

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEODETSKI FAKULTET

Marta Šimunović

**Ispitivanje točnosti transformacije koordinata
primjenom lokalnih i nacionalnih transformacijskih
parametara FBiHPOS mreže**

Diplomski rad

Zagreb, 2026.

Marta Šimunović ♦ DIPLOMSKI RAD ♦ 2026.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET

Marta Šimunović

**Ispitivanje točnosti transformacije koordinata
primjenom lokalnih i nacionalnih transformacijskih
parametara FBiHPOS mreže**

Diplomski rad

Zagreb, 2026.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET



Na temelju članka 19. Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu i Odluke br. 1_349_11 Fakultetskog vijeća Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, od 26.10.2017. godine (klasa: 643-03/16-07/03), uređena je obaveza davanja „Izjave o izvornosti“ diplomskog rada koji se vrednuju na diplomskom studiju geodezije i geoinformatike, a u svrhu potvrđivanja da je rad izvorni rezultat rada studenata te da taj rad ne sadržava druge izvore osim onih koji su u njima navedeni.

IZJAVLJUJEM

Ja, **Marta Šimunović**, (JMBAG: 0007187436), rođena u petak 18.05.2001. u Mostaru, izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi tog rada nisam koristila drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

U Zagrebu, dana _____

Potpis studenta / studentice

I. AUTOR	
Ime i prezime:	Marta Šimunović
Datum i mjesto rođenja:	18. svibnja 2001., Mostar, Bosna i Hercegovina
II. DIPLOMSKI RAD	
Naslov:	Ispitivanje točnosti transformacije koordinata primjenom lokalnih i nacionalnih transformacijskih parametara FBiHPOS mreže
Broj stranica:	77
Broj tablica:	34
Broj slika:	53
Broj bibliografskih podataka:	28 + 18 URL-ova
Ustanova i mjesto gdje je rad izrađen:	Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Mentor:	prof. dr. sc. Željko Bačić
Voditelj:	dr. sc. Zvonimir Nevistić
III. OCJENA I OBRANA	
Datum zadavanja teme:	14.01.2025.
Datum obrane rada:	20.02.2026.
Sastav povjerenstva pred kojim je branjen diplomski rad:	prof. dr. sc. Željko Bačić
	izv. prof. dr. sc. Danijel Šugar
	dr. sc. Zvonimir Nevistić

Zahvala

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Željku Bačiću i voditelju diplomskog rada dr. sc. Zvonimiru Nevistiću na vodstvu i savjetima tijekom izrade diplomskog rada.

Zahvaljujem Federalnoj geodetskoj upravi, a posebno gospodinu Željku Obradoviću, Seadu Hadžiću, Ervinu Redžepagiću i Tariku Šurkoviću, na ustupljenim podacima i sveukupnoj pomoći u izradi rada.

Zahvaljujem gospodinu Mariju Krmeku i gospodinu Darki Raspudiću na stručnim i korisnim savjetima koji su znatno olakšali rekognosciranje terena, kao i na ustupljenim podacima koji su bili od velike pomoći u provedbi terenskih aktivnosti i samoj izradi rada.

Zahvaljujem geodetskoj tvrtki Geometrika d.o.o. Grude na susretljivosti i ustupanju geodetskih instrumenata potrebnih za provedbu terenskih mjerenja, čime je značajno olakšana realizacija terenskog dijela istraživanja.

Posebna zahvala mom timu za provođenje terenskih snimanja – tati Tihomiru, bratu Lovri te kolegama i prijateljima Tomislavu Šaravanji, Nikoli Udovičiću i Zvonimiru Čturi – koji su sa mnom proveli i do 14 sati na terenu, dijeleći umor, izazove i odgovornost terenskog rada. Hvala vam na strpljenju, podršci, predanosti i nesebičnoj pomoći, bez kojih provedba terenskog dijela istraživanja ne bi bila moguća.

Posebno zahvaljujem dr. sc. Matei Tomić na svim stručnim savjetima, strpljenju i kontinuiranoj podršci tijekom izrade ovog rada. Njezina otvorenost, razumijevanje i spremnost na pomoć u svakom trenutku bili su mi velika motivacija.

Zahvaljujem svim kolegama i prijateljima koji su ovo razdoblje učinili ljepšim kroz zajedničko učenje, međusobnu podršku i brojne nezaboravne uspomene. Od srca hvala i mojim najboljim prijateljima koji su svojim iskrenim prijateljstvom obilježili ovo razdoblje, ohrabrenjem uvjerali da mogu postići sve što poželim, a da na tom putu ne moram biti sama.

Na kraju, od srca zahvaljujem svojoj obitelji, a posebno mami Aniti, tati Tihomiru, sestri Luciji i bratu Lovri, na ljubavi, strpljenju i stalnoj podršci tijekom mog studiranja. Hvala vam na ohrabrenju u teškim trenucima i na radosti koju ste dijelili sa mnom u svakom uspjehu. Vaša podrška značila mi je više nego što mogu riječima opisati.

Ispitivanje točnosti transformacije koordinata primjenom lokalnih i nacionalnih transformacijskih parametara FBiHPOS mreže

Sažetak: U posljednjih dvadesetak godina došlo je do značajnih promjena u geodetskoj praksi, pri čemu se tradicionalni lokalni koordinatni sustavi i referentni datumi postupno zamjenjuju suvremenim geocentričnim referentnim okvirima kompatibilnima s GNSS tehnologijom, poput sustava ETRS89. Takav prijelaz nužno zahtijeva pouzdane i precizne transformacijske modele za povezivanje novih i povijesnih službenih koordinatnih sustava. U okviru nacionalnih CORS mreža i pripadajućih geodetskih informacijskih sustava danas se primjenjuju kako jedinstveni nacionalni, tako i lokalno prilagođeni transformacijski parametri. Međutim, u područjima obilježenima povijesno različitim datumima i neujednačenom kvalitetom starijih geodetskih mreža mogu se pojaviti razlike u točnosti dobivenih koordinata. Posebno osjetljiva su prijelazna područja između različitih katastarskih zona, gdje primjena jedinstvenog transformacijskog modela može rezultirati sustavnim pomacima ili diskontinuitetima u prostoru. Stoga se u znanstvenim radovima i stručnoj praksi naglašava važnost eksperimentalne provjere transformacijskih rješenja na terenskim kontrolnim točkama te kvantitativne procjene njihove točnosti pomoću standardnih statističkih pokazatelja, poput RMS vrijednosti. U ovom diplomskom radu ispitana je točnost transformacije koordinata primjenom lokalnih i nacionalnih transformacijskih parametara u okviru sustava FBiHPOS (Federation of Bosnia and Herzegovina Positioning System). GNSS mjerenja provedena su metodom relativnog statičkog pozicioniranja na području općina Čapljina i Ljubuški, koje pripadaju različitim katastarskim zonama s različitim skupovima lokalnih transformacijskih parametara. Dobiveni GNSS podaci obrađeni su u referentnom sustavu BH_ETRS89, a zatim transformirani u stari službeni koordinatni sustav zasnovan na Besselovom elipsoidu primjenom sedmeroparametarskog Helmertovog transformacijskog modela. Analiza rezultata provedena je usporedbom transformiranih koordinata dobivenih primjenom lokalnih parametara s onima dobivenim primjenom jedinstvenih nacionalnih parametara. Rezultati istraživanja pokazali su da lokalni transformacijski parametri osiguravaju veću točnost unutar pojedinih administrativnih područja, dok primjena nacionalnih parametara doprinosi boljoj homogenosti koordinatnog sustava na širem prostoru. Rad ukazuje na potrebu usklađivanja lokalnih i nacionalnih transformacijskih modela s ciljem postizanja veće prostorne konzistentnosti i pouzdanosti geodetskih podataka u Federaciji Bosne i Hercegovine.

Ključne riječi: GNSS, transformacije koordinata, lokalni i nacionalni transformacijski parametri, FBiHPOS, sedam-parametarska Helmertova transformacija, relativno statičko GNSS pozicioniranje, BH_ETRS89

Evaluation of the Accuracy of Coordinate Transformations Using Local and National Transformation Parameters of the FBiHPOS Network

Abstract: *Over the past two decades, geodetic practice has undergone significant changes, with traditional local datums and coordinate reference systems being gradually replaced by modern geocentric reference frames compatible with GNSS technology, such as ETRS89. This transition requires reliable and accurate transformation models to ensure the consistency between contemporary and legacy official coordinate systems. Within national CORS networks and geodetic information systems, both unified national and locally adapted transformation parameters are currently applied. However, in areas characterized by historically heterogeneous datums and non-uniform quality of legacy geodetic networks, differences in the accuracy of transformed coordinates may occur. Transitional areas between different cadastral zones are particularly sensitive, where the application of a single transformation model may result in systematic shifts or spatial discontinuities. Therefore, both scientific literature and professional practice emphasize the importance of empirical validation of transformation solutions on control points and the quantitative assessment of their accuracy using standard statistical indicators, such as RMS values. This thesis evaluates the accuracy of coordinate transformations using local and national transformation parameters within the framework of the FBiHPOS system (Federation of Bosnia and Herzegovina Positioning System). GNSS observations were carried out using the relative static positioning method in the areas of the municipalities of Čapljina and Ljubuški, which belong to different cadastral zones characterized by different sets of local transformation parameters. The obtained GNSS data were processed in the BH_ETRS89 reference frame and subsequently transformed into the legacy official coordinate system based on the Bessel ellipsoid by applying the seven-parameter Helmert transformation model. The analysis of results was performed by comparing the transformed coordinates obtained using local parameters with those obtained using unified national parameters. The results indicate that local transformation parameters provide higher accuracy within individual administrative areas, whereas the application of national parameters contributes to better homogeneity of the coordinate reference system over a wider region. The study highlights the need for harmonization of local and national transformation models in order to achieve greater spatial consistency and reliability of geodetic data in the Federation of Bosnia and Herzegovina.*

Keywords: *GNSS, coordinate transformation, local and national transformation parameters, FBiHPOS, seven-parameter Helmert transformation, relative static GNSS positioning, BH_ETRS89*

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. PERMANENTNE MREŽE	3
2.1 IGS – INTERNATIONAL GNSS SERVICE.....	4
2.2 BiHPOS.....	5
2.2.1 Cjenik usluga F BiHPOS servisa.....	9
2.3 CROPOS	10
3. IZVOR, PRIKUPLJANJE I OBRADA PODATAKA	14
3.1 Korištena oprema i programi u radu	14
3.1.1 Oprema za provođenje relativnog statičkog opažanja.....	14
3.1.2 Programi za obradu podataka opažanja i izjednačenje GNSS mreže.....	16
3.2 Prikupljanje podataka.....	17
3.2.1 Rekognosciranje terena.....	18
3.2.2 Plan opažanja.....	19
3.2.3 GNSS mjerenje.....	20
3.2.4 Relativno statičko pozicioniranje	25
3.3 Obrada podataka GNSS mjerenja	25
3.3.1 Kreiranje koordinatnog sustava i projekcije.....	27
3.3.2 Uvoz sirovih podataka GNSS opažanja.....	30
3.3.2.1 Precizne efemeride	33
3.3.3 Obrada baznih linija.....	34
3.3.4 Izjednačenje mreže	35
4. TRANSFORMACIJA KOORDINATA.....	41
4.1 3D transformacije koordinata.....	41
4.2 Transformacijski parametri	43
5. IZRAČUN TRANSFORMACIJE I ANALIZA REZULTATA	45
5.1 Transformacijski parametri i ulazni skup podataka	45
5.2 Transformacija iz Gauss–Krügerovog sustava u Besselov sustav te izračun trodimenzionalnih Kartezijevih koordinata	47
5.3 Transformacija koordinata (BH_ETRS89 -> Bessel).....	48
5.4 Obrnuta transformacija koordinata (Bessel -> BH_ETRS89)	54

5.5 Analiza i usporedba rezultata transformacije.....	57
ZAKLJUČAK	69
LITERATURA	70
POPIS KORIŠTENIH INTERNETSKIH IZVORA	71
POPIS SLIKA	74
POPIS TABLICA.....	76

1. UVOD

Globalni navigacijski satelitski sustavi (GNSS) omogućuju autonomno geoprostorno pozicioniranje u globalnim referentnim koordinatnim okvirima te se koriste kao temeljni instrument u geodetskim primjenama za prikupljanje prostornih podataka visoke točnosti (Bašić 2021). Iako GNSS mjerenja daju koordinate u globalnim referentnim okvirima, u većini država, pa tako i u Bosni i Hercegovini, službeni prostorni podaci vode u nacionalnim koordinatnim sustavima. Kako bi se osigurala upotrebljivost GNSS podataka u okviru nacionalnih prostorno-informacijskih sustava, nužna je pouzdana i točna transformacija koordinata između globalnog i nacionalnog referentnog okvira. U Federaciji Bosne i Hercegovine, potreba za pouzdanom transformacijom koordinata dodatno je naglašena donošenjem Pravilnika o osnovnim geodetskim radovima, kojim je Federalna geodetska uprava 2019. godine definirala novi referentni koordinatni sustav i pripadajuću kartografsku projekciju (FGU, 2019). Implementacija tog pravilnika u praksi podrazumijeva provođenje transformacija koordinata između globalnog referentnog okvira GNSS mjerenja i službenog državnog koordinatnog sustava, kako bi se osigurala kompatibilnost novih mjerenja s postojećim prostornim podacima (Bošković i Ključanin 2022).

U Federaciji Bosne i Hercegovine, nakon modeliranja geoida koji je temelj za povezivanje elipsoidnih i ortometrijskih visina, definirani su transformacijski parametri za preračunavanje koordinata između globalnog i entitetskog referentnog okvira, tj. službenog Državnog koordinatnog sustava (Zimić i Đonlagić 2017) pri čemu transformacija koordinata predstavlja pretvaranje koordinata iz jednog referentnog sustava u drugi kada se radi o različitim datumima, što uključuje primjenu sedmeroparametarske transformacije za usklađivanje geodetskih sustava u FBiH (Ključanin i Redžepagić 2021). Na temelju tih analiza, razvijeni su i primjenjuju se kako nacionalni tako i lokalni transformacijski parametri. Ključno je napomenuti da se, unatoč postojanju jedinstvenog transformacijskog modela za područje cijele Federacije, u praksi koristi skup lokalnih transformacijskih parametara koji su definirani prema administrativnim područjima nadležnosti pojedinih katastarskih ureda. Ovakav pristup, gdje svaka katastarska jedinica koristi vlastiti set lokalnih transformacijskih parametara, otvara pitanje konzistentnosti sustava u cjelini. Naime, iako lokalni modeli omogućuju veću točnost unutar ograničenih područja, postoji mogućnost pojave neusklađenosti na granicama između zona primjene različitih parametara, što može imati značajne posljedice u procesima koji zahtijevaju prostornu homogenost, poput inženjerske geodezije, infrastrukturnog planiranja ili prostornog modeliranja. U takvim okolnostima, netočnosti u transformaciji koordinata mogu rezultirati pogrešnim položajem katastarskih čestica, odstupanjem u položaju infrastrukturnih objekata te otežanom uspostavom i održavanjem dosljednih prostornih evidencija iz različitih izvora. Posljedično, osiguravanje pouzdane i prostorno konzistentne transformacije koordinata predstavlja važan preduvjet za kvalitetno vođenje katastra, planiranje i projektiranje infrastrukture te učinkovitu integraciju prostornih podataka unutar suvremenih GIS okruženja na razini cijele Federacije Bosne i Hercegovine.

Upravo iz tog razloga, cilj ovog diplomskog rada je provesti detaljno ispitivanje točnosti transformacije koordinata korištenjem jedinstvenih (nacionalnih) i lokalnih transformacijskih parametara unutar sustava FBIHPOS, koji se temelji na SBC platformi. Analiza se provodi na području općina Čapljina i Ljubuški, koje su odabrane zbog pripadnosti različitim katastarskim zonama i samim time različitim lokalnim

transformacijskim modelima. Za potrebe testiranja definirana su tri kontrolna poligona: dva trokuta, svaki unutar područja jedne katastarske nadležnosti, odnosno jednog seta lokalnih parametara, dok zajedno tvore jedinstvenu četverokutnu figuru. Ovakva geometrijska konfiguracija omogućuje usporedbu transformiranih koordinata unutar i između zona te procjenu potencijalnih razlika koje proizlaze iz korištenja različitih transformacijskih modela. Ovaj rad, stoga, ima za cilj ne samo kvantitativno procijeniti točnost i pouzdanost korištenih transformacijskih parametara već i doprinijeti boljem razumijevanju prostorne konzistentnosti transformacija u Federaciji Bosne i Hercegovine.

2. PERMANENTNE MREŽE

GNSS (Global Navigation Satellite System) permanentna mreža predstavlja sustav stanica opremljenih stalno operativnim GNSS prijemnicima i antenama, koje u povezanosti s kontrolnim centrom te pratećim hardverskim, softverskim i komunikacijskim komponentama omogućuju prikupljanje, pohranu, obradu, modeliranje i distribuciju GNSS podataka. Koriste se diljem svijeta za geodetske primjene koje zahtijevaju centimetarsku točnost, pri čemu uvelike smanjuju potrebu za tradicionalnim metodama oslonjenim na pojedinačne bazne linije (Euler i dr. 2001). Predstavlja snažan instrument za stručnjake koji se bave geodezijom, jer omogućuje značajnu uštedu vremena i troškova tijekom izmjere (Castagnetti i dr. 2009).

Koncept permanentnih stanica donosi nove pogodnosti u odnosu na tradicionalne načine pozicioniranja u geodetskoj izmjeri, jer omogućuje pozicioniranje visoke točnosti u realnom vremenu, ali i s naknadnom obradom, osigurava homogenu točnost i pouzdanost pozicioniranja za cijelu državu, jedinstvenu mrežu stanica koja se može koristiti na čitavom teritoriju, korekcije atmosferskih sistematskih pogrešaka u realnom vremenu te uspostavu virtualne bazne stanice dostupne za sve lokacije. Uz to, mreže omogućuju osiguravanje sirovih opažanja za naknadnu obradu, određivanje i dostavu transformacijskih parametara između globalnog okvira i korisnicima potrebnih sustava te modeliranje prostornih i vremenskih varijacija u području mreže radi pružanja usluga u realnom vremenu i postprocesiranju. Osim toga, mreža permanentnih stanica pod stalnim je nadzorom kontrolnog centra koji nadzire koordinate svojih stanica kontinuiranom prilagodbom i provjerom kvalitete, čime se osigurava integritet i kvaliteta sustava (Josić 2021).

Njihova osnovna zadaća obuhvaća određivanje, nadzor i distribuciju koordinata referentnih stanica unutar globalnog referentnog sustava te praćenje kontinuiteta rada i kvalitete podataka gotovo u stvarnom vremenu. Permanentne stanice danas se široko koriste za realizaciju referentnih sustava, zbog čega svaka promjena njihove pozicije mora biti odražena u ažuriranju koordinata, jer ona izravno utječe na točnost diferencijalnih mjerenja (Szafranek i dr. 2014).

Zahvaljujući stalnim prilagodbama, mreže kontinuirano prate koordinate svojih stanica te na dinamičan način uspostavljaju referentni okvir, uzimajući u obzir postupne sekularne promjene, ali i moguće iznenadne diskontinuitete. Budući da korisnici u većini slučajeva rade u nacionalnim kartografskim sustavima, nužno je i procijeniti te distribuirati transformacijske parametre između globalnog i nacionalnog referentnog okvira. Procjena koordinata stanica uobičajeno se provodi svakodnevno, pri čemu se koriste konačni IGS proizvodi koji postaju dostupni s približno dvotjednim vremenom čekanja.

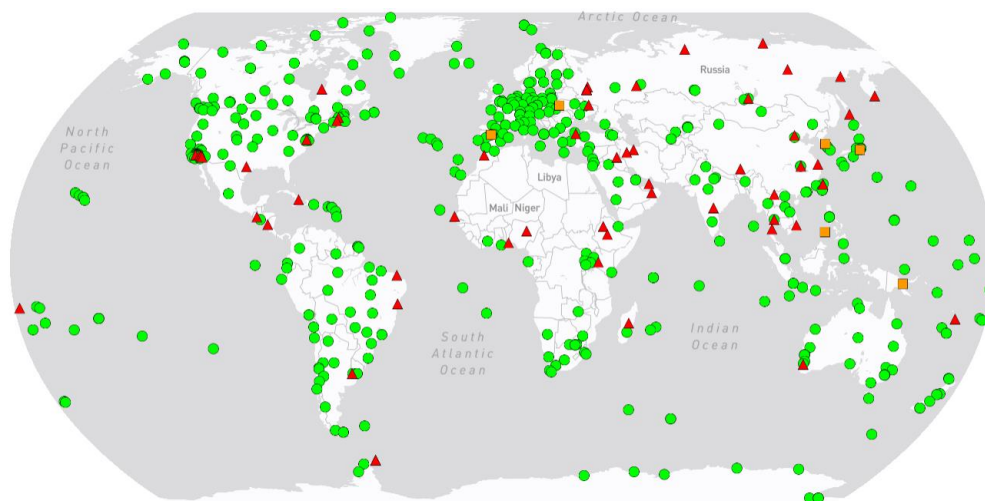
Kako bi se održala pouzdanost sustava, permanentne mreže zahtijevaju dodatne razine nadzora. Prvu razinu provodi softver koji u realnom vremenu preuzima podatkovne tokove i izračunava mrežne proizvode, dok se druga provodi u obliku prilagodbe gotovo u stvarnom vremenu s ciljem provjere stabilnosti koordinata i kvalitete opažanja. Završna prilagodba podrazumijeva čitav niz postupaka, od preuzimanja podataka do izračuna koordinata, pa je radi učinkovitosti poželjno koristiti softverska rješenja koja omogućuju automatizaciju procesa. Uz tehničku provedbu, takvi sustavi trebaju osigurati i pokazatelje kvalitete, statističke analize za provjeru ispravnosti podataka te obradu vremenskih serija radi otkrivanja sekularnih pomaka i diskontinuiteta.

Pitanje prilagodbe posebno je izraženo kod mreža s velikim brojem stanica, jer se njihov zajednički izračun često ne može provesti u jednoj obradi ni uz snažne računalne resurse. Kao rješenje, ti je podjela mreže na manje skupine stanica koje se obrađuju odvojeno, a zatim kombiniraju u cjelinu. Međutim, ovaj pristup unosi umjetne redundancije koje mogu nepovoljno utjecati na pouzdanost procijenjenih kovarijanci koordinata stanica (Caldera 2010).

Permanentna se mreža uspostavlja na određenom području ili na cjelokupnom teritoriju države, a sastoji se od najmanje šest permanentnih stanica koje su približno ravnomjerno raspoređene te osiguravaju generiranje mrežnih GNSS korekcija za obuhvaćeno područje. Lokacije na kojima se postavljaju stanice, odnosno GNSS prijammnici i antene za permanentno satelitsko opažanje, moraju biti geološki stabilne kako bi se izbjegla mogućnost oštećenja ili pomicanja referentnih točaka. Ovisno o prostornom obuhvatu, GNSS permanentne mreže mogu biti globalne (International GNSS Service – IGS), kontinentalne (EPN, CORS, ARGN) ili nacionalne, poput onih u Japanu, Novom Zelandu, Italiji, Njemačkoj ili Austriji (Latinčić i dr. 2022).

2.1 IGS – INTERNATIONAL GNSS SERVICE

Međunarodna GNSS služba (IGS) je dobrovoljna organizacija koja djeluje kao globalna mreža sveučilišta, istraživačkih centara te geodetskih i svemirskih institucija koje surađuju s ciljem pružanja visokokvalitetnih GNSS podataka i proizvoda u svrhu znanstvenog i općeg napretka. (Montenbruck i dr. 2017) IGS predstavlja globalno organiziranu mrežu koja danas obuhvaća više od 500 permanentnih stanica raspoređenih na svim kontinentima (Slika 2.1.1). Te stanice neprekidno opažaju GNSS signale, a prikupljeni podaci se u gotovo stvarnom vremenu šalju u brojne centre za obradu i analizu. Riječ je o sustavu iza kojeg stoji suradnja više od 200 institucija iz više od 100 zemalja, čime se ostvaruje snažna međunarodna znanstvena i tehnička mreža. Središnji koordinacijski ured IGS-a smješten je u Jet Propulsion Laboratory (JPL) u Kaliforniji, koji je zadužen za upravljanje mrežom, održavanje sustava razmjene informacija i implementaciju strateških smjernica definiranih od strane Međunarodnog upravnog odbora IGS-a. IGS pruža standardizirane, pouzdane i visoko precizne GNSS proizvode, koji se koriste u brojnim znanstvenim, tehničkim i operativnim primjenama (URL 1).



Slika 2.1.1 IGS globalno raspoređene stanice (URL 2)

Međunarodna GNSS služba (IGS) osnovana je u lipnju 1994. godine od strane Međunarodnog udruženja za geodeziju (IAG) pod nazivom *International GPS Service*, dok je u ožujku 2005. preimenovana u *International GNSS Service* nakon što su njezini visoko precizni podaci postali slobodno dostupni korisnicima. Danas mreža IGS pruža najpreciznije GNSS podatke namijenjene istraživanjima, praćenju Zemlje i uspostavi terestričkog referentnog okvira. Preciznost IGS mjerenja i proizvoda omogućuje unaprjeđenje i proširenje ITRF-a, praćenje rotacije Zemlje, deformacija čvrste kore, praćenje kretanja i savijanja tektonskih ploča, procjenu varijacija razine mora, kao i precizno određivanje satelitskih orbita, analizu ionosfere i određivanje točnih putanja satelita u niskoj Zemljinoj orbiti, čime se omogućuje široka primjena u znanstvene, komercijalne i obrazovne svrhe. (Ansari i dr. 2017.)

2.2 BiHPOS

Bosna i Hercegovina od 27. rujna 2011. godine raspolaže vlastitim nacionalnim GNSS sustavom pozicioniranja poznatim pod nazivom BiHPOS (Bosnia and Herzegovina Positioning System). Riječ je o trajnoj mreži referentnih GNSS postaja koja omogućava visoko precizno satelitsko pozicioniranje u stvarnom vremenu, bez potrebe za lokalnim baznim stanicama ili uspostavom privremenih mjernih mreža na terenu. Sustav je projektiran kako bi u potpunosti iskoristio prednosti diferencijalne GNSS tehnologije, oslanjajući se na infrastrukturu stalnih postaja raspoređenih na teritoriju cijele države.

Projekt „BiHPOS“ predstavlja zajedničku inicijativu institucija u Bosni i Hercegovini, uz podršku i financiranje Europske komisije. Cilj projekta je uspostava dviju mreža GPS/GNSS stalnih stanica na području BiH: SRPOS i FBiHPOS. Usklađenim radom ove dvije mreže omogućena je potpuna pokrivenost Bosne i Hercegovine uslugama satelitskog pozicioniranja (Mišković 2011).

Glavni cilj projekta odnosi se na uspostavu stalnih referentnih sustava koji se nalaze u nadležnosti entitetskih geodetskih uprava, a koji svojim usklađenim radom omogućuju globalno pozicioniranje na cijelom području Bosne i Hercegovine. Poseban naglasak stavljen je na njihovu primjenu u području premjera i katastra. Uspostava mreža stalnih GNSS referentnih stanica predstavlja temelj za precizna mjerenja i određivanja granica, čime

se stvaraju novi uvjeti za ažuriranje zemljišnih evidencija, smanjenje pogrešaka u katastarskim i zemljišnoknjižnim podacima te unaprjeđenje pouzdanosti prostornih informacija.

Kako bi se ti ciljevi ostvarili, projekt uspostave mreža permanentnih stanica u Bosni i Hercegovini definira nekoliko općih zadataka. Prije svega, cilj je osigurati GNSS servise za pozicioniranje u stvarnom vremenu na cijelom području BiH, s različitim razinama točnosti, što uključuje RTK i DGPS način rada, te mogućnost naknadne obrade podataka tj. PP način rada. Pozicioniranje će se provoditi u državnom koordinatnom sustavu, uz primjenu najnovije realizacije referentnog okvira ITRF2005 ili neke novije verzije tog sustava. U okviru projekta planirano je uspostavljanje dviju mreža koje će se sastojati od po sedamnaest stalnih referentnih stanica – jedne na području Republike Srpske, a druge na području Federacije BiH (Mišković 2011).

Arhitektura sustava BIHPOS sastoji se od nekoliko ključnih elemenata koji zajedno čine cjelovitu strukturu projekta (slika 2.2.1). Sustav obuhvaća mrežu F BiH POS s ukupno sedamnaest stalnih GNSS stanica i pripadajućim kontrolnim centrom smještenim u Sarajevu, koja se nalazi u nadležnosti Federalne uprave za geodetske i imovinsko-pravne poslove Federacije BiH. Paralelno s time, mreža SRPOS uključuje također sedamnaest permanentnih GNSS stanica te kontrolni centar u Banjoj Luci, pod upravom Republičke uprave za geodetske i imovinsko-pravne poslove Republike Srpske (slika 2.2.2). Tablica 2.2.1 prikazuje popis stanica F BiH POS i SRPOS.

