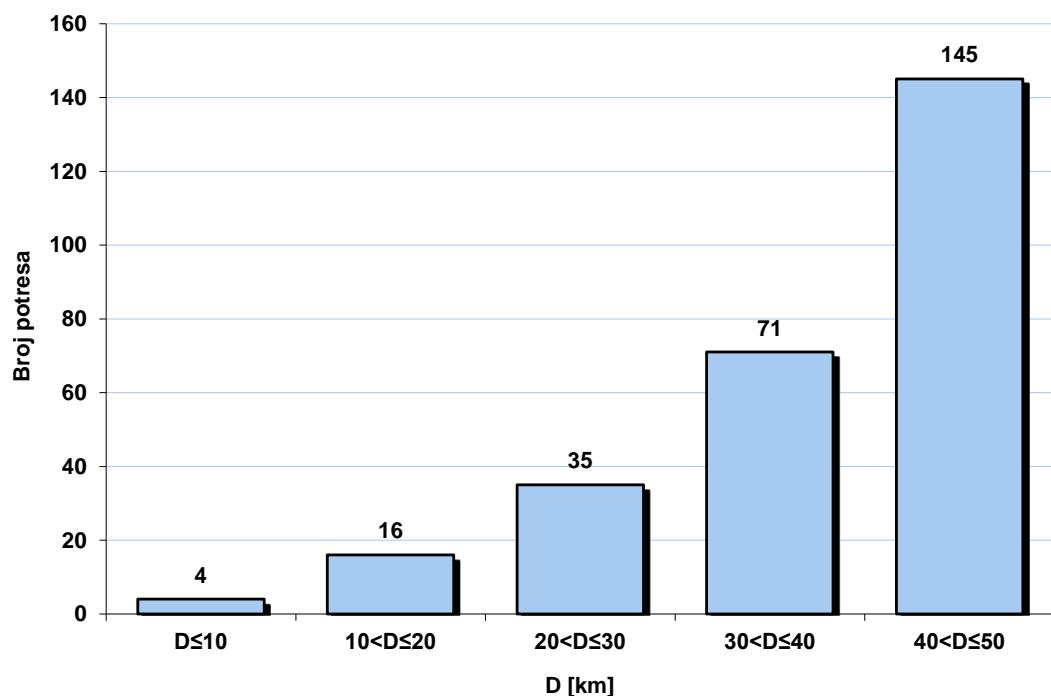
Slika 3.4. Karta epicentara potresa lociranih unutar kruga radijusa 100 km od Slunja u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2015. godine. Seizmološka postaja Slunj označena je zelenim trokutom. Granice poligona OS RH „Eugen Kvaternik“ Slunj iscrtane su plavom linijom. Crvene kružnice odgovaraju kružnicama radijusa 50 i 100 km od seizmološke postaje Slunj.

Karta predstavlja detaljni prikaz prostorne razdiobe epicentara potresa i na njoj se uočavaju područja na kojima se dogodila većina potresa tijekom 2015. godine. Ta područja obuhvaćaju područje Sjevernog Jadranu i Sjevernog Velebita

između Rijeke i Senja, zatim područje Gospića, Siska, Prijedora u BiH te šire područje Novog Mesta u Sloveniji. Najjači potres koji se dogodio unutar kruga radijusa 100 km od Slunja tijekom 2015. godine bio je magnitudo $M = 4.2$, s epicentrom lociranim nedaleko mjesta Poštene Vas, u Sloveniji. Tijekom 2015. godine dogodio se još jedan potres magnitudo bliske 3, magnitudo $M = 2.9$, s epicentrom u istom epicentralnom području kao i gore spomenuti potres, ovog puta bliže mjestu Bušeča vas, otprilike 1 km od najjačeg potresa tijekom 2015. godine.

3.1. Potresi epicentralnih udaljenosti do 50 km od Slunja

Od ukupno 2229 potresa lociranih tijekom 2015. godine unutar kruga radijusa 100 km od Slunja, njih 271 (12.2%) bilo je iz područja epicentralnih udaljenosti do 50 km. Histogram čestina tih potresa prema epicentralnim udaljenostima prikazan je na slici 3.5.



Slika 3.5. Histogram čestina potresa po epicentralnim udaljenostima do 50 km od Slunja lociranih u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2015. godine.

Seizmička aktivnost prema broju lociranih potresa vrlo je slabo izražena unutar područja epicentralnih udaljenosti do 20 km, te postaje sve izraženija kako razredi obuhvaćaju veće epicentralne udaljenosti, što je bio slučaj i prethodnih godina uključenih u ovo istraživanje. Više od polovice svih potresa lociranih unutar kruga radijusa 50 km od Slunja locirano je unutar područja epicentralnih udaljenosti od 40 do 50 km, njih 145.

U okolini Ougulina tijekom 2015. godine locirano je 20 potresa, s najjačim potresom magnitude 2.3 po Richteru. Navedeni potres dogodio se

- 22. kolovoza 2015. godine u $10^h\ 17^{min}\ 39.5^s$ (UTC), magnitude $M = 2.3$, epicentralne udaljenosti 24 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.271^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.273^\circ\text{E}$.

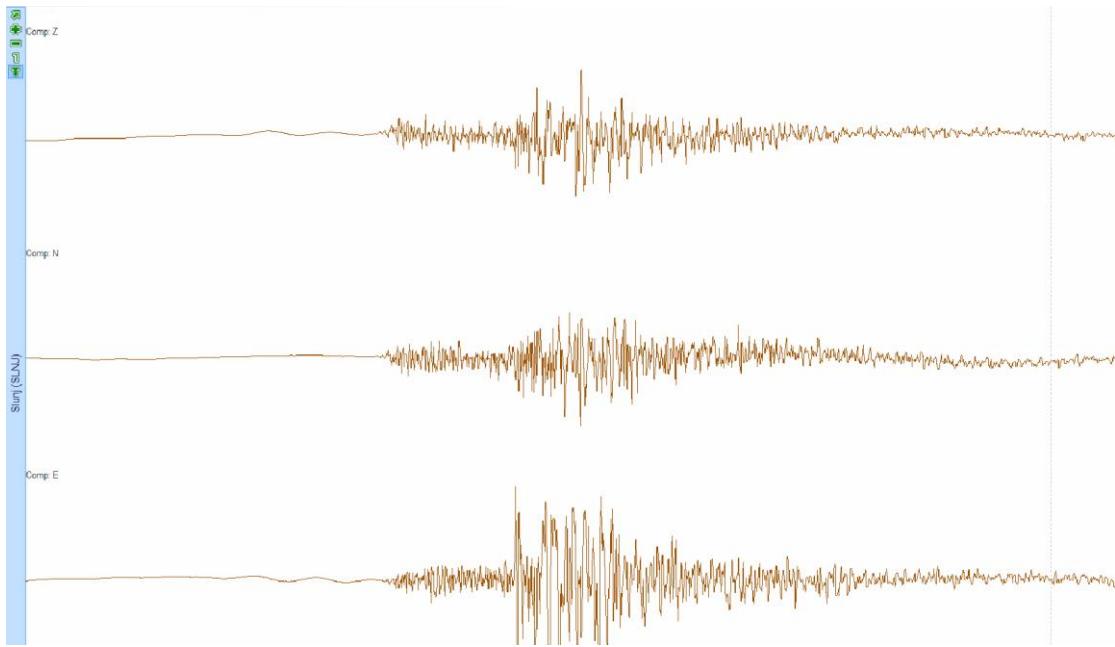
Šire Karlovačko područje bilježi 61 potres, s dva potresa magnitude veće od 2, točnije 2.3 i 2.1 po Richteru. Navedeni potres magnitude 2.3 po Richteru ujedno je i najjači potres unutar 50 km od seizmološke postaje Slunj. Dogodio se

- 22. svibnja 2015. godine u $23^h\ 56^{min}\ 30.9^s$ (UTC), magnitude $M = 2.3$, epicentralne udaljenosti 35 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.427^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.356^\circ\text{E}$.

