
**CORRELATION BETWEEN SEISMOLOGICAL INSTRUMENTS AND SEISMICITY
ON THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF NORTH MACEDONIA IN THE
PERIOD 1957-2018**

Katerina Drogrishka

Seismological Observatory of the Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Ss. Cyril and Methodius University, Skopje, Macedonia, katerinadrogreska@yahoo.com

Jasmina Najdovska

Seismological Observatory of the Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Ss. Cyril and Methodius University, Skopje, Macedonia, najdovskaj@yahoo.com

Dragana Chernih-Anastasovska

Seismological Observatory of the Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Ss. Cyril and Methodius University, Skopje, Macedonia, dchernih@yahoo.com

Abstract: Seismological Observatory performs continuous seismological instrumental monitoring of the entire seismic activity on the territory of Republic of North Macedonia and the bordering areas since its foundation in 1957 until today. The time period from 1957 to 2019 includes three generations of seismic instrumentation installed at the stations of the seismological network where a large number of earthquakes have been recorded. Modern instruments with high sensitivity allow detection of smallest earthquake even with magnitude $M_L \approx 0$ and greater, and increasing the number of seismological stations allow better earthquake parameters determination. Obtained data from the analysis is a good basis for seismic hazard and risk assessment in different areas and entire territory of the Republic, as well as for obtaining seismic zoning map.

Keywords: Earthquake, seismic activity, magnitude.

**КОРЕЛАЦИЈА ПОМЕЃУ СЕИЗМОЛОШКИТЕ ИНСТРУМЕНТИ И
СЕИЗМИЧНОСТА НА ТЕРИТОРИЈА НА РЕПУБЛИКА СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА
ВО ПЕРИОДОТ 1957-2018 ГОДИНА**

Катерина Дрогрешка

Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Природно-Математички Факултет, Сеизмолошка
Опсерваторија, Скопје, Република Македонија

Јасмина Најдовска

Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Природно-Математички Факултет, Сеизмолошка
Опсерваторија, Скопје, Република Македонија

Драгана Черних – Анастасовска

Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Природно-Математички Факултет, Сеизмолошка
Опсерваторија, Скопје, Република Македонија

Резиме: Од самото основање во 1957 година Сеизмолошката Опсерваторија па сè до денес, секојдневно континуирано се врши инструментално набљудување на целокупната сеизмичка активност на територијата на Република Северна Македонија како и пограничните предели. Временскиот период од 1957 – 2019 година, опфаќа промена на три генерации на сеизмолошки инструменти инсталирани на мрежата на сеизмолошки станици на кои се регистрирани голем број на случени земјотреси. Со поставување на современи инструменти со поголема осетливост се овозможи регистрирање на земјотресите со најмала магнитуда почнувајќи од $M_L \approx 0$, а зголемувањето на бројот на сеизмолошките станици овозможи одредување на нивните параметри со поголема точност. Добиените податоци претставуваат добра подлога за одредување на сеизмичкиот hazard и ризик во одделни подрачја на Републиката и на целата нејзина територија, како и за изработка на карта на сеизмичко зонирање на територијата на Републиката.

Клучни зборови: Земјотрес, сеизмичка активност, магнитуда.

1. ВОВЕД

Територијата на Република Северна Македонија има долга геолошка и тектонска историја, во која се вклучени фази на бајкалскиот мегациклус од доцниот протерозоик, како и херцинскиот и алпскиот циклус од фанерозоичкиот мегациклус. Поради тоа на оваа територија се застапени речиси сите видови магматски, седиментни и метаморфни карпи. Денес, во тектонска смисла, е еден од источните делови на Медитеранската област на Алпско-хималајски ороген појас, последица на динамизирањето во времето на постојаната колизија помеѓу трите големи тектонски плочи: Евроазиската, Арапската и Африканската.

Историска и современа сеизмичка активност на територијата на Р. С. Македонија и пограничните предели, според многубројните сеизмолошки истражувања главно е тектонска, со исклучок на извесен број на слаби урвински земјотреси. Оваа тектонска сеизмичка активност се должи главно на активноста на тектонските раседи – тектонски дислокации на лизгање (дислокации со меѓусебно релативно лизање на нивните крила), а концентрирањето на земјотресите е во три главни сеизмогени зони, кои се протегаат надолжно (т.е. приближно долж правецот север–југ) и тоа: Западно–македонска сеизмогена зона, Вардарска сеизмогена зона и Источно–македонска сеизмогена зона.

