

Одређивање координата тачака перманентних станица за глобално позиционирање у Међународном терестричком референтном систему

СТЕФАН В. КРСТИЋ, Универзитет у Београду,
Грађевински факултет, Београд
ОЛЕГ Р. ОДАЛОВИЋ, Универзитет у Београду,
Грађевински факултет, Београд
ДУШАН С. ПЕТКОВИЋ, Универзитет у Београду,
Грађевински факултет, Београд

Стручни рад
UDC: 528.629.783
DOI: 10.5937/tehnika2403267K

Предмет овог рада јесте Међународни терестрички референтни оквир 2020 (International Terrestrial Reference Frame 2020 – ITRF2020) који представља актуелну реализацију Међународног терестричког референтног система (International Terrestrial Reference System – ITRS). Овај оквир званично је публикован 15.04.2022. године. Од 27.11.2022. све међународне организације које се баве геонаукама користе ово решење као стандардни референтни оквир. У овом раду су одређене координате тачака у ITRF2020 оквиру применом технологије глобалних навигационих сателитских система (Global Navigation Satellite Systems – GNSS). За те потребе изабране су 24 тачке на територији Србије у виду референтних тачака перманентних станица за глобално позиционирање. За повезивање са ITRF2020 оквиром искоришћене су четири тачке у близини Србије чије су позиције познате у њему. Подаци за добијање координата тачака односе се на временски период 27.11.2022 – 03.12.2022. године. За обраду података и рачунање координата тачака коришћен је Bernese GNSS Software. У оквиру решавања постављеног проблема прво су одређена дневна решења, а затим су њиховим комбиновањем срачуната седмодневна решења координата тачака. Недељне координате одређене су са милиметарском стандардном девијацијом поновљивости дневних решења и оне се односе на референтни тренутак времена 30.11.2022. године у 12:00:00.

Кључне речи: ITRS, ITRF2020, GNSS, Bernese GNSS Software, седмодневна решења координата тачака

1. УВОД

За позиционирање тачака на површи Земље и у њеној непосредној близини користе се терестрички референтни системи који се реализују кроз терестричке референтне оквири и тако чине доступним за кориснике у складу са међународним конвенцијама [1]. На тај начин се успостављају различити глобални, регионални и национални референтни системи и оквири [2].

Препоручени геоцентрични терестрички референтни систем за научне и техничке сврхе на нивоу

целог света је Међународни терестрички референтни систем, који се због динамике Земље периодично реализује [3]. Његова актуелна реализација, у виду Међународног терестричког референтног оквира 2020, званична је од 15.04.2022. године. Сви резултати унутар овог оквира представљени су у [4], док [5] додатно обрађује овај оквир. Почевши са 27.11.2022. године, релевантне међународне организације у области геонаука користе ово решење као референтни оквир за све своје радове и у оквиру њега публикују своје производе.

Координате тачака у Међународном терестричком референтном систему могу се одредити употребом глобалних навигационих сателитских система коришћењем тачака са познатим координатама у жељеном референтном оквиру. Како би се добиле позиције тачака са високом прецизношћу потребно је користити вишедневна опажања, различите додатне податке и софтвер који омогућава

Адреса аутора: Стефан Крстић, Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Београд, Булевар краља Александра 73

e-mail: skrstic@grf.bg.ac.rs

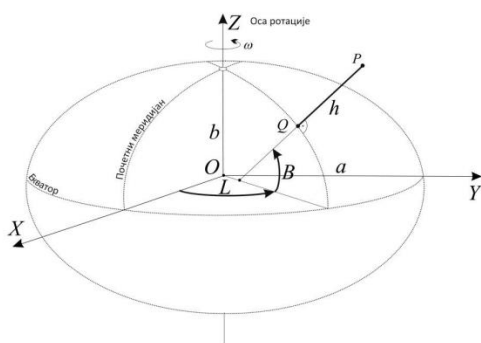
Рад примљен: 27.02.2024.

Рад прихваћен: 19.03.2024.

обраду свих потребних података како би се адекватно третирали сви утицаја који се морају узети у обзир приликом рачунања координата тачака [6]. У овом раду су одређене координате тачака у Србији у Међународном терестричком референтном оквиру 2020 и тако је извршена његова реализација на подручју Србије за референтну епоху 30.11.2022. године у 12:00:00.

2. ТЕРЕСТРИЧКИ РЕФЕРЕНТНИ СИСТЕМИ И ОКВИРИ

Терестрички референтни систем (Terrestrial Reference System – TRS) је просторни референтни систем који ротира заједно са Земљом у њеном дневном кретању у простору. У таквом систему, позиције тачака које се налазе на физичкој површи Земље имају координате које се у времену мењају веома мало као последица геофизичких ефеката (тектонске или плимске деформације) [1]. Координатни системи који се најчешће придружују TRS системима су Декартов правоугли и геодетски (елипсоидни) координатни систем заједно са референтним обртним елипсоидом (слика 1).