Drugi potres magnitude veće od 2.0 po Richteru dogodio se

- 22. lipnja 2015. godine u $6^h\ 43^{min}\ 49.2^s$ (UTC), magnitude $M = 2.1$, epicentralne udaljenosti 35 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.428^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.366^\circ\text{E}$.

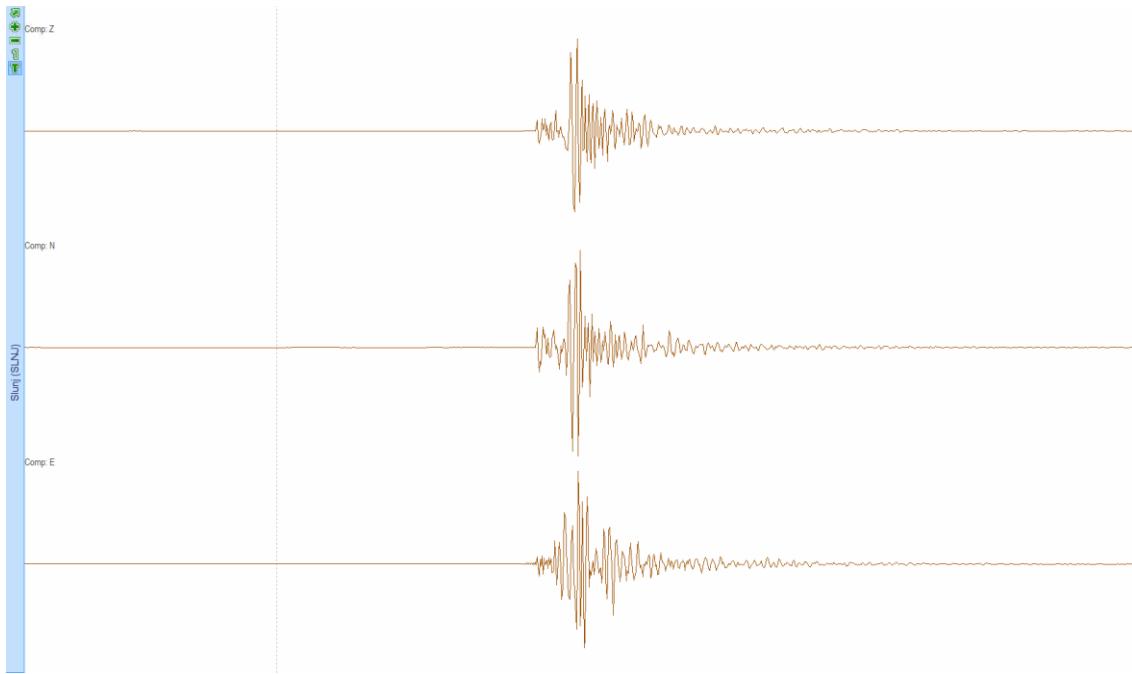
Kao seizmički najaktivnije područje unutar kruga radiusa 50 km od Slunja izdvaja se područje koje obuhvaća zaleđe Senja te potez Lički Osik – Ličko Cerje. Unutar navedenog područja locirano je 127 svih potresa lociranih unutar promatranog područja epicentralnih udaljenosti. Najjači potres zabilježen u ovom području imao je magnitudu 1.9 prema Richteru.



Slika 3.6. Seizmogram potresa magnitude $M = 2.3$ koji se dogodio 22. svibnja 2015. godine u $23^h 56^{min} 30.9^s$ (UTC), epicentralne udaljenosti $D = 35$ km sjeverno od Slunja, zemljopisnih koordinata epicentra $\varphi = 45.427^\circ N$ i $\lambda = 15.356^\circ E$, 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 2015. godine od ukupno 271 lociranih potresa unutar kruga radiusa 50 km oko Slunja dogodila su se tri takva potresa.

Najbliži potres postaji Slunj dogodio se 15. srpnja 2015. godine u $13^h 17^{min} 4.4^s$ (UTC), na epicentralnoj udaljenosti od 1 km sjeveroistočno od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.139^\circ N$ i $\lambda = 15.527^\circ E$. Potres je imao magnitudu $M = 1.4$ prema Richteru.

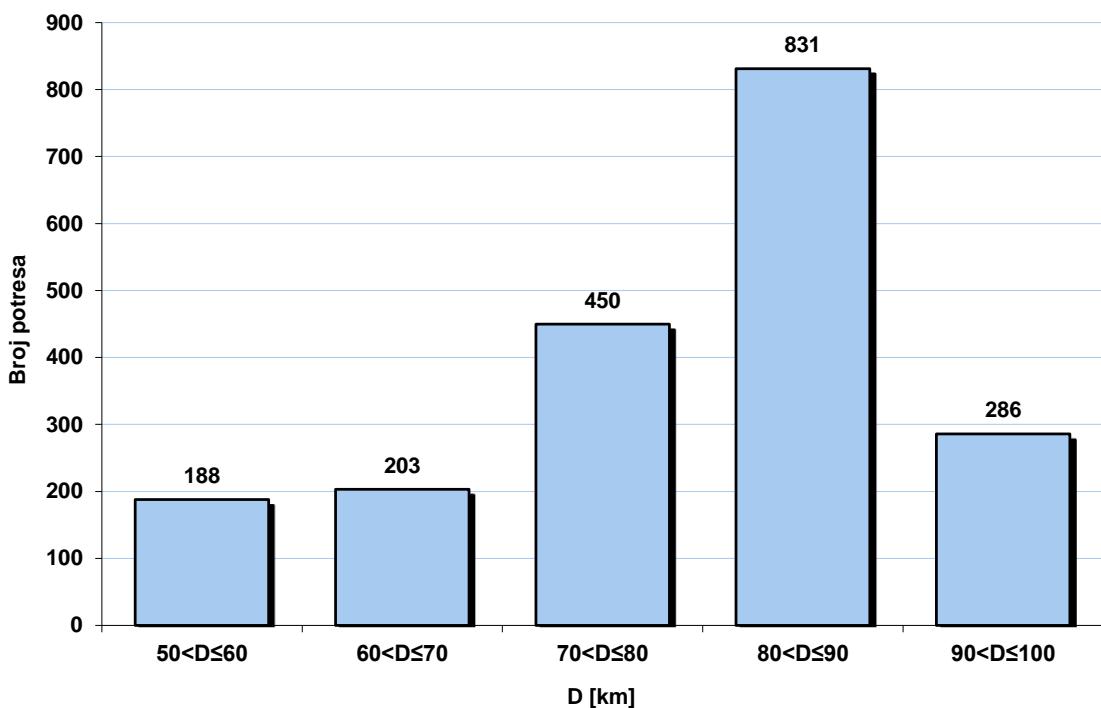


Slika 3.7. Seizmogram potresa magnitude $M = 1.4$ koji se dogodio 15. srpnja 2015. godine u $13^h 17^{min} 4.4^s$ (UTC), epicentralne udaljenosti $D = 1$ km sjeveroistočno od Slunja, zemljopisnih koordinata epicentra $\varphi = 45.139^\circ N$ i $\lambda = 15.527^\circ E$, zabilježen na seizmološkoj postaji Slunj.

