

# ZNAČAJNIJI OSNOVNI GEODETSKI RADOVI U REPUBLICI SRPSKOJ U PERIODU 2013.-2015. GODINE

Darko Mišković<sup>1</sup>, Šeho Zimić<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Republička uprava za geodetske i imovinsko-pravne poslove, Banja Luka ([e-mail: geodare@gmail.com](mailto:geodare@gmail.com))

<sup>2</sup>CILAP Projekt ( [e-mail: seho.zimic@lm.se](mailto:seho.zimic@lm.se))

**Sažetak:** Geodetska struka je kroz istoriju uvijek predstavljala avangardu u tehničkom svijetu, stalno donoseći nova rješenja i ideje koje su kasnije predstavljale osnov za razvoj drugih djelatnosti i nalazile primjenu u mnogim oblastima života. U današnje vrijeme kada je razvoj savremene tehnologije doveo do toga da mnoge grane geodetske djelatnosti budu dostupne i razumljive široj stručnoj javnosti, odnosno kako bi to mnoge od kolega reklo, uzurpirane od strane drugih tehničkih djelatnosti, oblast osnovnih geodetskih radova je ostala čisto geodetska oblast koja i dalje napreduje u skladu sa mogućnostima korištenja savremenih tehnologija.

Republička uprava za geodetske i imovinsko-pravne poslove Republike Srpske je u periodu 2013.-2015. godine sprovela značajne aktivnosti u oblasti osnovnih geodetskih radova i to:

- po prvi put u istoriji izvršena su apsolutna gravimetrijska mjerenja na 2 tačke u Republici Srpskoj (od ukupno 4 koliko je mjereno u Bosni i Hercegovini),
- izmjerena je i određena Osnovna gravimetrijska mreža Republike Srpske,
- u toku je određivanje parametara horizontalne transformacije za teritoriju Republike Srpske.

Gravimetrijska mjerenja su izvršena u sklopu implementacije donatorskog Projekta Kraljevine švedske "Izgradnja kapaciteta za poboljšanje zemljišne administracije i procedura u BiH - CILAP<sup>1</sup>" koji se implementira u saradnji sa Geodetskom upravom Kraljevine Švedske.

Aktivnosti na određivanju parametara horizontalne transformacije na teritoriji Republike Srpske se sprovode u okviru "Projekta registracije nekretnina - RERP<sup>2</sup>" koji se finansira kreditnim sredstvima Svjetske Banke.

**Ključne riječi:** Parametri horizontalne transformacije, gravimetrijska mjerenja i mreže

## 1. UVOD

Sve dosada izvršene analize pokazale su da su osnovne geodetske mreže koje čine važeći referentni sistem na prostoru Republike Srpske i Bosne i Hercegovine nehomogene kako po tačnosti, tako i po prostoru i vremenu jer su realizovane tokom dugog vremenskog perioda korišćenjem raznorodne mjerne tehnologije i metodologije. Veliki broj tačaka je fizički uništen i neupotrebljiv što onemogućava kontinuitet geodetskih radova. Razmjena geodetskih i kartografskih podataka sa zemljama EU i zemljama u okruženju koje su usvojile i realizovale nove globalne referentne sisteme je otežana ili onemogućena. Sve ovo ukazuje na potrebu uvođenja novih globalnih referentnih sistema u Republici Srpskoj i Bosni i Hercegovini.

U posljednjih desetak godina realizovano je nekoliko projekata koji su finansirani iz donatorskih i budžetskih sredstava Uprava oba entiteta, čime je započeto stvaranje preduslova za uspostavljanje savremenih referentnih sistema u Republici Srpskoj i BiH.

---

<sup>1</sup> CILAP - Capacity Building for Improvement of Land Administration and Procedures in Bosnia and Herzegovina

<sup>2</sup> RERP - Real Estate Registration Project

U posljednje tri godine (2013. - 2015.) među najvažnijim aktivnostima koje su sprovedene u Republici Srpskoj i BiH su aktivnosti u oblasti realizacije apsolutnih gravimetrijskih mjerenja, osnovnih gravimetrijskih mreža i određivanja parametara horizontalne transformacije.

## **2. MJERENJE APSOLUTNOG UBRZANJA SILE ZEMLJINE TEŽE I OSNOVNE GRAVIMETRIJSKE MREŽE**

Donatorski projekat švedske vlade "Izgradnja kapaciteta za poboljšanje zemljišne administracije i procedura u Bosni i Hercegovini" ("CILAP - Capacity Building for Improvement of Land Administration and Procedures in Bosnia and Herzegovina") kroz Komponentu "Razvoj geodetske infrastrukture i metoda" ("Development of Geodetic Infrastructure and methods") daje direktnu podršku za definisanje, uspostavljanje i održavanje pouzdanih geodetskih referentnih mreža: gravimetrijske mreže i određivanje geoida za cijelu teritoriju BiH, GNSS mreže i vezu sa evropskim geodetskim referentnim sistemom ETRS89, nove mreže visoko-preciznog nivelmana i povezivanje sa susjednim zemljama.

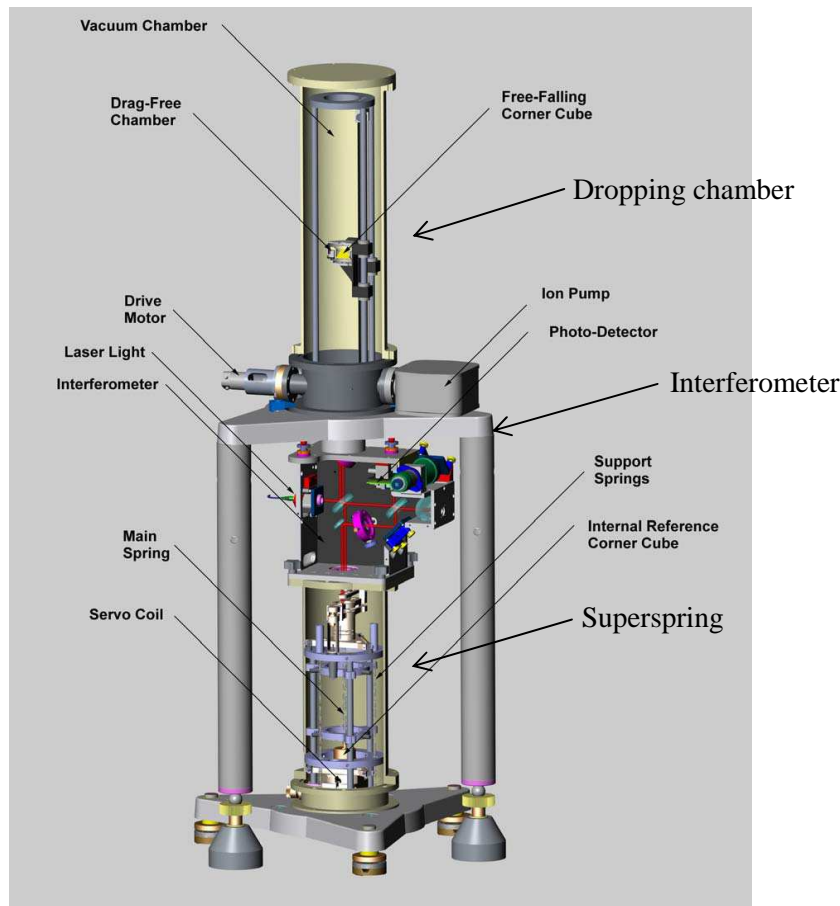
### ***2.1. Mjerenje apsolutnog ubrzanja sile zemljine teže***