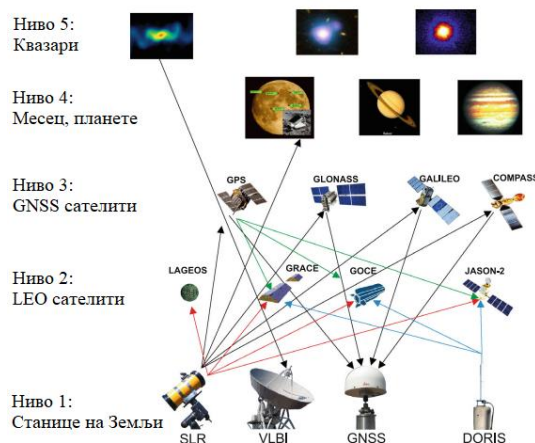


Слика 1 – Координатни системи у геодезији [7]

Дефинисање координатног система у простору Земље обавља се дефинисањем његовог координатног почетка (три параметра), оријентације координатних оса (три параметра) и размере (један параметар), путем геодетског датума. Осим тога, геодетски датум обухвата и неопходне константе, параметре, конвенције и теорије које дефинишу координате и недвосмислено одређују на који начин се оне придружују тачкама и објектима [8].

Глобални TRS системи дефинишу се као геоцентрични (Earth-Centered, Earth-Fixed – ECEF). Њихов координатни почетак је близу геоцентра, оријентација је екваторијална (правац Z-осе је у правцу пола) док је размера приближна SI метру. Овим системима се придружују глобални геоцентрични елипсоиди који најбоље апроксимирају површ целе Земље. Везе између геодетских и правоуглих геоцентричних координата су познате и могу се наћи у [7], [8].

Терестрички референтни оквир (Terrestrial Reference Frame – TRF) се дефинише као реализација TRS-a, кроз реализацију његовог почетка, оријентације координатних оса и размере, као и њихове временске еволуције. Сама реализација TRS-a остварује се скупом тачака чије су координате прецизно одређене у неком усвојеном координатном систему који је придружен TRS-у [1].



Слика 2 – Технике сателитске геодезије [2]

Због захтеване прецизности, позиције референтних тачака у оквиру TRF-a одређују се помоћу техника сателитске геодезије (слика 2):

- Сателитско доплерско мерење и радиопозиционирање (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite – DORIS),
- Глобални навигациони сателитски системи (Global Navigation Satellite Systems – GNSS),
- Ласерско мерење растојања до сателита (Satellite Laser Ranging – SLR),
- Дугобазисна интерферометрија (Very Long Baseline Interferometry – VLBI).

3. МЕЂУНАРОДНИ ТЕРЕСТРИЧКИ РЕФЕРЕНТНИ СИСТЕМ И ОКВИР

Међународни сервис за ротацију Земље и референтне системе (International Earth Rotation and Reference Systems Service – IERS) обезбеђује, између осталог, Међународни терестрички референтни систем (International Terrestrial Reference System – ITRS) и његову реализацију, Међународни терестрички референтни оквир (International Terrestrial Reference Frame – ITRF).

3.1. Међународни терестрички референтни систем (ITRS)

ITRS је један од три најзначајнија конвенционална терестричка референтна система. Дефинише се кроз следеће услове [1]:

- Геоцентричан је; где се центар масе рачуна за целу Земљу, укључујући океане и атмосферу.

- Јединица дужине је *SI* метар. Размера је у складу са геоцентричним координатним временом за геоцентрични локални оквир.
- Његова оријентација се иницијално поклапа са *BIH* (*Bureau International de l'Heure*) оријентацијом за епоху 1984,0.
- Временска еволуција оријентације система задовољава услов да нема ротације мреже у односу на хоризонтална тектонска кретања целе Земље.

За потребе изражавања позиција тачака у геодетским координатама, препоручује се коришћење елипсоида *GRS80* који је двоосни геоцентрични екипотенцијални елипсоид придружен Геодетском референтном систему 1980 (*Geodetic Reference System 1980 – GRS80*).

3.2. Међународни терестрички референтни оквир (*ITRF*)

ITRF представља нумеричку реализацију *ITRS*-а коју развија, одржава и чини доступном за кориснике *IERS*. Сваком *ITRF* решењу придружује се референтна епоха која представља епоху на коју се односе координате и брзине тачака које дефинишу реализацију оквира.

Физичку материјализацију *ITRS*-а у простору Земље представља *IERS* мрежа. Одређивањем координата тачака ове мреже врши се успостављање *ITRF*-а. Поуздане тачке *EPN* мреже (*EUREF Permanent Network – EPN*) укључене су у *ITRF* оквир. *EPN* представља мрежу тачака распоређених по читавој Европи на којима се непрекидно врше *GNSS* мерења. За приступ циљном *ITRF* оквиру коришћене су тачке чије су позиције и брзине у референтном оквиру познате. Приликом одређивања координата тачака у овом раду коришћене су тачке *EPN* мреже.

