

POLIGON OS RH „EUGEN KVATERNIK” SLUNJ

REZULTATI PRAĆENJA LOKALNE SEIZMIČKE AKTIVNOSTI U 2019. GODINI - STUDIJA -

Tomislav Fiket, dipl.ing. fizike

doc. 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

izv. prof. dr. sc. Snježana Markušić, dipl.ing. fizike

Snježan Prevolnik, dipl.ing. fizike

dr. sc. Ivica Sović, dipl.ing. fizike

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

Danijel Štih, ing.

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet

Geofizički odsjek



Zagreb, studeni 2020

Voditelj Projekta:

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

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. METODE RADA.....	2
3. REZULTATI RADA	7
3.1. Potresi epicentralnih udaljenosti do 50 km od Slunja	15
3.2. Potresi epicentralnih udaljenosti od 50 do 100 km od Slunja	21
3.3. Lokalni potresi na području Slunja locirani u razdoblju od 1. siječnja 2007. godine do 31. prosinca 2019. godine	28
4. ZAKLJUČAK	33
5. LITERATURA	36

1. UVOD

Ova studija moguća je zahvaljujući sklapanju Okvirnog sporazuma između Ministarstva obrane Republike Hrvatske i Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Okvirni sporazum omogućio je i sklapanje Ugovora o nabavi usluge praćenja stanja okoliša - seizmološki monitoring na VP „E. Kvaternik“ Slunj. Time su se otvorile mogućnosti istraživanja lokalne seizmičnosti VP „E. Kvaternik“ Slunj (u dalnjem tekstu Poligona) i okolice. Istraživanje se kontinuirano odvija od kraja 2006. godine do danas, i ima za najvažnije ciljeve istraživanja sljedeće zadaće:

- 1) Praćenje recentne seizmičke i seismotektonске aktivnosti šireg prostora oko Poligona, kontinuirano upotpunjavajući saznanja o istoj
- 2) Ukloniti nedoumice oko eventualnih šteta na civilnim objektima u okolini Poligona i razlučiti uzroke oštećenja time ukloniti bilo kakve nedoumice oko porijekla oštećenja
- 3) Odrediti uzroke potencijalno nastalih oštećenja sa sigurnošću.

Tijekom 2019. nastavljeno je instrumentalno praćenje lokalne seizmičke aktivnosti na seismološkoj postaji Slunj na Kuranovom vrhu kao nastavak navedenih istraživanja koja su započela 2006. godine.

Već samim početkom istraživanja (2006. godine) Seizmološka 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 niže prikazanih tehničkih karakteristika uređaja u metodama rada.

Ova Studija prikazuje rezultate rada postaje Slunj tijekom 2019. godine.

2. METODE RADA

Odmah po početku istraživanja 2006. godine Seizmološka postaja Slunj opremljena je digitalnim mjernim sustavom engleskog proizvođača Güralp Systems Ltd. Redovnim održavanjem i uz manje izmjene ista oprema se i danas nalazi na postaji. Postaja se na zahtjev MORH-a sa početne lokacije Čatrnja premjestila na lokaciju Kuranov vrh gdje je i danas, ali oprema se nije mijenjala, tj. cijelo vrijeme je praćena širokopojasnim trokomponentnim seismometrom. Baš kao i prethodnih godina i ove, 2019. godine, postaja je locirana na Kuranovom vrhu.

Tijekom ovog promatranog razdoblja (od 1. siječnja do 31. prosinca 2019. 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 GPS vremenski modul ove, 2019. godine je unaprijeđen zamjenom kompletног prijamnika, tako da podržava nove standarde satelitskog određivanja točnog vremena.

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 uzrokovanih 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.

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 mjereneh 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.

Osim navedenih instrumenata, kako bi se osigurao nesmetani rad postaje u što dužem vremenskom razdoblju, na postaji je postavljen još i 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 seismoloških podataka koji se nalazi na Geofizičkom odsjeku PMF-a u Zagrebu. Na taj način se osigurava bolja kontrola rada seismološke 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.

Prikupljeni digitalni zapisi seismograma seismološke 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 se pomoću GPS prijamnika kontinuirano uskladjuje, a nastupna vremena su mjerena točno do na 0.001 s.

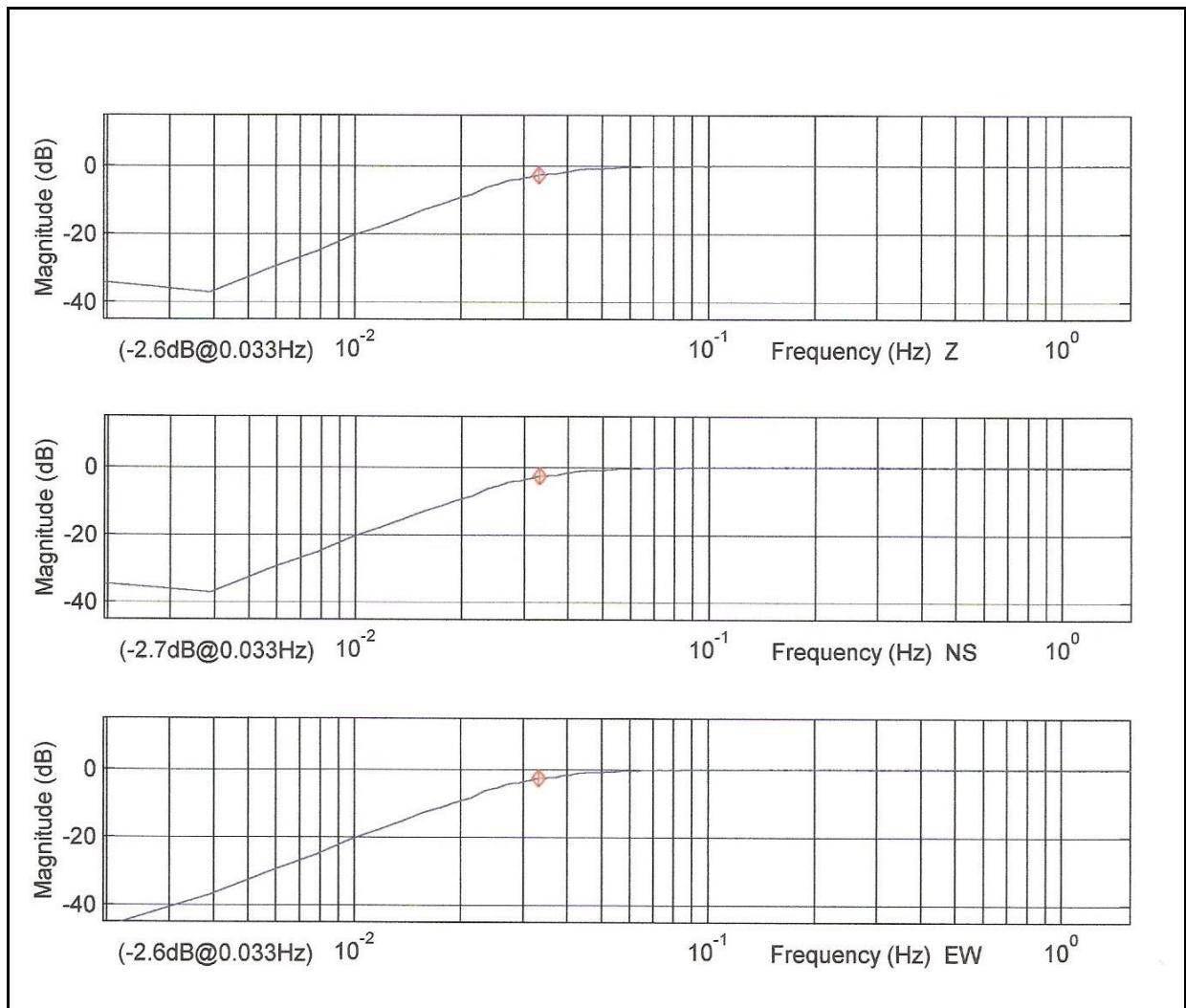
Iz podataka sa postaje Slunj i ostalih postaja seismološke mreže Republike Hrvatske (po potrebi i šire okolice, tj. podataka iz okolnih zemalja) određuju se osnovni parametri potresa. To su redom: koordinate epicentra, dubina žarišta, vrijeme nastanka potresa. Navedeni osnovni parametri potresa izračunati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

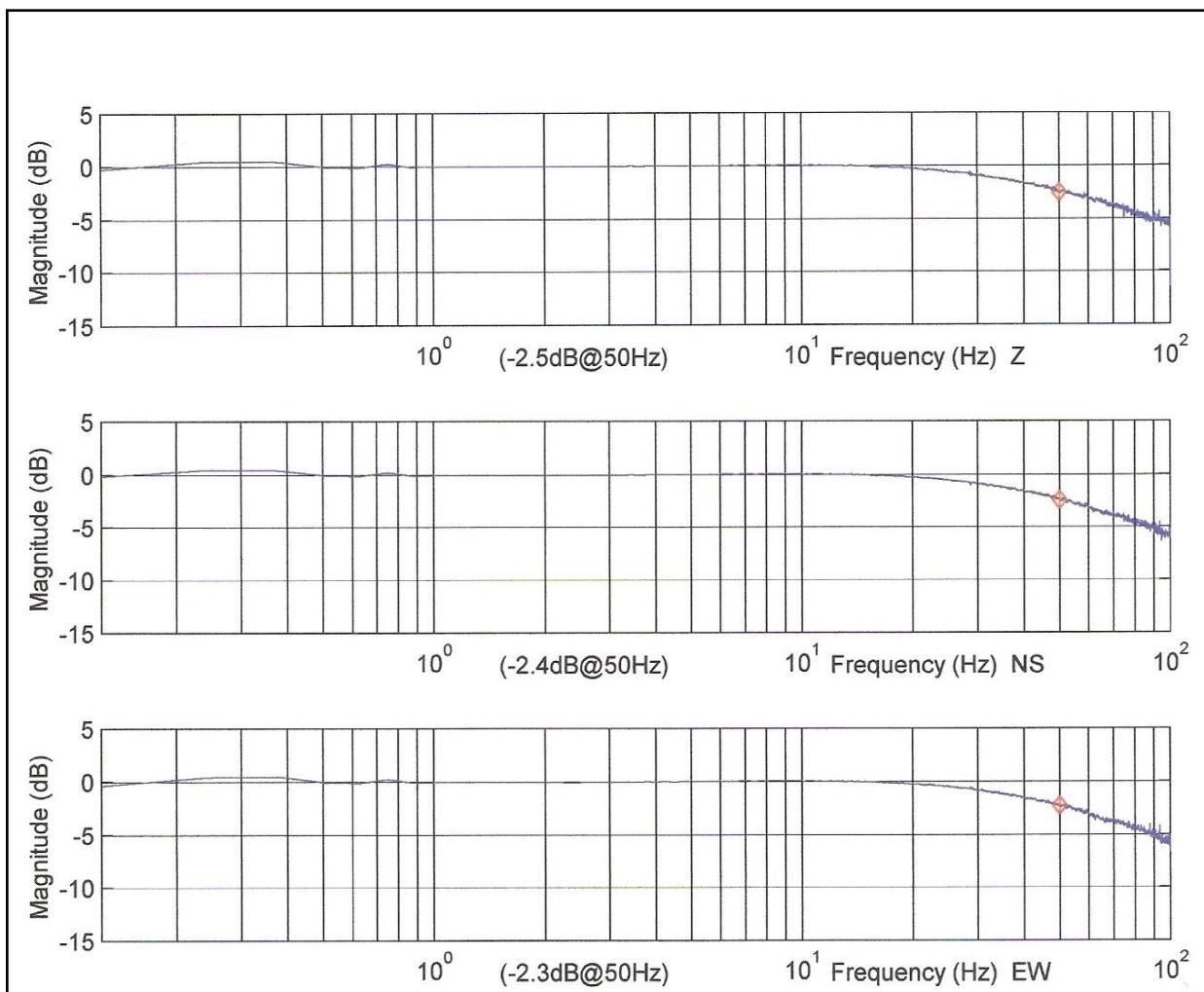
Kao što je već spomenuto, na zahtjev MORH-a, 2011. godine izvršeno je izmještanje postaje s dotadašnje lokacije (Čatrnja) na novu lokaciju (Kuranov vrh), gdje se i trenutno nalazi.