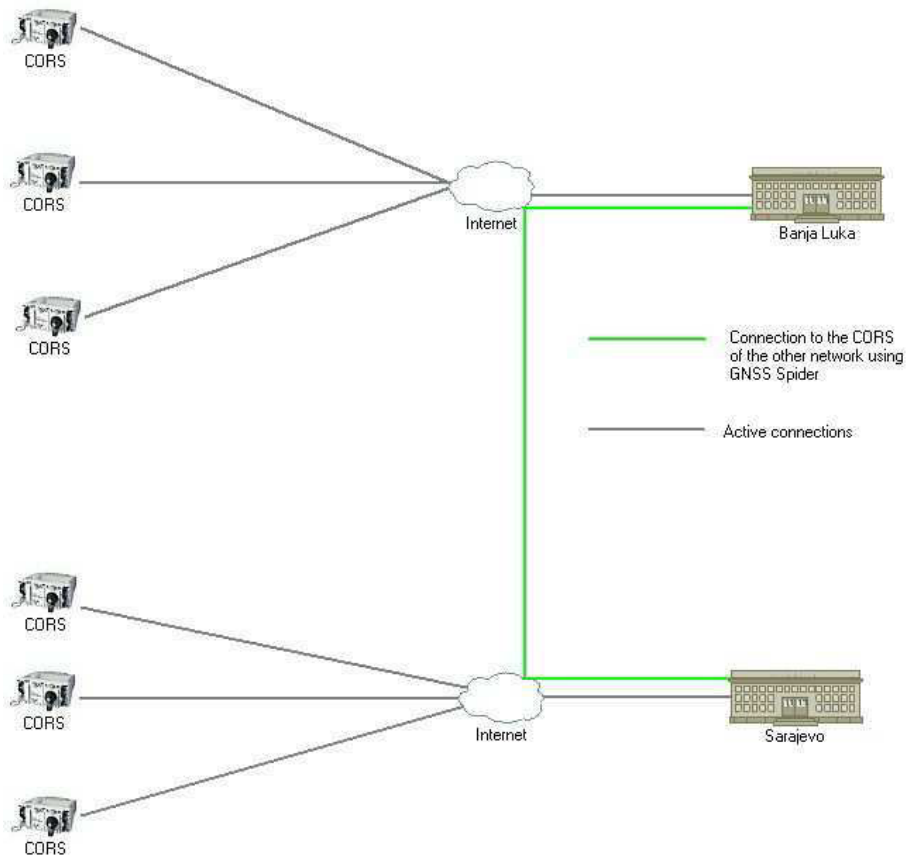
Stanice su raspoređene uz međuentitetsku liniju razgraničenja na način koji sprječava njihovu preveliku prostornu blizinu i omogućuje optimalnu pokrivenost teritorija. Osim toga, između dviju mreža uspostavljena je razmjena podataka za po osam stanica, čime se postiže odgovarajuća geometrijska povezanost i pouzdanost sustava na razini cijele Bosne i Hercegovine.

Kako bi servisi mreže stalnih stanica bili dostupni na cijelom teritoriju Bosne i Hercegovine, F BiH POS i SRPOS međusobno razmjenjuju podatke mjerenja s po osam stanica smještenih u zonama uz granicu između dva entiteta (Marinčić 2015).

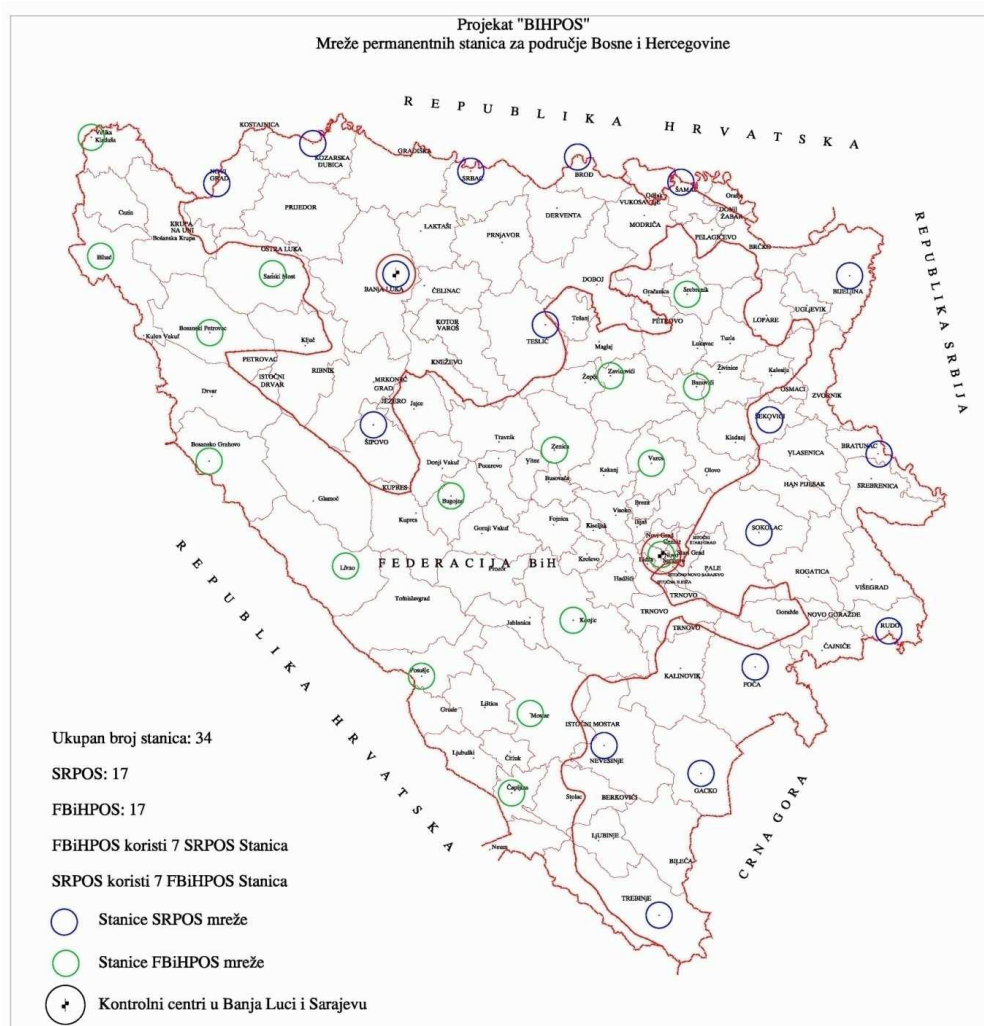
Tablica 2.2.1 Pregled stanica F BiH POS i SRPOS (URL 3)

F BiH POS		SRPOS	
RB	Lokacija	RB	Lokacija
1.	Banovići (BANO)	1.	Banja Luka (BALU)
2.	Bihac (BIHA)	2.	Bijeljina (BIJE)
3.	Bosansko Grahovo (BOSG)	3.	Bratunac (BRAT)
4.	Bos Petrovac (BOSP)	4.	Bosanski Brod (BROD)
5.	Bugojno (BUGO)	5.	Foča (FOCA)
6.	Čapljina (CAPL)	6.	Gacko (GACK)
7.	Konjic (KONJ)	7.	Kozarska Dubica (KOZD)
8.	Livno (LIVN)	8.	Nevesinje (NEVE)
9.	Mostar (MOST)	9.	Novi Grad (NOVI)
10.	Olovo (OLOV)	10.	Rudo (RUDO)
11.	Posušje (POSU)	11.	Samac (SAMA)

12.	Sanski Most (SANM)	12.	Sekovići (SEKO)
13.	Sarajevo (SARA)	13.	Sipovo (SIPO)
14.	Srebrenik (SREB)	14.	Sokolac (SOKO)
15.	Velika Kladuša (VELK)	15.	Srbac (SRBA)
16.	Zavidovići (ZAVI)	16.	Teslić (TESL)
17.	Zenica (ZENI)	17.	Trebinje (TREB)



Slika 2.2.1 Arhitektura BiHPOS-a (URL 4)



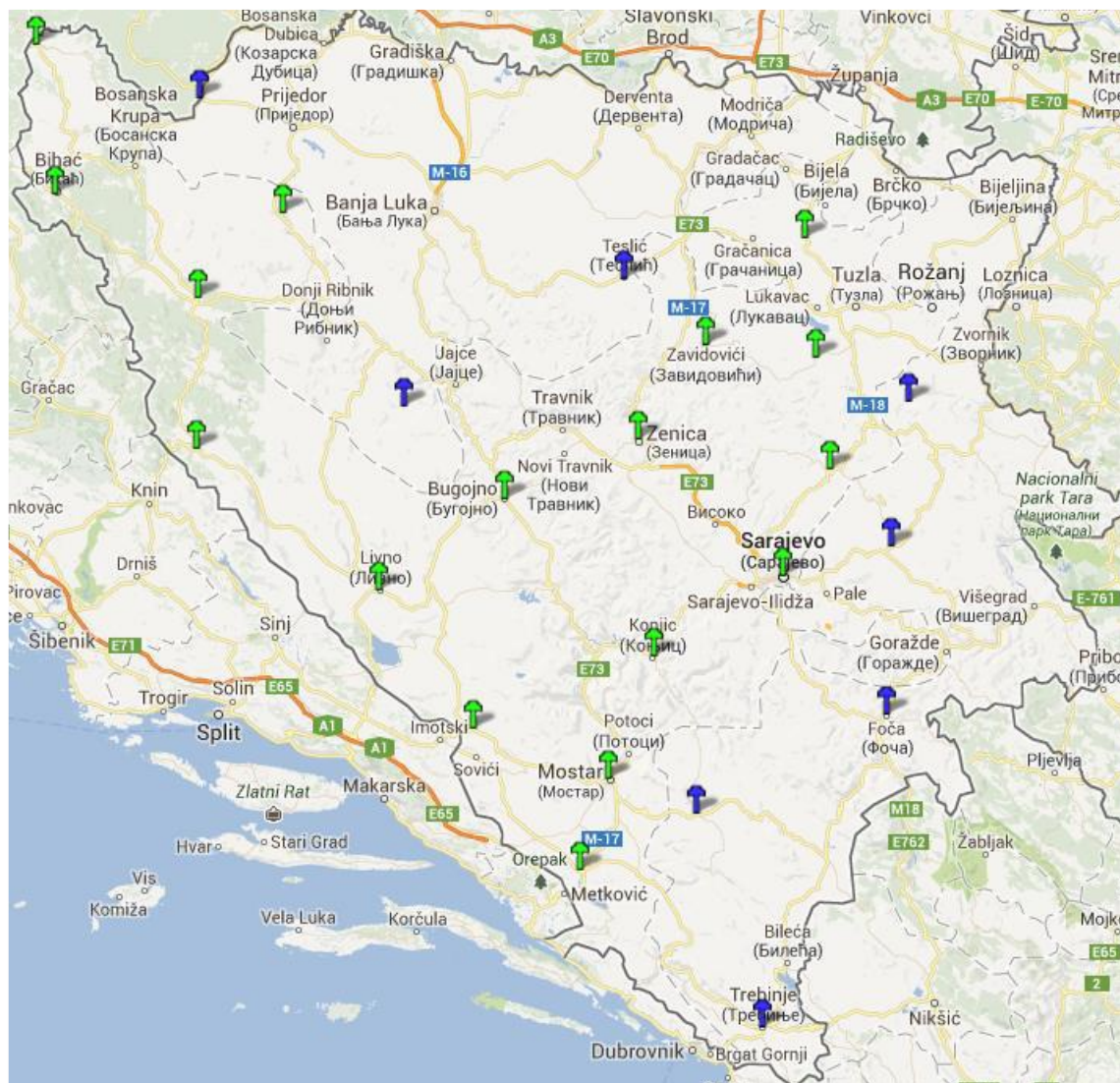
Slika 2.2.2 Karta rasporeda stanica BIHPOS (URL 4)

Korisnicima obje mreže stalnih GNSS stanica u Bosni i Hercegovini dostupni su različiti servisi koji omogućuju precizno određivanje položaja (Tabučić 2015):

1. DSP (DGNSS) – diferencijalni servis pozicioniranja u stvarnom vremenu, s točnošću od 1 do 3 metra,
2. VPPS (PDGNSS) – visoko precizni servis pozicioniranja u stvarnom vremenu, s točnošću od 1 do 2 centimetra,
3. GPPS – geodetski precizni servis pozicioniranja u gotovo stvarnom vremenu i za naknadnu obradu podataka, s točnošću do 1 centimetra,
4. automatski sustav izračuna koordinata,
5. servis za generiranje virtualnih RINEX datoteka.

FBiHPOS predstavlja sustav satelitskog pozicioniranja namijenjen području Federacije Bosne i Hercegovine (slika 2.2.3). Sustav se temelji na mreži povezanih GNSS referentnih stanica, a njegova glavna funkcija je omogućiti precizno pozicioniranje u stvarnom vremenu s pogreškom manjom od nekoliko centimetara, točnije između 1 i 2 cm. Ovlaštenim korisnicima omogućen je neprekidan pristup mreži i njezinim uslugama.

U svom radu FBiHPOS koristi najsvremeniju GNSS tehnologiju koja omogućuje praćenje svih trenutno aktivnih satelitskih signala, uključujući GPS-NAVSTAR (L1, L2, L2C), Glonass (L1, L2) te sustave dopune poput SBAS-a. Sustav je koncipiran tako da bez potrebe za hardverskim nadogradnjama može u budućnosti prihvatiti i nove signale, kao što su GPS-NAVSTAR L5, Galileo “Open Service” (E1, E5a, E5b, Alt-BOC), kineski Compass te ostale planirane globalne satelitske sustave (URL 5).



Slika 2.2.3 Prikaz rasporeda stanica FBiHPOS mreže uz 8 stanica preuzetih iz SRPOS mreže (URL 6)

2.2.1 Cjenik usluga FBiHPOS servisa

Federalna uprava za geodetske i imovinsko-pravne poslove donijela je Cjenik naknada za korištenje podataka iz premjera i katastra, koja uključuje i naknade za upotrebu podataka mreže stalnih GNSS stanica FBiHPOS. Detalji naknada za korištenje podataka FBiHPOS sustava prikazani su na slici 2.2.4.

FBIHPOS MREŽA PERMANENTNIH GNSS STANICA zahtjev za usluge				
VPSP servis - FBIHPOS RTK			željenu uslugu označiti sa X	upisati broj traženih usluga (broj rovera)*
paušal	7 dana	150 KM		
paušal	1 mjesec	250 KM		
paušal	2 mjeseca	350 KM		
paušal	3 mjeseca	450 KM		
paušal	4 mjeseca	550 KM		
paušal	5 mjeseci	650 KM		
paušal	6 mjeseci	750 KM		
paušal	12 mjeseci	1000 KM		
DSP servis - FBIHPOS DGPS			željenu uslugu označiti sa X	upisati broj traženih usluga (broj rovera)
paušal	1 mjesec	80 KM		
paušal	2 mjeseca	120 KM		
paušal	3 mjeseca	160 KM		
paušal	4 mjeseca	200 KM		
paušal	5 mjeseci	250 KM		
paušal	6 mjeseci	300 KM		
paušal	12 mjeseci	500 KM		
GSPS servis - FBIHPOS online postprocessing usluge			željenu uslugu označiti sa X	
Download RINEX datoteke opažanja sa GNSS stanice	15 min	3 KM		
Download RINEX datoteke opažanja sa GNSS stanice	1 sat	10 KM		
Download i generiranje VRINEX datoteke za proizvoljnu poziciju	15 min	5 KM		
Download i generiranje VRINEX datoteke za proizvoljnu poziciju	1 sat	15 KM		
Online obrada dostavljenih mjerenja putem LGO softvera - po započetih	30 minuta	10 KM		
Flat korištenje svih FBIHPOS usluga (RTK i postprocessing) na godišnjoj razini	12 mjeseci	1400 KM		
Flat korištenje FBIHPOS postprocessing usluga na godišnjoj razini	12 mjeseci	700 KM		

Slika 2.2.4 Cjenik FBIHPOS usluga (URL 7)

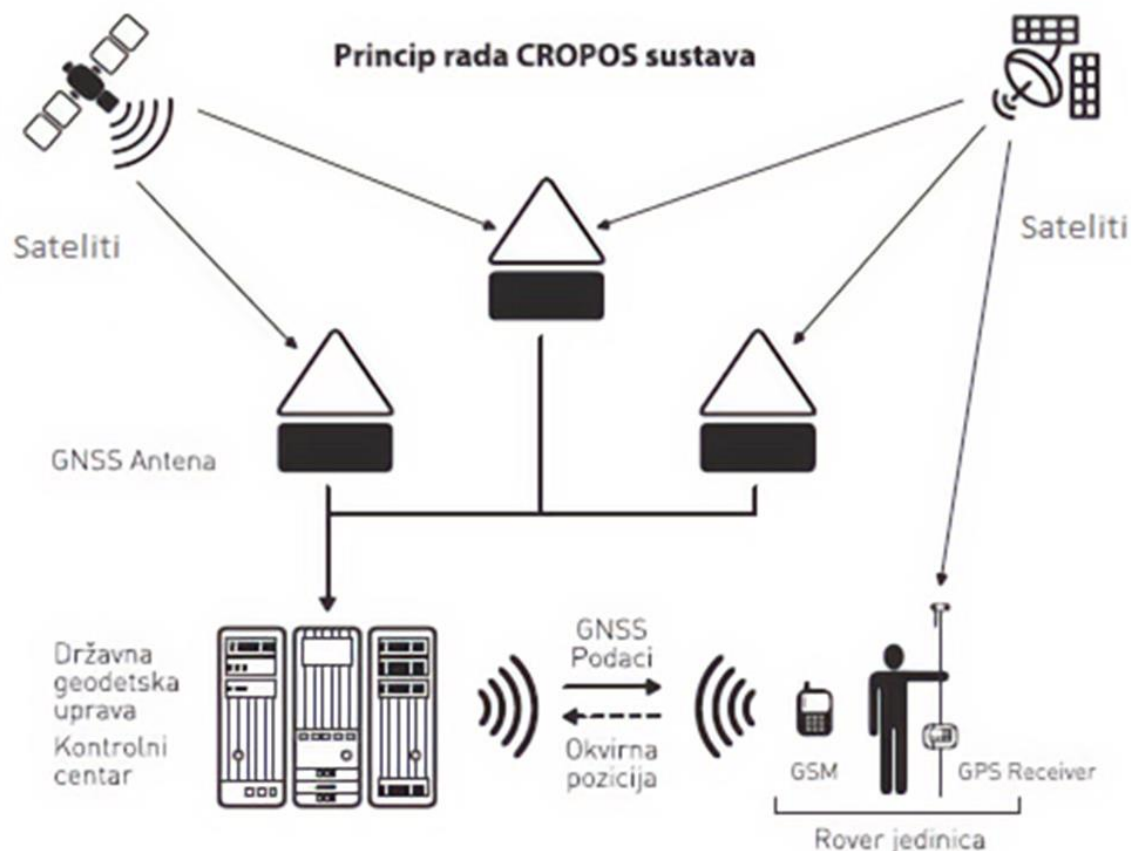
2.3 CROPOS

Hrvatski pozicijski sustav (eng. *Croatian Positioning System*, CROPOS) predstavlja državnu mrežu referentnih GNSS stanica Republike Hrvatske, koja se sastoji od 41 stanice međusobno udaljene oko 70 km (slika 2.3.1). Stanice su raspoređene tako da pokrivaju cjelokupno područje Republike Hrvatske, s ciljem prikupljanja podataka satelitskih mjerenja i izračuna korekcijskih parametara za precizno pozicioniranje. Sustav djeluje neprekidno, 24 sata dnevno, pri čemu se podaci sa 41 stanice kontinuirano prikupljaju i razmjenjuju u stvarnom vremenu s referentnim stanicama susjednih zemalja. Umrežavanjem stanica izračunavaju se korekcijski parametri u realnom vremenu, a korisnicima su dostupni i podaci mjerenja i korekcija za obradu u stvarnom vremenu te za naknadnu (post-processing) analizu. CROPOS omogućuje pozicioniranje u stvarnom vremenu s horizontalnom točnošću do 2 cm i vertikalnom do 4 cm.



Slika 2.3.1 Raspored referentnih GNSS stanica CROPOS sustava (URL 8)

Princip rada sustava (slika 2.3.2) temelji se na konceptu mreže umreženih referentnih stanica, koje omogućuju kontinuirano provođenje GNSS mjerenja (*engl. Continuously Operating Reference Station – CORS*) te prijenos prikupljenih podataka u kontrolni centar. Iz kontrolnog centra omogućeno je i daljinsko upravljanje svim referentnim stanicama. Na osnovi prikupljenih podataka izračunavaju se korekcijski parametri u stvarnom vremenu, prilagođeni različitim razinama točnosti ovisno o potrebama korisnika. Osim toga, sustav osigurava pristup izvornim podacima mjerenja za naprednu naknadnu (*post-processing*) obradu u sklopu najzahtjevnijih geodetskih aplikacija (URL 9).



Slika 2.3.2 Princip rada CROPOS sustava (URL 9)

CROPOS sustav karakterizira prikupljanje podataka s ukupno 41 referentne GNSS stanice, razmjena mjernih podataka sa susjednim zemljama u stvarnom vremenu te umrežavanje stanica i izračun korekcijskih parametara u realnom vremenu. Uz to, sustav omogućuje dostavu podataka mjerenja i korekcijskih parametara korisnicima u stvarnom vremenu, kao i preuzimanje podataka za naknadnu (post-processing) obradu. Rad sustava se kontinuirano nadzire, korisnicima je dostupna tehnička podrška, a cijeli sustav funkcionira neprekidno, 24 sata dnevno, sedam dana u tjednu (URL 8).

Korisnicima su dostupne tri različite usluge koje se međusobno razlikuju prema načinu rada, razini točnosti, načinu prijenosa i formatu podataka, a njihov pregled prikazan je u tablici 2.3.1. Diferencijalni pozicijski servis (DPS) u stvarnom vremenu primjenjuje se u geoinformacijskim sustavima (GIS), upravljanju prometom, preciznoj navigaciji, zaštiti okoliša, poljoprivredi, šumarstvu i srodnim područjima. Riječ je o umreženom rješenju koje se temelji na kodnim mjerenjima u stvarnom vremenu, a omogućuje postizanje točnosti od približno 0,3 do 0,5 metara.

Visokoprecizni pozicijski servis (VPPS) koristi se u inženjerskoj geodeziji, katastru, državnoj izmjeri, određivanju državne granice, hidrografiji i sličnim djelatnostima. Ovaj servis temelji se na umreženom rješenju faznih mjerenja u stvarnom vremenu te omogućuje postizanje točnosti od oko 0,02 metra u dvodimenzionalnom i 0,04 metra u trodimenzionalnom koordinatnom sustavu

Najprecizniju uslugu predstavlja geodetski precizni pozicijski servis (GPPS), namijenjen uspostavi geodetskih mreža, znanstvenim geodinamičkim istraživanjima te zahtjevnim zadacima inženjerske geodezije. Ova usluga omogućuje postizanje točnosti manjim od 0,01 metra, a podaci su korisnicima dostupni za naknadnu (post-processing) obradu. (Marjanović 2010).

Tablica 2.3.1 Pregled CROPOS usluga (Marjanović 2010)

CROPOS usluga	Metoda rješenja	Točnost	Prijenos podataka	Format podataka
DPS	umreženo rješenje kodnih mjerenja u realnom vremenu	0.3 m – 0.5 m	Wireless Internet (GPRS, UMTS) NTRIP Protocol	RTCM 2.3
VPPS	umreženo rješenje faznih mjerenja u realnom vremenu	0.02 m (2D) 0.04 m (3D)	Wireless Internet (GPRS, UMTS) NTRIP Protocol GSM	RTCM 2.3 RTCM 3.1
GPPS	post-processing (naknadna obrada podataka mjerenja)	< 0.01 m	Internet (FTP, e-mail)	RINEX RINEX VRS

Državna geodetska uprava je 2011. godine predložila uključivanje pet referentnih stanica CROPOS sustava u Europsku permanentnu mrežu (EPN). Nakon provedenih kontrola i analize podataka opažanja, 16. lipnja 2013. godine stanice CAKO (Čakovec), DUB2 (Dubrovnik), PORE (Poreč), POZE (Požega) i ZADA (Zadar) službeno su postale dio EUREF Europske permanentne mreže (URL 8). EPN centri svakodnevno nadziru kvalitetu prikupljenih GNSS opažanja, njihovu dostupnost i konzistentnost, čime se osigurava visoka razina pouzdanosti podataka.

Zbog specifičnog geografskog oblika Republike Hrvatske, koji ne omogućuje uspostavljanje optimalno raspoređene permanentne GNSS mreže unutar državnih granica, u sustav su uključene i referentne stanice iz susjednih zemalja. Tako je umreženo sedam SIGNAL stanica iz Slovenije, četiri GNSSnet.hu stanice iz Mađarske, dvije MontePos stanice iz Crne Gore, pet BiHPOS stanica iz Bosne i Hercegovine, jedna dodatna EPN stanica, dvije kontrolne stanice te dvije AGROS stanice iz Srbije.

3. IZVOR, PRIKUPLJANJE I OBRADA PODATAKA

3.1 Korištena oprema i programi u radu

U ovom poglavlju dan je prikaz osnovnih karakteristika: korištene opreme za izvođenje GNSS mjerenja i programa za obradu podataka opažanja i izjednačenje GNSS mreže.

3.1.1 Oprema za provođenje relativnog statičkog opažanja

Mjerenja GNSS metodom izvršena su pomoću visokoprecizne geodetske opreme, koja uključuje: Leica GS18 s kontrolerom Leica CS20 (slika 3.1.1), Kolida K58 s kontrolerom Kolida H3+ i Kolida K30 s kontrolerom Kolida H6.

Leica GS18 je self-learning GNSS pametna antena. GNSS prijamnik prima signale satelitskih sustava GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS i NavIC, uz podršku za SBAS i L-Band Terrastar korekcije. Pri mjerenju u stvarnom vremenu metodom RTK ostvaruje horizontalnu točnost od $8 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ i vertikalnu od $15 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$, dok u mrežnom RTK-u dostiže veću preciznost od $8 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$ horizontalno i $15 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$ vertikalno. U postprocesiranju, pri statičkim mjerenjima, točnost iznosi $3 \text{ mm} + 0,1 \text{ ppm}$ horizontalno i $3,5 \text{ mm} + 0,4 \text{ ppm}$ vertikalno, a u brzom statičkom načinu $3 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$ horizontalno i $5 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$ vertikalno. Kod kodne diferencijalne metode točnost se kreće oko 25 cm horizontalno i 50 cm vertikalno. Prijamnik raspolaže s ukupno 555 kanala (URL 10).



Slika 3.1.1 Leica GS18 s kontrolerom CS20 (URL 11)

Kolida K30 GNSS prijamnik sposoban je istodobno pratiti signale sa sustava GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo, QZSS, SBAS, IRNSS i L-Band, čime osigurava stabilan prijem i pouzdano pozicioniranje. U RTK načinu rada s jednom baznom stanicom postiže horizontalnu točnost od $8 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ i vertikalnu od $15 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$, dok u mrežnom RTK-u ostvaruje preciznost od $8 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$ horizontalno i $15 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$ vertikalno. U postprocesiranju (statičko mjerenje) točnost doseže $3 \text{ mm} + 0,1 \text{ ppm}$ horizontalno i $3,5 \text{ mm} + 0,4 \text{ ppm}$ vertikalno, a u alternativnom načinu $2,5 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$ horizontalno i $5 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$ vertikalno. Pri GNSS pozicioniranju točnost iznosi $0,25 \text{ m} + 1 \text{ ppm}$ horizontalno i $0,50 \text{ m} + 1 \text{ ppm}$ vertikalno. Uređaj raspolaže s 1598 kanala, što omogućuje vrlo brzo hvatanje satelitskih signala (URL 12).



Slika 3.1.2 Kolida K30 s kontrolerom H6 (URL 13, URL 14)

Kolida K58+ podržava sve glavne navigacijske sustave — GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo, QZSS, SBAS, IRNSS i L-Band — te za obradu koristi 965 kanala. U RTK mjerenju s jednom baznom stanicom ostvaruje horizontalnu točnost od 8 mm + 1 ppm i vertikalnu od 15 mm + 1 ppm, dok u mrežnom načinu rada postiže 8 mm + 0,5 ppm horizontalno i 15 mm + 0,5 ppm vertikalno. Kod postprocesiranja, u statičkom načinu rada, preciznost iznosi 3 mm + 0,1 ppm horizontalno i 3,5 mm + 0,4 ppm vertikalno, a u brzom statičkom načinu 2,5 mm + 0,5 ppm horizontalno i 5 mm + 0,5 ppm vertikalno. U GNSS načinu pozicioniranja točnost se kreće oko 0,25 m + 1 ppm horizontalno i 0,50 m + 1 ppm vertikalno (URL 15).



Slika 3.1.3 Kolida K58+ s kontrolerom H3+ (URL 16, URL 17)

3.1.2 Programi za obradu podataka opažanja i izjednačenje GNSS mreže

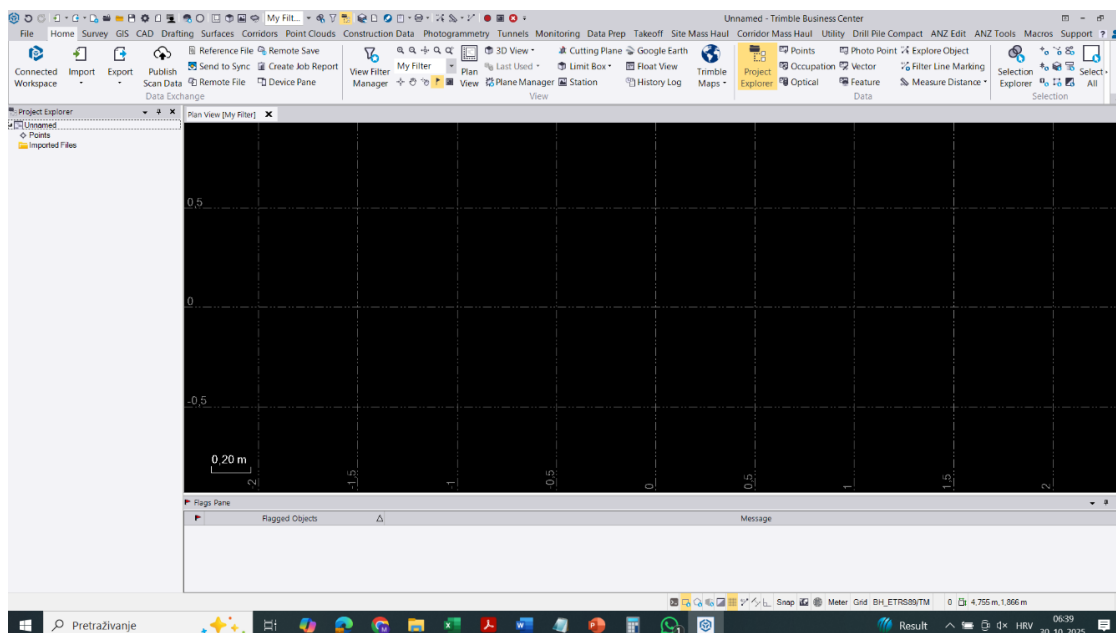
Obrada podataka opažanja i izjednačenje GNSS mreže obavljena je primjenom programa Trimble Business Center.