S obzirom na energetsku karakteristiku seizmičnosti promatranog područja unutar kruga radijusa 50 km od Slunja, tijekom 2015. godine zabilježeno je najmanje potresa magnitude veće ili jednake 2.0 u razdoblju od kraja 2006. godine, od kada traju istraživanja lokalne seizmičnosti Poligona.

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

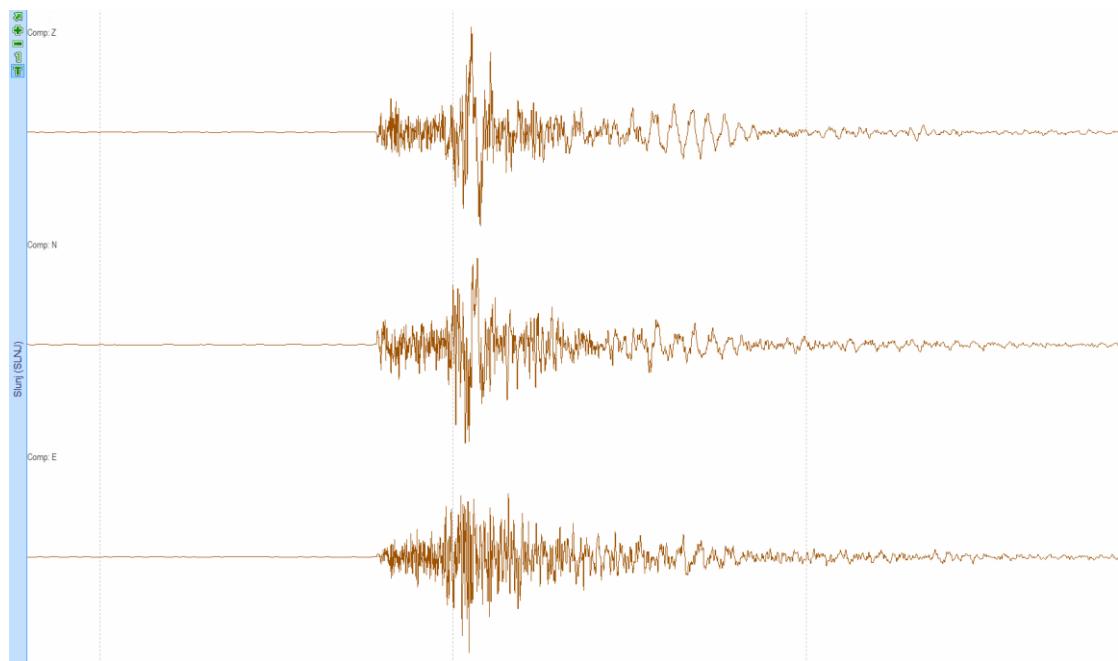
Od ukupno 2229 potresa koji su locirani na cjelokupnom analiziranom području u 2015. godini, njih 1958, odnosno 87.8%, pripada grupi daljih lokalnih potresa čija je epicentralna udaljenost između 50 i 100 km od Slunja. Na slici 3.8 prikazan je histogram čestina tih potresa s obzirom na epicentralnu udaljenost.



Slika 3.8. Histogram čestina potresa po epicentralnim udaljenostima D (km) od 50 do 100 km od Slunja lociranih u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2015. 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. Kao i prethodne, 2014. godine, i ove godine očita je izrazita dominacija razreda udaljenosti od 80-90 km. U toj udaljenosti, najaktivnija područja su bila Krk – Bakar – Gerovo, Vrbovec (Slovenija) – Hinje (Slovenija) – Smuka (Slovenija), Novo Mesto – Otočec (Slovenija), Krško – Brežice (Slovenija) – Zaprešić. Promatrajući 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

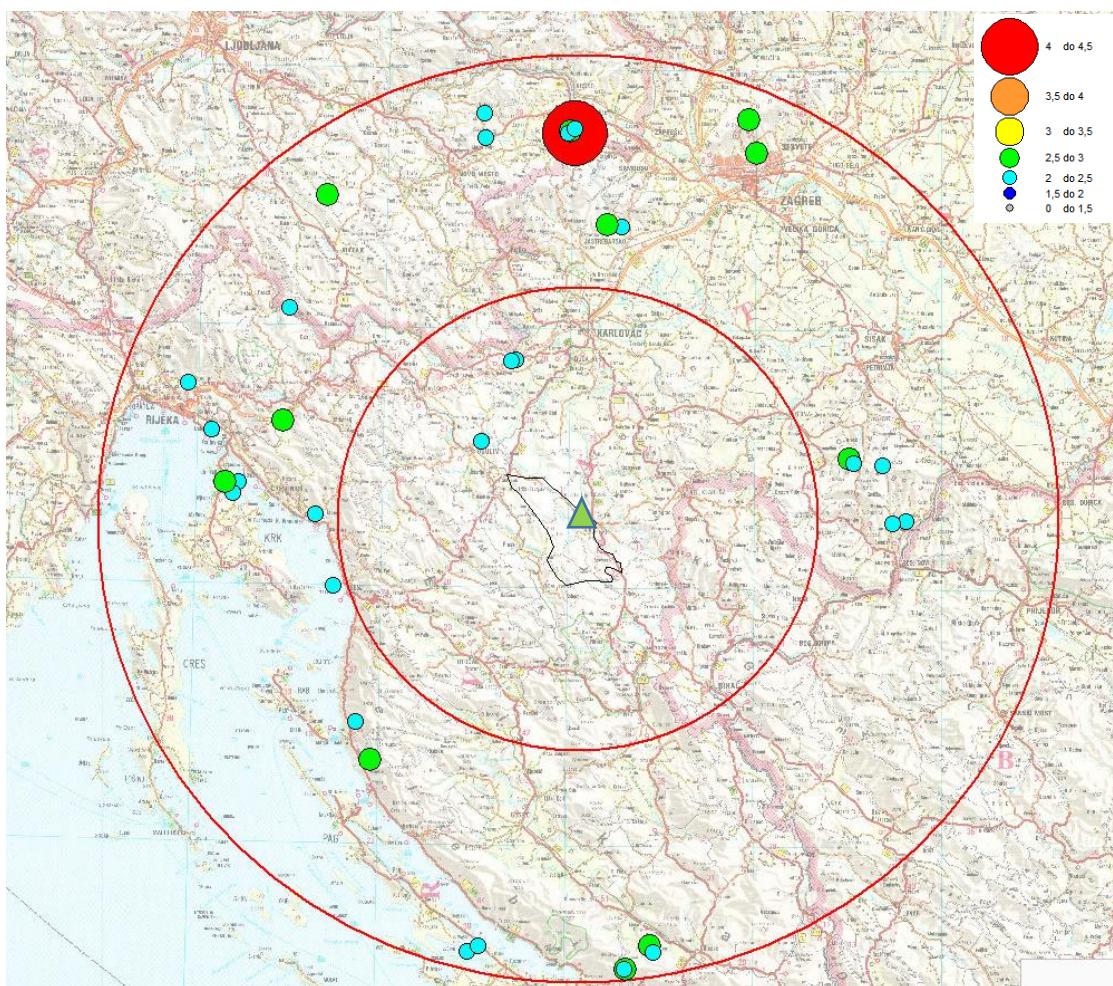
– Rajinac, Starigrad - Ričice, Ribnica-Žužemberk u Sloveniji, zatim područje Žumberak – Brežice – Krško, šire područje Novog Mesta (naročito potez Trebnje-Novo Mesto) u Sloveniji, Pojatno – Jakovlje kod Zaprešića. Seizmički je aktivno bilo i područje koje se proteže od Pokupskog preko Siska prema Lonjskom polju te područje koje se proteže od Gline preko Zrinske gore do Prijedora u susjednoj Republici BiH. Najjači dalji lokalni potres bio je magnitude 4.2 i dogodio se 1. studenog 2015. godine u $7^h\ 52^{min}\ 32.9^s$ (UTC) u Sloveniji, kod mjesta Poštena vas, na epicentralnoj udaljenosti od 82 km sjeverno od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.868^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.531^\circ\text{E}$. Seismogram navedenog potresa zabilježenog na seismološkoj postaji Slunj prikazan je na slici 3.9.