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.

Na temelju maksimalne amplitude brzine osciliranja tla određuje se magnituda potresa. Maksimalna amplituda brzine osciliranja tla određuje se iz zapisa registracije potresa pa je nužno poznavati značajke seismometra za svaki period osciliranja tla (tj. povećanje seismometra). 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. 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 2019. 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

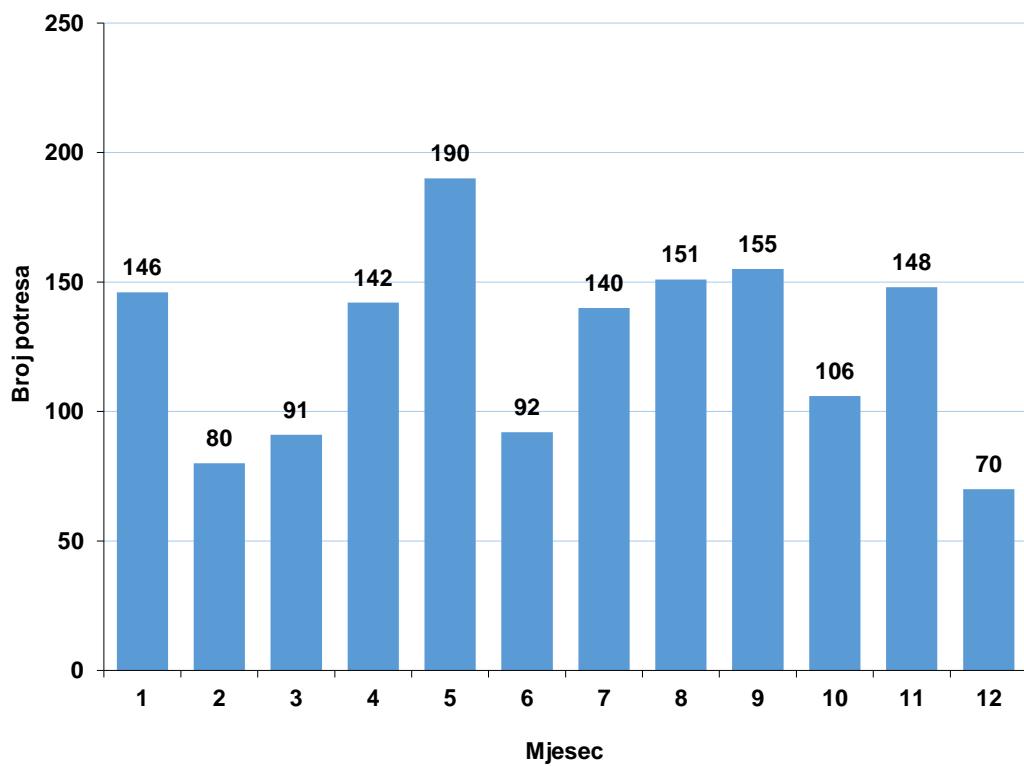
Prateći protekli rad postaje, i ove godine su od prikupljenih i lociranih potresa tijekom 2019. godine, izdvojeni potresi locirani unutar kruga radijusa 100 km oko seizmološke postaje Slunj (u dalnjem tekstu samo Slunj). Navedeni potresi nalaze se u Katalogu potresa Hrvatske i susjednih područja za 2019. godinu, koji je sačinjen na temelju zapisa seismografa Slunj (smještenog unutar Poligona na Kuranovom vrhu) te ostalih naših i inozemnih seizmoloških postaja. Kao i u prethodnim studijama, izvršena je podjela lociranih potresa prema epicentralnim udaljenostima na dvije grupe. **Bliži lokalni** potresi do 50 km epicentralne udaljenosti čine prvu grupu, dok drugu grupu čine **dalji lokalni** potresi od 50 do 100 km epicentralne udaljenosti.

Tijekom 2019. godine unutar kruga radijusa 100 km oko Slunja locirano je sveukupno **1511** potresa. Od toga je:

- **361** potresa iz epicentralnih udaljenosti do 50 km (**bliži lokalni potresi**)
i
- **1150** potresa iz epicentralnih udaljenosti od 50 do 100 km (**dalji lokalni potresi**).

Za dobivanje kvalitetnijeg i temeljitijeg uvida u najosnovnije značajke lokalne seizmičnosti promatranog područja nužno je navedene potrese analizirati, kako s obzirom na vremensku, tako i prostornu raspodjelu.

1. **Mjesečna razdioba čestina potresa** lociranih u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2019. godine prikazana je u obliku histograma na slici 3.1. Broj potresa lociranih po pojedinim mjesecima varira od 70 potresa, koliko je locirano tijekom prosinca do 190 potresa, koliko je locirano tijekom svibnja. Ove godine mjesečna razdioba potresa je manje-više jednolika. Seizmička aktivnost bila je raspoređena gotovo jednolikom, uz nešto manje potresa u ožujku, kolovozu i rujnu.



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 2019. 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 seismološka postaja Slunj jedna od dvije postaje unutar područja epicentralnih udaljenosti do 50 km od Slunja koje su radile u 2019. godini. Druga postaja je postaja znanstvenog projekta Velebit na Plitvicama. Stoga možemo i dalje smatrati da je mali broj postaja unutar kruga od 50 km od postaje

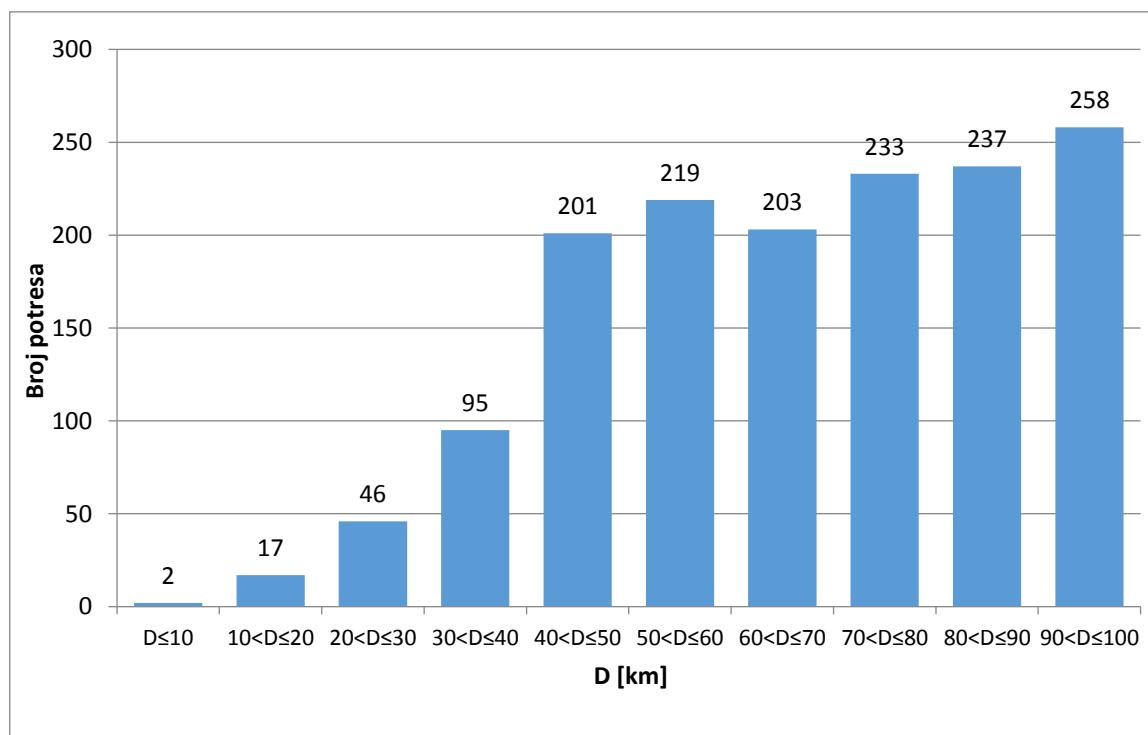
Slunj razlog zašto je mali broj lociranih potresa unutar te udaljenosti, jer je znatno smanjena mogućnost registriranja i lociranja slabijih potresa koji se dogode unutar tog područja, a koji ujedno čine i većinu lociranih potresa. Broj bližih lokalnih potresa po pojedinim mjesecima kreće se u rasponu 18 (lipanj i prosinac) do 54 (kolovoz) lociranih potresa, dok se broj daljih lokalnih potresa kreće u rasponu od 52 (prosinac) do 159 (svibanj) lociranih potresa.

