



УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ

UNIVERSITY OF BANJA LUKA

АРХИТЕКТОНСКО-ГРАЂЕВИНСКО-ГЕОДЕТСКИ ФАКУЛТЕТ

**АНАЛИЗА GNSS СТАНИЦЕ SRJV00ВІН И СЕИЗМИЧКЕ
АКТИВНОСТИ НА РАСЈЕДИМА
МАСТЕР РАД**

Ментор

Доц. др Сања Туцикешић

Кандидат:

Слађана Станишић, 12МГЕО/21

Бања Лука, 2024. године



УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ
UNIVERSITY OF BANJA LUKA

АРХИТЕКТОНСКО-ГРАЂЕВИНСКО-ГЕОДЕТСКИ ФАКУЛТЕТ
FACULTY OF ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING AND GEODESY



**АНАЛИЗА GNSS СТАНИЦЕ SRJV00ВІН И СЕИЗМИЧКЕ
АКТИВНОСТИ НА РАСЈЕДИМА
МАСТЕР РАД**

Ментор:

Доц. др Сања Туцикешић

Кандидат:

Слађана Станишић, 12МГЕО/21

Бања Лука, 2024. године



УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ
UNIVERSITY OF BANJA LUKA

АРХИТЕКТОНСКО-ГРАЂЕВИНСКО-ГЕОДЕТСКИ ФАКУЛТЕТ
FACULTY OF ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING AND GEODESY



**ANALYSIS OF GNSS STATION SRJV00BIH AND SEISMIC
ACTIVITY ON FAULTS**
MASTER THESIS

Mentor:
Doc. dr Sanja Tucikešić

Candidate:
Slađana Stanišić, 12MGEO/21

Banja Luka, 2024



УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ
UNIVERSITY OF BANJA LUKA

АРХИТЕКТОНСКО-ГРАЂЕВИНСКО-ГЕОДЕТСКИ ФАКУЛТЕТ
FACULTY OF ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING AND GEODESY



Ментор: Доц. др Сања Туцикешаћ, дипл. инж. геод.

Наслов мастер рада: Анализа GNSS станице SRJV00BIH и сеизмичке активности на расједима

Резиме:

Овај мастер рад бави се анализом временских серија GNSS координата са станице SRJV00BIH и њиховом повезаношћу са сеизмичком активношћу дуж кључних расједа у Босни и Херцеговини. Коришћењем података прикупљених са GNSS станице, временских серија GNSS координата, истражена је могућност откривања тектонских помјерања у контексту специфичних земљотреса који су се догодили одређеног дана. Та сеизмичка активност повезује се са подацима прикупљених са GNSS станице. Ово укључује интеракцију GNSS података са сеизмичким догађајима средњих магнитуда ради идентификације потенцијалних деформација које прате земљотрес. Праћењем ових података открива се да ли је дошло до помјерања тла или деформација у периоду за вријеме земљотреса. Методологија укључује употребу алата TSAAnalyzer за анализу дугорочних трендова и сезонских промјена у координатама, чиме су идентификоване флукуације које су потенцијално повезане са сеизмичком активношћу. Резултати су показали постојање одређених образаца у промјенама координата које се поклапају са сеизмичким догађајима на расједима у регији, што сугерише да GNSS станице могу послужити као додатни алат за праћење геодинамичких појава и побољшање прецизности сеизмичког мониторинга. Предложена су даља истраживања у циљу побољшања тачности детекције и интеграције GNSS мрежа у регионалне системе раног упозоравања. Полазна хипотеза рада је да постоји јасна корелација између промјена у GNSS координатама и сеизмичке активности на локалним расједима.

Abstract:

This master's thesis focuses on analyzing GNSS coordinate time series from the SRJV00BIH GNSS station and their connection with seismic activity along key faults in Bosnia and Herzegovina. By utilizing data collected from the GNSS station, including the GNSS coordinate time series, the study explores the possibility of detecting tectonic movements in the context of specific earthquakes that occurred on particular days. The seismic activity is correlated with the data gathered from the GNSS station. This includes the interaction of GNSS data with seismic events of moderate magnitudes to identify potential deformations associated with earthquakes. By tracking this data, we aim to determine whether ground displacement or deformation occurred during the period of the earthquake. The methodology involves using the TSAlyzer tool to analyze long-term trends and seasonal changes in the coordinates, identifying fluctuations potentially linked to seismic activity. The results revealed certain patterns in the coordinate changes that align with seismic events along the faults in the region, suggesting that GNSS stations can serve as an additional tool for monitoring geodynamic phenomena and improving the precision of seismic monitoring. Further research is proposed to improve the accuracy of detection and the integration of GNSS networks into regional early warning systems. The starting hypothesis of this work is that there is a clear correlation between changes in GNSS coordinates and seismic activity on local faults.

Кључне ријечи: Глобални навигациони сателитски системи, сеизмичка активност, временске серије, тло деформација, расједи, Босна и Херцеговина, TSAlyzer.

Keywords: Global navigation satellite systems, seismic activity, time series, ground deformation, faults, Bosnia and Herzegovina, TSAlyzer.

Научна област: Геодетски референтни системи

Научно поље: Геодезија

Класификациона ознака: P 515

Тип одабране лиценце Креативне заједнице: CC BY-NC



УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ
UNIVERSITY OF BANJA LUKA

АРХИТЕКТОНСКО-ГРАЂЕВИНСКО-ГЕОДЕТСКИ ФАКУЛТЕТ
FACULTY OF ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING AND GEODESY



ЗАДАТАК ЗА МАСТЕР РАД

Предмет: Геодетска геодинамика

Ментор: Доц. др Сања Туцикешаић, дипл. инж. геод.

Кандидат: Слађана Станишић, дипл. инж. геод.

ТЕМА: АНАЛИЗА GNSS СТАНИЦЕ SRJV00BIH И СЕИЗМИЧКЕ АКТИВНОСТИ НА РАСЈЕДИМА

Задатак мастер рада на тему „Анализа GNSS станице SRJV00BIH сеизмичке активности на расједима“ представља праћење и процјену сеизмичке активности која је повезана са расједима у региону. Рад је конципиран у седам поглавља:

Прво поглавље обухвата уводна разматрања о значају праћења сеизмичких активности и улози GNSS технологије у мониторингу тектонских покрета. Посебан фокус је на станици SRJV00BIH, која је од кључног значаја за праћење промјена у региону. Полазна хипотеза истраживања јесте да постоји јасна корелација између података добијених са GNSS станице и сеизмичке активности на локалним расједима. Циљ истраживања је да се утврди у којој мјери се могу детектовати деформације терена које претходе значајним сеизмичким догађајима и како GNSS подаци могу помоћи у бољем разумијевању активности расједа.

Друго поглавље се фокусира на теме као што су геотектонска теорија и тектонски покрети, који су кључни за разумијевање сеизмичких активности у региону. Обрађују се основе сеизмологије, са нагласком на специфичне сеизмичке карактеристике подручја Босне и Херцеговине. Ово поглавље обухвата и детаљан опис расједа у овом региону.

Треће поглавље даје детаљан преглед глобалних навигационих сателитских система, објашњавајући принципе позиционирања као што су аутономно позиционирање, прецизно апсолутно позиционирање (PPP) и диференцијално позиционирање. Наведена је примјена различитих GNSS система (GPS, GLONASS, BEIDOU, GALILEO) у геодинамици, са посебним нагласком на улогу GNSS технологије у праћењу тектонских покрета и потенцијалним примјенама у сеизмичком мониторингу.

Четврто поглавље разматра временске серије као кључни алат за анализу GNSS података. Даје објашњење како временске серије могу открити трендове, периодичне варијације и аномалије у GNSS координатама. Поглавље укључује дефиницију временских серија, врсте (детерминистичке и стохастичке), као и методе анализе које се користе за откривање аномалија које могу указивати на пораст сеизмичке активности у одређеном подручју.

Пето поглавље представља практичну примјену теоријских знања. Овдје се обрађују подаци прикупљени са GNSS станице SRJV00BIH и анализирају се временске серије координата како би се откриле промјене које могу указивати на тектонске покрете и потенцијалне земљотресе. Подаци се обрађују уз помоћ софтверског алата TSAAnalyzer за анализу временске серије GNSS координата. Циљ овог поглавља је да покаже да ли се могу детектовати значајне промјене у координатама станице у периоду за вријеме сеизмичких догађаја просјечних магнитуда.

Шесто поглавље сумира кључне налазе истраживања. Разматра се у којој мјери су потврђене хипотезе на основу анализе временских серија и GNSS података. Закључци укључују препоруке за даља истраживања, као и могућности примјене добијених резултата за рано упозоравање на земљотресе.

Рад је резултат самосталног истраживања кандидата, који је реализован уз стручну помоћ предметног наставника и сарадника. Резултати овог истраживања могу имати практичне импликације за праћење сеизмичких активности у региону и унапређење система за заштиту од земљотреса.

Предметни наставник:

Доц. др Сања Туцикешић, дипл. инж. геод.

Бања Лука, 2024. године.

САДРЖАЈ

I ТЕОРИЈСКО – ХИПОТЕТИЧКИ ДИО РАДА	1
1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА	1
1.1. ПРОБЛЕМ И ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА	4
1.2. ХИПОТЕЗЕ СА ОБРАЗЛОЖЕЊЕМ.....	5
1.3. ЦИЉЕВИ И ЗАДАЦИ ИСТРАЖИВАЊА.....	5
1.4. МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА	6
2. ГЕОДЕТСКА ГЕОДИНАМИКА	8
2.1. ГЕОТЕКТОНСКА ТЕОРИЈА И ТЕКТОНСКИ ПОКРЕТИ	10
2.2. СЕИЗМОЛОГИЈА.....	12
2.2.1. СЕИЗМОЛОГИЈА БОСНЕ И ХЕРЦЕГОВИНЕ.....	13
2.2.2. СЕИЗМОЛОГИЈА РЕПУБЛИКЕ СРПСКЕ	16
2.2.3. БАЊАЛУЧКО СЕИЗМОГЕНО ПОДРУЧЈЕ	20
2.3. РАСЈЕДИ.....	21
3. ГЛОБАЛНИ НАВИГАЦИОНИ САТЕЛИТСКИ СИСТЕМИ.....	24
3.1. КОНЦЕПТ GNSS ПОЗИЦИОНИРАЊА.....	26
3.2. ТИПОВИ GNSS ПОЗИЦИОНИРАЊА	28
3.2.1. АУТОНОМНО ПОЗИЦИОНИРАЊЕ	29
3.2.2. ПРЕЦИЗНО АПСОЛУТНО ПОЗИЦИОНИРАЊЕ PPP (ЕНГЛ. PRECISE POINT POSITIONING).....	29
3.2.3. ДИФЕРАНЦИЈАЛНО ПОЗИЦИОНИРАЊЕ	30
3.2.4. РЕЛАТИВНО ПОЗИЦИОНИРАЊЕ	31
3.3. ПОДЈЕЛА И ПРИМЈЕНА GNSS СИСТЕМА	33
3.3.1. ГЛОБАЛНИ ПОЗИЦИОНИ СИСТЕМ GPS.....	33
3.3.2. ГЛОБАЛНИ НАВИГАЦИОНИ САТЕЛИТСКИ СИСТЕМ GLONASS	35
3.3.3. ГЛОБАЛНИ НАВИГАЦИОНИ САТЕЛИТСКИ СИСТЕМ BEIDOU	38
3.3.4. ГЛОБАЛНИ НАВИГАЦИОНИ САТЕЛИТСКИ СИСТЕМ GALILEO.....	39

3.4. GNSS У ГЕОДИНАМИЦИ	41
4. ВРЕМЕНСКЕ СЕРИЈЕ	44
4.1. ДЕФИНИЦИЈА И ВРСТЕ ВРЕМЕНСКИХ СЕРИЈА	44
4.2. ЦИЉЕВИ И ПРИСТУПИ АНАЛИЗЕ ВРЕМЕНСКИХ СЕРИЈА	45
4.3. АНАЛИЗА ВРЕМЕНСКИХ СЕРИЈА GNSS КООРДИНАТА	47
II ПРАКТИЧНИ ДИО РАДА	51
5. МОДЕЛОВАЊЕ ВРЕМЕНСКИХ СЕРИЈА GNSS КООРДИНАТА	51
5.1. ПОДРУЧЈЕ ИСТРАЖИВАЊА	51
5.2. ОБРАДА И АНАЛИЗА ПОДАТАКА	53
5.3. АНАЛИЗА ДОБИЈЕНИХ РЕЗУЛТАТА	54
6. ЗАКЉУЧАК	63
7. ЛИТЕРАТУРА	66
8. СПИСАК ПРИЛОГА	70
КРАТКА БИОГРАФИЈА АУТОРА	84

СПИСАК СКРАЋЕНИЦА И АКРОНИМА

GNSS	- Global Navigation Satellite Systems
ACS	- Active Control Station
MEO	- Medium-altitude Earth Orbit
IGSO	- Inclined GeoSynchronous Orbit
GEO	- GEostationary Orbits
PRN	- PseudoRandom Noise
PPS	- Precise Positioning Service
SPS	- Standard Positioning Service
BPSK	- Binary Phase Shift Keying
GPS	- Global Positioning System
FBSR	- FeedBack Shift Register
DOP	- Dilution of Precision
RMS	- Root Mean Square
PCV	- Phase Center Variations
IWV	- Integrated Water Vapor
DD	- Double Difference
IGS	- International GPS Service
JPL	- Jet Propulsion Laboratory
RTK	- Real-Time Kinematic
FM	- Frequency Modulation
NTRIP	- Network Transportation of RTCM Internet Protocol
SSR	- State Space Representation
IERS	- International Earth Rotation and Reference Systems
IAU	- International Astronomical Union
IUGG	- International Union of Geodesy and Geophysics
TRS	- Terrestrial Reference System
CTP	- Conventional Terrestrial Pole
TRF	- Terrestrial Reference Frame
VLBI	- Very Long Baseline Interferometry
SLR	- Satellite Laser Ranging
DORIS	- Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite

EUREF	- European Reference Organisation for Quality Assured Breast Screening and Diagnostic Services
ICRF	- International Celestial Reference Frame
ICRS	- International Celestial Reference System
ITRF	- International Terrestrial Reference Frame
ILRS	- International Laser Ranging Service
IAG	- International Association of Geodesy
ITRS	- International Terrestrial Reference System
EOP	- Earth Orientation Parameters
CNES	- Centre National d'Études Spatiales
IGN	- Institut Géographique National
GRGS	- Groupe de Recherches de Géodésie Spatiale
BIH	- Bureau International de l'Heure
NNR	- No-Net-Rotation
ETRS89	- European Terrestrial Reference System 89
CRS	- Celestial Reference System
CRF	- Celestial Reference Frame
GCRS	- Geocentric Celestial Reference System
NCP	- North Celestial Pole
NEP	- North Ecliptic Pole
WGS84	- World Geodetic System 1984
OCS	- Operational Control Segment
CODE	- Centre for Orbit Determination in Europe
NGS	- National Geodetic Survey
NIMA	- National Imagery and Mapping Agency
GGOS	- Global Geodetic Observing System
LOD	- Length-Of-Day
CEP	- Celestial Ephemeris Pole
VTEC	- Vertical Total Electron Content
IONEX	- IONosphere EXchange
CORS	- Continuously Operating Reference Station
IPA	- Instrument for Pre-Accession Assistance
LSM	- Least Square Method
GB	- Governing Board

CB	- Central Bureau
ACs	- Analysis Centers
DCs	- Data Centers
WGs	- Working Groups
ARIMA	- Autoregressive Integrated Moving Average
GARCH	- Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity
IQR	- Interquartile Range

СПИСАК СЛИКА

Слика 1.	Процес тектонике плоча [9].....	11
Слика 2.	Дио свјетске карте са правцима хоризонталних напона [16].....	15
Слика 3.	Карта откривених и претпостављених главних и регионалних расједа [16]	16
Слика 4.	Сеизмолошка мрежа Републике Српске [17]	17
Слика 5.	Акцелерометарска мрежа Републике Српске [17].....	19
Слика 6.	Типови расједа према карактеру релативног кретања [56].....	22
Слика 7.	Геодетске технике VLBI, SLR и DORIS [8]	25
Слика 8.	Основни принцип мјерења псеудодужина [25].....	27
Слика 9.	Принцип трилатерације [26].	28
Слика 10.	Принцип диференцијалног позиционирања [26].....	31
Слика 11.	Релативно статичко позиционирање [31].....	32
Слика 12.	Релативно кинематичко GPS позиционирање [31]	33
Слика 13.	Типична пројечна тачност различитих метода позиционирања [26]	33
Слика 14.	Констелација GPS сателита [32]	35
Слика 15.	Констелација GLONASS система [26]	36
Слика 16.	Развој констелације GLONASS [25]	37
Слика 17.	Изглед GLONASS сателита: GLONASS-M (горе), GLONASS-K (доле).	37
Слика 18.	Констелација BeiDou сателита [44]	39
Слика 19.	Констелација Galileo сателита [47].....	40
Слика 20.	Galileo земаљска станица [48]	41
Слика 21.	Развој континуираних GNSS мрежа [25].....	42
Слика 22.	Типови временских серија: а) константан процес, б) процес са трендом, в) серија са цикличним варијацијама, г) серија са сезонским варијацијама [55]	45
Слика 23.	Антенa TRM57971 на димњаку Грађевинског факултета у Сарајеву [65] ...	51
Слика 24.	Антенa TRM57971 на димњаку Грађевинског факултета у Сарајеву [65] ...	51
Слика 25.	Локација GNSS станице SRJV00BIH [65].....	52
Слика 26.	Позиције временских серија [65]	53
Слика 27.	Приказ земљотреса и расједа у околини станице SRJV00BIH	54
Слика 28.	Приказ земљотреса и расједа у околини станице SRJV00BIH	55
Слика 29.	Приказ слабе корелације између косеизмичког вертикалног помјерања GNSS станице и магнитуде земљотреса, као и удаљености од станице.....	59

Слика 30. Приказ анализе односа између хоризонталног косеизмичког помјерања GNSS станице и магнитуде земљотреса као и удаљености од станице.....60

СПИСАК ТАБЕЛА

Табела 1. Детаљни подаци о дигиталним аутоматским станицама сеизмолошке мреже Републике Српске [17].....	17
Табела 2. Детаљни подаци о станицама акцелерометарске мреже Републике Српске [17].....	19
Табела 3. Карактеристике GNSS система [24]	25
Табела 4. Приказ дубине, магнитуде и удаљености од GNSS станице SRJV00BIN за сеизмичке догађаје	56
Табела 5. Приказ интервала временских серија, број епоха и WRMS прије и након чишћења.....	57
Табела 6. Приказ брзине кретања временских серија по компонентама и косеизмичког помјерања по компонентама	58

I ТЕОРИЈСКО – ХИПОТЕТИЧКИ ДИО РАДА

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

Литосфера је вањски чврсти слој Земљине површине, састављен од стијена и тла. Подложен је геолошким процесима попут ерозије, вулканизма и тектонике плоча. Ова слојевита структура кључна је за разумијевање обликовања Земље. Литосфера се дијели на континенталну и океанску литосферу.

Литосфера се састоји од седам главних тектонских плоча, неколико регионалних плоча и микроплоча које чине још финију подјелу литосфере.

Моделовање тектонских помјерања је мултидисциплинаран задатак који се односи на проучавање геолошких процеса, физичких својстава стијена, механизма деформације тектонских помјерања и узајамног дјеловања између литосферних плоча.

Развој геодетских техника мјерења омогућио је регистровање помјерања и брзина кретања литосферних плоча. Опажањем координата и њихових промјена у току времена за велики број станица широм Земље, могу се измјерити брзине кретања литосферних плоча.

Геодетска мјерења у сеизмологији су врло захтјевна и од велике важности за разумијевање процеса на границама плоча, јер подаци о површинским деформацијама помажу у проналажењу нове прерасподјеле клизања која може узроковати површинска помјерања. Тектонска геодезија је грана геодезије и геофизике која има значајну примјену у геонауци. Она је интердисциплинарна област која проучава тектонску активност коре и њену основну кинематику користећи геодетске методе мјерења као што су GNSS (енгл. Global Navigation Satellite Systems – глобални навигациони сателитски системи) и SLR (енгл. Satellite Laser Ranging – Сателитски ласерски радари).

Тема овог мастер рада је „Анализа GNSS станице SRJV00BIN и сеизмичке активности на расједима“. Резултат континуираних GNSS мјерења представљају временске серије GNSS координата. У вези са тим, у уводним разматрањима, детаљније ће се описати GNSS технологија и значај континуираних мјерења GNSS станица.

Глобални навигациони сателитски системи имају широку примјену у геодинамичким истраживања, укључујући студије помјерања тектонских плоча и деформација границе плоча, земљотресе и сеизмологију, вулканске деформације, и друге геодинамичке појаве.

Почетком деведесетих година двадесетог вијека, примјеном GNSS технологије, почеле су се развијати континуиране GNSS мреже, помоћу којих су праћене деформације Земљине коре. Овакве мреже су развијане примарно за мјерење деформација везаних за тектонске процесе.

GNSS технологија прати кретања Земљине коре и њене деформације са високом прецизношћу током краћих просторних и временских периода. Временске серије GNSS координата се најчешће користе за геофизичка истраживања и показале су се корисним у истраживању циклуса сеизмичких деформација који се односе на читав сеизмички циклус. Појам сеизмички циклус се односи на посматрање земљотреса прије, за вријеме и послје његовог настанка.

Босна и Херцеговина се по географском положају налази у југоисточној Европи, на Балканском полуострву. Укупна површина БиХ износи 51209.2 km^2 , док је дужина државне границе БиХ са сусједним земљама (Хрватска, Србија и Црна Гора) 1538 km. Тектонска грађа Босне и Херцеговине карактерише комплексна геолошка структура која укључује различите тектонске јединице. Босна и Херцеговина налази се унутар динарског система, који је резултат судара Афричке и Евроазијске тектонске плоче. Овај судар довео је до стварања многих високих планинских ланаца. На територији БиХ постоје бројни расједи као резултат тектонских процеса. Расједи су фактор који утиче на сеизмичку активност у земљи. На неким подручјима, присутно је прегинање литосфере, односно долази до деформације Земљине коре услед дјеловања тектонских сила, што доводи до специфичних геоморфолошких карактеристика тог подручја.

Расједи су пукотине у литосфери узроковане напрезањима која настају када се дијелови плоче (или двије плоче) крећу у различитим смјеровима.

Подјела расједа може се извести према њиховој дубини или величини. Расједи се обично дијеле на расједе првог, другог и трећег реда. Расједи првог реда су највећи и обично су повезани с границама тектонских плоча. Они су одговорни за веће земљотресе и друге тектонске активности на глобалном нивоу. Расједи другог реда су мањи од расједа првог реда, али су свакако значајни. Често су повезани са мањим тектонским плочама унутар већих тектонских структура или са локалним тектонским деформацијама. Расједи трећег реда су најмањи и обично су локални. Они су повезани са мањим тектонским структурама или локалним геолошким карактеристикама. Могу бити важни за локалну сеизмичку активност и ризике од мањих земљотреса.

Такође, постоји велики број различитих типова расједа, али се већина може подијелити у три категорије: расједи клизања (енгл. strike-slip faults), нормални расједи (енгл. normal faults) и трансверзални расједи (енгл. thrust faults). Класификација расједа зависи од угла пада (угла који расједна површина прави са хоризонтом) и смјера клизања (смјера помјерања блокова дуж расједне површине). Ова два фактора омогућавају идентификацију и описивање различитих врста расједа. Расједи који се помјерају хоризонтално познати су као расједи клизања и класификовани су као десни расјед или лијеви расјед, на којем два блока клизе један поред другог. Расједи који се крећу дуж смјера нагибне равни су расједи проклизавања и описују се као нормални или реверзни расједи, зависно од њиховог кретања. Код ових расједа су блокови углавном вертикално помјерени. Ако се стијенска маса изнад нагнутог расједа помјера ка доле, расјед се назива нормалним, а ако се стијена изнад расједа помјера ка горе, расјед се назива реверзним расједом. Нормални расјед је расјед у којем се блок изнад расједа помјерио према доле у односу на блок испод. Ова врста расједа јавља се као одговор на проширење и често се уочава дуж система океанских гребена. Трансверзални расјед је расјед у којем се горњи блок, изнад равни расједа, помјера горе и преко доњег блока. Ова врста расједа је уобичајена у подручјима компресије, у регијама гдје се једна плоча спушта под другу. Када је угао нагиба мали, реверзни расјед се често назива трансверзални расјед.

Сеизмичка активност у Босни и Херцеговини није једнако распоређена широм земље, већ се концентрише у одређеним зонама које су познате по већој активности. Јужни дио БиХ, који обухвата вањске Динариде, познат је по значајној сеизмичкој активности. Подручје Мостара, Чапљине и околна подручја, често су погођена земљотресима. Расјед који се протеже кроз јужни и сјеверозападни дио БиХ, познат је по бројним земљотресима који су се десили у прошлости. Зона око Сарајева често је регистровала значајне сеизмичке догађаје. Подручје око града Бања Лука, такође је познато по регистрованој сеизмичкој активности.

На основу података о сеизмичности БиХ, може се закључити да највећа учесталост земљотреса је на подручју Херцеговине (граница Хрватске) и на подручју града Бања Лука. У Бањој Луци, Дервенти и Тузли, у последњих 25 година, дошло је до повећања сеизмичне активности. На подручју Дрине (Прача, Вишеград, Сребреница, Зворник) забиљежени су земљотреси са најмањом дубином, а са највећом на сјеверозападу и западу БиХ.

Глобални навигациони системи у реалном времену и анализа расједа играју кључну улогу у разумијевању геодинамичких процеса.

Ово истраживање има за циљ да истражи везу између GNSS координата станице SRJV00BIH и сеизмичке активности на расједима, са посебним фокусом на уже подручје око GNSS станице SRJV00BIH.

Покривеност сеизмичким сензорима је такође изузетно лоша. Један стогодишњи аналогни и неколико недавно инсталираних сеизмометара недовољни су за регију која показује благу до високу сеизмичку активност. Потребна су значајна улагања како би се успоставиле или побољшале GNSS, сеизмичке и друге мреже са сензорима.

1.1. ПРОБЛЕМ И ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА

Геодинамичка истраживања су напредовала са развојем GNSS технологије. Велики значај за геодинамичка истраживања имају временске серије GNSS координата, посебно континуирана GNSS мјерења. Анализе временских серија GNSS координата се примјењују за проучавање кретања тектонских плоча и деформација Земљине коре, које настају као посљедица земљотреса, вулкана и других геофизичких појава.

Истраживање сеизмичког циклуса уско је повезано са анализом деформација Земљине коре и анализом тектонских помјерања која се може извршити на основу временских серија GNSS координата.

Сеизмичност Земљине коре могла би да има велики утицај на инжењерску инфраструктуру. Она може оштетити објекте или изазвати катастрофу. GNSS би могао да пружи корисне информације о деформацији Земљине коре, што доприноси бољем разумијевању појаве површинских напона. Активност земљотреса је уско повезана са динамиком великих тектонских плоча.

Деформације изазване земљотресом представљају битне информације за дефинисање сеизмогених зона. Да би се измјерила брзина деформисања Земљине коре између, током и после земљотреса, морају се извршити прецизна мјерења на самом расједу или на систему повезаних активних расједа. У Босни и Херцеговини је ниска просторна густина GNSS станица, које се користе у савременим геодинамичким студијама. Перманентна GNSS станица SRJV00BIH, инсталирана на Грађевинском факултету у Сарајеву, једина је стална GNSS станица у региону, која је дио ЕУРЕФ (енг. European Reference Frame) перманенте GNSS мреже и у том сегменту има ажурне доступне временске серије из GNSS координата.

Дакле, предмет овог мастер рада представља анализа GNSS временске серије станице SRJV00BIH током времена и корелација са сеизмичким активностима на расједима.

Ово истраживање има за циљ да испита везу између сеизмичких догађаја и промјена у GNSS координатама станице SRJV00BIH, како би се дубље разумјели процесе који леже у основи ових догађаја.

Истраживање ће се састојати из анализе временских серија GNSS координата станице SRJV00BIH у периодима прије, за вријеме и после сеизмичких догађаја. Такође, кориштене геодетске технике за прецизно одређивање промјена координата и да би се те промјене анализирале у контексту сеизмичке активности на подручју истраживања.

1.2. ХИПОТЕЗЕ СА ОБРАЗЛОЖЕЊЕМ

Када је научни проблем постављен и јасно дефинисан, у процесу тражења крајњег рјешења, почетна тачка налази се у пробном рјешењу. Употреба хипотеза у рјешавању проблема представља један од најзначајнијих методолошких поступака.

У оквиру мастер рада постављене су следеће хипотезе:

- **Општа хипотеза:** Временска серија GNSS координата станице SRJV00BIH показује значајне промјене у позицијама у простору током времена, које су у вези са сеизмичким активностима на расједима;
- **Алтернативна хипотеза:** Промјене у временској серији GNSS координата станице SRJV00BIH имају статистички значајну корелацију са учесталошћу и јачином земљотреса дуж расједа.

На основу података који су добијени кроз научно и практично истраживање хипотезе ће се прихватити или одбацити. Очекује се да ће анализа потврдити постојање значајне корелације између сеизмичких догађаја и промјена у GNSS координатама станице SRJV00BIH. Од анализе се очекује и могућност оцјене утицаја сеизмичке активности на промјене у координатама и њихове временске зависности.

1.3. ЦИЉЕВИ И ЗАДАЦИ ИСТРАЖИВАЊА

Главни циљ овог истраживања је да се анализира веза између сеизмичке активности и промјена у GNSS координатама станице SRJV00BIH, као и да се утврди у којој мјери су промјене у координатама резултат сеизмичке активности.

Посебни циљеви укључују проучавање утицаја сеизмичких догађаја на промјене у GNSS координатама и анализу временских зависности ових промјена у односу на расједе.

На основу полазног проблема, те на темељу истраживања у предметној области, дефинисани су и основни циљеви истраживања:

- Систематизовање појмова из подручја проучавања потребних за спровођење овог истраживања, као и с њима повезаних појмова,
- Анализа и критички осврт на постојећа рјешења у предметној области, као и анализа досадашњих теоријских емпиријских искустава из области глобалних навигационих сателитских система,
- Анализа временских серија GNSS координата станице SRJV00BIN у циљу дефинисања тектонске активности тест подручја,
- Процјена тектонских помјерања подручја истраживања и успостављање односа између површинских деформација и тектонских активности
- Корелација резултата анализе временских серија GNSS координата и одређених сеизмолошких догађаја.

1.4. МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА

Током израде мастер рада кориштена је комбинација различитих научних метода у циљу евалуације постављених хипотеза. Извршен је преглед научних и стручних радова који се баве временским серијама GNSS координата.

За потребе овог истраживања најрелевантније су слjedeће научне методе:

- **Аналитичка метода**, којом се врши рашчлањивање једне цјелине на њене дијелове или елементе;
- **Синтетичка метода**, којом се преко једноставнијих форми и појмова долази до сложенијих;
- **Индуктивна метода**, којом се долази до општих закључака полазећи од појединачних премиса;
- **Дедуктивна метода**, којом се полазећи од општих знања долази до посебних и појединачних закључака;
- **Метода генерализација**, којом се врши уопштавање од посебног појма до уопштенијег;
- **Дескриптивна метода**, која се користи за описивање различитих чињеница, процеса и појава у природи;
- **Компаративна метода** је концепт упоређивања између двије појаве или процеса;

- **Метода моделовања**, којом се генерише знаковни систем помоћу којег се може замијенити предмет који се истражује.

Ова истраживања имају потенцијал да допринесу бољем разумијевању везе између GNSS координата станице SRJV00BIH и сеизмичке активности на расједима. Резултати овог истраживања могли би да имају значајне импликације за предвиђање сеизмичких догађаја и управљање ризицима у овом локалитету.

2. ГЕОДЕТСКА ГЕОДИНАМИКА

Геодетска геодинамика проучава динамичке процесе на Земљи, укључујући тектонска кретања, Земљину ротацију, постгласијални повратак и пораст нивоа мора—користећи геодетска мјерења. Ово поље спаја геодезију и геофизику, омогућавајући научницима да прате промјене на Земљи са све већом прецизношћу. Пружа кључне увиде у тектонику плоча, сеизмичке активности и климатске појаве као што је пораст нивоа мора.

Са напретком у сателитској геодезији, способност проучавања геодинамичких процеса значајно се проширила, омогућавајући детаљнији увид у површинске и унутрашње динамичке процесе Земље [1].

Површина Земље је у сталном покрету због тектонских сила, вулканске активности и промјена изазваних људским активностима. Савремена геодезија користи различите технике за праћење ових деформација, укључујући глобалне навигационе сателитске системе (енг. Global Navigation Satellite Systems - GNSS), сателитску алтиметрију, VLBI (енг. Very long baseline interferometry) и SLR (енг. Satellite laser ranging). Ове технике су кључне за праћење спорих, али значајних кретања која обликују Земљину кору.

- **InSAR (енг. Interferometric Synthetic Aperture Radar)**

InSAR постао је моћан алат за праћење деформација површине захваљујући својој способности да мјери помјерање тла на великим површинама са тачношћу на нивоу милиметара. InSAR је коришћен за проучавање појава као што су вулканско уздицање, спуштање тла и посљедице земљотреса [2].

- **Ротација Земље**

Ротација Земље није униформна. Варијације у брзини ротације и промјене положаја осе ротације, познате као кретање полова, под утицајем су различитих фактора, укључујући атмосферску динамику, океанске струје и расподелу масе унутар Земље. Геодетске технике као што су VLBI и SLR су од суштинског значаја за мјерење ових малих варијација, које су важне и за геодинамику и за прецизно мјерење времена [3].

- **VLBI**

VLBI је техника која се користи за мјерење ротације Земље посматрањем удаљених квазара. VLBI подаци су показали како редистрибуције масе унутар Земље (као што су оне узроковане великим земљотресима или сезонским промјенама у атмосферском притиску) утичу на ротацију Земље и њену оријентацију у свемиру [3].