3.3. *ITRF2020 – тренутно званична реализација ITRS-a*

Званична реализација *ITRF2020* јавно је публикована 15. априла 2022. године. Оквир *ITRF2020* обезбеђује стандардне оцене: позиција и брзина станица, параметара Земљине оријентације (*Earth Orientation Parameters – EOP*), параметара модела пост-сеизмичких деформација (*Post-Seismic Deformation – PSD*) за станице подложне великим земљотресима као и годишњих и полугодишњих временских варијација одређених станица.

Референтна епоха реализованог оквира *ITRF2020* је [9]:

$$t_0 = 2015,0, \quad (1)$$

па се сви резултати у оквиру решења *ITRF2020* од-

носе на овај референтни тренутак времена.

Комбиновано решење *ITRF2020* добијено је на основу дугогодишњих података прикупљених сателитским техникама (табела 1), које обрађују одговарајући технички центри (ТЦ).

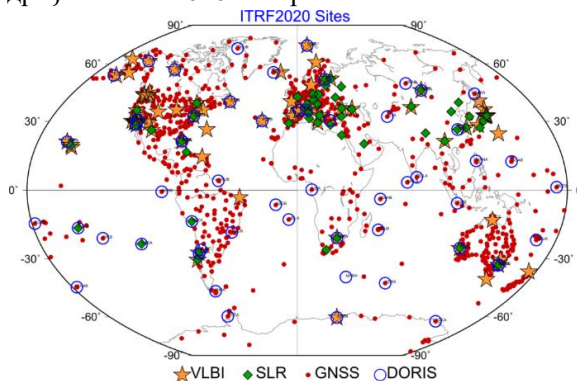
Табела 1. Сумарни приказ улазних података за добијање решења *ITRF2020* [4]

ТЦ	Временски интервал	Тип условљавања/решење
<i>IVS</i>	1980,0 – 2021,0	Слободно/Нормалне једначине
<i>ILRS</i>	1983,0 – 2021,0	Слабо/варијансе-коваријансе
<i>IGS</i>	1994,0 – 2021,0	Минимално/варијансе-коваријансе
<i>IDS</i>	1993,0 – 2021,0	Минимално/варијансе-коваријансе

Реализација оквира *ITRF2020* подразумева слагање временских серија добијених од стране свих сателитских техника као и додавање локалних веза и укључивање брзина станица у решење. Детаљније о стратегији добијања решења *ITRF2020* може се наћи у [4].

Координатни почетак оквира *ITRF2020* дефинисан је на такав начин да су параметри трансформације и њихове временске промене, у епохи 2015,0, између *ITRF2020* и *ILRS SLR* дугорочног решења за временски интервал 1993,0-2021,0 једнаки нули. Размера оквира *ITRF2020* дефинисана је на такав начин да нема разлике у размери и њеној промени између решења *ITRF2020* и просечних вредности добијених *VLBI* и *SLR* методама. Оријентација оквира *ITRF2020* дефинисана је на такав начин да су параметри ротације и њихове временске промене, у епохи 2015,0, између *ITRF2020* и *ITRF2014* решења једнаки нули [4].

Решење *ITRF2020* је јавно доступно на *ITRF* веб сајту [9]. Ово решење се састоји од скупа координата тачака које се односе на координатни систем придружен *ITRS*-у који је истовремено реализован овим оквиrom (слика 3). На истој веб адреси могу се пронаћи и остали резултати одређени *ITRF2020* оквиrom.



Слика 3 – *ITRF2020* мрежа [5]

4. ODREĐIVANJE KOORDINATA TAČAKA У РЕФЕРЕНТНОМ ОКВИРУ *ITRF2020*

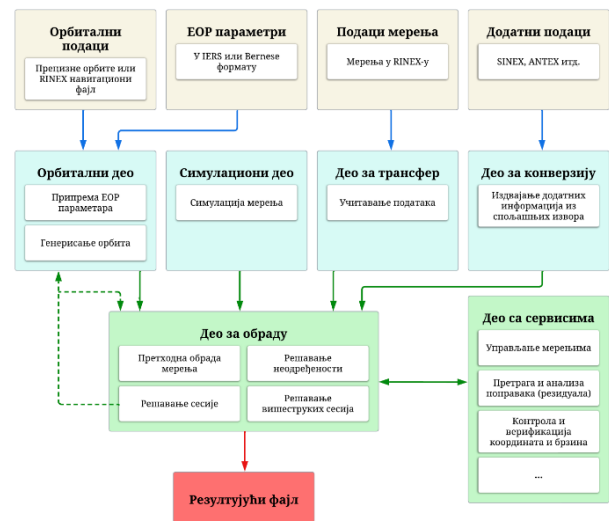
Координате тачака перманентних станица за глобално позиционирање одређене су у референтном оквиру *ITRF2020* применом GNSS технологије.