Взаемноста помеѓу набљудуваната сеизмичност и тектонските карактеристики на територијата на Р. С. Македонија и пограничните предели ги дава сеизмотектонските карактеристики според кои во рамките на сеизмогените зони се јавуваат подрачја во коишто се концентрираат епицентрите на земјотресите – епицентрални подрачја. Развојот на сеизмолошката служба и модернизирањето на сеизмолошките инструменти е во тесна корелација со степенот на сеизмичноста и критериумите за дефинирање на сеизмичките параметри на територијата на Р.С. Македонија и пограничните предели.

2. ИНСТРУМЕНТАЛЕН РАЗВОЈ НА СЕИЗМОЛОШКИТЕ ИНСТРУМЕНТИ ВО СЕИЗМОЛОШКАТА ОПСЕРВАТОРИЈА

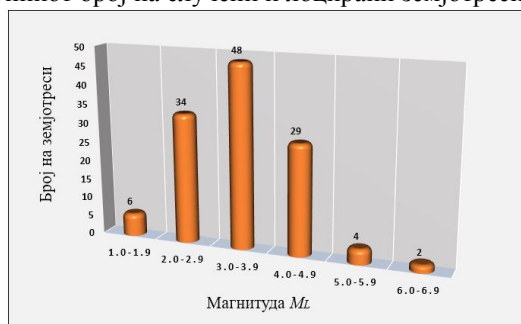
Почетокот на самостојна сеизмолошка служба датира од 1 јули 1957 г., кога започнува и објавувањето на резултатите од сеизмолошките набљудувања. Сеизмолошката станица во периодот до 1967 г., е опремена со сеизмолошки инструменти кои припаѓаат на првата генерација сеизмолошка инструментација – механички сеизмографи, поточно механички сеизмометри, фреквентно ограничени, а на кои е додадена механичка регистрација со игла врз начадена хартија поставена на цилиндар што ротира. Почетокот на 1966 г., се монтираат сеизмолошки инструменти од втората генерација, фреквентно ограничени електромагнетски сеизмометри со галванометриска аналогна регистрација, која пак е изведена со светлински сноп што по одбивањето од огледалце прицврстено на иглата на галванометар врзан со сеизмометарот се регистрира на фотографска хартија. Во 1990 г., започнува инсталирање на сеизмолошка инструментација од третата генерација – современи фреквентно ограничени (пасивни) и фреквентно широкопојасни (активни) електромагнетни сеизмометри со дигитална регистрација. Со истовремено зголемување на бројот на сеизмолошките станици и нивното врзување во телеметриска мрежа со компјутерска аквизиција и обработка на сеизмолошки податоци, се зголемува капацитетот и брзината на детекција на земјотресите од територијата на Републиката и пошироко, како и прецизноста во одредувањето на параметрите на самите земјотреси. Причината е во зголемувањето на прагот на осетливоста на сеизмолошките инструменти, праг на осетливост кој кај третата генерација на сеизмолошка инструментална регистрација е со широки интервали во кој се и земјотресите со Рихтерови магнитуди $M_L \geq 0$. Ова придонесува подобра подлога за попрецизно одредување на сеизмичкиот hazard и следствено, порелевантни кодови на изградба на асеизмички градби, кои пак се трајна заштита на населението од земјотреси.