Slika 3.9. *Seismogram najjačeg daljeg lokalnog potresa magnitude $M = 4.2$ koji se dogodio 1. studenog 2015. godine u $7^h\ 52^{min}\ 32.9^s$ (UTC), epicentralne udaljenosti $D = 82$ km sjeverno od Slunja, zemljopisnih koordinata epicentra $\varphi = 45.868^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.531^\circ\text{E}$, zabilježen na seismološkoj postaji Slunj.*

Slijedi ga potres iste magnitude 2.9 koji se dogodio 1. studenog 2015. godine u $8^h\ 8^{min}\ 2.5^s$ (UTC) u Sloveniji gotovo na istom mjestu (1 km udaljenosti), na epicentralnoj udaljenosti od 82 km sjeverno od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.872^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.519^\circ\text{E}$.

Kako bismo stekli uvid u energetske značajke seizmičnosti promatranog područja, izdvajamo potrese s najvećim magnitudama. Izdvojeni su potresi s magnitudom većom ili jednakom 2.0. Tijekom 2015. godine od ukupno 1958 daljih lociranih potresa dogodilo se 34 takvih potresa. U sljedećim odlomcima navest ćemo ih sukladno područjima u kojima su se dogodili.



Slika 3.10. Karta epicentara potresa lociranih unutar kruga radijusa 100 km od Slunja u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2015. godine. Seizmološka postaja Slunj označena je zelenim trokutom. Granice poligona OS RH „Eugen Kvaternik“ Slunj iscrtane su plavom linijom. Crvene kružnice odgovaraju kružnicama radijusa 50 i 100 km od seizmološke postaje Slunj. Prikazani su samo potresi magnitude 2.0 po Richteru i veće.

U širem području Zrinske gore i Kozare, locirano je 5 potresa magnitude veće ili jednake 2.0, a navedeni su prema jačini:

- *23. listopada 2015. godine u $0^h 10^{min} 29.8^s$ (UTC), magnitude $M = 2.9$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.237^\circ N$ i $\lambda = 16.256^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 59 km,*
- *21. prosinca 2015. godine u $6^h 42^{min} 11.3^s$ (UTC), magnitude $M = 2.4$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 45.224^\circ N$ i $\lambda = 16.344^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 66 km,*
- *20. prosinca 2015. godine u $5^h 43^{min} 33.8^s$ (UTC), magnitude $M = 2.3$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 45.116^\circ N$ i $\lambda = 16.407^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 70 km,*
- *21. listopada 2015. godine u $2^h 13^{min} 44.0^s$ (UTC), magnitude $M = 2.0$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.228^\circ N$ i $\lambda = 16.269^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 60 km,*
- *8. siječnja 2015. godine u $10^h 54^{min} 29.6^s$ (UTC), magnitude $M = 2.0$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 45.111^\circ N$ i $\lambda = 16.369^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 67 km..*

U zaleđu Starigrada, locirana su četiri potresa magnitude veće ili jednake 2.0
i to redom:

- *12. siječnja 2015. godine u $1^h 17^{min} 32.1^s$ (UTC), magnitude $M = 2.5$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.248^\circ N$ i $\lambda = 15.642^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 99 km,*
- *1. veljače 2015. godine u $2^h 42^{min} 59.1^s$ (UTC), magnitude $M = 2.5$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.295^\circ N$ i $\lambda = 15.710^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 95 km,*
- *1. veljače 2015. godine u $2^h 43^{min} 0.1^s$ (UTC), magnitude $M = 2.5$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.282^\circ N$ i $\lambda = 15.718^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 96 km,*
- *12. siječnja 2015. godine u $3^h 32^{min} 37.9^s$ (UTC), magnitude $M = 2.4$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.248^\circ N$ i $\lambda = 15.638^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 99 km.*

U okolici Ražanca, locirana su dva potresa magnitude veće ili jednake 2.0:

- *22. prosinca 2015. godine u $21^h 16^{min} 39.7^s$ (UTC), magnitude $M = 2.4$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.284^\circ N$ i $\lambda = 15.220^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 97 km,*
- *22. prosinca 2015. godine u $22^h 15^{min} 25.2^s$ (UTC), magnitude $M = 2.3$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.295^\circ N$ i $\lambda = 15.248^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 96 km.*

Kod Prizne i Jablanca, locirana su dva potresa magnitude veće ili jednake 2.0, i to:

- *25. kolovoza 2015. godine u $4^h 41^{min} 52.4^s$ (UTC), magnitude $M = 2.8$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.655^\circ N$ i $\lambda = 14.966^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 69 km,*
- *14. rujna 2015. godine u $11^h 10^{min} 35.7^s$ (UTC), magnitude $M = 2.3$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.728^\circ N$ i $\lambda = 14.928^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 65 km.*

U podmorju u blizini Senja, lociran je jedan potres magnitude veće ili jednake 2.0:

- *7. rujna 2015. godine u $19^h 16^{min} 2.9^s$ (UTC), magnitude $M = 2.4$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.992^\circ N$ i $\lambda = 14.873^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 53 km.*

Kod Omišlja na otoku Krku, locirana su tri potresa magnitude veće ili jednake 2.0:

- *1. siječnja 2015. godine u $10^h 18^{min} 32.7^s$ (UTC), magnitude $M = 2.6$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.193^\circ N$ i $\lambda = 14.586^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 73 km,*
- *1. siječnja 2015. godine u $6^h 29^{min} 50.4^s$ (UTC), magnitude $M = 2.0$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.193^\circ N$ i $\lambda = 14.620^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 71 km,*

- 1. siječnja 2015. godine u $7^h\ 49^{min}\ 26.3^s$ (UTC), magnitude $M = 2.0$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.172^\circ N$ i $\lambda = 14.606^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 72 km.