- **Варијације дужине дана**

Дужина дана на Земљи благо варира, углавном због размјене угловног момента између чврстих компоненти Земље, атмосфере и океана. Ове варијације, иако мале (реда величине милисекунди), могу имати значајне геофизичке импликације. Велики земљотреси такође могу изазвати нагле промјене у ротационој брзини Земље и њеној оси. На примјер, земљотрес у Суматри и Андаманима 2004. године не само да је покренуо разорни цунами, већ је и промијенио дужину дана за микросекунде [4].

- **Постглацијални повратак**

Дешава се док се кора Земље полако прилагођава топљењу масивних ледничких покривача који су покривали велике дијелове планете током последњег „леденог доба“. GNSS и гравиметрија су кључни за праћење ових вертикалних помјерања. Регије као што су Скандинавија и Канада, које су раније биле под значајним ледничким оптерећењем, настављају да се уздижу док се површина Земље поново прилагођава. Ови вертикални покрети су такође важни за разумијевање промјена нивоа мора, јер доприносе релативним мјерењима нивоа мора [5].

- **Промјена нивоа мора и допринос геодезије**

Пораст нивоа мора је један од најкритичнијих аспеката савремених климатских промјена, а геодетске технике играју кључну улогу у мјерењу глобалних и регионалних промјена нивоа мора. Сателитска алтиметрија мјери висине површине мора, док GNSS станице на тилтметрима пружају корекције за вертикално кретање копна. Ове комбиноване геодетске технике показују да ниво мора расте убрзаном стопом, узрокованом топљењем леда и термичким ширењем морске воде [6].

- **Будући правци у геодетској геодинамици**

Будућност геодетске геодинамике лежи у континуираном развоју сателитских технологија и рачунарских метода. Очекује се да ће мисије следеће генерације, као што је GRACE Follow-On, пружити прецизнија мјерења гравитационог поља Земље, расвјетљавајући процесе расподеле масе, као што је губитак леда са Гренланда и Антарктика. Поред тога, интеграција техника машинског учења за анализу великих геодетских скупова података има потенцијал да унаприједи предиктивно моделовање геодинамичких догађаја, као што су земљотреси и вулканске ерупције [7].

2.1. ГЕОТЕКТОНСКА ТЕОРИЈА И ТЕКТОНСКИ ПОКРЕТИ

Периоди геодинамичких процеса су веома различити, кретања литосферских плоча трају милионима година и доводе до помјерања литосферских плоча брзином од неколико центиметара годишње. Напетости створене тектоником плоча нагло се ослобађају у облику земљотреса, често за само неколико секунди. Производе се сеизмички таласи који путују кроз Земљу брзином од неколико километара у секунди.

С једне стране, циљ је да се забиљеже процеси изузетно малих промјена, који се одвијају веома споро. То значи да морамо да посматрамо са изузетно високом прецизношћу да бисмо открили, на примјер, стопе кретања плоча од неколико центиметара годишње или промјене нивоа мора од неколико милиметара годишње.

На другом крају временске серије, запажања су потребна скоро у реалном времену ако желимо да их користимо за системе раног упозорења.

Зато морамо бити у стању да мјеримо са великом прецизношћу, и то што је могуће трајније и глобално. Управо ту геодезија игра велику улогу.

Дугорочне промјене површине као што су споро отапање дебелог леденог покривача - узрокују такозвано вискоеластично понашање, на примјер, постгласијално издизање копна.

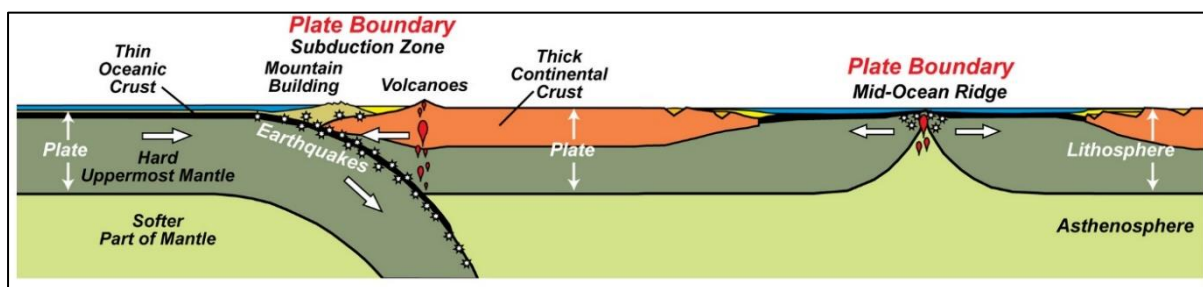
Међутим, на Земљу не утичу само површинске силе, већ и геодинамички процеси у њеној унутрашњости. Мотор ових процеса је топло језгро Земље. Његова висока температура од више од 4000°C је остатак процеса формирања Земље, који се догодио прије око 4,5 милијарди година и поново је подстакнут процесима радиоактивног распада. То трајно снабдијевање топлотом на великим удаљеностима изазива динамику у Земљином омотачу у виду великих, цилиндричних кретања материјала плашта [8].

Континенти су масивни блокови Земљине коре који се налазе на врху великих тектонских плоча (литосфере) које се помјерају преко мекшег слоја Земљиног омотача, познатог као астеносфера. Земљотреси, формирање планина и вулканска активност најчешће се јављају на границама гдје се плоче сударају и крећу. Плитки земљотреси углавном настају на мјестима где се плоче раздвајају дуж средњеокеанских гребена, док се у зонама субдукције, где се плоче конвергирају, земљотреси могу јавити на већим дубинама [9].

На слици 1 је приказан процес тектонике плоча и различите врсте граница између литосферских плоча.

- **Субдукциона зона (лијево):**
 - Танка океанска кора (океанска плоча) тоне испод дебље континенталне коре.
 - Овај процес доводи до формирања планина, вулкана и земљотреса.
 - Зона субдукције је мјесто гдје се океанска плоча спушта у астеносферу, што доводи до топљења и вулканске активности.
- **Континентална кора (у средини):**
 - Континентална кора је дебља и чини горњи дио литосфере.
- **Средњоокеански гребен (десно):**
 - Ово је граница гдје се плоче размичу (дивергентна граница).
 - Магма из астеносфере избија на површину, стварајући нову океанску кору.
 - Овај процес је повезан са растом океанских басена.
- **Астеносфера (доле):**
 - Мека и дјелимично растопљена зона у горњем дијелу унутрашњости Земље која омогућава кретање литосферских плоча.

Слика 1 објашњава како интеракције између плоча изазивају различите геолошке процесе као што су вулканизам, земљотреси и стварање планинских вијенаца.



Слика 1. Процес тектонике плоча [9]

Тектонске плоче се крећу брзином од неколико милиметара до неколико центиметара годишње, клизећи по подлози од глатког, полутечног материјала.

Земљотреси се углавном дешавају на спојевима ових плоча. Око 90% свих земљотреса на свијету настаје управо на тим границама, док се ријетко јављају у унутрашњости плоча, далеко од њихових ивица [10].

2.2. СЕИЗМОЛОГИЈА

Сеизмологија је наука која се бави проучавањем земљотреса и кретањем сеизмичких таласа кроз Земљу. Њен значај лежи у разумијевању механизма земљотреса, као и у предвиђању потенцијалних катастрофа како би се спријечили губици људских живота и материјалне штете [11].

Сеизмологија не проучава само појаву земљотреса на површини, већ и процесе који доводе до разарања и поремећаја од самог извора земљотреса (огњишта) до његовог манифестовања на површини. Ови процеси настају услед претварања потенцијалне енергије у кинетичку, тј. разорну енергију. Најчешћи узрок земљотреса је механизам кретања тектонских плоча, односно међусобне интеракције и покрети литосферских плоча [10].

Сеизмологија има велики значај у савременом свијету јер помаже у бољем разумијевању процеса који доводе до земљотреса и у развоју мјера заштите од ових природних катастрофа. Са развојем нових технологија и све прецизнијих инструмената, као што су сеизмометри и компјутерске симулације, научници могу боље предвидјети кретање тектонских плоча и локације потенцијалних земљотреса. Осим тога, развој система за рано упозорање омогућава правовремену евакуацију становништва и спречавање великих губитака [12].

Сеизмологија обухвата неколико основних концепата, укључујући:

- **Сеизмичке таласе:** Ово су таласи који се генеришу током земљотреса и могу бити различитих типова. Најчешће се дијеле на:
 - **Р-таласи (примарни):** То су таласи који путују најбрже кроз Земљу и могу се кретати кроз течности и чврсте материје.
 - **S-таласи (секундарни):** Ови таласи су спорији и путују само кроз чврсте материје. Они су одговорни за већа разарања у земљотресима.
- **Огњиште и епицентар:** Огњиште је мјесто унутар Земље гдје се енергија ослобађа, док је епицентар тачка на површини Земље која је непосредно изнад огњишта.
- **Магнитуда и интензитет:** Магнитуда је мјера величине земљотреса и обично се мјери на Рихтеровој скали или моментној скали. Интензитет, с друге стране, описује снагу земљотреса на одређеном мјесту и може се мјерити на мјерној скали као што је Меркалијева скала [13].

Земљотреси настају услед различитих механизма, укључујући [14]:

- **Тектонске покрете:** Најчешћи узрок земљотреса, који се дешава када се тектонске плоче помјерају, сударе или раздвајају. Ова кретања узрокују нагомилавање енергије која се ослобађа у облику земљотреса.
- **Вулканска активност:** Вулкански земљотреси се јављају када магма прелази у површинске слојеве, узрокујући земљотресе у околини вулкана.
- **Урушавање:** Овај механизам се јавља када подземне шупљине попут рудника или пећина постану нестабилне, што доводи до урушавања и произвођења земљотреса.
- **Вјештачке активности:** Људске активности као што су експлозиви, рударење или велике грађевинске конструкције могу изазвати вјештачке земљотресе.

Земљотреси се могу класификовати према различитим критеријумима [15]:

- **Према узроку:** Тектонски, вулкански, урушајни, вјештачки
- **Према дубини:** Површински (дубина до 70 км), средњи (дубина од 70 до 300 км) и дубоки (дубина изнад 300 км)
- **Према интензитету:**
Различите скале (као што су Рихтерова и Меркалијева) користе се за мјерење интензитета и магнитуде земљотреса.

2.2.1. Сеизмологија Босне и Херцеговине

Сеизмотектоника Босне и Херцеговине показује комплексну слику која се може повезати са медитеранским морским режимом. Овај регион је подложен честом јављању земљотреса, а најјачи земљотреси се дешавају у оквиру Сарајевског расједа, смјештеног у јужној и сјеверозападној Босни.

- **Активна тектоника**

У Босни и Херцеговини, активна тектоника се манифестује као значајан фактор, са честим земљотресима који се јављају у земљиној кори. Ова појава указује на сложену интеракцију између различитих геолошких структура и покрета литосферних плоча. Поред природних узрока, секундарни сеизмогени извори такође доприносе сеизмичкој активности у региону.

На примјер, богата хидрогеологија Босне и Херцеговине чини оптерећење коре, као што су снијег, киша или поплаве резервоара, једним од најважнијих фактора који утичу на сеизмичност [16].

- **Недостатак геодинамичких студија**

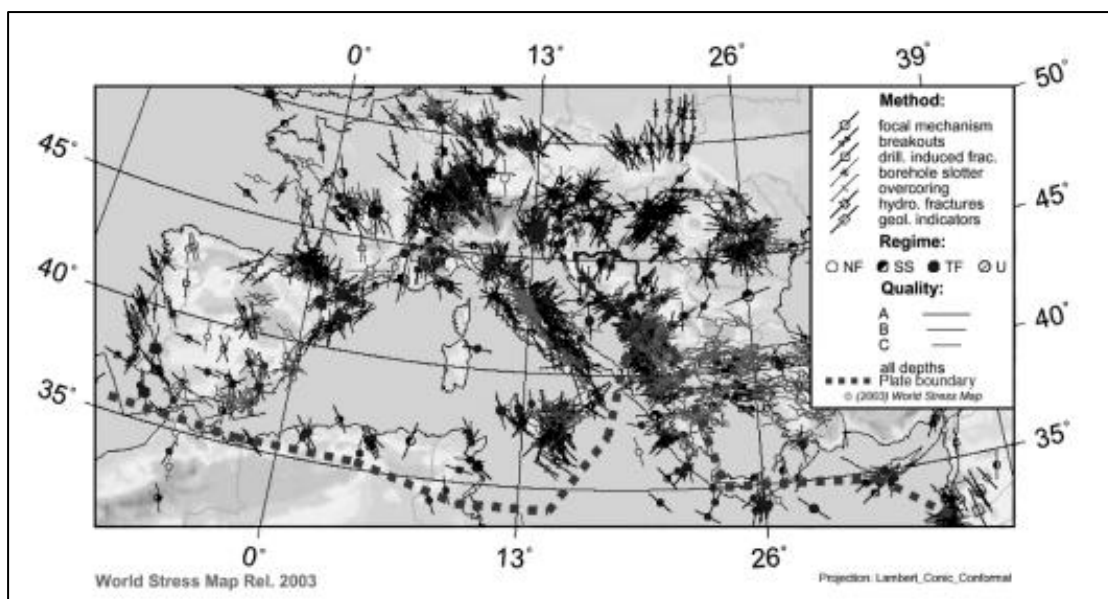
Упркос активној и сложеној геоморфологији Босне, недостају свеобухватне и поуздане геодинамичке студије које би могле пружити дубље разумијевање сеизмичких феномена у региону. Ове студије би могле помоћи у идентификацији ризика и развоју стратегија за смањење потенцијалне штете узроковане земљотресима.

- **Ограничења у покривености сеизмичким сензорима**

Покривеност сеизмичким сензорима у Босни и Херцеговини је изузетно лоша. На располагању су један стогодишњи аналогни сеизмометар и неколико недавно инсталираних дигиталних сензора, што је недовољно за регион који показује благу до високу сеизмичку активност. Како би се ефикасно пратила и анализира сеизмичка активност, потребна су значајна улагања у успостављање и унапређење GPS, сеизмичких и других мрежа са сензорима. Ова побољшања су неопходна за правовремено упозорење на земљотресе и заштиту становништва [16].

Сеизмотектоника Босне представља изазован и динамичан феномен који захтијева даља истраживања и унапређења у инфраструктури за праћење сеизмичке активности. Улагања у научна истраживања и технологије су кључна за разумијевање и управљање сеизмичким ризицима у овој области.

Кретање Афричке плоче према сјеверу и њен судар са Евроазијом, док клизи испод европског континента, доминантно утиче на главне хоризонталне смјернице напрезања у Босни и Херцеговини, као што је приказано на слици 2. На слици 2 тачкаста линија представља границу афричке плоче, док је видљив недостатак података за БиХ. Сеизмотектоничка слика ове регије је типична за опште морско подручје медитеранског појаса. Овај појас карактеришу стадијуми магматизма и вулканске активности, као и промјене у седиментним структурама услед судара и субдукције [16].



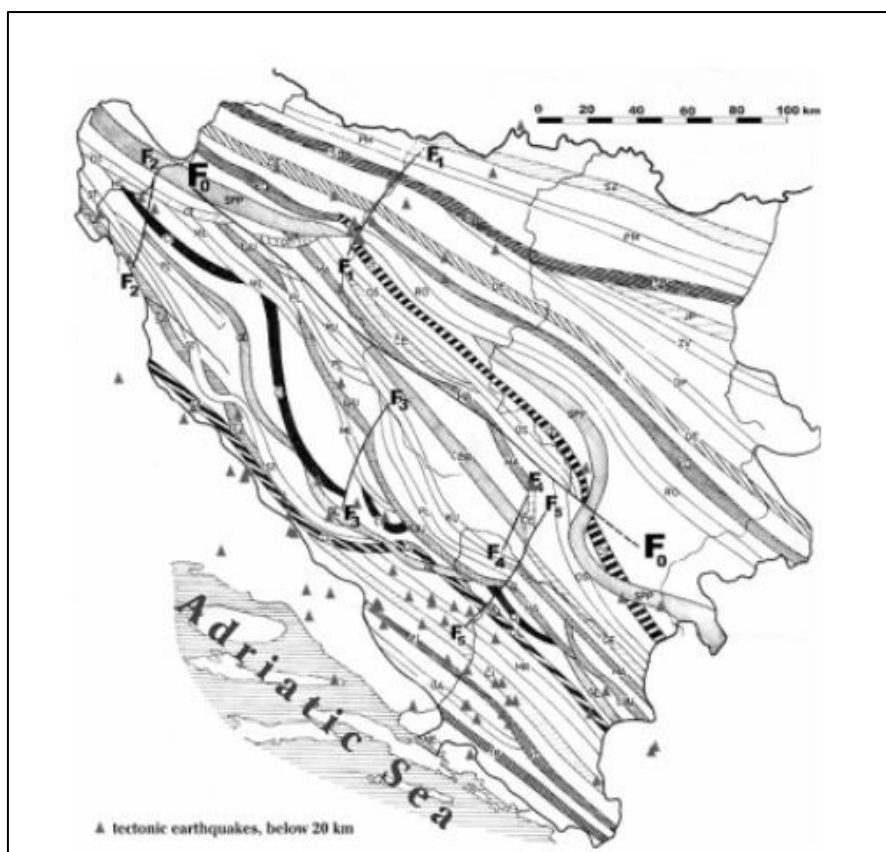
Слика 2. Део свјетске карте са правцима хоризонталних напона [16].

Земљотреси се углавном јављају у јужном дијелу БиХ, односно у вањским Динарским Алпима, што је приказано на слици 3.

Због интензивне хидрогеологије Босне и Херцеговине, оптерећење коре, на примјер, сњежним и кишним масама, због великих акумулација, представљају најизраженије секундарне сеизмогене изворе у региону. Као резултат своје тектонике и секундарних сеизмогених извора, БиХ биљежи епизодне земљотресе од магнитуде М5 и више, који потенцијално угрожавају живот и станишта људи.

Забилежени су и земљотреси са смртним случајевима и који су изазвали огромна урбана разарања, попут догађаја М6.4 у Бањој Луци од 27. октобра 1969. године. Овом догађају претходио је предшок М4 26. октобра 1969. Године. Најјачи инструментално забилежени земљотрес у БиХ у последњих сто година, како је видљиво у запису сарајевске сеизмолошке опсерваторије, био је земљотрес М6.5 из 1923. године у близини насеља Тихаљине (општина Груде) [16].

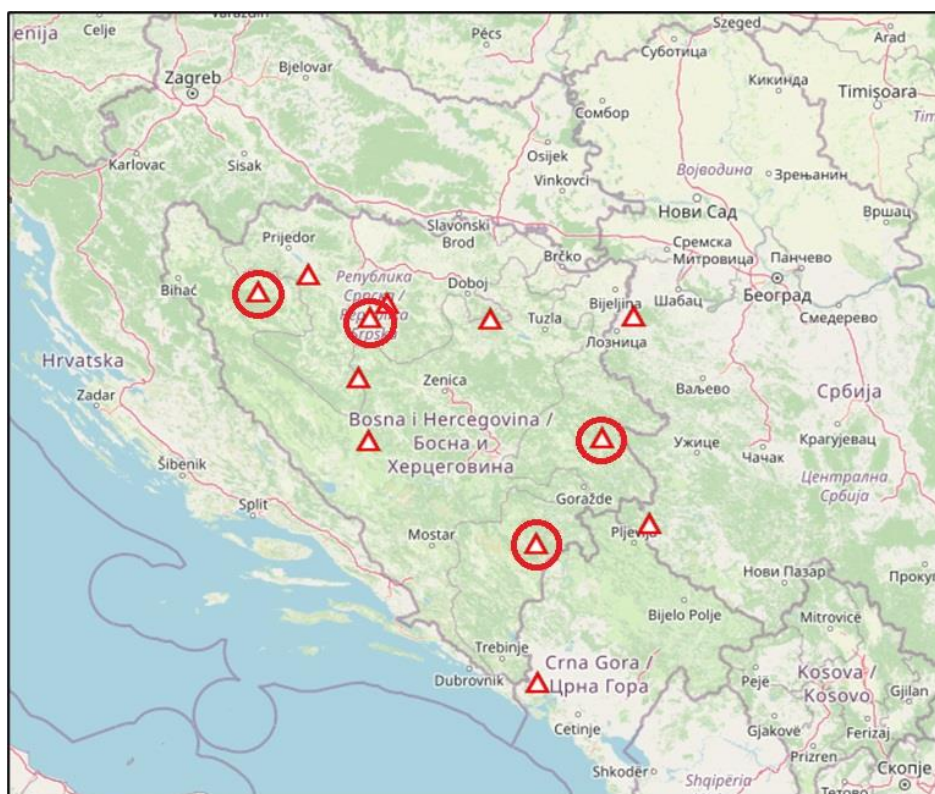
На слици 3 представљена је карта откривених и претпостављених главних и регионалних расједа. Приказани су: Расјед - Сарајево (F0F0), расјед - Градишка (F1F1), расјед - Бихаћ (F2F2), расјед - Ливно (F3F3), Расјед - Јабланица (F4F4), и расјед - Мостар (F5F5).



Слика 3. Карта откривених и претпостављених главних и регионалних расједа [16]

2.2.2. Сеизмологија Републике Српске

Мрежа сеизмолошких станица у Републици Српској обухвата девет дигиталних аутоматских станица. Од ових, три станице (Бањалука, Хан Пијесак и Мраковица) опремљене су широкопојасним сензорима, док остале посједују краткoperиодичне сензоре. Сви сензори на станицама су трокомпонентни, што омогућава регистрацију земљотреса у вертикалном правцу и два хоризонтална правца: сјевер-југ и исток-запад. Прикупљање и обрада података врше се у Бањој Луци, а подаци са свих станиц преносе се у реалном времену. На слици 4, приказан је просторни распоред станица, а детаљни подаци о свакој локацији и инсталираној опреми доступни су у табели 1 [17].



Слика 4. Сеизмолошка мрежа Републике Српске [17]

Табела 1. Детаљни подаци о дигиталним аутоматским станицама сеизмолошке мреже Републике Српске [17]

Код	Мрежа	Координате	Надморска висина	Дигитализатор	Сензор
BLY	MN	44.749° 17.175°	256m	Q730	STS-2
BLJ	WS	44.754° 19.193°	97m	Wave24	SM-2
DOB	WS	44.726° 18.089°	147m	Wave24	SM-2
HAPS	WS	44.086° 18.951°	1199m	Smart24	KS2000
MRAK	WS	45.013° 16.900°	850m	Smart24	KS2000
PRJ	WS	44.972° 16.713°	141m	Q330	SS-1
TREB	WS	42.706° 18.344°	275m	Q330	SS-1
MGRS	WS	44.411° 17.084°	560m	Lennartz M24	LE-3D Lite
RUDO	WS	43.618° 19.370°	413m	Wave24	SM-2

Сеизмолошки завод Швајцарске је допремио своју опрему чији су стручњаци заједно са запосленима у Заводу извршили инсталацију [17]. Инсталисане су сеизмолошке станице на локацијама које су приказане на карти. Међутим, тренутно су на територији Републике Српске четири станице: MRAK, BLY, HAPS и TREB, које су заокружене на карти.

Гдје су:

Сеизмометри:

BB – широкопојасни сеизмометри

SP – краткопериодични сеизмометар

STS-2 – Streckeisen широкопојасни сеизмометар

KS2000 – Geotech широкопојасни сеизмометар

SS-1 – Kinematics сеизмометар 1s

SM-2 – сеизмометар до 2s

S5S – сеизмометар 5s

Le3D Lite – сеизмометар 5s

Дигитализатори:

Q730 – Kinematics 24 битни систем за аквизицију

Q330 – Kinematics 24 битни систем за аквизицију

Smart24 – Geotech 24 битни систем за аквизицију

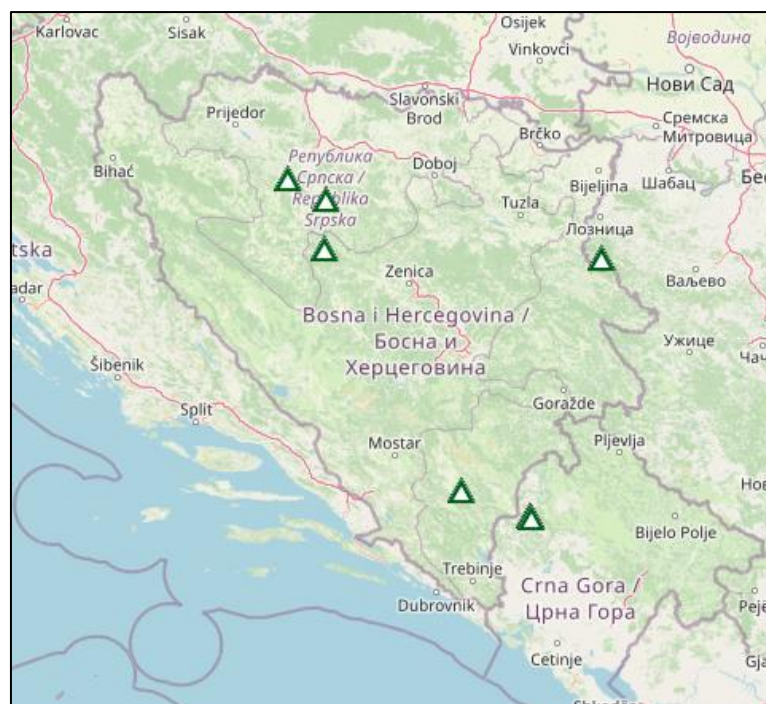
Wave24 – Microstep-MIS 24 битни систем за аквизицију

Lennartz m24 – Lennartz Electronics 24 битни систем за аквизицију

Први акцелерометар у мрежи Републике Српске инсталиран је у Бањој Луци 2009. године, у комбинацији са широкопојасним сензором. Циљ постојања и функционисања ове мреже станица са акцелерометрима је двострук [17]:

- **Регистровање најјачих земљотреса:** Понекад, сеизмометри не могу у потпуности да забиљеже амплитуду најјачих земљотреса. Због специфичне конструкције и принципа рада, акцелерометри су у стању да региструју и највише амплитуде.
- **Формирање базе акцелерација:** Ова база података о јачим земљотресима представља предуслов за израду хазарда, што је од великог значаја.

На слици 5 приказана је мапа акцелерометарске мреже у Републици Српској, док су у табели 2 представљени детаљни подаци о станицама ове мреже.



Слика 5. Акцелерометарска мрежа Републике Српске [17]

Табела 2. Детаљни подаци о станицама акцелерометарске мреже Републике Српске [17]

Станица	Код станице	Код мреже	Лат.	Лон.	Алт.	Дигитализатор	Сензор
Бања Лука	BLY	MN	44.749	17.175	256	Q330	Episenso
Врба-Гацко	VRBA	MN	43.174	18.579	1112	Basalt	Episenso
Међеђа-Омарска	MED	MN	44.847	16.911	200	Q330	Episenso
Невесиње	NEVS	MN	43.299	18.103	894	Basalt	Episenso
Клиње-Гацко	KLINJ	MN	43.169	18.585	1076	Basalt	Episenso
Бирач-Зворник	BIR1	MN	44.457	19.076	197	Basalt	Episenso
Бочац	BOCA	MN	44.508	17.163	308	Q330	Episenso

2.2.3. Бањалучко сеизмогено подручје

Бањалучко сеизмогено подручје обухвата простор од око 10000 km² односно територију на растојању 50 km од Бања Луке и гледано на основу различитих повратних периода спада у подручје VII, VIII и IX степена максимално очекиваног интензитета по MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg) скали. Основне карактеристике сеизмичности овог подручја дефинисане на основу података о земљотресима који су се догодили на бањалучком подручју као и из жаришта која окружују овај регион и остварују на њему значајне сеизмичке ефекте. Историјски гледано ово подручје карактеришу, према расположивим подацима, следећи земљотреси [17]:

- Прва серија земљотреса десила се 1888. године, а представник серије је земљотрес који се десио 20.05.1888. године $M = 5.7$ јединица Рихтерове скале и интензитета VII степени MCS скале.
- Друга серија десила се 1935. године, а најјачи од укупно седам земљотреса који су се у тој серији десили је земљотрес од 11.10.1935. године $M = 5.1$ јединица Рихтерове скале и интензитета VII степени MCS скале.

У октобру 1969. године десила су се четири јака земљотреса, главном удару су претходила два јака земљотреса [17]:

- 26.10.1969. године у 15:36 часова догодио се земљотрес $M = 5.6$ јединица Рихтерове скале.
- 27.10.1969. године у 02:55 часова догодио се земљотрес $M = 4.8$ јединица Рихтерове скале.

Главни удар десио се 27.10.1969. године у 08:10 са магнитудом $M = 6.6$ јединица Рихтерове скале после је којег је уследио накнадни удар у 08:53 са магнитудом $M = 4.7$ јединица Рихтерове скале. Земљотреси су оставили катастрофалне последице на подручју 15 општина: Бања Лука, Челинац, Лакташи, Градишка, Прњавор, Котор Варош, Кнежево, Србац, Кључ, Јајце, Приједор, Сански Мост, Кључ, Козарска Дубица и Нови Град. После ове серије земљотреса током 1969. године десио се још један јачи накнадни удар 31.12.1969. године у 14:18 магнитуде $M = 5.3$ јединица Рихтерове скале [17].

Значајнији земљотреси након 1969. године су [17]:

- 20.10.1970. године у 14:45 са $M = 4.5$ Рихтера
- 20.10.1970. године у 21:19 са $M = 4.6$ Рихтера
- 17.02.1975. године у 15:24 са $M = 4.0$ Рихтера
- 21.04.1975. године у 01:31 са $M = 4.7$ Рихтера
- 13.08.1981. године у 03:58 са $M = 5.4$ Рихтера

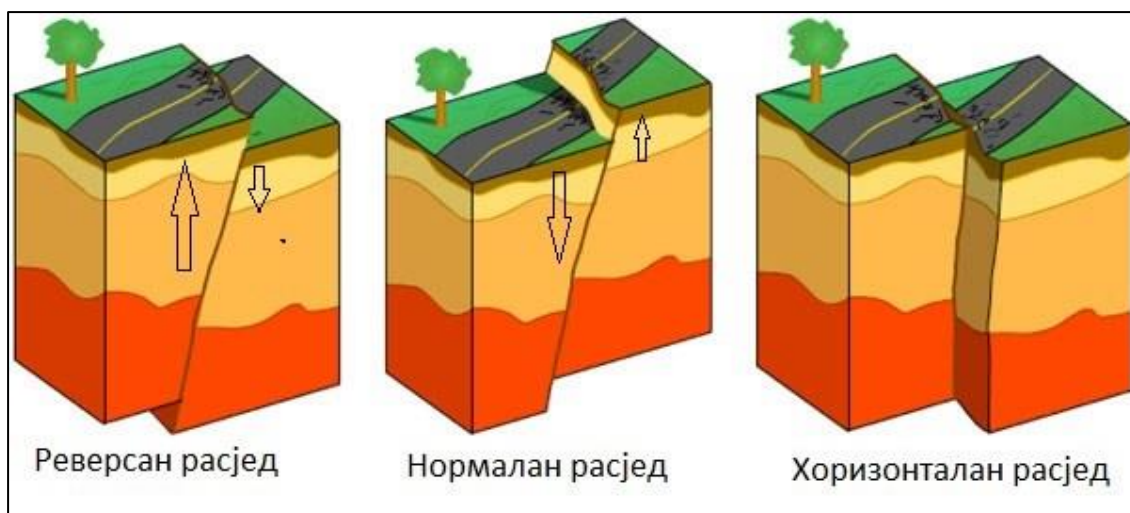
Након 30 година затишја, јачи земљотреси који су десили на подручју бањалучког региона су [17]:

- 29. 04. 2011. године у 01:30, магнитуде $M = 4.3$ јединице Рихтерове скале
- 28.01.2014. године у 01:38, магнитуде $M = 4.2$ јединице Рихтерове скале

2.3. РАСЈЕДИ

Расједи су природне пукотине у земљиној кори гдје је дошло до релативног помјерања дуж блокова стијене. Узроци настанка ових расједа су тектонске силе, као што су сабијање, растезање и хоризонтално кретање тектонских плоча. Тектонске силе играју кључну улогу у разумијевању формирања земљине површине, сеизмичке активности и стварања геолошких структура попут планина и долина. Расједи се могу класификовати према правцу кретања блокова и начину формирања. Они играју значајну улогу у проучавању земљотреса.

Расједи могу бити локални (малих размјера) и регионални, који се јављају на ширем простору (до неколико стотина километара). Расједи се, по карактеру релативног кретања, могу класификовати у три основна типа: реверзни, нормални и хоризонтални расједи [55]. Наведени расједи су приказани на слици 6.



Слика 6. Типови расједа према карактеру релативног кретања [55]

Нормални расјед настаје када тектонске силе узрокују истезање или екстензију земљине коре. То доводи до спуштања једног блока стијене у односу на други дуж расједа. Ова врста расједа је карактеристична за зоне растезања. Због спуштања блокова, овакви расједи често стварају стрме литице и дугачке долине [18].

- Примјер: Велика расједна долина у Африци, гдје је расједање довело до формирања великих рифтних система.

Реверзни расјед се формира у зони компресије, када се два блока помјерају један према другом, при чему се један блок потискује преко другог. Ова врста расједа је типична за зону сударних тектонских плоча, гдје се појављују планине као резултат сабијања коре. На примјер, Хималаји су формиран управо оваквим компресионим расједима [12].

- Примјер: Хималајски планински вијенац, настао сударом индијске и евроазијске плоче.

Хоризонтални расјед настаје када се блокови стијене крећу хоризонтално један поред другог у супротним правцима. У овом случају, нема значајног вертикалног помјерања. Ови расједи су често повезани са земљотресима, јер напрезања изазвана помјерањем блокова могу довести до изненадног ослобађања енергије [19].

- Примјер: Сан Андреасов расјед у Калифорнији је најпознатији примјер хоризонталног расједа, који изазива честе земљотресе у тој области.