Trimble Business Center softver koji razvijen od strane Trimble Inc., tvrtka poznata po rješenjima u geodeziji i geoprostornim tehnologijama. prvenstveno se koristi za obradu, analizu i upravljanje geodetskim i geoprostornim podacima, te za izradu rezultata poput karata, izvještaja i 3D modela, osobito u područjima geodetskih mjerenja, građevinarstva, upravljanja prostorom i civilnog inženjerstva.

Njegove glavne značajke uključuju (URL 18):

- Obradu podataka
- Geodetsku kontrolu
- Modeliranje terena
- Vizualizaciju podataka
- Integraciju s CAD-om
- Izračun volumena
- Kontrolu kvalitete
- Izvještaje
- Izvoz podataka

Prikaz radnog sučelja nalazi se na slici 3.1.4.



Slika 3.1.4 Prikaz radnog sučelja TBC

3.2 Prikupljanje podataka

Za potrebe ovog rada zatražene su koordinate postojećih geodetskih točaka od Federalne geodetske uprave i lokalnih katastarskih ureda na području općine Čapljina i općine Ljubuški. Osim toga, prikupljeni su i lokalni i nacionalni transformacijski parametri za područje Federacije Bosne i Hercegovine (FBiH), potrebni za preciznu obradu i transformaciju koordinata.

Tablica 3.2.1 prikazuje prikupljene koordinate trigonometara koji su činili geodetsku osnovu za planiranje GNSS mjerenja.

Tablica 3.2.1 Popis koordinata točaka geodetske osnove

BROJ TRIG.	y(m)	x(m)	H (m n.m.)
T187	6465056.894	4776112.618	139.915
T186 (Ljubuški)	6467984.864	4777438.566	128.417
T299	6475605.897	4772613.542	24.703
T23	6477634.844	4775226.772	83.384
T127	6484340.790	4776060.892	211.364
T239	6464836.708	4782401.098	98.059
T101	6488193.802	4778365.781	338.376
T146	6476787.202	4776138.911	101.621
T186 (Čapljina)	6483294.652	4775103.236	135.01
T24	6474761.324	4768929.900	70.182
T20	6477541.187	4773372.006	8.346
T165	6478710.906	4776539.826	100,440

U tablici 3.2.2 su prikazani lokalni transformacijski parametri za općinu Čapljina i općinu Ljubuški, kao i nacionalni transformacijski parametri za područje Federacije Bosne i Hercegovine.

Tablica 3.2.2 Lokalni i nacionalni transformacijski parametri

PARAMETRI	ČAPLJINA	LJUBUŠKI	NACIONALNI
Shift dX	494.444 m	-232.921 m	-488.46 m
Shift dY	-83.408 m	-321.551 m	-179.498 m
Shift dZ	-628.379 m	-813.973 m	-534.458 m
Rotation about X	4.06825 "	8.96716311 "	5.63638 "
Rotation about Y	7.11764 "	17.38989757 "	4.73988 "
Rotation about Z	-9.11809 "	-15.42801849 "	-12.51902 "
Scale	6.4075 ppm	5.944514 ppm	-1.22795 ppm

3.2.1 Rekognosciranje terena

Rekognosciranje ili pregled terena predstavlja korak koji je neophodno provesti prije početka bilo kakvih geodetskih mjerenja. Iako se može činiti jednostavnim, radi se o osjetljivom geodetskom zadatku kojem treba posvetiti posebnu pažnju kako bi mreža na kraju bila ekonomična i kvalitetetna (Marinčić 2015). Glavni cilj rekognosciranja je locirati točke označene na karti na stvarnom terenu, ako su već stabilizirane, ili odabrati optimalne pozicije za postavljanje novih točaka.

Kako bi se utvrdilo stvarno stanje postojeće geodetske osnove, koristeći prikupljene podatke (koordinate i položajni opisi trigonometara iz nadležnih katastarskih ureda općina Čapljina i Ljubuški), 22.svibnja, te 5. i 6. lipnja 2025. provedeno je rekognosciranje terena.

Tablica 3.2.3 Stanje geodetske osnove

BROJ TRIG.	y(m)	x(m)	H (m n.m.)	Položajac	Napomena
T187	6465056.894	4776112.618	139.915	DA	Pronađen
T186 (Ljubuški)	6467984.864	4777438.566	128.417	DA	Pronađen
T299	6475605.897	4772613.542	24.703	DA	Pronađen
T23	6477634.844	4775226.772	83.384	DA	Pronađen
T127	6484340.790	4776060.892	211.364	DA	Pronađen
T239	6464836.708	4782401.098	98.059	DA	Pronađen
T101	6488193.802	4778365.781	338.376	DA	Nije pronadjen
T146	6476787.202	4776138.911	101.621	DA	Uništen

T186 (Čapljina)	6483294.652	4775103.236	135.01	DA	Uništen
T24	6474761.324	4768929.900	70.182	DA	Uništen
T20	6477541.187	4773372.006	8.346	DA	Nije pronađen
T165	6478710.906	4776539.826	100,440	DA	Nije pronađen

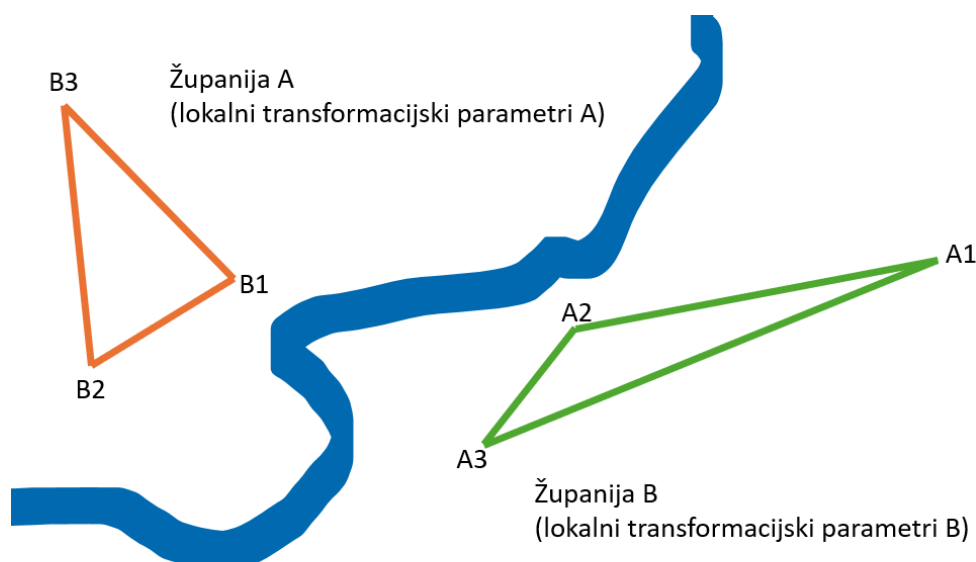
Iz tablice je vidljivo da je tijekom rekognosciranja pola trigonometara pronađeno, dok je određeni broj uništen ili oštećen. Pronađeno je šest trigonometara (T23, T127, T186 - Ljubuški, T187, T239, T299), a jednak broj trigonometara je uništen (T20, T24, T101, T146, T165, T186 – Čapljina). Primjer uništenog trigonometra prikazan je na slici 3.2.1.



Slika 3.2.1 T146 – primjer uništenog trigonometra

3.2.2 Plan opažanja

Prije početka mjerenja potrebno je izraditi plan opažanja koji uključuje određivanje prozora opažanja. Ta se razdoblja dodatno dijele na sesije, odnosno vremenske intervale predviđene za provođenje pojedinih opažanja.



Slika 3.2.2 Plan opažanja trigonometara

Mjerenje je planirano izvesti u jednom danu kroz četiri sesije, pri čemu su opažane točke A1, A2 i A3 u prvoj, A1, A2 i B1 u drugoj, A2, B1 i B3 u trećoj te B1, B2 i B3 u četvrtoj sesiji (slika 3.2.2). Kao što je vidljivo u tablici 3.2.4, trajanje svake sesije određeno je na dva sata, što osigurava dovoljno dugo opažanje za postizanje potrebne točnosti u relativnom statičkom mjerenju GNSS signala.

Tablica 3.2.4 Plan opažanja trigonometara

PLAN OPAŽANJA TRIGONOMETARA			
Broj sesije	Točke opažanja	Vrijeme opažanja	Datum opažanja
1. sesija	T127 – T23 – T299	2h	09.06.2025.
2. sesija	T23 – T299 – T186	2h	09.06.2025.
3. sesija	T299 – T186 – T187	2h	09.06.2025.
4. sesija	T186 – T187 – T239	2h	09.06.2025.

3.2.3 GNSS mjerenje

Relativno statičko GNSS opažanje provedeno je 9. lipnja 2025. godine na području općina Čapljina i Ljubuški. Mjerenje je bilo organizirano u četiri sesije, pri čemu su se istovremeno opažale po tri točke u svakoj sesiji. Za potrebe terenskog rada formirana su tri tima, od kojih je svaki bio zadužen za opažanje jedne točke unutar pojedine sesije, čime se omogućila učinkovita organizacija i paralelno prikupljanje podataka. U okviru terenskih GNSS mjerenja korištene su sljedeće trigonometrijske točke: T127 (slika 3.2.3), T23 (slika 3.2.4) i T299 (slika 3.2.5) na području općine Čapljina te T186 (slika 3.2.6), T187 (slika 3.2.7) i T239 (slika 3.2.8) na području općine Ljubuški.



Slika 3.2.3 Kolida K58+ na T127



Slika 3.2.4 Leica GS18 na T23



Slika 3.2.5 Kolida K30 na T299



Slika 3.2.6 Kolida K58+ na T186



Slika 3.2.7 Leica GS18 na T187



Slika 3.2.8 Kolida K30 na T239

Za potrebe GNSS mjerenja donja elevacija registracije satelita bila je postavljena na 10° , kako bi se smanjio utjecaj višestruke refleksije signala i atmosferskih smetnji, dok je interval registracije satelita bio postavljen na 5 sekundi, što je osiguralo dovoljnu gustoću opažanja za preciznu obradu podataka.

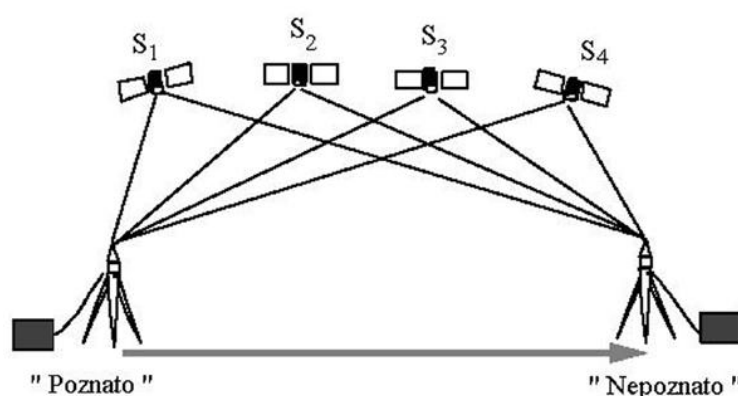
U nastavku je prikazana tablica 3.2.5 s detaljnim podacima o provedenim sesijama mjerenja, uključujući redosljed sesija, točke koje su bile opažane, vremenski raspon opažanja te raspored timova po točkama.

Tablica 3.2.5 GNSS mjerenje

Oznaka točke	Datum opažanja	Vrijeme opažanja (od-do)	Napomena
T127	09.06.2025.	09:10–11:10	1. sesija
T23	09.06.2025.	09:10–11:10	1. sesija
T299	09.06.2025.	09:10–11:10	1. sesija
T23	09.06.2025.	12:35-14:38	2. sesija
T299	09.06.2025.	12:35-14:38	2. sesija
T186	09.06.2025.	12:35-14:38	2. sesija
T299	09.06.2025.	15:40-17:44	3. sesija
T186	09.06.2025.	15:40-17:44	3. sesija
T187	09.06.2025.	15:40-17:44	3. sesija
T186	09.06.2025.	18:23-20:23	4. sesija
T187	09.06.2025.	18:23-20:23	4. sesija
T239	09.06.2025.	18:23-20:23	4. sesija

3.2.4 Relativno statičko pozicioniranje

Relativno GNSS pozicioniranje (slika 3.2.9) temelji se na istodobnim opažanjima najmanje dvaju prijamnika koji u istom vremenskom intervalu prate signale istih satelita, GNSS prijamnici tijekom cijelog mjernog postupka ostaju nepomični na svojim mjernim točkama. Analizom i kombiniranjem tih opažanja određuje se prostorni vektor, odnosno bazna linija, koja povezuje položaje prijamnika. Položaj točke nepoznatih koordinata određuje se u odnosu na referentnu točku čije su koordinate unaprijed poznate. U postupcima relativnog pozicioniranja koriste se jednofrekvencijska ili dvofrekvencijska opažanja nosećih faza, pri čemu se dvofrekvencijskim mjerenjima postiže viša razina točnosti. Upravo zbog korištenja opažanja faza satelitskih signala, statički način pozicioniranja smatra se jednom od najpouzdanijih tehnika u geodetskim primjenama. Izračun bazne linije moguć je na temelju simultanih opažanja najmanje četiri satelita na oba prijamnika (Marinčić 2015).



Slika 3.2.9 Relativno pozicioniranje (Marinčić 2002)

Ova metoda odlikuje se visokom pouzdanošću i relativno jednostavnim postupkom prikupljanja podataka, pri čemu je moguće ostvariti točnosti u rasponu od približno 0,1 do 1 ppm. Trajanje mjernog intervala, odnosno sesije opažanja, ovisi o zahtijevanoj točnosti, duljini bazne linije, broju vidljivih satelita i njihovoj prostornoj raspodjeli, kao i o vrsti korištene GNSS opreme. Neovisno o navedenim čimbenicima, trajanje opažanja mora biti dovoljno dugo kako bi se u postupku naknadne obrade mogla uspješno razriješiti fazna neodređenost. U skladu s tim, trajanje mjernih sesija u praksi varira od dvadesetak minuta do nekoliko sati, dok se maksimalna duljina bazne linije u pravilu ograničava na približno 20 km (Mirković 2019).

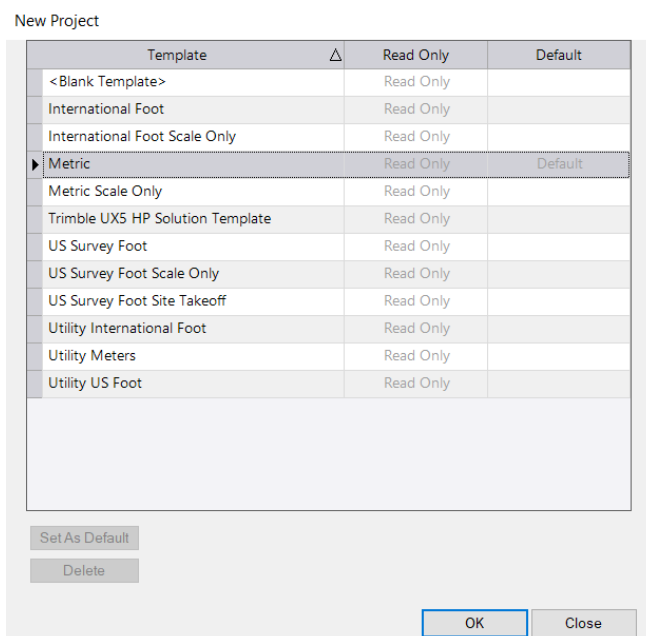
3.3 Obrada podataka GNSS mjerenja

Nakon prijenosa mjernih podataka na računalo, za svaki dan opažanja dobiveno je dvanaest RINEX datoteka. One sadrže podatke o vrsti prijamnika, načinu mjerenja visine antene, visini antene, tipu antene, sirovim opažanjima, efemeridama satelita te nazivima i identifikacijskim brojevima satelita.

Obrada podataka mjerenja uključuje obradu baznih linija i izjednačenje mreže. Zahvaljujući naprednim softverskim rješenjima, obje su radnje danas u velikoj mjeri automatizirani. Program TBC (Trimble Business Center) omogućuje obradu mjerenja prikupljenih različitim tipovima prijamnika putem RINEX formata.

Predradnje koje se trebaju zadovoljiti kako bi pristupili obradi su: kreiranje koordinatnog sustava, projekcije i projekta, te uvoz podataka.

Prilikom kreiranja novog projekta u TBC-u, korisniku se nudi odabir predloška projekta kojim se definiraju početne postavke, uključujući mjerne jedinice i tip projekta (slika 3.3.1). U ovom radu korišten je metrički predložak kako bi svi rezultati obrade bili izraženi u metričkom sustavu. Nakon potvrde odabira predloška, kreira se i otvara novi projekt u programu Trimble Business Center (slika 3.3.2).

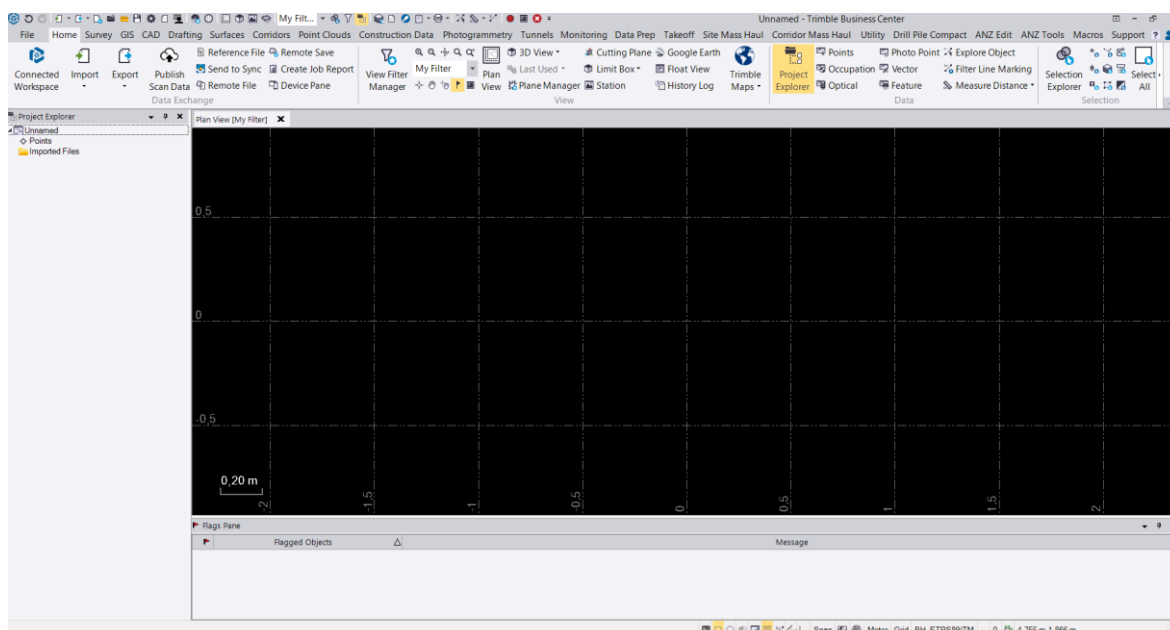


Slika 3.3.1 Dijaloški okvir za odabir predloška novog projekta u TBC-u

Sve postavke obrade podataka u TBC-u bit će objašnjene u nastavku, a u tablici 3.3.1 nalazi se sažeti pregled postavki obrade.

Tablica 3.3.1 Sažeti pregled postavki obrade podataka u TBC-u

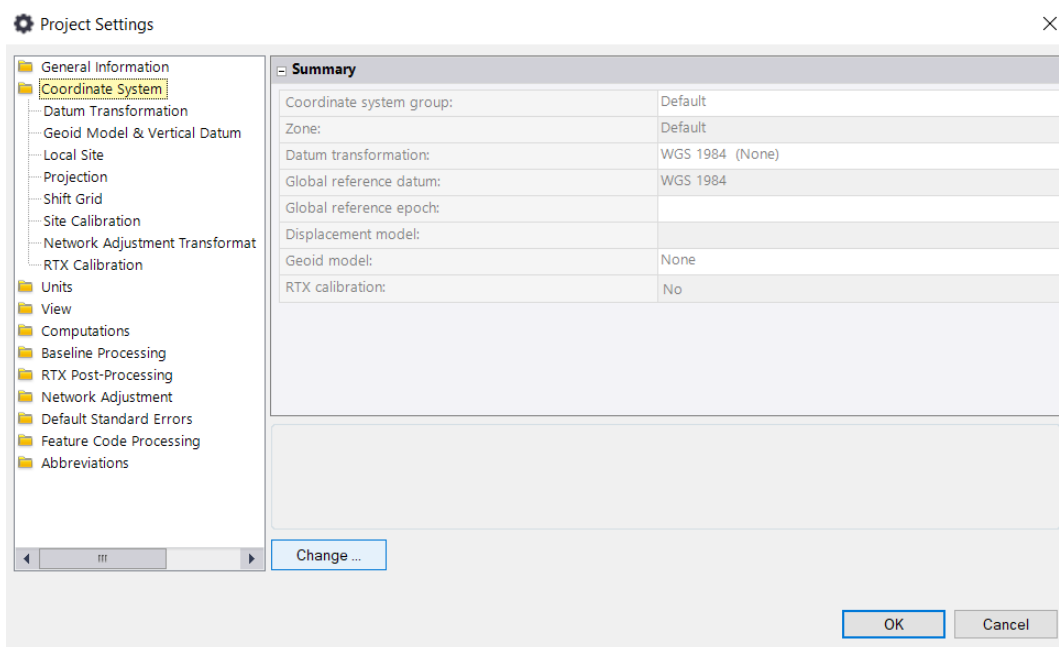
Parametar	Postavke
Koordinatni sustav	BH_ETRS89
Projekcija	BH_ETRS89/TM
Elipsoid	GRS80
Geoid model	None
Vrijeme	GPS Time
Tip efemerida	Precise (precizne)
Kriterij prihvaćanja obrade baznih linija	Horizontal precision: Flag 0,050 m + 1 ppm; Fail 0,100 m + 1 ppm. Vertical precision: Flag 0,100 m + 1 ppm; Fail 0,200 m + 1 ppm.
GNSS sustavi	GNSS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS
Standardno odstupanje	horizontalno 0,0050 m + 1,0 ppm vertikalno 0,0100 m + 2,0 ppm



Slika 3.3.2 TBC sučelje – novi projekt

3.3.1 Kreiranje koordinatnog sustava i projekcije

Nakon kreiranja novog projekta, u postavkama projekta (Project Settings) definira se koordinatni sustav i kartografska projekcija (slika 3.3.3). Time se osigurava konzistentnost prostornih podataka tijekom cijelog postupka obrade.



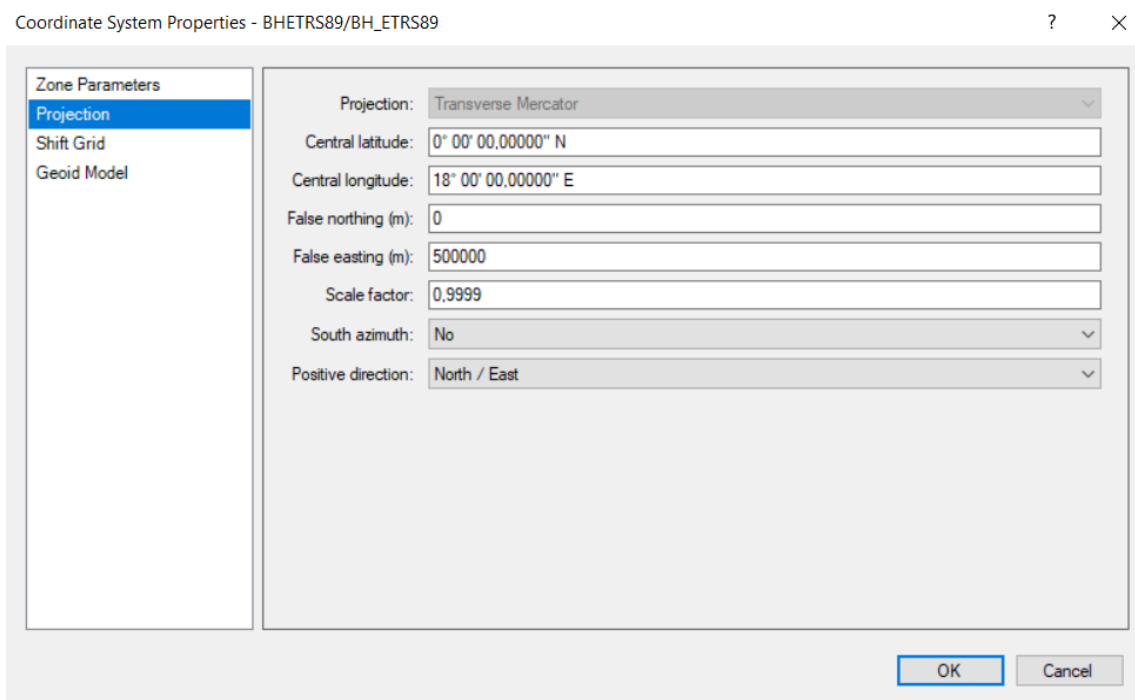
Slika 3.3.3 Postavke projekta – Project Settings

Kreiranje koordinatnog sustava nezaobilazan je korak u prije početka rada u bilo kojem projektu koji uključuje računanja vezana za neki projekt. Sam postupak kreiranja koordinatnog sustava u TBC-u vrlo je jednostavan, ali potrebno je poznavati teoriju koordinatnih sustava.

Kako bi se mogao formirati koordinatni sustav, najprije je potrebno definirati pripadajuću projekciju (slika 3.3.4). Za sustav BH_ETRS89 koristi se BHETRS/TM projekcija.

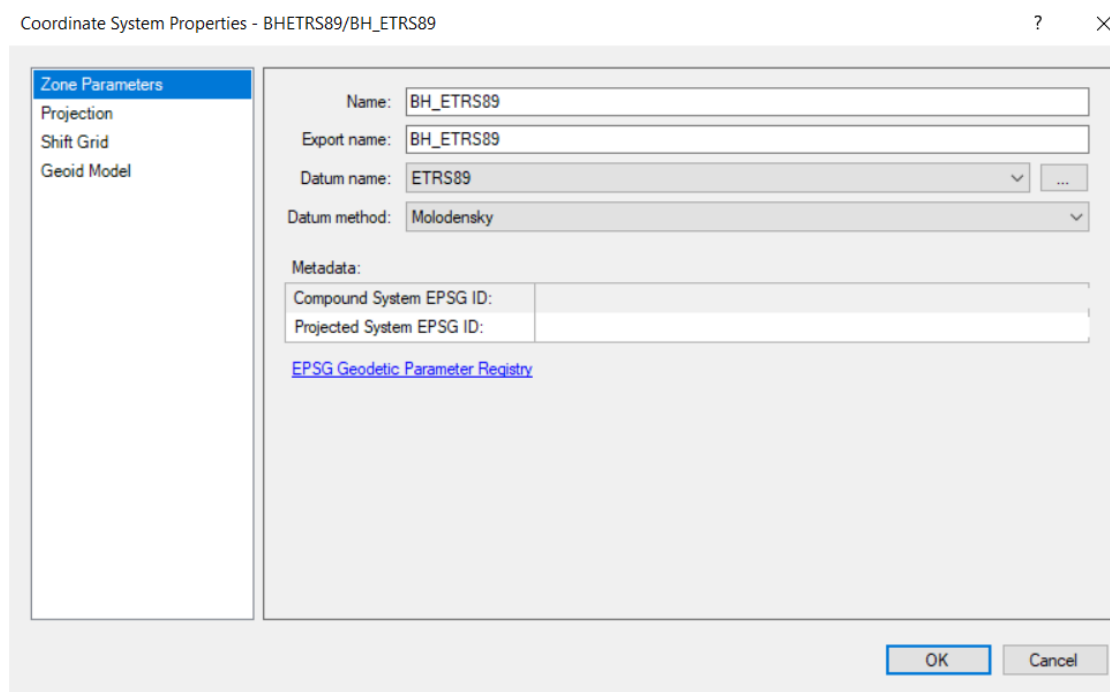
Parametri BH_ETRS/TM projekcije su:

- Tip: *TM* (Transverse Mercator-poprečna Merkatorova)
- False Easting: *500000,000 m*
- False Northing: *0,000 m*
- Latitude of Origin (geodetska širina ishodišta): *0°0'00''*
- Central Meridian (centralni meridian): *18°00'00''*
- Zone Width (širina zone): *6°0'00''*
- Scale Factor at Origin (mjerilo): *0,9999*



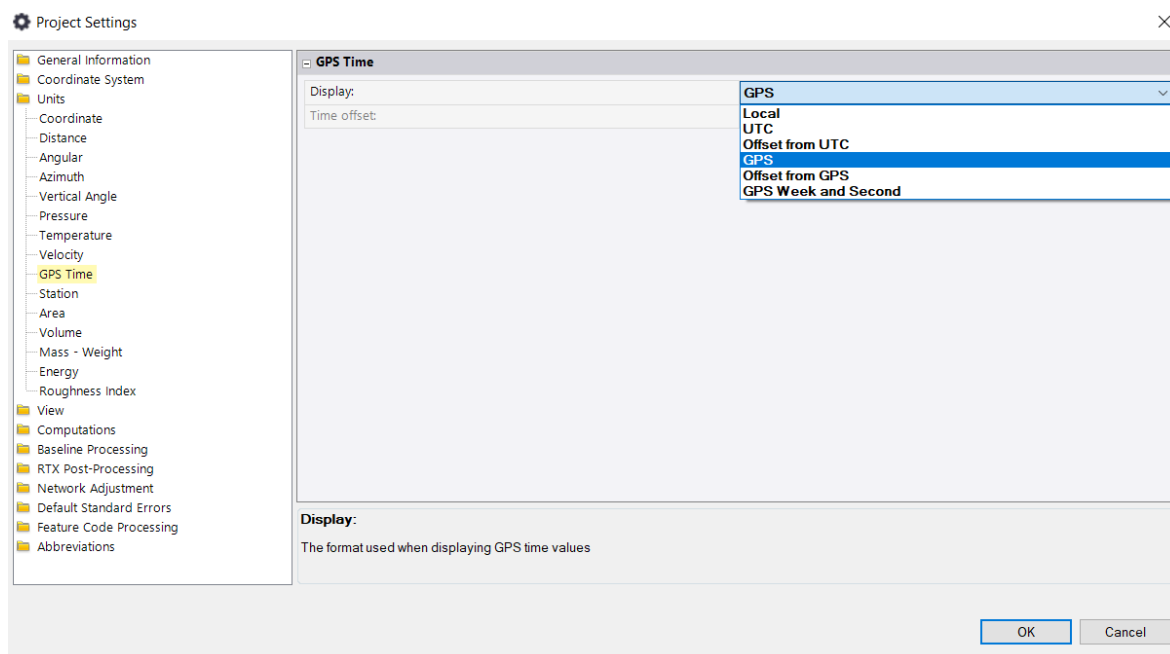
Slika 3.3.4 Kreiranje nove projekcije

Po završetku definiranja projekcije pristupa se formiranju koordinatnog sustava BH_ETRS89 (slika 3.3.5).