Jedna od prvih aktivnosti CILAP-projekta u februaru 2013 godine je bila izbor adekvatnih lokacija za kampanju mjerenja apsolutnih vrijednosti ubrzanja sile zemljine teže. Uslovi koje je trebalo zadovoljiti su: ravnomjerna raspoređenost lokacija, stabilnost podloge, ujednačenost temperature vazduha u prostoriji tokom mjerenja (20°C), stabilno napajenje električnom energijom i pristupačnost. U Republici Srpskoj su usvojene predložene lokacije: manastir Gomionica kod Banja Luke i manastir Tavna kod Bijeljine a u Federaciji Bosne i Hercegovine su usvojene zgrade Federalnog hidrometrološkog zavoda: bivša seizmološka stanica Grdonj u Sarajevu i seizmološka stanica Bijeli Brijeg u Mostaru (slika 1). Na sve četiri lokacije su odabrane podrumске prostorije sa čvrstom betonskom podlogom. Svaka tačka je obilježena čeličnom bolcnom čiji je položaj precizno određen u važećem državnom koordinatnom sistemu GK6 i evropskom referentnom sistemu ETRS89 a visina u odnosu na najbliži reper važećeg visinskog sistema NVT1.



Slika 1. Karta lokacija

Kampanja mjerenja apsolutnog iznosa ubrzanja sile zemljine teže na ovim tačkama je obavljena u oktobru 2013. godine od strane stručnjaka Švedske uprave za kartografiju, katastar i zemljišnu registraciju (Lantmäteriet) sa instrumentom FG5 #233 proizvođača Micro-g Lacoste Inc (USA) (slika 2). To je trenutno najprecizniji apsolutni gravimetar, kojim se može odrediti vrijednost ubrzanja sile teže sa standardnom devijacijom od oko  $2 \mu\text{Gal}$ . Princip rada instrumenta se zasniva na visoko preciznom mjerenju slobodnog pada kuglice smještene u vakumskoj komori. Putanja kuglice se prati specijalnim laserskim uređajem a vrijeme mjeri pomoću atomskog rubidijumskog sata. Na svakoj stanici opažanje je prikupljano u dvije sesije po 24 sata a svaka sesija je podjeljena u 24 seta. U toku jednog seta registruje se 50 slobodnih padova kuglice što traje oko 8 min i 20 sek. Pravilnost rada instrumenta provjerava se najmanje dva puta u toku svake sesije i stanje upisuje u zapisnik koji je sastavni dio mjerenih podataka. Naročito je važno da se provjeri vertikalnost instrumenta pomoću ugrađenih libela, kontinuitet u napajanju električnom energijom i temperaturne promjene zraka u prostoriji. U slučaju bilo koje nepravilnosti cijela sesija se mora ponoviti.



Slika 2. Šematski prikaz gravimetra FG5

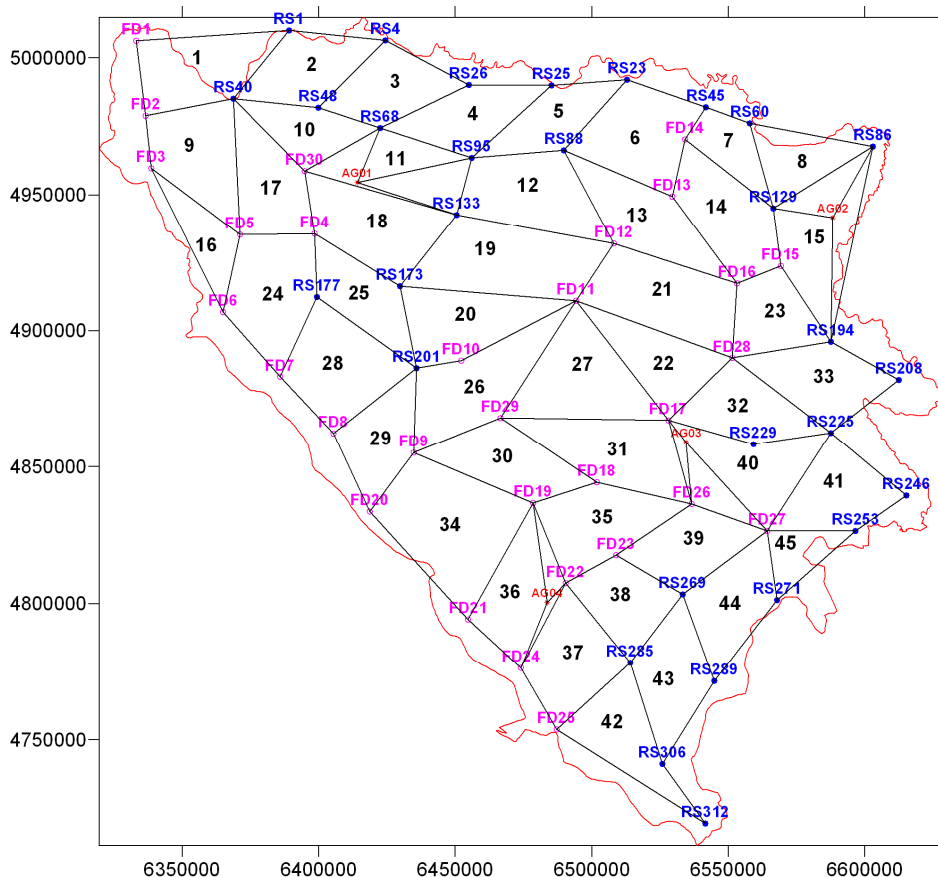
Kako instrument tokom mjerenja stoji na svom stativu na visini od oko 1200 mm iznad tačke na podu, to je potrebno izmjeriti tzv. vertikalni gradijent kako bi se kasnije moglo sračunati ubrzanje sile zemljine teže za tačku na podu. To se radi nakon svake sesije tzv. relativnim gravimetrom u našem slučaju gravimetrom Scintrex CG-5 proizvođača Scintrex Limited (Canada).