За потребе одређивања координата тачака коришћен је Bernese GNSS Software, научни високо прецизан софтвер за обраду вишеструких GNSS података који је развијен на Астрономском институту Универзитета у Берну.

Коришћена је актуелна верзија софтвера, Bernese GNSS Software 5.4, која омогућава коришћење података навигационих сателитских система:

- GPS (Global Positioning System),
- GLONASS (GLObalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema),
- GALILEO,
- BeiDou (познат и као Compass) и
- QZSS (Quasi-Zenith Satellite System).

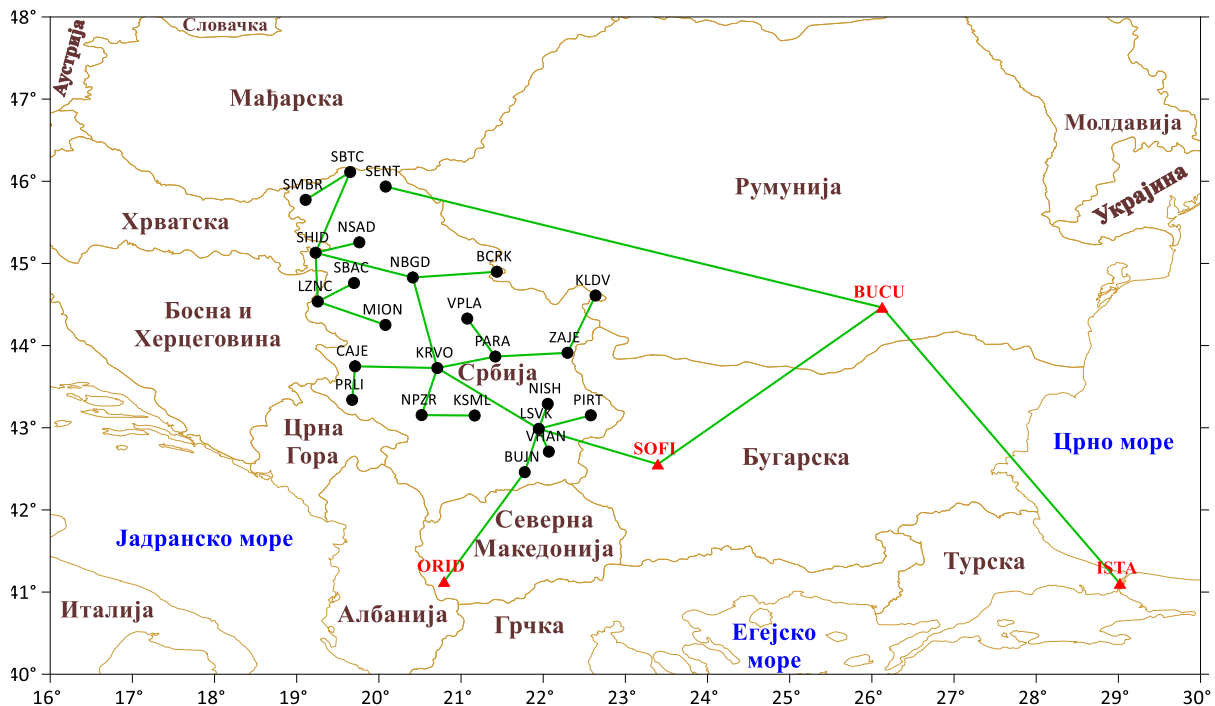
Координате тачака добијене су спровођењем стандардног процесирања у оквиру Bernese GNSS софтвера (слика 4).



Слика 4 – Дијаграм тока стандардног процесирања у Bernese-у [6]

4.1. Тачке GNSS мреже

У оквиру овог рада одређени су положаји референтних тачака низа перманентних GNSS станица на територији Србије у *ITRS* систему. Тачке су изабране тако да имају добар просторни распоред и да правилно покривају територију Србије (слика 5 – тачке приказане црном бојом).



Слика 5 – GNSS мрежа

У складу са *IERS* конвенцијама, одређивање координата тачака унутар оквира *ITRF2020* спроведено је укључивањем одговарајућих тачака *ITRF2020* мреже приликом обраде GNSS података. За те потребе разматране су тачке *EPN* мреже које

се налазе у близини Србије а чије координате у *ITRF2020* решењу су јавно доступне у овом тренутку. Усвојене перманентне станице *EPN* мреже приказане су црвеном бојом (слика 5). Ове перманентне станице *EPN*-а одабране су из разлога

јер представљају најближе тачке *ITRF2020* оквира које су тренутно доступне. Њихов просторни распоред очигледно није идеалан али је оптималан према тренутном стању.