Расједи имају велик утицај на геоморфологију и природне процесе који обликују Земљину површину [21]:

- **Земљотреси:** Расједи су кључни механизми настанка земљотреса. Помјерање стијенских блокова доводи до акумулације напрезања које се ослобађа у виду сеизмичких таласа, што резултира земљотресима.
- **Формација терена:** Дуж расједа настају топографске структуре попут долина и планина. Нормални расједи често стварају долине, док реверзни расједи могу довести до формирања високих планина.
- **Природни ресурси:** Расједи могу бити мјеста гдје се налазе резерве нафте и гаса, јер расједне зоне могу служити као замке за акумулацију флуида.

3. ГЛОБАЛНИ НАВИГАЦИОНИ САТЕЛИТСКИ СИСТЕМИ

Глобални навигациони сателитски систем GNSS обухватају различите сателитске системе, који пружају услуге позиционирања, навигације и временске синхронизације. Иако се термин GNSS обично користи у множини, јер се односи на више система, у строгом смислу дефиниције, ови системи се могу објединити под једним појмом – глобални навигациони сателитски систем [22].

Глобални навигациони сателитски системи GNSS најчешће се састоје од три компоненте [24]:

- Свемирски сегмент се односи на сателите који круже изнад Земље и одашиљу сигнале.
- Контролни сегмент одговоран је за одржавање техничке исправности система праћењем емитованих сигнала и рачунањем и учитавањем потребних навигационих података на сателите.
- Кориснички сегмент састоји се од GNSS пријемника цивилних и војних, укључује пријемнике на земљи, на мору, у ваздуху и у свемиру.

Развој GNSS технологије у последње двије деценије значајно је утицао на проучавање динамике Земљине површине. Повећана прецизност и тачност геодетских GNSS мјерења омогућили су одређивање геодинамичких помјерања у реалном времену.

Ове врсте помјерања имају многобројне примјене у сеизмологији и у системима раног упозоравања на земљотресе.

Постоји више глобалних навигационих сателитских система који су активни или у развоју. Најзначајнији су: **GPS (Global Positioning System)** – први потпуно оперативни систем који је поставио стандарде у области сателитског позиционирања и навигације. Затим руски **GLONASS (Global Navigation Satellite System)**, европски **Galileo** и кинески **BeiDou**.

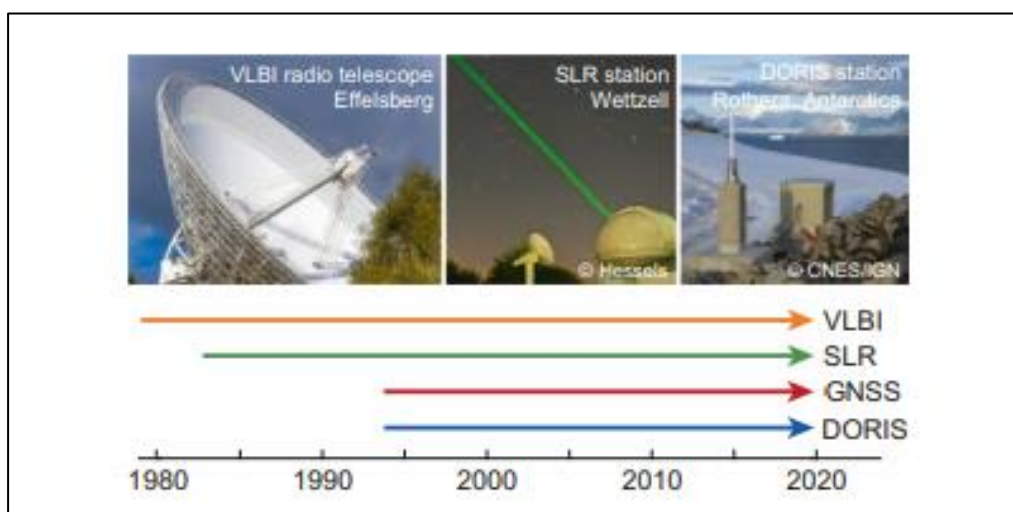
Глобални навигациони сателитски системи састоје се од констелације од двије до три десетине сателита који орбитирају око Земље на висини од око 20000 километара. Орбиталне равни, су нагнуте под углом од око 55° у односу на Земљину екваторијалну раван. Оваква поставка омогућава да у сваком тренутку буде доступно довољно сателита за одређивање позиције на било ком мјесту на Земљи, а табела 3. приказује карактеристике различитих глобалних сателитских система [24].

Табела 3. Карактеристике GNSS система [24]

Систем	GPS	GLONASS	Galileo	BeiDou-3
Висина орбите	20.200 km	19.200 km	23.200 km	21.500 km
Инклинација орбите	55°	65°	56°	55°

Поред ових система, постоје и два регионална сателитска система: индијски **IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System)** и јапански **QZSS (Quasi-Zenith Satellite System)**. Осим основних система, постоје и разни регионални и појачани системи који допуњују ове основне GNSS-ове.

Међутим, GNSS сам по себи не може да обезбиједи глобални референтни оквир са потребном прецизношћу, јер орбите сателита не представљају довољно стабилну референцу за одређивање, на примјер, позиције центра масе Земље са адекватном прецизношћу. Позиција центра масе је, ипак, од кључног значаја, јер одређује почетну тачку референтног оквира. Због тога се користе друге технике посматрања за реализацију референтног система: SLR (енгл. Satellite-Laser-Radar), VLBI (енгл. Very-Long-Baseline-Interferometry) технологије и DORIS (енгл. Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite), које су приказане на слици 7. Подаци о посматрању ових техника, који се користе за реализацију геодетских референтних система, сада покривају неколико деценија.



Слика 7. Геодетске технике VLBI, SLR и DORIS [8]

3.1. КОНЦЕПТ GNSS ПОЗИЦИОНИРАЊА

Метод GNSS позиционирања заснива се на мјерењу времена путовања радио-сигнала од сателита до корисниковог пријемника на Земљи. Основни GNSS системи, као што су GPS, Galileo, GLONASS и BeiDou, користе више сателита који орбитирају око Земље и континуирано емитују сигнале са временским ознакама. Мјерењем времена које сигналу треба да стигне од сателита до пријемника, као и познате брзине свијетлости, могуће је израчунати удаљеност између пријемника и сателита. Комбинацијом удаљености до више сателита могуће је одредити тачну позицију пријемника на Земљи [22].

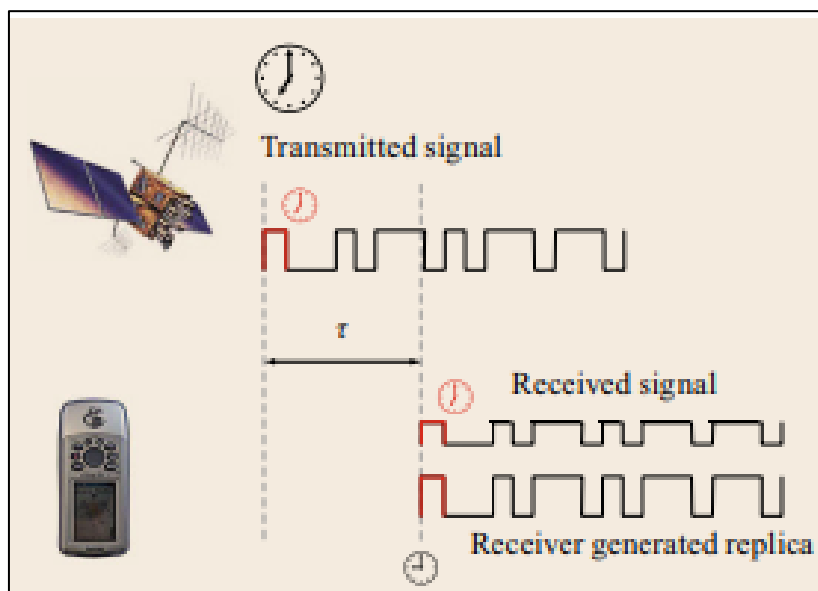
GNSS сигнали су електромагнетни таласи које емитују сателити. Ови сигнали су кружно поларизовани и крећу се на фреквенцијама од око 1.5 GHz са таласном дужином од 20 центиметара. На њима су модулисани кодирани сигнали који садрже бинарне податке неопходне за навигацију. Кодови, познати као PRN (PRN - енг. Pseudo Random Noise) састоје се од низа битова и омогућавају пријемнику да разликује сигнале од различитих сателита на истој фреквенцији. У систему GPS, Galileo и BeiDou, сваки сателит има свој јединствени PRN код, док код система GLONASS сваки сателит емитује исти код, али на различитој фреквенцији, што омогућава њихову идентификацију [24].

Карактеристична особина свих GNSS сигнала је модулација хармонијског радио таласа (названог носилац) са карактеристичним кодом псеудослучајног шума. Секвенца се преноси брзином обично од 1–10 MHz, при чему веће брзине подразумевају већи процесорски напор, али обећавају прецизнија мјерења. PRN код се непрестано понавља у интервалима од неколико милисекунди до секунди и олакшава мјерење времена преноса сигнала. PRN код служи и као јединствени отисак прста, што омогућава пријемнику да разликује појединачне сателите који емитују сигнале на истој фреквенцији [25].

Поред кодирања опсега, сигнал је такође модулисан са ниском брзином навигационог тока података (познатим као емитована навигациона порука) који пружа информације о орбити сателитског предајника и одступање његовог локалног сата у односу на GNSS системско вријеме [25].

Основно мјерење које врши GNSS пријемник је време t потребно да GNSS сигнал пређе пут од сателита до пријемника. Ово се може добити праћењем модулације PRN кода сигнала, као што је приказано на слици 8. Унутар пријемника, локална копија PRN секвенце се генерише, која се непрестано упоређује и усаглашава са сигналом који се прима од сателита.

Ова петља праћења пружа континуирана мјерења тренутне фазе кода и самим тим вријеме преноса које одговара тренутно примљеном сигналу. Упоредивањем овог времена са локалним временом пријемника, добија се вријеме преноса сигнала, а након множења са брзином свјетлости добија се растојање или удаљеност од пријемника до сателита [25].



Слика 8. Основни принцип мјерења псеудодужина [25]

Потребно је да извршимо мјерења према више сателита да би одредили позицију пријемника. Да се измјери дужина неопходно је да се одреди вријеме простирања електромагнетних сигнала од сателита до пријемника. Поступком трилатерације се врши позиционирање.

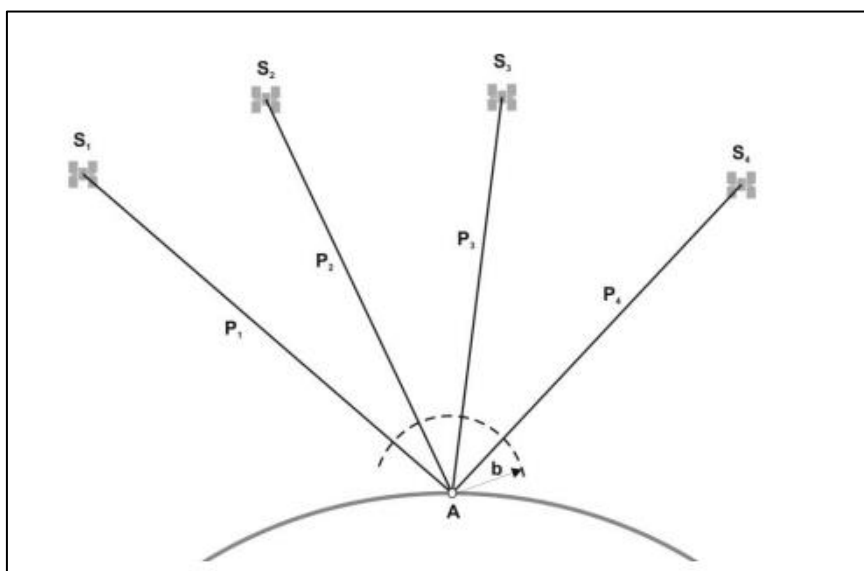
Да би се измјерило вријеме пута радио сигнала, часовници у сателитима и пријемницима морају бити синхронизовани са високом тачношћу. Пошто се у пријемнике из разлога економичности уграђују кварцни осцилатори знатно мање тачности од атомских осцилатора у сателитима, сви временски интервали у тренутку мјерења биће оптерећени систематском грешком. То значи да су у том тренутку растојања према свим сателитима подједнако дужа или подједнако краћа од истинитих вриједности, због чега се називају псеудодужинама [26].

Чињеница да се пријемницима не мјере дужине већ псеудодужине, незнатно мијења трилатерациони принцип GPS позиционирања. Слика 9 илуструје основну идеју, а за одређивање координата тачке и грешке синхронизације неопходне су најмање четири мјерене псеудодужине.

Пријемник са тачке A симултано мјери псеудодужине P_i према сателитима S_i , чији су положаји у тренутку мјерења познати захваљујући навигационим порукама које емитују. Свака измјерена псеудодужина дефинише по једну сферу чији је центар у одговарајућем сателиту. Тродимензионални положај непознате тачке A одређен је у принципу пресјеком три такве сфере. Међутим, пошто мјерене псеудодужине садрже исту непознату грешку синхронизације часовника пријемника и сателита b , за комплетно рјешење неопходно их је најмање четири. Математички изражено, трилатерација се састоји у рјешавању једначина:

$$P_i = \sqrt{(x - x^{(i)})^2 + (y - y^{(i)})^2 + (z - z^{(i)})^2} + b \quad (1)$$

По непознатим координатама (x, y, z) тачке A и непознатој грешки синхронизације b , при чему се познате координате сателита означене горњим индексом $i = 1, 2, 3, 4$ [26].



Слика 9. Принцип трилатерације [26]

3.2. ТИПОВИ GNSS ПОЗИЦИОНИРАЊА

Постоје различити типови GNSS позиционирања, који се разликују у погледу сложености и прецизности, при чему сваки од њих има своје предности и мане. На примјер, иако основно позиционирање нуди добру тачност, може бити подложно сметњама, док напреднији системи користе корекционе сигнале како би пружили већи степен прецизности. Ова разноликост омогућава корисницима да одаберу рјешење које најбоље одговара њиховим потребама.

3.2.1. Аутономно позиционирање

Аутономно или апсолутно позиционирање је процес позиционирања корисника са једним пријемником у реалном времену, без помоћне инфраструктуре у виду додатних пријемника, радио комуникације, или сигнала са посебном инфраструктуром [26].

Ослањајући се само на сигнале из сателита, корисници имају могућност да добију у реалном времену своју тачну локацију [27].

Такође, корисници могу да прикупљају податке које могу сачувати и касније обрадити. Уз помоћ софтверских алата могу извршити анализу података и утврђивање свог положаја [28].

Посебно је од користи у областима гдје је додатна инфраструктура недоступна или скупа. Омогућава корисницима већу слободу и флексибилност у прикупљању података [27].

Уколико је број измјерених псеудодужина већи од четири, до рјешења се долази примјеном метода најмањих квадрата. Стандардно одступање хоризонталног положаја које је одрежено апсолутним (аутономним) позиционирањем износи неколико метара, док је тачност висина дуго лошија.

3.2.2. Прецизно апсолутно позиционирање PPP (енгл. Precise Point Positioning)

Прецизно апсолутно позиционирање је техника позиционирања једним пријемником али уз примјену екстерних информација у виду IGS (енгл. International GNSS Service) или JPL (енгл. Jet Propulsion Laboratory) прецизних ефемерида и стања часовника, али без употребе података навигационе поруке за рачунање положаја сателита и одступања њихових часовника, чиме се сматра да грешке часовника и ефемерида више не учествују у функционалном моделу псеудодужина. Такође PPP подразумијева употребу двофреквентних мјерења, па се њиховом комбинацијом елиминише утицај јоносферске рефракције [26].

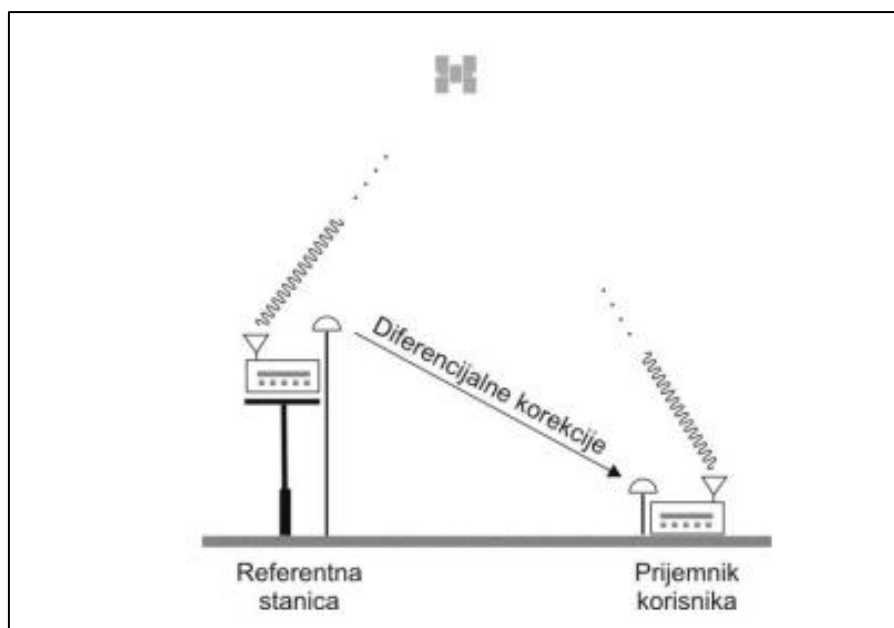
Једна од кључних карактеристика PPP је та да је могуће постићи центиметарску тачност у статичком режиму рада, а током кинематичког позиционирања та вриједност може да износи пар дециметара приликом опажања од преко 30 минута. Како је висока прецизност главна одлика PPP, одређени извори грешака се морају моделовати а то су: плина Земљине коре, океанско оптерећење Земљине коре, атмосферско оптерећење Земљине коре и ефекат фазног увијања [26].

Прецизно апсолутно позиционирање се користи за различите сврхе, укључујући и навигацију у тешким условима гдје су друге методе мање ефикасне. Флексибилост и прецизност овог позиционирања га чине корисним алатом у модерној технологији позиционирања [29].

3.2.3. Диференцијално позиционирање

Тачност аутономног позиционирања обично задовољава потребе за навигацијом у отвореном простору. Међутим, за многе важне апликације, као што су упловљавање у луке по лошем времену, управљање аеродромским возилима или возња по граду, потребна је већа прецизност. Постоје два начина за побољшање квалитета аутономног позиционирања: побољшањем сателитске геометрије и редукцијом грешака мјерења. За повећање сателитске геометрије потребно је повећати број сателита, али корисници немају такву могућност. Умјесто тога могу користити псеудолите – уређаје који емитују сигнале идентичне онима које емитују прави сателити. Ипак, да би пријемници могли да примају сигнале са псеудолита, потребне су посебне модификације. Из тог разлога је приступ са редукцијом грешака мјерења много једноставнији [26].

Диференцијално позиционирање подразумијева симултана мјерења два релативно блиска пријемника која ће бити оптерећена грешкама које су по знаку и интензивету јако сличне. Грешке мјерења међусобно су корелисане и просторно и временски. Уколико је пријемник на познатој локацији, укупна грешка мјерења се лако оцјењује јер онда пријемник има могућност да упореди измјерене псеудодужине са растојањима срачунатим на основу координата станице и сателита. Грешку часовника сателита корисник елиминише тако што у близини референтне станице истовремено врши мјерења до истих сателита, прихвата диференцијалне корекције и примјењује их на своја мјерења. Тачност бољу од 10 центиметара могуће је постићи кад се диференцијално позиционирање примјени на фазне псеудодужине, ако растојање до референтне станице не прелази 20 – 30 километара. На слици 10 је приказан принцип диференцијалног позиционирања [26].



Слика 10. Принцип диференцијалног позиционирања [26]

3.2.4. Релативно позиционирање

Код релативног позиционирања референтна станица има могућност да директно емитује оригинална опажања, уместо емитовања корекција. Кориснички пријемник комбинује своје псеудодужине са примљеним псеудодужинама измјереним у истим епохама. На овај начин се у доброј мјери поништавају утицаји грешака ефемерида, тропосферске и јоносферске рефракције [26].

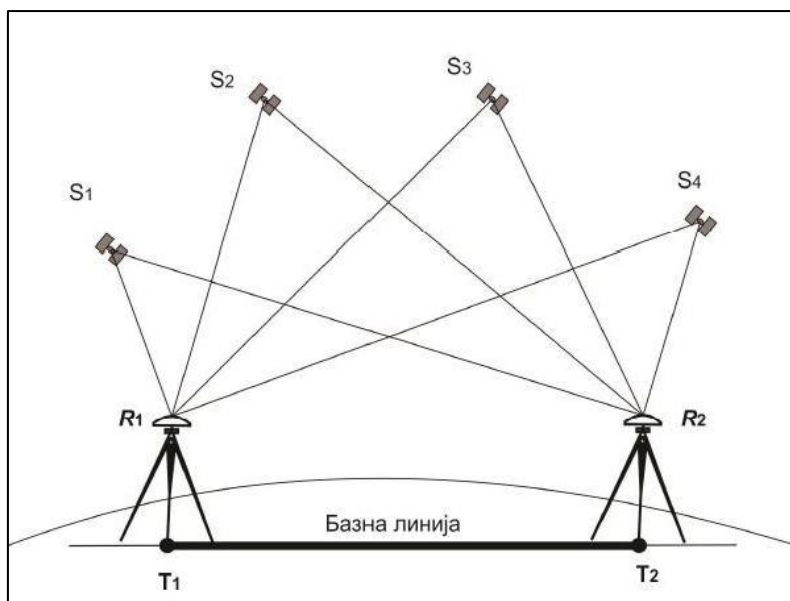
Ова техника је нарочито корисна у ситуацијама гдје је потребно пратити промјене у позицији с временом или када су услови за пријем сигнала лоши [29].

Једна од главних предности релативног позиционирања је већа прецизност у поређењу са аутономним методама. Мјерења могу достићи тачност до неколико центиметара или чак милиметара [30].

Код релативног позиционирања постоје два основна режима рада:

- Кинематичко позиционирање – представља позиционирање покретног корисника у реалном времену. Када се употребљавају кодне псеудодужине, остварује се тачност релативних положаја од неколико дециметара. Коришћењем фазних псеудодужина, уз претходно ријешене фазне неодређености, може се постићи тачност испод дециметра. Ова метода се назива RTK (енгл. Real-Time Kinematic) позиционирање.

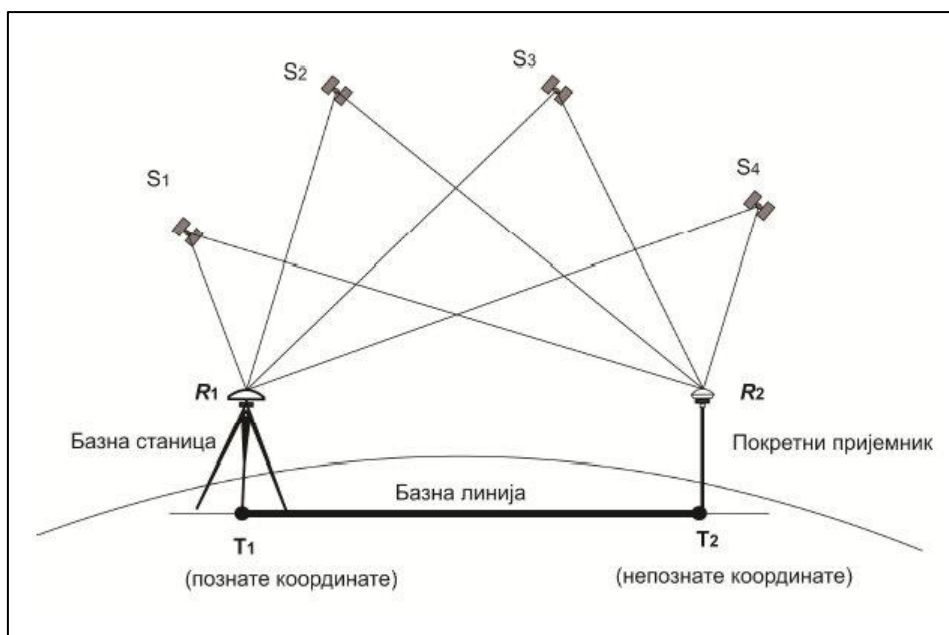
Поступком иницијализације се рјешавају фазне неодређености, а ако дође до прекида сигнала, неопходна је поновна иницијализација [26]. На слици 11 је приказано релативно статичко позиционирање.



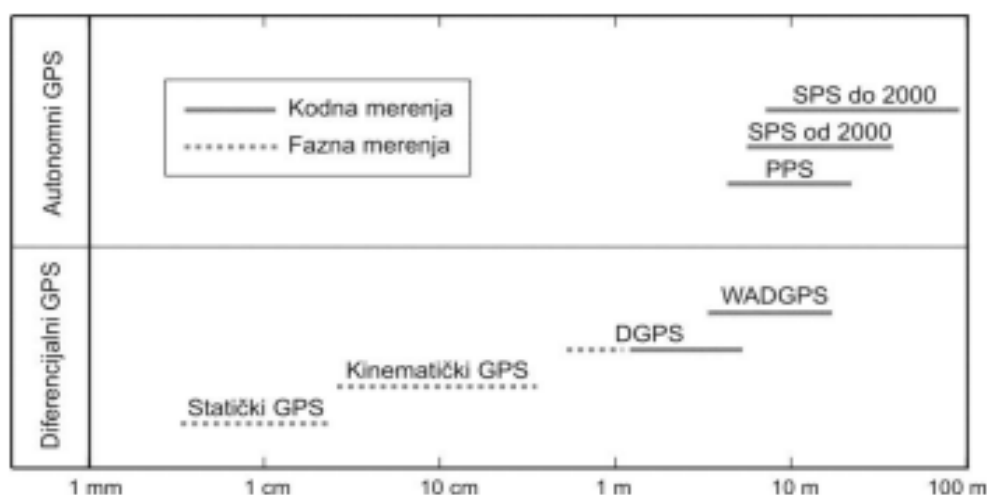
Слика 11. Релативно статичко позиционирање [31]

- Статичко позиционирање – Позиционирање стационарног корисника у односу на референтну станицу. Односи се на одређивање координатних разлика између двије станице на којима су два непомична GPS пријемника. Ова метода нема навигациони значај и резултати нису потребни у реалном времену, што значи да није потребна комуникација корисника са референтном станицом. Положаји тачака се одређују накнадном софтверском обрадом резултата мјерења прикупљаних током дужег времена. Статичким позиционирањем обезбјеђује се милиметарска тачност релативних положаја [26].

На слици 12 приказано је релативно кинематичко GPS позиционирање, док је на слици 13 представљена типична пројечна тачност различитих метода позиционирања.



Слика 12. Релативно кинематичко GPS позиционирање [31]



Слика 13. Типична пројечна тачност различитих метода позиционирања [26]

3.3. ПОДЈЕЛА И ПРИМЈЕНА GNSS СИСТЕМА

GNSS обухвата различите системе за одређивање положаја, који се разликују по броју сателита, технологији и прецизности.

3.3.1. Глобални позициони систем GPS

Глобални позициони систем (GPS) је амерички систем који корисницима пружа услуге позиционирања, навигације и временских података (PNT).

Овај систем се састоји од три сегмента: свемирског сегмента, контролног сегмента и корисничког сегмента [32].

GPS је први систем навигације заснован на сателитима који је постао доступан цивилним корисницима. Номинални број сателита је 24, који круже око Земље на висини од око 20200 метара. Овај систем је постао основа за многе технологије и апликације у свакодневном животу, од аутомобилске навигације до прецизних геодетских мјерења [33].

GPS функционише на принципу трилатерације, што значи да користи информације из више сателита за израчунавање тачне позиције корисника. Комбинацијом података из најмање три сателита, GPS пријемник може прецизно одредити своју позицију [27].

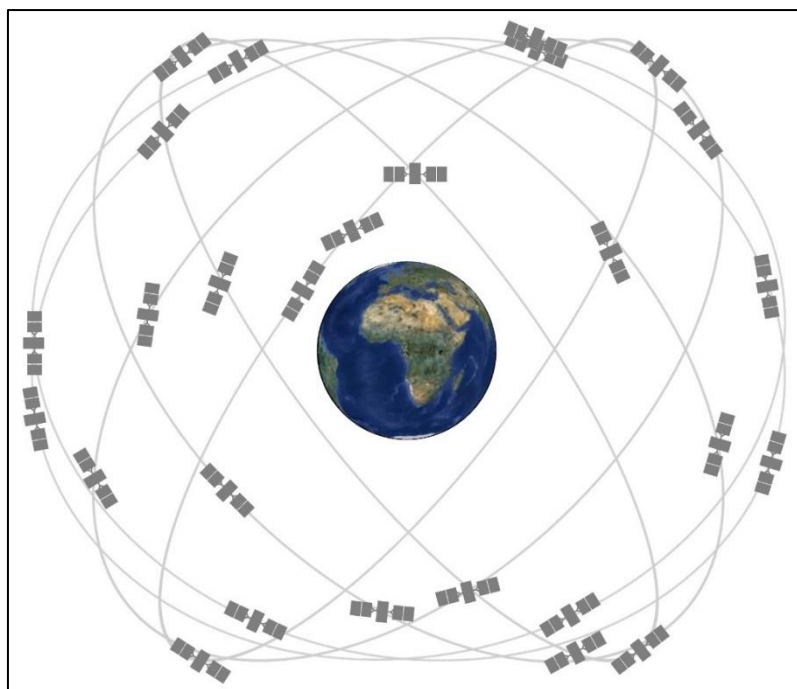
GPS се користи у различитим областима, укључујући навигацију, геодезију, пољопривреду, саобраћај, па чак и у војним операцијама. У свакодневном животу, људи користе GPS за навигацију у аутомобилима, а систем се користи и за праћење опреме у индустрији и оптимизацију ресурса [34].

Иако је GPS веома поуздан, суочава се са изазовима као што су грешке у времену и потешкоће у урбаним срединама гдје зграде могу блокирати сигнале. Ове потешкоће могу утицати на прецизност навигације и одређивања положаја. У будућности, развој нових технологија, као што су више сателита и модернизација постојећих, може додатно побољшати тачност и поузданост GPS система. Такође, интеграција GPS-а са другим системима за позиционирање, као што су GLONASS и Galileo, може донијети значајна побољшања [35].

Од почетка су за цивилну употребу постојала ограничења приликом употребе GPS, јер је овај систем првентивно развијен за војне потребе.

С тога, GPS пружа двије услуге позиционирања: стандардно позиционирање SPS (енгл. Standard Positioning Service) намијењено за цивилну употребу и прецизно позиционирање за војну примјену PPS (енгл. Precise Positioning Service).

На слици 14 приказана је констелација GPS сателита.



Слика 14. Констелација GPS сателита [32]

3.3.2. Глобални навигациони сателитски систем GLONASS

GLONASS (Глобални Навигациони Сателитски Систем) је руски сателитски навигациони систем, који пружа услуге позиционирања, навигације и временских података. Систем је развијен од стране Министарства одбране Русије и представља глобални систем [36].

GLONASS се састоји од 27 сателита, од којих је 24 активних, распоређених у три орбиталне равни. Систем функционише на принципу трилатерације [27].

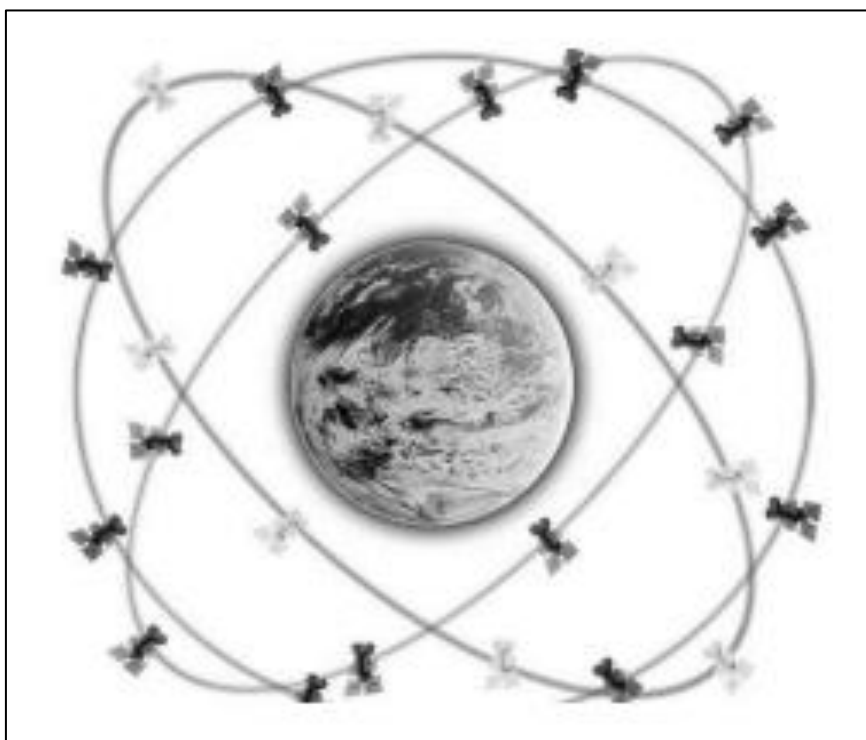
GLONASS се користи у разним апликацијама, укључујући војне операције, цивилну навигацију, геодезију, и управљање транспортом. У Русији, GLONASS је интегрисан у многе комерцијалне и јавне системе, као што су системи за контролу саобраћаја и навигацију у аутомобилима [37].

GLONASS се суочава са изазовима као што су технолошка застарјелост и конкуренција са другим глобалним навигационим системима, попут GPS-а и Galileo-а. Међутим, Русија наставља да инвестира у развој GLONASS-а, са циљем да побољша тачност и поузданост система [38].