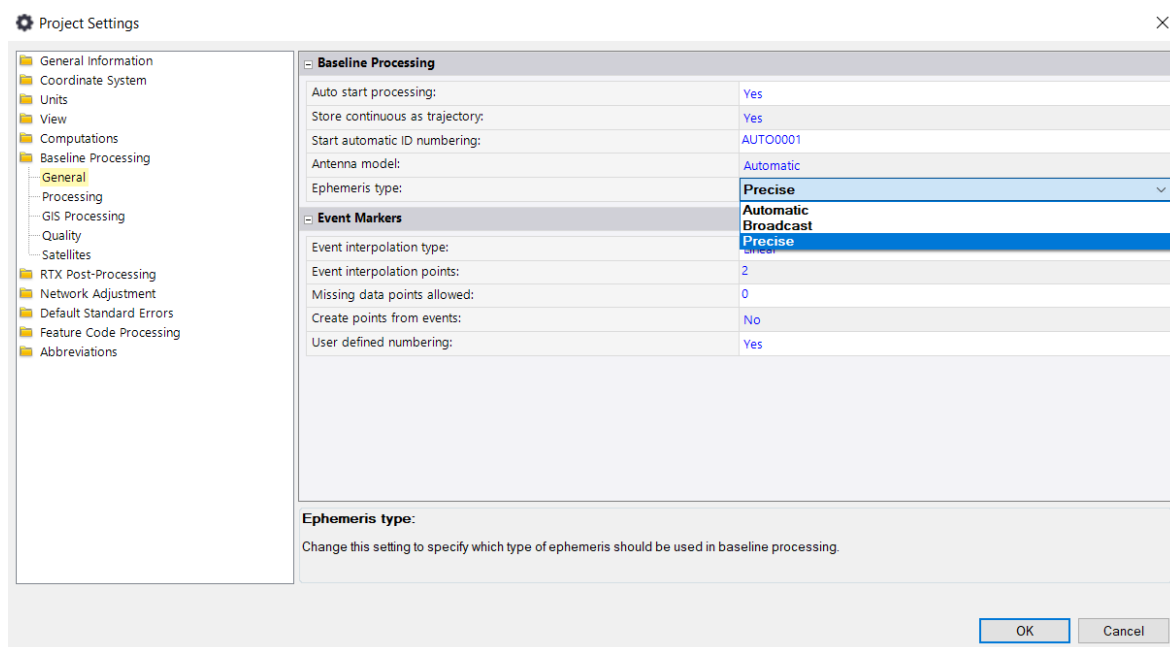


Slika 3.3.5 Kreiranje novog koordinatnog sustava

U postavkama projekta dodatno se definiraju parametri GPS vremena i obrade baznih linija. U postavkama vremena odabran je GPS vremenski sustav (slika 3.3.6), čime se osigurava ispravna interpretacija vremenskih oznaka GNSS opažanja. U postavkama obrade baznih linija (Baseline Processing) odabran je tip efemerida „Precise“ (slika 3.3.7), odnosno precizne efemeride satelita.



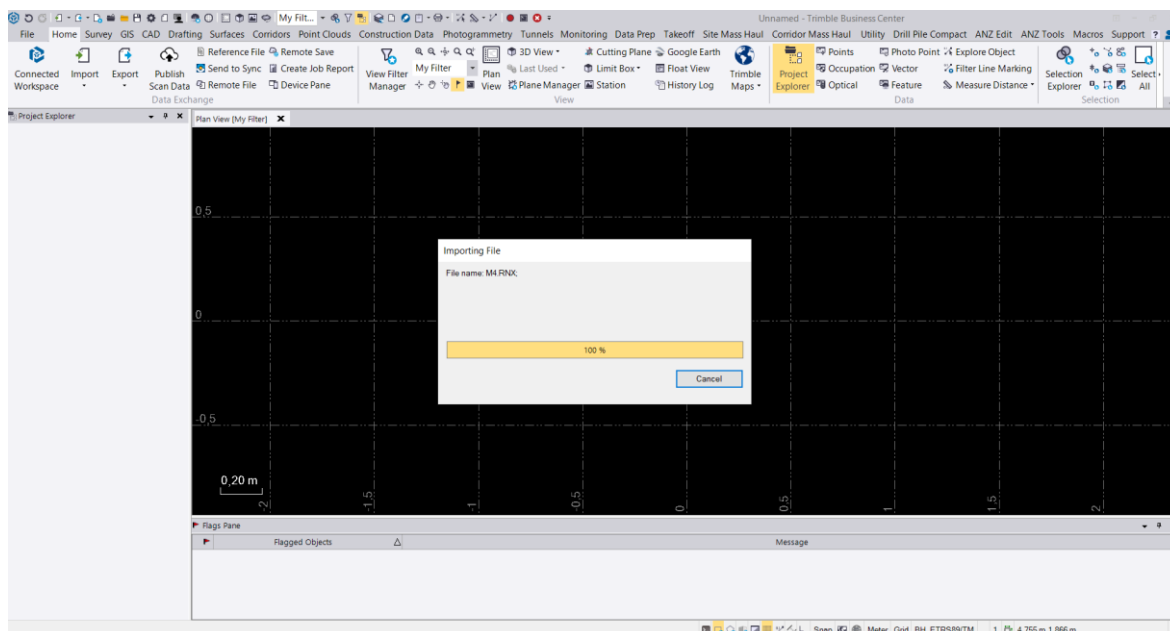
Slika 3.3.6 Postavke GPS Time



Slika 3.3.7 Postavke obrade baznih linija

3.3.2 Uvoz sirovih podataka GNSS opažanja

Nakon kreiranja projekta i definiranja koordinatnog sustava, u projekt se učitavaju točke mjerenja, VRS-ovi, te precizne efemeride satelita. (slika 3.3.8).



Slika 3.3.8 Import podataka

Podaci su u softver učitani jednostavnom metodom povuci-i-ispusti (drag and drop) (slika 3.3.12). U praksi je najbolje uvoziti podatke tako da se mjerenja s pojedine točke učitavaju zasebno. Na taj način moguće je provjeriti ispravnost opažanja. Preporučuje se odmah kontrolirati broj točke, izmjerenu visinu antene, način određivanja visine antene, kao i tip prijammnika i antene (slika 3.3.9) (slika 3.3.10) (slika 3.3.11).

Receiver Raw Data Check In

Antenna View								Serial Number
Import	Point ID	File Name	Manufacture	Type	Method	Height		
<input checked="" type="checkbox"/>	vrs2	vrs1160f00.250	Leica	AR25.R4 w/LEIT Dome	Bottom of antenna mou	0,0000 m		
<input checked="" type="checkbox"/>	vrs3	vrs2160f00.250	Leica	AR25.R4 w/LEIT Dome	Bottom of antenna mou	0,0000 m		
<input checked="" type="checkbox"/>	vrs4	vrs3160f00.250	Leica	AR25.R4 w/LEIT Dome	Bottom of antenna mou	0,0000 m		
<input checked="" type="checkbox"/>	vrs1	vrs4160f00.250	Leica	AR25.R4 w/LEIT Dome	Bottom of antenna mou	0,0000 m		
<input checked="" type="checkbox"/>	N1	N1.25o	Leica	GS18	Bottom of antenna mou	1,8000 m		
<input checked="" type="checkbox"/>	N2	N2.25o	Leica	GS18	Bottom of antenna mou	1,8000 m		
<input checked="" type="checkbox"/>	N3	N3.25o	Leica	GS18	Bottom of antenna mou	1,8000 m		
<input checked="" type="checkbox"/>	N4	N4.25o	Leica	GS18	Bottom of antenna mou	1,8000 m		
<input checked="" type="checkbox"/>	M1	M1.RNX	Unknown	Unknown External	Antenna Phase Center	2,0000 m	AG3098126318151	
<input checked="" type="checkbox"/>	T1	T1.obs	Unknown	Unknown External	Antenna Phase Center	2,0000 m	AA60D2133500352	
<input checked="" type="checkbox"/>	T2	T2.obs	Unknown	Unknown External	Antenna Phase Center	2,0000 m	AA60D2133500352	
<input checked="" type="checkbox"/>	M2	M2.RNX	Unknown	Unknown External	Antenna Phase Center	2,0000 m	AG3098126318151	
<input checked="" type="checkbox"/>	T3	T3.obs	Unknown	Unknown External	Antenna Phase Center	2,0000 m	AA60D2133500352	
<input checked="" type="checkbox"/>	M3	M3.RNX	Unknown	Unknown External	Antenna Phase Center	1,8000 m	AG3098126318151	
<input checked="" type="checkbox"/>	T4	T4.RNX	Unknown	Unknown External	Antenna Phase Center	2,0000 m	AA60D2133500352	
<input checked="" type="checkbox"/>	M4	M4.RNX	Unknown	Unknown External	Antenna Phase Center	1,8000 m	AG3098126318151	

Point Antenna Receiver

Antenna model: Automatic [Reset] [OK] [Cancel]

Slika 3.3.9 Receiver Raw Data Check-In

Receiver Raw Data Check In

Point View								Send to RTX-PP
Import	Point ID	File Name	Start Time	End Time	Duration	Feature Code		
<input checked="" type="checkbox"/>	vrs2	vrs1160f00.250	9. 6. 2025. 06:59:42	9. 6. 2025. 20:59:37	14:00:00			<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	vrs3	vrs2160f00.250	9. 6. 2025. 06:59:42	9. 6. 2025. 20:59:37	14:00:00			<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	vrs4	vrs3160f00.250	9. 6. 2025. 06:59:42	9. 6. 2025. 20:59:37	14:00:00			<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	vrs1	vrs4160f00.250	9. 6. 2025. 06:59:42	9. 6. 2025. 20:59:37	14:00:00			<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	N1	N1.25o	9. 6. 2025. 09:10:07	9. 6. 2025. 11:10:02	02:00:00			<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	N2	N2.25o	9. 6. 2025. 12:36:57	9. 6. 2025. 14:38:02	02:01:10			<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	N3	N3.25o	9. 6. 2025. 15:40:42	9. 6. 2025. 17:44:02	02:03:25			<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	N4	N4.25o	9. 6. 2025. 18:23:17	9. 6. 2025. 20:19:27	01:57:15			<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	M1	M1.RNX	9. 6. 2025. 09:08:57	9. 6. 2025. 11:14:27	02:05:35			<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	T1	T1.obs	9. 6. 2025. 09:10:07	9. 6. 2025. 11:14:47	02:04:45			<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	T2	T2.obs	9. 6. 2025. 12:35:17	9. 6. 2025. 14:39:27	02:04:15			<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	M2	M2.RNX	9. 6. 2025. 12:37:02	9. 6. 2025. 14:38:07	02:01:10			<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	T3	T3.obs	9. 6. 2025. 15:41:52	9. 6. 2025. 17:44:02	02:02:15			<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	M3	M3.RNX	9. 6. 2025. 15:42:37	9. 6. 2025. 17:44:22	02:01:50			<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	T4	T4.RNX	9. 6. 2025. 18:20:42	9. 6. 2025. 20:20:02	01:59:25			<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	M4	M4.RNX	9. 6. 2025. 18:23:27	9. 6. 2025. 20:20:37	01:57:15			<input type="checkbox"/>

Point Antenna Receiver

Antenna model: Automatic [Reset] [OK] [Cancel]

Slika 3.3.10 Receiver Raw Data Check-In

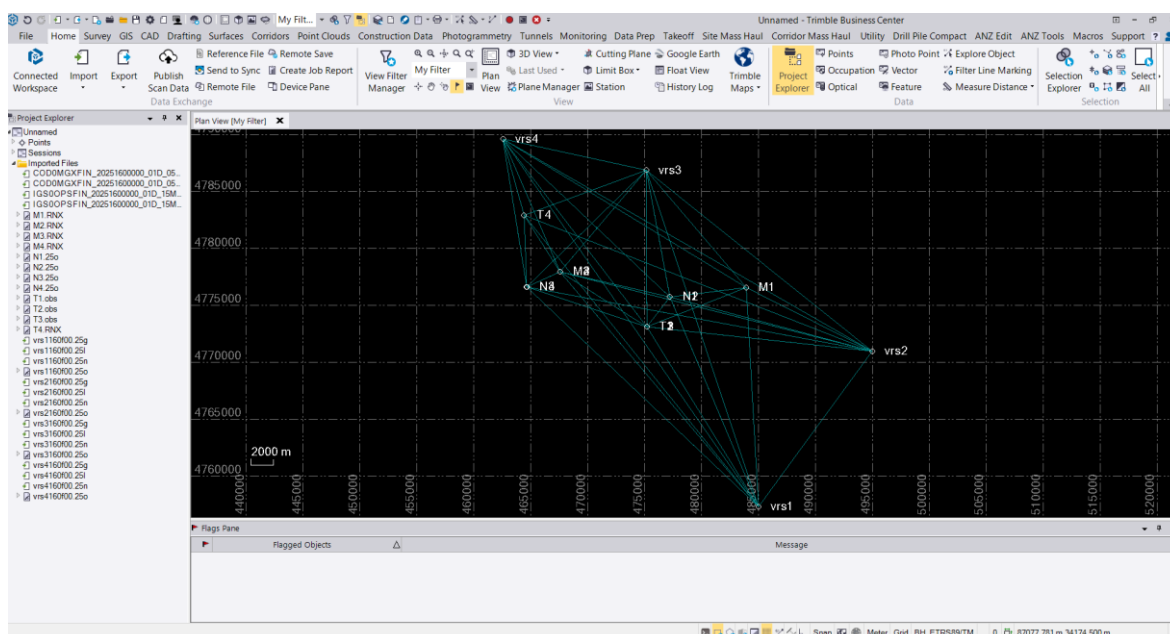
Receiver Raw Data Check In

Receiver View								
Import	File Name	Survey Mode	Reference Station Type	Start Time	End Time	Manufacturer	Type	Serial Number
<input checked="" type="checkbox"/>	vrs1160f00.250	Static	Single Base Station	9. 6. 2025. 05:00:00	9. 6. 2025. 18:59:55	Leica	GR30	1708379
<input checked="" type="checkbox"/>	vrs2160f00.250	Static	Single Base Station	9. 6. 2025. 05:00:00	9. 6. 2025. 18:59:55	Leica	GR30	1708379
<input checked="" type="checkbox"/>	vrs3160f00.250	Static	Single Base Station	9. 6. 2025. 05:00:00	9. 6. 2025. 18:59:55	Leica	GR30	1708379
<input checked="" type="checkbox"/>	vrs4160f00.250	Static	Single Base Station	9. 6. 2025. 05:00:00	9. 6. 2025. 18:59:55	Leica	GR30	1708379
<input checked="" type="checkbox"/>	M1.RNX	Static	Single Base Station	9. 6. 2025. 07:09:15	9. 6. 2025. 09:14:45	Unknown	Unknown	AG3098126318151
<input checked="" type="checkbox"/>	N1.25o	Static	Single Base Station	9. 6. 2025. 07:10:25	9. 6. 2025. 09:10:20	Leica	GS18	4905118
<input checked="" type="checkbox"/>	T1.obs	Static	Single Base Station	9. 6. 2025. 07:10:25	9. 6. 2025. 09:15:05	Unknown	Unknown	AA60D2133500352
<input checked="" type="checkbox"/>	T2.obs	Static	Single Base Station	9. 6. 2025. 10:35:35	9. 6. 2025. 12:39:45	Unknown	Unknown	AA60D2133500352
<input checked="" type="checkbox"/>	N2.25o	Static	Single Base Station	9. 6. 2025. 10:37:15	9. 6. 2025. 12:38:20	Leica	GS18	4905118
<input checked="" type="checkbox"/>	M2.RNX	Static	Single Base Station	9. 6. 2025. 10:37:20	9. 6. 2025. 12:38:25	Unknown	Unknown	AG3098126318151
<input checked="" type="checkbox"/>	N3.25o	Static	Single Base Station	9. 6. 2025. 13:41:00	9. 6. 2025. 15:44:20	Leica	GS18	4905118
<input checked="" type="checkbox"/>	T3.obs	Static	Single Base Station	9. 6. 2025. 13:42:10	9. 6. 2025. 15:44:20	Unknown	Unknown	AA60D2133500352
<input checked="" type="checkbox"/>	M3.RNX	Static	Single Base Station	9. 6. 2025. 13:42:55	9. 6. 2025. 15:44:40	Unknown	Unknown	AG3098126318151
<input checked="" type="checkbox"/>	T4.RNX	Static	Single Base Station	9. 6. 2025. 16:21:00	9. 6. 2025. 18:20:20	Unknown	Unknown	AA60D2133500352
<input checked="" type="checkbox"/>	N4.25o	Static	Single Base Station	9. 6. 2025. 16:22:35	9. 6. 2025. 18:19:45	Leica	GS18	4905118
<input checked="" type="checkbox"/>	M4.RNX	Static	Single Base Station	9. 6. 2025. 16:23:45	9. 6. 2025. 18:20:55	Unknown	Unknown	AG3098126318151

Point Antenna Receiver

Antenna model: Automatic [Reset] [OK] [Cancel]

Slika 3.3.11 Receiver Raw Data Check-In



Slika 3.3.12 Rezultat unosa podataka GNSS mjerenja u TBC

3.3.2.1 Precizne efemeride

Budući da je pozicioniranje jedna od dviju ključnih funkcija GNSS-a, precizno određivanje orbite satelita od iznimne je važnosti. Točnost orbite direktno utječe na točnost pozicioniranja na Zemlji. Efemeride satelita služe upravo u tu svrhu – predstavljaju tablice koje sadrže podatke o položaju GNSS satelita kao funkciju vremena za određeno razdoblje (Kotromanović 2021).

Na temelju ovih tablica moguće je predvidjeti položaj pojedinog satelita u bilo kojem trenutku. Međutim, i najmanje promjene u atomskim satovima satelita mogu izazvati značajne pogreške u određivanju pozicije.

Efemeride se dijele prema razini točnosti (Bačić 2022):

- Almanah – niskoprecizne orbite koje se koriste za “traženje” satelita i planiranje opažanja. Njihova točnost ovisi o starosti podataka i može iznositi nekoliko kilometara.
- Emitirane (Broadcast) efemeride – najčešće korištene u praksi za navigaciju i realno-vremensko pozicioniranje. Njihova točnost ovisi o učestalosti osvježavanja podataka: jednom dnevno dosežu točnost od oko 10 m, dok pri tri osvježavanja dnevno iznosi približno 4 m.
- Precizne efemeride – temelje se na opažanjima mreža za praćenje satelita. Dobiveni rezultati dostupni su s odgodom od nekoliko sati do 14 dana od registracije podataka i izraženi su kao položaj i brzina satelita u pravilnim vremenskim intervalima, obično svakih 15 minuta.

Vrsta efemerida koja se koristi ovisi o tipu GPS-prijamnika i željenoj točnosti mjerenja. Kodni prijamnici automatski prikupljaju broadcast efemeride tijekom mjerenja, zbog čega im precizne efemeride nisu nužne. Softveri poput Trimble omogućuju korisniku odabir jednog ili drugog tipa. Tablica 3.3.1 prikazuje razine točnosti efemerida.

Tablica 3.3.2 Tri razine točnosti efemerida (Zrinjski i dr. 2005)

RAZINA TOČNOSTI EFEMERIDA	BRZINA DOBIVANJA	TOČNOST
Konačne precizne efemeride	Zakašnjenje od \approx 13 dana	< 5 cm
Brze efemeride	Zakašnjenje od 14 sati	< 10cm
Ultra brze efemeride	Real-time	< 20 cm

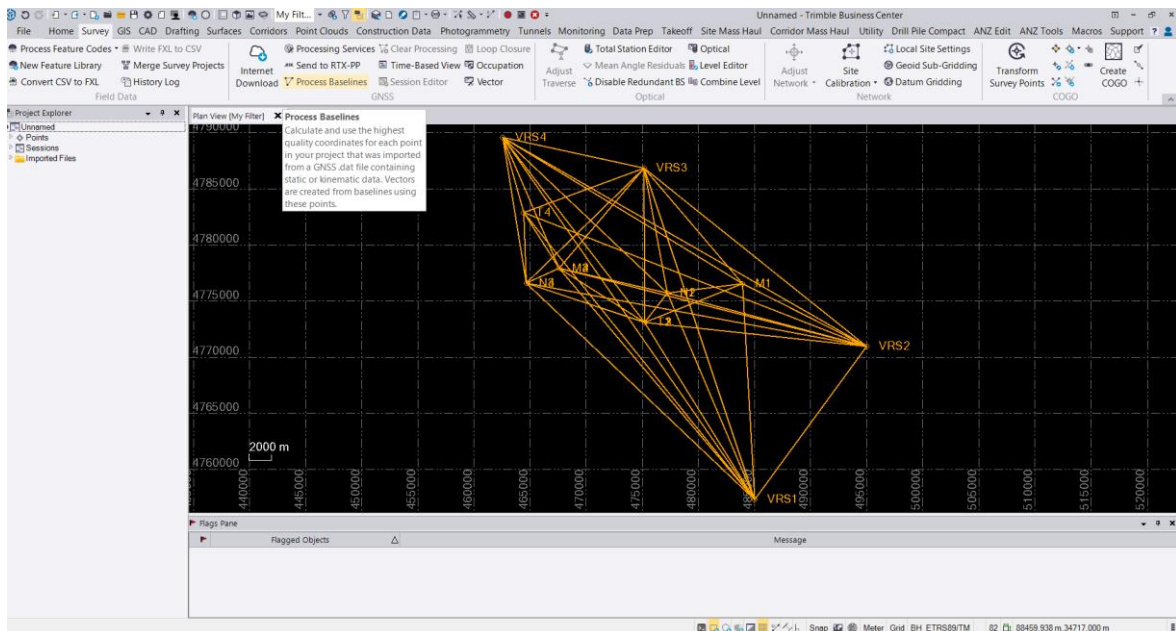
CDDIS (Crustal Dynamics Data Information System) je podatkovni arhiv i informacijska služba NASA-e koja podržava međunarodnu zajednicu svemirske geodezije. Već više od 35 godina CDDIS omogućuje kontinuirani i dugoročni javni pristup podacima i proizvodima dobivenim iz njih, uključujući GNSS, SLR, VLBI i DORIS. Ti podaci koriste se u različitim znanstvenim istraživanjima, od određivanja globalnog terestričkog referentnog okvira, preko geodetskih analiza pomaka tektonskih ploča i potresa, do praćenja vulkanske aktivnosti i proučavanja orijentacije Zemlje i atmosferskog kutnog momenta (Noll 2018).

Prilikom preuzimanja preciznih efemerida s portala CDDIS, datoteke su označene prema GPS-danu u godini. Za potrebe ove obrade korištena je datoteka s oznakom 2370. GPS tjedna. Dan u godini koji odgovara datumu GNSS opažanja, 9. lipnja 2025., je 160.

3.3.3 Obrada baznih linija

Obrada baznih linija u pravilu se provodi naknadno, osim u slučaju kinematičkih mjerenja u stvarnom vremenu (RTK), kod kojih se rješenje dobiva u realnom vremenu. U okviru statičkih GNSS mjerenja obrada se provodi naknadno, pri čemu se vektori između pojedinih točaka određuju na temelju prikupljenih opažanja. Obrada se može izvesti određivanjem svakog vektora zasebno ili zajedničkim rješenjem koje obuhvaća sve točke mreže istodobno.

Prvi korak u postupku obrade baznih linija jest označavanje svih točaka uključenih u GNSS mjerenje unutar radnog okruženja programa Trimble Business Center. Nakon odabira točaka pokreće se naredba Process Baselines, kojom se pokreće izračun baznih linija između pojedinih parova točaka (slika 3.3.13).



Slika 3.3.13 Označavanje točaka i pokretanje obrade baznih linija

Po završetku obrade otvara se prozor s rezultatima obrade baznih linija, u kojem se prikazuju informacije o tipu rješenja, točnosti horizontalne i vertikalne komponente te duljini vektora (slika 3.3.14). Prihvatljivi rezultati obrade prepoznaju se po tome da je za sve bazne linije dobiveno fiksno rješenje (Fixed), što upućuje na uspješno razriješene fazne nepoznanice i visoku pouzdanost dobivenih koordinata. U slučaju da pojedine bazne linije nisu riješene kao Fixed, nužno je dodatno analizirati uzroke (kvaliteta opažanja, duljina bazne linije, prekidi signala, multipath) te po potrebi ponoviti obradu.

Process Baselines

Save	Observation	Solution T	Horiz. Precision (Vert. Precision (D	RMS	Length
<input checked="" type="checkbox"/>	VRS2 --- M2	Fixed	0,0041	0,0173	0,0180	28287,0676
<input checked="" type="checkbox"/>	VRS2 --- N1	Fixed	0,0022	0,0107	0,0144	18389,8820
<input checked="" type="checkbox"/>	VRS2 --- M1	Fixed	0,0061	0,0318	0,0335	12390,5392
<input checked="" type="checkbox"/>	VRS2 --- N2	Fixed	0,0027	0,0109	0,0157	18389,8819
<input checked="" type="checkbox"/>	VRS2 --- N3	Fixed	0,0029	0,0134	0,0110	30864,3098
<input checked="" type="checkbox"/>	VRS2 --- M3	Fixed	0,0041	0,0196	0,0189	28287,0594
<input checked="" type="checkbox"/>	VRS2 --- M4	Fixed	0,0042	0,0182	0,0190	28287,0676
<input checked="" type="checkbox"/>	VRS2 --- N4	Fixed	0,0030	0,0128	0,0111	30864,3152
<input checked="" type="checkbox"/>	VRS2 --- T1	Fixed	0,0038	0,0197	0,0335	19909,7973
<input checked="" type="checkbox"/>	VRS2 --- T2	Fixed	0,0045	0,0181	0,0355	19909,7937
<input checked="" type="checkbox"/>	VRS2 --- T3	Fixed	0,0039	0,0177	0,0275	19909,7944
<input checked="" type="checkbox"/>	VRS2 --- T4	Fixed	0,0047	0,0205	0,0205	32809,1428
<input checked="" type="checkbox"/>	VRS2 --- VRS3	Fixed	0,0009	0,0032	0,0079	25417,3833
<input checked="" type="checkbox"/>	VRS2 --- VRS1	Fixed	0,0008	0,0025	0,0095	16922,0995
<input checked="" type="checkbox"/>	M2 --- N2	Fixed	0,0027	0,0117	0,0243	9901,3467

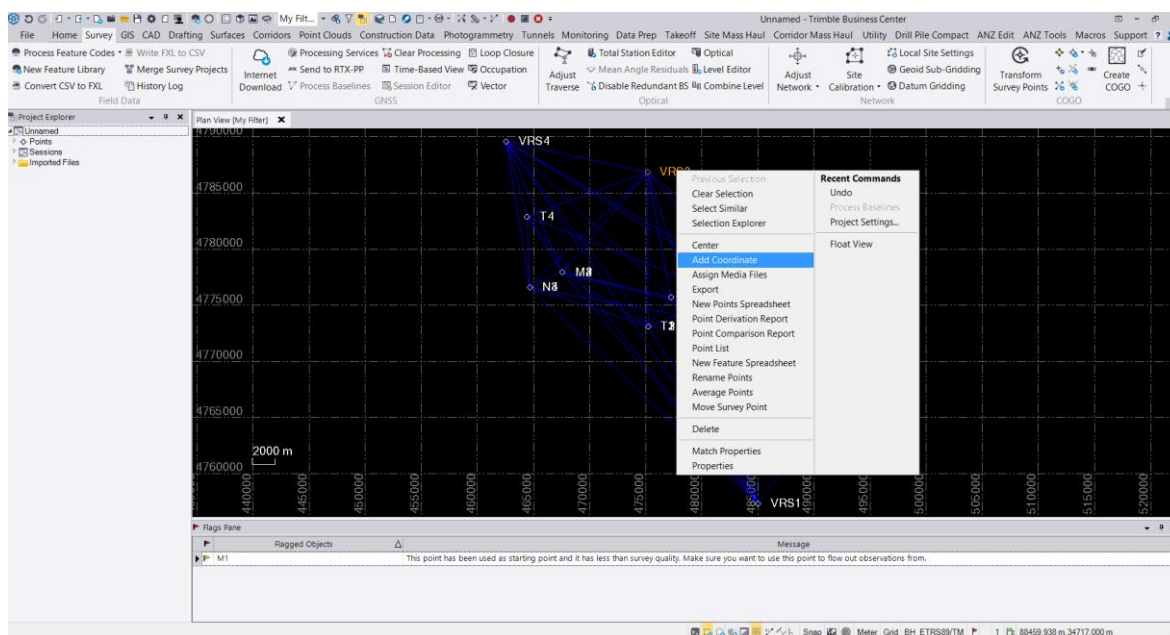
Press <Save> to save processing results. 66 observations selected for saving

Slika 3.3.14 Rezultati obrade baznih linija

3.3.4 Izjednačenje mreže

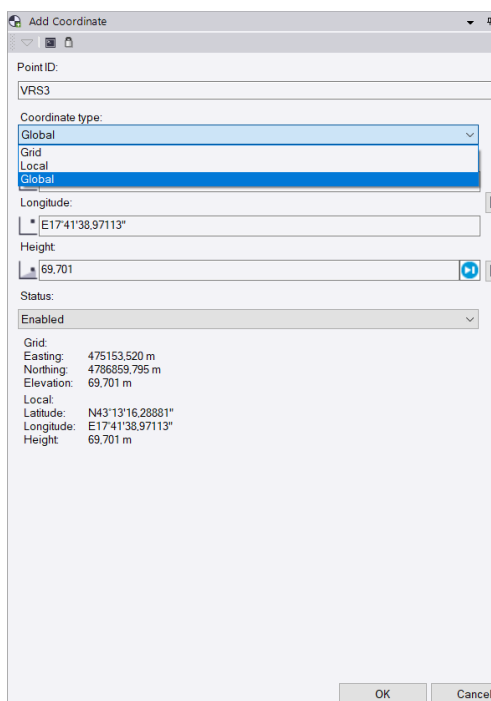
Prije provedbe izjednačenja GNSS mreže potrebno je definirati referentne točke s poznatim koordinatama. U ovom radu tu ulogu imaju VRS točke. Postupak započinje odabirom

pojedine VRS točke, nakon čega se putem kontekstnog izbornika odabire opcija „Add Coordinate“ (slika 3.3.15). Time se za odabranu točku ručno dodjeljuju poznate koordinate.