4.2. Улазни подаци

За потребе израде овог рада коришћена су GNSS мерења обављена у оквиру GPS недеље 2238 (период 27.11.2022 – 03.12.2022.). Разлог одабира овог периода јесте тај што од ове GPS недеље производи Међународног GNSS сервиса (International GNSS Service – IGS) се публикују према новим конвенцијама називања фајлова и односе се на ITRF2020 референтни оквир [10].

За одређивање координата тачака са високом прецизношћу на основу GNSS мерења потребни су различити улазни подаци (слика 4):

- Извршена GNSS мерења (Observation data),
- Подаци о сателитским орбитама (Orbit data),
- Параметри оријентације Земље (EOP data), и
- Додатни подаци (Meta data) у виду информација о коришћеној опреми, фазном центру антене, диференцијалним кодним одступањима и слично.

Дневна GNSS мерења извршена на EPN станицама преузета су са њиховог веб сајта [11]. Коришћена су GNSS кодна и фазна мерења на обе фреквенције која се односе на GNSS системе: GPS, GLONASS и GALILEO. У зависности од опреме, нису све перманентне станице вршиле опажања ка свим GNSS системима.

Што се тиче орбиталних података, коришћена су финална решења прецизних сателитских ефемерида и стања часовника сателита, које обезбеђује IGS комбиновањем решења појединачних центара за анализу. Преузети подаци су у IGS20 решењу. Ово решење представља IGS реализацију ITRF2020 оквира и служи као референтни оквир за IGS производе који се односе на ITRF2020.

За потребе израде овог рада коришћена су финална недељна решења параметара Земљине оријентације произведена од стране IGS-а комбиновањем индивидуалних решења. Сви поменути IGS производи доступни су на веб сајту [12], одакле су и преузети.

Како би се ефикасно процесирала кодна мерења добијена опажањем вишеструких GNSS сателитских система коришћени су подаци о специфичним кодним одступањима (Observable-Specific Code Bias – OSB).

У циљу корекције јоносферских утицаја на GNSS мерења, као и за решавање неодређености, употребљени су адекватни подаци о јоносфери. Подаци о кодним одступањима и јоносфери

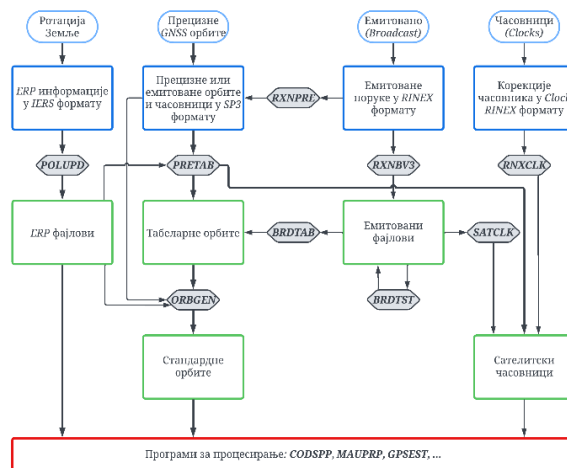
преузети су са CODE сервера (<ftp://ftp.unib.ch/aiub/CODE/>).

Поред поменутих улазних података, за добијање адекватних решења позиција тачака, коришћени су и многи други подаци. Неки од података су преузети са интернета док су други већ аутоматски имплементирани у Bernese софтвер. Неки од непоменутих коришћених података односе се на: координате тачака, брзине тачака, фазне центре антена, PSD моделе, плимске утицаје чврсте Земље, океана и атмосфере, кретања пола, нутацију и тако даље.

4.3. Претходна обрада GNSS података

За потребе добијања квалитетних података о ефемеридама, часовницима сателита и Земљиној оријентацији генерисане су прецизне сателитске орбите (слика 4 – Орбитални део). Овај корак представља припрему података о GNSS орбитама и ротацији Земље који ће даље бити коришћени за добијање прецизних координата тачака.

Осим алата који су везани за генерисање сателитских орбита, овде су коришћени и алати за добијање адекватних информација о сателитским часовницима (нпр. информације које су неопходне за синхронизацију са часовником пријемника). Слика 6 приказује дијаграм тока који садржи све битне кораке који су спроведени у овом делу обраде података.



Слика 6 - Дијаграм тока припреме орбиталних GNSS података и EOP параметара [6]

Приликом коришћења одговарајућих фајлова са подацима у Bernese-у неопходно је поштовати све конвенције о називу и садржају фајлова које су имплементирани у самом софтверу. Пре обраде опажањских фајлова, кодна и фазна мерења су анализирана и том приликом су отклоњена сва детектована одступања и неслагања у подацима.

За одговарајућу припрему фајлова са подацима коришћени су адекватни програми које поседује

Bernese софтвер. Применом адекватних алата извршени су потребни трансфери RINEX фајлова у одговарајуће интерне формате Bernese-а и обрнуто, као и њихова адекватна обрада (Слика 4 – Део за трансфер).