U okolici Novog Vinodolskog, lociran je jedan potres magnitude veće ili jednake 2.0:

- 10. veljače 2015. godine u $9^h\ 4^{min}\ 8.2^s$ (UTC), magnitude $M = 2.0$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.131^\circ N$ i $\lambda = 14.825^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 54 km.

Kod Fužina, Bakra i Jelenja dogodila su se tri potresa magnitude veće ili jednake 2.0:

- 11. rujna 2015. godine u $9^h\ 26^{min}\ 23.5^s$ (UTC), magnitude $M = 2.6$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.312^\circ N$ i $\lambda = 14.743^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 64 km,
- 25. prosinca 2015. godine u $18^h\ 41^{min}\ 19.3^s$ (UTC), magnitude $M = 2.2$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.295^\circ N$ i $\lambda = 14.552^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 78 km,
- 18. siječnja 2015. godine u $11^h\ 6^{min}\ 57.4^s$ (UTC), magnitude $M = 2.0$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.385^\circ N$ i $\lambda = 14.490^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 85 km.

Kod Kočevja u Sloveniji zabilježena su dva potresa magnitude veće ili jednake 2.0:

- 11. prosinca 2015. godine u $15^h\ 58^{min}\ 15.4^s$ (UTC), magnitude $M = 2.5$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.749^\circ N$ i $\lambda = 14.867^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 85 km,
- 5. siječnja 2015. godine u $2^h\ 57^{min}\ 50.4^s$ (UTC), magnitude $M = 2.3$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.530^\circ N$ i $\lambda = 14.763^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 74 km.

Kod Novog Mesta u Sloveniji, locirana su dva potresa magnitude veće ili jednake 2.0:

- 31. svibnja 2015. godine u $23^h 10^{min} 13.3^s$ (UTC), magnitude $M = 2.4$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.906^\circ N$ i $\lambda = 15.291^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 88 km,
- 10. veljače 2015. godine u $7^h 37^{min} 31.4^s$ (UTC), magnitude $M = 2.2$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.859^\circ N$ i $\lambda = 15.292^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 82 km.

Kod Jastrebarskog locirana su dva potresa magnitude veće ili jednake 2.0:

- 20. studenog 2015. godine u $5^h 14^{min} 47.9^s$ (UTC), magnitude $M = 2.6$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.690^\circ N$ i $\lambda = 15.616^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 62 km,
- 3. veljače 2015. godine u $0^h 10^{min} 5.7^s$ (UTC), magnitude $M = 2.1$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.687^\circ N$ i $\lambda = 15.653^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 62 km,

Kod Brežica u Sloveniji zabilježeno je pet potresa magnitude veće ili jednake 2.0 i to:

- 1. studenog 2015. godine u $7^h 52^{min} 32.9^s$ (UTC), magnitude $M = 4.2$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 45.868^\circ N$ i $\lambda = 15.531^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 82 km (ujedno i najjači potres u 2015. godini u udaljenosti do 100 km od seismološke postaje Slunj),
- 1. studenog 2015. godine u $8^h 8^{min} 2.5^s$ (UTC), magnitude $M = 2.9$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 45.872^\circ N$ i $\lambda = 15.519^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 82 km,
- 24. studenog 2015. godine u $19^h 4^{min} 6.3^s$ (UTC), magnitude $M = 2.4$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 45.877^\circ N$ i $\lambda = 15.532^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 83 km,
- 4. studenog 2015. godine u $5^h 22^{min} 58.9^s$ (UTC), magnitude $M = 2.2$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 45.863^\circ N$ i $\lambda = 15.536^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 81 km,
- 3. studenog 2015. godine u $8^h 50^{min} 54.1^s$ (UTC), magnitude $M = 2.1$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 45.868^\circ N$ i $\lambda = 15.513^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 82 km.

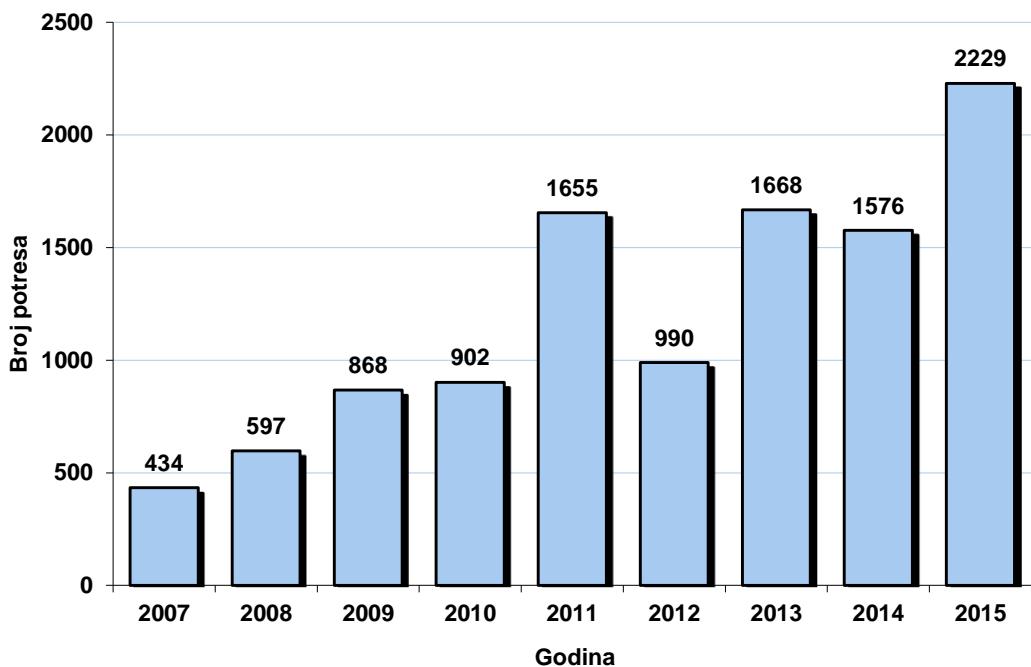
Ovdje je potrebno spomenuti seriju potresa u epicentralnom području Žumberak - Brežice – Krško. Glavni potres ove serije je najjači potres tijekom 2015. godine u epicentralnoj udaljenosti do 100 km od seizmološke postaje Slunj. U vremenskom razdoblju od 30 dana zabilježeno je više od 800 potresa (glavni potres i naknadni udari). Kako se radi o neposrednoj blizini NE Krško, vidimo da je sama NE na trusnom području i da seizmička aktivnost može ugroziti njen normalan rad. Blizina naše državne granice i gusto naseljena mjesta (Samobor i Zagreb) u neposrednoj blizini NE Krško te činjenica da se NE Krško hladi vodom iz rijeke Save upućuju na potrebu detaljne analize navedenog epicentralnog područja. Nakon glavnog potresa, ekipa seismologa postavila je 2 instrumenta na privremene lokacije u blizini epicentra sa naše strane granice zbog detaljnijeg praćenja seizmičnosti. Isto su napravile i slovenske kolege sa svoje strane granice. Također, iz navedenog primjera vidljivo je koliko jedan jači potres može aktivirati seizmičnost određenog područja.