Tablica 3.1. *Mjesečna razdioba čestina lokalnih potresa po epicentralnim udaljenostima D (km) od Slunja, lociranih u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2019. godine.*

Mjesec	0<D≤50	50<D≤100	Ukupno
Siječanj	25	121	146
Veljača	22	58	80
Ožujak	21	70	91
Travanj	29	113	142
Svibanj	31	159	190
Lipanj	18	74	92
Srpanj	44	96	140
Kolovoz	54	97	151
Rujan	51	104	155
Listopad	27	79	106
Studeni	21	127	148
Prosinac	18	52	70
Ukupno	361	1150	1511

2. - Histogram čestina potresa po epicentralnim udaljenostima do 100 km od Slunja, lociranih u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2019. godine, prikazan je na slici 3.2. Kao širina razreda epicentralnih udaljenosti odabrana je širina od 10 km. Trend općeg porasta broja lociranih potresa unutar razreda kako se udaljujemo od postaje Slunj vidljiv je i ove godine. Kao i prethodnih godina i ove godine je izražena razlika u seizmičkoj aktivnosti prema broju lociranih potresa bližih i daljih epicentralnih udaljenosti. U području epicentralnih udaljenosti do

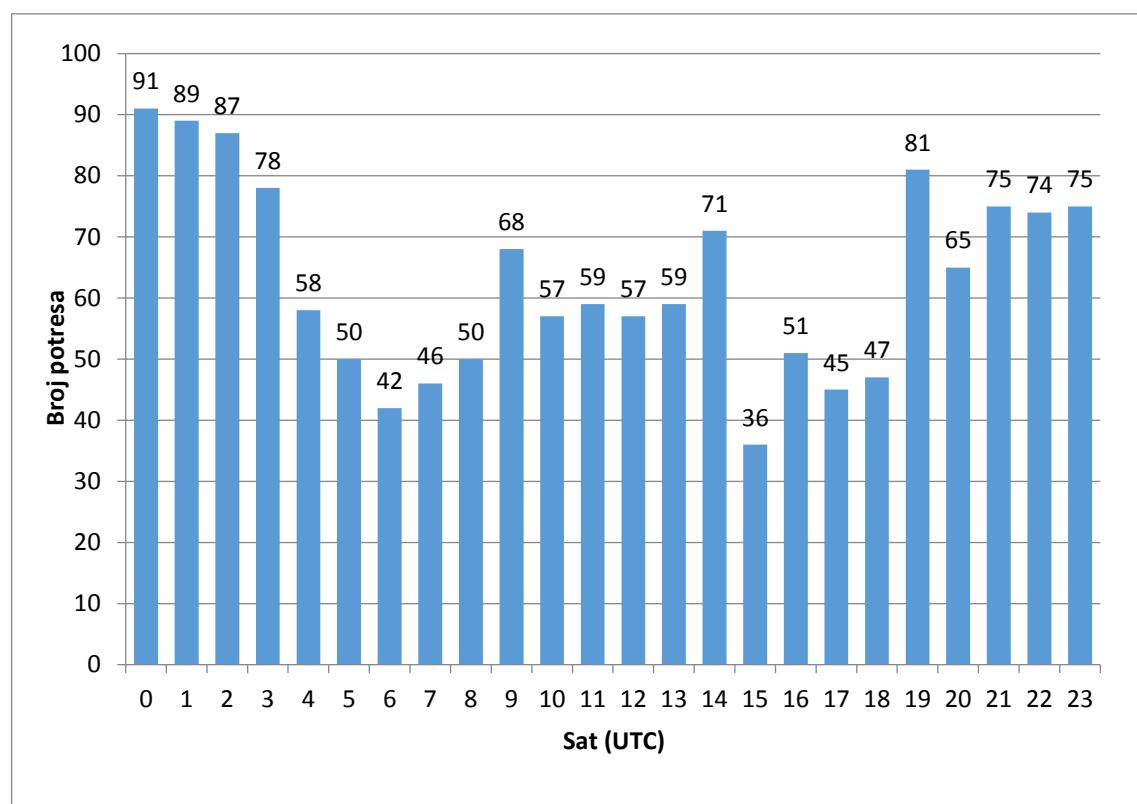
50 km lociran je svega 361 potres, što čini tek 24 % od ukupnog broja lociranih potresa. U području epicentralnih udaljenosti od 50 do 100 km locirano je 1150 potresa, što čini 76 % od ukupnog broja potresa. Slična prostorna razdioba potresa po razredima epicentralnih udaljenosti vidljiva je i u Studijama 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 i šиру okolicu Zagreba, Zrinsku goru, okolicu Gospića i Mali Alan.



Slika 3.2. Histogram čestina potresa po epicentralnim udaljenostima do 100 km od Slunja lociranih u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2019. godine.

3. - Dnevni hod čestina potresa lociranih unutar epicentralnih udaljenosti do 100 km od Slunja, u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2019. 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.

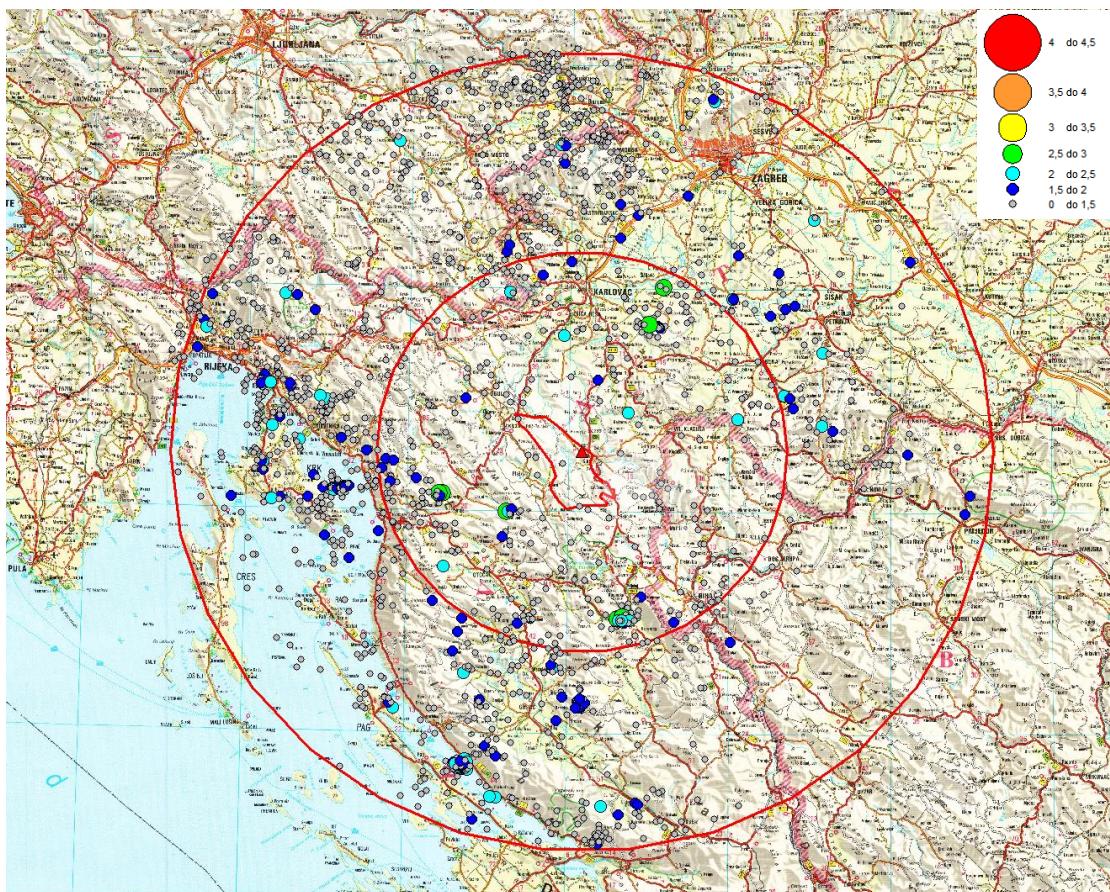


Slika 3.3. Dnevni hod čestina lokalnih potresa iz epicentralnih udaljenosti do 100 km od Slunja lociranih u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2019. godine.

Iz dnevnog hoda čestina potresa lociranih tijekom 2019. 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 u 0 do 3 sata (ukupno 345 potresa). Tijekom dnevnih sati uočava se povećanje broja lociranih potresa u razdoblju od 9-14 sati, s najvećim brojem potresa lociranih u

14 sati kada je lociran 71 potres. Zanimljiv je i maksimum od 81 potresa u 19 sati, što je argument više da se ne radi o umjetno proizvedenim potresima. Tijekom 2019. godine zabilježeno je 122 potresa bliskih epicentralnih udaljenosti (do 50 km od postaje) koji su imali iznimno malu dubinu žarišta (manju od 1 km) i male magnitude. Unutar kruga od 100 km od postaje, takvih potresa je ukupno bilo 371 (odnosno 249 na udaljenosti od 50 do 100 km od postaje). Potresi su bili ravnomjerno raspoređeni tijekom cijelog dana, stoga se može zaključiti kako je utjecaj eksplozija na broj potresa sведен na minimum.