За неопходне конверзије бинарних фајлова у ASCII формате и обрнуто, коришћени су погодни алати из дела за конверзију (слика 4) који су саставни део *Bernese* софтвера. Применом ових алата издвојене су координате и брзине тачака из одговарајућих фајлова. Такође, ови алати су коришћени за управљање фајловима који садрже податке о антенама.

Као неизоставни део обраде GNSS опажања спроведена је и синхронизација часовника пријемника. У оквиру овог поступка одређена су одступања часовника пријемника која су коришћена као корекције у даљој обради података. Синхронизација часовника урађена је на основу разлика извршених кодних мерења.

Коначне координате тачака одређене су на основу мерења извршених током једне целе недеље. Коришћењем ових опажања формирано је седам идентичних дневних мерних сесија. На основу прикупљених података са укупно 28 перманентних станица формирано је 27 независних вектора, идентичних за сваку дневну сесију. Вектори су формирани у складу са алгоритмима који подразумевају најкраћу укупну дужину свих вектора GNSS мреже (слика 5 – зелена боја).

Основне информације у виду најкраће, најдуже и просечне дужине вектора садржи Табела 2. У првом случају су анализирани сви формирани вектори. У другом случају, ради бољег сагледавања просторне повезаности тачака у Србији, анализирани су само вектори који повезују тачке у Србији. Може се закључити да је подручје Србије добро прекривено векторима чија је просечна дужина 69 km, са адекватним распоном од 32 km до 130 km.

Табела 2. Основне информације о дужинама формираних вектора

Скуп вектора	Најкраћи [km]	Најдужи [km]	Просек [km]
Сви вектори	32	502	114
Вектори у Србији	32	130	69

Након формирања независних вектора урађена је претходна обрада фазних мерења где је извршено:

- Откривање и отклањање мерења лошег квалитета и великих одступања;

- Формирање и решавање троструких разлика како би се открили прекиди у континуалном праћењу сателитских сигнала (*cycle slips*);
- Детектовање поменутих прекида и, где је то могуће, поправљање података опажања.

Претходна обрада фазних мерења изведена је помоћу Bernese-овог програма MAUPRP. Добијена су решења троструких разлика са кореном средње квадратне грешке (Root Mean Square – RMS) испод 2 cm, што указује на добијене квалитетне резултате, према [6].

4.4. Главна обрада GNSS података

Претходна обрада података урађена је са циљем да на адекватан начин припреми податке за њихово даље процесирање како би се поуздано оценили непознати параметри. Координате тачака GNSS мреже одређене су стандардним процесирањем прикупљених двофреквентних података у статичком режиму које подржава *Bernese*. Приликом оцене координата тачака, дефект је отклоњен минималним трагом на тачкама *BUCU*, *ISTA*, *ORID* и *SOFI*, јер су њихове координате познате у *ITRF2020* оквиру.

Главно процесирање података извршено је помоћу *Bernese*-овог програма *GPSEST* који непознате параметре оцењује изравнањем по методи најмањих квадрата (МНК) коришћењем Гаус-Марковљевог модела. Према [6], овај модел сумарно приказује следеће једначине:

Нормалне једначине:

$$(A^T P A) \hat{p} = A^T P y \text{ или } N \hat{p} = b; \quad (2)$$

Оцена вектора непознатих параметара:

$$\hat{p} = (A^T P A)^{-1} A^T P y; \quad (3)$$

Оцена коваријационе матрице:

$$D(\hat{p}) = \hat{\sigma}^2 (A^T P A)^{-1}; \quad (4)$$

Оцена мерених величина:

$$\hat{y} = A \hat{p}; \quad (5)$$

Оцена поправака:

$$\hat{v} = \hat{y} - y; \quad (6)$$

Оцена збира квадрата резидуала:

$$\Omega = \hat{v}^T P \hat{v} = y^T P y - y^T P A \hat{p}; \quad (7)$$

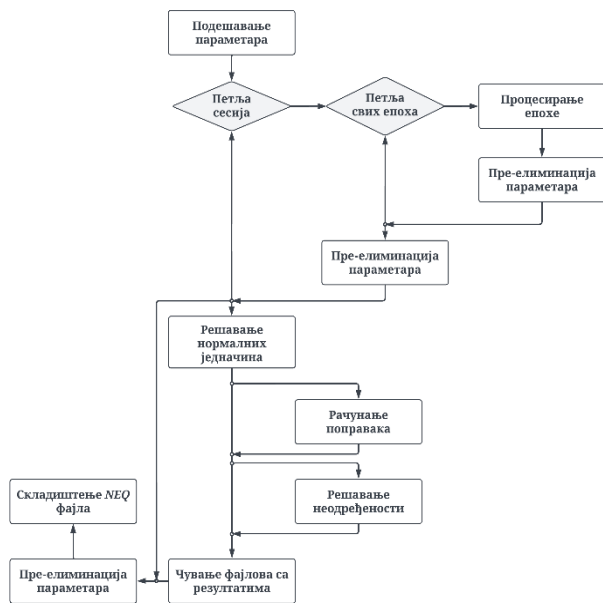
Оцена варијансе јединице тежине:

$$\hat{\sigma}^2 = \Omega / (n - u); \quad (8)$$

Број степени слободе:

$$f = n - u. \quad (9)$$

Све активности које GPSEST изводи приликом поступка оцењивања непознатих параметара приказује (слика 7).