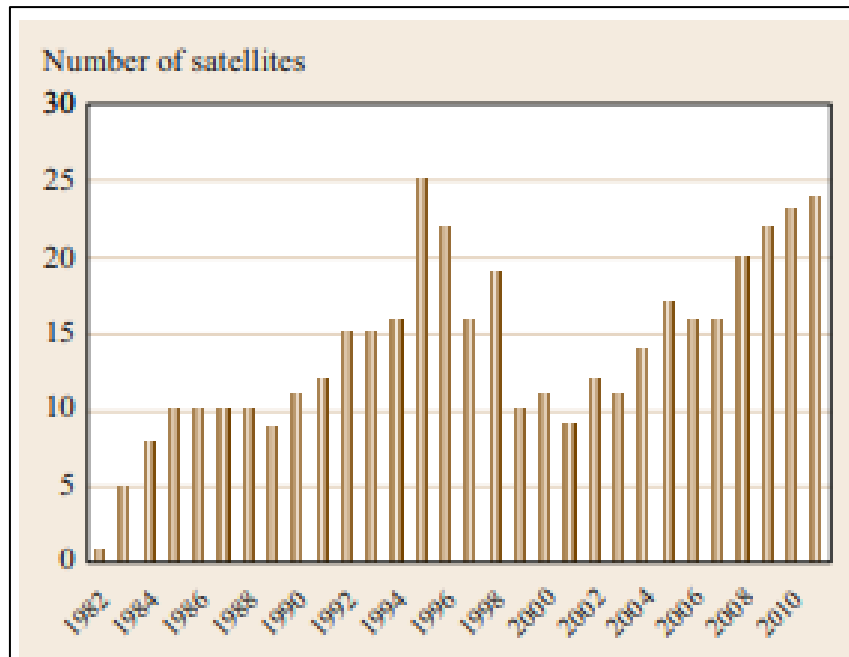
Први GLONASS сателит лансиран је 12. октобра 1982. године. Потпуна оперативност постигнута је почетком 1996. године са укупно 24 сателита [39].

На слици 15 приказана је констелација GLONASS система, док је на слици 16. представљен графикон који приказује број сателита лансираних по годинама у периоду од 1992. до 2010. године. Вертикална оса означава број сателита, док хоризонтална оса приказује године у овом временском распону. Од 1992. до 1996. године видљив је постојан раст броја лансираних сателита. Година 1997. је обиљежена значајним порастом, достигавши око 25 сателита, што је највише у том периоду. Од 1998. до 2004. године примјећује се флуктуација броја сателита, са благим падом и растом. Од 2005. до 2010. године број сателита постепено расте, достигавши свој максимум у том периоду [26].

Слика показује општи тренд раста броја лансираних сателита током анализираног периода, са повременим осцилацијама.



Слика 15. Констелација GLONASS система [26]



Слика 16. Развој констелације GLONASS [25]

До сада лансирани сателити могу се подијелити у три категорије: оригинални GLONASS сателити (од 1982. године), сателити GLONASS-M (од 2003. године) и сателити GLONASS-K (од 2011. године). На слици 17. приказан је изглед GLONASS сателита [26].



Слика 17. Изглед GLONASS сателита: GLONASS-M (горе), GLONASS-K (доле).

3.3.3. Глобални навигациони сателитски систем BeiDou

BeiDou је сателитски навигациони систем који је дио космичког програма Кине. Развој система започео је 1970-их година, са лансирањем првог вјештачког сателита BeiDou-1 [40].

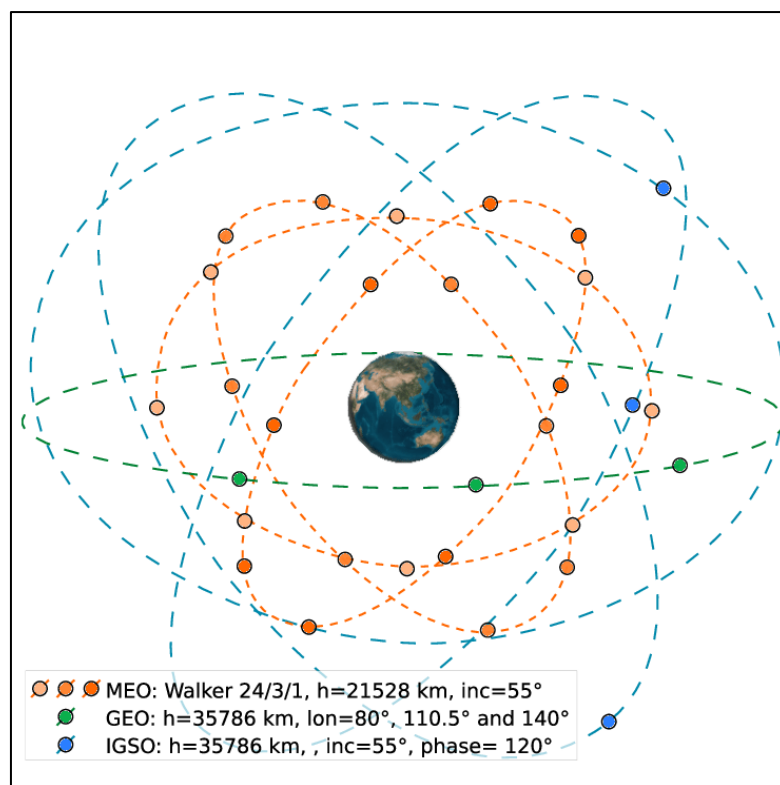
BeiDou-1 успостављен је 1994. године, а почетна констелација састојала се од укупно три сателита лансирана 2000. и 2003. године у геостационарним орбитама [41].

Планирано је да BeiDou-1 пружа пет основних типова услуга [42]:

- Позиционирање покретних корисника,
- Емитовање корекција и података о интегритету за употребу са GPS и GLONASS системима,
- Двосмјерна размјена текстуалних порука,
- Дисеминација кинеског атомског времена за потребе синхронизације,
- Пренос GPS одређених положаја у центре који управљају флотама летјелица.

Након успјешног функционисања BeiDou-1, Кина је почела да развија BeiDou-2, потпуно нови систем који ће понудити глобалне навигационе услуге. Ова фаза развоја подразумијева додатно повећање броја сателита и побољшање тачности и поузданости система [43].

На слици 18 је приказана конфигурација BeiDou сателита. Наранџастом бојом, на висини од 21,528 km, приказане су MEO - орбите средње висине (енгл. Medium Earth Orbit), ови сателити су распоређени у констелацију Walker 24/3/1 (24 сателита распоређена у три орбиталне равни са инклинацијом од 55°). Они су најчешће коришћени за навигационе системе јер обезбјеђују широку покривеност Земље. Зеленом бојом, на висини од 35,786 km, означене су GEO геостационарне орбите (енгл. Geostationary Orbit) и ови сателити се налазе изнад одређених локација (лонгитуда 80°, 110.5° и 140°) и изгледају као да мирују у односу на Земљу. Користе се за комуникацију, као и за неке аспекте позиционирања. Плавом бојом, на висини од 35,786 km и инклинацијом 55°, налазе се IGSO геосинхроне орбите. Ови сателити се користе за специфичне регионе, обезбеђујући додатну покривеност.



Слика 18. Констелација BeiDou сателита [44]

3.3.4. Глобални навигациони сателитски систем Galileo

Galileo је GNSS развијен од стране Европске уније и Европске свемирске агенције (ESA) који се састоји из три компоненте: глобалне, регионалне и локалне.

Номинални број сателита за систем Galileo је 30. Први Galileo сателит лансиран је децембра 2005. године под називом GIOVE-A (енгл. Galileo In-Orbit Validation Element).

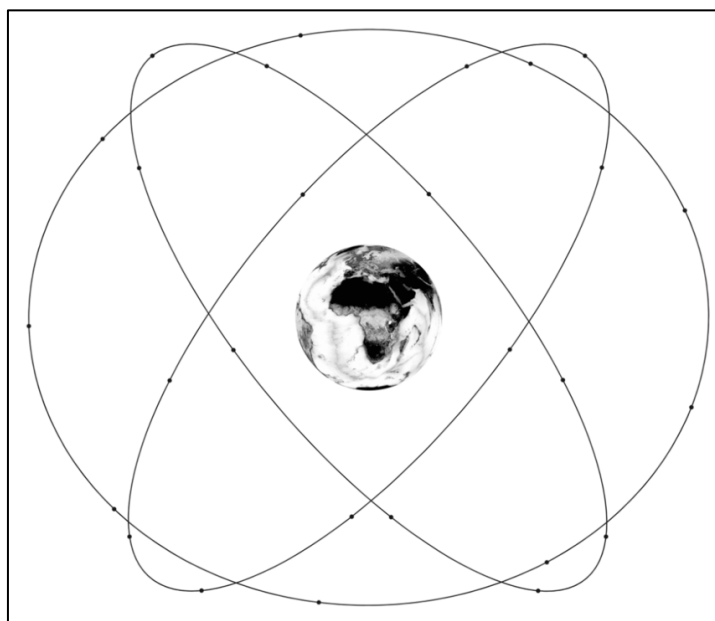
Galileo нуди различите услуге, укључујући:

- Отворену, јавну услугу (енгл. Open Service),
- Комерцијалну услугу са побољшаном прецизношћу CS (енгл. Commercial Service),
- Услугу за претрагу и спасавање (енгл. Safety-of-Life Service),
- Услугу јавне управе PRS (енгл. Public Regulated Service) и
- Услуге претраживања и спасавања SAR (енгл. Search and Rescue Service)

Galileo је дизајниран да буде независан од других GNSS система, пружајући Европи самосталност у навигационим и позиционим услугама [45].

Galileo ће се и даље развијати, с плановима за унапређење прецизности и интеграцију нових технологија, као што су системи за подршку у ситуацијама када постоје сметње на сигналу. Овај систем ће играти кључну улогу у развоју будућих навигационих и позиционих рјешења [46].

На слици 19. приказана је констелација Galileo сателита.



Слика 19. Констелација Galileo сателита [47]

На слици 20 је приказана Galileo станица за телекомуникацију, праћење и контролу сателита, која се налази у Куруу, у Француској, у региону Француска Гвајана. Ова антена, пречника 13,5 метара, постављена је на 10 метара високу конструкцију од челика и бетона. Њена улога је од суштинског значаја за комуникацију са Galileo сателитима. Ова станица ће помоћи у модернизацији мреже и подршци растуће Galileo констелације.

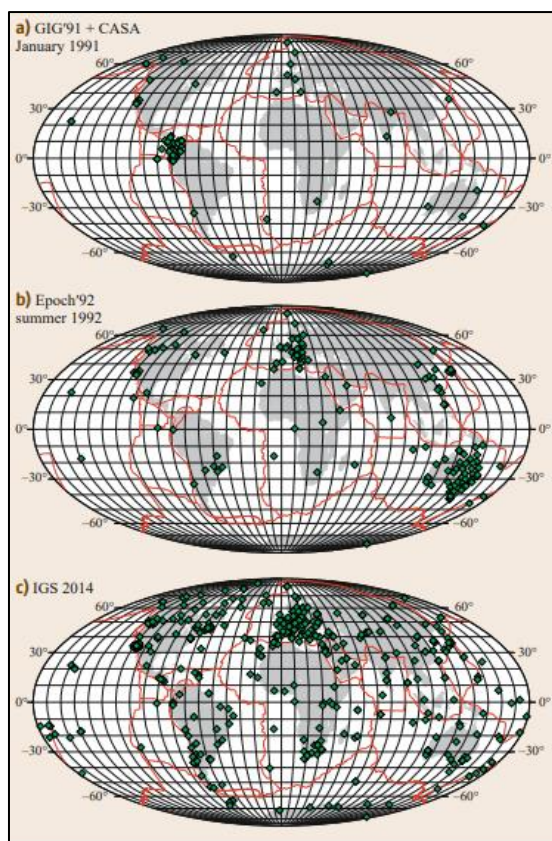


Слика 20. Galileo земаљска станица [48]

3.4. GNSS У ГЕОДИНАМИЦИ

GNSS се широко користе у истраживању геодинамике, укључујући студије покрета тектонских плоча и деформације граница плоча, земљотреса и сеизмологије, деформације вулкана, деформације услед оптерећења површине и глечерског изостатичког прилагођавања. GNSS је идеалан алат за ове студије јер може да пружи временске серије позиција прецизности у милиметрима, користећи јефтину, преносиву и лако распоредиву опрему.

Најраније GNSS студије из 1980-их спроведене су у окружењу у којем је модерна геодезија тек показала читав спектар својих способности, иако не и садашњи ниво прецизности. Неопходни рачунарски алати већ су постојали, све што је било потребно је мјерни алат који би могао да пружи просторно и временски густа мјерења деформације површине. То је пружено првим GNSS системом, глобалним позиционираним системом (GPS). На слици 21. приказан је ток развоја континуираних GNSS мрежа. Данас податке са бројних GNSS станица користе истраживачи широм свијета [25].



Слика 21. Развој континуираних GNSS мрежа [25]

GNSS у геодинамици се користи за:

- **Праћење тектонских покрета**

GNSS системи играју кључну улогу у праћењу и анализи тектонских покрета. Користе се за мјерење промјена у положају земљине коре узрокованих геолошким процесима, као што су помјерање тектонских плоча. Ови подаци помажу научницима да боље разумију динамику Земље и процесе који доводе до земљотреса [49].

- **Анализа деформација**

GNSS се користи за анализе деформација земљишта које могу бити узроковане различитим факторима, укључујући грађевинске активности, природне догађаје и дугорочне промјене на земљишту. Прецизна мјерења омогућавају стручњацима да прате промјене у дебљини и облику земљишта током времена [50].

- **Предвиђање земљотреса**

Комбинација GNSS података са сеизмичким подацима може побољшати моделе предвиђања земљотреса.

Ови подаци помажу у разумијевању како се напетост акумулира у земљиној кори и омогућавају научницима да идентификују потенцијалне области високог ризика [51].

- **Истраживање промјене нивоа мора**

GNSS се користи за праћење промјена нивоа мора, што је кључно за разумијевање климатских промјена и њихових ефеката на обалу. Мјерења омогућавају анализу података о порасту нивоа мора и његовом утицају на земљиште [52].

- **Геодинамичке студије**

GNSS технологија се користи у геодинамици за проучавање сложених интеракција између различитих геолошких процеса. Ови подаци омогућавају истраживачима да развију боље моделе који објашњавају промене у земљиној кори током времена [53].

GNSS системи су од суштинског значаја у геодинамици јер омогућавају праћење тектонских покрета, анализу деформација, предвиђање земљотреса и истраживање промјена нивоа мора. Како технологија напредује, очекује се да ће њихова улога у разумијевању геолошких процеса постати још значајнија [54].

4. ВРЕМЕНСКЕ СЕРИЈЕ

У последњих двадесет година, напредак GNSS технологије значајно је промијенио методе проучавања динамике Земљине површине. Временске серије GNSS координата постале су важан елемент геодетских и геодинамичких истраживања, нарочито у контексту континуираних GNSS мјерења [55].

Временске серије GNSS координата представљају низ података о положају GNSS станица прикупљених током времена. Оне су од суштинског значаја за анализу промјена у положају и деформацијама земљине коре, што је кључно за разумијевање геодинамике и других геолошких процеса [56].

Временске серије GNSS координата пружају високо прецизне процјене положаја и брзине GNSS антене, што је кључно за геодинамичку интерпретацију. Прије него што се оцјене брзине станица, потребно је извршити детаљну анализу карактеристика шума и периодичних сигнала. Ова анализа пружа дубље увиде у процесе повезане са станицом и њеном околином. Правилна статистичка анализа обојеног шума може да пружи поузданије процјене несигурности брзине и да открије информације о стабилности станице [55].

У овом поглављу су описане временске серије те циљеви и приступи за анализу временских серија.

4.1. ДЕФИНИЦИЈА И ВРСТЕ ВРЕМЕНСКИХ СЕРИЈА

Временском серијом се сматра уређени низ података прикупљених или посматраних током одређеног временског периода, у различитим епохама. Ови подаци представљају мјерења одређене статичке појаве по временским интервалима, што омогућава анализу како се та појава мијења током времена.

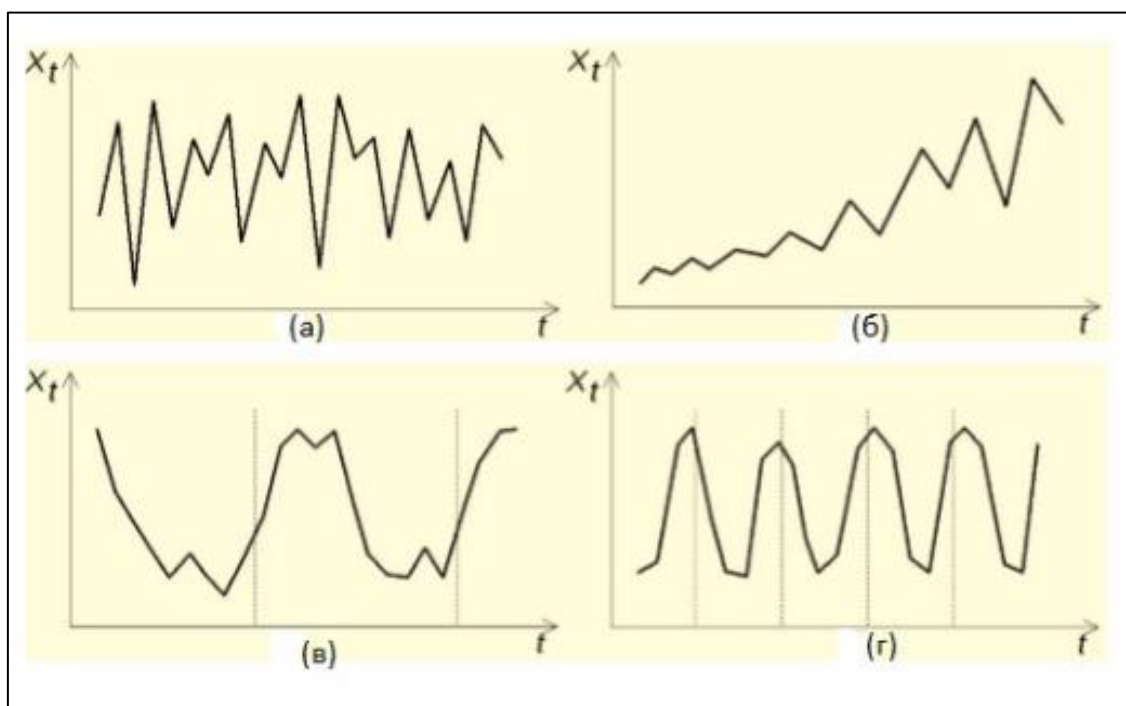
Ниво појава може се односити на моментне временске серије и на интервалне временске серије.

Временска серија се састоји од неколико кључних компоненти које заједно дефинишу њене карактеристике и обрасце. Ове компоненте омогућавају анализу и разумијевање промјена у подацима током времена.

- **Тренд:** Дугорочна кретања у подацима, која могу бити растућа, опадајућа или стационарна. Тренд показује општи правац у којем се подаци крећу током дужег временског периода [57].

- **Сезоналност:** Периодични обрасци који се понављају у редовним временским интервалима, обично током године [58].
- **Цикличне промене:** Дужи обрасци промјена који се не јављају у правилним интервалима, већ су повезани са другим циклусима. Ове промјене могу трајати годинама и зависе од различитих фактора [59].
- **Насумична компонента:** Такође позната као шум, ова компонента представља случајне промјене које се не могу објаснити другим компонентама. Ове промјене су обично непредвидиве и резултат су случајних догађаја [60].

На слици 22 приказани су типови временских серија.



Слика 22. Типови временских серија: а) константан процес, б) процес са трендом, в) серија са цикличним варијацијама, г) серија са сезонским варијацијама [55]

4.2. ЦИЉЕВИ И ПРИСТУПИ АНАЛИЗЕ ВРЕМЕНСКИХ СЕРИЈА

Анализа временских серија је статистичка метода која се користи за истраживање података прикупљених током времена. Ова анализа помаже у идентификовању образаца, трендова, сезонских варијација и других важних аспеката података [61].

За детаљну анализу временских серија GNSS координата прије него што се приступи процјени брзина GNSS станица, важно је прво спровести анализу карактеристика шума и периодичног сигнала.

Ова анализа омогућава дубље разумијевање процеса који се односе на саму станицу и њену околину. Користећи одговарајућу статистичку анализу обојеног шума, добија се поузданија процјена несигурности брзине, што такође пружа важне информације о стабилности станице [55].

Кључни кораци у анализи временских серија:

- **Прикупљање података:** Први корак је сакупљање релевантних података који ће бити анализирани. Подаци могу бити дневни, мјесечни или годишњи, у зависности од природе пројаве која се посматра [62].
- **Визуелизација података:** Графички приказ података помаже у првом увиду у обрасце и трендове. Користе се графикони, као што су линијски графикони или графикони расподеле [57].
- **Идентификација трендова и сезонских образаца:** Анализа омогућава откривање дугорочних трендова и краткорочних сезонских образаца у подацима [58].
- **Моделовање:** Користе се различити статистички модели за предвиђање будућих вриједности. Ови модели укључују ARIMA (енгл. Autoregressive Integrated Moving Average), GARCH (енгл. Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity) и друге [59].
- **Процјена модела:** Након креирања модела, потребно је процијенити његову тачност и поузданост. Ово укључује тестирање на постојећим подацима [60].
- **Предвиђање:** На крају, користе се успостављени модели за предвиђање будућих вриједности и анализа резултата [63].

Анализа временских серија има неколико кључних циљева, који се односе на разумијевање података и предвиђање будућих вриједности.

- **Идентификација трендова и периодичних образаца:** Анализа временских серија омогућава идентификацију дугорочних трендова и периодичних образаца у подацима. Ово може помоћи у разумијевању основних фактора који утичу на појаве [57].

- **Откривање цикличних промјена:** Поред идентификације трендова и периодичних образаца, анализа може открити цикличне промјене које могу бити важне за стратегије планирања и одлуке [59].
- **Предвиђање будућих вриједности:** Један од основних циљева анализе временских серија је предвидјети будуће вриједности на основу постојећих података [62].
- **Процјена утицаја екстерних фактора:** Анализа временских серија може помоћи у процјени утицаја различитих спољних фактора на појаве у подацима [60].
- **Моделовање и тестирање хипотеза:** Временске серије могу се користити за моделовање и тестирање хипотеза о динамици података. Различити статистички тестови могу се примјенити да се провјере претпоставке о подацима [58].

4.3. АНАЛИЗА ВРЕМЕНСКИХ СЕРИЈА GNSS КООРДИНАТА

Анализа GNSS (Global Navigation Satellite System) временских серија односи се на испитивање података прикупљених са GNSS станица које омогућавају праћење промјене положаја у простору током времена [55].

Анализа се често користи за геодетска, инжењерска и геофизичка истраживања. Ова истраживања укључују и праћење помјерања Земљине коре, клизишта, сеизмичких активности и сличних појава.

GNSS временске серије представљају положај GNSS станице у одређеним временским интервалима и чини их низ координата (најчешће у три димензије: исток-запад, сјевер југ и вертикално) [55].

Циљ анализе временских серија је да разумије обрасце кретања, дугорочне трендове, краткотрајне догађаје и сезонске промјене.

Анализа укључује статистичке и математичке технике за обраду података, моделовање и интерпретацију резултата како би се добиле потребне информације о геодинамичким процесима [55].

Прије него што се примјени математички модел потребно је да се елиминишу аутлејери, односно неопходно је спровести чишћење података.

Аутлејери могу настати услед различитих фактора као што су привремене аномалије у окружењу или грешке у мјерењу и могу значајно нарушити тачност модела, нарочито ако се не уклоне из скупа података или остану неидентификовани. Из тог разлога је примјена алгоритама за откривање и елиминисање аутлејера кључан корак у препроцесирању података.

Уз помоћ робусног алгорита који је утемељен на IQR (енг. Interquartile Range) за идентификацију и разину одлуке о одбијању $n = 3$ реализовано је уклањање аутлејера у GPS временском низу координата SPLT станице [66].

$$|\hat{v}_i - \text{median}(\hat{v}_{i-w/2}, \hat{v}_{i+w/2})| > 3 \cdot \text{IQR}(\hat{v}_{i-w/2}, \hat{v}_{i+w/2}) \quad (2)$$

За анализу дугорочног тренда у GNSS временским серијама, најчешће се примјењује линеарни модел који је изражен као [67]:

$$y(t) = a + bt + \epsilon(t) \quad (3)$$

Гдје је:

- $y(t)$ – позиција GNSS станице у тренутку t ,
- a – почетна вриједности,
- b – коефицијент тренда (нагиб) који показује просјечну промјену позиције по јединици времена,
- $\epsilon(t)$ – резидуална компонента (грешка или шум) која садржи варијабилности које нису објашњене линеарним моделом.

Коефицијент b је кључни параметар који указује на постојање дугорочног тренда у подацима. Уколико је b позитиван, то указује на постојање узлазног тренда (позиција расте током времена), док негативна вриједност b показује да постоји силазни тренд (позиција опада током времена). Када је b близу нуле, то сугерише да нема значајног дугорочног тренда.

Метода најмањих квадрата (енг. Least Squares Method) се најчешће користи за процјену параметара a и b . Ова метода минимизује збир квадрата разлика између стварних вриједности $y(t)$ и процијењених вриједности из модела [67].

Модел може да буде проширен са синусоидним компонентама, уколико је потребно укључити и сезонске ефекте у анализу [67]:

$$y(t) = a + bt + c \cos(\omega t) + d \sin(\omega t) + \epsilon(t) \quad (4)$$

Гдје су c и d коефицијенти за синусоидне компоненте, а ω фреквенција сезонских осцилација.

Ови изрази омогућавају прецизну анализу дугорочних трендова и периодичних варијација у GNSS временским серијама.

У овом мастер раду је анализиран дугорочни тренд без укључивања сезонских варијација које се јављају на специфичним временским t_0 тачкама.

Хеависидеова функција може бити корисна када желимо укључити скокове у временској серији. Ова функција служи за моделовање таквих дисконтинуитета.

Хеависидеова функција, $H(t - t_0)$, дефинише се као [67]:

$$H(t - t_0) = \begin{cases} 0, & t < t_0 \\ 1, & t \geq t_0 \end{cases} \quad (5)$$

Хеависидеова функција може да се интегрише у модел за временске серије како би се симулирале изненадне промјене или скокови у серији, попут земљотреса или друге нагле промјене у положају GNSS станица.

Измијењени модел временске серије са овом функцијом може се записати као [67]:

$$y(t) = a + bt + \sum_{i=1}^N k_i H(t - t_i) + \epsilon(t) \quad (6)$$

Гдје је:

- $y(t)$ – позиција GNSS станице у тренутку t ,
- a – почетна вриједност (интерцепт),
- b – коефицијент тренда (нагиб),
- k_i – амплитуда скока у тренутку t_i ,
- $H(t - t_i)$ – Хеависидеова функција која активира скок у тренутку t_i ,
- $\epsilon(t)$ – резидуална компонента (грешка или шум).

Хеависидеова функција осигурава да скок постане активан тек од тренутка t_i па надаље, док k_i одређује величину скока у овом моделу.

Овакав метод омогућава прецизно моделовање дисконтинуитета који настају услед специфичних догађаја попут земљотреса или техничких промјена у GNSS станицама.

За процјену прецизности временске серије користи се тежински корјен средње квадратне грешке (енгл. Weighted Root Mean Square, WRMS), који узима у обзир различите тежине које могу бити додјељене различитим тачкама у серији (нпр. због различите поузданости мјерења).

WRMS се дефинише као: $\hat{y}$

$$WRMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \omega_i (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N \omega_i}} \quad (7)$$

Гдје је:

- y_i – стварна вриједност временске серије у тренутку i ,
- $\hat{y}_i$ – предвиђена вриједност у тренутку i из модела,
- ω_i – тежина додјељена податку у тренутку i ,
- N – укупан број тачака у временској серији.

Поступак примјене:

1. Додјела тежина: На основу поузданости података се обично додјељују тежине ω_i (Тачке са већом прецизношћу мјерења добијају веће тежине).
2. Израчунавање резидуалне грешке: Квадрат разлике између стварне вриједности y_i и предвиђене вриједности $\hat{y}_i$ израчунава се за сваку тачку i .
3. Сумирање са тежинама: Са одговарајућом тежином ω_i множи се сваки квадрат грешке и сумира се за све тачке у временској серији.
4. Нормализација: Сума пондерисаних квадрата грешке се дијели са сумом свих тежина $\sum_{i=1}^N \omega_i$
5. Израчунавање WRMS: Корјен квадратног израза даје WRMS.

WRMS узима у обзир неједнакости у прецизности мјерења и омогућава боље разумијевање варијабилности временске серије. Нпр. уколико су нека мјерења тачнија од других, WRMS ће их више узети у обзир током процјене укупне грешке серије.

WRMS може да помогне при процјени квалитета модела који се користи за анализу тренда и скокова у GNSS временским серијама, омогућавајући прецизнију квантификацију преосталих грешака у серији.

II ПРАКТИЧНИ ДИО РАДА

5. МОДЕЛОВАЊЕ ВРЕМЕНСКИХ СЕРИЈА GNSS КООРДИНАТА

5.1. ПОДРУЧЈЕ ИСТРАЖИВАЊА

GNSS станица SRJV00BIN, која се налази на згради Грађевинског факултета у Сарајеву, има најдужу временску серију у региону, која траје око 24 године, у поређењу са другим станицама. Снажнији земљотреси су релативно ријетки за подручје око Сарајева, иако територија БиХ спада у сеизмички активну зону. Дубина хипоцентра на овом подручју креће се од 4 km до 30 km. На слици 23 и 24 приказана је антена GNSS станице SRJV00BIN, док је на слици 25 представљена њена локација.



Слика 23. Антена TRM57971 на димњаку Грађевинског факултета у Сарајеву [65]



Слика 24. Антена TRM57971 на димњаку Грађевинског факултета у Сарајеву [65]

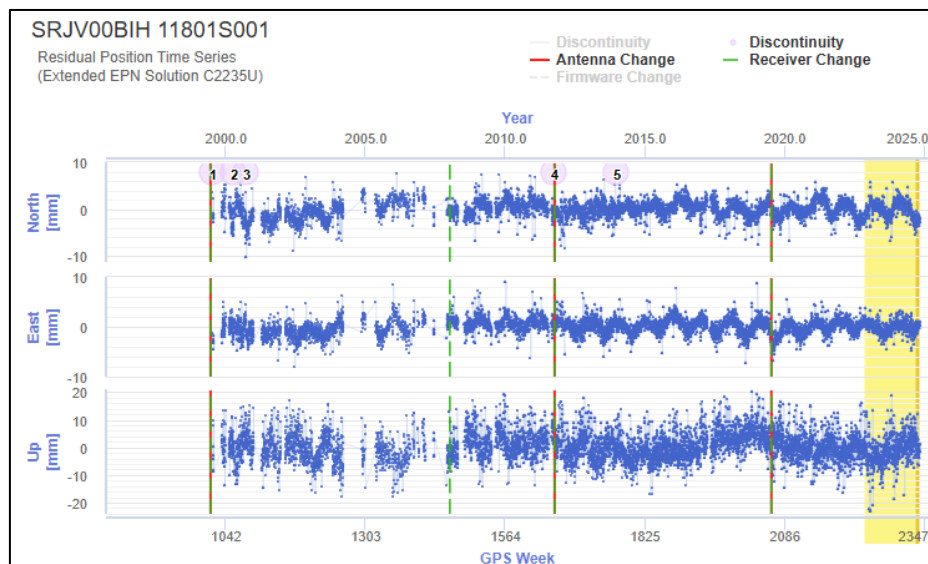


Слика 25. Локација GNSS станице SRJV00BIH [64]

Подаци GNSS станице SRJV00BIH укључени су у EPN мрежу (енгл. European Permanent Network) још од 28. новембра 1999. године. Подаци са ове станице су доступни под CC-BY-4.0 лиценцом што значи да могу бити кориштени уз одговарајуће навођење извора.

Последњи кориштени пријемник јесте LEICA GR30, који је у употреби од 20. септембра 2024. године до данас. EUREF пружа информације о позицији и брзинама за GNSS станицу SRJV00BIH и класификовао је као станицу класе А, што значи да се може користити као фидуцијална станица за повећање густине станица у оквиру EUREF мреже. Ово указује на то да је GNSS станица SRJV00BIH високо прецизна и стабилна, јер су станице класе А кључне за одржавање тачности и поузданости. На слици 26. су приказане временске серије GNSS станице SRJV00BIH које показују резидуалне позиције у три компоненте: North (сјевер), East (исток) и Up (висина). Плаве тачке представљају помаке у милиметрима, док различите боје вертикалних линија означавају дисконинуитете (промјене које утичу на GNSS мјерења). Црвена линија означава промјену антене (Antenna Change), плава линија промјену firmware-a (Firmware Change), док зелена линија показује промјену пријемника (Receiver Change). На основу графика који је приказан на слици 26. могу се пратити дугорочни трендови у свакој од компоненти. Ако има кретања (нпр. узлазни или силазни тренд), то указује на кретање GNSS станице због тектонских процеса, сеизмичке активности или локалне деформације тла.

Поред тога, вертикалне линије показују гдје је дошло до техничких промјена које могу узроковати промјену у мјерењима, док плаве тачке указују на прецизност мјерења, тј. што су тачке ближе централној оси, то су мерења прецизнија.