4. - Karta epicentara potresa lociranih unutar kruga radijusa 100 km od Slunja u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2019. 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 2019. godine. Seizmološka postaja Slunj označena je crvenim trokutom. Granice poligona OS RH „Eugen Kvaternik“ Slunj iscrtane su crvenom tankom 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 2019. godine. Ta područja obuhvaćaju područje Sjevernog Jadrana i Sjevernog Velebita između Rijeke i Senja (uključujući otok Krk), zatim područje Siska, Zrinske Gore te šire područje Novog Mesta u Sloveniji (izraženo kod Črnomelja, Metlike i Brežica),

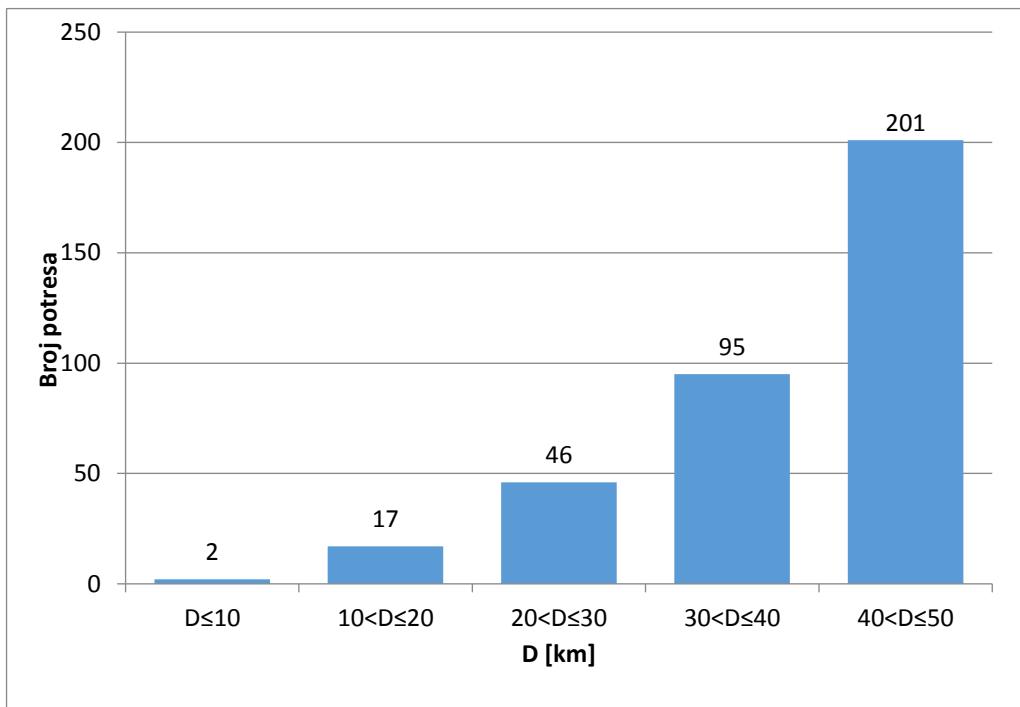
Žumberak, Medvednicu i širu okolicu Zagreba. Najjači potres koji se dogodio unutar kruga radijusa 100 km od Slunja tijekom 2019. godine bio je magnitudo $M = 3.0$, s epicentrom lociranim u blizini Karlovca.

Tijekom 2019. godine dogodilo se ukupno 8 potresa magnitudo veće od 2.5. Sve navodimo ispod prema magnitudi:

- 12. prosinca 2019. godine u $7^{\text{h}} 45^{\text{min}} 57.9^{\text{s}}$ (UTC), magnitudo $M = 2.6$, epicentralne udaljenosti 23 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.987^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.308^\circ\text{E}$,
- 16. rujna 2019. godine u $22^{\text{h}} 53^{\text{min}} 12.5^{\text{s}}$ (UTC), magnitudo $M = 2.6$, epicentralne udaljenosti 34 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.028^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.111^\circ\text{E}$,
- 2. studenog 2019. godine u $17^{\text{h}} 39^{\text{min}} 7.5^{\text{s}}$ (UTC), magnitudo $M = 2.6$, epicentralne udaljenosti 44 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.749^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.663^\circ\text{E}$,
- 2. rujna 2019. godine u $23^{\text{h}} 8^{\text{min}} 12.4^{\text{s}}$ (UTC), magnitudo $M = 2.7$, epicentralne udaljenosti 35 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.028^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.099^\circ\text{E}$,
- 27. studenog 2019. godine u $19^{\text{h}} 17^{\text{min}} 10.4^{\text{s}}$ (UTC), magnitudo $M = 2.8$, epicentralne udaljenosti 36 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.407^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.757^\circ\text{E}$,
- 26. srpnja 2019. godine u $4^{\text{h}} 0^{\text{min}} 13.5^{\text{s}}$ (UTC), magnitudo $M = 2.8$, epicentralne udaljenosti 45 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.748^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.672^\circ\text{E}$,
- 26. srpnja 2019. godine u $8^{\text{h}} 51^{\text{min}} 53.2^{\text{s}}$ (UTC), magnitudo $M = 2.9$, epicentralne udaljenosti 44 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.745^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.647^\circ\text{E}$,
- 24. veljače 2019. godine u $14^{\text{h}} 17^{\text{min}} 56.4^{\text{s}}$ (UTC), magnitudo $M = 3.0$, epicentralne udaljenosti 45 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.491^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.802^\circ\text{E}$. To je ujedno i najjači potres tijekom 2019. godine u krugu od 100 km od postaje Slunj.

3.1. Potresi epicentralnih udaljenosti do 50 km od Slunja

Od ukupno 1511 potresa lociranih tijekom 2019. godine unutar kruga radiusa 100 km od Slunja, njih 361 (24 %) 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 2019. 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 polovine svih potresa lociranih unutar kruga radiusa 50 km od Slunja (točnije, 55%) locirano je unutar područja epicentralnih udaljenosti od 40 do 50 km, njih 201.

U okolini Ougulina tijekom 2019. godine locirano je 18 potresa, s najjačim potresom magnitudo 1.6 po Richteru. Navedeni potres dogodio se

- 14. listopada 2019. godine u $9^h\ 14^{\text{min}}\ 20.3^s$ (UTC), magnitude $M = 1.6$, epicentralne udaljenosti 28 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.243^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.187^\circ\text{E}$.

Na području Velike i Male Kapele dogodio se 101 potres, najvećim dijelom u području oko Korenice gdje se od ovih 101 dogodilo ukupno 73 potresa.

Najjači potres imao je magnitudu $M = 2.9$, i dogodio se upravo na spomenutom području oko Korenice:

- 26. srpnja 2019. godine u $8^h\ 51^{\text{min}}\ 53.2^s$ (UTC), magnitude $M = 2.9$, epicentralne udaljenosti 44 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.745^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.647^\circ\text{E}$.

Na području od Ribičkog bila preko Brinja do Otočca pa do Kosinja, dogodilo se ukupno 91 potres, a najjači je bio:

- 16. rujna 2019. godine u $22^h\ 53^{\text{min}}\ 12.5^s$ (UTC), magnitude $M = 2.6$, epicentralne udaljenosti 34 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.028^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.111^\circ\text{E}$. Navedeni potres dogodio se kod Križpolja.

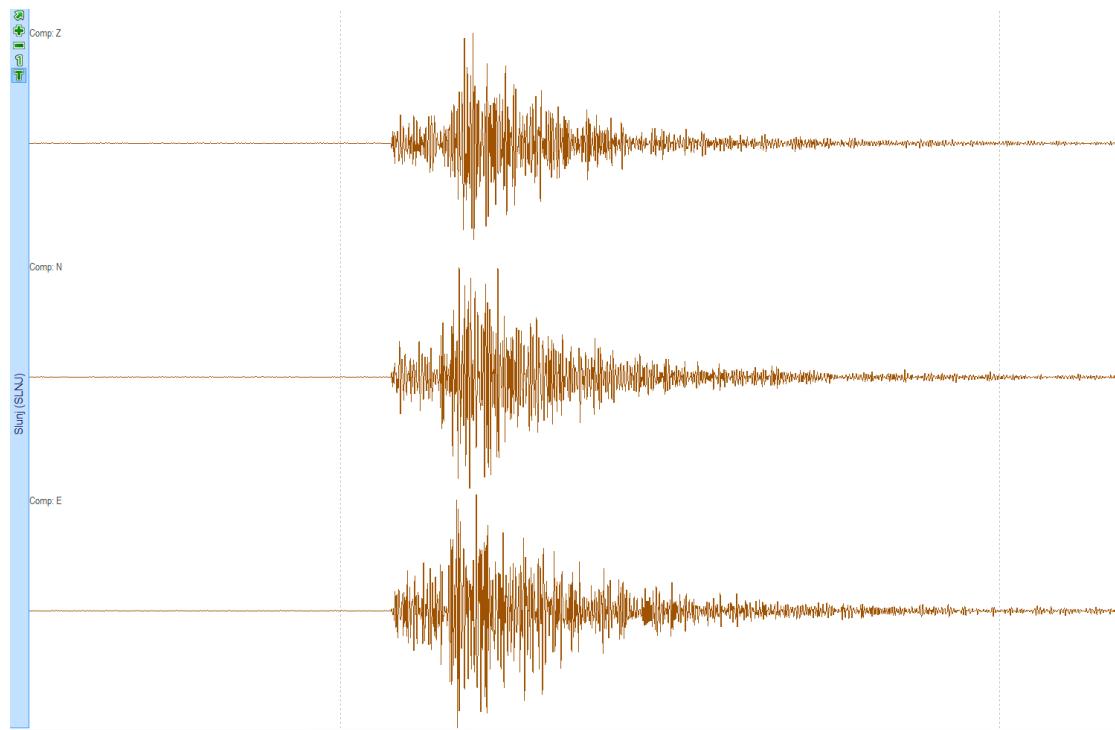
Šire Karlovačko područje bilježi 84 potresa, od kojih je najjači potres ujedno i najjači potres tijekom 2019. godine u području unutar radiusa 100 km od postaje Slunj:

- 24. veljače 2019. godine u $14^h\ 17^{\text{min}}\ 56.4^s$ (UTC), magnitude $M = 3.0$, epicentralne udaljenosti 45 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.491^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.802^\circ\text{E}$.

Područje Zrinske gore bilježi 15 potresa, s najjačim potresom koji se dogodio

- 11. kolovoza 2019. godine u $15^h\ 25^{\text{min}}\ 4.8^s$ (UTC), magnitude $M = 2.4$, epicentralne udaljenosti 41 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.193^\circ\text{N}$ i $\lambda = 16.028^\circ\text{E}$.

Kao seizmički najaktivnije područje unutar kruga radijusa 50 km od Slunja izdvaja se područje koje obuhvaća Kapelu, zaleđe Senja te širu okolicu Otočca. Unutar navedenog područja locirano je 181 svih potresa lociranih unutar promatranog područja epicentralnih udaljenosti. Najjači potres zabilježen u ovom području imao je magnitudu 2.9 prema Richteru. Također, na ovom području je bilo ukupno 9 potresa magnitude veće ili jednake 2.0.



Slika 3.6. Seizmogram potresa magnitude $M = 3.0$ koji se dogodio 24. veljače 2019. godine u $14^h 17^{min} 56.4^s$ (UTC), epicentralne udaljenosti $D = 45$ km od Slunja, zemljopisnih koordinata epicentra $\varphi = 45.491^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.802^\circ\text{E}$, zabilježen na seizmološkoj postaji Slunj.