Слика 7 - Дијаграм тока активности програма GPSEST [6]

Након процесирања података мерења, урађена је анализа добијених резултата помоћу алата који су саставни део сервиса Bernese-а (слика 4). Анализа поправака (резидуала) добијених приликом оцене параметара урађена је коришћењем Bernese алата за сервисе RESRMS и RESCHK. Програмом RESRMS креиране су статистичке информације о резидуалима, а на основу њих је коришћењем RESCHK програма извршена провера „понашања“ станица и сателита за време опажања. Откривени подаци лошег квалитета искључени су из процесирања.

Код анализа поправака оне су разматране за сваку станицу, за сваки сателит, за сваки вектор као и за све комбинације сателит – станица (вектор). Након избацивања некавалитетних података добијене су вредности корена средње квадратне грешке свих вектора у оквиру 2 mm.

Фазне неодређености одређене су применом различитих алгоритама и стратегија у зависности од дужина вектора:

- За дуге векторе примењене су Wide-Lane, Narrow-Lane и Melbourne-Wübbena, методе базиране на кодним мерењима. Вектори: BUCU-ISTA, BUCU-SENT и BUCU-SOFI;
- За остале векторе примењена је Wide-Lane стратегија заснована на фазним мерењима;
- Такође, за преостале неодређености над свим векторима примењена је стратегија Quasi-Ionosphere-Free.

Средња вредност успешности решавања фазне неодређености за све векторе износи преко 70% за све коришћене фреквенције. Може се закључити да

су фазне неодређености веома успешно решене и да су са тог аспекта, GNSS подаци успешно процесирани. На пример приликом процесирања последње дневне сесије (дан 03.12.2022. године), након решавања фазних неодређености и редукције нормалних једначина, коначно решење за 1961 непознат параметар има RMS вредност 1,60 mm.

Датум GNSS мреже дефинисан је минималним трагом, условљавањем параметара транслације. За те потребе искоришћене су координате тачака EPN мреже (BUCU, ISTA, ORID и SOFI) у референтном оквиру IGS20. Поузданост ових датумских тачака проверена је коришћењем Хелмертове трансформације. На основу ове трансформације, где су коришћени само параметри транслације, добијени су резидуали положаја тачака у правцу севера (N), истока (E) и по висини (U) (табела 3). Притом, корен средње квадратне грешке трансформације износи 3,40 mm. Ови резултати се односе на последњи процесирани дан, 03.12.2022. године.

Табела 3. Резидуали координата референтних тачака датума (дан 03.12.2022.)

Ознака тачке	N [mm]	E [mm]	U [mm]
BUCU	-1,35	-0,44	4,83
ISTA	-0,76	-0,63	-2,24
ORID	1,33	-0,47	4,37
SOFI	0,77	1,54	-6,96

Може се видети да оцене резидуала не прелазе 1.5 mm по апсолутној вредности у хоризонталним правцима, док је највећа апсолутна вредност по висини око 7 mm. Са оваквим вредностима, тачке се могу сматрати стабилним и поузданим за дефинисање датума GNSS мреже. Према томе, верификацијом датума прихваћене су све четири EPN станице као референтне тачке за дефинисање датума GNSS мреже. Ово важи за све дневне мерне сесије јер су добијени слични резултати.

4.5. Оцењене координате тачка

На основу дневних GNSS података срачунате су координате тачака GNSS мреже у ITRS систему, у реализацији ITRF2020 (IGS20), за сваки дан у оквиру GPS недеље 2238. Комбиновањем добијених дневних решења одређена су седмодневна решења координата тачака која представљају финална решења позиција тачака GNSS мреже у Међународном терестричком референтном систему за референтну епоху 30.11.2022. године у 12:00:00.

Приликом рачунања 7-дневних координата тачака GNSS станица извршено је поређење дневних решења и проверена њихова међусобна сагласност. Поновљивост дневних решења срачуната је као

стандардна девијација њихових разлика у односу на недељно решење. Табела 4 садржи основне статистичке параметре стандардне девијације дневних решења положаја тачака у сва три правца (N , E и U).