Pomoću programa "Absolute Gravity Processing Software" verzija 9, koji je također proizvod Micro-g Lacoste Inc izvršena je obrada rezultata mjerenja u Lantmäteriet i dostavljen konačan izvještaj: *BALI-4-2\_Gravity\_measurements, Andreas E\_01-21\_oct\_2013*. Iz izvještaja se vidi da su mjerenja bila veoma dobra i da su rasipanja između setova bila veoma mala. Ovo potvrđuje da je izbor stajališta za nultu gravimetrijsku mrežu bio dobar. Zbog zemljotresa na Krfu, 13 oktobra 2013 u 7:30 sati ujutro, je jedan cijeli set na stanici u Sarajevu morao biti odbačen iz obrade ali to nije uticalo na konačan rezultat mjerenja. Kako je korišteni apsolutni gravimetar FG5 #233 kalibrisan prije i poslije kampanje mjerenja prema važećim svjetskim i evropskim standardima to se može tvrditi da su utvrđene vrijednosti apsolutnog ubrzanja sile zemljine teže na pomenutim stanicama usklađene prema najnovijim standardima International Gravity Standardization net – IGSN.

## 2.2. Mjerenje relativnog ubrzanja sile teže u osnovnim gravimetrijskim mrežama

Odmah nakon završene kampanje mjerenja apsolutnog ubrzanja sile zemljine teže na stanicama: Gomionica, Tavna, Sarajevo i Mostar pristupilo se projektovanju Osnovnih gravimetrijskih mreža Republike Srpske (OGM RS) i Federacije BiH (OGM FBiH). Mreže su dizajnirane po ugledu na zemlje u Evropi i sastoje se od ukupno 60 tačaka (po 30 u obe OGM) sa ukupno 104 gravimetrijske strane u obe mreže koje zatvaraju ukupno 45 poligona (slika 3).

Glavne karakteristike, zbirno za obe OGM date su u tabeli 1. Pod gravimetrijskom stranom podrazumijeva se razlika ubrzanja sile teže između susjednih gravimetrijskih tačaka, koja se grafički prikazuje u vidu najkraćeg rastojanja između njih. Projektom je odabrano 30 tačaka (od ukupno 313) postojeće GPS Referentne mreže Republike Srpske (GPS REF RS), a u FBiH je projektovano 30 novih tačaka čije je rekognosciranje i stabilizacija izvršeno u toku ljeta 2014. Oznake tačeka OGM RS nose prefiks RS i redni broj tačke GPS REF RS, a u Federaciji BiH nosi prefiks FD i redni broj od 1 do 30.



Slika 3. Tačke i poligoni OGM RS i OGM FbiH

Tabela 1. Glavne karakteristike OGM RS i OGM FBiH

Zbirne karakteristike obe mreže	Vrijednost
Ukupan broj tačaka u obe mreže	60
Ukupan broj poligona u obe mreže	45
Minimalna dužina gravimetrijske strane (km)	20
Maksimalna dužina gravimetrijske strane (km)	73
Prosječna dužina gravimetrijske strane (km)	35
Prosječan broj gravimetrijskih strana koje se susište u tački	3.5
Prosječan obim gravimetrijskog poligona (km)	139
Ukupna dužina svih strana u obe mreže (km)	3618

Kako je određivanje apsolutnih vrijednosti ubrzanja sile zemljine teže apsolutnim gravimetrom skup i dugotrajan posao to se za mjerenja u OGM koristi tzv. relativni gravimetar. Relativnim gravimetrom se mjeri relativna razlika ubrzanja sile zemljine teže između dvije tačke na gravimetrijskoj strani. Povezivanje gravimetrijskih strana u zatvorene poligone omogućava kontrolu i izravna je mjerenja a povezivanje sa tačkama apsolutne gravimetije (AG-tačkama) obezbjeđuje računanje apsolutnih vrijednosti ubrzanja sile zemljine teže za sve tačke OGM mreža.

Koristeći Sporazum o Saradnji između Republičkog Geodetskog Zavoda Srbije (RGZ) i Lantmäteriet potpisan 2011 godine, iskorištena je mogućnost da se saradnja nastavi te realizacija Projekta OGM povjeri stručnjacima RGZ-a.



Slika 4. Radna ekipa na tačkama OGM: FD27 i RS129

Radnu ekipu na terenu (slika 4.) su činili jedan stručnjak iz RGZ i po jedan stručnjak iz FGU i RGU, a mjerenja su obavljena relativnim gravimetrom Scintrex CG-5 #73 u vlasništvu RGZ-a. Kampanja mjerenja je trajala dva mjeseca septembar - oktobar 2014 a konačan izvještaj je dostavljen početkom novembra 2014.

Poznato je da svaki gravimetar ima svoj hod i da vrijednost njegovog miligala se ne poklapa sa apsolutnim miligalom u datom vremenskom trenutku. Stoga je izvršena kalibracija instrumenta mjerenjem razlike ubrzanja sile teže između AG-tačaka i to:

Na početku merenja: AG02 - AG03 - AG02 - AG03 - AG02.

Na kraju merenja: AG03 - AG02 - AG03 - AG02 - AG03.

Po završetku mjerenja sve relativne razlike ubrzanja sile teže na svim gravimetrijskim stranama su korigovane množenjem koeficijenom  $K$  koji se doboje kao količnik:

$$K = \frac{\Delta g(\text{apsolutno})}{\Delta g(\text{mjereno})}$$

Gdje je:

$\Delta g(\text{apsolutno})$  - razlika ubrzanja između dvije apsolutne tačke AG02 i AG03.

$\Delta g(\text{mjereno})$  - razlika ubrzanja dobijena mjerenjem gravimetrom između dvije apsolutne tačke AG02 i AG03.