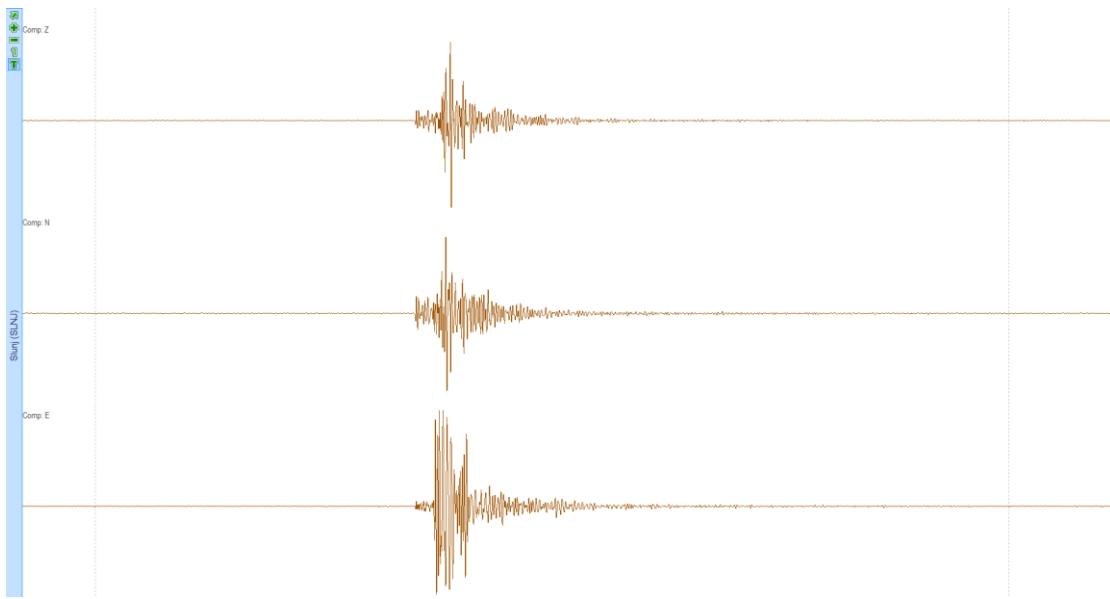
Izdvajanjem potresa s najvećim magnitudama stječe se uvid u energetske značajke seizmičnosti promatranog područja. Izdvojeni su potresi s magnitudom većom ili jednakom 2.0. Tijekom 2019. godine od ukupno 361 lociranih potresa unutar kruga radijusa 50 km oko Slunja dogodilo se sedamnaest takvih potresa i navodimo ih kronološkim redom:

- 14. veljače 2019. godine u $22^h 54^{min} 45.7^s$ (UTC), magnitude $M = 2.4$, epicentralne udaljenosti 28 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.383^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.493^\circ\text{E}$,

- 24. veljače 2019. godine u $14^{\text{h}} 17^{\text{min}} 56.4^{\text{s}}$ (UTC), magnitude $M = 3.0$, epicentralne udaljenosti 45 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.491^{\circ}\text{N}$ i $\lambda = 15.802^{\circ}\text{E}$,
- 19. travnja 2019. godine u $17^{\text{h}} 36^{\text{min}} 21.3^{\text{s}}$ (UTC), magnitude $M = 2.4$, epicentralne udaljenosti 41 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.481^{\circ}\text{N}$ i $\lambda = 15.328^{\circ}\text{E}$,
- 17. srpnja 2019. godine u $14^{\text{h}} 37^{\text{min}} 38.4^{\text{s}}$ (UTC), magnitude $M = 2.1$, epicentralne udaljenosti 46 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.741^{\circ}\text{N}$ i $\lambda = 15.684^{\circ}\text{E}$,
- 26. srpnja 2019. godine u $4^{\text{h}} 0^{\text{min}} 13.5^{\text{s}}$ (UTC), magnitude $M = 2.8$, epicentralne udaljenosti 45 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.748^{\circ}\text{N}$ i $\lambda = 15.672^{\circ}\text{E}$,
- 26. srpnja 2019. godine u $4^{\text{h}} 7^{\text{min}} 28.4^{\text{s}}$ (UTC), magnitude $M = 2.3$, epicentralne udaljenosti 45 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.741^{\circ}\text{N}$ i $\lambda = 15.651^{\circ}\text{E}$,
- 26. srpnja 2019. godine u $8^{\text{h}} 51^{\text{min}} 53.2^{\text{s}}$ (UTC), magnitude $M = 2.9$, epicentralne udaljenosti 44 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.745^{\circ}\text{N}$ i $\lambda = 15.647^{\circ}\text{E}$,
- 11. kolovoza 2019. godine u $15^{\text{h}} 25^{\text{min}} 4.8^{\text{s}}$ (UTC), magnitude $M = 2.4$, epicentralne udaljenosti 41 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.193^{\circ}\text{N}$ i $\lambda = 16.028^{\circ}\text{E}$,
- 27. kolovoza 2019. godine u $19^{\text{h}} 44^{\text{min}} 15.1^{\text{s}}$ (UTC), magnitude $M = 2.3$, epicentralne udaljenosti 45 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.741^{\circ}\text{N}$ i $\lambda = 15.662^{\circ}\text{E}$,
- 2. rujna 2019. godine u $23^{\text{h}} 8^{\text{min}} 12.4^{\text{s}}$ (UTC), magnitude $M = 2.7$, epicentralne udaljenosti 35 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.028^{\circ}\text{N}$ i $\lambda = 15.099^{\circ}\text{E}$,
- 16. rujna 2019. godine u $22^{\text{h}} 53^{\text{min}} 12.5^{\text{s}}$ (UTC), magnitude $M = 2.6$, epicentralne udaljenosti 34 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.028^{\circ}\text{N}$ i $\lambda = 15.111^{\circ}\text{E}$,
- 16. rujna 2019. godine u $23^{\text{h}} 44^{\text{min}} 1.8^{\text{s}}$ (UTC), magnitude $M = 2.4$, epicentralne udaljenosti 44 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.865^{\circ}\text{N}$ i $\lambda = 15.111^{\circ}\text{E}$,

- 2. studenog 2019. godine u $17^h\ 39^{\text{min}}\ 7.5^s$ (UTC), magnitudo $M = 2.6$, epicentralne udaljenosti 44 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.749^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.663^\circ\text{E}$,
- 27. studenog 2019. godine u $19^h\ 17^{\text{min}}\ 10.4^s$ (UTC), magnitudo $M = 2.8$, epicentralne udaljenosti 36 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.407^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.757^\circ\text{E}$,
- 12. prosinca 2019. godine u $7^h\ 45^{\text{min}}\ 57.9^s$ (UTC), magnitudo $M = 2.6$, epicentralne udaljenosti 23 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.987^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.308^\circ\text{E}$,
- 13. prosinca 2019. godine u $19^h\ 18^{\text{min}}\ 24.3^s$ (UTC), magnitudo $M = 2.4$, epicentralne udaljenosti 23 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 44.988^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.313^\circ\text{E}$,
- 27. prosinca 2019. godine u $17^h\ 34^{\text{min}}\ 6.4^s$ (UTC), magnitudo $M = 2.4$, epicentralne udaljenosti 16 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.208^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.689^\circ\text{E}$.

Najbliži potres postoji Slunj dogodio se 17. veljače 2019. godine u $18^h\ 16^{\text{min}}\ 18.1^s$ (UTC), na epicentralnoj udaljenosti od 5.4 km jugozapadno od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.095^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.483^\circ\text{E}$. Potres je imao malu magnitudu $M = 0.3$.

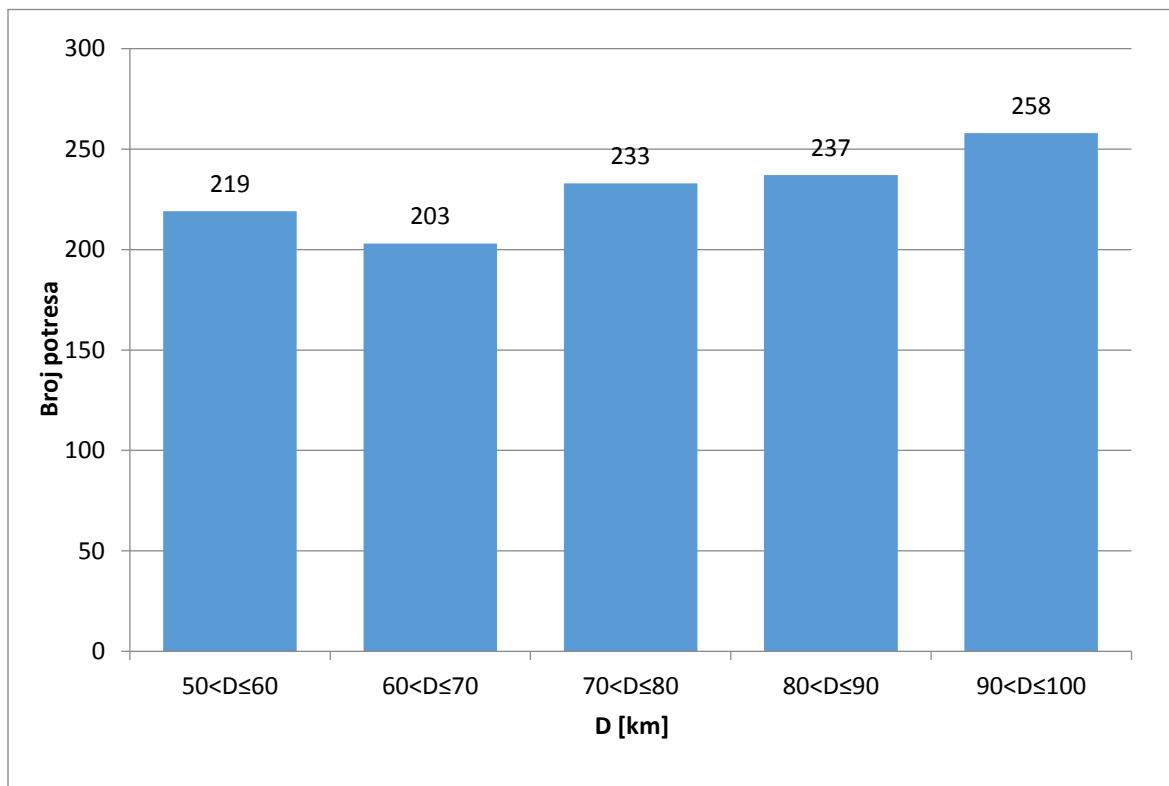


Slika 3.7. Seizmogram potresa magnitude $M = 0.3$ koji se dogodio 17. veljače 2019. godine u $18^h 16^{min} 18.1^s$ (UTC), na epicentralnoj udaljenosti od 5.4 km jugozapadno od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.095^\circ N$ i $\lambda = 15.483^\circ E$, zabilježen na seismološkoj postaji Slunj.