Kod Medvednice zabilježena su dva potresa magnitude veće ili jednake 2.0:

- *31. siječnja 2015. godine u $21^h\ 22^{min}\ 47.3^s$ (UTC), magnitude $M = 2.7$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.893^\circ N$ i $\lambda = 15.997^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 92 km,*
- *15. rujna 2015. godine u $18^h\ 41^{min}\ 36.8^s$ (UTC), magnitude $M = 2.6$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.830^\circ N$ i $\lambda = 16.016^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 87 km.*

3.3. Lokalni potresi na području Slunja locirani u razdoblju od 1. siječnja 2007. godine do 31. prosinca 2015. godine

U razdoblju od 1. siječnja 2007. do 31. prosinca 2015. godine locirano je sveukupno **10919 potresa** iz epicentralnih udaljenosti do 100 km od Slunja. Histogram čestina tih potresa po godinama prikazan je na slici 3.11.

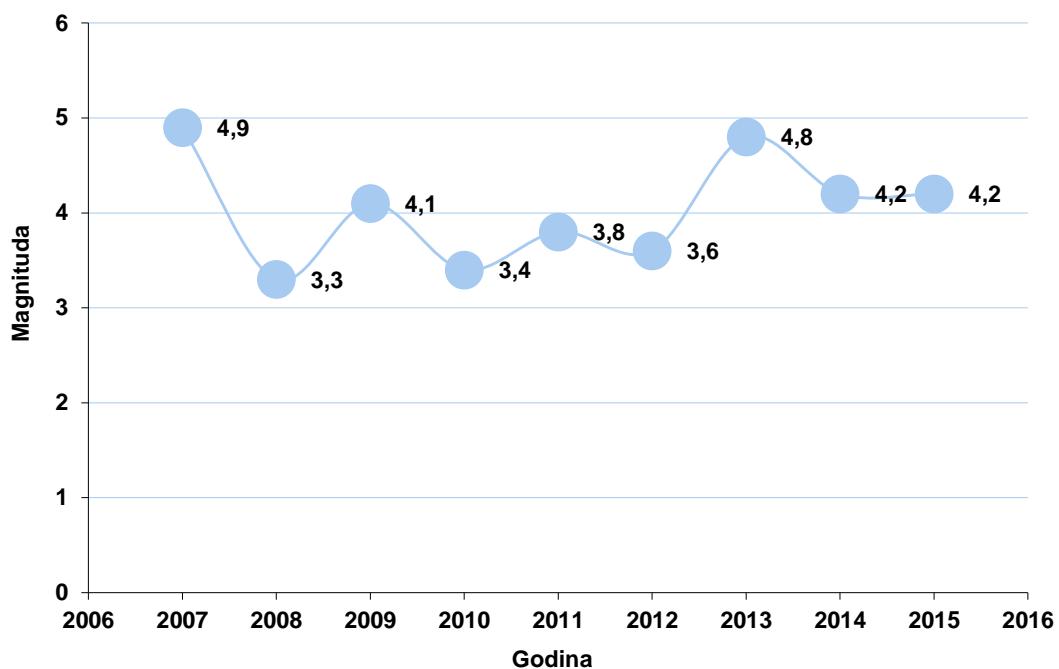


Slika 3.11. Histogram čestina lociranih potresa po godinama unutar kruga radijusa 100 km od Slunja u razdoblju od 1. siječnja 2007. godine do 31. prosinca 2015. godine.

U razdoblju u kojem traju istraživanja lokalne seizmičnosti područja oko Poligona, ova, 2015. godina je godina s najvećim brojem lociranih potresa. Broj potresa lociranih tijekom 2015. godine značajno je veći od svih do sada praćenih godina. 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 magnitudo najjačih lokalnih potresa po pojedinim godinama u promatranom razdoblju s ciljem uvida u energetske karakteristike seizmičnosti promatranog područja. Najjači potres magnitudo 4.9 dogodio se 2007. godine, a tijekom koje je ujedno locirano najmanje potresa, njih samo 434. Drugi najjači potres, magnitudo 4.8 dogodio se 2013. godine. 2015. godina dijeli treće mjesto s 2014. godinom koja je također imala potres magnitudo 4.2.



Slika 3.12. Maksimalne magnitudo lokalnih potresa lociranih unutar kruga radijusa 100 km od Slunja u razdoblju od 1. siječnja 2007. do 31. prosinca 2015. godine.

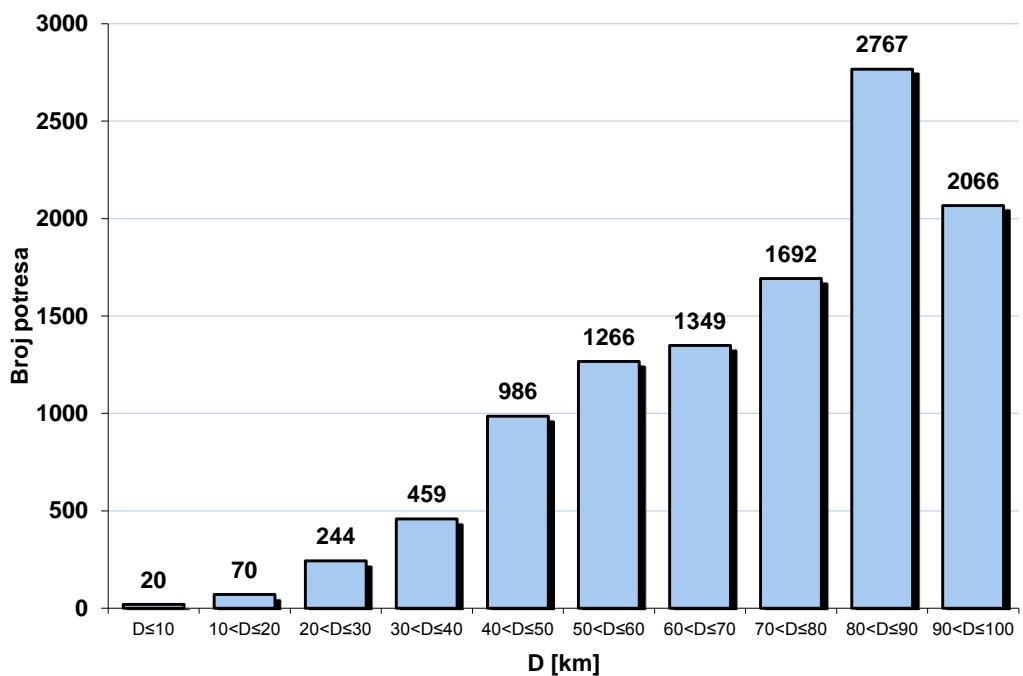
Lokalni potresi najveće magnitudo unutar promatranog vremenskog razdoblja po godinama dogodili su se (poredani kronološki):