3. АНАЛИЗА НА СЕИЗМОЛОШКИ ПОДАТОЦИ

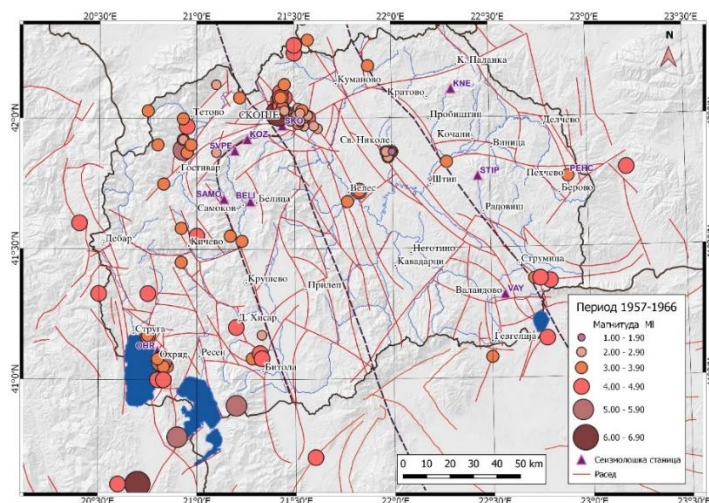
Сеизмичкиот режим на дадена област ја подразбира севкупноста на земјотресите потекнати од таа област, а разгледувани во време и простор. Каталогот на земјотреси претставува еден од основните извори и база на податоци за детална и издржа анализа на сеизмичкиот режим, односно сеизмичноста на разгледуваниот регион. Проучувањето на временската појава и просторната распределба на земјотресите преку соодветни физички и статистички модели овозможува еден вид на веројатносна прогноза за појава на земјотреси со дадена магнитуда во иднина. Применуваниот каталог на земјотреси треба да исполнува два основни услова – временска и просторна хомогеност, во рамките на разгледуваниот временски период и регион. Можноста каталогот да не е временски и просторно хомоген, особено кај послабите земјотреси (земјотреси кои не се идентифицираат од макросеизмички податоци), е последица од развојот на самата сеизмолошка служба и на сеизмолошката инструментација, а особено од непостоењето на сеизмолошки инструменти со висок праг на осетливост. Од вкупно случени и лоцирани 26334 земјотреси, оние со слаби магнитуди доминираат во периодот после 1990 г., веднаш при инсталирање на третата генерација на сеизмолошки инструменти.

Познавањето на временската и просторната распределба на послабите земјотреси укажува на природата на сеизмичкиот режим, на пр., дали акумулираната сеизмичка енергија се ослободува преку рој на мали земјотреси или пак со неколку силни земјотреси. Со тоа суштински се дефинира постапката на планирање во сеизмичките активни региони во сите области на живеење.

Временската и просторната распределба на земјотресите при примената на сеизмолошките инструменти од првата генерација (механички сеизмографи), е претставена на со хистограмска анализа и епицентрална карта. На хистограмската презентација Сл. 1а, дадена е распределбата на земјотресите од разгледуваниот регион за периодот 1957-1966 г., по магнитудни интервали од по еден степен според Рихтеровата скала. Просторната распределба на земјотресите за разгледуваниот период од 1957-1966 г., е претставена на епицентрална карта Сл. 1б. Вкупниот број на случени и лоцирани земјотреси изнесува 123 земјотреси.

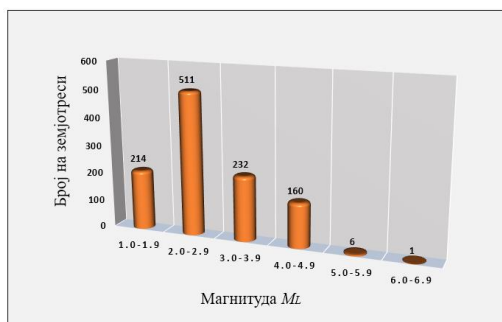


Сл. 1а. Распределба на земјотресите за период 1957-1966 година по магнитуден интервал од еден степен според Рихтеровата скала

