

Uvođenje novih geodetskih datuma i kartografske projekcije u Federaciji Bosne i Hercegovine

Slobodanka Ključanin

Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet, prof. dr. sc.
slobodanka63@yahoo.com

Ervin Redžepagić

Federalna uprava za geodetske i imovinsko-pravne poslove, dipl. ing. geod.
ervin.redzepagic@gmail.com

Sažetak: Globalizacija geoprostornih podataka i referentnih geodetskih okvira je potreba za cjelokupni razvoj kako nacionalnih ekonomija tako i ekonomije na svjetskoj razini. Sukladno potrebama definiranja općeg geodetskog referentnog okvira, 2015. godine, Ujedinjene nacije na svojoj Generalnoj skupštini usvojile su rezoluciju „Globalni geodetski referentni okvir za održivi razvoj (Global Geodetic Reference Frame for Sustainable Development - GGRF)“. Članice Europske unije (EU) rješavaju taj problem donošenjem zajedničkih direktiva, preporuka i drugih akata, kako bi se prilagodili nacionalni zakoni država članica. Bosna i Hercegovina i njoj susjedne države, koje nisu članice EU donijele su odgovarajuće zakonske propise i odluke kako bi se prilagodile globalizaciji prostornih podataka i referentnih okvira. Stoga je i Federalna uprava za geodetske i imovinsko-pravne poslove (FGU) poduzela određene aktivnosti u cilju uspostavljanja novih geodetskih referentnih okvira kroz promjenu zakonske regulative, obnovu i uspostavu novih referentnih sustava i izvođenja mjerenja. U članku će biti riječi o postojećem geodetskom referentnom okviru i aktivnostima FGU na uvođenju novih geodetskih datuma i kartografske projekcije u Federaciji Bosne i Hercegovine.

Ključne riječi: globalizacija, geoprostorni podaci, geodetski referentni okviri, geodetski datum FBiH

Introduction of the new geodetic datums and map projections in the Federation of Bosnia and Herzegovina

Abstract: The globalization of geospatial data and geodetic reference frames is important for the overall development of both national and global economies. In accordance with the needs for defining a general geodetic reference frame, the United Nations General Assembly adopted the resolution "Global Geodetic Reference Frame for Sustainable Development (GGRF)" in 2015. The European Union member states have addressed the issue by adopting joint directives, recommendations and other acts to adapt national laws. Bosnia and Herzegovina and its neighboring countries, non-EU member states, have enacted appropriate legislation and decisions to adapt to the globalization of spatial data and reference frames. Therefore, the Federal Administration for Geodetic and Property Affairs (FGU) has undertaken certain activities in order to establish a new geodetic reference frame through changes in legislation, renewal and establishment of new reference systems and measurements. The paper will discuss the existing geodetic reference frame and the activities of the FGU on the introduction of new geodetic datums and map projections in the Federation of Bosnia and Herzegovina (FBiH).

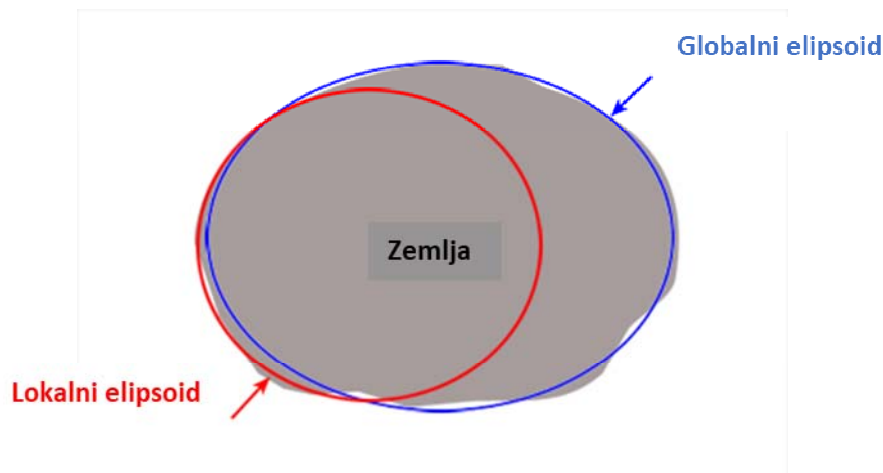
Key words: globalization, geospatial data, geodetic reference frames, geodetic datum of FBiH

Ključanin, S., Redžepagić, E.