Табела 4. Статистика поновљивости дневних решења позиција тачака

Поновљивост (S)	N [mm]	E [mm]	U [mm]
Најбоља	0,39	0,61	1,08
Најлошија	1,50	3,04	7,36
Просечна	0,77	1,14	3,08

За оба хоризонтална правца добијена је просечна поновљивост, у виду стандардне девијације, на нивоу једног милиметра, док је по висини та вредност око три милиметра. На основу поновљивости одређених дневних положаја тачака, може се закључити да су добијени квалитетни резултати и да су координате тачака у ITRF2020 оквиру срачунате са задовољавајућим нивоом квалитета.

5. ЗАКЉУЧАК

IERS је задужен за дефинисање, успостављање и одржавање једног од најзначајнијих TRS система, ITRS-а. ITRF2020 представља његову актуелну реализацију успостављену на основу опажања релевантним техникама сателитске геодезије.

Употребом Bernese софтвера успешно су процесирани сви подаци неопходни за добијање високо прецизних координата тачака у ITRS систему (реализација ITRF2020) на основу GNSS технологије. За повезивање са референтним оквиром искоришћене су тачке EPN мреже, где је датум дефинисан њиховим минималним трагом. Као коначне вредности координата тачака, срачуната су седмодневна решења (за период 27.11.2022 – 03.12.2022.), која се односе на референтну епоху 30.11.2022. године у 12:00:00.

Анализом дневних и недељних решења позиција тачака закључено је да су њихове координате одређене са високом прецизношћу. На основу дневних промена, установљена је поновљивост тродимензионалних координата тачака на милиметарском нивоу. Одвојеном анализом хоризонталних и вертикалних дневних варијација, утврђена је боља поновљивост одређивања хоризонталних положаја тачака. Она је на нивоу милиметра за обе

компоненте. Са друге стране, вертикална компонента поновљивости положаја тачке је нешто слабија и она је на нивоу од пар милиметара.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Petit G, Luzum B. (Ed.), IERS Conventions, *IERS Technical Note*, No. 36. Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main, 2010.
- [2] Bosy J. Global, Regional and National Geodetic Reference Frames for Geodesy and Geodynamics, *Pure and Applied Geophysics*, Vol. 171, No. 6, pp. 783–808, 2014.
- [3] Altamimi Z, et al. The terrestrial reference frame and the dynamic Earth, *Eos Trans. AGU*, Vol. 82, No. 25, pp. 273–279, 2001.
- [4] Altamimi Z, Rebischung P, Collilieux X, Métivier L, Chanard K. ITRF2020 [Data set], IERS ITRS Center Hosted by IGN and IGP, 2022.
- [5] Altamimi Z, Rebischung P, Collilieux X, Métivier L, Chanard K. ITRF2020: an augmented reference frame refining the modeling of nonlinear station motions, *Journal of Geodesy*, Vol 97, No. 5, pp. 47, 2023.
- [6] Dach R, Lutz S, Walser P, Fridez P. (Ed.), *Bernese GNSS Software Version 5.2 (User manual)*, University of Bern, Bern Open Publishing, Bern, 2015.
- [7] Одаловић О. *Физичка геодезија*, Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд, 2010.
- [8] Благојевић Д. *Увод у Сателитску геодезију*, Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд, 2014.
- [9] IGN. International Terrestrial Reference Frame Website, доступно на: <https://itrf.ign.fr/>.
- [10] IGS. International GNSS Service Website, доступно на: <https://igs.org/>.
- [11] EPN. EUREF Permanent Network Website, доступно на: <http://epncb.oma.be/>.
- [12] CDDIS. Crustal Dynamics Data Information System Website, доступно на: <https://cddis.nasa.gov/>.

SUMMARY

DETERMINATION OF COORDINATES OF PERMANENT STATIONS FOR GLOBAL POSITIONING IN THE INTERNATIONAL TERRESTRIAL REFERENCE SYSTEM

The subject of this paper is the International Terrestrial Reference Frame 2020 (ITRF2020), which represents the current realization of the International Terrestrial Reference System (ITRS). On April 15, 2022, this reference frame was formally released to the public. This solution serves as the official reference frame for all international geoscience organizations as of November 27, 2022. In this article, the technology of Global Navigation Satellite Systems (GNSS) was used to estimate the coordinates of the points in the ITRF2020. For these purposes, 24 points on Serbian territory were chosen as permanent station reference points for global positioning. Four points near Serbia, whose coordinates are known within this frame, were used to establish a connection with the target frame. The collected data for obtaining the coordinates of the points refer to the time period 27.11.2022. – 03.12.2022. Points' coordinates calculations and data processing were done using Bernese GNSS software. Within the scope of solving the set problem, the daily solutions of the coordinates of the points were first found, and then the seven-day solutions were calculated by combining them. The final weekly coordinates of the points are determined with a millimeter standard deviation of the repeatability of the daily solutions and they belong to the reference moment of time on November 30, 2022, at 12:00:00.

Key Words: ITRS, ITRF2020, GNSS, Bernese GNSS Software, seven-day solutions of points' coordinates