Слика 26. Позиције временских серија [65]

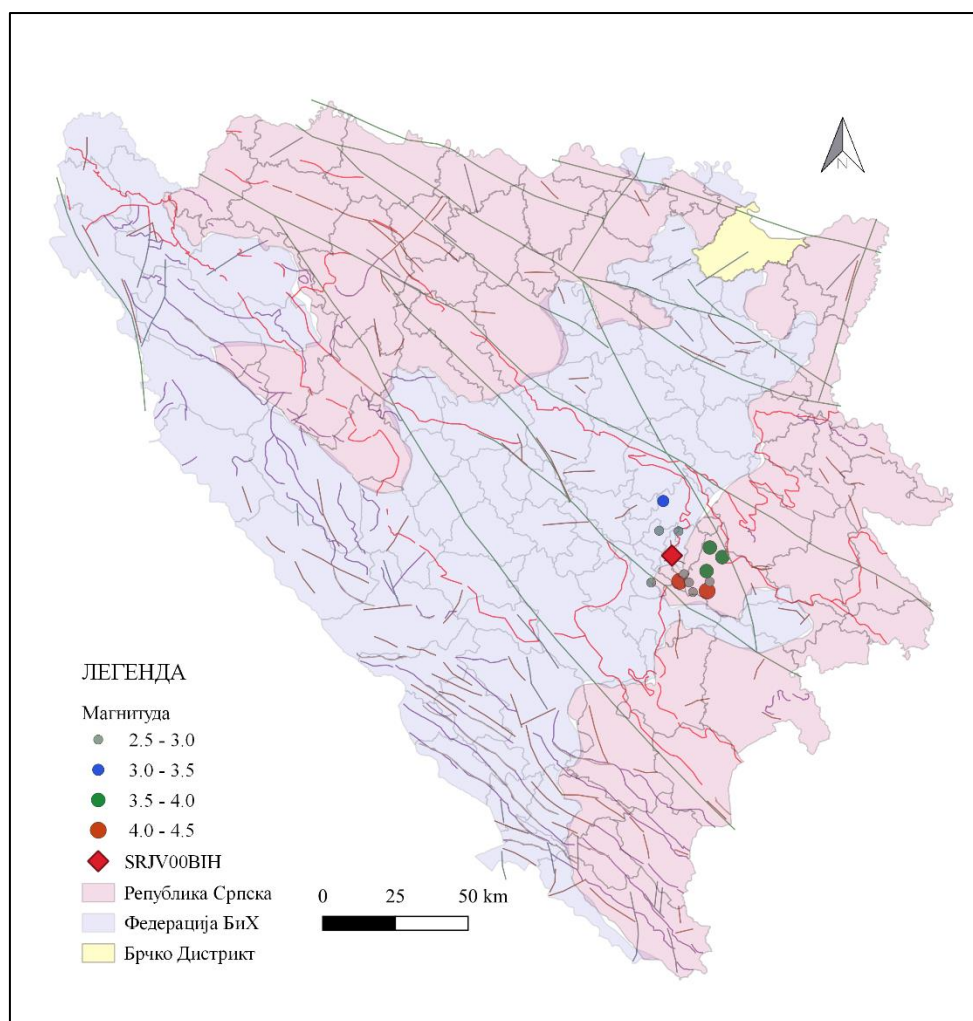
5.2. ОБРАДА И АНАЛИЗА ПОДАТАКА

У овом мастер раду кориштени су подаци који су преузети са интернет сервиса Nevada Geodetic Laboratory (NGL). NGL путем свог сервиса MAGNET + Global GPS Network Map пружа приступ широкој бази података и познат је по прикљпању и анализи геодетских података. Ови подаци су прикупљени кориштењем високо прецизног GPS пријемника који је дио глобалне мреже која непрекидно биљежи временске серије података. Технологија даје могућност праћења површинског помјерања тла са прецизношћу на нивоу милиметра, што је од великог значаја за геодетске и сеизмолошке студије. Подаци који се користе су временски низови GPS координата који се односе на референтни оквир IGS14 који је успостављен од стране International GNSS Service (IGS) 2014. године. Потребни подаци о земљотресима су преузети из базе података U.S. Geological Survey (USGS) који прикупља и чува податке о земљотресима широм свијета. Приступ подацима и алатима је отворен за истраживаче и научнике за потребе истраживања. За добијање релевантних података, у овом случају је кориштен "Search Earthquake Catalog".

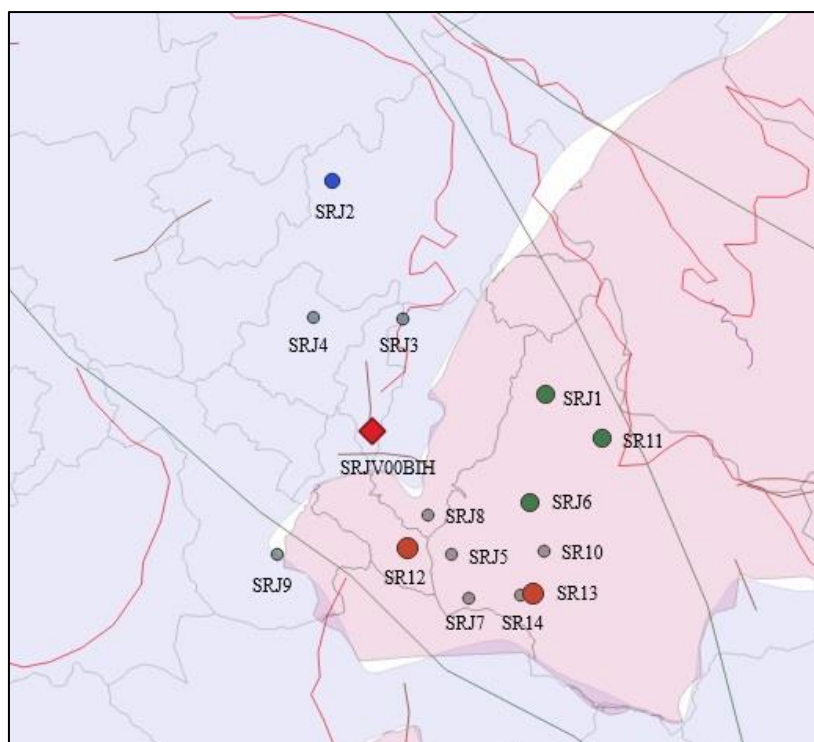
5.3. АНАЛИЗА ДОБИЈЕНИХ РЕЗУЛТАТА

У овом мастер раду анализирани су земљотреси у околини GNSS станице SRJV00BIN.

За анализу временских серија кориштен је TSAlyzer. На слици 27 приказана је локација GNSS станице SRJV00BIN, као и земљотреси у њеној околини, са њиховом повезаношћу са тектонским расједима и потенцијалним изворима земљотреса. На мапи су јасно истакнуте локације земљотреса у односу на главне тектонске расједе, као и на GNSS станицу SRJV00BIN.



Слика 27. Приказ земљотреса и расједа у околини станице SRJV00BIN



Слика 28. Приказ земљотреса и расједа у околини станице SRJV00BIN

У табели 4 представљени су земљотреси у околини GNSS станице SRJV00BIN. Ова табела садржи информације о дубини, магнитуди и удаљености од GNSS станице SRJV00BIN за наведене сеизмичке догађаје. Земљотреси варирају у магнитуди од 2.6 до 5.5 на Рихтеровој скали. Дубине земљотреса су у опсегу од 2 km до 13 km, што указује на релативно плитке земљотресе. Удаљеност од станице варира, при чему су неки земљотреси удаљени више од 19 km, док су други ближи, нпр. SRJ8 (9.178 km).

Табела 4. Приказ дубине, магнитуде и удаљености од GNSS станице SRJV00BIN за сеизмичке догађаје

Сеизмички догађај (земљотрес)	Датум	Латитуда N (°)	Лонгитуда E (°)	Дубина (km)	Магнитуда (Richter)	Удаљеност од GNSS станице SRJV00BIN
SRJ1	11.06.2000.	43.896	18.582	10	3.7	16.556 km
SRJ2	14.10.2000.	44.041	18.383	10	3.4	7.586 km
SRJ3	11.08.2001.	43.788	18.492	13.3	2.5	11.701km
SRJ4	09.05.2003.	43.788	18.330	4.7	2.9	10.922 km
SRJ5	24.06.2003.	43.814	18.471	10	2.7	19.174 km
SRJ6	31.03.2004.	43.823	18.567	10	3.9	13.397 km
SRJ7	18.08.2005.	43.758	18.508	11	2.7	17.174 km
SRJ8	29.12.2007.	43.947	18.448	5.5	2.6	9.178 km
SRJ9	31.12.2007.	43.949	18.361	3.2	2.9	17.497 km
SR10	19.07.2008.	43.790	18.580	11	2.7	15.727 km
SR11	30.03.2009.	43.866	18.635	2	3.9	8.746 km
SR12	31.03.2009.	43.792	18.452	5	4.1	14.476 km
SR13	12.04.2015.	43.761	18.569	3.6	4.1	12.986 km
SR14	22.02.2019.	43.760	18.558	10	2.7	9.640 km

Табела 5 приказује временске интервале GNSS серија, број епоха и WRMS прије и након чишћења података. Видљиво је да чишћење података смањује WRMS вриједности у свим компонентама (N, E, Up), што указује на побољшање квалитета мјерења. Такође, у неким серијама постоје празнине (нпр. SRJ6, SRJ10), које могу утицати на континуитет и анализу временских серија.

Табела 5. Приказ интервала временских серија, број епоха и WRMS прије и након чишћења

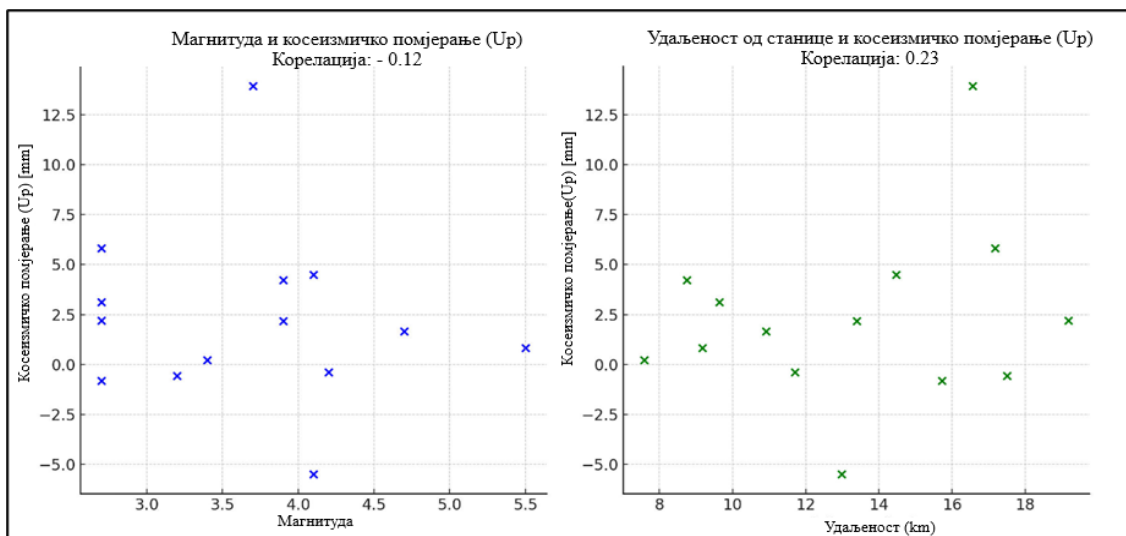
Временска серија	Интервал временске серије		Број епоха	WRMS (контаминирани)			Број епоха након чишћења	WRMS (након чишћења)		
	Од	Од		N [mm]	E [mm]	Up [mm]		N [mm]	E [mm]	Up [mm]
SRJ1	15.06.1999.	11.06.2002.	620	2.699	3.236	20.485	599	2.330	2.868	7.662
SRJ2	15.06.1999.	14.10.2002.	743	2.625	2.707	18.880	727	2.398	2.522	6.853
SRJ3	16.02.2000.	19.07.2003.	921	2.496	2.649	7.179	893	2.364	2.508	5.888
SRJ4	08.12.2001.	27.09.2005.	840	1.575	1.845	6.828	811	1.481	1.586	5.467
SRJ5	08.12.2001.	27.09.2005.	840	1.575	1.854	6.833	810	1.476	1.584	5.479
SRJ6	08.12.2001.	16.02.2007.	Празнина у временској серији							
SRJ7	22.02.2002.	29.03.2008.	1109	1.664	2.031	10.052	1078	1.514	1.792	5.733
SRJ8	20.05.2005.	28.04.2009.	625	1.556	1.978	12.058	605	1.366	1.764	6.265
SRJ9	20.05.2005	28.04.2009.	625	1.556	1.975	12.048	605	1.366	1.761	6.271
SR10	26.08.2005.	02.07.2010.	Празнина у временској серији							
SR11	26.08.2005.	02.07.2010.	852	1.633	1.923	11.102	826	1.395	1.719	6.471
SR12	26.08.2005.	02.07.2010.	852	1.632	1.924	11.100	826	1.395	1.720	6.468
SR13	26.12.2013.	16.03.2020.	2178	1.563	1.886	12.260	2092	1.260	1.585	5.826
SR14	29.08.2017.	02.03.2021.	2178	1.562	1.886	12.260	1205	1.328	1.514	6.064

У табели 6 представљене су брзине кретања временских серија и косеизмичко помјерање по компонентама. Ова табела приказује брзине кретања по различитим компонентама (N - сјевер, E - исток, Up - вертикално) као и косеизмичко помјерање (тј. помјерање тла узроковано земљотресима) за различите временске серије (SRJ1, SRJ2, итд.). Брзине кретања показују промјене у милиметрима по години за сваку компоненту. Вриједности косеизмичног помјерања представљају изненадна помјерања услед сеизмичких догађаја.

Табела 6. Приказ брзине кретања временских серија по компонентама и косеизмичког помјерања по компонентама

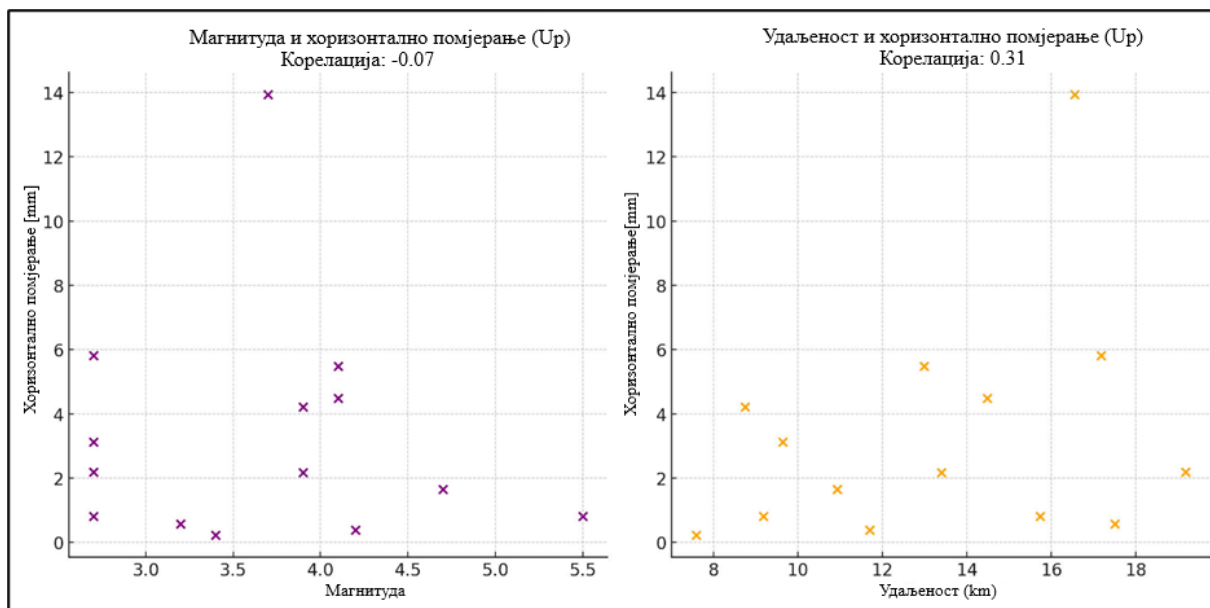
Временска серија	Интервал временске серије		Брзине кретања по компонентама			Косеизмичко помјерање по компонентама		
	Од	До	N [mm/god]	E [mm/god]	Up [mm/god]	N [mm]	E [mm]	Up [mm]
SRJ1	15.06.1999.	11.06.2002.	27.35±0.43	11.97±0.52	4.16±1.44	16.10±0.88	-24.49±1.08	13.94±3.00
SRJ2	15.06.1999.	14.10.2002.	24.91±0.35	12.93±0.37	1.35±1.00	-1.81±0.81	-4.03±0.86	0.23±2.31
SRJ3	16.02.2000.	19.07.2003.	19.65±0.24	19.73±0.26	-3.60±0.61	-6.87±0.67	9.86±0.70	-1.09±1.67
SRJ4	08.12.2001.	27.09.2005.	22.86±0.15	16.30±0.16	-3.14±0.55	-1.93±0.59	-4.13±0.63	1.66±2.19
SRJ5	08.12.2001.	27.09.2005.	22.89±0.14	16.36±0.15	-2.95±0.52	-0.86±0.41	-3.03±0.44	2.18±1.52
SRJ6	08.12.2001.	16.02.2007.	Празнина у временској серији					
SRJ7	22.02.2002.	29.03.2008.	23.45±0.06	16.08±0.06	-1.80±0.22	0.77±0.44	5.68±0.52	-9.31±1.68
SRJ8	20.05.2005.	28.04.2009.	22.85±0.12	15.18±0.16	0.96±0.57	-0.11±0.39	-3.23±0.50	-1.14±1.78
SRJ9	20.05.2005.	28.04.2009.	22.86±0.12	15.20±0.16	1.03±0.57	-0.11±0.42	-3.58±0.54	-0.82±1.93
SR10	26.08.2005.	02.07.2010.	Празнина у временској серији					
SR11	26.08.2005.	02.07.2010.	22.86±0.05	14.86±0.06	2.12±0.24	1.83±0.43	0.40±0.53	4.22±2.00
SR12	26.08.2005.	02.07.2010.	22.87±0.05	14.86±0.06	2.12±0.24	1.89±0.43	0.20±0.54	4.49±2.01
SR13	26.12.2013.	16.03.2020.	22.21±0.04	14.85±0.05	0.02±0.20	-1.95±0.31	-2.07±0.38	-5.49±1.42
SR14	29.08.2017.	02.03.2021.	22.37±0.11	14.11±0.13	-0.60±0.52	-1.86±0.35	-3.15±0.40	1.32±1.58

Подаци указују на континуирано кретање копна у региону, са значајним хоризонталним и вертикалним помјерањима уочљивим кроз дугорочне временске серије. Земљотреси на овом подручју су релативно плитки, али и довољно јаки да изазову косеизмичка помјерања. GNSS подаци са станица омогућавају прецизно праћење ових промјена, што може помоћи у бољем разумијевању сеизмичких активности и њиховог утицаја на тло. На слици 29 приказана је слаба корелација између косеизмичког вертикалног помјерања GNSS станице и магнитуде земљотреса, као корелација између косеизмичког вертикалног помјерања GNSS станице и удаљености од станице.



Слика 29. Приказ слабе корелације између косеизмичког вертикалног помјерања GNSS станице и магнитуде земљотреса, као и удаљености од станице

Даље је спроведена корелација између магнитуде земљотреса и косеизмичког вертикалног помјерања (Up). Корелација износи -0.12, што указује на врло слабу негативну корелацију. То значи да у подацима нема јасне везе између јачине земљотреса (магнитуде) и вертикалног помјерања тла. Корелација између удаљености од GNSS станице и косеизмичког вертикалног помјерања (Up) износи 0.23, што такође указује на врло слабу позитивну корелацију. Ово показује да, у подацима, удаљеност од GNSS станице није значајно повезана са вертикалним помјерањима тла током земљотреса. Лијеви графикон показује однос између магнитуде земљотреса и вертикалног помјерања (Up) и може се видјети да земљотреси мање магнитуде (испод 4.0) као и они веће магнитуде (преко 4.0) могу изазвати помјерања тла која варирају од позитивних до негативних вриједности. Ово указује да фактор магнитуде сам по себи није пресудан за одређивање вертикалног помјерања. Десни графикон показује однос између удаљености од станице и вертикалног помјерања (Up) и показује да су вертикална помјерања присутна и код земљотреса који су ближе станици и код оних који су удаљенији, али да нема јасног тренда који би указивао на значајан утицај удаљености на помјерање тла. На слици 30 се види да магнитуда земљотреса нема значајан утицај на хоризонтално косеизмичко помјерање, док удаљеност од станице показује слабу везу са тим помјерањем.



Слика 30. Приказ анализе односа између хоризонталног косеизмичког помјерања GNSS станице и магнитуде земљотреса као и удаљености од станице

Резултати анализе хоризонталног помјерања и корелација између магнитуде земљотреса и хоризонталног косеизмичког помјерања (N и E компоненте) износи -0.07, што указује на врло слабу негативну корелацију. То значи да нема јасне везе између јачине земљотреса (магнитуде) и хоризонталног помјерања тла. Корелација између удаљености од GNSS станице и хоризонталног косеизмичког помјерања износи 0.31, што указује на благо позитивну корелацију. Иако није јака, ова корелација је нешто израженија у поређењу са вертикалним помјерањима, што сугерише да удаљеност од станице може имати нешто већи утицај на хоризонтално помјерање тла. Лијеви графикон приказује однос између магнитуде земљотреса и хоризонталног помјерања. Слично као и код вертикалних помјерања, нема јасног тренда који би указивао на повезаност магнитуде са хоризонталним помјерањима. Земљотреси различитих магнитуда изазивају сличне нивое хоризонталног помјерања. Десни графикон приказује однос између удаљености од GNSS станице и хоризонталног помјерања. Овдје постоји нешто израженији тренд у којем већа удаљеност може бити повезана са нешто већим хоризонталним помјерањима. Међутим, и даље нема довољно јаке корелације која би ово потврдила као правило.

Косеизмичке брзине које су изведене из временских серија за GNSS станицу SRJV00BIH и њихове везе са сеизмичком активношћу у том подручју показују брзине кретања по компонентама (N, E, Up) у милиметрима годишње за различите временске серије (SRJ1, SRJ2, итд.).

- Косеизмичко помјерање по компонентама (N, E, Up) за сваку временску серију, што означава промјене изазване сеизмичким догађајима:

SRJ1 (15.06.1999. - 11.06.2002.): Вертикално косеизмичко помјерање (Up): +13.94 mm сугерише значајно издизање тла које може бити повезано са тектонском активношћу на оближњим расједима.

SRJ2 (15.06.1999. - 14.10.2002.): Вертикално помјерање (Up): +0.23 mm.

Минималне промјене указују на стабилно тло у том периоду или на одсуство зналајнијих сеизмичких догађаја.

SRJ3 (16.02.2000. - 19.07.2003.): Вертикално помјерање (Up): -1.09 mm.

Негативна вриједност (спуштање тла) указује на могућност смицања дуж расједа или компресионих сила у том периоду.

SRJ4 (08.12.2001. - 27.09.2005.): Вертикално помјерање (Up): +1.66 mm.

Мале позитивне промјене могу указивати на благо издизање услед тектонских утицаја.

SRJ5 (08.12.2001. - 27.09.2005.): Вертикално помјерање (Up): +2.18 mm.

Нешто веће издизање указује на могућу тектонску активност у тој области.

SRJ6 (08.12.2001. - 16.02.2007.): Постоји празнина у временској серији, што указује на недоследност или прекид у прикупљању података.

SRJ7 (22.02.2002. - 29.03.2008.): Вертикално косеизмичко помјерање (Up): -9.31 mm сугерише значајно спуштање тла, које може бити резултат компресионе тектонске активности или великих локалних кретања.

SRJ8 (20.05.2005. - 28.04.2009.): Вертикално косеизмичко помјерање (Up): -1.14 mm указује на негативно помјерање (спуштање тла) сугерише могуће локалне компресионе силе или тектонско кретање.

SRJ9 (20.05.2005. - 28.04.2009.): Вертикално косеизмичко помјерање (Up): -0.82 mm упућује на благо спуштање које може бити повезано са малим деформацијама тла.

SRJ10 (26.08.2005. - 02.07.2010.): Постоји празнина у временској серији.

SRJ11 (26.08.2005. - 02.07.2010.): Вертикално косеизмичко помјерање (Up): +4.22 mm показује значајније позитивно помјерање које указује на издизање тла, вјероватно услед тектонске активности.

SRJ12 (26.08.2005. - 02.07.2010.): Вертикално косеизмичко помјерање (Up): +4.49 mm. Слично као SRJ11, издизање указује на могућу активну тектонску зону.

SRJ13 (26.12.2013. - 16.03.2020.): Вертикално косеизмичко помјерање (Up): -5.49 mm. Значајно спуштање тла, што сугерише могуће смицање или компресионе силе у региону.

SRJ14 (29.08.2017. - 02.03.2021.): Вертикално косеизмичко помјерање (Up): +1.32 mm. Благо издизање тла указује на умјерену тектоничку активност или локалне геолошке процесе.

Већа вертикална косеизмичка помјерања (као код SRJ1) обично су повезана са земљотресима веће магнитуде или интензивнијим тектонским активностима. Мања или негативна косеизмичка помјерања (као код SRJ13) могу указивати на стабилизацију тла или на смицање које није изазвано директним земљотресима, већ постсеизмичким опоравком тла.

У прилозима су приказане временске серије за све анализиране GNSS станице, укључујући оригиналне податке и очишћене временске серије. Графици приказују компоненте кретања (сјеверна, источна и вертикална) у милиметрима у функцији времена.

6. ЗАКЉУЧАК

На основу проведеног истраживања и анализе временских серија координата са GNSS станице SRJV00BIH, може се закључити да постоји значајан потенцијал коришћења GNSS података за праћење сеизмичке активности и детекцију тектонских помјерања у Босни и Херцеговини.

Анализа је показала да се промјене у GNSS координатама често поклапају са периодима повећане сеизмичке активности, посебно у близини кључних расједа у региону. То показује да GNSS станице имају важну улогу у предикцији сеизмичких догађаја и унапређивању раног упозоравања на земљотресе.

На основу табеле могу се извести закључци у вези са WRMS (Weighted Root Mean Square) вриједностима прије и након чишћења података за различите временске серије GNSS станице.

WRMS вриједности за компоненте N (сјевер), E (исток) и Up (вертикално) су смањене након чишћења података у готово свим временским серијама. То показује да процес чишћења података значајно побољшава тачност мјерења, тако што смањује шум и елиминише контаминирани податке. Неке серије, попут SRJ1 и SRJ2, имају значајно смањење WRMS вриједности, посебно у вертикалној компоненти (Up), што указује да су ове серије биле значајно погођене шумом или неправилностима прије чишћења. На примјер, за SRJ1, WRMS у вертикалној компоненти (Up) смањен је са 20.485 mm на 7.662 mm, што представља значајно побољшање. Вертикална компонента (Up) генерално показује веће WRMS вриједности у односу на хоризонталне компоненте (N и E). Ово је очекивано јер GNSS мјерења обично имају већу непрецизност у вертикалној оси. Након чишћења, побољшања у компонентама N и E су мање изражена него у компоненти Up, што указује на то да је вертикална компонента била више погођена шумом. Временске серије попут SRJ3, SRJ4 и SRJ5 показују релативно мале WRMS вриједности чак и прије чишћења, што указује на стабилније мјерење током тог периода. Ове серије су имале мањи шум, што значи да су GNSS подаци у тим периодима били мање контаминирани. Временске серије као што су SRJ6 и SR10 имају празнине, што може додатно утицати на тачност WRMS вриједности. Празнине у подацима могу довести до већих грешака у интерпретацији координата, посебно у периодима са повећаном сеизмичком активношћу.

На основу WRMS анализа, може се закључити да процес чишћења значајно доприноси побољшању тачности GNSS података, посебно у вертикалној компоненти.

Чишћење података је кључно за осигуравање поузданости у праћењу тектонских помјерања и прецизно праћење сеизмичких активности.

На основу резултата, може се закључити да ни магнитуда земљотреса ни удаљеност од GNSS станице не показују значајну повезаност са хоризонталним или вертикалним косеизмичким помјерањима. Међутим, удаљеност од станице може имати благо већи утицај на хоризонтална помјерања у поређењу са вертикалним.

Ово указује да би за дубље разумијевање ових помјерања требало укључити и друге факторе, попут локалне геологије, дубине земљотреса, тектонских расједа и врста тла, који могу значајно утицати на обрасце помјерања тла током сеизмичких догађаја.

Изведени закључци за брзине кретања и косеизмичком помјерање по компонентама (N, E, Up) за различите временске серије GNSS станица. Брзине кретања су изражене у mm/god и представљају средњу годишњу брзину помјерања за сваку компоненту (N - сјевер, E - исток, Up - вертикално). Највеће брзине кретања у сјеверној компоненти забиљежене су за серију SRJ1 (27.35 mm/god), док су најниже брзине забиљежене за серију SRJ3 (22.21 mm/god). У источној компоненти, серија SRJ3 показује релативно високу брзину од 19.73 mm/god, док серија SRJ1 има најмању брзину од 11.97 mm/god. Вертикална компонента (Up) показује значајна одступања, при чему је серија SRJ1 забиљежила највећу брзину помјерања од 4.16 mm/god, док серија SRJ3 има негативну брзину што указује на спуштање тла. Косеизмичко помјерање приказује укупно помјерање по компонентама у mm током периода праћења. Серија SRJ1 показује највеће косеизмичко помјерање у источној компоненти (24.49 mm), што указује на значајан помак у смјеру истока. Такође, серија SRJ1 показује релативно високо косеизмичко помјерање у вертикалној компоненти (13.94 ± 3.00 mm), што указује на подизање тла током периода мјерења.

Негативне вриједности косеизмичког помјерања, као што су оне забиљежене у серији SRJ7 за компоненту Up (-9.31 mm), указују на спуштање тла у том периоду. Серије са празнинама у временској серији (SRJ6 и SRJ10) могу показивати веће флукуације због недостатка континуитета у подацима. Серија SRJ13 показује стабилније брзине кретања у све три компоненте, што може указивати на стабилнији тектонски режим током периода праћења. Вертикална компонента показује веће осцилације у односу на хоризонталне компоненте (N и E), што је очекивано јер су GNSS мјерења традиционално мање прецизна у вертикалној оси. Серије са позитивним вертикалним помјерањем (нпр. SRJ1) указују на подизање тла, док серије са негативним помјерањем (нпр. SRJ7) указују на спуштање тла.

Ова анализа брзина и косеизмичког помјерања по компонентама омогућава дубље разумијевање тектонских помјерања и деформација тла у подручју које је праћено GNSS станицама. Подаци указују на значајне промјене у хоризонталним и вертикалним компонентама, што може бити повезано са тектонским активностима и сеизмичким догађајима у региону

Косеизмичка помјерања изведена из временских серија GNSS станице SRJV00BIN указују на то да су вертикалне и хоризонталне промјене тла уско повезане са активностима на локалним расједима. Различите вриједности брзина кретања и косеизмичких помјерања рефлектују како сеизмичке активности утичу на деформације у одређеним периодима.

Даље истражиње препоручује увођење додатних GNSS станица и проширење постојеће мреже како би се побољшала покривеност и тачност прикупљених података. Поред тога, неопходно је развијати напредне алгоритме за анализу временских серија и интегрисати GNSS податке са постојећим сеизмичким станицама ради ефикаснијег праћења тектонских активности. У будућности, унапријеђене методе анализе GNSS података могле би значајно допринијети смањењу ризика од природних катастрофа, посебно у сеизмички активним подручјима. На тај начин, GNSS технологија може пружити додатну сигурност и унаприједити способност раног откривања потенцијално деструктивних сеизмичких догађаја.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Vaniček, P., & Krakiwsky, E. J. (1986). Geodesy: The Concepts (2nd ed.).
- [2] Hanssen, R. F. (2001). Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis. Springer.
- [3] Munk, W. H., & MacDonald, G. J. F. (1960). The Rotation of the Earth: A Geophysical Discussion.
- [4] Gross, R. S. (2007). Earth Rotation Variations – Long Period in Treatise on Geophysics (Vol. 3).
- [5] Peltier, W. R. (2004). Global Glacial Isostasy and the Surface of the Ice-Age Earth: The ICE-5G (VM2) Model and GRACE. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 32(1), pp. 111-149.
- [6] Cazenave, A., & Llovel, W. (2010). Contemporary Sea Level Rise. Annual Review of Marine, Science, 2(1), pp.145-173.
- [7] Tapley, B. D., et al. (2004). GRACE Measurements of Mass Variability in the Earth System. Science, 305(5683), pp. 503-505.
- [8] Angermann, D., Pail, R., Seitz, F., & Hugentobler, U. (2022). Mission Earth: Geodynamics and Climate Change Observed Through Satellite Geodesy. Springer Nature.
- [9] Ел. извор: <https://www.nps.gov/subjects/geology/plate-tectonics-evidence-ofplate-motions.html>
- [10] Uzeir, S. (2013). Seismic activities and seismotectonic faults in Bosnia and Herzegovina. JU “Gimnazija Lukavac” Lukavac.
- [11] Stein, S., Wyssession, M. (2003). An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure.
- [12] Scholz, C. H. (2002). The Mechanics of Earthquakes and Faulting. Cambridge University Press.
- [13] Aki, K., & Richards, P. G. (2002). Quantitative Seismology
- [14] Lay, T., & Wallace, T. C. (1995). Modern Global Seismology.
- [15] Udías, A., Madariaga, R., & Buforn, E. (2014). Physics of Earthquakes and Faulting. Springer.
- [16] Omerbashich, M., & Sijarić, G. (2006). Seismotectonics of Bosnia – Overview, 2 (142), 17-29.
- [17] Ел. Извор: <https://rhmzrs.com/>

- [18] Twiss, R. J., & Moores, E. M. (2007). Structural Geology.
- [19] Yeats, R. S., Sieh, K., & Allen, C. R. (1997). The Geology of Earthquakes.
- [20] Ел. извор: http://data.allenai.org/tqa/stress_in_earths_crust_L_0079/
- [21] Fossen, H. (2016). Structural Geology.
- [22] Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (2008). GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more. Springer.
- [23] Langley R. B, Teunissen P. J. G., Montenbruck O., “Introduction to GNSS“, in Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems (1st ed.). Teunissen P, Montenbruck O., Switzerland, Cham: Springer; 2017, pp. 3-24
- [24] Angermann, D., Pail, R., Seitz, F., & Hugentobler, U. (2022). Mission Earth: Geodynamics and Climate Change Observed Through Satellite Geodesy. Springer Nature.
- [25] Teunissen, P.J.G., Montenbruck, O. (2017). Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems. Springer.
- [26] Благојевић, Д. (2014). Увод у сателитску геодезију. Грађевински факултет, Београд.
- [27] Kaplan, E. D., & Hegarty, C. J. (2006). Understanding GPS: Principles and Applications
- [28] McElroy, J. (2010). GPS for Land Surveyors.
- [29] Rizos, C., & Willis, P. (2008). The Role of GNSS in the Future of Surveying.
- [30] Montenbruck, O., & Gill, E. (2000). Satellite Orbits: Models, Methods and Applications.
- [31] М. Тодоровић Дракул (2016). Моделовање јоносфере за потребе одређивања утицаја на GPS сигнале у мрежном RTK окружењу (Докторска дисертација). Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Београд.
- [32] Ел. извор: <https://www.gps.gov/systems/gnss/>
- [33] Misra, P., & Enge, P. (2006). Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance.
- [34] Gibbons, D. (2010). GPS: The Global Positioning System. GPS World.
- [35] Zhang, K., & Zhang, Y. (2018). A Review of Precise Point Positioning Techniques. GPS Solutions
- [36] Stepanov, A. (2015). GLONASS: The Russian Global Navigation Satellite System.
- [37] Fadeev, V. (2013). GLONASS: Current Status and Future Prospects. Journal of Navigation.
- [38] Zhukov, S. (2018). GLONASS Development and Future Trends. Navigation: Journal of the Institute of Navigation.