Uvođenje novih geodetskih datuma i kartografske projekcije u Federaciji Bosne Hercegovine

1. UVOD

Geodezija (geomatika) definira se kao struka koja se bavi modeliranjem i realizacijom prostornih sustava, načinima prikupljanja prostornih podataka, njihovom analizom, te vizualizacijom i interpretacijom (Bašić, 1999.). Kako bi se zadovoljili zahtjevi za globalizacijom geoprostornih podataka potrebno je definiranje novog geodetskog datuma ili geodetskog referentnog sustava. Geodetski datum je datum koji opisuje odnos ishodišta i orijentaciju osi koordinatnog sustava koji se odnosi na Zemlju. Najmanje osam parametara nužno je za definiciju globalnog datuma: tri za određivanje ishodišta koordinatnog sustava, tri za određivanje orijentacije koordinatnog sustava i dva za određivanje dimenzija geodetskog elipsoida. Lokalni datum obično se definirao s pet parametara: širinom i dužinom fundamentalne točke, azimutom od fundamentalne točke prema jednoj stranici i dva parametra elipsoida. Dodatno su se zadavali elementi otklona težišnice u fundamentalnoj točki, ili uvjet da je mala os elipsoida paralelna s osi rotacije Zemlje (Frančula i Lapaine, 2008).



Slika 1. Razlika između lokalnog i globalnog datuma. Elipsoid za globalni datum je veličine i pozicioniran tako da najbolje predstavlja površinu Zemlje na globalnoj razini. Lokalni datumi imaju svoje dimenzionirane elipsoide koji su pozicionirani tako da bolje odgovaraju određenom području Zemlje (geoidu) (URL1).

Geodetska mjerenja izvedena na površini Zemlje moraju se reducirati na usvojenu matematičku plohu, odnosno usvojeni rotacijski elipsoid koji mogu biti globalni ili lokalni. Lokalni referentni elipsoid se usvaja tako da što bolje odgovaraju geoidu¹ na području od lokalnog interesa. To znači da se razlika između geoida i referentnog rotacijskog elipsoida može zanemariti. To ima za posljedicu da omogućava izradu točnih karata Zemljine površine. Globalni referentni rotacijski elipsoid, za razliku od lokalnog elipsoida, odgovaraju geoidu cijele Zemaljske kugle (Slika 1).

¹ Geoid je ekvipotencijalna površina tj. zamišljena ploha koja obuhvaća sve točke u prostoru u kojima je potencijal fizikalnoga polja jednake vrijednosti. Geoid se smatra najboljom aproksimacijom Zemlje.

Ključanin, S., Redžepagić, E.

Uvođenje novih geodetskih datuma i kartografske projekcije u Federaciji Bosne Hercegovine

2. REFERENTNI SUSTAVI FEDERACIJE BOSNE I HERCEGOVINE

2.1 Naslijeđeni referentni sustavi

Postojeći referentni sustavi koji su još uvijek u uporabi dijele se na: položajni, visinski, gravimetrijski i astrogeodetski referentni sustav.