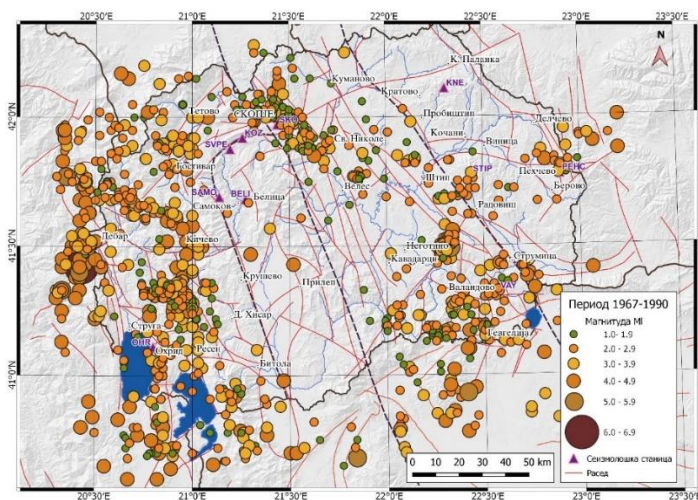


Сл. 1б. Епицентрална карта на земјотресите за период 1957-1966 година

Временската и просторната распределба на земјотресите при примената на сеизмолошките инструменти од втората генерација (електромагнетски сеизмометри со галванометриска аналогна регистрација), е претставена со хистограмска анализа и епицентрална карта. На хистограмската презентација Сл. 2а, дадена е распределбата на земјотресите од разгледуваниот регион за периодот 1967-1990 г., по магнитудни интервали од по еден степен според Рихтеровата скала. Просторната распределба на земјотресите за разгледуваниот период од 1967-1990 г., е претставена на епицентрална карта Сл. 2б. Вкупниот број на случени и лоцирани земјотреси изнесува 1124 земјотреси.

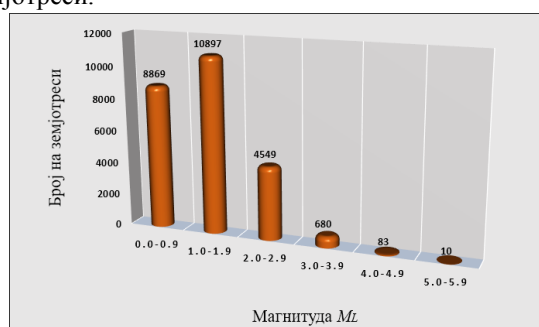


Сл. 2а. Распределба на земјотресите за период 1967-1990 година по магнитуден интервал од еден степен според Рихтеровата скала

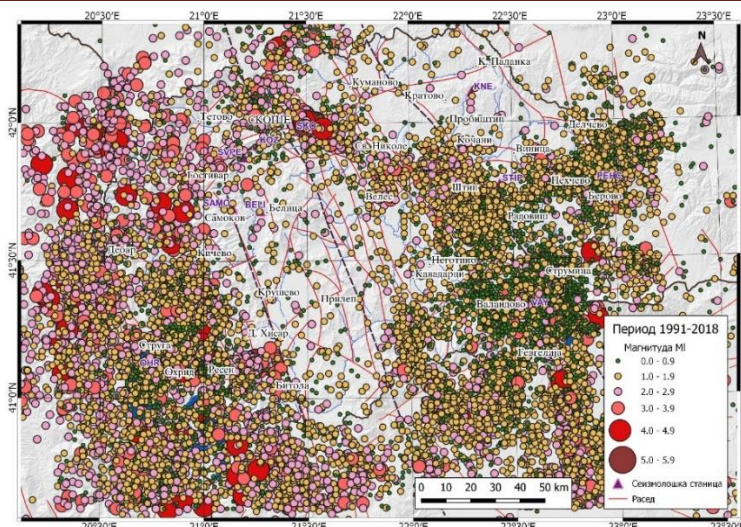


Сл. 2б. Епицентрална карта на земјотресите за период 1967-1990 година

Временската и просторната распределба на земјотресите при примената на сеизмолошките инструменти од втората генерација (електромагнетски сеизмометри со галванометриска аналогна регистрација), е претставена со хистограмска анализа и епицентрална карта. На хистограмската презентација Сл. 3а, дадена е распределбата на земјотресите од разгледуваниот регион за периодот 1991-2018 г., по магнитудни интервали од по еден степен според Рихтеровата скала. Просторната распределба на земјотресите за разгледуваниот период од 1991-2018 г., е претставена на епицентрална карта Сл. 3б. Вкупниот број на случени и лоцирани земјотреси изнесува 25087 земјотреси.



Сл. 3а. Распределба на земјотресите за период 1991-2018 година по магнитуден интервал од еден степен според Рихтеровата скала