S obzirom na energetsku karakteristiku seizmičnosti promatranog područja unutar kruga radijusa 50 km od Slunja, tijekom 2019. godine zabilježeno je znatno više potresa magnitude veće ili jednake 2.0 usporedivo s razdobljem 2018. godine.

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

Od ukupno 1511 potresa koji su locirani na cjelokupnom analiziranom području u 2019. godini, njih 1150, odnosno 76%, 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.

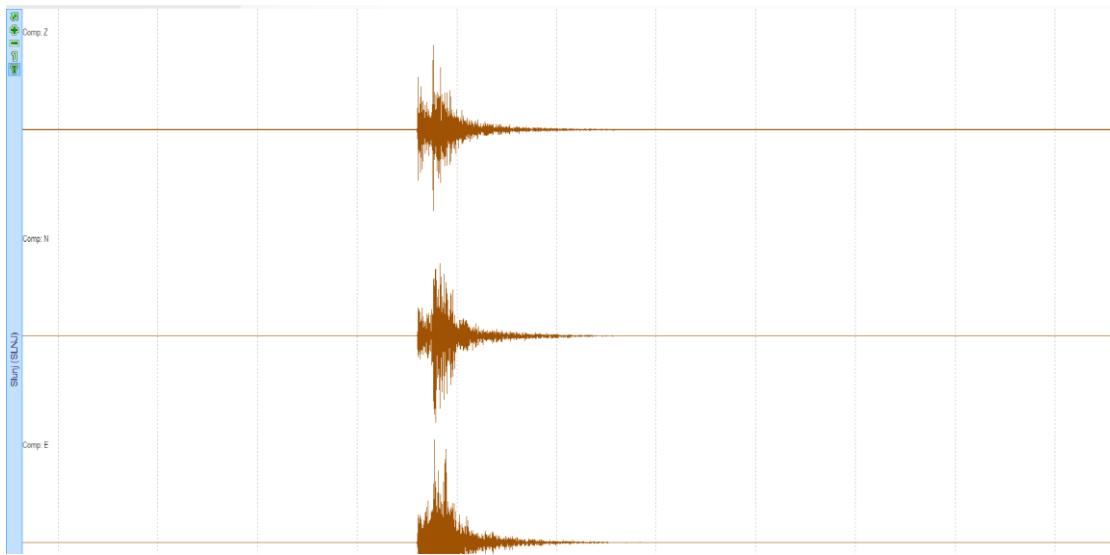


Slika 3.8. Histogram čestina potresa po epicentralnim udaljenostima D (km) od 50 do 100 km od Slunja lociranih u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2019. godine.

Za razliku od istraživanja proteklih godina, kada je seizmička aktivnost prema broju lociranih potresa postajala sve izraženija kako su razredi obuhvaćali veće epicentralne udaljenosti, ove godine vidljiva je uravnoteženost broja potresa na svim epicentralnim udaljenostima, uz nešto povećanu aktivnost na udaljenostima 70 km i više.

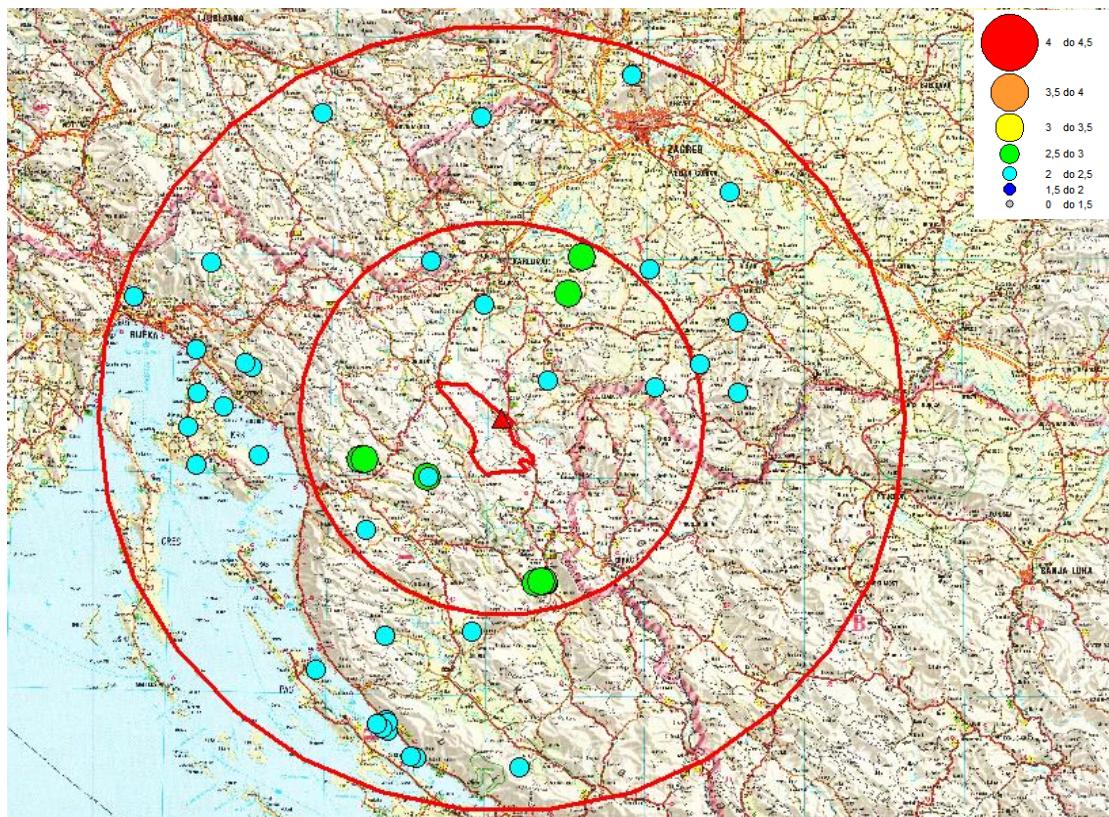
Promatrajući kartu prostorne raspodjele potresa na slici 3.4, kao seizmički najaktivnija ističu se sljedeća područja: U toj udaljenosti, najaktivnija područja su bila šire područje otoka Krka, Riječko područje, u Sloveniji područja oko Ribnice, Metlike, Novog Mesta, Brežica. Nadalje, aktivno je bilo područje Medvednice, šira

okolica Siska, Zrinska Gora, Krbavsko polje i potez od Rovanske do Paga, kao i Ljubovo-Perušić-Velika Plana. Najjači dalji lokalni potres bio je magnitude 2.5 i dogodio se 15. srpnja 2019. godine u $1^h 22^{min} 25.4^s$ (UTC) u zaleđu Crikvenice, na epicentralnoj udaljenosti od 63 km zapadno od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.247^\circ\text{N}$ i $\lambda = 14.734^\circ\text{E}$. Seizmogram navedenog potresa zabilježenog na seismološkoj postaji Slunj prikazan je na slici 3.9.



Slika 3.9. *Seizmogram najjačeg daljeg lokalnog potresa magnitude $M = 2.5$ koji se dogodio 15. srpnja 2019. godine u $1^h 22^{min} 25.4^s$ (UTC), epicentralne udaljenosti $D = 63$ km zapadno od Slunja, zemljopisnih koordinata epicentra $\varphi = 45.247^\circ\text{N}$ i $\lambda = 14.734^\circ\text{E}$, zabilježen na seismološkoj postaji Slunj.*

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 2019. godine od ukupno 1150 daljih lociranih potresa dogodio se ukupno 31 potresa magnitude veće ili jednake 2.0. 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 2019. godine. Seizmološka postaja Slunj označena je crvenim trokutom. Granice poligona OS RH „Eugen Kvaternik“ Slunj iscrtane su crvenom tankom 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 području Zrinske gore, locirana su tri potresa magnitude veće ili jednake 2.0, i to redom:

- 12. siječnja 2019. godine u $8^h\ 4^{min}\ 15.6^s$ (UTC), magnitude $M = 2.1$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 45.342^\circ N$ i $\lambda = 16.292^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 65 km,
- 12. siječnja 2019. godine u $3^h\ 9^{min}\ 50.2^s$ (UTC), magnitude $M = 2.2$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 45.247^\circ N$ i $\lambda = 16.173^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 53 km,

- 10. kolovoza 2019. godine u $14^h\ 50^{min}\ 3.8^s$ (UTC), magnitude $M = 2.2$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 45.179^\circ N$ i $\lambda = 16.289^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 61 km.

Kod Pokupskog, bilježimo jedan potres magnitude veće ili jednake 2.0 i to:

- 2. listopada 2019. godine u $3^h\ 39^{min}\ 32.0^s$ (UTC), magnitude $M = 2.4$, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.464^\circ N$ i $\lambda = 16.015^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 53 km.

Kod Velike Gorice lociran je jedan potres magnitude veće ili jednake 2.0 i to:

- 1. svibnja 2019. godine u $9^h\ 15^{min}\ 11.8^s$ (UTC), magnitude $M = 2.3$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 45.641^\circ N$ i $\lambda = 16.271^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 81 km.

Na Medvednici lociran je jedan potres magnitude veće ili jednake 2.0:

- 16. rujna 2019. godine u $14^h\ 28^{min}\ 16.9^s$ (UTC), magnitude $M = 2.3$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 45.908^\circ N$ i $\lambda = 15.967^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 93 km.

Žumberačko gorje također ima lociran jedan potres magnitude veće ili jednake 2.0:

- 11. travnja 2019. godine u $20^h\ 12^{min}\ 47.7^s$ (UTC), magnitude $M = 2.4$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 45.812^\circ N$ i $\lambda = 15.490^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 75 km.

U Sloveniji, kod Žužemberka također je lociran jedan potres magnitude veće ili jednake 2.0:

- 12. rujna 2019. godine u $10^h\ 47^{min}\ 52.1^s$ (UTC), magnitude $M = 2.1$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 45.820^\circ N$ i $\lambda = 14.990^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 87 km.