2.1.1 Položajni referentni sustav

Temelj današnjeg položajnog geodetskog datuma u Federaciji BiH određen je radovima Vojno-geografskog instituta (MGI) Austro-Ugarske monarhije. Fundamentalna točka sustava je Hermannskogel, čiji je položaj $\varphi_0=48^\circ 16'15.29''$, $\lambda_0=33^\circ 57'41.06''$ (početni meridijan Ferro) određen astronomskim mjerenjima, jednako kao i orijentacija mreže koja je definirana astronomskim azimutom $A=107^\circ 31'41.70''$ prema susjednoj točki triangulacijske mreže Hundesheimer Berg. Kao matematički model za Zemlju odabran je Besselov elipsoid (MGI, 1901.; Bašić, 1999.). Vojno-geografski institut iz Beograda (VGI) je između dva svjetska rata, oslanjajući se na postojeću Austro-Ugarsku mrežu, definirao triangulacijsku mrežu I. reda tadašnje Jugoslavije, a nakon II. svjetskog rata ponovno premjerio cijelu mrežu I. reda, no rezultati tih mjerenja nikad nisu zapravo uvedeni u civilnu uporabu. Veći broj tih trigonometara je tijekom vremena prestabiliziran, tako da su im promijenjene položajne koordinate i visina. Potrebno je spomenuti kako su unatoč tome, visine doslovno preuzete iz Austro-Ugarske triangulacije (podatak na metar). Utvrđeno je da postoje tri osnovna nedostatka postojeće triangulacijske mreže. Visine točaka su bitno lošije određene od položajnih koordinata, što predstavlja značajan problem pri transformaciji novih (GPS) mjerenja u postojeći lokalni datum. Postojeća mreža je loše dokumentirana, a stabilizacija točaka u pravilu je nepogodna za praktična GPS mjerenja, jer se najčešće nalaze na visokim i teško pristupačnim brdima (Bašić 1999.; Peterca i Čolović 1987., Delčev i dr. 2014., Šugar i dr. 2015., Zimić i Đonlagić 2017., Mugnier 2012.).

2.1.2 Visinski referentni sustav

Ishodište visinskog sustava za područje Federacije BiH je definirano srednjom razinom mora, proizašlo na temelju mareografskih opažanja na molu Sartorio u Trstu 1875. godine. Prve osnovne radove ovoga tipa izveo je MGI između 1878. i 1905., potom je u razdoblju između 1946. i 1957. urađen prvi Nivelman Visoke Točnosti (NVT1), a između 1968. i 1972. drugi NVT (NVT2). NVT2 nije nikada zvanično usvojen i stavljen u službenu upotrebu, tako da su u upotrebi još uvijek visine NVT1. Pored starosti ovih podataka, te rubnog smještaja ishodišne točke Trst, veliki problem proizlazi i iz činjenice što visine repera sadrže i pogrešku srednje razine mora mareografa u Trstu (Bašić, 1999.). U Europi se u praksi upotrebljavaju tri različite vrste visina: normalne, ortometrijske i normalne ortometrijske visine². Ortometrijske visine upotrebljavaju se u Belgiji, Danskoj, Italiji itd., a normalne u Francuskoj, Njemačkoj, skandinavskim zemljama itd. U državama nastalim raspadom bivše SFRJ: Hrvatskoj, Sloveniji, Bosni i Hercegovini, Crnoj Gori, Makedoniji, kao i u Albaniji, u primjeni su normalne

² Ortometrijske, dinamičke i normalne visine smatraju se pravim visinama, a približno definiranim se smatraju normalne ortometrijske visine (Idhe, 2006.; Bilajbegović i Mulić, 2013.). Normalni ortometrijski sistem visina ne omogućava matematičko određivanje referentne površine, već se ista aproksimira na osnovu velikog broja tačaka s poznatim elipsoidnim i normalnim ortometrijskim visinama (Službene novine Federacije BiH, br.15/19).

Ključanin, S., Redžepagić, E.

Uvođenje novih geodetskih datuma i kartografske projekcije u Federaciji Bosne Hercegovine

ortometrijske visine, dok su u Srbiji od 2012. godine u primjeni normalne visine (SG RS 2012, Grgić i dr. 2015).