- **5. veljače 2007. u 8^h 30^m 04.5^s (UTC), magnitudo $M = 4.9$, 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 **$11^h\ 09^m\ 25.5^s$** (UTC), magnitude **$M = 3.3$** , epicentralne udaljenosti **$D = 49\ km$** jug-jugoistočno od Slunja, nedaleko Korenice, zemljopisnih koordinata epicentra $\varphi = 44.713^\circ N$ i $\lambda = 15.773^\circ E$,
- **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 $\varphi = 44.261^\circ N$ i $\lambda = 15.419^\circ E$,
- **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 $\varphi = 45.703^\circ N$ i $\lambda = 15.796^\circ E$,
- **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 zaledju Senja, zemljopisnih koordinata epicentra $\varphi = 44.997^\circ N$ i $\lambda = 15.023^\circ E$,
- **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 $\varphi = 44.913^\circ N$ i $\lambda = 15.115^\circ E$
- **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 $\varphi = 45.068^\circ N$ i $\lambda = 15.030^\circ E$
- **13. ožujka 2014.** u **$17^h\ 31^{min}\ 59.3^s$** (UTC), magnitude **$M = 4.2$** , epicentralne udaljenosti **$D = 86\ km$** sjeverozapadno od Slunja, zemljopisnih koordinata epicentra $\varphi = 45.751^\circ N$ i $\lambda = 15.851^\circ E$
- **1. studenog 2015.** u **$7^h\ 52^{min}\ 32.9^s$** (UTC), magnitude **$M = 4.2$** , epicentralne udaljenosti **$D = 82\ km$** sjeverno od Slunja, zemljopisnih koordinata epicentra $\varphi = 45.868^\circ N$ i $\lambda = 15.531^\circ E$.

Tijekom ovih devet godina rada seismografa (od 1. siječnja 2007. godine do 31. prosinca 2015. 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 epicentralne udaljenosti 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 2015. godine.

4. ZAKLJUČAK

Koristeći zapise seismografa 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 podacima iz tog Kataloga, unutar kruga radijusa 100 km oko Slunja, u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2015. godine **locirano je 2229 potresa**, od kojih je:

- **271** iz epicentralnih udaljenosti do 50 km (**bliži lokalni potresi**) i
- **1958** iz epicentralnih udaljenosti od 50 do 100 km (**dalji lokalni potresi**).

Od 271 potresa iz epicentralnih udaljenosti do 50 km najveći broj (njih 145) potječe iz područja epicentralnih udaljenosti $40 < D \leq 50$ km. Kao seizmički najaktivnije izdvaja se područje koje obuhvaća zaleđe Senja i Novog Vinodolskog te potez Brinje – Otočac – Ličko Lešće, Vinice – Črnomelj (Slovenija), Dvor – Glina - Pisarovina. Unutar navedenog područja locirano je preko 1/3 svih bližih lokalnih potresa. Tijekom 2015. godine dogodilo se 3 potresa iz područja epicentralnih udaljenosti do 50 km oko Slunja magnituda većih ili jednakih 2.0, najmanje u promatranom razdoblju od kada traju istraživanja lokalne seizmičnosti područja oko Poligona.

Najjači potres unutar kruga radijusa 50 km od seismološke postaje Slunj dogodio se:

- 22. svibnja 2015. godine u $23^h\ 56^{\text{min}}\ 30.9^{\text{s}}$ (UTC), magnitude $M = 2.3$, epicentralne udaljenosti 35 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.427^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.356^\circ\text{E}$.

Najbliži potres postaji Slunj dogodio se 15. srpnja 2015. godine u $13^h\ 17^{\text{min}}\ 4.4^{\text{s}}$ (UTC), na epicentralnoj udaljenosti od 1 km sjeveroistočno od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.139^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.527^\circ\text{E}$. Potres je imao magnitudu $M = 1.4$ prema Richteru.

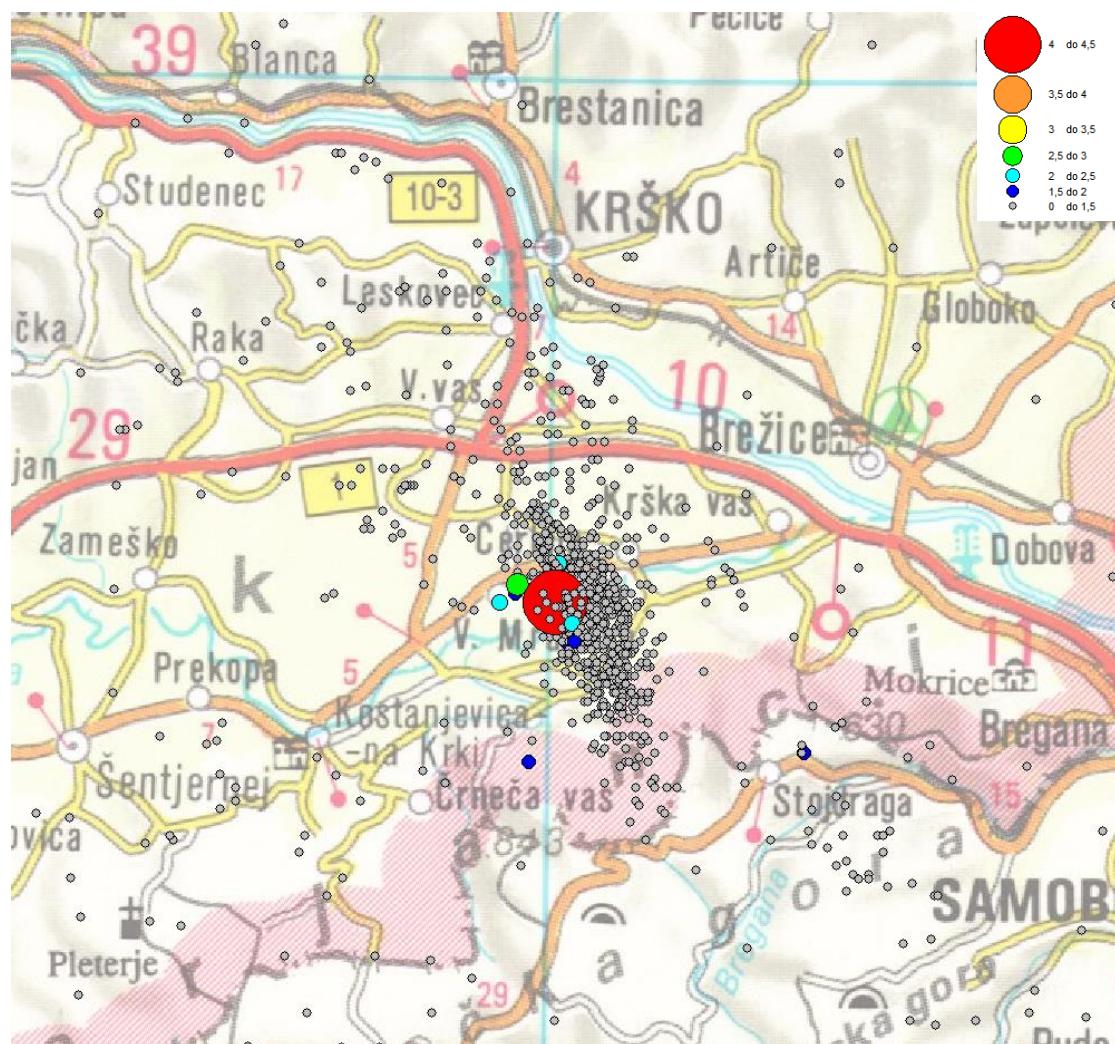
Od 1958 potresa iz epicentralnih udaljenosti od 50 do 100 km njih 34 imalo je magnitudu veću ili jednaku 2.0. Seizmičkom aktivnošću naročito se ističu sljedeća područja: šire područje koje se proteže od Ilirske Bistrice preko Rijeke i Novog Vinodolskog do Senja, zatim područje Žumberak – Brežice – Krško te šire područje Novog Mesta u Sloveniji. Seizmički je aktivno bilo i područje koje se proteže od 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 4.2 i dogodio se 1. studenog 2015. godine u $7^{\text{h}}\ 52^{\text{min}}\ 32.9^{\text{s}}$ (UTC) u Sloveniji, kod mjesta Poštena vas, na epicentralnoj udaljenosti od 82 km sjeverno od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.868^{\circ}\text{N}$ i $\lambda = 15.531^{\circ}\text{E}$. To je ujedno bio i najjači potres na udaljenosti do 100 km od Slunja.