Sve razlike ubrzanja korigovane su za kalibracioni faktor F po principu da je promjena faktora sa vremenom linearna, tako da je za svaki mjerni dan računat novi faktor.

Definitivne vrijednosti ubrzanja sile teže i njihova ocjena tačnosti je data u konačnom izvještaju BAL1-4-4. Standardna greška apsolutnih ubrzanja ima vrednost od 0.008 do 0.016 mgal. Srednja vrednost iznosi 0.011 mgal a standardna devijacija 0.002 mgal. Ove cifre su impresivne i može se slobodno reći da su OGM izvanrednog kvaliteta. U tabeli 2. su dati numerički podaci o OGM.

*Tabela 2. Zbirni numerički podaci o OGM RS i OGM FBiH*

Karakteristika	Vrijednost
Broj poligona mreže	45
Broj poligona povezivanja sa AGT tačkama	12
Broj strana	116
Broj sesija	98
Najmanji obim poligona	96134 m (Poligon 45)
Najveći obim poligona	181809 m (Poligon 19)
Suma obima svih poligona	3239 km
Srednji obim poligona	143957 m
Najduža strana poligona	73348 m (RS86 - RS194)
Najkraća strana poligona	14023 m (RS45 - FD14)
Najveće greške zatvaranja poligona	
Negativna	-0.072 mGal (Poligon 11)
Pozitivna	+0.059 mGal (Poligon 3)
Najveće razlike ubrzanja	
Negativna	-192.594 mgal (FD4-RS177)
Pozitivna	+212.801 mgal (RS132-FD25)

### **3. HORIZONTALNA TRANSFORMACIJA NA TERITORIJI REPUBLIKE SRPSKE**

Detaljna analiza postojećeg stanja pokazuje da važeći državni referentni sistem Republike Srpske, koji je u upotrebi već više od 70. godina, i koji se zasniva na negeocentričnom Beselovom elipsoidu i Gaus-Krigerovoj projekciji meridijanskih zona, ni po definiciji, ni po realizaciji više ne odgovara savremenim zahtjevima tačnosti i pouzdanosti.

S druge strane, opšta strategija Republičke uprave za geodetske i imovinsko-pravne poslove (RGU) za uspostavljanje novog državnog referentnog sistema Republike Srpske predviđa da to bude ETRS89, koji je definisan kao pravougli, pravolinijski, geocentrični sistem, koji je čvrsto vezan za evropsku litosfernu ploču i kreće se zajedno sa njom. Ovom sistemu pridružen je globalni elipsoid sistema GRS80 u odnosu na kojeg se horizontalni položaji tačaka i objekata izražavaju sistemom geografskih koordinata. Za masovne praktične zadatke pozicioniranja u oblasti državnog premjera i katastra nepokretnosti predviđena je UTM projekcija za odgovarajuću zonu, ali se kao alternativa predlaže i dosadašnja Gaus-Krigerova projekcija.

Realizacija novog državnog referentnog sistema, koji se od postojećeg razlikuje i po položaju i po orijentaciji i po razmjeri, podrazumijeva uspostavljanje relativno homogenog polja tačaka po cijeloj državnoj teritoriji, sa fizičkom materijalizacijom i pripadajućim koordinatama koje će realizovati novi državni referentni sistem, i formulisanje odgovarajućeg transformacionog modela kojim se ostvaruje veza između postojećeg i novog državnog referentnog sistema u oba pravca, i obuhvataju u najvećoj mjeri distorzije i deformacije u realizaciji jednog ili oba sistema.

Prvi od navedenih zadataka praktično je već realizovan na cijeloj teritoriji Republike Srpske EUREF GPS mernom kampanjom 1996. godine, razvijanjem pasivne GPS mreže, uspostavljanjem mreže stalno operativnih GNSS referentnih stanica SRPOS, i realizacijom niza gradskih mreža GNSS tehnologijom.

Drugi navedeni zadatak predstavlja formulacija transformacionog modela koji treba da pruži mogućnost da se u višegodišnjem prelaznom periodu koegzistencije postojećeg i novog državnog referentnog sistema donose strateške, normativne i operativne odluke kada je u pitanju pozicioniranje za potrebe državnog premjera, katastra nepokretnosti, inženjersko-tehničkih radova, GIS aplikacija, usaglašavanja državnog referentnog sistema sa evropskim referentnim sistemom, odnosno referentnim sistemima susjednih država, učesća u evropskim projektima i regionalnoj geodetskoj saradnji, i efikasne i pouzdane kopnene, vazdušne i riječne navigacije na cijeloj teritoriji Republike Srpske i u određenoj mjeri van njenih granica.

Posmatrano sa matematičkog aspekta, postoji proizvoljno mnogo linearnih i nelinearnih transformacionih modela koji funkcionalno povezuju koordinate koje se odnose na dva referentna sistema. Isto tako je moguće na proizvoljno mnogo načina definisati optimalnost transformacionog modela. Stoga se pred izbor transformacionog modela postavljaju sledeći opšti zahtjevi:

- transformacioni model treba da omogući dvosmjernu transformaciju,
- transformacioni model treba da bude jednostavan,
- transformacioni model treba da bude jedinstven,
- transformacioni model treba da obuhvati deformacije,
- transformacioni model treba da se odnosi na horizontalne položaje,
- transformacioni model treba da ima odgovarajuću tačnost  $i$
- transformacioni model treba da bude javno dostupan.

Imajući u vidu rezultate preliminarnog istraživanja, predloženo je da matematički odnos novog i postojećeg referentnog sistema Republike Srpske definiše model sedmoparametarske Helmertove transformacije sličnosti. Pri tome se nepoznati parametri Helmertove transformacije mogu određivati kako na osnovu pravougljih koordinata zajedničkih tačaka, tako i na osnovu njihovih geografskih koordinata. Prvi pristup karakteriše jednostavnost i direktnost. Drugi pristup ima prednost što u postupku ocjenjivanja parametara mogu učestvovati i tačke koje nemaju poznate sve tri koordinate.

Međutim, s obzirom na činjenicu da sama Helmertova transformacija ne može obezbijediti približenje postojećem stanju sa tačnošću boljom od 0.5 m, predloženo je korišćenje transformacionih reziduala



za prognoziranje deformacija i distorzija postojećeg referentnog sistema na proizvoljnoj lokaciji Republike Srpske.