Gorski kotar, Rijeka, Kraljevica, Otok Krk čine područje sa 10 lociranih potresa magnitude veće ili jednake 2.0. Dolje ih navodimo kronološkim redom:

- 25. siječnja 2019. godine u $9^h\ 51^{min}\ 31.1^s$ (UTC), magnitude $M = 2.3$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 45.150^\circ N$ i $\lambda = 14.668^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 67 km,
- 7. ožujka 2019. godine u $6^h\ 54^{min}\ 24.6^s$ (UTC), magnitude $M = 2.1$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 45.101^\circ N$ i $\lambda = 14.555^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 76 km,
- 11. travnja 2019. godine u $19^h\ 57^{min}\ 22.2^s$ (UTC), magnitude $M = 2.3$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 45.478^\circ N$ i $\lambda = 14.631^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 79 km,
- 8. svibnja 2019. godine u $6^h\ 53^{min}\ 13.6^s$ (UTC), magnitude $M = 2.0$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 45.240^\circ N$ i $\lambda = 14.756^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 61 km,
- 15. svibnja 2019. godine u $1^h\ 13^{min}\ 17.3^s$ (UTC), magnitude $M = 2.3$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 45.037^\circ N$ i $\lambda = 14.774^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 59 km,
- 13. lipnja 2019. godine u $12^h\ 18^{min}\ 11.6^s$ (UTC), magnitude $M = 2.4$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 45.402^\circ N$ i $\lambda = 14.386^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 93 km,
- 15. srpnja 2019. godine u $1^h\ 22^{min}\ 25.4^s$ (UTC), magnitude $M = 2.5$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 45.247^\circ N$ i $\lambda = 14.734^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 63 km,
- 4. kolovoza 2019. godine u $14^h\ 33^{min}\ 43.9^s$ (UTC), magnitude $M = 2.2$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 45.278^\circ N$ i $\lambda = 14.581^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 75 km,
- 9. kolovoza 2019. godine u $15^h\ 2^{min}\ 13.0^s$ (UTC), magnitude $M = 2.1$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 45.181^\circ N$ i $\lambda = 14.585^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 73 km,
- 3. rujna 2019. godine u $8^h\ 32^{min}\ 31.0^s$ (UTC), magnitude $M = 2.1$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 45.017^\circ N$ i $\lambda = 14.580^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 75 km.

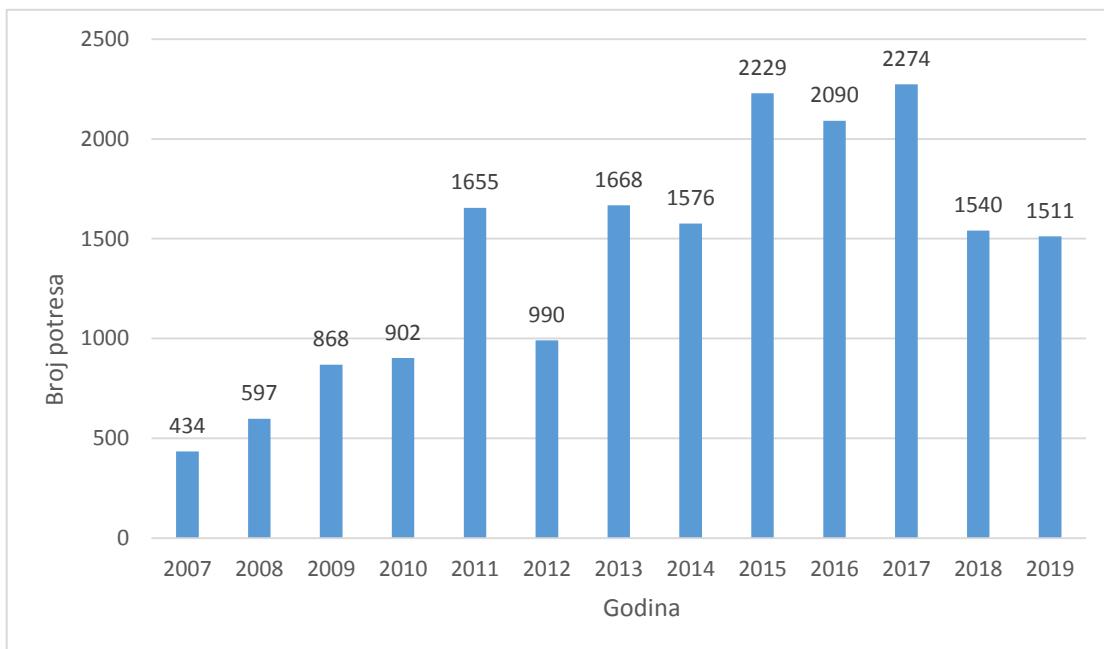
Šire područje Gospića i Otok Pag imaju 13 lociranih potresa magnitude veće ili jednake 2.0. Kronološkim redom to su:

- 17. svibnja 2019. godine u $16^h 27^{min} 56.3^s$ (UTC), magnitude $M = 2.2$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 44.635^\circ N$ i $\lambda = 15.445^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 56 km,
- 28. svibnja 2019. godine u $16^h 42^{min} 22.8^s$ (UTC), magnitude $M = 2.0$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 44.624^\circ N$ i $\lambda = 15.168^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 63 km,
- 20. srpnja 2019. godine u $8^h 3^{min} 3.2^s$ (UTC), magnitude $M = 2.2$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 44.345^\circ N$ i $\lambda = 15.264^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 90 km,
- 2. kolovoza 2019. godine u $2^h 5^{min} 24.4^s$ (UTC), magnitude $M = 2.2$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 44.347^\circ N$ i $\lambda = 15.246^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 90 km,
- 22. listopada 2019. godine u $5^h 20^{min} 15.3^s$ (UTC), magnitude $M = 2.2$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 44.546^\circ N$ i $\lambda = 14.948^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 79 km,
- 10. studenog 2019. godine u $13^h 34^{min} 3.1^s$ (UTC), magnitude $M = 2.0$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 44.415^\circ N$ i $\lambda = 15.161^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 85 km,
- 10. studenog 2019. godine u $16^h 15^{min} 40.8^s$ (UTC), magnitude $M = 2.0$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 44.406^\circ N$ i $\lambda = 15.176^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 85 km,
- 10. studenog 2019. godine u $16^h 30^{min} 11.9^s$ (UTC), magnitude $M = 2.4$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 44.432^\circ N$ i $\lambda = 15.169^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 83 km,
- 10. studenog 2019. godine u $16^h 31^{min} 43.9^s$ (UTC), magnitude $M = 2.2$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 44.421^\circ N$ i $\lambda = 15.157^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 84 km,
- 10. studenog 2019. godine u $22^h 53^{min} 16.8^s$ (UTC), magnitude $M = 2.2$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 44.424^\circ N$ i $\lambda = 15.176^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 83 km,

- 11. studenog 2019. godine u $3^h\ 20^{min}\ 42.0^s$ (UTC), magnitude $M = 2.0$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 44.412^\circ N$ i $\lambda = 15.157^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 85 km,
- 11. studenog 2019. godine u $4^h\ 52^{min}\ 8.8^s$ (UTC), magnitude $M = 2.3$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 44.421^\circ N$ i $\lambda = 15.140^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 85 km,
- 16. studenog 2019. godine u $3^h\ 48^{min}\ 35.0^s$ (UTC), magnitude $M = 2.0$, sa zemljopisnim koordinatama $\varphi = 44.323^\circ N$ i $\lambda = 15.589^\circ E$ i epicentralne udaljenosti 90 km.

3.3. Lokalni potresi na području Slunja locirani u razdoblju od 1. siječnja 2007. godine do 31. prosinca 2019. godine

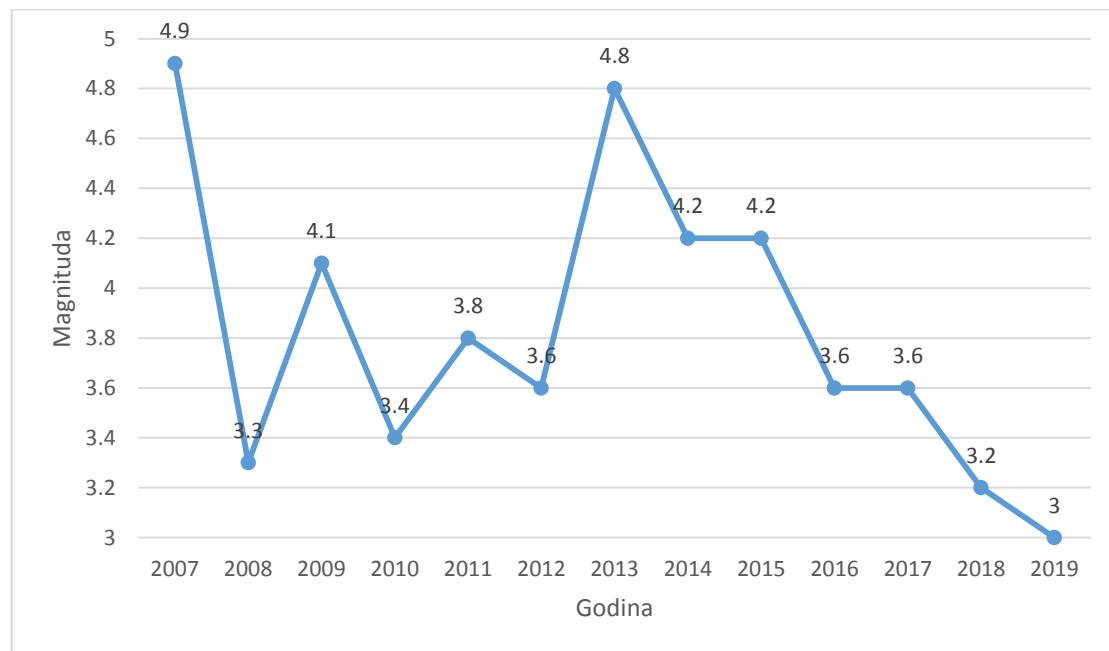
U razdoblju od 1. siječnja 2007. do 31. prosinca 2019. godine locirano je sveukupno **18334 potresa** iz epicentralnih udaljenosti do 100 km od Slunja. Histogram čestina tih potresa po godinama prikazan je na slici 3.11.



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 2019. godine.