Сл. 3б. Епицентрална карта на земјотресите за период 1991-2018 година

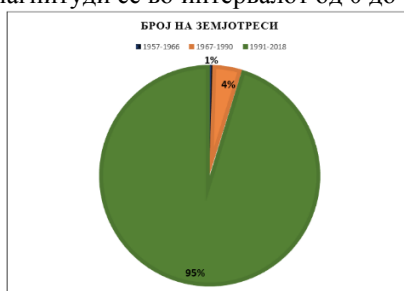
Според горе прикажаната временска и просторна распределба на земјотресите во разгледуваниот регион и период 1957-2018 година, очигледен е порастот на бројот на земјотресите со развојот на сеизмолошката служба и сеизмолошките инструменти. Примената на дигиталните сеизмолошките инструменти, односно дигиталните сеизмографи, кои имаат голем праг на осетливост (регистраат земјотреси со многу слаби локални Рихтерови магнитуди $M_L \geq 0$), го зголемува бројот на регистрираните земјотреси, со што се добива една подетална слика на сеизмичноста на Републиката. Според Слика 1а. и 1б., примената на инструментите од првата генерација на сеизмолошки инструменти (механички сеизмографи), при распон на магнитуден интервал од 0 до 7 степени, не се регистрирани земјотреси со локални Рихтерови магнитуди $M_L \leq 1.0$, но е многу и мал бројот на земјотреси чии локални Рихтерови магнитуди се $M_L \leq 2.0$. Во овој период 1957-1966 г., најчести се земјотресите $3.0 \leq M_L \leq 4.9$. Регистрирани се и земјотреси со локални Рихтерови магнитуди $M_L \geq 6.0$ (првиот случен на 26.05.1960 г., во 05h10min11s UTC, со географски координати на епицентарот $\varphi=40.60^\circ N$ и $\lambda=20.70^\circ E$, со хипоцентрална длабочина $h=13\text{km}$, со локална Рихтерова магнитуда $M_L=6.4$ и со епицентрален интензитет $I_0=IX$ EMS-1998 и вториот случен на 26.07.1963 г., во 04h17min11s UTC, со географски координати на епицентарот $\varphi=42.02^\circ N$ и $\lambda=21.42^\circ E$, со хипоцентрална длабочина $h=15\text{km}$, со локална Рихтерова магнитуда $M_L=6.1$ и со епицентрален интензитет $I_0=IX$ EMS-1998). Според Слика 2, примената на инструментите од втората генерација на сеизмолошки инструменти (електромагнетски сеизмометри со галванометарска аналогна регистрација), при распон на магнитуден интервал од 0 до 7 степени, не се регистрираат земјотреси со локални Рихтерови магнитуди $M_L \leq 1.0$, но е многу поголем бројот на земјотреси чии локални Рихтерови магнитуди се $M_L \leq 2.0$, дури 214. Во овој период 1967-1990 г., најчести се земјотресите $3.0 \leq M_L \leq 4.9$. Регистриран е и земјотрес со локална Рихтерова магнитуда $M_L \geq 6.0$, случен на 30.11.1967 г., во 07h23min50s UTC, со географски координати на епицентарот $\varphi=41.42^\circ N$ и $\lambda=20.43^\circ E$, со хипоцентрална длабочина $h=20\text{km}$, со локална Рихтерова магнитуда $M_L=6.5$ и со епицентрален интензитет $I_0=IX$ EMS-1998. Според Слика 3, примената на инструментите од третата генерација на сеизмолошки инструменти (дигитални сеизмографи со дигитална регистрација), при распон на магнитуден интервал од 0 до 7 степени, се регистрираат земјотреси со локални Рихтерови магнитуди $M_L \leq 1.0$, дури 8869 земјотреси, но е многу поголем и бројот на земјотреси чии локални Рихтерови магнитуди се $M_L \leq 2.0$, 10897. Во овој период 1991-2018 г., најчести се земјотресите чии магнитуди имаат распон $0.0 \leq M_L \leq 3.9$. Земјотрес со локална Рихтерова магнитуда $M_L \geq 6.0$ не е регистриран.

На Слика 4 прикажан е бројот на регистрираните и лоцирани земјотреси од разгледуваниот регион и период 1957-2018. Очигледно е растење на бројот на земјотресите во текот на годините, дури 95% после инсталирањето на третата генерација на сеизмолошки инструменти, припаѓа на случените и лоцирани земјотреси во разгледуваниот период 1957-2019 г., што е во директна корелација со развојот на сеизмолошката служба и развојот на сеизмолошките инструменти.

4. ЗАКЛУЧОК

На основа на епицентралните карти на територијата на Република Северна Македонија и блиските погранични подрачја со сите случени и лоцирани земјотреси во периодот 1957-2018 година, исцртани на

основа на годишните каталози на земјотресите во Сеизмолошката опсерваторија, се врши анализа на целокупната сеизмичност (временска и просторна) и нејзина корелација со развојот на сеизмолошките инструменти и сеизмолошката служба. Според сите овие податоци вкупниот број на случени и лоцирани земјотреси чии локални Рихтерови магнитуди се во интервалот од 0 до 7, изнесува 26334 земјотреси.