Efikasno korišćenje reziduala, odnosno njihova interpolacija za proizvoljnu lokaciju, ostvaruje se najjednostavnije kada se oni pripreme u formi grida. Grid popravaka odnosno reziduala po koordinatnim osama može se formirati na više načina, ali je u svakom slučaju neophodno da se utvrde njegove sledeće najvažnije karakteristike:

- područje pokrivenosti grida,
- rezolucija grida,
- rezolucija vrijednosti reziduala,
- nedostajuće vrijednosti i
- metoda formiranja grida.

Potrebno je napomenuti da se iste karakteristike grida moraju koristiti prilikom tretmana reziduala po objema koordinatnim osama.

Konačno, prognoziranje popravaka po koordinatnim osama u okviru grida reziduala se takođe može izvršiti na više načina. Zbog jednostavnosti i efikasnosti preporučen je postupak bilinearne interpolacije.

### ***3.1. Projektno rješenje***

Sve aktivnosti na poslovima određivanja parametara horizontalne transformacije su izvedene u skladu sa "*Projektom horizontalne transformacije na teritoriji Republike Srpske*" koji je izrađen za ove potrebe. U sklopu navedenog projekta je teritorija Republike Srpske podijeljena na mrežu od ukupno 1228 kvadrata 5x5km u okviru kojih je bilo potrebno odabrati minimalno jednu trigonometrijsku zajedničku tačku na kojoj će biti određene ETRS89 koordinate te na taj način dobiti grid zajedničkih tačaka sa poznatim koordinatama u oba referentna sistema.

### ***3.2. Određivanje zajedničkih tačaka***

Tokom 2015. godine izvedena je mjerna kampanja na odabranim zajedničkim tačkama prilikom čega su izvršena mjerenja na zajedničkim tačkama u 1037 od ukupno definisanih 1228 kvadrata grida 5x5km (slika 5). Za preostale kvadrate grida 5x5km korišteni su podaci dobijeni mjernim kampanjama koje su sprovedene u sklopu realizacije lokalnih GPS referentnih mreža na teritoriji Republike Srpske.



Tabela 3. Parametri mjerenja GNSS vektora kod određivanja zajedničkih tačaka u statičkom režimu pozicioniranja.

Parametar	Vrijednost
Maksimalno međustanično rastojanje	30 km
Granično zenitno odstojanje	75 <sup>0</sup>
Interval registracije merenja	15 s
Broj sesija	1
Dužina sesije	20minuta + 2 minuta/km
Tačnost centrisanja	< 5 mm
Tačnost mjerenja visine antene	< 10 mm
Minimalni broj prijemnika	1

Tabela 4. Parametri mjerenja GNSS vektora kod određivanja zajedničkih tačaka u mrežnom režimu pozicioniranja.

Parametar	Vrijednost
Maksimalno međustanično rastojanje	< 30 km
Granično zenitno odstojanje	75 <sup>0</sup>
Interval registracije merenja	1 s
Tačnost pozicioniranja	< 3 cm (položajno-2D), < 4 cm (prostorno-3D)
Broj sesija	3
Dužina svake sesije	30 s
Tačnost centrisanja	< 5 mm
Tačnost mjerenja visine antene	< 10 mm
Minimalni broj prijemnika	1

### 3.3. Određivanje parametara horizontalne transformacije

U skladu sa projektnim rješenjem formiran je osnovni skup podataka zajedničkih koordinata za ukupno 1758 tačaka koje su činile tačke određene u mjernoj kampanji sprovedenoj 2015. godine, kao i tačke određene u ranijim mjernim kampanjama sprovedenim za potrebe realizacije prostornih lokalnih GPS mreža na teritoriji Republike Srpske.

Ovim tačkama određene su GNSS tehnologijom koordinate koje se odnose na referentni sistem ETRS89 odnosno referentni okvir ETRF2000 sa nominalnom referentnom epohom 1989. godine. Osnovni skup predstavlja polje zajedničkih tačaka koje relativno homogeno pokriva cjelokupnu teritoriju Republike Srpske.

### **3.3.1. Kontrola kvaliteta podataka**

Prije nego što je početo sa obradom podataka, osnovni skup podataka, odnosno podaci o zajedničkim tačkama su prethodno iskontrolisani. Osnovne kontrole koje su u tom pogledu sprovedene su sledeće: kontrola da li neka od tačaka pada izvan državne teritorije, kontrola ispravnog unosa podataka u datoteku osnovnog skupa podataka.

U daljem postupku kontrole kvaliteta preliminarno su ocijenjeni parametri Helmertove transformacije sličnosti na osnovu pravouglanih koordinata svih zajedničkih tačaka. S obzirom na to da je primjenjen postupak ocjenjivanja po metodi najmanjih kvadrata, na ovaj način dobijene su i rezultujuće popravke.

Predmet ovakve kontrole bile su vektorske popravke koje su po svom intenzitetu ili svojoj orijentaciji odstupale od tipičnog ponašanja popravaka u neposrednoj okolini.

Preostali skup testiran je na prisustvo grubih grešaka, čime je uklonjeno 17 nesaglasnih zajedničkih tačaka. Time je za dalji postupak ocjenjivanja parametara transformacionog modela ostao osnovni skup od ukupno 1741 zajedničkih tačaka.

### **3.3.2. Tačnost podataka**

Analiza tačnosti podataka osnovnog skupa odnosila se na tačnost koordinata u važećem i novom referentnom sistemu Republike Srpske.

Imajući u vidu postupak i tehnologiju određivanja koordinata tačaka u referentnom sistemu i okviru ETRS89 i ETRF2000, usvojene su sledeće pretpostavke:

- tačnost horizontalnog položaja tačaka kreće se u granicama 1 – 2 cm,
- koordinate tačaka određivane su pojedinačno, tako da se može smatrati da su u velikoj mjeri međusobno nekorelisane.

S obzirom na ovu tačnost, ETRS89 koordinate tačaka usvojene su kao etalonske, tako da je o tačnosti horizontalnog položaja u okviru važećeg državnog referentnog sistema zaključivano na osnovu popravaka sprovedene preliminarne Helmertove transformacije sličnosti.