- [39] Teunissen, P. J., & Montenbruck, O. (Eds.). (2017). Springer handbook of global navigation satellite systems (Vol. 10, pp. 978-3). Cham, Switzerland: Springer International Publishing
- [40] Zhao, W., & Wu, Y. (2010). Development and Applications of BeiDou Navigation Satellite System. *Journal of Navigation*.
- [41] Yang, Y., & Zhang, J. (2013). The BeiDou Navigation Satellite System: A New Global Navigation System. *International Journal of Navigation and Observation*.
- [42] Li, X., & Liu, Z. (2014). BeiDou Navigation System: Opportunities and Challenges. *GPS Solutions*.
- [43] Wu, J., & Chen, Z. (2016). Advances in the BeiDou Navigation Satellite System. *Advances in Space Research*.
- [44] Zhibo Yan, Juan A. Fraire, Kanglian Zhao, Hongcheng Yan (2019). Distributed Contact Plan Design for GNSSs.
- [45] Pichon, J. P. (2017). Galileo's Security and Safety Features. *Navigation: Journal of the Institute of Navigation*.
- [46] European Commission. (2020). Galileo: The European GNSS and its Future.
- [47] Reid, T. (2017). Orbital Diversity for Global Navigation Satellite Systems
- [48] Ел. извор: <https://www.esa.int/eseach?q=galileo+station>
- [49] Bevis, M., et al. (2001). Geodetic Measurements of Crustal Motion: The Role of GNSS. *Geophysical Research Letters*.
- [50] Santangelo, M., et al. (2010). Monitoring Ground Deformation with GNSS. *Geophysical Journal International*.
- [51] Wang, R., & T. Y. Li. (2009). Integrating GNSS and Seismic Data for Earthquake Prediction. *Earthquake Science*.
- [52] Kuo, C. Y., et al. (2015). Using GNSS for Monitoring Sea Level Changes. *Journal of Coastal Research*.
- [53] Chen, X., et al. (2016). Geodynamical Modeling with GNSS Observations. *Tectonophysics*.
- [54] Hsu, H. T., & C. C. Chang. (2018). The Role of GNSS in Geodynamics Research. *Geophysical Research Letters*.
- [55] Туцикешић, С. Моделовање тектонских помјерања и квантификације деформација Земљине коре коришћењем GNSS технологије, Грађевински факултет, Београд.
- [56] Dixon, T. H. (1995). GPS technologies for geodesy and geodynamics.

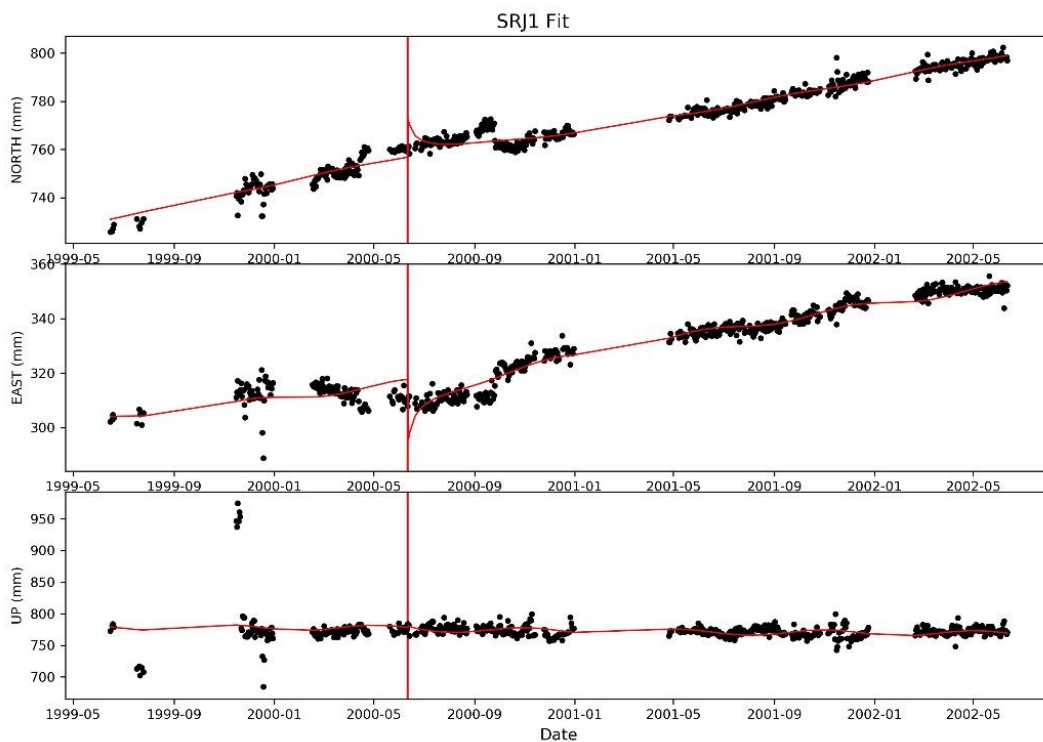
- [57] Shumway, R. H., & Stoffer, D. S. (2017). Time Series Analysis and Its Applications: With R Examples. Springer.
- [58] Wei, W. W. S. (2017). Time Series Analysis: Univariate and Multivariate Methods. Addison-Wesley.
- [59] Hamilton, J. D. (1994). Time Series Analysis.
- [60] Chatfield, C. (2004). The Analysis of Time Series: An Introduction.
- [61] Box, G. E. P., Jenkins, G. M., & Reinsel, G. C. (2015). Time Series Analysis: Forecasting and Control.
- [62] Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). Forecasting: Principles and Practice.
- [63] Cryer, J. D., & Chan, K.-S. (2008). Time Series Analysis: With Applications in R. Springer.
- [64] Ел. извор: <https://www.euref.eu/>
- [65] Ел. извор: <https://epncb.oma.be/networkdata/siteinfo4onestation.php?station=SRJV00BIH>
- [66] Nikolaidis, R. (2002): Observation of geodetic and seismic deformation with the global positioning system. Thesis (Ph.D.) University of California, San Diego.
- [67] Jean-Philippe Montillet, Machiel S. Bos (2020). Geodetic Time Series Analysis in Earth Sciences - Springer International Publishing.

8. СПИСАК ПРИЛОГА

- Прилог 1.** Временска серија сеизмичког догађаја SRJ1
- Прилог 2.** Очишћена временска серија сеизмичког догађаја SRJ1
- Прилог 3.** Временска серија сеизмичког догађаја SRJ2
- Прилог 4.** Очишћена временска серија сеизмичког догађаја SRJ2
- Прилог 5.** Временска серија сеизмичког догађаја SRJ3
- Прилог 6.** Очишћена временска серија сеизмичког догађаја SRJ3
- Прилог 7.** Временска серија сеизмичког догађаја SRJ4
- Прилог 8.** Очишћена временска серија сеизмичког догађаја SRJ4
- Прилог 9.** Временска серија сеизмичког догађаја SRJ5
- Прилог 10.** Очишћена временска серија сеизмичког догађаја SRJ5
- Прилог 11.** Временска серија сеизмичког догађаја SRJ6
- Прилог 12.** Очишћена временска серија сеизмичког догађаја SRJ6
- Прилог 13.** Временска серија сеизмичког догађаја SRJ7
- Прилог 14.** Очишћена временска серија сеизмичког догађаја SRJ7
- Прилог 15.** Временска серија сеизмичког догађаја SRJ8
- Прилог 16.** Очишћена временска серија сеизмичког догађаја SRJ8
- Прилог 17.** Временска серија сеизмичког догађаја SRJ9
- Прилог 18.** Очишћена временска серија сеизмичког догађаја SRJ9
- Прилог 19.** Временска серија сеизмичког догађаја SR10
- Прилог 20.** Очишћена временска серија сеизмичког догађаја SR10
- Прилог 21.** Временска серија сеизмичког догађаја SR11
- Прилог 22.** Очишћена временска серија сеизмичког догађаја SR11
- Прилог 23.** Временска серија сеизмичког догађаја SR12
- Прилог 24.** Очишћена временска серија сеизмичког догађаја SR12
- Прилог 25.** Временска серија сеизмичког догађаја SR13
- Прилог 26.** Очишћена временска серија сеизмичког догађаја SR13
- Прилог 27.** Временска серија сеизмичког догађаја SR14
- Прилог 28.** Очишћена временска серија сеизмичког догађаја SR14

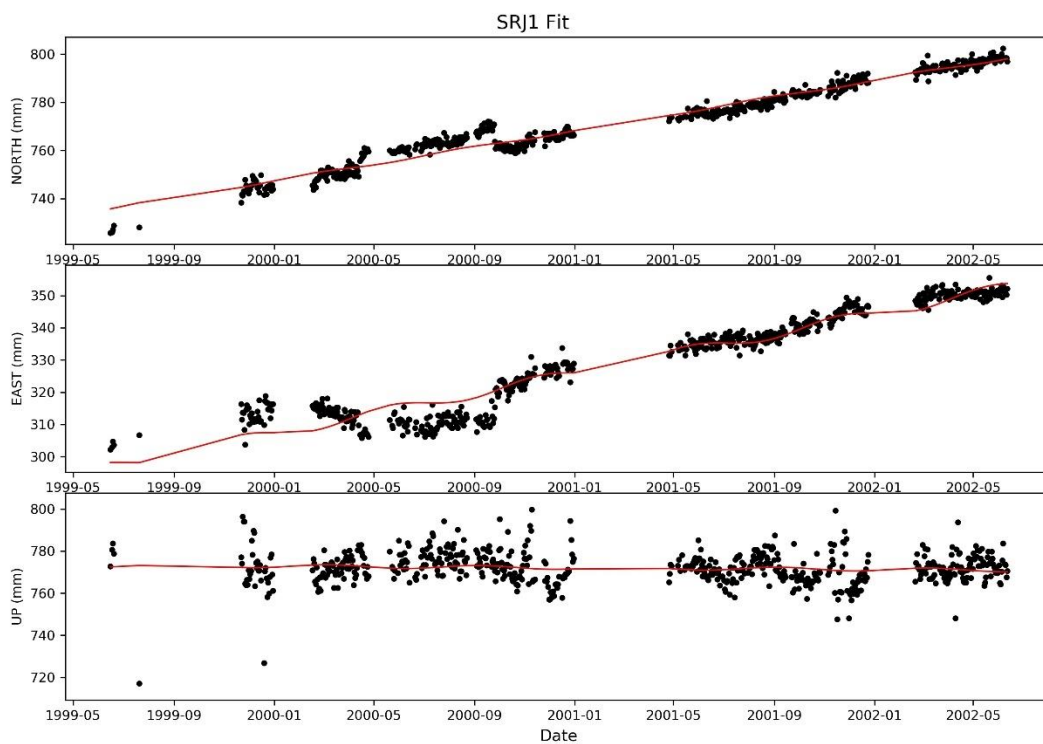
ПРИЛОГ 1

Временска серија сеизмичког догађаја SRJ1



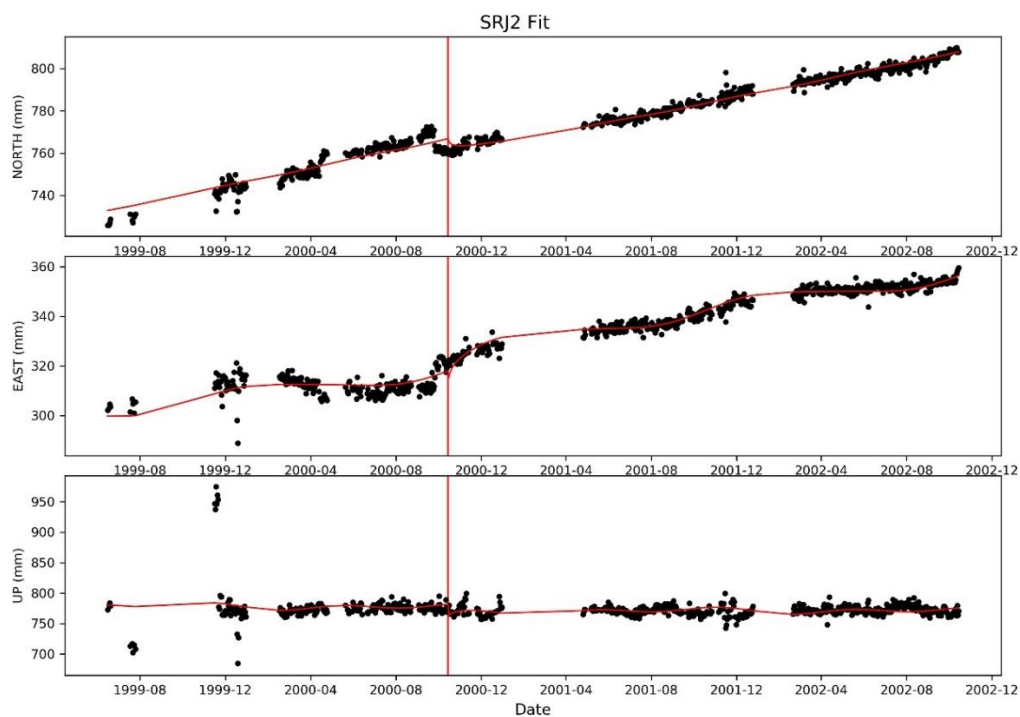
ПРИЛОГ 2

Очишћена временска серија сеизмичког догађаја SRJ1



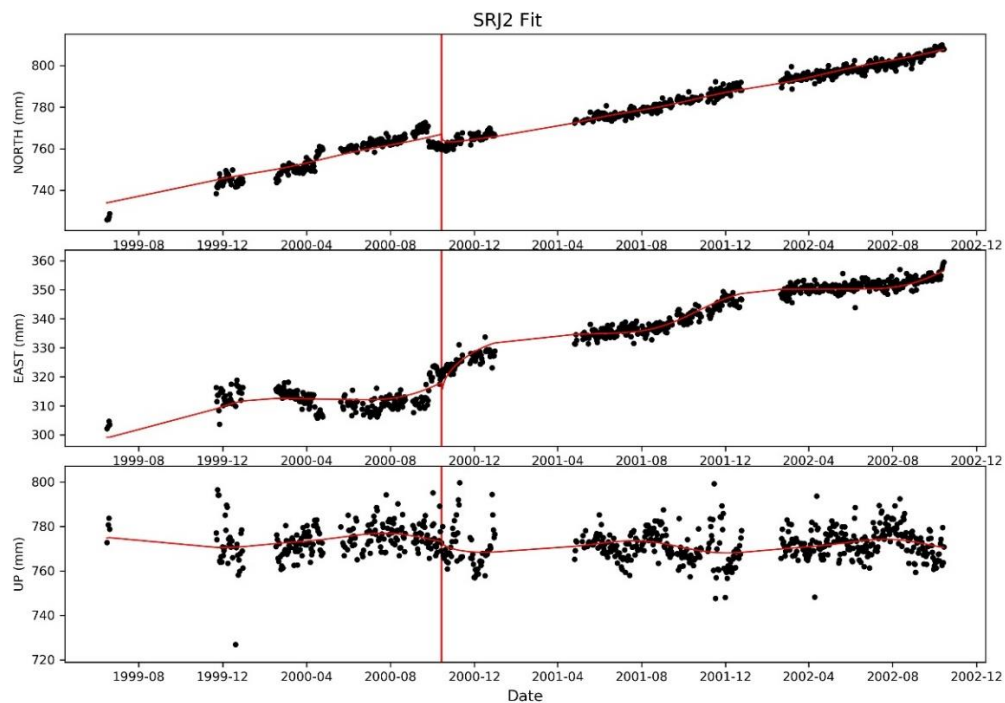
ПРИЛОГ 3

Временска серија сеизмичког догађаја SRJ2



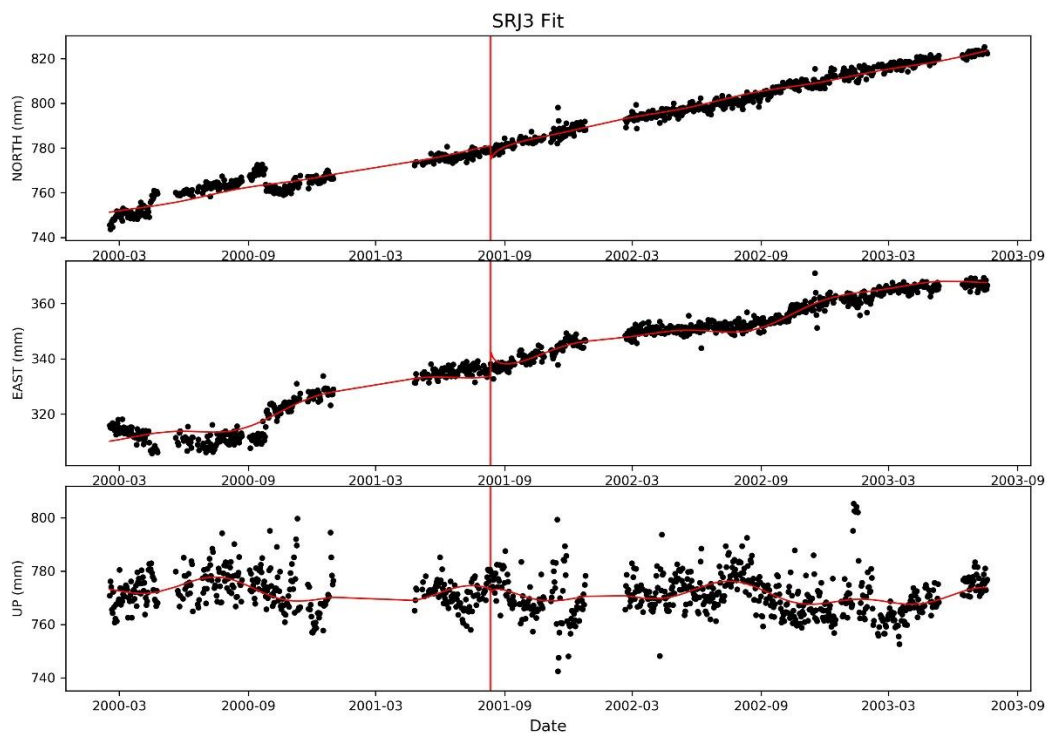
ПРИЛОГ 4

Очишћена временска серија сеизмичког догађаја SRJ2



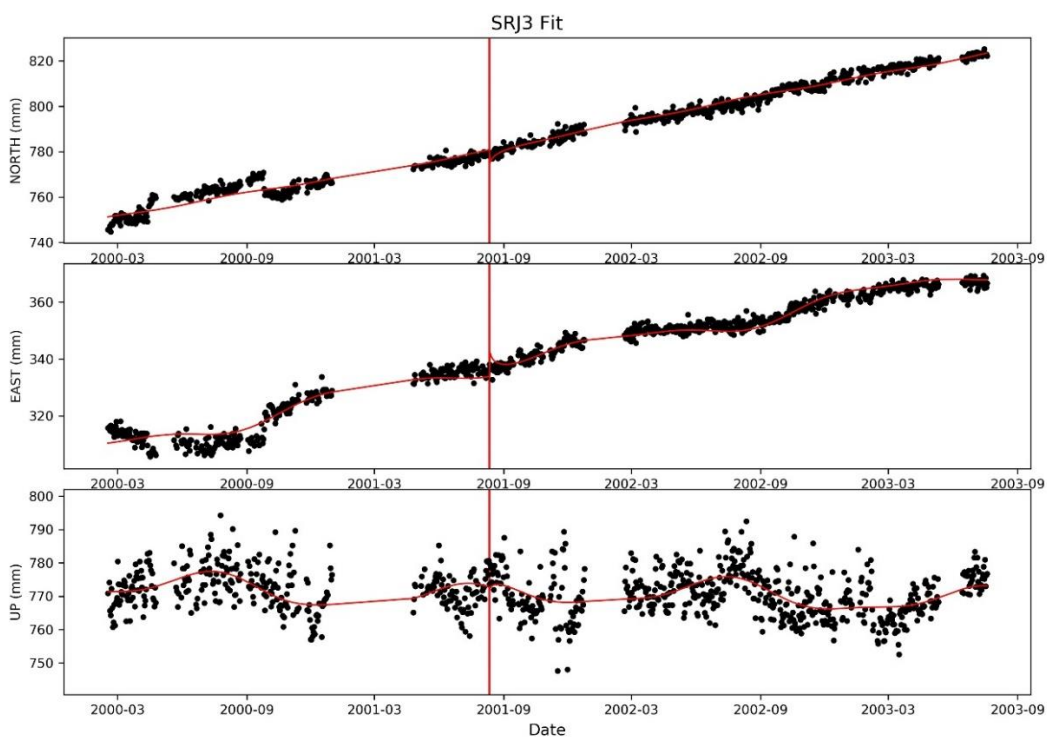
ПРИЛОГ 5

Временска серија сеизмичког догађаја SRJ3



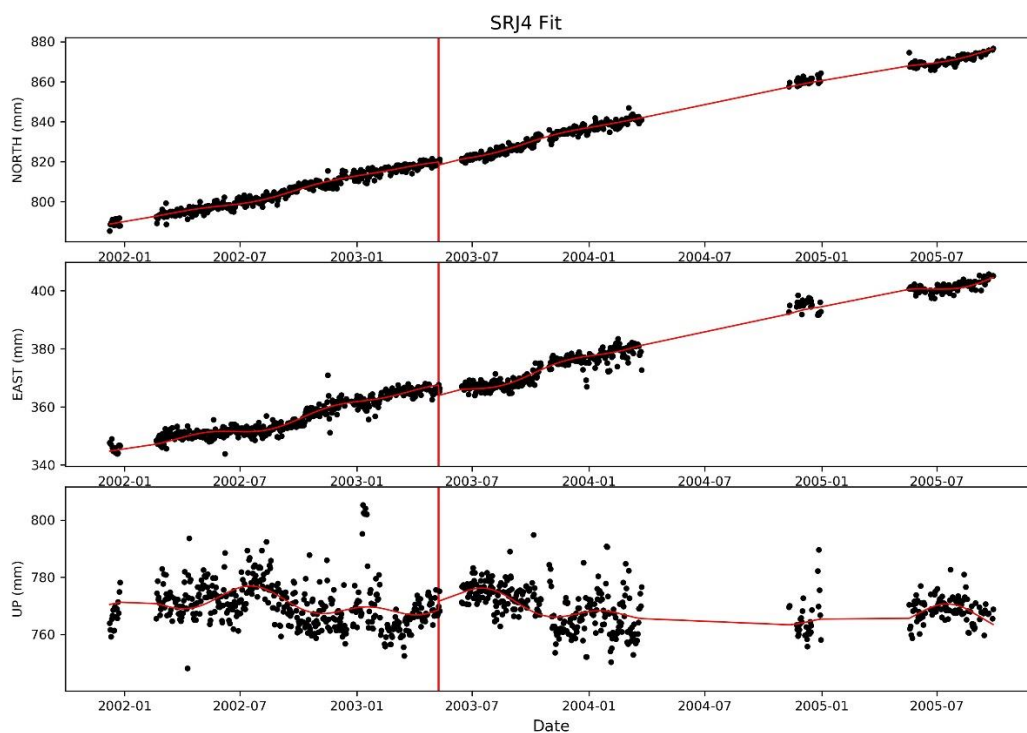
ПРИЛОГ 6

Очишћена временска серија сеизмичког догађаја SRJ3



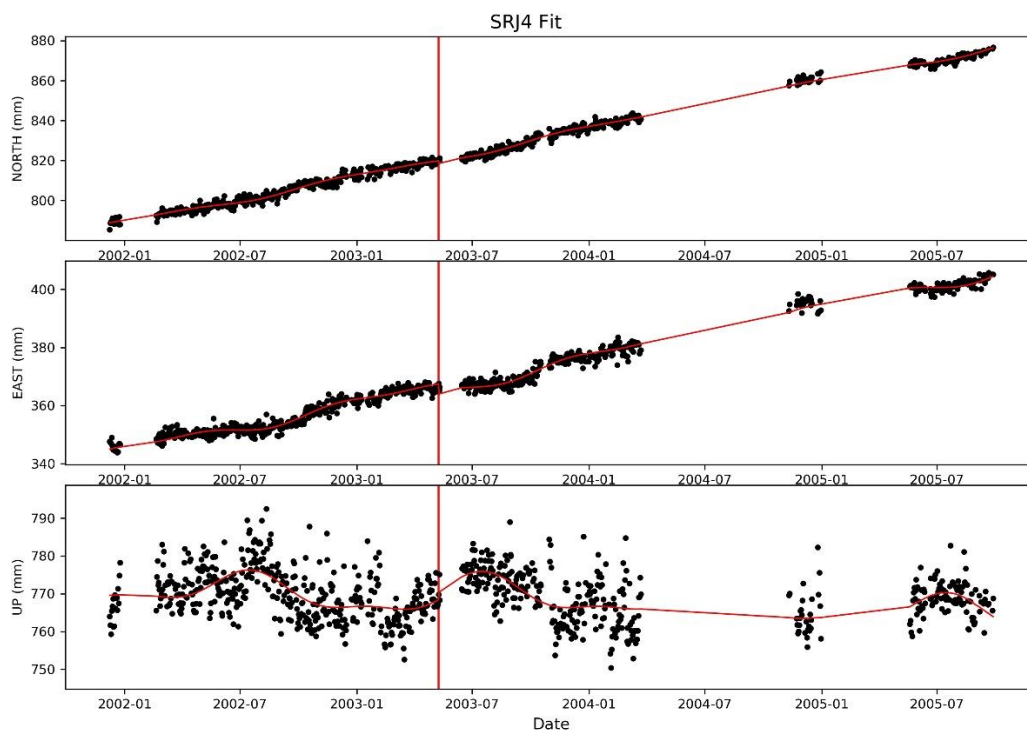
ПРИЛОГ 7

Временска серија сеизмичког догађаја SRJ4



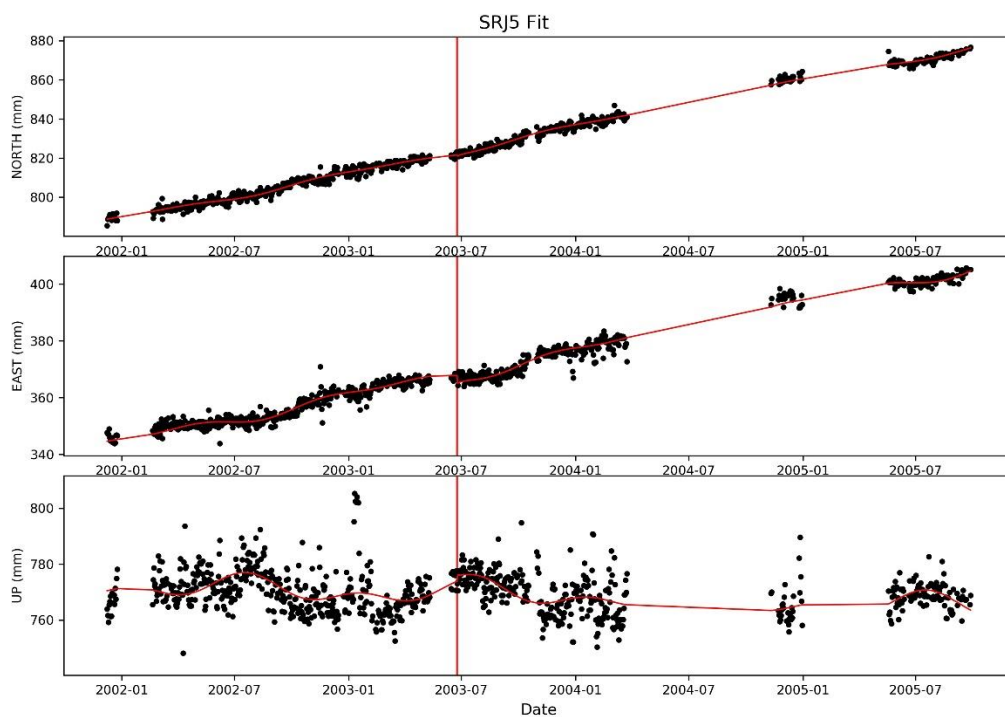
ПРИЛОГ 8

Очишћена временска серија сеизмичког догађаја SRJ4



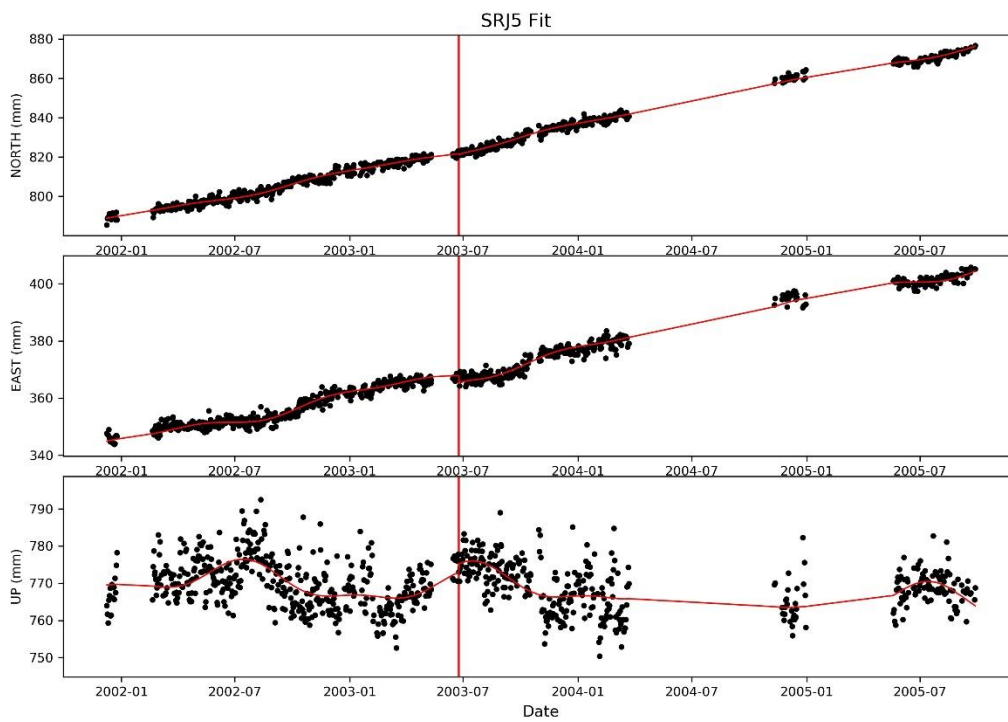
ПРИЛОГ 9

Временска серија сеизмичког догађаја SRJ5



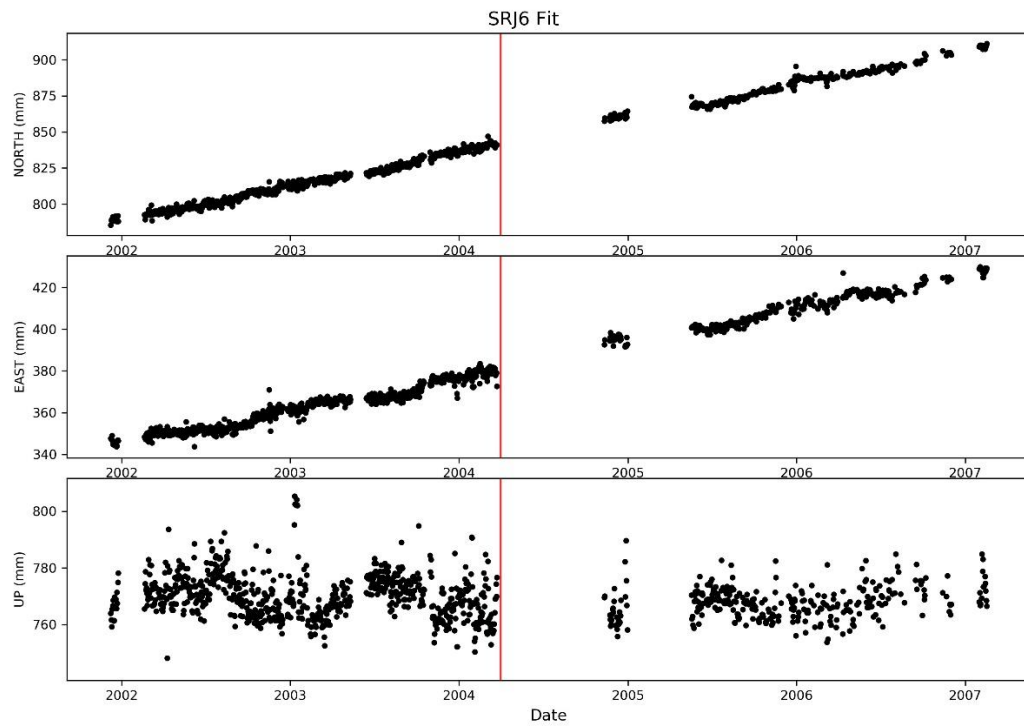
ПРИЛОГ 10

Очишћена временска серија сеизмичког догађаја SRJ5



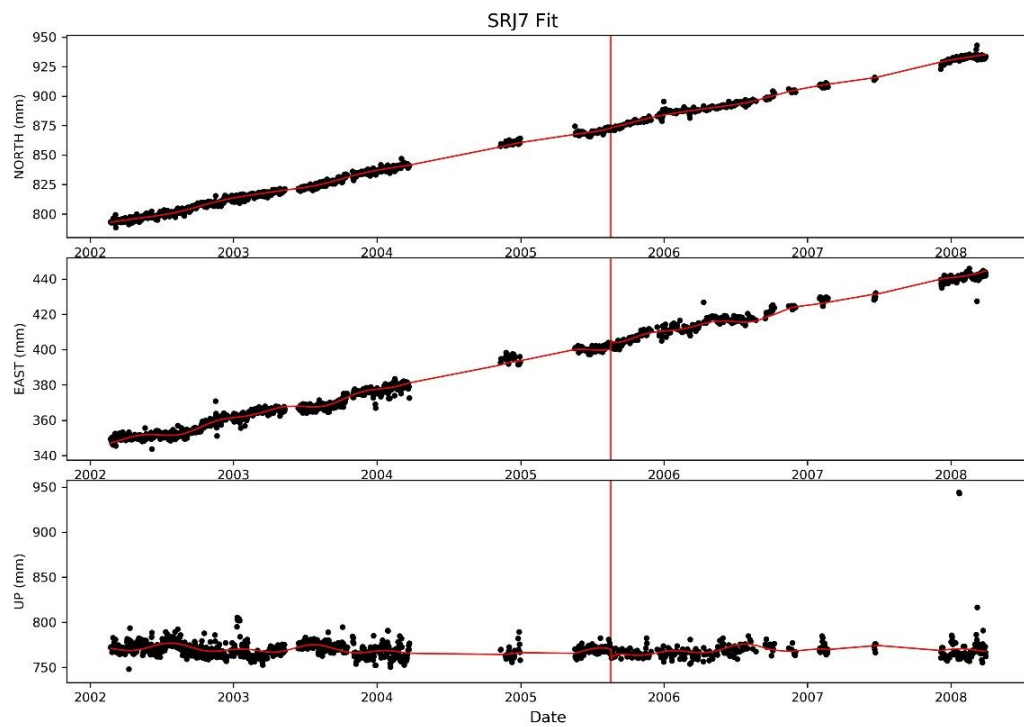
ПРИЛОГ 11

Временска серија сеизмичког догађаја SRJ6 (празнина у временској серији)