Slika 3.3.15 Fiksiranje VRS točke

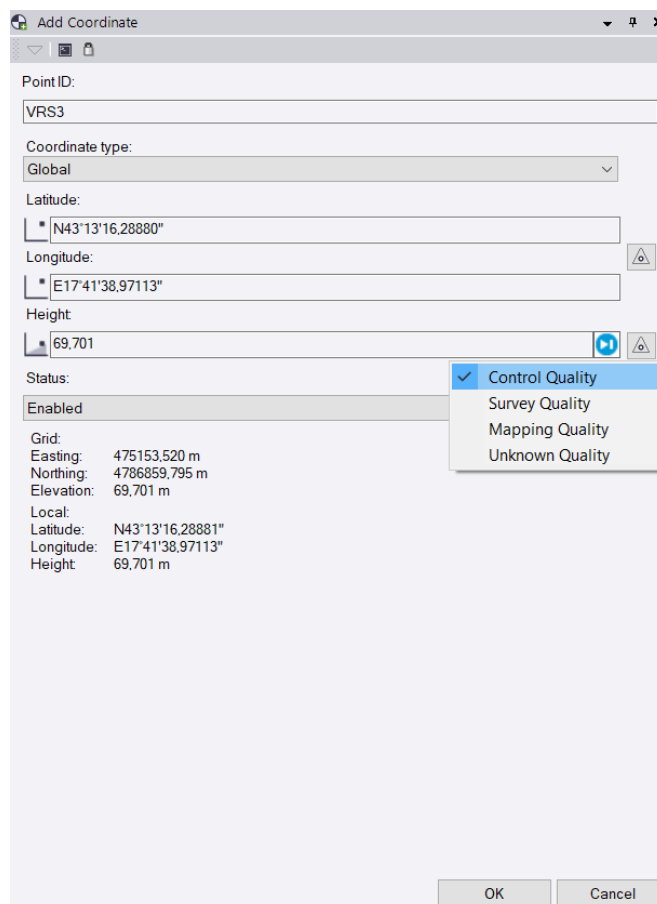
U dijaloškom okviru za unos koordinata odabire se tip koordinata „Global“ (slika 3.3.16).



Slika 3.3.16 Fiksiranje VRS točke

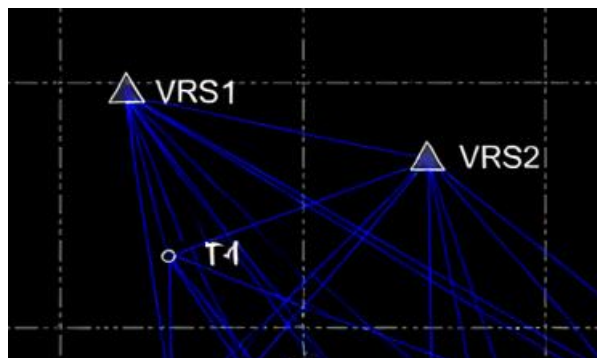
Nadalje, u postavkama statusa točke odabire se odgovarajuća razina kvalitete, pri čemu se VRS točke definiraju kao kontrolne točke (Control Quality) (Slika 3.3.17). Time se

naznačuje da se radi o fiksnim točkama koje se tijekom izjednačenja mreže ne prilagođavaju, već služe za stabilizaciju i georeferenciranje cijele GNSS mreže.



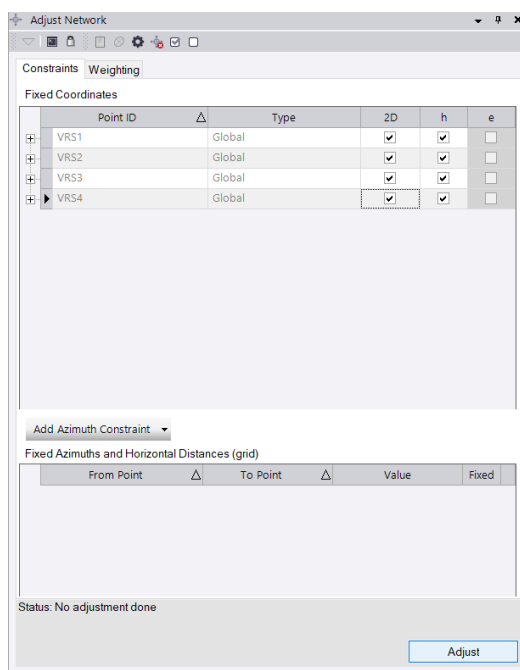
Slika 3.3.17 Fiksiranje VRS točke

Fiksiranjem VRS točaka osigurava se jednoznačno pozicioniranje mreže u odabranom koordinatnom sustavu te se omogućuje pouzdana procjena koordinata ostalih točaka u postupku izjednačenja. Definiranjem VRS točaka kao fiksnih točaka, one se u grafičkom prikazu označavaju simbolom trokuta, što upućuje na njihov status referentnih točaka u postupku izjednačenja GNSS mreže (slika 3.3.18).



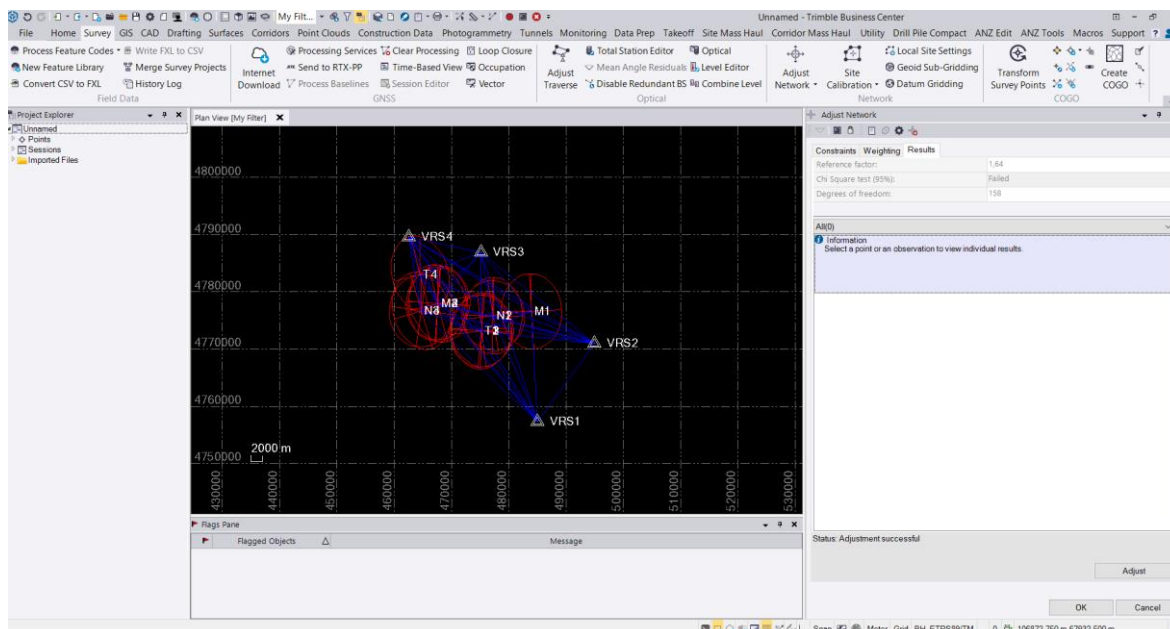
Slika 3.3.18 Fiksirane VRS točke

Nakon što su VRS točke definirane kao fiksne (kontrolne) točke, označavaju se sve točke uključene u mrežu te se pokreće naredba „Adjust Network“. Time se pokreće postupak izjednačenja GNSS mreže, pri čemu se procjenjuju koordinate svih nepoznatih točaka na temelju prethodno obrađenih baznih linija. U dijaloškom okviru za izjednačenje mreže odabiru se fiksne koordinate referentnih točaka, pri čemu se za svaku fiksiranu točku aktiviraju horizontalne (2D) i visinske (h) komponente (Slika 3.3.19). Nakon definiranja ograničenja (*constraints*), provodi se izjednačenje mreže.



Slika 3.3.19 Adjust Network

Nakon provedbe izjednačenja GNSS mreže u alatu Adjust Network, u sažetku rezultata prikazano je da statistički test izjednačenja nije zadovoljen (Chi Square test (95%): Failed), što upućuje na to da opažanja nisu u skladu s očekivanim modelom točnosti te da u mreži postoji problematično opažanje, odnosno vektor. Posljedično, izjednačenje se smatra neuspješnim te je potrebno provesti dodatnu analizu rezultata (Slika 3.3.20).



Slika 3.3.20 Neuspješno izjednačenje

Radi detaljnijeg uvida otvara se Network Adjustment Report, u kojem su prikazani reziduali, a-posteriori pogreške i standardizirani reziduali pojedinih opažanja. U izvještaju su dva vektora označena crvenom bojom, što označava da navedena opažanja odstupaju iznad dopuštenih granica te se mogu interpretirati kao grube pogreške u mreži (Slika 3.3.21). Vektore kod kojih su uočene grube pogreške potrebno je isključiti iz daljnje obrade (Disable).

Adjusted GNSS Observations

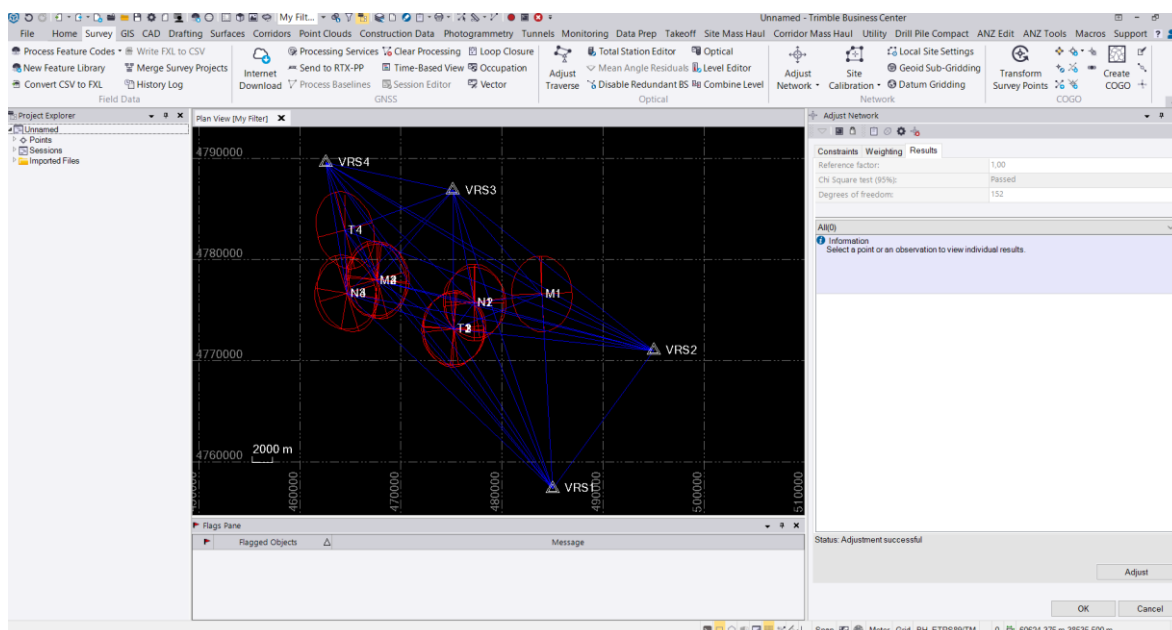
Transformation Parameters

Deflection in Latitude: 0,018 sec (DRMS) 0,029 sec
 Deflection in Longitude: 0,004 sec (DRMS) 0,028 sec
 Azimuth Rotation: 0,003 sec (DRMS) 0,003 sec
 Scale Factor: 0,99999998 (DRMS) 0,00000001

Observation ID		Observation	A-posteriori Error	Residual	Standardized Residual
N3 ---> M3 (PV3)	Az.	65°20'29,4"	0,107 sec	-0,137 sec	-1,005
	ΔHt.	-11,1899 m	0,0112 m	0,0270 m	1,886
	Ellip Dist.	3214,5783 m	0,0015 m	-0,0075 m	-4,449
M4 ---> N4 (PV4)	Az.	245°21'57,9"	0,100 sec	-0,168 sec	-1,343
	ΔHt.	11,2137 m	0,0094 m	-0,0144 m	-1,278
	Ellip Dist.	3214,5839 m	0,0011 m	-0,0052 m	-4,022
VRS3 ---> N2 (PV32)	Az.	169°13'56,5"	0,018 sec	-0,008 sec	-0,293
	ΔHt.	54,4250 m	0,0074 m	0,0169 m	1,581
	Ellip Dist.	11327,6091 m	0,0013 m	-0,0048 m	-2,596
VRS2 ---> N4 (PV17)	Az.	280°28'47,7"	0,008 sec	-0,012 sec	-0,591
	ΔHt.	110,9066 m	0,0078 m	0,0035 m	0,177
	Ellip Dist.	30863,5369 m	0,0010 m	0,0067 m	2,576
VRS3 ---> M4 (PV34)	Az.	220°07'04,0"	0,023 sec	-0,118 sec	-2,496
	ΔHt.	99,7011 m	0,0088 m	-0,0068 m	-0,386

Slika 3.3.21 Network Adjustment Report

Nakon isključenja vektora kod kojih su uočene grube pogreške, provedeno je ponovno izjednačenje GNSS mreže. U ponovljenom postupku izjednačenja statistički test je zadovoljen (Chi Square test (95%): Passed), što upućuje na to da preostala opažanja odgovaraju pretpostavljenom modelu točnosti (Slika 3.3.22).



Slika 3.3.22 Uspješno izjednačenje mreže

Nakon uspješno provedenog izjednačenja GNSS mreže, generira se izvještaj s konačnim izjednačenim koordinatama točaka. Odabirom opcije Reports → Point List dobiva se tablični prikaz svih obrađenih točaka s pripadajućim koordinatama u odabranom koordinatnom sustavu (Slika 3.3.23).

Point List				
ID	Easting (Meter)	Northing (Meter)	Elevation (Meter)	Feature Code
M1	483933,866	4776558,938	253,179	
M2	467578,136	4777936,732	170,331	
M3	467578,139	4777936,724	170,347	
M4	467578,142	4777936,729	170,306	
N1	477227,996	4775724,844	125,039	
N2	477227,997	4775724,840	125,030	
N3	464650,040	4776610,853	181,522	
N4	464650,031	4776610,856	181,519	
T1	475199,044	4773111,694	66,361	
T2	475199,045	4773111,688	66,351	
T3	475199,046	4773111,686	66,383	
T4	464429,999	4782899,213	139,866	
VRS1	485008,143	4757314,319	70,608	
VRS2	494991,736	4770975,313	70,608	
VRS3	475152,546	4786859,620	70,608	
VRS4	462557,060	4789600,648	70,608	
24. 10. 2025. 10:36:29	C:\Users\Korisnik\Documents\Trimble Business Center\DIPLOMSKI - MARTA.vce		Trimble Business Center	

Slika 3.3.23 Point list – konačne koordinate

4. TRANSFORMACIJA KOORDINATA

Datumske transformacije predstavljaju postupke promjene koordinata točaka iz jednog geodetskog datuma u drugi primjenom odgovarajućih transformacijskih parametara. U praksi postoji više različitih metoda datumskih transformacija, koje se mogu klasificirati prema nekoliko osnovnih obilježja (Varga 2021):

- dimenzionalnosti transformacije: jednodimenzionalne (1D), dvodimenzionalne (2D) ili trodimenzionalne (3D),
- broju uključenih parametara: od jednostavnih transformacija s jednim parametrom do složenijih modela s ukupno četrnaest parametara,
- vrsti ulaznih koordinata:
 - visinske koordinate (elipsoidne visine h ili ortometrijske visine H),
 - položajne koordinate (geodetske 2D koordinate φ, λ ili ravninske koordinate E, N),
 - prostorne koordinate (geodetske 3D koordinate φ, λ, h ili Kartezijeve koordinate X, Y, Z),
- razini složenosti matematičkog modela,
- postignutoj točnosti transformacije.

Odabir odgovarajuće transformacijske metode ovisi o konkretnom geodetskom zadatku i zahtijevanoj točnosti rezultata. Općenito, datumske transformacije mogu se svrstati u nekoliko osnovnih skupina primjena:

- transformacije između lokalnog i globalnog geodetskog referentnog sustava
- transformacije između različitih visinskih datuma
- transformacije između globalnih geodetskih referentnih okvira

4.1 3D transformacije koordinata

Trodimenzionalna transformacija s tri parametra predstavlja najjednostavniji oblik datumskih transformacija te se danas koristi uglavnom u ograničenim ili povijesnim primjenama. Metoda se temelji isključivo na translacijama koordinata u smjeru triju koordinatnih osi, pri čemu se ne uzimaju u obzir rotacije ni promjena mjerila. U praksi se primjenjuje nad Kartezijevim geocentričkim koordinatama (X, Y, Z) ili nad lokalnim pravokutnim koordinatama (x, y, z).

Transformacija iz izvornog u ciljni sustav opisana je sljedećim izrazom:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_t = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_s + \begin{bmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

gdje su T_X, T_Y, T_Z translacijski parametri, odnosno linearni pomaci u smjeru osi X, Y i Z . Zbog zanemarivanja rotacija i razlike u mjerilu, ova metoda ima ograničenu točnost te se danas smatra pojednostavljenim i zastarjelim modelom za ozbiljnije geodetske primjene.

Pet-parametarska transformacija, poznata i kao Molodenskijeva transformacija, provodi se izravno nad geodetskim koordinatama točaka, odnosno geografskom širinom φ , geografskom dužinom λ i elipsoidnom visinom h . Model uključuje tri translacijska parametra između ishodišta dvaju datuma te razlike u dimenzijama referentnih elipsoida, izražene preko promjene velike poluosi i spljoštenosti.

U općem obliku transformacija se zapisuje kao:

$$\begin{bmatrix} \varphi \\ \lambda \\ h \end{bmatrix}_t = \begin{bmatrix} \varphi \\ \lambda \\ h \end{bmatrix}_s + \begin{bmatrix} \Delta\varphi \\ \Delta\lambda \\ \Delta h \end{bmatrix}_{\text{Molod-5p-st}} \quad (2)$$

gdje su: φ, λ, h geodetske koordinate, $\Delta\varphi$ i $\Delta\lambda$ u radijanima, Δh je u metrima.

Helmertova 7-parametarska transformacija provodi se nad geocentričkim Kartezijevim koordinatama (X, Y, Z) i ubraja se u konformne transformacije, što znači da pri transformaciji zadržava kutove i geometrijske oblike (ne uvodi smične deformacije). Model uključuje tri translacije (linearni pomaci) ishodišta (T_X, T_Y, T_Z), tri rotacije kutova oko koordinatnih osi (R_X, R_Y, R_Z), i promjena mjerila (Δs)

Opći zapis transformacije može se prikazati kao:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_t = (1 + \Delta s) \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_s + \begin{bmatrix} 0 & R_Z & -R_Y \\ -R_Z & 0 & R_X \\ R_Y & -R_X & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_s + \begin{bmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \end{bmatrix} \quad (3)$$

gdje je: s ishodišni (polazni) koordinatni sustav, t ciljani koordinatni sustav, (T_X, T_Y, T_Z) u metrima, (R_X, R_Y, R_Z), u radijanima. Δs mjerilo u [ppm].

Rotacijski dio transformacije u općem slučaju može se zapisati pomoću Helmertove rotacijske matrice, koja opisuje prostornu rotaciju koordinatnog sustava oko osi X, Y i Z :

$$\begin{bmatrix} \cos R_Y \cos R_Z & \cos R_Y \sin R_Z & -\sin R_X \\ \sin R_X \sin R_Y \cos R_Z - \cos R_X \sin R_Z & \sin R_X \sin R_Y \sin R_Z + \cos R_X \cos R_Z & \sin R_X \cos R_Y \\ \cos R_X \sin R_Y \cos R_Z + \sin R_X \sin R_Z & \cos R_X \sin R_Y \sin R_Z - \sin R_X \cos R_Z & \cos R_X \cos R_Y \end{bmatrix} \quad (4)$$

Burša–Wolf pristup može se promatrati kao posebni slučaj Helmertove transformacije u situacijama kada su kutovi rotacije vrlo mali. Tada se rotacije mogu linearizirati jer vrijede aproksimacije:

- sinus malog kuta jednak je tom kutu,
- umnožak dva sinusa malih kutova je 0,
- kosinus malog kuta je 1.

$$\begin{bmatrix} 0 & R_Z & -R_Y \\ -R_Z & 0 & R_X \\ R_Y & -R_X & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Deset-parametarska transformacija, poznata i kao Molodenski–Badekasova transformacija, provodi se nad geocentričkim Kartezijevim koordinatama (X, Y, Z). Konceptualno je vrlo slična Burša–Wolfvoj 7-parametarskoj transformaciji, ali se razlikuje u načinu na koji se modelira rotacija. Umjesto rotacije oko ishodišta globalnog koordinatnog sustava, rotacija

se provodi oko baricentra (centroida), skupa identičnih točaka u ciljnom koordinatnom sustavu. Zbog toga se u model uvode dodatni parametri koji opisuju koordinate baricentra (X_0, Y_0, Z_0) .

Za razliku od Burša–Wolfove transformacije, Molodenski–Badekasov model nije strogo reverzibilan, jer su transformacijski parametri vezani uz lokalno definirano ishodište, odnosno centroid referentnih točaka. Takav pristup pokazuje se pogodnijim kod transformacije manjih, lokalnih geodetskih mreža, dok se Burša–Wolfov model češće primjenjuje na velikim područjima, poput državnih ili kontinentalnih mreža, gdje se ishodište koordinata smatra globalnim.

Transformacija se može zapisati u sljedećem obliku:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_t = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_s + \begin{bmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & R_Z & -R_Y \\ -R_Z & 1 & R_X \\ R_Y & -R_X & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_s - X_0 \\ Y_s - Y_0 \\ Z_s - Z_0 \end{bmatrix} + (1 + Sc) \begin{bmatrix} X_s - X_0 \\ Y_s - Y_0 \\ Z_s - Z_0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Trodimenzionalni polinomni model, poznat i kao model multiple regresije, je:

$$\Delta X = \sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^i A_{ij} u^j v^{i-j} ; \Delta Y = \sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^i B_{ij} u^j v^{i-j} ; \Delta Z = \sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^i C_{ij} u^j v^{i-j} \quad (7)$$

gdje su A, B i C koeficijenti polinoma, (φ_0, λ_0) koordinate centroida područja, $u = \varphi - \varphi_0$ i $v = \lambda - \lambda_0$.

14-p transformacija sastoji se od sedam standardnih Helmertovih parametara: translacije (T_X, T_Y, T_Z) , rotacije (R_X, R_Y, R_Z) , promjena mjerila Sc i sedam parametara koji modeliraju vremenske promjene: translacijskih parametara $(\dot{T}_X, \dot{T}_Y, \dot{T}_Z)$, rotacijskih parametara $(\dot{R}_X, \dot{R}_Y, \dot{R}_Z)$, i promjene mjerila \dot{Sc} .

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_t = \begin{bmatrix} T_X + \dot{T}_X(t - t_0) \\ T_Y + \dot{T}_Y(t - t_0) \\ T_Z + \dot{T}_Z(t - t_0) \end{bmatrix} + [1 + Sc + \dot{Sc}(t - t_0)] + R \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_s \quad (8)$$

Gdje je rotacijska matrica R :

$$\begin{bmatrix} 1 & R_Z + \dot{R}_Z(t - t_0) & -R_Y - \dot{R}_Y(t - t_0) \\ -R_Z - \dot{R}_Z(t - t_0) & 1 & R_X + \dot{R}_X(t - t_0) \\ R_Y + \dot{R}_Y(t - t_0) & -R_X - \dot{R}_X(t - t_0) & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

4.2 Transformacijski parametri

Transformacije koordinata mogu se provoditi na dva osnovna načina, ovisno o tome jesu li transformacijski parametri unaprijed poznati ili se određuju na temelju mjerenja. Kada su parametri transformacije unaprijed definirani i poznati, postupak se najčešće naziva konverzijom koordinata. U slučaju kada transformacijski parametri nisu poznati unaprijed, već se procjenjuju na temelju dostupnih podataka, govori se o transformaciji u užem smislu riječi. U tom se slučaju parametri određuju empirijski, odnosno računaju iz koordinata točaka koje su poznate u oba koordinatna sustava (Roić i Cetl 2002).

Skup vrijednosti koji u matematičkom smislu opisuje odnos između dvaju referentnih sustava naziva se transformacijskim parametrima. Ti se parametri određuju na temelju

koordinata identičnih točaka koje su zadane u oba sustava, pri čemu se jedan sustav može označiti kao polazni (A), a drugi kao ciljani (B). Za svaku identičnu točku definiraju se vektori koordinata u oba sustava, a razlika tih vektora predstavlja vektor pomaka između sustava. Na taj se način za svaku točku dobiva veza između koordinata u sustavu A i odgovarajućih koordinata u sustavu B, što čini osnovu za procjenu transformacijskih parametara odabranog transformacijskog modela.

$$X_A^i = \begin{bmatrix} X_A^i \\ Y_A^i \\ Z_A^i \end{bmatrix}, X_B^i = \begin{bmatrix} X_B^i \\ Y_B^i \\ Z_B^i \end{bmatrix}, L^i = X_B^i - X_A^i, l^i = X_A^i - X_B^i \quad (10)$$

Za pouzdanu i stabilnu procjenu transformacijskih parametara nužno je raspolagati većim brojem identičnih točaka od minimalno potrebnog broja koji zahtijeva pojedini transformacijski model. Veći broj identičnih točaka omogućuje robusniju procjenu parametara te smanjuje utjecaj slučajnih pogrešaka pojedinih mjerenja, čime se povećava pouzdanost i točnost rezultata transformacije (Varga 2021).

5. IZRAČUN TRANSFORMACIJE I ANALIZA REZULTATA

U ovom poglavlju prikazana je provedba transformacija koordinata između različitih referentnih sustava primjenom dostupnih transformacijskih parametara. Dobiiveni rezultati analizirani su i uspoređeni s ciljem procjene točnosti i prikladnosti lokalnih i nacionalnih transformacijskih modela na promatranom području.

5.1 Transformacijski parametri i ulazni skup podataka

Za potrebe provedbe transformacija koordinata korišteni su lokalni i nacionalni transformacijski parametri te referentne koordinate identičnih točaka u Gauss–Krügerovom projekcijskom sustavu. Podaci su pribavljeni od nadležnih institucija, pri čemu su nacionalni transformacijski parametri preuzeti od Federalne geodetske uprave, dok su lokalni transformacijski parametri za područja Čapljine i Ljubuškog osigurani od nadležnih lokalnih katastarskih ureda. Time je osigurana primjena službenih i važećih parametara za transformaciju između GNSS referentnog sustava i starijeg lokalnog koordinatnog sustava. U geodetskoj praksi u Bosni i Hercegovini paralelno su u primjeni nacionalni transformacijski parametri, koji vrijede za cjelokupno područje Federacije Bosne i Hercegovine, te lokalni transformacijski parametri, definirani za pojedine katastarske zone ili administrativna područja. Razlog uspostave lokalnih parametara proizlazi iz povijesno neujednačene kvalitete i heterogenosti starijih geodetskih mreža, zbog čega jedinstveni nacionalni model ne može osigurati jednaku razinu točnosti na svim područjima. Cilj ovog dijela rada jest prikazati i usporediti primijenjene skupove nacionalnih i lokalnih transformacijskih parametara te analizirati njihov utjecaj na točnost transformiranih koordinata na područjima općina Čapljina i Ljubuški. Nacionalni transformacijski parametri primjenjuju se na cijelom području Federacije Bosne i Hercegovine, dok se lokalni parametri koriste isključivo unutar granica pripadajućih katastarskih zona promatranih općina.