Dobijeni rezultati pokazali su da pojedinačno određene disperzije relativnih položaja veoma dobro prate linijski pravac i da im vrijednosti rastu sa porastom rastojanja. Ocijenjeni koeficijent nagiba regresione prave iznosi  $0.00352 \text{ m}^2/\text{km}$ , odakle slijedi da se kvalitet relativnih horizontalnih položaja trigonometrijskih tačaka može izraziti standardnom devijacijom u iznosu:  $\sigma_{dp} = 0.059 \text{ m} / \sqrt{\text{km}}$

### **3.3.3. Stohastički odnosi preuzetih podataka**

Koordinate trigonometrijskih tačaka u upotrebi nisu međusobno nezavisne veličine. Step en korelacije između horizontalnih položaja susjednih tačaka varira u funkciji dužine između njih, i rezultat je identičnih mjernih postupaka i načina obrade kojom su koordinate tačaka svojevremeno ocjenjivane.

Odstupanja po koordinatnim osama na zajedničkim tačkama ponovo su predstavljala osnovne veličine na osnovu kojih je utvrđena zavisnost stohastičkih odnosa između tačaka u funkciji njihovog međusobnog rastojanja.

Koordinate trigonometrijskih tačaka pokazuju visok stepen korelacije sve do korelacione dužine od oko 20 km na kojoj korelacija opada na polovinu svoje vrijednosti. Na rastojanjima od 60 – 100 km, koordinate trigonometrijskih tačaka mogu se praktično smatrati međusobno nezavisnim jer je koeficijent korelacije blizak nuli.

### **3.3.4. Određivanje parametara transformacije**

Na osnovu prekontrolisanog skupa zajedničkih tačaka određeni su parametri globalne Helmertove transformacije, koji se odnose na cjelokupnu teritoriju Republike Srpske. Rezultat određivanja predstavlja jedinstveni skup od 7 parametara (3 parametra translacije, 3 parametra rotacije i 1 parametar razmjere). Radi kontrole, postupak određivanja sproveden je kako u pravouglim, tako i u geografskim koordinatama.

Određivanje parametara globalne Helmertove transformacije na osnovu geografskih koordinata odvijalo se gotovo identično kao i u slučaju pravouglinih koordinata. Jedina razlika sastojala se u tome što su se pravougle koordinate novog referentnog sistema  $X_1$ ,  $Y_1$ ,  $Z_1$  morale transformisati u odgovarajuće geografske koordinate  $\varphi_1$ ,  $\lambda_1$ ,  $h_1$ , koristeći pri tome parametre elipsoida GRS80.

Postupcima određivanja parametara globalne Helmertove transformacije na osnovu pravouglinih i geografskih koordinata dobijeni su identični rezultati.

#### **3.3.4.1. Formiranje grida reziduala**

Popravke (reziduali) na zajedničkim tačkama sračunate u definitivnom ocjenjivanju oslobođenom grubih grešaka predstavljaju mjeru saglasnosti novog i postojećeg referentnog sistema. Imajući u vidu veličinu i površinu teritorije Republike Srpske, za standardnu devijaciju horizontalnih položaja sračunatu iz popravaka dobijena je očekivana vrijednost:  $\sigma_p \approx 0.45$  m

To međutim istovremeno znači da se mogu očekivati pojedinačna odstupanja koja dostižu i do tri puta veću vrijednost. U nekim aplikacijama, kao što su GIS i opšta navigacija, metarska saglasnost je sasvim dovoljna. Međutim, za potrebe državnog premjera i katastra nepokretnosti Republike Srpske, neophodna je tačnost na nivou od 0.1 m.

S obzirom na to da su odstupanja po koordinatnim osama na zajedničkim tačkama poznata, svođenje položajnih koordinata  $y_T$ ,  $x_T$  koje su dobijene globalnom Helmertovom transformacijom na njihove originalne vrijednosti  $y_2$ ,  $x_2$ , pojavljuje se kao trivijalan postupak oduzimanja:

$$\begin{aligned} y_2 &= y_T - v_y \\ x_2 &= x_T - v_x \end{aligned}$$

Ali da bi se identični postupak ponovio u proizvoljnim tačkama koje nisu zajedničke, neophodno je da se u tim lokacijama prognoziraju vrijednosti popravaka po koordinatnim osama. Iako se to može izvesti na osnovu poznatih reziduala na zajedničkim tačkama primjenom nekog od interpolacionih postupaka, najpraktičniji način prognoze podrazumijeva postojanje pravilnog grida popravaka.

Grid popravaka odnosno reziduala po koordinatnim osama može se formirati na više načina, ali se u svakom slučaju utvrđuju njegove sledeće najvažnije karakteristike: Područje pokrivenosti grida, Rezolucija grida, Rezolucija vrednosti reziduala, Nedostajuće vrijednosti i Metoda formiranja grida.

Grid reziduala formiran je tako da pokriva cjelokupnu teritoriju Republike Srpske, i ima rezoluciju od 1 km. Vrijednosti reziduala po koordinatnim osama u čvorovima grida računata su po principu opšte aritmetičke sredine, i to na osnovu reziduala u zajedničkim tačkama koje su u relativnoj blizini čvora.

Za težine u okviru opšte aritmetičke sredine usvajan je stepen recipročnih rastojanja od čvora do zajedničkih tačaka koje učestvuju u računanju.

Podaci o ostalim usvojenim parametrima za formiranje grida reziduala Republike Srpske prikazani su u tabeli 5.

*Tabela 5. Osnovni parametri grida reziduala preostalih nakon globalne Helmertove transformacije na teritoriji Republike Srpske.*

<b>Parametar</b>	<b>Vrednost</b>
Granice grida po širini	4712445.00 m - 5015225.00 m
Granice grida po dužini	6358370.00 m - 6630520.00 m
Rezolucija grida	1000 m
Rezolucija vrednosti reziduala	1 cm
Nedostajuće vrijednosti	1.70141e+038
Metoda formiranja grida	Opšta aritmetička sredina
Tip težina	Recipročna vrednost rastojanja
Stepen recipročne dužine	2
Poluprečnik pretraživanja	10000 m

U tabeli 6 prikazani su osnovni statistički pokazatelji gridova horizontalnih reziduala po koordinatnim osama.