Сл.4. Број на регистрирани и лоцирани земјотреси за разгледуваниот регион и период 1957-2019 година

Од хистограмските анализи, во ова истражување, следува дека постои нерамномерен прираст на земјотресите, односно забележливо е изразито голем број на регистрирани и лоцирани земјотреси, дури 25087 земјотреси (95% од вкупниот број), со инсталирањето на третата генерација на сеизмолошки инструменти. Од нив 8869 земјотреси се со локални Рихтерови магнитуди $M_L \leq 1.0$. Тоа се слаби земјотреси чии што регистрациите многу зависат од осетливоста на употребуваните сеизмографи, т.е. од прагот на осетливост на инструментот.

Согласно со ова, периодот на којшто се однесува ова истражување, од 1957-2018 г., опфаќа регистрација на земјотреси со сите генерации на сеизмошката инструментација. Така и горенаведените регистрирани и лоцирани послаби земјотреси не се никако и сите случени послаби земјотреси на територијата на Република Северна Македонија и блиските пограничните подрачја, т.е. одраз се на неизбежната временска нехомогеност на начините на регистрација. Сепак познавањето на временската и просторна распределба на сите земјотреси (слаби, умерено силни и силни земјотреси), укажува на природата на сеизмичкиот режим, кој суштински ја дефинира постапката на планирање во сеизмичките активни региони во сите области на живеење.

ЛИТЕРАТУРА

- Арсовски, М., (1996), *Тектоника на Македонија*, Штип, Рударско-геолошки факултет.
- Арсовски, М. и Петковски, Р., (1975), *Неотектоника на Социјалистичка Република Македонија*, Скопје, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Институт за земјотресно инженерство и инженерска сеизмологија, Публикација бр.49.
- Дрогрешка К., (2018), *Примена на теоријата на дислокации во дефинирањето на епицентралните подрачја и тектонските услови на територијата на Република Македонија*, докторска дисертација, Сеизмолошка опсерваторија при Природно-математички факултет, Скопје.
- Дрогрешка К., Најдовска, Ј., Черних-Анастасовска, Д., (2018), *Серијата тектонски земјотреси од епицентралното подрачје Пеитани-Охрид-Струга во јули 2017 година*, Зборник на предавања од 42 Школа Млади физичари, стр. 51-58, (ISBN 978-608-4711-07-0).
- Јордановски, Љ., Пекевски, Л., Чејковска, В., Черних, Д., Христовски, Б. и Василевски, Н., (1998), *Основни карактеристики на сеизмичноста на територијата на Република Македонија*, Скопје Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Природно-математички факултет, Сеизмолошка опсерваторија.
- Најдовска, Ј., Дрогрешка, К., Черних-Анастасовска, Д., (2018), *Сеизмолошка опсерваторија-Сеизмички мониторинг и обработка на податоци*, стр. 274-283, Зборник на трудови за технологија на подземна и површинска експлоатација на минерални сировини (ISBN 978-608-242-019-6).
- Чејковска, В., Пекевски, Л., Дрогрешка, К., Најдовска, Ј., (2016), *Извештај по проектот на Институтот за стандардизација на Република Македонија со наслов „Национални анекси на Еврокодвите“*, Скопје, универзитет „Св. Кирил и Методиј“, ПМФ, Сеизмолошка опсерваторија.
- Dumurdzanov, N., Serafimovski, T. and Burchfiel, C. B. (2005), Cenozoic tectonics of Macedonia and its relation to the South Balkan extensional regime. *Geosphere*.
- SORM – Сеизмолошка опсерваторија при Природно-математичкиот факултет во Скопје, *Каталози на земјотресите во Република Северна Македонија и пограничните подрачја за годините 1901–2018*, Фонд на Сеизмолошката опсерваторија при Природно-математичкиот факултет–Скопје.
- Ѓејковска, В., Черних, Д., Дрогрешка, К., Најдовска, Ј., (2013), *Seismicity of the Skopje area*, Seismological opservatory, SE-50EE 1963-2013. (Институт за земјотресно инженерство и инженерска сеизмологија ИЗИИС- Скопје).