2.1.3 Gravimetrijska mjerenja

U bivšoj Jugoslaviji gravimetrijska mjerenja bila su u nadležnosti Vojno-geografskog instituta. Podaci tih mjerenja su smatrani vojnom tajnom, pa su informacije o načinu mjerenja, kalibraciji gravimetara i računanju normalne vrijednosti ubrzanja sile teže nepoznate. Također, ne postoje pouzdani podaci o većini gravimetrijskih točaka. Pored apsolutnih mjerenja, između 1952. i 1974. godine uspostavljena je gravimetrijska mreža I. reda (14 točaka), Osnovna gravimetrijska mreža i Gravimetrijska mreža II. reda. Pored ovih točaka, izrađene su i karte Bouguerovih anomalija, kao i anomalija slobodnog zraka, i to u Potsdamskom sustavu ubrzanja sile teže. S tri točke bila je bivša država spojena i na IGSN71 gravimetrijski referentni sustav (Bašić i Bačić 1999., Bašić, 1999., Zimić i Đonlagić 2017.).

2.1.4 Astrogeodetska mreža

Usporedo s razvijanjem trigonometrijskih mreža izvođena su astronomska određivanja koordinata točaka trigonometrijskih mreža, odnosno određivanja astrogeodetskih odstupanja vertikalna. Nedostatak financijskih sredstava i skupi radovi uvjetovani tadašnjom tehnologijom rezultirali su malim brojem neravnomjerno raspoređenih točaka na kojima su izvršena mjerenja, što nije bilo dovoljno za određivanje astrogeodetske mreže bivše Jugoslavije niti precizno određivanje geoida (Zimić i Đonlagić 2017.).

3. NOVI REFERENTNI SUSTAVI U FEDERACIJI BOSNE I HERCEGOVINE

Uvođenje novih geodetskih referentnih sustava u Federaciji Bosne i Hercegovine postala je potreba kako bi se zadovoljili zahtjevi za globalizacijom geoprostornih podataka, ali i uskladili postojeći geodetski referentni sustavi s Europskim preporukama i trendovima. Na primjer, neodgovarajuća točnost i značajne pogreške u postojećim referentnim sustavima čine ih neodgovarajućim za korištenje nove mjerne tehnologije i suvremenih zahtjeva korisnika, kao i stvaranje preduvjeta za razvoj informacijskog društva. Prema Zimić i Đonlagić (2017.) većina Europskih zemalja je propisala četiri geodetska referentna sustava:

- Prostorni referentni sustav – 3D
- Horizontalni referentni sustav – 2D
- Vertikalni (visinski) referentni sustav – 1D
- Gravimetrijski referentni sustav.

Pravilnikom o osnovnim geodetskim radovima (Službene novine Federacije BiH, br. 15/19) ima za cilj definiranje, uspostavljanje i održavanje geodetskog referentnog sustava i odgovarajućeg referentnog okvira Federacije Bosne i Hercegovine, kojeg čine:

1. prostorni referentni sustav;
2. referentni sustav u projekcijskoj ravnini;
3. visinski referentni sustav;
4. gravimetrijski referentni sustav;
5. astronomsko-geodetski referentni sustav i
6. magnetometrijski referentni sustav.

Ključanin, S., Redžepagić, E.

Uvođenje novih geodetskih datuma i kartografske projekcije u Federaciji Bosne Hercegovine

3.1 Prostorni referentni sustav Federacije BiH

Člankom 8. Pravilnika o osnovnim geodetskim radovima (dalje u tekstu: Pravilnik) daje se definicija prostornog referentnog sustava i glasi: „Prostorni referentni sistem Federacije Bosne i Hercegovine je geocentrični terestrički referentni sistem koji se po definiciji koordinatnog početka, orijentaciji koordinatnih osa, razmjeri, jedinici dužine i vremenskoj evoluciji podudara sa Međunarodnim terestričkim referentnim sistemom – ITRS za epohu 1989.0 – ITRS 89 i naziva Evropski terestrički referentni sistem – ETRS 89, realiziran evropskim terestričkim referentnim okvirom – ETRF 89. ETRS 89 je regionalni terestrički referentni sistem Europe, čvrsto vezan za Evropsku kontinentalnu masu sa kojom učestvuje u litosfernoj tektonici, materijaliziran sa ETRF89 kojeg čine permanentne GNSS stanice i operativni centri (lokalni i regionalni) za kontrolu, obradu i diseminaciji podataka.“