*Tabela 6. Osnovni statistički parametri razlika interpolovanih i poznatih reziduala po koordinatnim osama.*

<b>Parametar</b>	<b>Osa y</b>	<b>Osa x</b>
Maksimum	+1.40 m	+1.08 m
Minimum	- 0.88 m	-1.05 m
Srednja vrijednost	-0.06 m	-0.05 m
Standardna devijacija	0.35 m	0.32 m

### **3.3.4.2. Testiranje preciznosti grida reziduala**

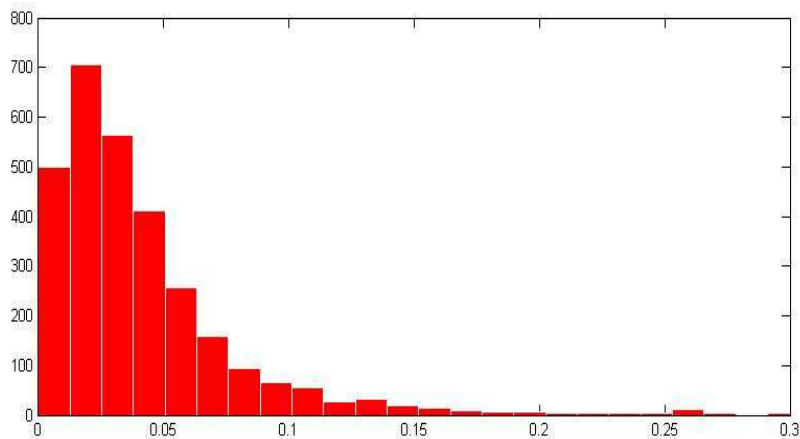
Pod preciznošću grida reziduala podrazumijeva se u ovom slučaju kvalitet kojim se pomoću njega mogu prognozirati popravke (reziduali) na zajedničkim tačkama, koje su inače poznate. Kao mjera kvaliteta usvojena je standardna devijacija razlika između poznatih i prognoziranih reziduala. Osnovni statistički pokazatelji razlika po koordinatnim osama dati su u tabeli 7.

Tabela 7. Osnovni statistički parametri razlika interpolovanih i poznatih reziduala po koordinatnim osama.

Parametar	Osa y	Osa x
Maksimum	+0.32 m	+0.35 m
Minimum	-0.18 m	-0.14 m
Srednja vrijednost	0.00 m	0.00 m
Standardna devijacija	0.04 m	0.04 m

Ekstremne vrijednosti prikazane u tabeli predstavljaju izuzetne slučajeve zbog toga što dalje nije vršeno isključivanje po kriterijumu grubih grešaka. Iz tabelarnih podataka se međutim vidi da su razlike centrirane (srednja vrijednost im je 0.00 m), i da imaju malu standardnu devijaciju od svega 0.04 m.

Histogram ukupnih horizontalnih razlika u metrima, sračunatih iz razlika po koordinatnim osama prikazan je na slici 6. Sa slike se vidi da ove razlike odlično aproksimiraju  $\chi^2$  raspored. Standardna devijacija razlika po horizontalnom položaju ima vrijednost 0.056 m.



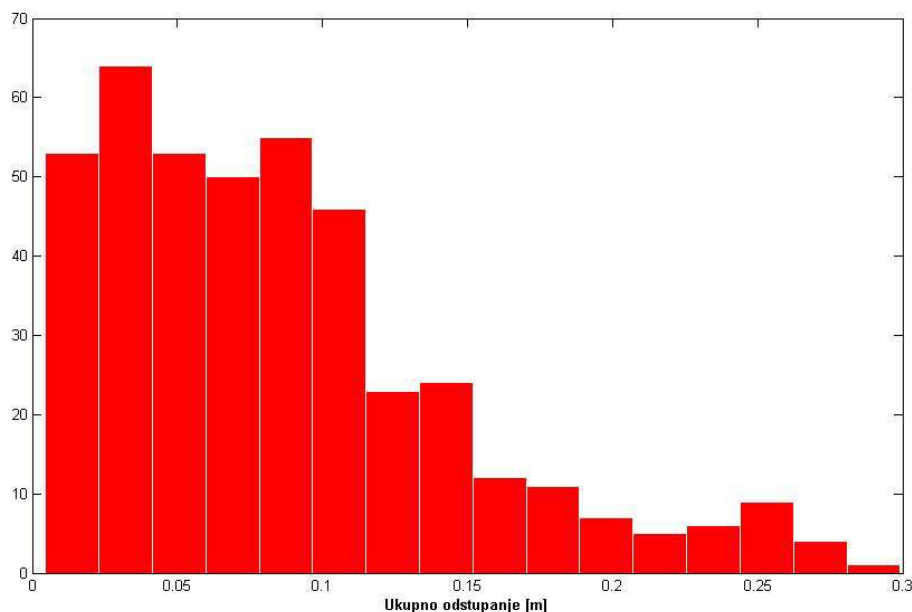
Slika 6. Histogrami odstupanja reziduala interpolovanih u gridu od reziduala preostalih nakon globalne Helmertove transformacije po horizontalnom položaju.

### 3.3.4.3. Testiranje tačnosti grida reziduala

Pod tačnošću grida reziduala podrazumijeva se u ovom kontekstu, kvalitet kojim se pomoću njega mogu prognozirati popravke (reziduali) na tačkama, čije su koordinate inače poznate u oba sistema, ali koje nisu učestvovala u postupku određivanja parametara transformacije i grida reziduala. Kao mjera kvaliteta usvojena je standardna devijacija razlika između poznatih i prognoziranih koordinata tačaka.

Za potrebe testiranja tačnosti grida reziduala iz ukupnog skupa izdvojeno je 200 tačaka koje su približno ravnomjerno raspoređene po teritoriji Republike Srpske, a sa preostalim zajedničkim tačkama određene su vrijednosti parametara transformacije i formiran je grid reziduala. Za odabranih 200 tačaka prognozirane su koordinate u postojećem državnom referentnom sistemu korišćenjem parametara transformacije i interpolacijom u gridu reziduala te sračunate razlike prognoziranih i postojećih koordinata za 200 tačaka po koordinatnim osama, i određene su ukupne rezultante tih razlika.

Slika 7 prikazuje histogram sračunatih ukupnih rezultanti razlika prognoziranih i postojećih koordinata za izabranih 200 tačaka. Sa slike se vidi da histogram rezultanti veoma dobro aproksimira  $\chi^2$  raspored. Standardna devijacija razlika po horizontalnom položaju ima vrijednost 0.106 m.



Slika 7. Histogram odstupanja koordinata tačaka prognoziranih pomoću globalne Helmertove transformacije i grida reziduala, i poznatih koordinata tačaka po horizontalnom položaju.

### 3.4. Softver za transformaciju

Za potrebe računске podrške transformaciji između novog i postojećeg referentnog sistema Republike Srpske izrađena su dva softverska modula:

- RSGrid: softver za određivanje parametara transformacije na osnovu koordinata zajedničkih tačaka, računanje reziduala po koordinatnim osama i njihovo gridiranje i
- RSTrans: softver za transformaciju koordinata između novog i važećeg referentnog sistema sa opcijom korišćenja grida reziduala za dodatnu korekciju rezultata transformacije.