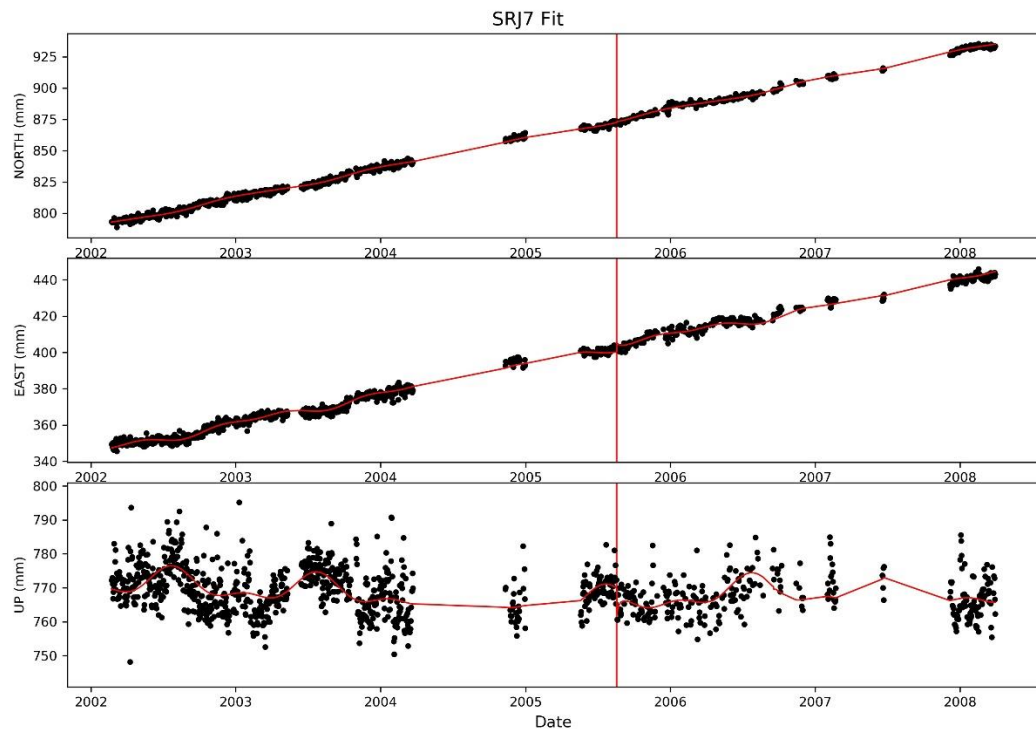
ПРИЛОГ 12

Временска серија сеизмичког догађаја SRJ7



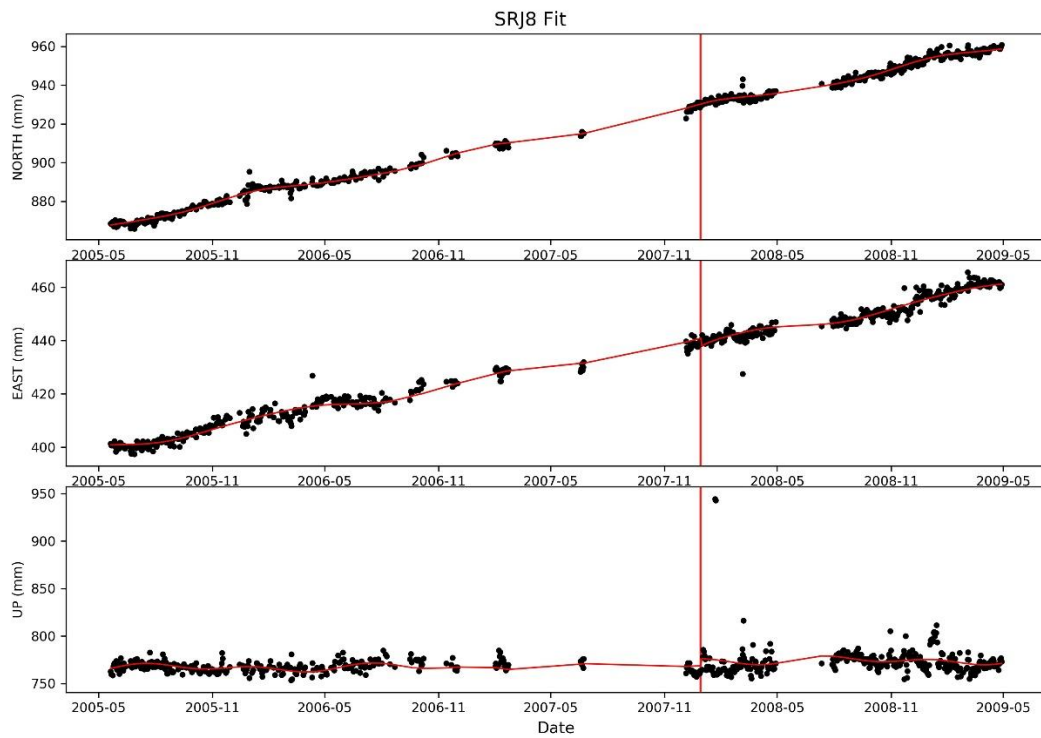
ПРИЛОГ 13

Очишћена временска серија сеизмичког догађаја SRJ7



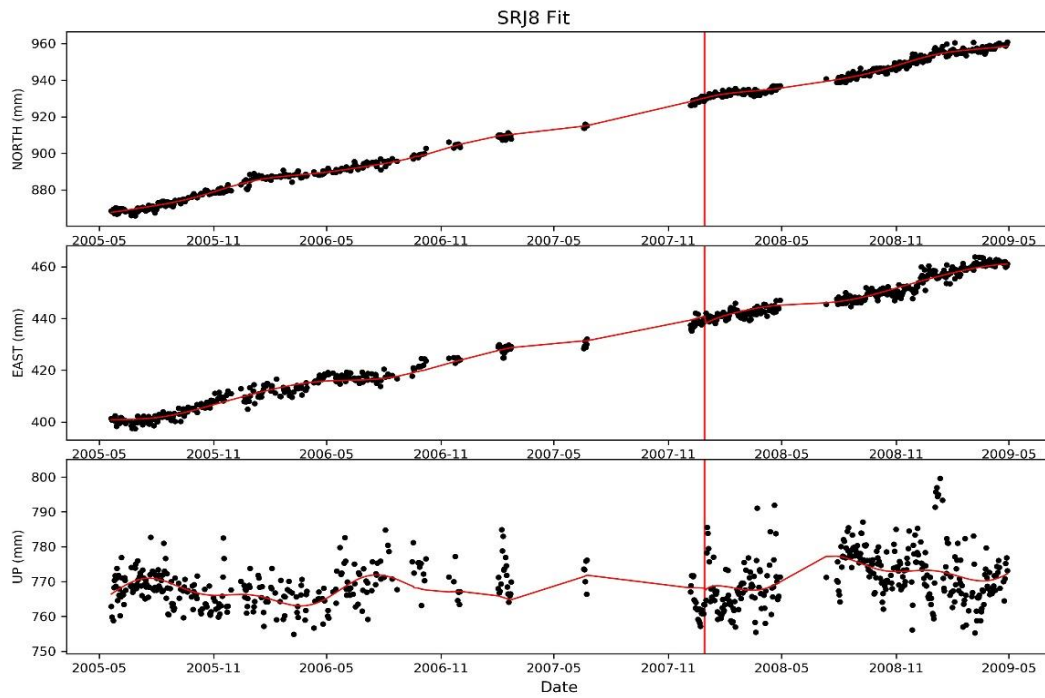
ПРИЛОГ 14

Временска серија сеизмичког догађаја SRJ8



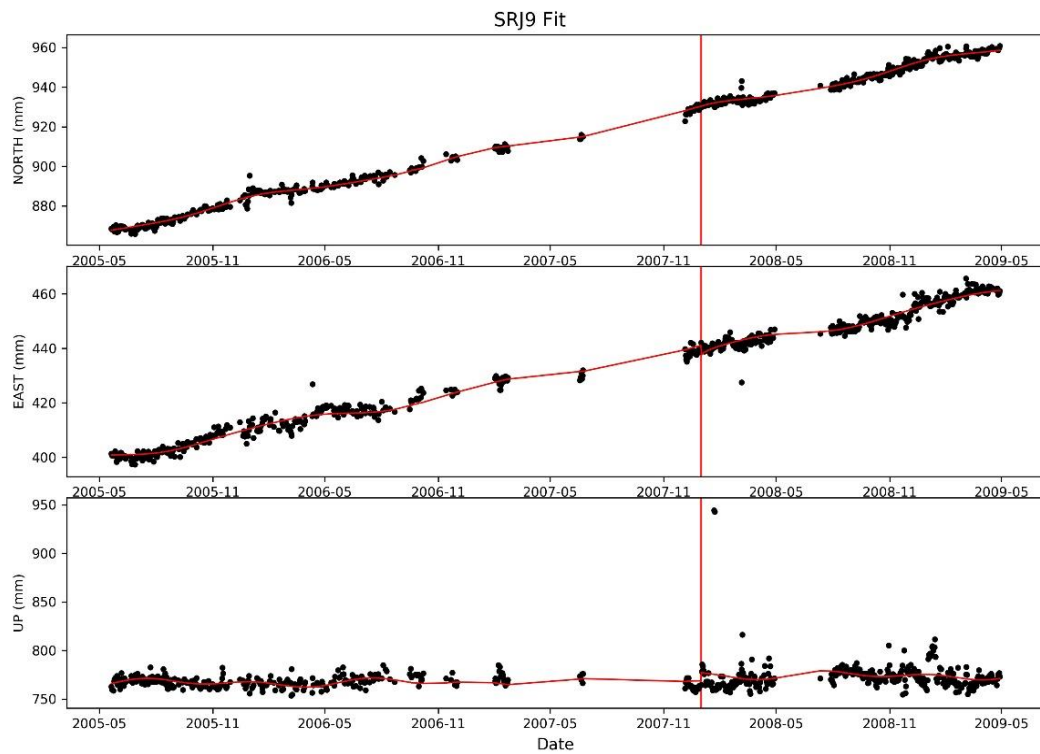
ПРИЛОГ 15

Очишћена временска серија сеизмичког догађаја SRJ8



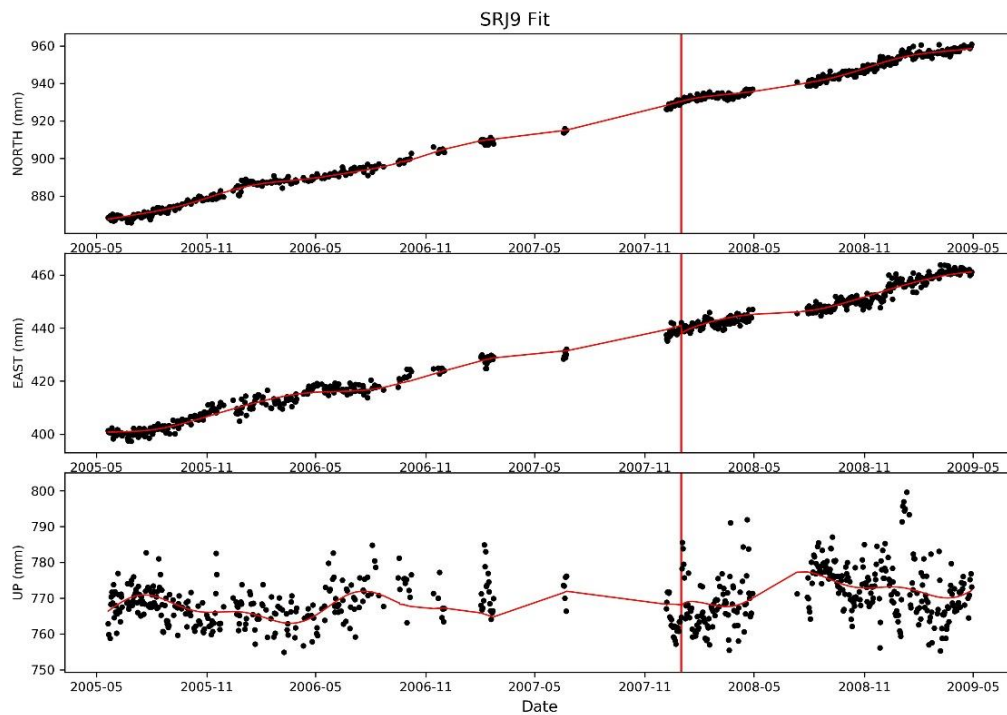
ПРИЛОГ 16

Временска серија сеизмичког догађаја SRJ9



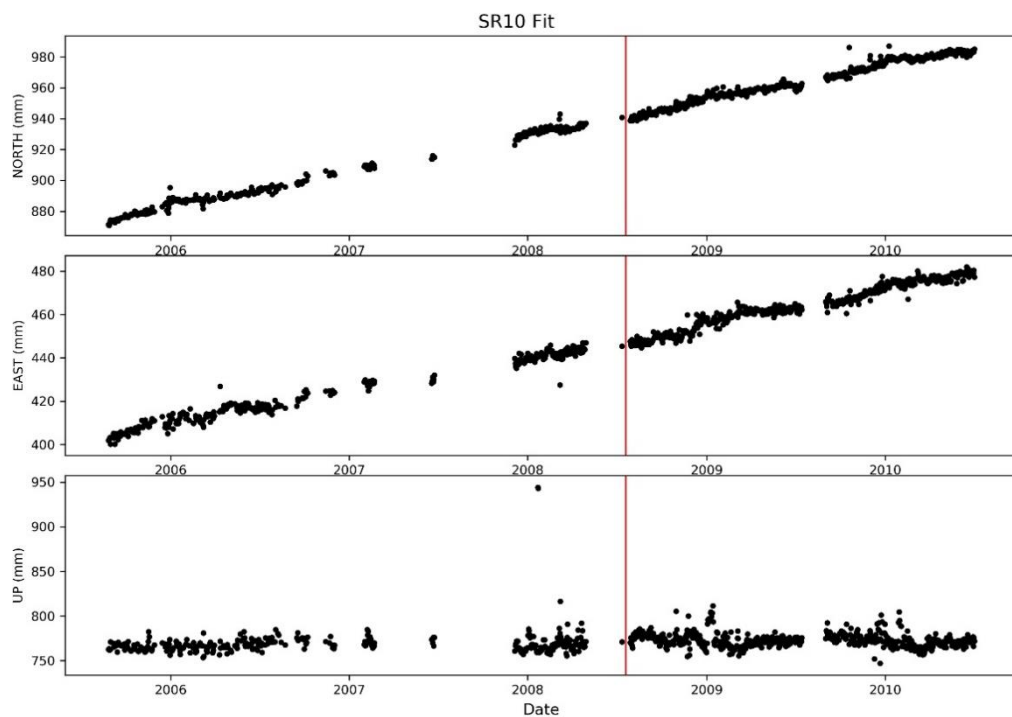
ПРИЛОГ 17

Очишћена временска серија сеизмичког догађаја SRJ9



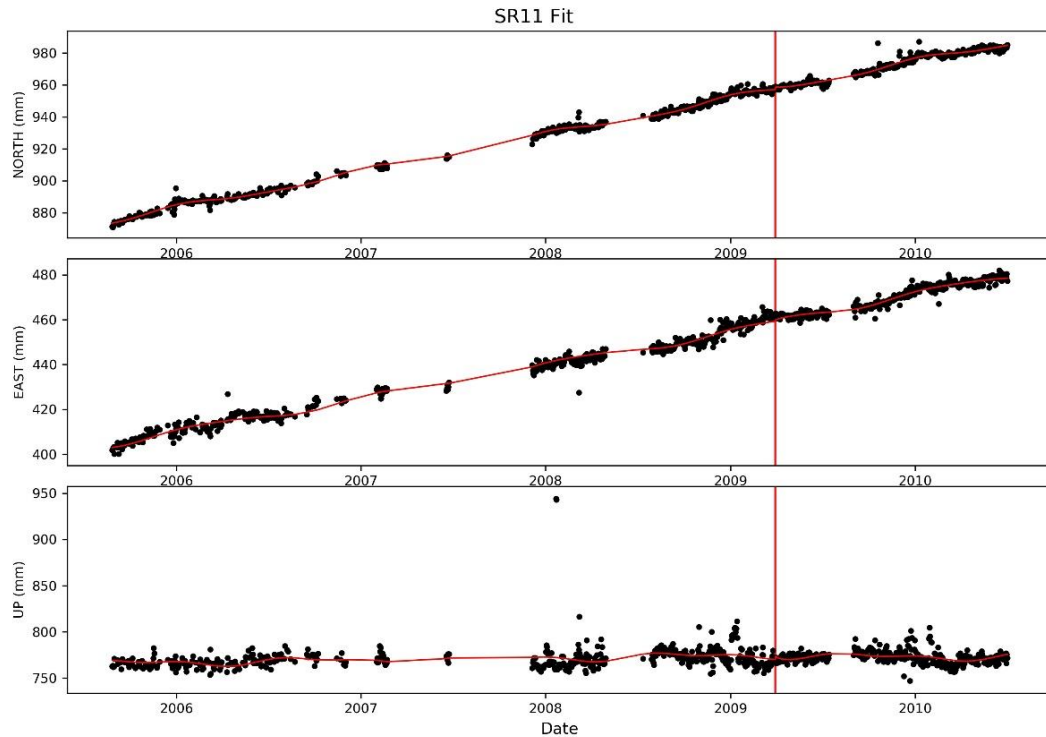
ПРИЛОГ 18

Временска серија сеизмичког догађаја SR10 (празнина у временској серији)



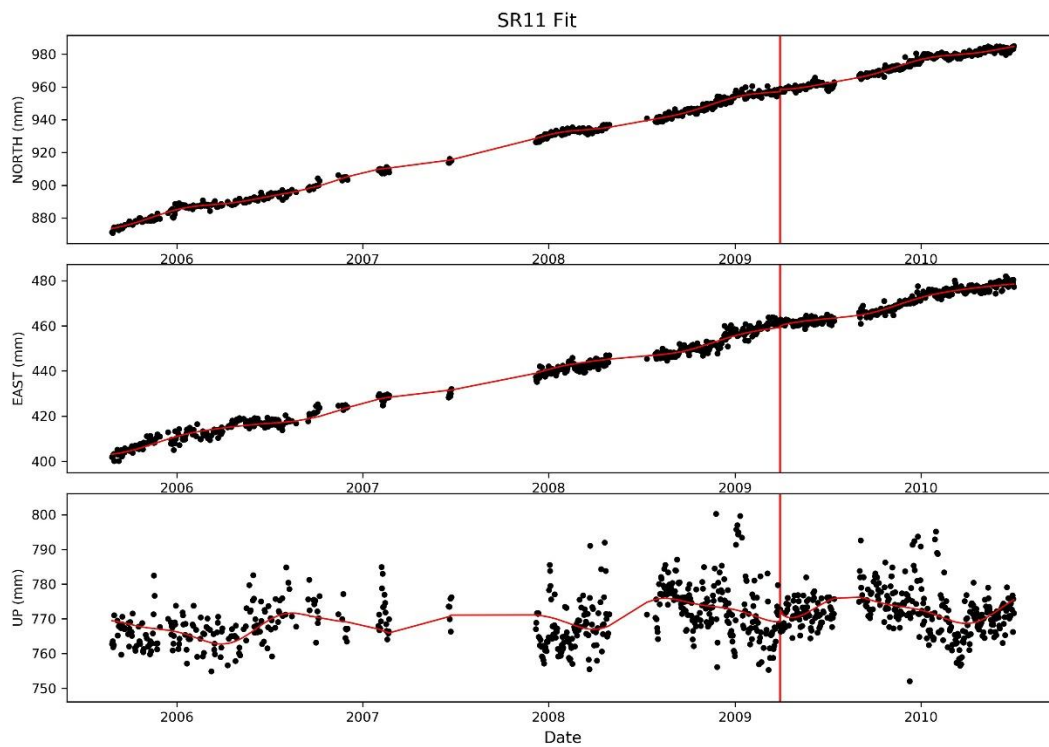
ПРИЛОГ 19

Временска серија сеизмичког догађаја SR11



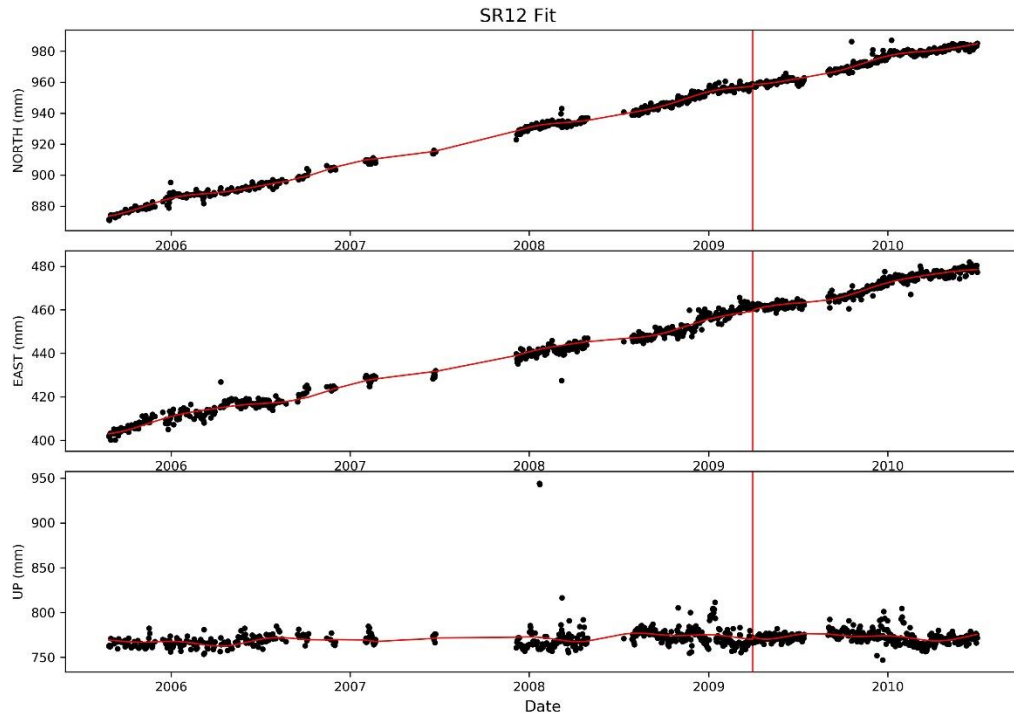
ПРИЛОГ 20

Очишћена временска серија сеизмичког догађаја SR11



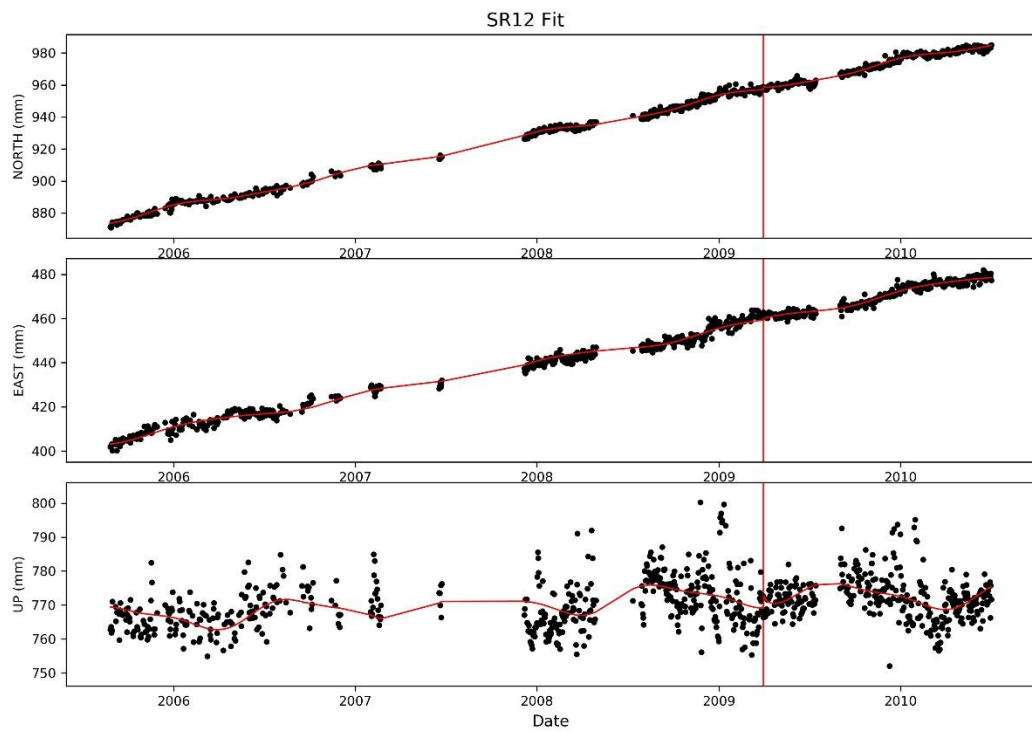
ПРИЛОГ 21

Временска серија сеизмичког догађаја SR12



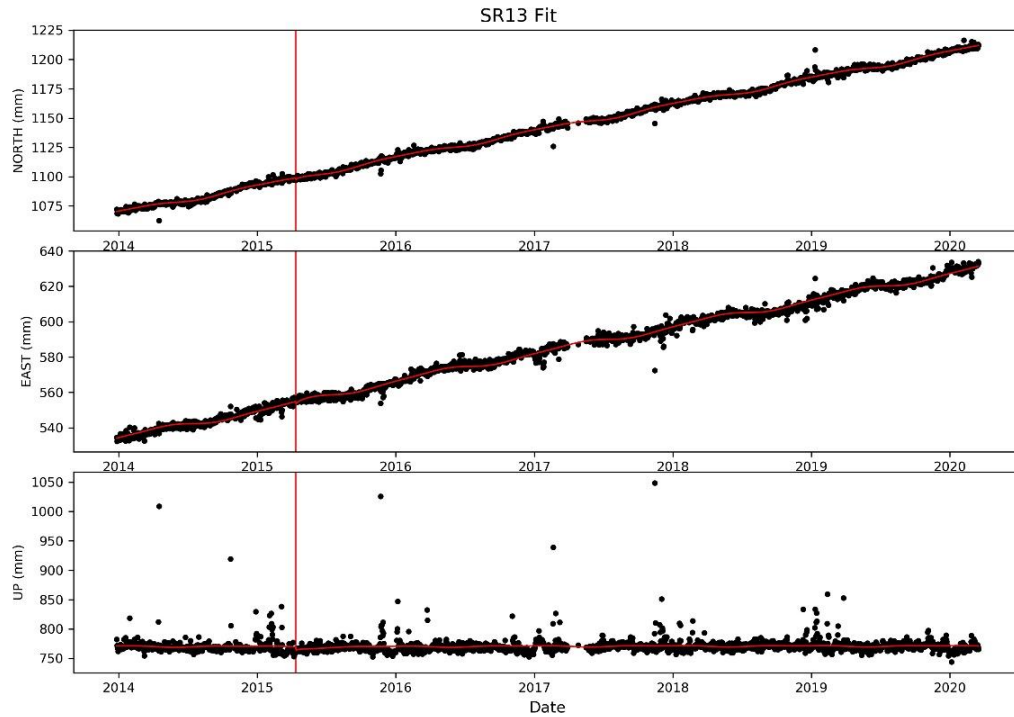
ПРИЛОГ 22

Очишћена временска серија сеизмичког догађаја SR12



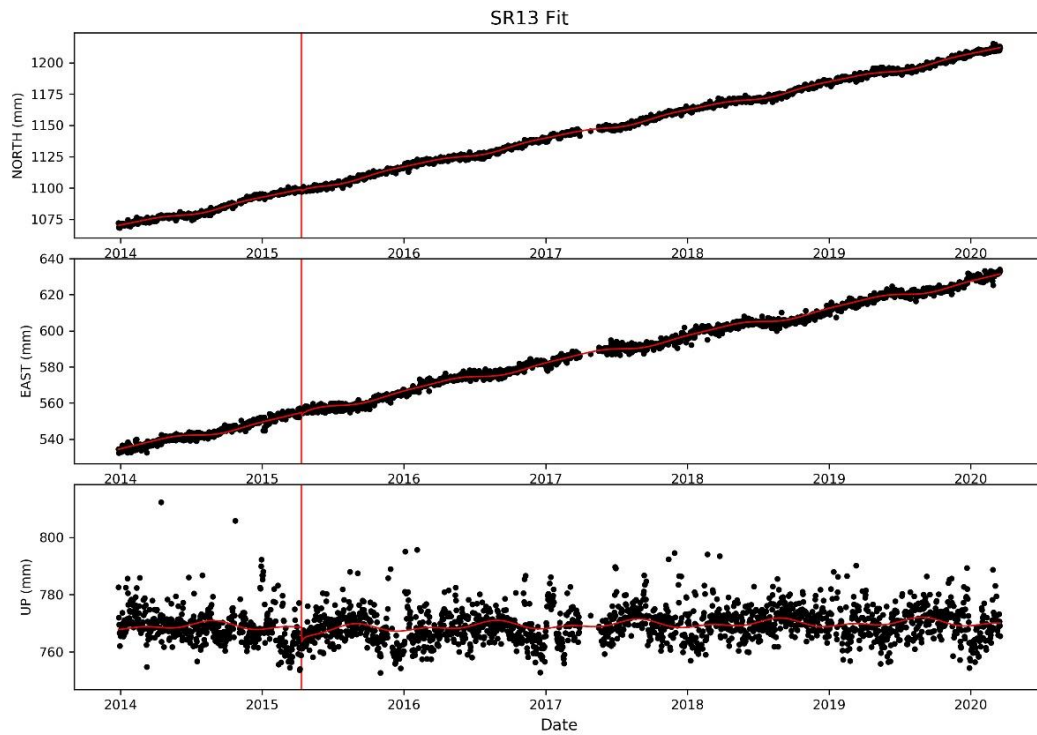
ПРИЛОГ 23

Временска серија сеизмичког догађаја SR13



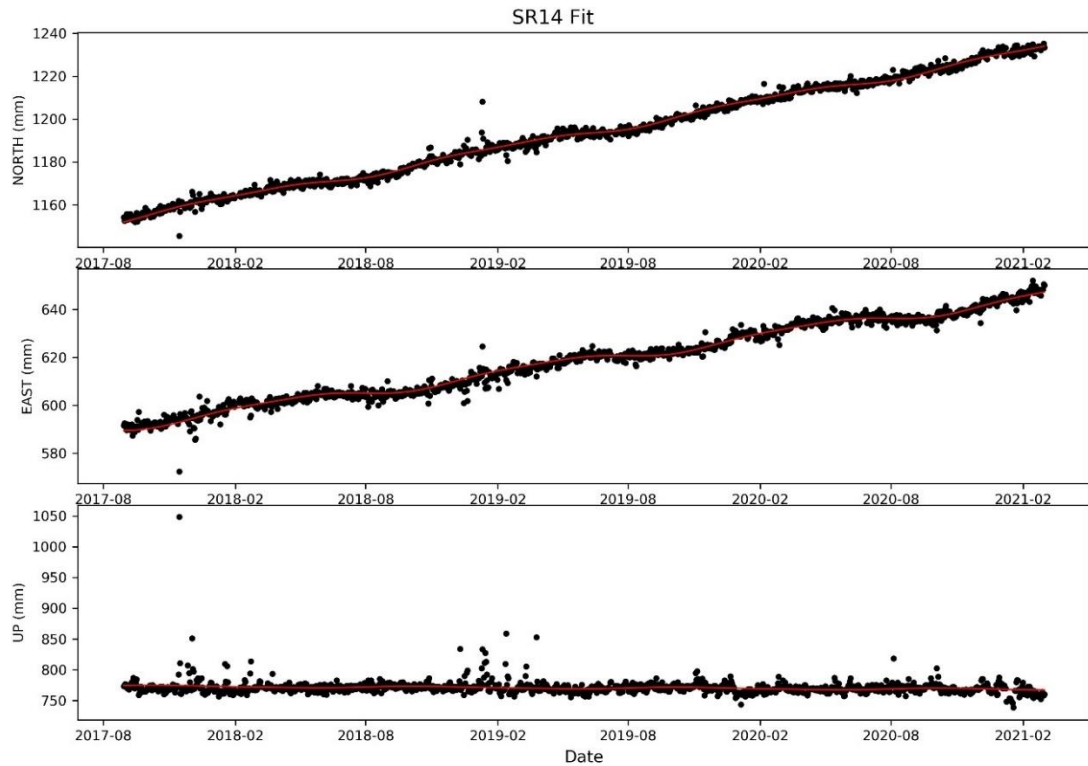
ПРИЛОГ 24

Очишћена временска серија сеизмичког догађаја SR13



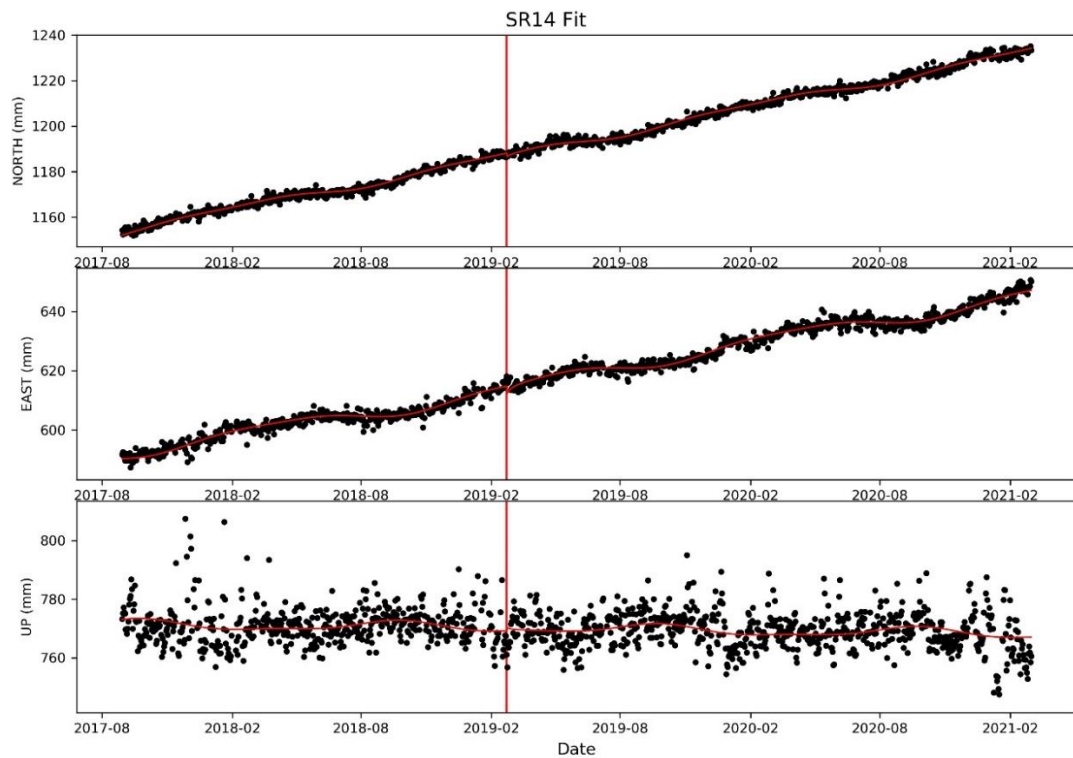
ПРИЛОГ 25

Временска серија сеизмичког догађаја SR14



ПРИЛОГ 26

Очишћена временска серија сеизмичког догађаја SR14



КРАТКА БИОГРАФИЈА АУТОРА



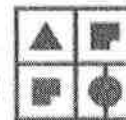
Слађана Станишић рођена 08. фебруара 1997. год. у Добоју, Република Српска. У Шамцу је завршила основну и средњу школу (Гимназија, општи смјер). Након средње школе започиње студије на Архитектонско-грађевинско-геодетском факултету у Бањој Луци, смјер геодезија. Звање дипломираног инжењера геодезије стекла је 2021. године. По завршетку основних студија, исте године уписује мастер студије на Архитектонско-грађевинско-геодетском факултету у Бањој Луци. У јулу 2022.