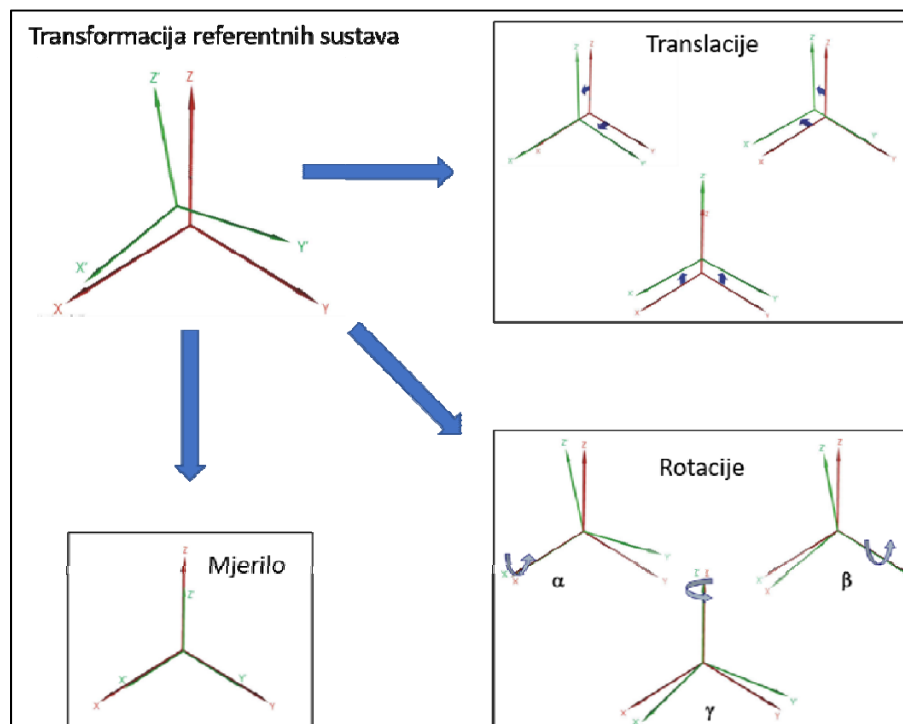
Međutim, i prije donošenja Pravilnika, radilo se na uspostavi i povezivanju prostorne GPS mreže s regijom i Europom. Prva GPS mjerenja u BiH izvedena su 1997. godine (četiri točke), da bi 1998. bila urađena EUREF'98 GPS kampanja na području Albanije, Bosne i Hercegovine i Jugoslavije, u koju je uključeno 13 točaka na teritoriju BiH (Altiner i dr. 1999.). 2000-te godine kreirana je pasivna referentna mreža BIHREF koja je predstavljala prvo progušćenje mreže na oba entiteta (Federacija BiH i Republika Srpska). FBiHPOS je pozicioni sustav Federacije Bosne i Hercegovine čije je kontrolno središte u Sarajevu. Na teritoriji FBiH ukupno je 20 permanentnih GNSS stanica. Da bi geometrijski oblik bio optimiziran, permanentna mreža je u svoj sistem uključila i 12 stanica iz Republike Srpske i 2 iz susjedne Republike Hrvatske. Pozicioniranje se izvodi u realnom vremenu s točnošću od 1 do 2 cm (URL2).

3.1.1 Transformacijski parametri

Međunarodni standard ISO19111 (ISO19111: Geographic information – Spatial referencing by coordinates) razlikuje "konverziju koordinata" i "transformaciju koordinata". Pod konverzijom koordinata podrazumijeva se pretvaranje koordinata iz jednog koordinatnog sustava u drugi, gdje oba sustava imaju isti geodetski datum. Transformacija koordinata znači pretvaranje koordinata iz jednog koordinatnog sustava u drugi, gdje su koordinatni sustavi u različitim geodetskim datumima (URL3).

Ključanin, S., Redžepagić, E.