Oba softverska modula realizovana su kao desktop aplikacije koje rade pod Windows operativnim sistemom. Programi imaju grafički korisnički interfejs koji omogućuje intuitivni izbor opcija koje stoje na raspolaganju.

### 3.5. Dalje aktivnosti u cilju primjene transformacije

U situaciji u kojoj će postojeći državni referentni sistem Republike Srpske još dugo koegzistirati sa novim državnim referentnim sistemom, pitanje korišćenja transformacionog postupka prezentovanog u ovom radu sa stanovišta RGU će se tretirati u sledećim fazama:

- u prvoj fazi RGU će da koristi razvijene desktop aplikacije RSGrid i RSTrans za testiranje i poboljšanje grida reziduala, na taj način što će neprestano dopunjavati datoteku sa zajedničkim tačkama,



- u drugoj fazi, će periodično publikovati grid reziduala kreiran aplikacijom RSGrid, a desktop aplikaciju RSTrans ustupati korisnicima uz ili bez nadoknade,
- u trećoj fazi, RGU će i dalje da kreira grid reziduala desktop aplikacijom RSGrid, i instalirati veb varijantu aplikacije RSTrans, kojoj će korisnici pristupati na odgovarajućoj internet stranici i
- u četvrtoj fazi, grid reziduala i aplikacija RSTrans će se integrisati u softver mreže permanentnih stanica SRPOS, tako da će korisnici automatski dobijati interpolovane rezidualne i transformisane koordinate u okviru mrežnih korekcija.

Potrebno je napomenuti da poslednje tri faze mogu da se odvijaju istovremeno, uz jedini uslov da se u svakoj od njih koristi ista verzija grida reziduala.

#### 4. ZAKLJUČAK

Zahvaljujući, pored napora koje samostalno preduzimaju sopstvenim resursima, i uspješnoj međunarodnoj saradnji i podršci projekata koji se realizuju kreditnim sredstvima Svjetske Banke - RERP i donatorskim sredstvima Kraljevine Švedske - CILAP, Republika Srpska i BiH drže korak sa međunarodnim standardima i dostignućima u oblasti osnovnih geodetskih radova.

Projekat "Izgradnja kapaciteta za poboljšanje zemljišne administracije i procedura u Bosni i Hercegovini" - CILAP organizovan je kao partnerska saradnja između Geodetskih uprava u BiH i Lantmäteriet -a sa ciljem da izgradi kapacitete, te prenese znanje s opštim ciljem da poveća efektivnost i pouzdanost procesa zemljišne administracije u BiH. U skladu s ciljevima projekta urađena su apsolutna i relativna mjerenja ubrzanja sile Zemljine teže.

Sredstvima RERP projekta finansirano je određivanje parametara horizontalne transformacije na teritoriji Republike Srpske. RERP projekat je prvenstveno fokusiran na osnivanje katastra nepokretnosti, a realizacija navedenih aktivnosti određivanja parametara horizontalne transformacije u sklopu ovog projekta je nesumnjiv pokazatelj da je kvalitetno definisanje i realizacija referentnih geodetskih sistema preduslov za kvalitetnu evidenciju o nepokretnostima.

U toku 2015 godine, u sklopu CILAP projekta, izrađena je *Strategija o implementaciji referentnih sistema za područje Bosne i Hercegovine* koja bi trebala aktivirati završetak započetih projekata i inicirati nekoliko novih projekata u narednih četiri godine. Konačan cilj je da se sa klasičnih referentnih sistema, baziranih na referenc elipsoidima i nivelmanskim mrežama, u potpunosti pređe na globalne terestričke referentne sisteme sa kreiranim rješenjem za referentne geodetske površi.

#### 5. LITERATURA

- Engfeldt, A., Agren, J., Zimic, S. (2013): Izvještaj Kampanje mjerenja apsolutnog ubrzanja sile teže u Bosni i Hercegovini. No. BAL1-4-2. Lantmäteriet, Gavle.
- Starčević, M. (2014): Finalni izvještaj Osnovne gravimetrijske mreže RS i FBiH. Republički Geodetski Zavod, Beograd. No. BAL1-4-4. RGZ Beograd.
- Blagojević, D. (2009): Projekat horizontalne transformacije na teritoriji Republike Srpske, Republička uprava za geodetske i imovinsko-pravne poslove, Banja Luka.
- Blagojević, D. (2015): Optimalni model transformacije i distribucije reziduala na teritoriji Republike Srpske - Završni izvještaj, Republička uprava za geodetske i imovinsko-pravne poslove, Banja Luka.

## **MORE SIGNIFICANT GEODETIC WORKS IN THE REPUBLIC OF SRPSKA IN THE PERIOD 2013-2015**

***Summary:** Throughout history geodetic profession has always represented the avant-garde in the technical world, constantly bringing new solutions and ideas that later served as the basis for the development of other activities and which found their application in many areas of life.*

*At the present time when the development of modern technology has led to the fact that many branches of geodetic activities are accessible and understandable to the wider professional public, and, how many of the colleagues would say, usurped by other technical activities, the field of basic geodetic works remained purely geodetic area, which continues to make progress in accordance with the possibilities of modern technologies.*

*In the period 2013-2015, Republic Authority for geodetic and property affairs of the Republic of Srpska conducted significant activities in the field of basic geodetic works as follows:*

- *for the first time in history, the absolute gravimetric measurements on two points in the Republic of Srpska (out of four that were measured in Bosnia and Herzegovina),*
- *measured and determined Basic gravimetric network of the Republic of Srpska;*
- *determining the parameters of horizontal transformation for the territory of the Republic of Srpska;*

*Gravimetric measurements were conducted as part of the implementation of the donor project funded by the Kingdom of Sweden "Capacity Building for Improvement of Land Administration and Procedures in BiH-CILAP<sup>3</sup>", which is implemented together with the State geodetic authority of Kingdom of Sweden.*

*Activities for determining parameters of horizontal transformation on the territory of the Republic of Srpska are conducted within the Real Estate Registration Project -RERP, which is funded from the World Bank's loan.*

***Keywords:** Parameters of horizontal transformation, gravimetric measurements and networks*

---

<sup>3</sup> CILAP - Capacity Building for Improvement of Land Administration and Procedures in Bosnia and Herzegovina