U nastavku su prikazane tablice s preuzetim transformacijskim parametrima za promatrana područja. Tablica 5.1.1 sadrži nacionalne transformacijske parametre, dok su u preostale dvije tablice prikazani lokalni transformacijski parametri za područje Čapljine i Ljubuškog (tablica 5.1.3) (tablica 5.1.2).

Tablica 5.1.1 Nacionalni transformacijski parametri

Parametar	Oznaka	Vrijednost	Jedinica
Translacija po osi X	d_X	-488,460	[m]
Translacija po osi Y	d_Y	-179,498	[m]
Translacija po osi Z	d_Z	-534,458	[m]
Rotacija po osi X	R_X	5,63638	['']
Rotacija po osi Y	R_Y	4,73988	['']
Rotacija po osi Z	R_Z	-12,51902	['']
Promjena mjerila	S_c	-1,22795	[ppm]

Tablica 5.1.2 Transformacijski parametri Ljubuški

Parametar	Oznaka	Vrijednost	Jedinica
Translacija po osi X	d_X	-232,9210	[m]
Translacija po osi Y	d_Y	-321,5510	[m]
Translacija po osi Z	d_Z	-813,9730	[m]
Rotacija po osi X	R_X	8,96716311	["]
Rotacija po osi Y	R_Y	17,38989757	["]
Rotacija po osi Z	R_Z	-15,42801849	["]
Promjena mjerila	S_c	5,944514	[ppm]

Tablica 5.1.3 Transformacijski parametri Čapljina

Parametar	Oznaka	Vrijednost	Jedinica
Translacija po osi X	d_X	-494,444	[m]
Translacija po osi Y	d_Y	-83,408	[m]
Translacija po osi Z	d_Z	-628,379	[m]
Rotacija po osi X	R_X	4,06825	["]
Rotacija po osi Y	R_Y	7,11764	["]
Rotacija po osi Z	R_Z	-9,11809	["]
Promjena mjerila	S_c	6,4075	[ppm]

Nacionalni transformacijski parametri određeni su primjenom Burša–Wolf metode, što podrazumijeva uporabu 7-parametarskog Helmertovog transformacijskog modela s aproksimacijom rotacijske matrice za male kutove rotacije. Na važnost odabira ovog modela i načina primjene rotacija ukazuje se u nastavku rada kroz usporedbu rezultata dobivenih aproksimiranim i punim oblikom rotacijske matrice, što se očituje u razlici postignute točnosti transformacije.

Uz transformacijske parametre, od nadležnih institucija pribavljene su i referentne koordinate identičnih točaka u Gauss–Krügerovom koordinatnom sustavu (tablica 5.1.4). Te su koordinate korištene kao polazni skup podataka za transformaciju u geodetski sustav definiran Besselovim elipsoidom te daljnju transformaciju u trodimenzionalne Kartezijeve koordinate. Tablica u nastavku prikazuje preuzete Gauss–Krügerove koordinate promatranih točaka.

Tablica 5.1.4 referentne koordinate identičnih točaka u Gauss–Krügerovom koordinatnom sustavu

Oznaka točke	Y	X	H
T127	4776060.892	6484340.790	211.364
T23	4775226.772	6477634.844	83.384
T299	4772613.542	6475605.897	24.703
T186	4777438.566	6467984.864	128.417
T239	4782401.098	6464836.708	98.059
T187	4776112.618	6465056.894	139.915

5.2 Transformacija iz Gauss–Krügerovog sustava u Besselov sustav te izračun trodimenzionalnih Kartezijevih koordinata

Ulazni skup podataka za provedbu 3D datumskih transformacija čine koordinate točaka u Gauss–Krügerovoj projekciji. Budući da se transformacijski modeli primjenjuju nad geocentričkim Kartezijevim koordinatama, bilo je nužno provesti postupak konverzije koordinata. Taj postupak obuhvaća najprije transformaciju ravninskih koordinata iz Gauss–Krügerove projekcije u geodetske koordinate na Besselovom referentnom elipsoidu, a zatim transformaciju geodetskih koordinata u trodimenzionalne Kartezijeve koordinate (X, Y, Z).

Postupak transformacije iz Gauss–Krügerovog sustava u geodetske koordinate na Besselovom elipsoidu proveden je prema postupku opisanom u skripti Geodetski referentni sistemi – Praktikum (Krdžalić 2018), sukladno primjerima i numeričkom postupku prikazanom u zadatku 4.3, gdje se opisuje transformacija ravninskih koordinata u elipsoidne koordinate. U numeričkoj provedbi korištene su standardne relacije za inverznu transformaciju ravninskih koordinata u elipsoidne, pri čemu su pomoćni koeficijenti elipsoida ($\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon$) preuzeti iz tabličnih vrijednosti navedenih u skripti.

Na temelju reduciranih Gauss–Krügerovih koordinata izračunate su nereducirane koordinate uklanjanjem utjecaja mjerila projekcije i lažnog ishodišta:

$$\bar{x} = \frac{x}{m_0}, \bar{y} = \frac{y-y_0}{m_0} \quad (11)$$

gdje je $m_0=0,9999$ mjerilo na srednjem meridijanu, a $y_0=6\,500\,000$ lažno ishodište Gauss–Krügerove zone. Približna vrijednost geodetske širine određena je relacijom:

$$\varphi_0 = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (12)$$

nakon čega je konačna vrijednost geodetske širine dobivena iterativnim poboljšanjem:

$$\varphi = \varphi_0 + \beta \sin(2\varphi_0) + \gamma \sin(4\varphi_0) + \delta \sin(6\varphi_0) + \varepsilon \sin(8\varphi_0) \quad (13)$$

Geodetska dužina izračunata je na temelju nereducirane istočne koordinate, radijusa zakrivljenosti u prvom vertikalalu i geodetske dužine srednjeg meridijana zone:

$$\lambda = \lambda_0 + \frac{\bar{y}}{N \cos \varphi}, \quad N = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \varphi}} \quad (14)$$

pri čemu je geodetska dužina srednjeg meridijana određena izrazom:

$$\lambda_0 = 6^\circ \times Z - 183^\circ \quad (15)$$

gdje oznaka Z predstavlja broj Gauss–Krügerove projekcijske zone. Budući da se sve promatrane točke nalaze unutar iste Gauss–Krügerove zone, vrijednost središnjeg meridijana

uzeta je konstantna za cijelo promatrano područje. Tablica 5.2.1 pokazuje rezultat transformacije geodetskih koordinata na Besselovom elipsoidu.

Tablica 5.2.1 Rezultati geodetskih koordinata na Besselovom elipsoidu

Oznaka točke	φ	λ
T127	43,1285652804	17,8075148163
T23	43,1208872799	17,7251179276
T299	43,0972975354	17,7002969684
T186	43,1404536017	17,6063894218
T239	43,1849909195	17,5673702595
T187	43,1283867158	17,5704759544

Nakon određivanja geodetskih koordinata, provedena je transformacija u trodimenzionalne Kartezijeve koordinate primjenom standardnih relacija za vezu između elipsoidnih i Kartezijevih koordinata:

$$X = (N + h)\cos\varphi\cos\lambda, Y = (N + h)\cos\varphi\sin\lambda, Z = (N(1 - e^2) + h)\sin\varphi, \quad (16)$$

gdje je a velika poluos elipsoida, e prva ekscentričnost elipsoida, φ geodetska širina, λ geodetska dužina, a h elipsoidna visina.

Taj je postupak proveden prema formulama navedenim u skripti Krdžalića (2018), sukladno primjerima iz zadatka 3.2, u kojem je prikazano računanje prostornih koordinata X , Y i Z iz geodetskih koordinata φ , λ i elipsoidne visine h . Na taj način dobiven je skup prostornih koordinata točaka u Besselovom referentnom sustavu, koji predstavlja polaznu osnovu za daljnju primjenu 3D transformacijskih modela (tablica 5.2.2).

Tablica 5.2.2 3D Kartezijeve koordinate u Besselovom sustavu

Oznaka točke	X	Y	Z
T127	4438442,5451855445	1425670,1772385365	4337644,9547180878
T23	4440954,5975362612	1419434,8638666770	4336934,9544109395
T299	4443234,2799439067	1418042,3152850319	4334981,7948375009
T186	4442501,3899280718	1409789,7350551763	4338551,9713594178
T239	4440212,7533835368	1405735,8147844672	4342139,9484098526
T187	4444265,9129672702	1407284,0623644460	4337581,6327679353

Provedba navedenog postupka bila je nužna jer transformacijski modeli korišteni u ovom radu djeluju nad geocentričkim Kartezijevim koordinatama. Izravna primjena tih modela na ravninske Gauss–Krügerove koordinate nije moguća, budući da se radi o projekcijskom sustavu koji ne opisuje položaj točke u trodimenzionalnom prostoru. Stoga transformacija u Besselov referentni sustav i pripadne 3D Kartezijeve koordinate predstavlja nužan međukorak koji osigurava konzistentnu i matematički ispravnu primjenu 3D datumskih transformacija u daljnjoj analizi.

5.3 Transformacija koordinata (BH_ETRS89 -> Bessel)

Transformacija koordinata predstavlja središnji i metodološki najvažniji dio ovoga rada, budući da se u ovom koraku provodi prijenos koordinata dobivenih GNSS mjerenjima iz suvremenog referentnog sustava BHETRS89 u stariji referentni sustav definiran Besselovim elipsoidom. Time je omogućena izravna usporedba koordinata dobivenih modernim

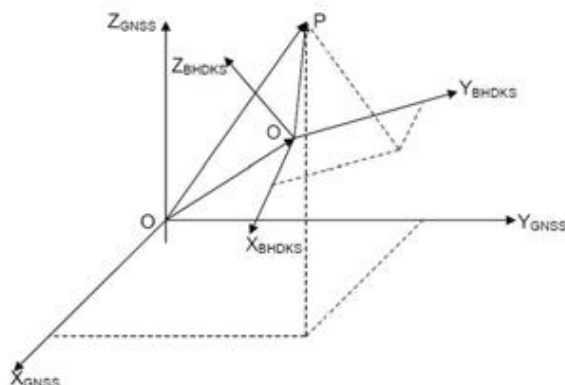
satelitskim mjerenjima s koordinatama u tradicionalnom državnom koordinatnom sustavu, kao i analiza točnosti i prikladnosti primijenjenih lokalnih i nacionalnih transformacijskih parametara.

Transformacija koordinata provedena je sukladno odredbama važećeg Pravilnika o primjeni satelitskih mjerenja u geodeziji, kojim je definiran matematički model 3D datumskih transformacija između globalnih i lokalnih referentnih sustava. U skladu s navedenim pravilnikom, veza između prostornih koordinata točke u GNSS referentnom sustavu i koordinata iste točke u ciljnom sustavu prikazana je na slici.

$$X_{\text{BHDKS}} = c + \mu R X_{\text{GNSS}}$$

gdje je μ faktor mjerila, $c = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix}$ vektor translacije i $R(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$ matrica rotacije oko koordinatnih osi X, Y, Z

$$R = \begin{bmatrix} \cos\alpha_2 \cos\alpha_3 & \cos\alpha_1 \sin\alpha_3 + \sin\alpha_1 \sin\alpha_2 \cos\alpha_3 & \sin\alpha_1 \sin\alpha_3 - \cos\alpha_1 \sin\alpha_2 \cos\alpha_3 \\ -\cos\alpha_2 \sin\alpha_3 & \cos\alpha_1 \cos\alpha_3 - \sin\alpha_1 \sin\alpha_2 \sin\alpha_3 & \sin\alpha_1 \cos\alpha_3 + \cos\alpha_1 \sin\alpha_2 \sin\alpha_3 \\ \sin\alpha_2 & -\sin\alpha_1 \cos\alpha_2 & \cos\alpha_1 \cos\alpha_2 \end{bmatrix}$$



Slika 5.3.1 Matematički model 3D datumskih transformacija za FBiH

Primijenjeni transformacijski model temelji se na 7-parametarskoj Helmertovoj transformaciji. Transformacija je provedena primjenom dostupnih nacionalnih i lokalnih transformacijskih parametara, pri čemu su nacionalni parametri dobiveni Burša–Wolfomovom metodom, odnosno uz aproksimirani oblik rotacijske matrice za male kutove rotacije. U radu je, radi procjene utjecaja matematičkog modela rotacije na konačne rezultate, dodatno razmotrena i primjena punog oblika rotacijske matrice, što omogućuje detaljniju analizu osjetljivosti transformacije na odabrani matematički model.

Postupak transformacije proveden je na sljedeći način: za svaku točku najprije su korištene prostorne koordinate dobivene obradom GNSS mjerenja u FBiH referentnom sustavu (tablica 5.3.1). Na te koordinate primijenjen je odabrani transformacijski model uz korištenje odgovarajućeg skupa transformacijskih parametara (lokalnih i nacionalnih). Time su dobivene transformirane prostorne koordinate u ciljnom referentnom sustavu definiranom Besselovim elipsoidom. Dobiveni rezultati zatim su korišteni u daljnjoj analizi, pri čemu su uspoređeni s referentnim koordinatama točaka dobivenim iz starijeg koordinatnog sustava.

Tablica 5.3.1 Koordinate dobivene obradom GNSS mjerenja u BHETRS89

Oznaka točke	X	Y	Z
M1	4439121,423	1425462,728	4338120,652
M2	4443179,502	1409582,144	4339027,120
M3	4443179,517	1409582,152	4339027,126
M4	4443179,484	1409582,144	4339027,101
N1	4441633,022	1419227,388	4337410,269
N2	4441633,019	1419227,388	4337410,260
N3	4444943,690	1407076,212	4338056,492
N4	4444943,688	1407076,203	4338056,492
T1	4443912,607	1417834,718	4335457,074
T2	4443912,604	1417834,718	4335457,063
T3	4443912,627	1417834,727	4335457,084
T4	4440890,657	1405528,159	4342614,866

U tablicama 5.3.2, 5.3.3 i 5.3.4 prikazani su rezultati transformacije koordinata naprijed iz referentnog sustava BHETRS89 (GNSS koordinate) u ciljani referentni sustav temeljen na Besselovom elipsoidu, pri čemu su primijenjeni lokalni transformacijski parametri za općine Ljubuški i Čapljina te nacionalni transformacijski parametri. Prikazani su međukoraci računanja, odnosno rezultati primjene rotacijske matrice na ulazne GNSS koordinate ($R \cdot XYZ_{GNSS}$), zatim rezultati nakon primjene faktora mjerila ($\mu \cdot R \cdot XYZ_{GNSS}$) te konačne transformirane koordinate nakon dodavanja vektora translacije ($c + \mu \cdot R \cdot XYZ_{GNSS}$).

Na taj način omogućena je transparentna provjera cjelokupnog postupka transformacije za svaku točku i za svaki skup transformacijskih parametara.

Tablica 5.3.2 Transformacija naprijed transformacijskim parametrima općine Ljubuški

Transformacija naprijed transformacijskim parametrima općine Ljubuški			
	T1	M2	M1
	4443441,004	4442708,215	4438649,025
R*XYZ(GNSS)	1418355,557	1410103,084	1425983,325
	4335770,076	4339340,418	4338432,918
	4443467,418	4442734,625	4438675,41
μ *R*XYZ(GNSS)	1418363,989	1410111,466	1425991,801
	4335795,85	4339366,214	4338458,708
	4443234,497	4442501,704	4438442,489
$c+\mu$ *R*XYZ(GNSS)	1418042,438	1409789,915	1425670,25
	4334981,877	4338552,241	4337644,735
	M3	M4	N1
	4442708,23	4442708,197	4441161,15
R*XYZ(GNSS)	1410103,092	1410103,084	1419748,142
	4339340,424	4339340,399	4337723,018

	4442734,64	4442734,607	4441187,55
$\mu^*R^*XYZ(GNSS)$	1410111,474	1410111,466	1419756,581
	4339366,22	4339366,195	4337748,803
	4442501,719	4442501,686	4440954,629
$c+\mu^*R^*XYZ(GNSS)$	1409789,923	1409789,915	1419435,03
	4338552,247	4338552,222	4336934,83
	N2	N3	N4
	4441161,147	4444472,672	4444472,67
$R^*XYZ(GNSS)$	1419748,142	1407597,241	1407597,232
	4337723,009	4338370,048	4338370,048
	4441187,547	4444499,092	4444499,09
$\mu^*R^*XYZ(GNSS)$	1419756,581	1407605,609	1407605,6
	4337748,794	4338395,838	4338395,838
	4440954,626	4444266,171	4444266,169
$c+\mu^*R^*XYZ(GNSS)$	1419435,03	1407284,058	1407284,049
	4336934,821	4337581,865	4337581,865
	T2	T3	T4
	4443441,001	4443441,024	4440419,371
$R^*XYZ(GNSS)$	1418355,557	1418355,566	1406049,083
	4335770,065	4335770,086	4342928,148
	4443467,415	4443467,438	4440445,767
$\mu^*R^*XYZ(GNSS)$	1418363,989	1418363,998	1406057,442
	4335795,839	4335795,86	4342953,964
	4443234,494	4443234,517	4440212,846
$c+\mu^*R^*XYZ(GNSS)$	1418042,438	1418042,447	1405735,891
	4334981,866	4334981,887	4342139,991

Tablica 5.3.3 Transformacija naprijed transformacijskim parametrima općine Čapljina

Transformacija naprijed transformacijskim parametrima općine Čapljina			
	T1	M2	M1
	4443700,316	4442967,452	4438908,703
$R^*XYZ(GNSS)$	1418116,666	1409864,13	1425744,517
	4335582,453	4339152,637	4338245,716
	4443728,789	4442995,921	4438937,145
$\mu^*R^*XYZ(GNSS)$	1418125,753	1409873,164	1425753,652

	4335610,234	4339180,44	4338273,513
	4443234,345	4442501,477	4438442,701
c+ μ *R*XYZ(GNSS)	1418042,345	1409789,756	1425670,244
	4334981,855	4338552,061	4337645,134
	M3	M4	N1
	4442967,467	4442967,434	4441420,602
R*XYZ(GNSS)	1409864,138	1409864,13	1419509,274
	4339152,643	4339152,618	4337535,542
	4442995,936	4442995,903	4441449,06
μ *R*XYZ(GNSS)	1409873,172	1409873,164	1419518,37
	4339180,446	4339180,421	4337563,335
	4442501,492	4442501,459	4440954,616
c+ μ *R*XYZ(GNSS)	1409789,764	1409789,756	1419434,962
	4338552,067	4338552,042	4336934,956
	N2	N3	N4
	4441420,599	4444731,785	4444731,783
R*XYZ(GNSS)	1419509,274	1407358,257	1407358,248
	4337535,533	4338182,119	4338182,119
	4441449,057	4444760,264	4444760,262
μ *R*XYZ(GNSS)	1419518,37	1407367,275	1407367,266
	4337563,326	4338209,916	4338209,916
	4440954,613	4444265,82	4444265,818
c+ μ *R*XYZ(GNSS)	1419434,962	1407283,867	1407283,858
	4336934,947	4337581,537	4337581,537
	T2	T3	T4
	4443700,313	4443700,336	4440678,663
R*XYZ(GNSS)	1418116,666	1418116,675	1405810,115
	4335582,442	4335582,463	4342740,384
	4443728,786	4443728,809	4440707,117
μ *R*XYZ(GNSS)	1418125,753	1418125,762	1405819,123
	4335610,223	4335610,244	4342768,21
	4443234,342	4443234,365	4440212,673
c+ μ *R*XYZ(GNSS)	1418042,345	1418042,354	1405735,715
	4334981,844	4334981,865	4342139,831

Tablica 5.3.4 Transformacija naprijed nacionalnim transformacijskim parametrima

Transformacija naprijed nacionalnim transformacijskim parametrima			
	T1	M2	M1
	4443726,926	4442994,24	4438935,218
R*XYZ(GNSS)	1418222,907	1409970,386	1425850,699
	4335520,45	4339090,704	4338183,709
	4443721,469	4442988,784	4438929,767
μ *R*XYZ(GNSS)	1418221,165	1409968,655	1425848,948
	4335515,126	4339085,376	4338178,382
	4443233,009	4442500,324	4438441,307
c+ μ *R*XYZ(GNSS)	1418041,667	1409789,157	1425669,45
	4334980,668	4338550,918	4337643,924
	M3	M4	N1
	4442994,255	4442994,222	4441447,212
R*XYZ(GNSS)	1409970,394	1409970,386	1419615,492
	4339090,71	4339090,685	4337473,554
	4442988,799	4442988,766	4441441,758
μ *R*XYZ(GNSS)	1409968,663	1409968,655	1419613,749
	4339085,382	4339085,357	4337468,228
	4442500,339	4442500,306	4440953,298
c+ μ *R*XYZ(GNSS)	1409789,165	1409789,157	1419434,251
	4338550,924	4338550,899	4336933,77
	N2	N3	N4
	4441447,209	4444758,602	4444758,6
R*XYZ(GNSS)	1419615,492	1407464,535	1407464,526
	4337473,545	4338120,185	4338120,185
	4441441,755	4444753,144	4444753,142
μ *R*XYZ(GNSS)	1419613,749	1407462,806	1407462,797
	4337468,219	4338114,858	4338114,858
	4440953,295	4444264,684	4444264,682
c+ μ *R*XYZ(GNSS)	1419434,251	1407283,308	1407283,299
	4336933,761	4337580,4	4337580,4
	T2	T3	T4
	4443726,923	4443726,946	4440705,558
R*XYZ(GNSS)	1418222,907	1418222,916	1405916,36
	4335520,439	4335520,46	4342678,508

	4443721,466	4443721,489	4440700,106
$\mu^*R^*XYZ(GNSS)$	1418221,165	1418221,174	1405914,634
	4335515,115	4335515,136	4342673,176
	4443233,006	4443233,029	4440211,646
$c+\mu^*R^*XYZ(GNSS)$	1418041,667	1418041,676	1405735,136
	4334980,657	4334980,678	4342138,718

Nacionalni transformacijski parametri korišteni u ovom radu zadani su u obliku Burša–Wolf modela, koji predstavlja praktičnu implementaciju 7-parametarske Helmertove transformacije za slučaj malih rotacijskih kutova. U tom modelu položaj točke u ciljanom sustavu dobiva se primjenom triju translacija, triju rotacija i faktora mjerila na geocentričke Kartezijeve koordinate polaznog sustava. Budući da su rotacijski parametri u ovakvim datumskim transformacijama vrlo mali (reda veličine lučnih sekundi), moguće je koristiti linearnu aproksimaciju rotacijske matrice, čime se pojednostavljuje računanje bez značajnog gubitka točnosti. Radi provjere utjecaja aproksimacije na konačne rezultate, nacionalni parametri primijenjeni su na dva načina: korištenjem Burša–Wolf aproksimacije rotacijske matrice te korištenjem rotacijske matrice u trigonometrijskom obliku (sin/cos) (tablica 5.3.5). Time je omogućena izravna usporedba rezultata dobivenih pojednostavljenim i modelom bez aproksimacije rotacija, što je osobito važno pri ocjeni osjetljivosti transformacije na način modeliranja rotacija.

Tablica 5.3.5 Transformacija koristeći rotacijsku matricu (cos/sin)

Transformacija naprijed koristeći rotacijsku matricu bez aproksimacija (cos/sin)			
	T1	M1	N1
	4443726,91	4438935,202	4441447,196
	1418222,898	1425850,69	1419615,483
	4335520,447	4338183,706	4337473,551
	4443721,454	4438929,751	4441441,742
	1418221,156	1425848,939	1419613,74
	4335515,123	4338178,379	4337468,225
	4443232,994	4438441,291	4440953,282
	1418041,658	1425669,441	1419434,242
	4334980,665	4337643,921	4336933,767

5.4 Obrnuta transformacija koordinata (Bessel -> BH_ETRS89)

Transformacija koordinata unatrag provedena je s ciljem provjere konzistentnosti i stabilnosti primijenjenog transformacijskog modela. Naime, koordinate dobivene transformacijom naprijed iz GNSS referentnog sustava u ciljani sustav definiranim Besselovim elipsoidom ponovno su transformirane natrag u GNSS referentni sustav. Time

je omogućena izravna usporedba rekonstruiranih GNSS koordinata s izvornim GNSS koordinatama dobivenim mjerenjem.

Ovakav postupak omogućuje procjenu numeričke stabilnosti transformacije te uvida u kumulativni učinak primijenjenih transformacijskih parametara i matematičkog modela. Razlike između izvornih GNSS koordinata i koordinata dobivenih povratnom transformacijom predstavljaju mjeru povratne pogreške transformacije, koja se u idealnom slučaju teži minimalnim vrijednostima. U nastavku je prikazana tablica s rezultatima transformacije koordinata unatrag za lokalne i nacionalne parametre (tablica 5.4.1) (tablica 5.4.2) (tablica 5.4.3).

Tablica 5.4.1 Obrnuta transformacija - parametri Ljubuški

Transformacija natrag transformacijskim parametrima općine Ljubuški			
	T1	M2	M1
	4443912,607	4443179,502	4439121,423
c'+μ'R'XYZ(GK)	1417834,718	1409582,144	1425462,728
	4335457,074	4339027,12	4338120,652
	M3	M4	N1
	4443179,517	4443179,484	4441633,022
c'+μ'R'XYZ(GK)	1409582,152	1409582,144	1419227,388
	4339027,126	4339027,101	4337410,269
	N2	N3	N4
	4441633,019	4444943,69	4444943,688
c'+μ'R'XYZ(GK)	1419227,388	1407076,212	1407076,203
	4337410,26	4338056,492	4338056,492
	T2	T3	T4
	4443912,604	4443912,627	4440890,657
c'+μ'R'XYZ(GK)	1417834,718	1417834,727	1405528,159
	4335457,063	4335457,084	4342614,866

Tablica 5.4.2 Obrnuta transformacija - parametri Čapljina

Transformacija natrag transformacijskim parametrima općine Čapljina			
	T1	M2	M1
	4443912,607	4443179,502	4439121,423
c'+μ'R'XYZ(GK)	1417834,718	1409582,144	1425462,728
	4335457,074	4339027,12	4338120,652
	M3	M4	N1
	4443179,517	4443179,484	4441633,022
c'+μ'R'XYZ(GK)	1409582,152	1409582,144	1419227,388
	4339027,126	4339027,101	4337410,269
	N2	N3	N4
	4441633,019	4444943,69	4444943,688
c'+μ'R'XYZ(GK)	1419227,388	1407076,212	1407076,203
	4337410,26	4338056,492	4338056,492
	T2	T3	T4

	4443912,604	4443912,627	4440890,657
$c'+\mu'R'*XYZ(GK)$	1417834,718	1417834,727	1405528,159
	4335457,063	4335457,084	4342614,866

Tablica 5.4.3 Obrnuta transformacija - nacionalni parametri

Transformacija natrag transformacijskim parametrima općine Čapljina			
	T1	M2	M1
	4443912,607	4443179,502	4439121,423
$c'+\mu'R'*XYZ(GK)$	1417834,718	1409582,144	1425462,728
	4335457,074	4339027,12	4338120,652
	M3	M4	N1
	4443179,517	4443179,484	4441633,022
$c'+\mu'R'*XYZ(GK)$	1409582,152	1409582,144	1419227,388
	4339027,126	4339027,101	4337410,269
	N2	N3	N4
	4441633,019	4444943,69	4444943,688
$c'+\mu'R'*XYZ(GK)$	1419227,388	1407076,212	1407076,203
	4337410,26	4338056,492	4338056,492
	T2	T3	T4
	4443912,604	4443912,627	4440890,657
$c'+\mu'R'*XYZ(GK)$	1417834,718	1417834,727	1405528,159
	4335457,063	4335457,084	4342614,866

Tablica 5.4.4 Obrnuta transformacija koristeći aproksimaciju (transponirane koordinate)

Transformacija natrag koristeći aproksimaciju (funkcija transpose)			
	T1	M1	N1
	4443912,632	4439121,448	4441633,047
	1417834,728	1425462,738	1419227,398
	4335457,089	4338120,667	4337410,284

Tablica 5.4.5 Obrnuta transformacija koristeći rotacijsku matricu (cos/sin)

Transformacija natrag koristeći rotacijsku matricu (cos/sin)			
	T1	M1	N1
	4443912,623	4439121,439	4441633,038
	1417834,727	1425462,737	1419227,397
	4335457,077	4338120,655	4337410,272

Transformacija koordinata iz sustava GK natrag u GNSS referentni sustav provedena je trima različitim postupcima, kako bi se usporedio utjecaj korištenog matematičkog modela rotacije na konačni rezultat. Rezultati transformacije natrag za sve promatrane točke (T1, M1, M2, M3, M4, N1, N2, N3, N4, T2, T3, T4) prikazani su u tablici 5.4.3, gdje je inverzna transformacija izvedena izravnim računanjem inverza matrice transformacije $(\mu R)^{-1}$. Ovaj pristup predstavlja referentno rješenje jer daje matematički točan inverz transformacije u slučaju kada se koristi linearizirana rotacijska matrica Bursa–Wolf modela (Ruffhead 2021).

Radi procjene točnosti aproksimativnih postupaka, provedena je i transformacija natrag korištenjem transponirane matrice rotacije dobivene iz linearizirane (Bursa–Wolf) rotacijske matrice (tablica 5.4.4). Ovaj postupak se u praksi često koristi zbog jednostavnosti implementacije, no budući da linearizirana rotacijska matrica nije strogo ortogonalna, transponirana matrica predstavlja samo aproksimaciju inverza (Ruffhead 2021). Usporedbom rezultata iz tablice 5.4.4 s referentnim vrijednostima iz tablice 5.4.3 uočljive su razlike reda veličine nekoliko centimetara, što potvrđuje da se ovaj postupak ne može smatrati točnim inverzom transformacije.