Uvođenje novih geodetskih datuma i kartografske projekcije u Federaciji Bosne Hercegovine



Slika 2. Sedam parametara transformacije dva koordinatna sustava različitih datuma (URL3)

Skup parametara koji definiraju datumsku transformaciju nazivaju se transformacijski parametri. Za transformaciju je potrebno poznavati sedam parametara (3 translacije, 3 rotacije i parametar mjerila, Slika 2), pa se naziva sedmo-parametarska datumska transformacija (eng. seven-parameter transformation) ili Helmertova transformacija (eng. Helmert transformation) (Vušović i dr. 2012.).

U Bosni i Hercegovini su izračunati parametri transformacije između važećeg državnog koordinatnog sustava i prostornog referentnog sustava ETRS89 na osnovu GNSS mjerenja na preko 2500 točaka (Zimić i Đonlagić 2017.).

3.2 Referentni sustav u projekcijskoj ravnini

Pravilnikom je dodijeljena oznaka ovom referentnom sustavu - BH_ETRS89/TM. BH_ETRS89/TM je definiran pravokutnim koordinatama u ravni poprečne konformne transverzalne Mercatorove projekcije (TM) elipsoida GRS80. Os N koordinatnog sustava, orijentirana je prema sjeveru i poklapa se s meridijanom 18° geografske dužine prema istoku od početnog meridijana. Mjerilo na centralnom meridijanu je $m_0 = 0,9999$. Druga os, okomita na N, označava se oznakom E, a njena pozitivna vrijednost raste prema istoku. Koordinate ishodišta ovog referentnog sustava su: $N = 0$ m, $E = 500000$ m odnosno $(N, E) = (0, 500000)$.

Kako je postupak prelaska na novi referentni sustav proces koji traje godinama, do tada će se koristiti naslijeđeni koordinatni referentni sustav u ravnini Gauss-Krugerove projekcije (tzv. Državni koordinatni sustav – DKS) elipsoida Bessel 1841 s tri projekcijske zone s početnim meridijanima 15° (5. zona), 18° (6. zona) i 21° (7. zona) istočno od početnog meridijana. Koordinate ishodišta ovih projekcijskih zona glase $(y, x) = (5,6,7,00000, 0)$. Veza između novog BH_ETRS89/TM i postojećeg DKS sustava uspostavlja se primjenom odgovarajućih datumskih transformacija.

Ključanin, S., Redžepagić, E.

Uvođenje novih geodetskih datuma i kartografske projekcije u Federaciji Bosne Hercegovine

3.3 Visinski referentni sustav

BH_VRS2020 je oznaka novog visinskog referentnog sustava Federacije BiH. Ovaj sustav omogućava korištenje geopotencijalnih kota, te normalnih i ortometrijskih visina vezanih za mareografe u Jadranskom moru za epohu 1971,5 i srednju visinu amsterdamskog repera NAP, te uspostavu odnosa između elipsoidnih (elipsoid GRS80) i drugih visina.

Slično kao i kod referentnog sustava u projekcijskoj ravnini do prelaska na novi visinski sustav Federacije BiH, Pravilnikom je propisano da se koriste naslijeđeni visinski sustavi: BH_VRS1875 i BH_VRS1971,5. Visinski sustav BH_VRS1875 je rezultat prvog nivelmana visoke točnosti (NVT 1) baziranog na austrougarskom preciznom nivelmanu, s normalnim ortometrijskim visinama i referentnom površinom koja je definirana srednjom razinom Jadranskog mora na osnovu jednogodišnjih mjerenja mareografom na molu Sartorio u Trstu 1875. godine. Visinski sustav BH_VRS1971,5 je rezultat drugog nivelmana visoke točnosti (NVT 2) čija je referentna površina određena srednjom razinom mora u razdoblju od 18,6 godina mareografima u Dubrovniku, Splitu, Bakru, Rovinju i Kopru za epohu 1971.5. Četverostrukim nivelmanskim mjerenjima nivelmanskim linija Split – Dubrovnik – Maglaj, ustanovljen je normalni reper u Maglaju u sustavu normalnih ortometrijskih visina.