Pogledom na proteklo istraživano razdoblje, uočavamo da je i ova 2019., baš kao i 2018. godina jedna od aktivnijih, ali ipak značajno manje aktivna od prethodnih 2015., 2016. i 2017. godine. Broj potresa lociranih tijekom 2019. godine u skladu je s brojem potresa lociranih tijekom godina kad nije bilo izraženijih rojeva potresa. Porast broja lociranih potresa po pojedinim godinama istraživanja se i dalje vidi. 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.

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 potres, 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 2019. godine.

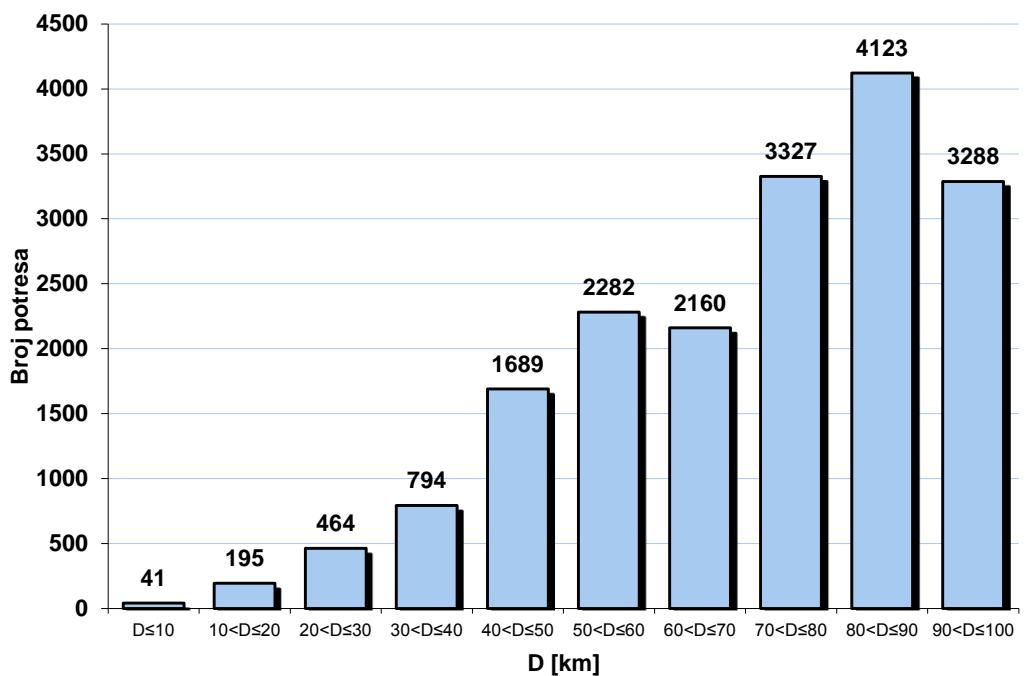
Lokalni potresi najveće magnitudo unutar promatranog vremenskog razdoblja po godinama dogodili su se (poredani kronološki):

- **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), magnitudo **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 **$D = 96 \text{ km}$** 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 **$D = 68 \text{ km}$** 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 **$D = 42 \text{ km}$** zapad-jugozapadno od Slunja, u zaledju 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 **$D = 41 \text{ km}$** 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 **$D = 40 \text{ km}$** zapadno-jugozapadno od Slunja, zemljopisnih koordinata epicentra $\varphi = 45.068^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.030^\circ\text{E}$
- **13. ožujka 2014.** u **$17^h 31^{\min} 59.3^s$ (UTC)**, magnitude **$M = 4.2$** , epicentralne udaljenosti **$D = 86 \text{ km}$** sjeverozapadno od Slunja, zemljopisnih koordinata epicentra $\varphi = 45.751^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.851^\circ\text{E}$
- **1. studenog 2015.** u **$7^h 52^{\min} 32.9^s$ (UTC)**, magnitude **$M = 4.2$** , epicentralne udaljenosti **$D = 82 \text{ km}$** sjeverno od Slunja, zemljopisnih koordinata epicentra $\varphi = 45.868^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.531^\circ\text{E}$
- **9. travnja 2016.** u **$13^h 2^{\min} 33.3^s$ (UTC)**, magnitude **$M = 3.6$** , epicentralne udaljenosti **$D = 89 \text{ km}$** sjeverno od Slunja, zemljopisnih koordinata epicentra $\varphi = 45.929^\circ\text{N}$ i $\lambda = 15.603^\circ\text{E}$
- **8. kolovoza 2017.** u **$20^h 42^{\min} 36.7^s$ (UTC)**, magnitude **$M = 3.6$** , epicentralne udaljenosti **$D = 73 \text{ km}$** zapadno od Slunja, zemljopisnih koordinata epicentra $\varphi = 45.190^\circ\text{N}$ i $\lambda = 14.619^\circ\text{E}$,
- **27. ožujka 2018.** u **$15^h 28^{\min} 30.2^s$ (UTC)**, magnitude **$M = 3.2$** , epicentralne udaljenosti **$D = 96 \text{ km}$** istočno od Slunja, zemljopisnih koordinata epicentra $\varphi = 45.072^\circ\text{N}$ i $\lambda = 16.772^\circ\text{E}$,

- **24. veljače 2019.** u **$14^h\ 17^{min}\ 56.4^s$** (UTC), *magnitude $M = 3.0$, epicentralne udaljenosti $D = 45\ km$ sjeveroistočno od Slunja, zemljopisnih koordinata epicentra $\varphi = 45.491^\circ N$ i $\lambda = 15.802^\circ E$.*

U trinaest godina rada postaje (od 1. siječnja 2007. godine do 31. prosinca 2019. godine) na seizmološkim postajama Slunj i Kukača prikupljena je i napravljena 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 2019. godine.

4. ZAKLJUČAK

Koristeći zapise seizmografa u Slunju, te ostalih naših i inozemnih seizmoloških 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 2019. godine **locirano je 1511 potresa**, od kojih je:

- **361** iz epicentralnih udaljenosti do 50 km (**bliži lokalni potresi**) i
- **1150** iz epicentralnih udaljenosti od 50 do 100 km (**dalji lokalni potresi**).

Od 361 potresa iz epicentralnih udaljenosti do 50 km najveći broj (njih 201) potječe iz područja epicentralnih udaljenosti $40 < D \leq 50$ km. Kao seizmički najaktivnije izdvajaju se područja zaleđe Senja, okolica Ogulina, potez Otočac – D. Kosinj, Korenica, okolica Bihaća (BiH), Rakovica-Kordunski Ljeskovac, Netretić – Črnomelj (SLO) – Zdihovo, šire Karlovačko područje s Petrovom gorom. Tijekom 2019. godine dogodilo se 17 potresa iz područja epicentralnih udaljenosti do 50 km oko Slunja magnituda većih ili jednakih 2.0.

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

- 24. veljače 2019. godine u $14^{\text{h}} 17^{\text{min}} 56.4^{\text{s}}$ (UTC), magnitude $M = 3.0$, epicentralne udaljenosti 45 km od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.491^{\circ}\text{N}$ i $\lambda = 15.802^{\circ}\text{E}$. To je ujedno i najjači potres u 2019. godini unutar 100 km od postaje Slunj.

Najbliži potres postaji Slunj dogodio se 17. veljače 2019. godine u $18^{\text{h}} 16^{\text{min}} 18.1^{\text{s}}$ (UTC), na epicentralnoj udaljenosti od 5.4 km zapadno od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.095^{\circ}\text{N}$ i $\lambda = 15.483^{\circ}\text{E}$. Potres je imao malu magnitudu ($M=0.3$).

Od 1150 potresa iz epicentralnih udaljenosti od 50 do 100 km njih 31 imalo je magnitudu veću ili jednaku 2.0. Seizmička aktivnost je raspoređena u nekoliko aktivnijih područja, sjeverno, zapadno i južno, dok je istočno nešto slabije

izražena seizmička aktivnost, što je vidljivo iz slike 3.10. i slike 3.4. Kao aktivnija područja možemo navesti Žumberak i okolicu Krška u Sloveniji, zaleđe Rijeke i Crikvenice s otokom Krkom, otok Pag i Ličko polje, Zrinsku goru, Sisak i okolicu, okolicu Zagreba.

Najjači dalji lokalni potres bio je magnitude 2.5 i dogodio se 15. srpnja 2019. godine u $1^h 22^{min} 25.4^s$ (UTC) u zaleđu Crikvenice, na epicentralnoj udaljenosti od 63 km zapadno od Slunja, sa zemljopisnim koordinatama epicentra $\varphi = 45.247^\circ\text{N}$ i $\lambda = 14.734^\circ\text{E}$.

Ni tijekom 2019. godine **nije bilo potresa koji su se makroseizmički izraženije manifestirali na širemu području Slunja.**

Proteklih trinaest godina rada seismografa postavljenih na privremenim seismološkim postajama Slunj i Kukača omogućavaju nam donošenje nekih zaključaka. U razdoblju **od 1. siječnja 2007. do 31. prosinca 2019. godine** sveukupno **je locirano 18334 potresa** iz epicentralnih udaljenosti do 100 km od Slunja. Tijekom 2017. godine locirano je najviše potresa, njih 2274. Može se zaključiti 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 unaprijedenja 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 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 Jadrana i Sjevernog Velebita od Rijeke do Senja, zatim u području Žumberak – Brežice – Krško i širem području Novog Mesta u Sloveniji te na Medvednici.

Kako je iz rada seismografa na seismološkoj postaji u Slunju tijekom proteklih 13 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.

Fiket T. et al. (2016):

Poligon OS RH "Eugen Kvaternik" Slunj: Rezultati praćenja lokalne seizmičke aktivnosti u 2015. godini. Geofizički zavod PMF-a, Zagreb.

Fiket T. et al. (2017):

Poligon OS RH "Eugen Kvaternik" Slunj: Rezultati praćenja lokalne seizmičke aktivnosti u 2016. godini. Geofizički zavod PMF-a, Zagreb.

Fiket T. et al. (2018):

Poligon OS RH "Eugen Kvaternik" Slunj: Rezultati praćenja lokalne seizmičke aktivnosti u 2017. godini. Geofizički zavod PMF-a, Zagreb.

Fiket T. et al. (2019):

Poligon OS RH "Eugen Kvaternik" Slunj: Rezultati praćenja lokalne seizmičke aktivnosti u 2018. 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.