Treći pristup temelji se na korištenju pune rotacijske matrice formirane pomoću trigonometrijskih funkcija (sinus i kosinus) za Eulerove kutove rotacije, pri čemu je inverz rotacije određen transponiranjem takve ortogonalne matrice (tablica 5.4.5). Budući da je puna rotacijska matrica ortogonalna, vrijedi $R^{-1} = R^T$. Razlike u odnosu na referentno rješenje su u ovom slučaju minimalne i nalaze se na razini milimetara, što potvrđuje da korištenje pune rotacijske matrice osigurava visoku numeričku točnost pri provedbi obrnute transformacije.

Na temelju provedene usporedbe može se zaključiti da je za strogo točan izračun obrnute transformacije pri primjeni Bursa–Wolf modela preporučljivo koristiti izravni inverz matrice transformacije, dok se uporaba transponirane matrice linearizirane rotacije i transponirane rotacijske matrice (cos/sin) može smatrati samo aproksimacijom.

5.5 Analiza i usporedba rezultata transformacije

U ovom podnaslovu provedena je analiza rezultata dobivenih transformacijom koordinata primjenom lokalnih transformacijskih parametara za područje Čapljine i Ljubuškog te nacionalnih transformacijskih parametara. Analiza je temeljena na razlikama koordinata po komponentama (ΔX , ΔY , ΔZ) te na prostornim odstupanjima (3D odstupanja), pri čemu su kao kvantitativni pokazatelji korištene srednje vrijednosti odstupanja, maksimalna odstupanja (d_{\max}) i srednja kvadratna pogreška (RMS).

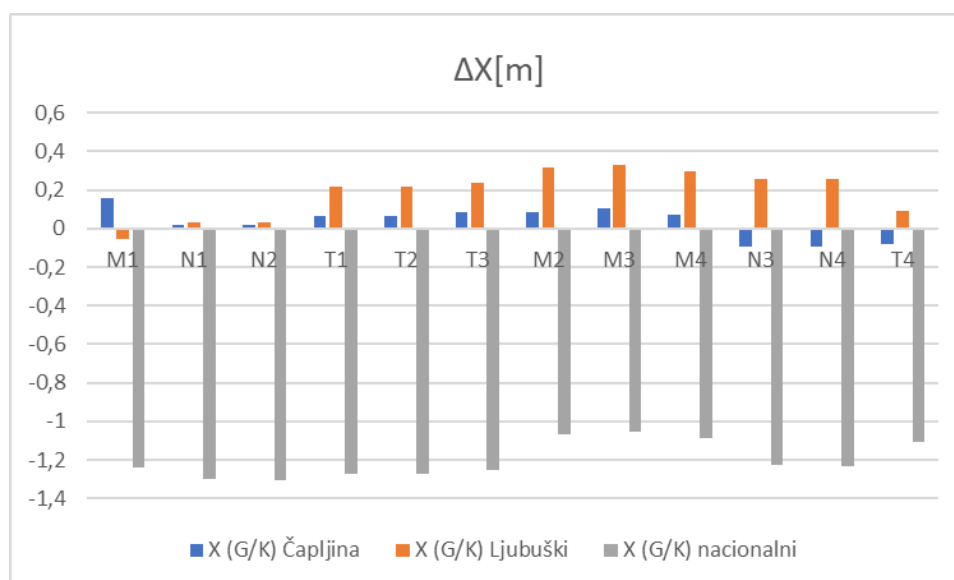
U tablici 5.5.1 prikazane su razlike koordinata po komponentama (ΔX , ΔY , ΔZ) između transformiranih koordinata dobivenih primjenom različitih skupova transformacijskih parametara i referentnih vrijednosti. Prikaz omogućuje neposrednu usporedbu ponašanja lokalnih transformacijskih parametara za područja Čapljine i Ljubuškog te nacionalnih transformacijskih parametara.

Tablica 5.5.1 Razlike koordinata po komponentama (ΔX , ΔY , ΔZ)

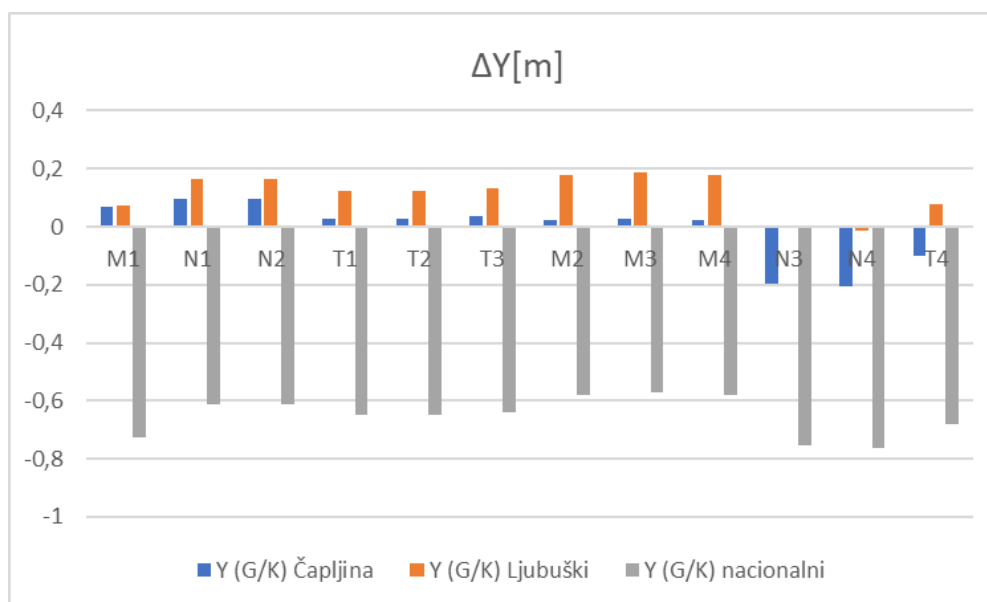
Δ		
Lokalni (Čapljina) - trigonometar		
X (G/K)	Y (G/K)	Z (G/K)
0,155885701	0,067243915	0,179208059
0,018773662	0,097687764	0,001616123
0,015773955	0,097687454	-0,007384039
0,064933395	0,029597931	0,05980722
0,06193431	0,029597581	0,048807045
0,084933336	0,03859907	0,069807795
0,086864964	0,020959996	0,089630057
0,1018645	0,028960829	0,095630456

0,068865505	0,020958825	0,070629315
-0,092602568	-0,195558106	-0,095693355
-0,094602183	-0,204558252	-0,095693247
-0,080852166	-0,10016356	-0,117458072
Lokalni (Ljubuški) - trigonometar		
X (G/K)	Y (G/K)	Z (G/K)
-0,056041086	0,073055808	-0,21989022
0,031782077	0,166367566	-0,123975121
0,028782818	0,16636695	-0,132975427
0,216752692	0,12228168	0,08173139
0,213753601	0,122280977	0,070731073
0,236751294	0,131283664	0,091732745
0,313658661	0,179833103	0,269382999
0,328657645	0,187834533	0,275383951
0,295660156	0,17983093	0,250381367
0,258359905	-0,004597574	0,231889647
0,256360566	-0,013597777	0,231889869
0,092333827	0,075772017	0,042917502
Nacionalni - trigonometar		
X (G/K)	Y (G/K)	Z (G/K)
-1,238118914	-0,727193282	-1,030726033
-1,299782692	-0,61313799	-1,184444806
-1,302782482	-0,613138418	-1,193444864
-1,27057949	-0,647862264	-1,127033121
-1,273579232	-0,647862746	-1,138033177
-1,25058029	-0,638860788	-1,117032919
-1,065821059	-0,57843887	-1,053276222
-1,050821701	-0,570437806	-1,047276103
-1,083820601	-0,578440482	-1,072276613
-1,228627336	-0,754118916	-1,232475732
-1,230626788	-0,763119026	-1,232475531
-1,107858806	-0,679070462	-1,230550061

Na slikama su prikazane razlike koordinata po komponentama ΔX , ΔY i ΔZ između transformiranih koordinata dobivenih primjenom lokalnih transformacijskih parametara (Čapljina i Ljubuški) te nacionalnih transformacijskih parametara u odnosu na referentne koordinate dobivene trigonometrijskim mjerenjem (slika 5.5.1) (slika 5.5.2) (slika 5.5.3). Grafički prikaz omogućuje jasan uvid u prostornu raspodjelu odstupanja po pojedinim točkama i komponentama te neposrednu usporedbu ponašanja različitih skupova transformacijskih parametara.

Slika 5.5.1 Razlika koordinata po komponenti ΔX

Iz grafova je vidljivo da lokalni transformacijski parametri (Čapljina i Ljubuški) rezultiraju znatno manjim odstupanjima u svim trima komponentama u odnosu na nacionalne parametre. Odstupanja za lokalne parametre uglavnom su reda nekoliko centimetara, pri čemu su razlike po komponentama relativno ujednačene i bez izraženih sustavnih pomaka. Time se potvrđuje da lokalni transformacijski parametri bolje modeliraju lokalne deformacije referentnog sustava i geometrijske razlike između starog i novog datuma na promatranom području.

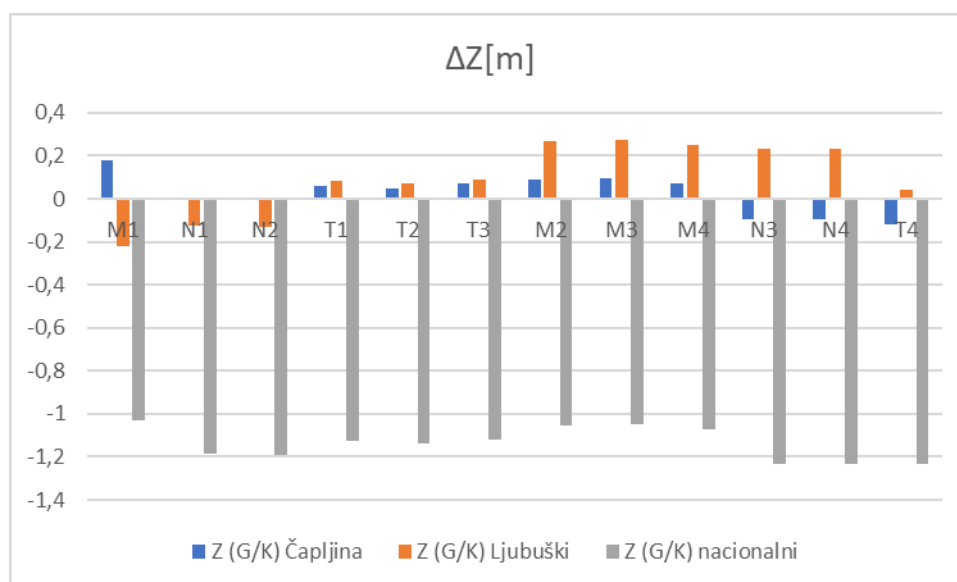
Slika 5.5.2 Razlika koordinata po komponenti ΔY

Nasuprot tome, kod primjene nacionalnih transformacijskih parametara uočavaju se znatno veća odstupanja, reda veličine približno 1 m i više, osobito izražena u komponentama ΔX i ΔZ . Također je vidljiv relativno konzistentan negativan predznak odstupanja za većinu točaka, što upućuje na postojanje sustavnog pomaka koji nacionalni parametri ne mogu u

potpunosti kompenzirati na lokalnoj razini. Ovakvo ponašanje očekivano je s obzirom na to da su nacionalni transformacijski parametri određeni na temelju homogenog modela za cjelokupno područje države, bez prilagodbe lokalnim specifičnostima i prostornim varijacijama deformacija starog referentnog sustava.

Komponenta ΔY pokazuje nešto manja odstupanja u odnosu na ΔX i ΔZ , ali se i u tom slučaju jasno uočava prednost lokalnih parametara u odnosu na nacionalne. Razlike između lokalnih parametara Čapljine i Ljubuškog su relativno male, što upućuje na to da su oba lokalna modela konzistentna na području obuhvata mjerenja, uz blagu prednost onog skupa parametara čije je referentno područje bliže položaju pojedine točke. Uz iznimku da iako se točka T186 nalazi na području općine Ljubuški, rezultati pokazuju da su odstupanja za njezina tri mjerenja (M1, M2 i M3) manja pri primjeni lokalnih transformacijskih parametara općine Čapljina. To može upućivati na prostornu blizinu referentnih točaka korištenih za određivanje transformacijskih parametara Čapljine, kao i na činjenicu da granica primjenjivosti lokalnih parametara ne mora nužno odgovarati administrativnim granicama općina.

Grafički prikazi potvrđuju da se primjenom lokalno određenih transformacijskih parametara postiže znatno veća podudarnost s referentnim (trigonometrijskim) koordinatama u odnosu na primjenu nacionalnih parametara. Time se jasno opravdava uporaba lokalnih transformacijskih parametara na ograničenim prostornim područjima, dok su nacionalni parametri prikladniji za općenite, približne transformacije na razini većih prostornih cjelina.



Slika 5.5.3 Razlika koordinata po komponenti ΔZ

U tablicama ispod prikazani su rezultati analize odstupanja po trokutima, formiranim od tri prostorne točke, za sve tri varijante primijenjenih transformacijskih parametara. Za svaki analizirani trokut određene su razlike po pojedinim koordinatnim komponentama (ΔX , ΔY , ΔZ), iz kojih su izračunata prostorna trodimenzionalna odstupanja pojedinih točaka unutar trokuta (d_{3D}), srednja kvadratna pogreška (RMS), srednja vrijednost odstupanja (\bar{d}) te maksimalno zabilježeno odstupanje (d_{max}). Na taj je način omogućena kvantitativna procjena unutarnje konzistentnosti transformacije unutar lokalnih geometrijskih

konfiguracija točaka, ali i objektivna usporedba učinkovitosti različitih skupova transformacijskih parametara u ovisnosti o njihovoj prostornoj primjenjivosti.

Tablica 5.5.2 Trokut 1 – analiza odstupanja

TROKUT 1			
Čapljina	T23(N2)	T299(T2)	T239(T4)
$\Delta X1$	0,0187737	0,0619343	-0,0808522
$\Delta Y1$	0,0976878	0,0295976	-0,1001636
$\Delta Z1$	0,0016161	0,048807	-0,1174581
Ljubuški			
$\Delta X2$	0,0317821	0,2137536	0,0923338
$\Delta Y2$	0,1663676	0,122281	0,075772
$\Delta Z2$	-0,123975	0,0707311	0,0429175
Nacionalni			
$\Delta X3$	-1,299783	-1,273579	-1,1078588
$\Delta Y3$	-0,613138	-0,647863	-0,6790705
$\Delta Z3$	-1,184445	-1,138033	-1,2305501

Tablica 5.5.3 Statistička odstupanja za Trokut 1

(n2)d3D1=	0,099488						
(t2)d3D1=	0,084226	RMS=	0,125643	d_=	0,119324	dmax=	0,174259031
(t4)d3D1=	0,174259						
(n2)d3D2=	0,2099						
(t2)d3D2=	0,256215	RMS=	0,204787	d_=	0,197679	dmax=	0,256214995
(t4)d3D2=	0,126921						
(n2)d3D3=	1,441933						
(t2)d3D3=	1,826705	RMS=	1,694969	d_=	1,686086	dmax=	1,826704604
(t4)d3D3=	1,78962						

Analiza transformacije po trokutima provedena je s ciljem ispitivanja prostorne varijabilnosti točnosti transformacijskih parametara na cijelom području snimanja. Na primjeru Trokuta 1 (tablica 5.5.2) (tablica 5.5.3) uočava se jasna razlika u kvaliteti transformacije ovisno o primijenjenom modelu. U području Čapljine dobivena su relativno mala prostorna odstupanja, pri čemu se vrijednosti trodimenzionalnih odstupanja kreću u decimetarskom rasponu, a srednje kvadratno odstupanje (RMS) iznosi približno 0,13 m. Takvi rezultati upućuju na dobru lokalnu prilagodbu transformacijskog modela i homogenu raspodjelu pogrešaka unutar trokuta, što je pokazatelj stabilnih lokalnih transformacijskih parametara. U području Ljubuškog zabilježena su nešto veća odstupanja u odnosu na Čapljinu, pri čemu RMS vrijednosti dosežu približno 0,20 m, a maksimalna prostorna odstupanja prelaze četvrt metra. Iako se i dalje radi o odstupanjima decimetarskog reda veličine, vidljivo je blago pogoršanje točnosti transformacije. Suprotno tome, primjena jedinstvenog nacionalnog transformacijskog modela rezultira višestruko većim odstupanjima, pri čemu RMS vrijednosti prelaze 1,6 m, a maksimalna prostorna odstupanja dostižu gotovo 1,8 m. Takav red veličine pogrešaka jasno ukazuje na ograničenu primjenjivost nacionalnog modela za potrebe lokalnih preciznih geodetskih zadataka. Ujedno se može zaključiti da u promatranom području postoje izražene regionalne razlike

koje nacionalni model ne uspijeva u potpunosti kompenzirati, što potvrđuje opravdanost primjene lokalnih transformacijskih parametara pri zahtjevima za visokom točnošću koordinatnih transformacija.

Tablica 5.5.4 Trokut 2 – analiza odstupanja

TROKUT 2			
Čapljina	T186(M4)	T187(N4)	T127(M1)
$\Delta X1$	0,0688655	-0,094602	0,1558857
$\Delta Y1$	0,0209588	-0,204558	0,0672439
$\Delta Z1$	0,0706293	-0,095693	0,1792081
Ljubuški			
$\Delta X2$	0,2956602	0,2563606	-0,0560411
$\Delta Y2$	0,1798309	-0,013598	0,0730558
$\Delta Z2$	0,2503814	0,2318899	-0,2198902
Nacionalni			
$\Delta X3$	-1,083821	-1,230627	-1,2381189
$\Delta Y3$	-0,57844	-0,763119	-0,7271933
$\Delta Z3$	-1,072277	-1,232476	-1,030726

Tablica 5.5.5 Statistička odstupanja za Trokut 2

(m4)d3D1=	0,100848						
(n4)d3D1=	0,244849	RMS=	0,120673	d_=	0,197517	dmax=	0,246855472
(m1)d3D1=	0,246855						
(m4)d3D2=	0,427136						
(n4)d3D2=	0,345946	RMS=	0,345906	d_=	0,337157	dmax=	0,427135717
(m1)d3D2=	0,238389						
(m4)d3D3=	1,630656						
(n4)d3D3=	1,901523	RMS=	1,770026	d_=	1,766568	dmax=	1,901522778
(m1)d3D3=	1,767525						

Rezultati transformacije po Trokutu 2 (tablica 5.5.4) (tablica 5.5.5) potvrđuju uočeno iz prethodnog primjera, pri čemu se najbolja podudarnost koordinata ostvaruje primjenom lokalnog transformacijskog modela na području Čapljine. U tom slučaju prostorna odstupanja zadržavaju se u decimetarskom rasponu, a srednje kvadratno odstupanje iznosi približno 0,12 m, što ukazuje na stabilnu lokalnu prilagodbu transformacijskih parametara. Na području Ljubuškog zabilježena veća odstupanja, pri čemu RMS vrijednosti prelaze 0,34 m, a maksimalna prostorna odstupanja približavaju se vrijednosti od 0,43 m, što upućuje na smanjenu učinkovitost lokalnog modela u tom dijelu područja. Primjena nacionalnog transformacijskog modela ponovno rezultira višestruko većim pogreškama, pri čemu RMS vrijednosti iznose približno 1,77 m, a maksimalna odstupanja prelaze 1,9 m.

Tablica 5.5.6 Trokut 3 - analiza odstupanja

TROKUT 3			
Čapljina	T239(T4)	T187(N4)	T23(N2)
$\Delta X1$	-0,080852	-0,094602	0,0187737
$\Delta Y1$	-0,100164	-0,204558	0,0976878

$\Delta Z1$	-0,117458	-0,095693	0,0016161
Ljubuški			
$\Delta X2$	0,0923338	0,2563606	0,0317821
$\Delta Y2$	0,075772	-0,013598	0,1663676
$\Delta Z2$	0,0429175	0,2318899	-0,1239751
Nacionalni			
$\Delta X3$	-1,107859	-1,230627	-1,2997827
$\Delta Y3$	-0,67907	-0,763119	-0,613138
$\Delta Z3$	-1,23055	-1,232476	-1,1844448

Tablica 5.5.7 Statistička odstupanja za Trokut 3

(t4)d3D1=	0,174259						
(n4)d3D1=	0,244849	RMS=	0,105523	d_=	0,172865	dmax=	0,244848625
(n2)d3D1=	0,099488						
(t4)d3D2=	0,126921						
(n4)d3D2=	0,345946	RMS=	0,141361	d_=	0,227589	dmax=	0,345945879
(n2)d3D2=	0,2099						
(t4)d3D3=	1,78962						
(n4)d3D3=	1,901523	RMS=	1,069102	d_=	1,851159	dmax=	1,901522778
(n2)d3D3=	1,862333						

Rezultati transformacije po Trokutu 3 (tablica 5.5.6) (tablica 5.5.7) pokazuju konzistentne obrasce u odnosu na prethodno analizirane trokute. U području Čapljine postignuta je dobra lokalna prilagodba transformacijskog modela, pri čemu su prostorna odstupanja u decimetarskom rasponu, a srednje kvadratno odstupanje iznosi približno 0,11 m. Takve vrijednosti ukazuju na stabilnost lokalnih transformacijskih parametara i ujednačenu raspodjelu pogrešaka unutar trokuta. Na području Ljubuškog zabilježena su nešto veća odstupanja, pri čemu RMS iznosi oko 0,14 m, a maksimalna prostorna odstupanja prelaze 0,34 m, što potvrđuje postojanje izraženijih lokalnih varijacija u transformacijskim odnosima. Primjena nacionalnog transformacijskog modela ponovno rezultira većim odstupanjima, pri čemu RMS vrijednosti prelaze 1,0 m, a maksimalna prostorna odstupanja dosežu gotovo 1,9 m, čime se potvrđuje ograničena primjenjivost jedinstvenog nacionalnog modela za lokalne precizne geodetske primjene.

Tablica 5.5.8 Trokut 4 - analiza odstupanja

TROKUT 4			
Čapljina	T127(M1)	T299(T2)	T186(M4)
$\Delta X1$	0,1558857	0,0619343	0,0688655
$\Delta Y1$	0,0672439	0,0295976	0,0209588
$\Delta Z1$	0,1792081	0,048807	0,0706293
Ljubuški			
$\Delta X2$	-0,056041	0,2137536	0,2956602
$\Delta Y2$	0,0730558	0,122281	0,1798309
$\Delta Z2$	-0,21989	0,0707311	0,2503814
Nacionalni			

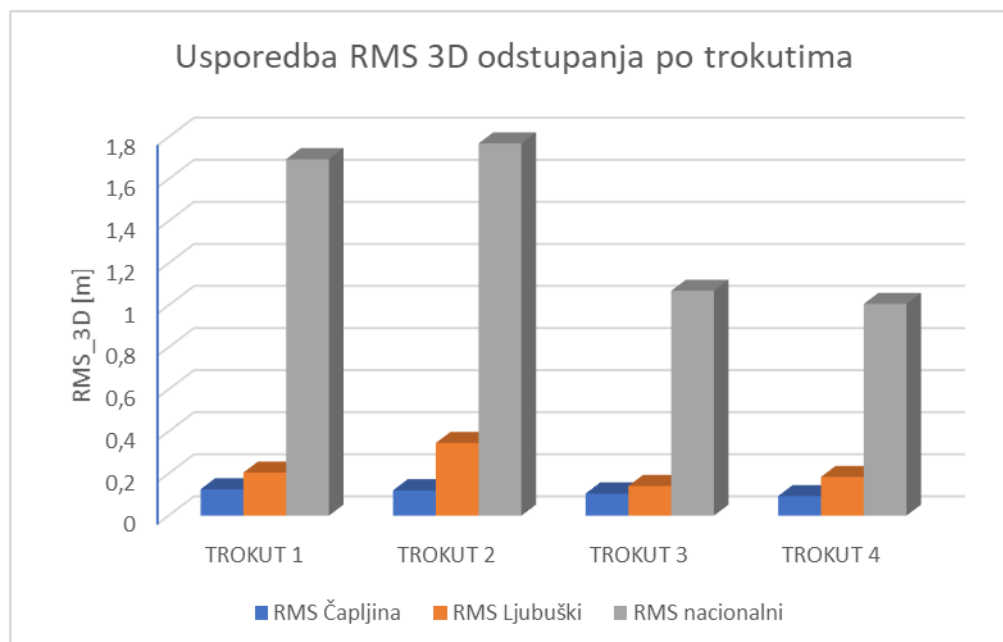
$\Delta X3$	-1,238119	-1,273579	-1,0838206
$\Delta Y3$	-0,727193	-0,647863	-0,5784405
$\Delta Z3$	-1,030726	-1,138033	-1,0722766

Tablica 5.5.9 Statistička odstupanja za Trokut 4

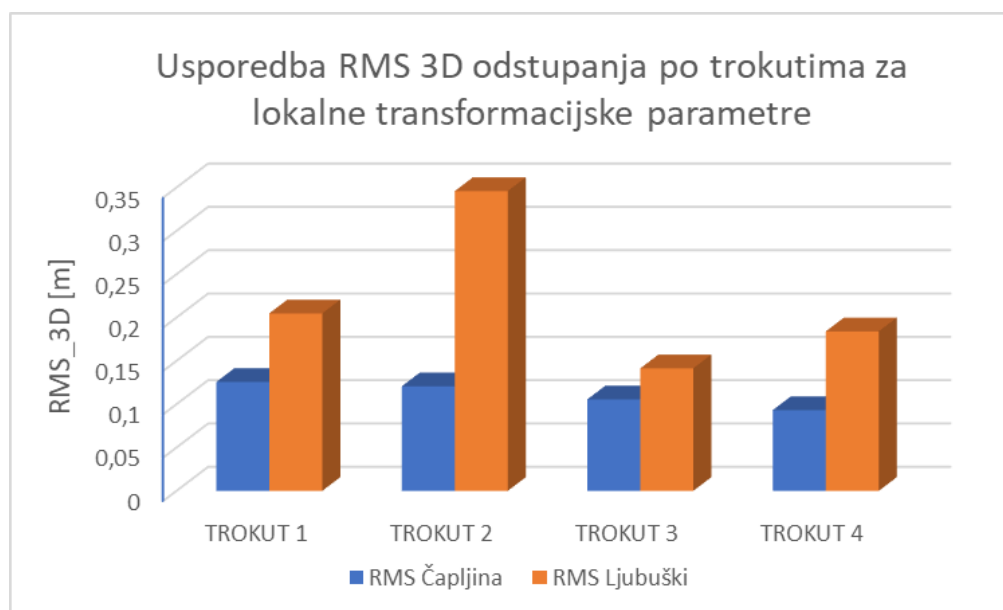
(m1)d3D1=	0,246855						
(t2)d3D1=	0,084226	RMS=	0,093215	d_=	0,143976	dmax=	0,246855472
(m4)d3D1=	0,100848						
(m1)d3D2=	0,238389						
(t2)d3D2=	0,256215	RMS=	0,184065	d_=	0,307247	dmax=	0,427135717
(m4)d3D2=	0,427136						
(m1)d3D3=	1,767525						
(t2)d3D3=	1,826705	RMS=	1,006646	d_=	1,741628	dmax=	1,826704604
(m4)d3D3=	1,630656						

Rezultati transformacije po Trokutu 4 (tablica 5.5.8) (tablica 5.5.9) dodatno potvrđuju uočenu razliku između lokalnih i nacionalnog transformacijskog modela. U području Čapljine ostvarena je vrlo dobra lokalna prilagodba, pri čemu srednje kvadratno odstupanje iznosi oko 0,09 m, a prostorna odstupanja uglavnom ostaju unutar decimetarskog raspona, što ukazuje na visoku stabilnost lokalnih transformacijskih parametara u tom dijelu područja. U području Ljubuškog zabilježena su veća odstupanja, pri čemu RMS vrijednosti dosežu približno 0,18 m, a maksimalna prostorna odstupanja prelaze 0,42 m, što upućuje na izraženije lokalne varijacije i slabiju prilagodbu transformacijskog modela u odnosu na područje Čapljine. Primjena nacionalnog transformacijskog modela rezultira znatno većim odstupanjima, pri čemu RMS vrijednosti iznose oko 1,01 m, a maksimalna odstupanja prelaze 1,8 m.

Radi preglednijeg prikaza rezultata, RMS 3D odstupanja po trokutima prikazana su i grafički. Grafovi jasno prikazuju razlike u točnosti između lokalnih transformacijskih parametara i nacionalnog modela (slika 5.5.4) te omogućuju izravnu usporedbu rezultata između područja Čapljine i Ljubuškog (slika 5.5.5).