3.4 Gravimetrijski referentni sustav

Prema Pravilniku, za gravimetrijski referentni sustav Federacije BiH usvaja se međunarodna gravimetrijska standardna mreža (International Gravity Standardization Network 1971) s oznakom IGSN 71³. Gravimetrijski referentni okvir Federacije Bosne i Hercegovine čine mreža 0., 1. (osnovna gravimetrijska mreža) i 2. reda (sekundarna gravimetrijska mreža). Vrijednost ubrzanja sile teže određuje se metodom apsolutne gravimetrije na četiri točke za mrežu nultog reda, a za osnovnu gravimetrijsku mrežu metodom relativne gravimetrije na 30 točaka u prosječnoj udaljenosti od 30 km. Sekundarnom gravimetrijskom mrežom mjere se vrijednosti ubrzanja sile teže metodom relativne gravimetrije na točkama na prosječnoj udaljenosti manjoj od 15 km.

3.5 Astronomsko-geodetski referentni sustav

Astronomsko – geodetski referentni okvir Federacije Bosne i Hercegovine čine sve točke prostornog referentnog okvira na kojima su izvršena astronomska mjerenja u svrhu određivanja astronomske širine, astronomske dužine i astronomske azimuta. U Federaciji BiH se primjenjuje ICRS (International Celestial Reference System) – astronomski referentni sustav usvojen od strane IAG (International Association of Geodesy).

3.6 Magnetometrijski referentni sustav

Prema Pravilniku za uspostavu i održavanje magnetometrijskog referentnog sustava usvajaju se standardi i preporuke IAGA-a (International Association of Geomagnetism and Aeronomy) i MagNetE-a (Magnetic Network in Europe). Geomagnetska mreža služi prije svega za određivanju geomagnetske deklinacije i njene godišnje promjene, a čine je:

³ Vrijednosti ubrzanja sile teže točaka osnovne gravimetrijske mreže odnose se na vremensku epohu 1971,0.

Ključanin, S., Redžepagić, E.

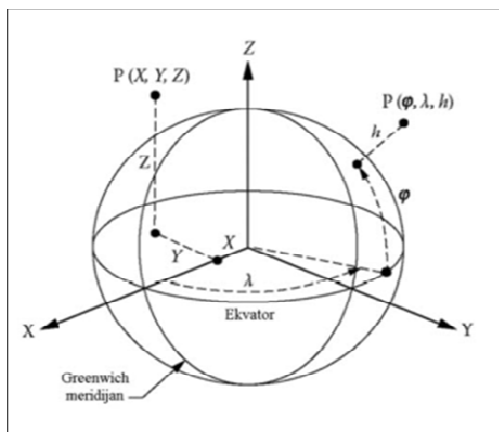
Uvođenje novih geodetskih datuma i kartografske projekcije u Federaciji Bosne Hercegovine

1. geomagnetska mreža sekularnih tačaka (određivanje godišnje promjene geomagnetske deklinacije) i
2. osnovna geomagnetska mreža (uspostavlja se radi određivanja vrijednosti elemenata magnetskog polja: deklinacije, inklinacije i intenziteta za različite potrebe).

4. REALIZACIJA RADOVA NA USPOSTAVI NOVIH REFERENTNIH SUSTAVA

4.1 Uspostava i obnova prostornog referentnog sustava Federacije BiH

Prostorni referentni sustav materijalizira se prostornim koordinatnim referentnim okvirom, odnosno skupom materijaliziranih geodetskih tačaka s koordinatama X, Y, Z ili φ, λ i h (Slika 3). Prostorni referentni okvir hijerarhijski čine: 1) referentni okvir nultog reda, 2) referentni okvir 1. reda, 3) referentni okvir 2. reda i 4) referentni okvir 3. reda.