Ni tijekom 2015. godine **nije bilo potresa koji su se makroseizmički izraženije manifestirali na širemu području Slunja.**

U dosadašnjih devet 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 2015. godine** sveukupno je locirano **10919 potresa** iz epicentralnih udaljenosti do 100 km od Slunja. Tijekom 2015. godine locirano je najviše potresa, njih 2229. 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 unaprijeđenja programa i aplikacija za lociranje potresa, a dijelom je posljedica porasta seizmičke aktivnosti šireg lokalnog područja Slunja u promatranom razdoblju. Lokalni potres najveće magnitudo lociran je 2007. godine tijekom koje je ujedno locirano najmanje potresa. Iz razdiobe epicentara lokalnih potresa po epicentralnim udaljenostima u promatranom razdoblju, mogu se izdvojiti područja unutar kojih se dogodila većina potresa. Riječ je o područjima epicentralnih udaljenosti od 40 do 100 km od Slunja, unutar kojeg su epicentri velike većine potresa locirani u području Sjevernog Jadranu i Sjevernog Velebita od Rijeke do Senja, zatim u području

Žumberak – Brežice – Krško i širem području Novog Mesta u Sloveniji te na Medvednici.



Slika 3.14. Serija potresa u neposrednoj blizini NE Krško u 2015. godini. Navedena serija prikazuje više od 800 potresa u navedenom području tijekom 30 dana.

Slika 3.14. prikazuje seriju potresa u epicentralnom području Žumberak - Brežice - Krško. Glavni potres ove serije je najjači potres tijekom 2015. godine u epicentralnoj udaljenosti do 100 km od seismološke postaje Slunj. U vremenskom razdoblju od 30 dana zabilježeno je više od 800 potresa (glavni potres i naknadni udari). Kako se radi o neposrednoj blizini NE Krško, vidimo da je sama NE na trusnom području i da seizmička aktivnost može ugroziti njen normalan rad. Blizina naše državne granice i gusto naseljena mjesta (Samobor i Zagreb) u

neposrednoj blizini NE Krško te činjenica da se NE Krško haldi vodom iz rijeke Save upućuju na potrebu detaljne analize navedenog epicentralnog područja. Nakon glavnog potresa, ekipa seizmologa postavila je 2 instrumenta na privremene lokacije u blizini epicentra sa naše strane granice zbog detaljnijeg praćenja seizmičnosti. Isto su napravile i slovenske kolege sa svoje strane granice. Također, iz navedenog primjera vidljivo je koliko jedan jači potres može aktivirati seizmičnost određenog područja.

Kako je iz rada seismografa na seismološkoj postaji u Slunju tijekom proteklih 9 godina, nedvojbeno pokazano da je i **u najužem lokalnom području oko Slunja prisutna izražena seizmička aktivnost** (baš što je naglašavano i u prethodnim Izvješćima), ukazuje se potreba nastavka rada seismološke postaje Slunj. Također, nameće se i potreba instaliranja barem još jedne seismološke postaje u okolini (npr. povratak seismološke postaje Kukača), čime bi se opseg i mogućnost detaljnijeg izučavanja seizmičnosti užeg i šireg lokalnog područja oko Poligona bitno poboljšala. Na taj način bila bi 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 iz razloga što rezultati imaju veću težinu ako je vremenski niz mikroseizmičkih mjerena duži. Dugačak niz mikroseizmičkih mjerena omogućava bolje određivanje relevantnih parametara potresa za buduća razdoblja, što je važan element za procjenu rizika. Navedeno bi omogućilo kvalitetniju analizu seizmičnosti s ciljem utvrđivanja što točnijih seismotektonskih modela, što je 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. et al. (2008):

Poligon OS RH "Eugen Kvaternik" Slunj: Rezultati praćenja lokalne seizmičke aktivnosti u 2007. godini. Geofizički zavod PMF-a, Zagreb.

Kuk V. et al. (2009):

Poligon OS RH "Eugen Kvaternik" Slunj: Rezultati praćenja lokalne seizmičke aktivnosti u 2008. godini. Geofizički zavod PMF-a, Zagreb.

Kuk V. et al. (2010):

Poligon OS RH "Eugen Kvaternik" Slunj: Rezultati praćenja lokalne seizmičke aktivnosti u 2009. godini. Geofizički zavod PMF-a, Zagreb.

Kuk V. et al. (2011):

Poligon OS RH "Eugen Kvaternik" Slunj: Rezultati praćenja lokalne seizmičke aktivnosti u 2010. godini. Geofizički zavod PMF-a, Zagreb.

Kuk V. et al. (2012):

Poligon OS RH "Eugen Kvaternik" Slunj: Rezultati praćenja lokalne seizmičke aktivnosti u 2011. godini. Geofizički zavod PMF-a, Zagreb.

Kuk V. et al. (2013):

Poligon OS RH "Eugen Kvaternik" Slunj: Rezultati praćenja lokalne seizmičke aktivnosti u 2012. godini. Geofizički zavod PMF-a, Zagreb.

Allegretti I. et al. (2014):

Poligon OS RH "Eugen Kvaternik" Slunj: Rezultati praćenja lokalne seizmičke aktivnosti u 2013. godini. Geofizički zavod PMF-a, Zagreb.

Fiket T. et al. (2015):

Poligon OS RH "Eugen Kvaternik" Slunj: Rezultati praćenja lokalne seizmičke aktivnosti u 2014. 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 Seismologija

Wielandt, E. (2002):

Seismic sensors and their calibration. U „IASPEI New Manual of Seismological Practise“ 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.