започиње радни однос на Архитектонско-грађевинско-геодетском факултету. Има положен државни испит и геодетску лиценцу другог реда. Написала четири библиографске јединице (научно-стручна рада) и учесник стручне праксе на Техничком Универзитету у Познању.



УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ
UNIVERSITY OF BANJA LUKA

АРХИТЕКТОНСКО-ГРАЂЕВИНСКО-ГЕОДЕТСКИ ФАКУЛТЕТ
FACULTY OF ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING AND GEODESY
СТУДИЈСКИ ПРОГРАМ ГЕОДЕЗИЈА



На основу члана 61. Закона о високом образовању ("Службени гласник Републике Српске", број 67/20) и члана 54. Статута Универзитета у Бањој Луци а на приједлог Вијећа СП Геодезија, Наставно-научно вијеће Архитектонско-грађевинско-геодетског факултета је на 11. сједници одржаној 19.06.2024. године донијело одлуку број: 14/3.1268/24 од 19.06.2024. године о именовању Комисије за преглед и оцјену завршног рада II циклуса студија, Студијског програма геодезија, кандидата **Слађане Станишић, број индекса 12МГЕО/21** под називом:

АНАЛИЗА GNSS СТАНИЦЕ SRJV00VIN И СЕИЗМИЧКЕ АКТИВНОСТИ НА РАСЈЕДИМА

Именована је Комисија у следећем саставу:

1. Проф. др Миодраг Регодић, Универзитет у Бањој Луци, Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, ужа научна област: Фотограмetriја и даљинско истраживање – председник;
2. Доц. др Сања Туцикешић, Универзитет у Бањој Луци, Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, ужа научна област: Геодетски премјер - ментор и члан;
3. Проф. др Сњежана Максимовић, Универзитет у Бањој Луци, Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, ужа научна област Математичка анализа и примјене – члан.

Комисија је прегледала, анализирала завршни рад и установила да је кандидат **Слађана Станишић, број индекса 12МГЕО/21**, испунила све формалне услове, и предала текст завршног рада II циклуса у прописаној форми, те Наставно-научном вијећу подноси следећи

ИЗВЈЕШТАЈ

О ПРЕГЛЕДУ И ОЦЕНИ ЗАВРШНОГ РАДА

II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

Лични подаци

Име и презиме:	Слађана Станишић
Датум рођења:	08. фебруар 1997.
Мјесто рођења:	Добој
Адреса становања:	Проф. др Смиље Аврамов бр. 1
Мјесто боравка:	Бања Лука
Број телефона:	+ 387 (0) 65 643-297
E-mail:	sladjanastanisic1234@gmail.com
Држављанство:	БиХ/РС;

Образовање

2016. – 2021. године	Образовна институција: Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, Универзитет у Бањој Луци Смјер: Геодезија Звање: Дипломирани инжењер геодезије (240 ЕЦТС) Тема завршног рада првог циклуса студија: Сателитско снимање програмом Copernicus
----------------------	--

2012. – 2016. године **Образовна институција:** ЈУ СШЦ „Никола Тесла“ Шамац
Смјер: општи

2003. – 2012. године **Образовна институција:** ЈУ Основна школа „Шамац“, Шамац

Радно искуство

2023. - данас **Послодавац:** Архитектонско -грађевинско- геодетски факултет
Позиција на послу: Дипломирани инжењер геодезије
Стручни сарадник за наставу

2022. - 2023. године **Послодавац:** Републичка управе за геодетске и имовинско-правне послове
Позиција на послу: Дипломирани инжењер геодезије
Приправник

Додатна стечена звања

2023. година Положен стручни испит за рад у Управи Републике Српске са високом стручном спремом

Личне вјештине

Матерњи језик: Српски језик
Страни језици: Енглески језик, одлична вербална и писана комуникација
Њемачки језик, основно познавање
Руски језик, основно познавање
Италијански језик, основно познавање
Француски језик, основно познавање
Информатичка писменост: Познавање програмских пакета и искуство у раду са:
MS Office (Word, Excel, PowerPoint), AutoCAD, QGIS, MapSoft, Matlab, ArcGIS Explorer, Adobe Illustrator, SketchUP.
Возачка дозвола: Категорија Б

II ПОДАЦИ О ЗАВРШНОМ РАДУ

Кандидат **Слађана Станишић**, определијела се за истраживачки и стручни рад у области: Геодетски референтни системи.

Мастер рад је провјерен путем званичног софтвера за откривање плагијата.

Завршни рад носи назив „АНАЛИЗА GNSS СТАНИЦЕ SRJV00BIN И СЕИЗМИЧКЕ АКТИВНОСТИ НА РАСЈЕДИМА“, и обухвата 99 страница од чега је 88 страница текста са описом теоријског и практичног истраживања, а 11 странице пописа литературе, табела, слика, прилога, скраћеница. Списак коришћене литературе од 67 наслова, 30 слика, 6 табела и 26 графичких прилога.

Предметни завршни - мастер рад кандидата **Слађане Станишић**, структуриран је у двије основне цјелине - теоријско-хипотетички дио рада и истраживачки дио рада, са сљедећим садржајем:

I. Теоријски дио рада

УВОДНА РАЗМАТРАЊА

1.1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

1.1. ПРОБЛЕМ И ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА

- 1.2. ХИПОТЕЗЕ СА ОБРАЗЛОЖЕЊЕМ
 - 1.3. ЦИЉЕВИ И ЗАДАЦИ ИСТРАЖИВАЊА
 - 1.4. МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА
 2. ГЕОДЕТСКА ГЕОДИНАМИКА
 - 2.1. ГЕОТЕКТОНСКА ТЕОРИЈА И ТЕКТОНСКИ ПОКРЕТИ
 - 2.2. СЕИЗМОЛОГИЈА
 - 2.2.1. СЕИЗМОЛОГИЈА БОСНЕ И ХЕРЦЕГОВИНЕ
 - 2.2.2. СЕИЗМОЛОГИЈА РЕПУБЛИКЕ СРПСКЕ
 - 2.2.3. БАЊАЛУЧКО СЕИЗМОГЕНО ПОДРУЧЈЕ
 - 2.3. РАСЈЕДИ
 3. ГЛОБАЛНИ НАВИГАЦИОНИ САТЕЛИТСКИ СИСТЕМИ
 - 3.1. КОНЦЕПТ GNSS ПОЗИЦИОНИРАЊА
 - 3.2. ТИПОВИ GNSS ПОЗИЦИОНИРАЊА
 - 3.2.1. АУТОНОМНО ПОЗИЦИОНИРАЊЕ
 - 3.2.2. ПРЕЦИЗНО АПСОЛУТНО ПОЗИЦИОНИРАЊЕ PPP (ЕНГЛ. PRECISE POINT POSITIONING)
 - 3.2.3. ДИФЕРЕНЦИЈАЛНО ПОЗИЦИОНИРАЊЕ
 - 3.2.4. РЕЛАТИВНО ПОЗИЦИОНИРАЊЕ
 - 3.3. ПОДЈЕЛА И ПРИМЈЕНА GNSS СИСТЕМА
 - 3.3.1. ГЛОБАЛНИ ПОЗИЦИОНИ СИСТЕМ GPS
 - 3.3.2. ГЛОБАЛНИ НАВИГАЦИОНИ САТЕЛИТСКИ СИСТЕМ GLONASS
 - 3.3.3. ГЛОБАЛНИ НАВИГАЦИОНИ САТЕЛИТСКИ СИСТЕМ BEIDOU
 - 3.3.4. ГЛОБАЛНИ НАВИГАЦИОНИ САТЕЛИТСКИ СИСТЕМ GALILEO
 - 3.4. GNSS У ГЕОДИНАМИЦИ
 4. ВРЕМЕНСКЕ СЕРИЈЕ
 - 4.1. ДЕФИНИЦИЈА И ВРСТЕ ВРЕМЕНСКИХ СЕРИЈА
 - 4.2. ЦИЉЕВИ И ПРИСТУПИ АНАЛИЗЕ ВРЕМЕНСКИХ СЕРИЈА
 - 4.3. АНАЛИЗА ВРЕМЕНСКИХ СЕРИЈА GNSS КООРДИНАТА
- ПРАКТИЧНИ ДИО РАДА
5. МОДЕЛОВАЊЕ ВРЕМЕНСКИХ СЕРИЈА GNSS КООРДИНАТА
 - 5.1. ПОДРУЧЈЕ ИСТРАЖИВАЊА
 - 5.2. ОБРАДА И АНАЛИЗА ПОДАТАКА
 - 5.3. АНАЛИЗА ДОБИЈЕНИХ РЕЗУЛТАТА
 6. ЗАКЉУЧАК
 7. ЛИТЕРАТУРА
 8. СПИСАК ПРИЛОГА
- Кратка биографија кандидата

III ПРИКАЗ И АНАЛИЗА ЗАВРШНОГ РАДА

У уводном дијелу наведено је:

Литосфера је вањски чврсти слој Земљине површине, састављен од стијена и тла. Подложен је геолошким процесима попут ерозије, вулканизма и тектонике плоча. Ова слојевита структура кључна је за разумијевање обликовања Земље. Литосфера се дијели на континенталну и океанску литосферу. Литосфера се састоји од седам главних тектонских плоча, неколико регионалних плоча и микроплоча које чине још финију подјелу литосфере.

Моделовање тектонских помјерања је мултидисциплинаран задатак који се односи на проучавање геолошких процеса, физичких својстава стијена, механизма деформације тектонских помјерања и узајамног дјеловања између литосферних плоча. Развој геодетских техника мјерења омогућио је регистровање помјерања и брзина кретања литосферних плоча.

Опажањем координата и њихових промјена у току времена за велики број станица широм Земље, могу се измјерити брзине кретања литосферних плоча.

Геодетска мјерења у сеизмологији су врло захтјевна и од велике важности за разумијевање процеса на границама плоча, јер подаци о површинским деформацијама помажу у проналажењу нове прерасподјеле клизања која може узроковати површинска помјерања. Тектонска геодезија је грана геодезије и геофизике која има значајну примјену у геонауци. Она је интердисциплинарна област која проучава тектонску активност коре и њену основну кинематику користећи геодетске методе мјерења као што су GNSS (енгл. Global Navigation Satellite Systems – глобални навигациони сателитски системи) и SLR (енгл. Satellite Laser Ranging – Сателитски ласерски радари).

Тема овог мастер рада је „Анализа GNSS станице SRJV00BIN и сеизмичке активности на расједима“. Резултат континуираних GNSS мјерења представљају временске серије GNSS координата. У вези са тим детаљније је описана GNSS технологија и значај континуираних мјерења GNSS станица.

Глобални навигациони сателитски системи имају широку примјену у геодинамичким истраживања, укључујући студије помјерања тектонских плоча и деформација границе плоча, земљотресе и сеизмологију, вулканске деформације, и друге геодинамичке појаве.

Почетком деведесетих година двадесетог вијека, примјеном GNSS технологије, почеле су се развијати континуиране GNSS мреже, помоћу којих су праћене деформације Земљине коре. Овакве мреже су развијане примарно за мјерење деформација везаних за тектонске процесе. GNSS технологија прати кретања Земљине коре и њене деформације са високом прецизношћу током краћих просторних и временских периода. Временске серије GNSS координата се најчешће користе за геофизичка истраживања и показале су се корисним у истраживању циклуса сеизмичких деформација који се односе на читав сеизмички циклус. Појам сеизмички циклус се односи на посматрање земљотреса прије, за вријеме и после његовог настанка.

Босна и Херцеговина се по географском положају налази у југоисточној Европи, на Балканском полуострву. Укупна површина БиХ износи 51209.2 km², док је дужина државне границе БиХ са сусједним земљама (Хрватска, Србија и Црна Гора) 1538 km. Тектонска грађа Босне и Херцеговине карактерише комплексна геолошка структура која укључује различите тектонске јединице. Босна и Херцеговина налази се унутар динарског система, који је резултат судара Афричке и Евроазијске тектонске плоче. Овај судар довео је до стварања многих високих планинских ланаца. На територији БиХ постоје бројни расједи као резултат тектонских процеса. Расједи су фактор који утиче на сеизмичку активност у земљи. На неким подручјима, присутно је прегинање литосфере, односно долази до деформације Земљине коре услед дјеловања тектонских сила, што доводи до специфичних геоморфолошких карактеристика тог подручја.

Расједи су пукотине у литосфери узроковане напрезањима која настају када се дијелови плоче (или двије плоче) крећу у различитим смјеровима.

Подјела расједа може се извести према њиховој дубини или величини. Расједи се обично дијеле на расједе првог, другог и трећег реда. Расједи првог реда су највећи и обично су повезани с границама тектонских плоча. Они су одговорни за веће земљотресе и друге тектонске активности на глобалном нивоу. Расједи другог реда су мањи од расједа првог реда, али су свакако значајни. Често су повезани са мањим тектонским плочама унутар већих тектонских структура или са локалним тектонским деформацијама. Расједи трећег реда су најмањи и обично су локални. Они су повезани са мањим тектонским структурама или локалним геолошким карактеристикама. Могу бити важни за локалну сеизмичку активност и ризике од мањих земљотреса.

Такође, постоји велики број различитих типова расједа, али се већина може подијелити у три категорије: расједи клизања (енгл. strike-slip faults), нормални расједи (енгл. normal faults) и трансверзални расједи (енгл. thrust faults). Класификација расједа зависи од угла пада (угла који расједна површина прави са хоризонтом) и смјера клизања (смјера помјерања блокова дуж расједне површине). Ова два фактора омогућавају идентификацију и описивање различитих врста расједа. Расједи који се помјерају хоризонтално познати су као расједи клизања и класификовани су као десни расјед или лијеви расјед, на којем два блока клизе један поред другог. Расједи који се крећу дуж смјера нагибне равни су расједи проклизавања и описују се као

нормални или реверзни расједи, зависно од њиховог кретања. Код ових расједа су блокови углавном вертикално помјерени. Ако се стијенска маса изнад нагнутог расједа помјера ка доле, расјед се назива нормалним, а ако се стијена изнад расједа помјера ка горе, расјед се назива реверзним расједом. Нормални расјед је расјед у којем се блок изнад расједа помјерио према доле у односу на блок испод. Ова врста расједа јавља се као одговор на проширење и често се уочава дуж система океанских гребена. Трансверзални расјед је расјед у којем се горњи блок, изнад равни расједа, помјера горе и преко доњег блока. Ова врста расједа је уобичајена у подручјима компресије, у регијама гдје се једна плоча спушта под другу. Када је угао нагиба мали, реверзни расјед се често назива трансверзални расјед.

Сеизмичка активност у Босни и Херцеговини није једнако распоређена широм земље, већ се концентрише у одређеним зонама које су познате по већој активности. Јужни дио БиХ, који обухвата вањске Динариде, познат је по значајној сеизмичкој активности. Подручје Мостара, Чапљине и околна подручја, често су погођена земљотресима. Расјед који се протеже кроз јужни и сјеверозападни дио БиХ, познат је по бројним земљотресима који су се десили у прошлости. Зона око Сарајева често је регистровала значајне сеизмичке догађаје. Подручје око града Бања Лука, такође је познато по регистрованој сеизмичкој активности.

На основу података о сеизмичности БиХ, може се закључити да је највећа учесталост земљотреса на подручју Херцеговине (граница Хрватске) и на подручју града Бања Лука. У Бањој Луци, Дервенти и Тузли, у последњих 25 година, дошло је до повећања сеизмичне активности. На подручју Дрине (Прача, Вишеград, Сребреница, Зворник) забиљежени су земљотреси са најмањом дубином, а са највећом на сјеверозападу и западу БиХ.

Глобални навигациони системи у реалном времену и анализа расједа играју кључну улогу у разумијевању геодинамичких процеса.

Ово истраживање има за циљ да истражи везу између GNSS координата станице SRJV00BIN и сеизмичке активности на расједима, са посебним фокусом на уже подручје око GNSS станице SRJV00BIN.

Покривеност сеизмичким сензорима је такође изузетно лоша. Један стогодишњи аналогни и неколико недавно инсталираних сеизмометара недовољни су за регију која показује благу до високу сеизмичку активност. Потребна су значајна улагања како би се успоставиле или побољшале GNSS, сеизмичке и друге мреже са сензорима.

ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА

Геодинамичка истраживања су напредовала са развојем GNSS технологије. Велики значај за геодинамичка истраживања имају временске серије GNSS координата, посебно континуирана GNSS мјерења. Анализе временских серија GNSS координата се примјењују за проучавање кретања тектонских плоча и деформација Земљине коре, које настају као посљедица земљотреса, вулкана и других геофизичких појава.

Истраживање сеизмичког циклуса уско је повезано са анализом деформација Земљине коре и анализом тектонских помјерања која се може извршити на основу временских серија GNSS координата.

Сеизмичност Земљине коре могла би да има велики утицај на инжењерску инфраструктуру. Она може оштетити објекте или изазвати катастрофу. GNSS би могао да пружи корисне информације о деформацији Земљине коре, што доприноси бољем разумијевању појаве површинских напона. Активност земљотреса је уско повезана са динамиком великих тектонских плоча.

Деформације изазване земљотресом представљају битне информације за дефинисање сеизмогених зона. Да би се измјерила брзина деформисања Земљине коре између, током и после земљотреса, морају се извршити прецизна мјерења на самом расједу или на систему повезаних активних расједа. У Босни и Херцеговини је ниска просторна густина GNSS станица, које се користе у савременим геодинамичким студијама.

Перманентна GNSS станица SRJV00BIN, инсталирана на Грађевинском факултету у Сарајеву, једина је стална GNSS станица у региону, која је дио ЕУРЕФ (енг. European Reference Frame) перманентне GNSS мреже и у том сегменту има ажурне доступне временске серије из GNSS координата.

Дакле, предмет овог мастер рада представља анализа GNSS временске серије станице SRJV00BIN током времена и корелација са сеизмичким активностима на расједима. Ово истраживање има за циљ да испита везу између сеизмичких догађаја и промјена у GNSS координатама станице SRJV00BIN, како би се дубље разумјели процеси који леже у основи ових догађаја.

Истраживање се састоји из анализе временских серија GNSS координата станице SRJV00BIN у периодима прије, за вријеме и после сеизмичких догађаја.

ХИПОТЕЗЕ СА ОБРАЗЛОЖЕЊЕМ

Када је научни проблем постављен и јасно дефинисан, у процесу тражења крајњег рјешења, почетна тачка налази се у пробном рјешењу. Употреба хипотеза у рјешавању проблема представља један од најзначајнијих методолошких поступака.

У оквиру мастер рада постављене су следеће хипотезе:

- **Општа хипотеза:** Временска серија GNSS координата станице SRJV00BIN показује значајне промјене у позицијама у простору током времена, које су у вези са сеизмичким активностима на расједима;
- **Алтернативна хипотеза:** Промјене у временској серији GNSS координата станице SRJV00BIN имају статистички значајну корелацију са учесталошћу и јачином земљотреса дуж расједа.

Наведене хипотезе су анализиране на основу података који су добијени апликативним истраживањем (научно истраживање) и практичним истраживањем.

ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА

Главни циљ овог истраживања је да се анализира веза између сеизмичке активности и промјена у GNSS координатама станице SRJV00BIN, као и да се утврди у којој мјери су промјене у координатама резултат сеизмичке активности.

Посебни циљеви укључују проучавање утицаја сеизмичких догађаја на промјене у GNSS координатама и анализу временских зависности ових промјена у односу на расједе.

На основу полазног проблема, те на темељу истраживања у предметној области, дефинисани су и основни циљеви истраживања:

- Систематизовање појмова из подручја проучавања потребних за спровођење овог истраживања, као и с њима повезаних појмова,
- Анализа и критички осврт на постојећа рјешења у предметној области, као и анализа досадашњих теоријских емпиријских искустава из области глобалних навигационих сателитских система,
- Анализа временских серија GNSS координата станице SRJV00BIN у циљу дефинисања тектонске активности тест подручја,
- Процјена тектонских помјерања подручја истраживања и успостављање односа између површинских деформација и тектонских активности
- Корелација резултата анализе временских серија GNSS координата и одређених сеизмолошких догађаја.

МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА

Током израде мастер рада кориштена је комбинација различитих научних метода у циљу евалуације постављених хипотеза. Извршен је преглед научних и стручних радова који се баве временским серијама GNSS координата.

За потребе овог истраживања најрелевантније су сљедеће научне методе:

- **Аналитичка метода**, којом се врши рашчлањивање једне цјелине на њене дијелове или елементе;
- **Синтетичка метода**, којом се преко једноставнијих форми и појмова долази до сложенијих;
- **Индуктивна метода**, којом се долази до општих закључака полазећи од појединачних премиса;
- **Дедуктивна метода**, којом се полазећи од општих знања долази до посебних и појединачних закључака;
- **Метода генерализација**, којом се врши уопштавање од посебног појма до уопштенијег;
- **Дескриптивна метода**, која се користи за описивање различитих чињеница, процеса и појава у природи;
- **Компаративна метода** је концепт упоређивања између двије појаве или процеса;
- **Метода моделовања**, којом се генерише знаковни систем помоћу којег се може замијенити предмет који се истражује.

Ова истраживања имају потенцијал да допринесу бољем разумијевању везе између GNSS координата станице SRJV00BIN и сеизмичке активности на расједима. Резултати овог истраживања могли би да имају значајне импликације за предвиђање сеизмичких догађаја и управљање ризицима у овом локалитету.

IV ЗАКЉУЧАК И ПРИЈЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

Комисија закључује да је завршни рад урађен у складу са Правилником о завршним радовима студената на II циклусу студија Архитектонско-грађевинског факултета Универзитета у Бањој Луци и да представља вриједан допринос науци и струци у оквиру научног поља Геодезија, ужа научна област Геодетски референтни системи, те наглашава кључне квалитете рада.

На основуведеног истраживања и анализе временских серија координата са GNSS станице SRJV00BIN, утврђено је да постоји значајан потенцијал за коришћење GNSS података у праћењу тектонских помјерања и детекцији сеизмичких активности у Босни и Херцеговини. Анализа је показала да промјене у GNSS координатама корелирају са периодима повећане сеизмичке активности, посебно у близини главних расједа, што потврђује да GNSS станице имају кључну улогу у раном упозоравању на земљотресе.

Процес чишћења података значајно је побољшао квалитет и поузданост GNSS мјерења, смањујући WRMS вриједности у компонентама N (сјевер), E (исток) и Up (вертикално), при чему је највеће побољшање забиљежено у вертикалној компоненти (Up). Брзине кретања и косеизмичка помјерања су омогућила дубљи увид у тектонске процесе, указујући на важност GNSS технологије у геодинамичким истраживањима.

На основу резултата, закључено је да ни магнитуда земљотреса ни удаљеност од GNSS станице не показују значајну повезаност са хоризонталним или вертикалним косеизмичким помјерањима. Међутим, удаљеност од станице може имати благо већи утицај на хоризонтална помјерања у поређењу са вертикалним. Ово указује да би за дубље разумијевање ових помјерања требало укључити и друге факторе, попут локалне геологије, дубине земљотреса, тектонских расједа и врста тла, који могу значајно утицати на обрасце помјерања тла током сеизмичких догађаја.

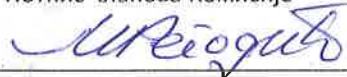
Вертикална компонента показује веће осцилације у односу на хоризонталне компоненте, што је очекивано јер су GNSS мјерења традиционално мање прецизна у вертикалној оси.

Резултати истраживања потврђују да је неопходно проширити постојећу GNSS мрежу и развијати напредне методе анализе временских серија ради повећања тачности и свеобухватности у праћењу тектонских активности. Интеграција GNSS података са сеизмичким подацима пружа додатну могућност за унапређење раног откривања и предикције сеизмичких догађаја, што је од великог значаја за смањење ризика од природних катастрофа. Рад садржи висок степен научног и стручног приступа у анализи GNSS података и временских серија. Кандидат је успјешно примјенио напредне методе чишћења и анализе података, чиме је значајно побољшао тачност резултата. Закључци су засновани на детаљној анализи WRMS вриједности и косеизмичких помјерања, што је дало важан увид у тектонске процесе у околини GNSS станице SRJV00BIN. Мастер рад представља значајан допринос у области праћења тектонских активности и квалитетну основу за даља истраживања.

Комисија предлаже Наставно-научном вијећу да одобри одбрану завршног (мастер) рада кандидата **Слађане Станишић**, број индекса **12МГЕО/21** под називом: „**АНАЛИЗА GNSS СТАНИЦЕ SRJV00BIN И СЕИЗМИЧКЕ АКТИВНОСТИ НА РАСЈЕДИМА**“

У Бањалуци, 29. 11. 2024. године

Потпис чланова Комисије



Проф. др Миодраг Регодић, предсједник



Доц. др Сања Туцекеша, ментор и члан



Проф. др Сњежана Максимовић, члан

УНИВЕРЗИТЕТУ У БАЊОЈ ЛУЦИ
ПОДАЦИ О АУТОРУ ОДБРАЊЕНОГ МАСТЕР/МАГИСТАРСКОГ РАДА

Име и презиме аутора мастер/магистарског рада: Слађана Станишић

Датум, мјесто и држава рођења аутора: 08.02.1997. Добој, БиХ

Назив завршеног факултета/Академије аутора и година дипломирања:

Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, 2021. година

Датум одбране завршног/дипломског рада аутора: 27.10.2021. године

Наслов завршног/дипломског рада аутора: Сателитско снимање програмом Coregnicus

Академско звање коју је аутор стекао одбраном завршног/дипломског рада:

Дипломирани инжењер геодезије - 240 ECTS

Академско звање које је аутор стекао одбраном мастер/магистарског рада:

Мастер геодезије - 300 ECTS

Назив факултета/Академије на коме је мастер/магистарски рад одбрањен:

Архитектонско-грађевинско геодетски факултет

Наслов мастер/магистарског рада и датум одбране: Анализа GNSS станице SRJV00BIN

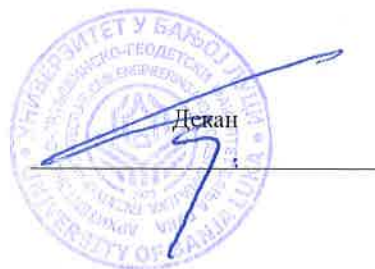
и сеизмичке активности на расједима, 20.12.2024. године

Научна област мастер/магистарског рада према CERIF шифрарнику: Геодетски
референтни системи P515

Имена ментора и чланова комисије за одбрану мастер/магистарског рада:

1. Проф. др Миодраг Регодић - председник,
2. Доц. др Сања Туцикешић - ментор и члан,
3. Проф. др Сњежана Максимовић - члан

У Бањој Луци, дана 20.12.2024.



ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

**Изјављујем да је
мастер/магистарски рад**

Наслов рада: Анализа GNSS станице SRJV00BIN и сеизмичке активности на расједима

Наслов рада на енглеском језику: Analysis of GNSS station SRJV00BIN and seismic activity on faults

- ☐ резултат сопственог истраживачког рада,
- ☐ да мастер/магистарски рад, у цјелини или у дијеловима, није био предложен за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- ☐ да су резултати коректно наведени и
- ☐ да нисам кришио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

У Бањој Луци 20.12.2024.

Потпис кандидата

Слађана Стеганић

Изјава којом се овлашћује АГГ факултет/ Академија умјетности
Универзитета у Бањој Луци да мастер/магистарски рад учини јавно доступним

Овлашћујем Арх.-грађ.-геодетски факултет/ Академију умјетности Универзитета у Бањој
Луци да мој мастер/магистарски рад, под насловом

Анализа GNSS станице SRJV00BIN и сеизмичке активности на расједима

који је моје ауторско дјело, учини јавно доступним.

Мастер/магистарски рад са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату,
погодном за трајно архивирање.

Мој мастер/магистарски рад, похрањен у д и г и т а л н и р е п о з и т о р и ј у м Универзитета
у Бањој Луци, могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце
Креативне заједнице (*Creative Commons*), за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
- ☒ 2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство - некомерцијално - без прераде
4. Ауторство - некомерцијално - дијелити под истим условима
5. Ауторство - без прераде
6. Ауторство - дијелити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је
на полеђини листа).

У Бањој Луци 20.12.2024.

Потпис кандидата

Слађана Раденић

ТИПОВИ ЛИЦЕНЦИ КРЕАТИВНЕ ЗАЈЕДНИЦЕ

Ауторство (CCBY)

Дозвољава умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дјела, и прераде, ако се наведе име аутора, на начин одређен од аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

Ауторство - некомерцијално (CC BY-NC)

Дозвољава умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дјела и прераде, ако се наведе име аутора, на начин одређен од аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дјела.

Ауторство - некомерцијално - без прерада (CC BY-NC-ND)

Дозвољава умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дјела, без промјена, преобликовања или употребе дјела у свом дијелу, ако се наведе име аутора, на начин одређен од аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дјела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дјела.

Ауторство - некомерцијално - дијелити под истим условима (CC BY-NC-SA)

Дозвољава умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дијела, и прераде, ако се наведе име аутора, на начин одређен од аутора или даваоца лиценце, и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дјела и прерада

Ауторство - без прерада (CC BY-ND)

Дозвољава умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дјела, без промјена, преобликовања или употребе дјела у свом дијелу, ако се наведе име аутора, на начин одређен од аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дјела.

Ауторство - дијелити под истим условима (CC BY-SA)

Дозвољава умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дјела, и прераде, ако се наведе име аутора, на начин одређен од аутора или даваоца лиценце, и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дјела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.

Напомена: Овај текст није саставни дио изјаве аутора.

Више информација на линку: <http://creativecommons.org.rs/>

**Изјава о идентичности штампане и електронске верзије
мастер/магистарског рада**

Име и презиме аутора: Слађана Станишић

Наслов рада: Анализа GNSS станице SRJV00BIN и сеизмичке активности на расједима

Ментор: Доц. др Сања Туцикешаћ

Изјављујем да је штампана верзија мог мастер/магистарског рада идентична електронској верзији коју сам предао/ла за дигитални репозиторијум Универзитета у Бањој Луци.

У Бањој Луци 20.12.2024.

Потпис кандидата

Слађана Станишић