Slika 5.5.4 Usporedba RMS 3D odstupanja po trokutima

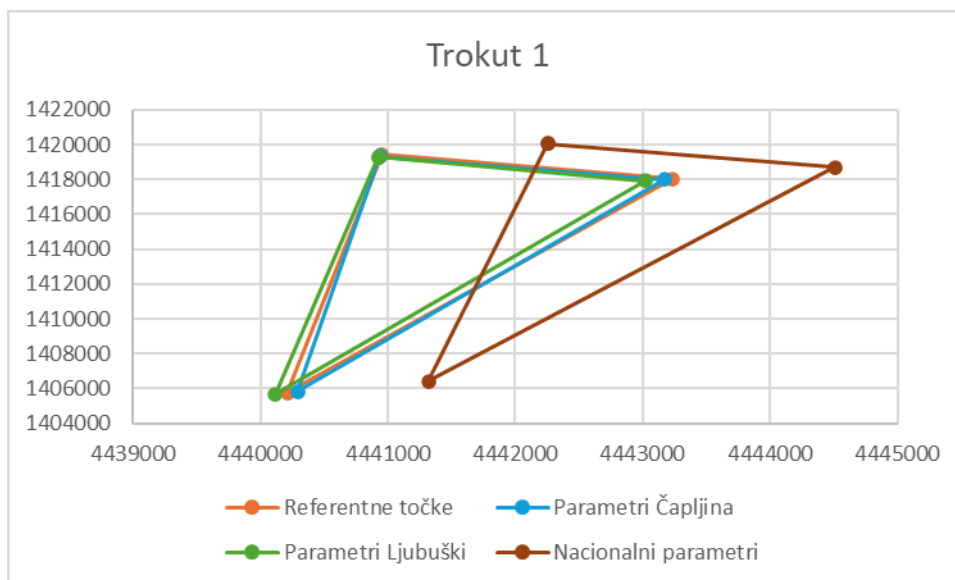


Slika 5.5.5 Usporedba RMS 3D odstupanja po trokutima za lokalne transformacijske parametre

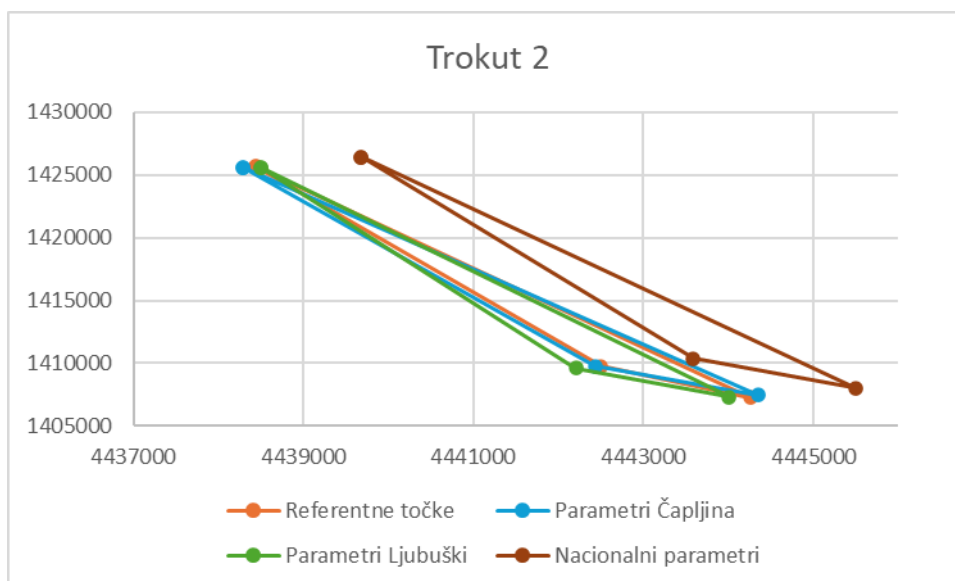
U svim analiziranim trokutima lokalni transformacijski parametri za područje Čapljine pokazali su manja RMS 3D odstupanja u odnosu na parametre za područje Ljubuškog, neovisno o prostornoj raspodjeli točaka unutar pojedinog trokuta. To je posebno značajno s obzirom na činjenicu da su trokuti konstruirani tako da u dva slučaja obuhvaćaju dvije točke s područja Ljubuškog i jednu s područja Čapljine, dok u preostala dva trokuta prevladavaju točke s područja Čapljine. Takav rezultat upućuje na veću prostornu stabilnost i bolju opću prilagodbu transformacijskih parametara za područje Čapljine na promatranom području, dok se kod parametara za područje Ljubuškog izraženije očituje prostorna ovisnost točnosti transformacije.

Provedena analiza po trokutima omogućila je procjenu lokalne konzistentnosti transformacije neovisno o apsolutnom položaju pojedinih točaka u prostoru. Na taj je način potvrđeno da se pogreške transformacije ne odražavaju isključivo na razini apsolutnih koordinata pojedinačnih točaka, već se manifestiraju i kroz relativne prostorne odnose između točaka unutar lokalnih geometrijskih konfiguracija.

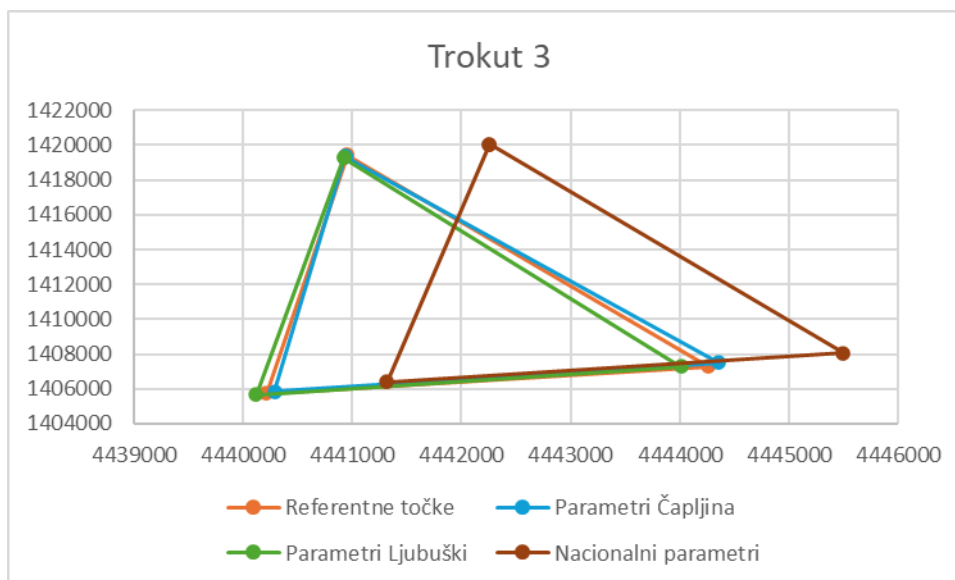
Za potrebe grafičke interpretacije vrlo malih (centimetarskih) razlika između referentnih koordinata i koordinata dobivenih primjenom lokalnih i nacionalnih transformacijskih parametara, primijenjeno je linearno skaliranje vektora pomaka. Vizualizirane koordinate dobivene su tako da se na referentne koordinate dodaje uvećani vektor razlike između referentne točke i odgovarajuće točke transformirane lokalnim ili nacionalnim parametrima, pri čemu je primijenjen konstantni faktor skaliranja $k=1000$. Na taj je način očuvan smjer i relativni odnos pomaka, dok je njihova veličina umjetno povećana isključivo u svrhu preglednijeg grafičkog prikaza geometrije trokuta. Vizualni prikaz trokuta 1-4 prikazan je na slikama ispod (slika 5.5.6), (slika 5.5.7), (slika 5.5.8), (slika 5.5.9).



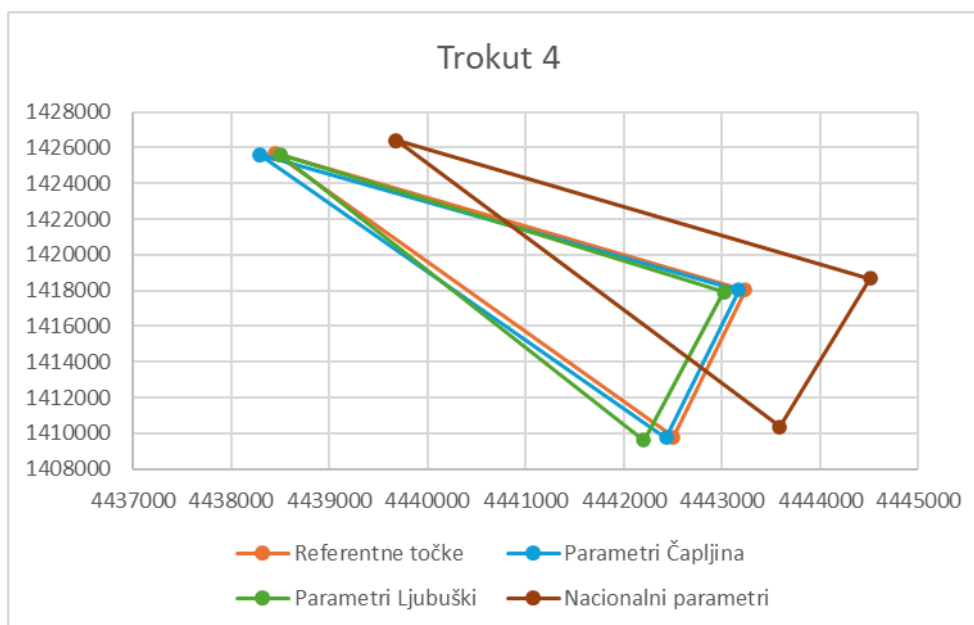
Slika 5.5.6 Vizualizacija Trokuta 1



Slika 5.5.7 Vizualizacija Trokuta 2



Slika 5.5.8 Vizualizacija Trokuta 3



Slika 5.5.9 Vizualizacija Trokuta 4

ZAKLJUČAK

Provedeno istraživanje omogućilo je cjelovitu ocjenu primjenjivosti različitih skupova transformacijskih parametara u okviru sustava FBiHPOS pri preračunu koordinata iz novog referentnog sustava BHETRS89 u stariji koordinatni sustav temeljen na Besselovom elipsoidu. Na temelju rezultata dobivenih obradom GNSS mjerenja i transformacijama može se utvrditi da izbor transformacijskog modela ima izravan i mjerljiv utjecaj na kvalitetu konačnih koordinata, što je od ključne važnosti za pouzdanu primjenu GNSS tehnologije u službenim geodetskim zadacima.

Analiza transformiranih koordinata pokazala je da modeli određeni na lokalnoj razini znatno bolje reproduciraju stvarno stanje na terenu unutar područja za koja su uspostavljeni. Takvi modeli u pravilu uspješnije opisuju prostorne deformacije povijesnih referentnih sustava i nelinearne razlike između starih i novih koordinatnih okvira, koje nisu ravnomjerno raspodijeljene na razini cijelog entiteta. Time se potvrđuje da jedinstveni transformacijski model, iako metodološki jednostavniji za primjenu, ne može u potpunosti zadovoljiti zahtjeve visoke lokalne točnosti. Istodobno, rezultati upućuju na to da lokalni transformacijski modeli, unatoč svojoj većoj preciznosti, nose i određena ograničenja u kontekstu šire prostorne primjene. Njihova vezanost uz ograničena administrativna ili katastarska područja otežava jednoznačnu primjenu u projektima koji obuhvaćaju veće prostorne cjeline ili zahtijevaju objedinjavanje podataka iz više izvora. S druge strane, jedinstveni nacionalni transformacijski parametri osiguravaju dosljednost i homogenost transformacijskog modela na razini šireg područja primjene. Međutim, takav pristup nužno podrazumijeva određeni kompromis u pogledu lokalne točnosti, budući da globalni model ne može u potpunosti opisati prostorne varijacije deformacija referentnog sustava koje su izražene na manjem području primjene.

Na temelju provedenih analiza može se zaključiti da optimalan pristup transformaciji koordinata u praksi ne podrazumijeva isključivu primjenu samo jednog skupa parametara, već zahtijeva kontekstualni odabir modela ovisno o svrsi i prostornom obuhvatu zadatka. U zadacima koji su prostorno ograničeni i zahtijevaju visoku razinu preciznosti preporučljivo je koristiti lokalne transformacijske parametre, dok se za projekte koji obuhvaćaju šira područja ili zahtijevaju konzistentnost na razini cijelog sustava prednost može dati nacionalnim parametrima. U tom smislu, u katastarskim radovima, detaljnim inženjersko-geodetskim zahvatima i drugim zadacima ograničenog prostornog obuhvata preporučuje se primjena lokalnih transformacijskih parametara radi postizanja veće lokalne točnosti. Nasuprot tome, u projektima regionalnog karaktera, višekatastarskim zahvatima i analizama koje zahtijevaju jedinstven i homogen referentni okvir na razini cijelog područja primjene, primjerenija je uporaba nacionalnih transformacijskih parametara, uz prihvaćanje određenog kompromisa u pogledu lokalne preciznosti.

Dobiveni rezultati također upućuju na potrebu daljnjeg metodološkog razvoja transformacijskih modela u Federaciji Bosne i Hercegovine. Kao jedno od mogućih rješenja je uvođenje prostorno kontinuiranih transformacijskih modela, primjerice u obliku interpolacijskih mreža ili deformacijskih modela, koji bi omogućili glatke prijelaze između područja različitih lokalnih transformacijskih parametara. Takav pristup mogao bi dugoročno osigurati visoku lokalnu točnost uz istodobno očuvanje prostorne homogenosti koordinatnog sustava na razini cijelog entiteta.

LITERATURA

Ansari, K., Çorumluoğlu, Ö., Verma, P., Pavelyev, V. S. (2017): An overview of the International GNSS Service (IGS), *GRENZE International Journal of Computer Theory and Engineering*, GRENZE Publishing, Kochi.

Bačić, Ž. (2022): Satelitsko pozicioniranje, predavanja, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

Bašić, T. (2021): Geofizička geodezija, predavanja, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

Bošković, I., Ključanin, S. (2022): Transformacija podataka katastarskog plana iz državnoga koordinatnog sustava u novi referentni koordinatni sustav Federacije Bosne i Hercegovine, *Geodetski list*, Hrvatsko geodetsko društvo, Zagreb.

Caldera, S. (2010): GNSS permanent networks monitoring: problems and solutions, Ph.D. Thesis, Politecnico di Milano, Milano, Italy.

Castagnetti, C., Casula, G., Dubbini, M., Capra, A. (2009): Adjustment and transformation strategies of ItalPoS Permanent GNSS Network, *Annals of Geophysics*, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia & Editrice Compositori, Bologna, Italy.

Euler, H.-J., Keenan, C. R., Zebhause, B. E. (2001): Study of a Simplified Approach in Utilizing Information from Permanent Reference Station Arrays, u: *Proceedings of the 14th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS 2001)*, Salt Lake City.

Federalna geodetska uprava (2019): Pravilnik o osnovnim geodetskim radovima, Federalna uprava za geodetske i imovinsko-pravne poslove Sarajevo, Sarajevo.

Josić, N. (2021): Određivanje koordinata tačaka u GNSS mrežama permanentnih stanica, Fakultet tehničkih nauka Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad.

Ključanin, S., Redžepagić, E. (2021): Uvođenje novih geodetskih referentnih datuma i kartografske projekcije u Federaciji Bosne i Hercegovine, *e-Zbornik, elektronički zbornik radova Građevinskog fakulteta*, Mostar.

Kotromanović, L. (2021): Dobivanje prometnih geoinformacija zasnovano na fuziji GNSS podataka i videosadržaja, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

Krdžalić, Dž. (2018): *Geodetic Reference Systems - Exercise manual*, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo.

Latinčić, A., Bačić Ž., Nevistić Z. (2022): Otvoreni pristup podacima GNSS permanentnih mreža u slučaju katastrofa, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

Marinčić, D. (2002): Globalni pozicijski sustavi, *Godišnjak 2001*, Geodetsko društvo Herceg-Bosne, Mostar.

Marinčić, D. (2015): Izjednačenje GNSS mreže i računanje lokalnih transformacijskih parametara za VE Mesihovina, *Projekt-radionica*, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

Marjanović, M. (2010): CROPOS – hrvatski pozicijski sustav, *Ekscentar*, br. 12, str. 28–34, Zagreb.

Mirković, R. (2019): Analiza rezultata mjerenja primjenom metode geometrijskog nivelmana i statičke GNSS metode pri formiranju geodetskih 1D mikro mreža, Fakultet tehničkih nauka Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad.

Mišković, D. (2011): Implementacija projekta BIHPOS – uspostava mreža permanentnih GNSS stanica za prostor BiH, II. Kongres o katastru u Bosni i Hercegovini, Ilidža.

Montenbruck, O., Steigenberger, P., Prange, L., Deng, Z., Zhao, Q., Perosanz, F., Romero, I., Noll, C., Stürze, A., Weber, G., Schmid, R., MacLeod, K., Schaer, S. (2017): The Multi-GNSS Experiment (MGEX) of the International GNSS Service (IGS) – Achievements, prospects and challenges, *Advances in Space Research*, Vol. 59, No. 7, pp. 1671–1697, Elsevier, Amsterdam.

Moore, A. W. (2007): The International GNSS Service: Any Questions?, *GPS World*, North Coast Media LLC, Houston, TX, USA.

Noll, C. (2018): CDDIS Global Data Center Technical Report 2018, NASA, Greenbelt.

Roić, M., Cetl, V. (2002): Transformacije geometrijskih podataka u katastru, *Geodetski list*, Hrvatsko geodetsko društvo, Zagreb.

Ruffhead, A.C. (2021): Equivalence properties of 3D conformal transformations and their application to reverse transformations, *Survey Review*, UK.

Szafranek, K. Z., Schillak, S., Araszkievicz, A., Figurski, M. J., Lehmann, M., Lejba, P. (2014): GNSS permanent stations control by the means of local ties monitoring, *Proceedings of the 9th International Conference “Environmental Engineering” (ICEE 2014)*, Vilnius, Lithuania.

Tabučić D. (2015): Tenderska dokumentacija za nabavku usluga određivanja parametara transformacije koordinata iz koordinatnog sistema ETRS89 u Državni koordinatni sistem, Federalna uprava za geodetske i imovinsko-pravne poslove Sarajevo, Sarajevo.

Varga, M. (2021) *Geometrijska geodezija: Glavni geodetski zadatci, transformacije i konverzije koordinata, Priručnik algoritama i numeričkih primjera*, ResearchGate, ETH Zurich, Zurich.

Zimić, Š., Donlagić, E. (2017): Uvođenje novih geodetskih referentnih sistema u Bosni i Hercegovini, *Geodetski glasnik*, Sarajevo.

Zrinjski, M., Bačić, Ž., Barković, Đ. (2005): Modernizacija GPS-a (GNSS-2), *Geodetski list 2005*, Hrvatsko geodetsko društvo, Zagreb.

POPIS KORIŠTENIH INTERNETSKIH IZVORA

URL 1: IGS,

<https://igs.org/>,

(14.09.2025.)

URL 2: IGS Network,

<https://network.igs.org/>,

(14.09.2025.)

URL 3: FBiHPOS, Katastar.ba

<http://fbihpos.katastar.ba/SBC/Account/Index?returnUrl=%2FSBC%2FUser%2FSiteMap%2FSiteMap>,

(20.09.2025.)

URL 4: II Kongres o Katastru,

<https://www.gdhb.ba/149-ii-kongres-o-katastru-u-bih-ilid%C5%BEa-radovi-prezentacije.html>,

(20.09.2025.)

URL 5: FGU – FBiHPOS,

<https://www.fgu.com.ba/en/home-575.html>,

(20.09.2025.)

URL 6: FGU – Javne nabavke

<https://www.fgu.com.ba/hr/javne-nabavke.html>,

(20.09.2025.)

URL 7: – FGU - preuzimanja,

<https://www.fgu.com.ba/hr/preuzimanja.html>,

(20.09.2025.)

URL 8: CROPOS – državna mreža referentnih stanica

<https://www.cropos.hr/o-sustavu/cropos-drzavna-mreza-referentnih-stanica-republike-hrvatske>,

(20.09.2025.)

URL 9: CROPOS – koncept umreženih referentnih stanica,

<https://www.cropos.hr/o-sustavu/koncept-umrezenih-referentnih-stanica>,

(20.09.2025.)

URL 10: Leica GS18,

<https://vekom.com/wp-content/uploads/2021/06/Leica-GS18-DS.pdf>,

(19.10.2025.)

URL 11: Leica GS18 i Leica CS20

https://www.researchgate.net/figure/The-Leica-GS18-smart-antenna-with-the-Leica-CS20-controller-The-measure-of-the-point-is_fig12_379723493,

(19.10.2025.)

URL 12: Kolida K30

<https://www.kolida.it/contents/en-us/K30-EN-20220616.pdf>,

(19.10.2025.)

URL 13: Kolida K30

<https://www.kolidainstrument.com/product/details/id/98.html>,
(19.10.2025.)

URL 14: Kolida H6

<https://www.kolidainstrument.com/product/details/id/85.html>,
(19.10.2025.)

URL 15: Kolida K58+

<https://www.italgein.it/contents/it/K58plus.pdf>,
(19.10.2025.)

URL 16: Kolida K58+

https://www.kolidainstrument.com/product/details/pro_tid/1/id/9.html,
(19.10.2025.)

URL 17: Kolida H3+

<https://www.kolidainstrument.com/product/details/id/43.html>,
(19.10.2025.)

URL 18: Sitech – What is Trimble Business Center?

<https://sitech-setx.com/connect/essentials/what-is-trimble-business-center/>,
(19.10.2025.)

POPIS SLIKA

Slika 2.1.1 IGS globalno raspoređene stanice (URL 2).....	5
Slika 2.2.1 Arhitektura BiHPOS-a (URL 4).....	7
Slika 2.2.2 Karta rasporeda stanica BIHPOS (URL 4).....	8
Slika 2.2.3 Prikaz rasporeda stanica FBiHPOS mreže uz 8 stanica preuzetih iz SRPOS mreže (URL 6).....	9
Slika 2.2.4 Cjenik FBiHPOS usluga (URL 7).....	10
Slika 2.3.1 Raspored referentnih GNSS stanica CROPOS sustava (URL 8).....	11
Slika 2.3.2 Princip rada CROPOS sustava (URL 9).....	12
Slika 3.1.1 Leica GS18 s kontrolerom CS20 (URL 11).....	14
Slika 3.1.2 Kolida K30 s kontrolerom H6 (URL 13, URL 14).....	15
Slika 3.1.3 Kolida K58+ s kontrolerom H3+ (URL 16, URL 17).....	16
Slika 3.1.4 Prikaz radnog sučelja TBC.....	17
Slika 3.2.1 T146 – primjer uništenog trigonometra.....	19
Slika 3.2.2 Plan opažanja trigonometara.....	20
Slika 3.2.3 Kolida K58+ na T127.....	21
Slika 3.2.4 Leica GS18 na T23.....	22
Slika 3.2.5 Kolida K30 na T299.....	22
Slika 3.2.6 Kolida K58+ na T186.....	23
Slika 3.2.7 Leica GS18 na T187.....	23
Slika 3.2.8 Kolida K30 na T239.....	24
Slika 3.2.9 Relativno pozicioniranje (Marinčić 2002).....	25
Slika 3.3.1 Dijaloški okvir za odabir predložka novog projekta u TBC-u.....	26
Slika 3.3.2 TBC sučelje – novi projekt.....	27
Slika 3.3.3 Postavke projekta – Project Settings.....	27
Slika 3.3.4 Kreiranje nove projekcije.....	28

Slika 3.3.5 Kreiranje novog koordinatnog sustava.....	29
Slika 3.3.6 Postavke GPS Time.....	30
Slika 3.3.7 Postavke obrade baznih linija.....	30
Slika 3.3.8 Import podataka.....	31
Slika 3.3.9 Receiver Raw Data Check-In.....	32
Slika 3.3.10 Receiver Raw Data Check-In.....	32
Slika 3.3.11 Receiver Raw Data Check-In.....	32
Slika 3.3.12 Rezultat unosa podataka GNSS mjerenja u TBC.....	33
Slika 3.3.13 Označavanje točaka i pokretanje obrade baznih linija	35
Slika 3.3.14 Rezultati obrade baznih linija.....	35
Slika 3.3.15 Fiksiranje VRS točke.....	36
Slika 3.3.16 Fiksiranje VRS točke.....	36
Slika 3.3.17 Fiksiranje VRS točke.....	37
Slika 3.3.18 Fiksirane VRS točke.....	38
Slika 3.3.19 Adjust Network	38
Slika 3.3.20 Neuspješno izjednačenje	39
Slika 3.3.21 Network Adjustment Report	39
Slika 3.3.22 Uspješno izjednačenje mreže	40
Slika 3.3.23 Point list – konačne koordinate	40
Slika 5.3.1 Matematički model 3D datumskih transformacija za FBiH.....	49
Slika 5.5.1 Razlika koordinata po komponenti ΔX	59
Slika 5.5.2 Razlika koordinata po komponenti ΔY	59
Slika 5.5.3 Razlika koordinata po komponenti ΔZ	60
Slika 5.5.4 Usporedba RMS 3D odstupanja po trokutima	65
Slika 5.5.5 Usporedba RMS 3D odstupanja po trokutima za lokalne transformacijske parametre	65

Slika 5.5.6 Vizualizacija Trokuta 1	67
Slika 5.5.7 Vizualizacija Trokuta 2	67
Slika 5.5.8 Vizualizacija Trokuta 3	68
Slika 5.5.9 Vizualizacija Trokuta 4	68

POPIS TABLICA

Tablica 2.2.1 Pregled stanica FBiHPOS i SRPOS (URL 3)	6
Tablica 2.3.1 Pregled CROPOS usluga (Marjanović 2010)	13
Tablica 3.2.1 Popis koordinata točaka geodetske osnove	17
Tablica 3.2.2 Lokalni i nacionalni transformacijski parametri	18
Tablica 3.2.3 Stanje geodetske osnove	18
Tablica 3.2.4 Plan opažanja trigonometara	20
Tablica 3.2.5 GNSS mjerenje	24
Tablica 3.3.1 Sažeti pregled postavki obrade podataka u TBC-u	26
Tablica 3.3.2 Tri razine točnosti efemerida (Zrinjski i dr. 2005)	34
Tablica 5.1.1 Nacionalni transformacijski parametri	45
Tablica 5.1.2 Transformacijski parametri Ljubuški	46
Tablica 5.1.3 Transformacijski parametri Čapljina	46
Tablica 5.1.4 referentne koordinate identičnih točaka u Gauss–Krügerovom koordinatnom sustavu	47
Tablica 5.2.1 Rezultati geodetskih koordinata na Besselovom elipsoidu	48
Tablica 5.2.2 3D Kartezijeve koordinate u Besselovom sustavu	48
Tablica 5.3.1 Koordinate dobivene obradom GNSS mjerenja u BHETRS89	50
Tablica 5.3.2 Transformacija naprijed transformacijskim parametrima općine Ljubuški ...	50
Tablica 5.3.3 Transformacija naprijed transformacijskim parametrima općine Čapljina ...	51
Tablica 5.3.4 Transformacija naprijed nacionalnim transformacijskim parametrima	53

Tablica 5.3.5 Transformacija koristeći rotacijsku matricu (cos/sin)	54
Tablica 5.4.1 Obrnuta transformacija - parametri Ljubuški	55
Tablica 5.4.2 Obrnuta transformacija - parametri Čapljina.....	55
Tablica 5.4.3 Obrnuta transformacija - nacionalni parametri.....	56
Tablica 5.4.4 Obrnuta transformacija koristeći aproksimaciju (transponirane koordinate)	56
Tablica 5.4.5 Obrnuta transformacija koristeći rotacijsku matricu (cos/sin).....	56
Tablica 5.5.1 Razlike koordinata po komponentama (ΔX , ΔY , ΔZ).....	57
Tablica 5.5.2 Trokut 1 – analiza odstupanja.....	61
Tablica 5.5.3 Statistička odstupanja za Trokut 1.....	61
Tablica 5.5.4 Trokut 2 – analiza odstupanja.....	62
Tablica 5.5.5 Statistička odstupanja za Trokut 2.....	62
Tablica 5.5.6 Trokut 3 - analiza odstupanja	62
Tablica 5.5.7 Statistička odstupanja za Trokut 3.....	63
Tablica 5.5.8 Trokut 4 - analiza odstupanja	63
Tablica 5.5.9 Statistička odstupanja za Trokut 4.....	64



europass



Marta Šimunović

Državljanstvo: hrvatsko Datum rođenja: 18/05/2001

☎ Telefonski broj: (+385) 976779575 ✉ E-adresa: simunovicmarta10@gmail.com

📍 Kućna: Crnići - Kula bb, 88367 Stolac (Bosna i Hercegovina)

RADNO ISKUSTVO

🏢 *Geometrika d.o.o. Grude* – Čapljina, Bosna i Hercegovina

Studentski posao

[19/04/2022 – 30/09/2022]

- Figurant na terenu (od 18.09.2022. do 30.09.2022.)
-Unos metapodataka sa skeniranih dokumenata

OBRAZOVANJE I OSPOSOBLJAVANJE

Sveučilišna prvostupnica (baccalurea) inženjerka geodezije i geoinformatike (univ. bacc. ing. geod. et geoinf.)

Sveučilište u Mostaru, Fakultet građevine, arhitekture i geodezije [11/09/2020 – 18/07/2023]

Adresa: Kampus Sveučilišta, Matice hrvatske b.b., 88000 Mostar (Bosna i Hercegovina) | Internetska stranica: <https://fgag.sum.ba/>

Srednjoškolska diploma

Biskupijska klasična gimnazija Ruđer Bošković s pravom javnosti Dubrovnik [01/09/2016 – 15/06/2020]

Adresa: Poljana Ruđera Boškovića 6, 20000 Dubrovnik (Hrvatska) | Internetska stranica: <http://www.gimnazija-klasicna-rboskovic-du.skole.hr/>

Magistrica inženjerka geodezije i geoinformatike (mag. ing. geod. et geoinf.)

Geodetski fakultet [2023 – 2026]

Mjesto: Zagreb | Zemlja: Hrvatska | Internetska stranica: <https://www.geof.unizg.hr/>

JEZIČNE VJEŠTINE

Materinski jezik/Jezici: hrvatski

Drugi jezici:

engleski

SLUŠANJE C1 ČITANJE B2 PISANJE B2

GOVORNA PRODUKCIJA B2 GOVORNA INTERAKCIJA B2

Razine: A1 i A2: temeljni korisnik; B1 i B2: samostalni korisnik; C1 i C2: iskusni korisnik

VOZAČKA DOZVOLA

Vozačka dozvola: B