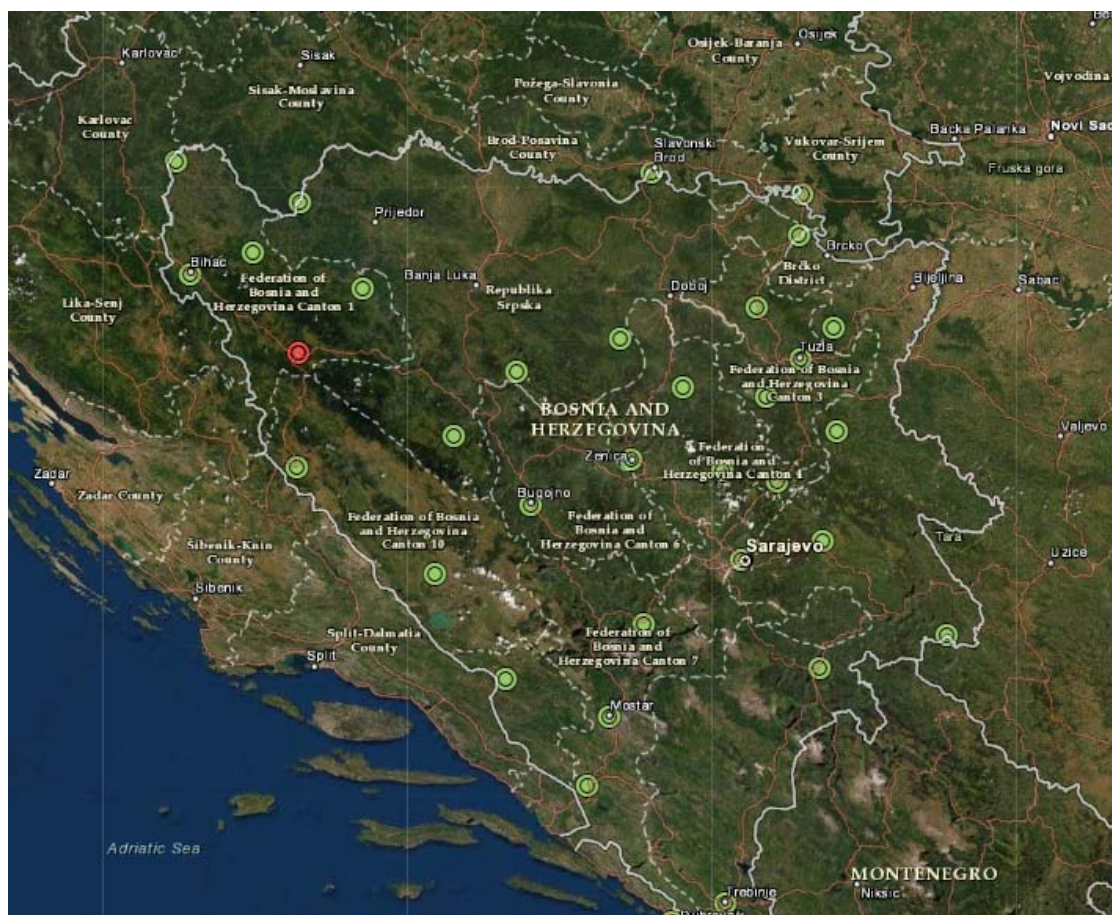
Slika 3. Geodetske koordinate u prostornom referentnom sustavu (izvor: Pravilnik o osnovnim geodetskim radovima)

4.1.1 Referentni okvir nultog reda

Referentni okvir nultog reda Federacije Bosne i Hercegovine čini mreža permanentnih GNSS stanica „BiHPOS“ i postojeće triangulacijske točke uključene u jedinstvenu Europsku mrežu GPS kampanjom „EUREF 98“. Bosna i Hercegovina se od rujna 2011. godine svrstala u red zemalja koje koriste tehnologiju permanentnih GNSS stanica. Projekat BiHPOS implementiran je na način da su izgrađena dvije komplementarne mreže za satelitsko pozicioniranje: SRPOS (za prostor Republike Srpske) i FBiHPOS (za prostor Federacije Bosne i Hercegovine).

Ključanin, S., Redžepagić, E.

Uvođenje novih geodetskih datuma i kartografske projekcije u Federaciji Bosne Hercegovine



Slika 4. Prikaz rasporeda stanica FBIHPOS-a uz 12 stanica SRPOS-a i 2 stanice CROPOS-a (URL4)

BIHPOS mreža se u početku sastojala od 34 GNSS stanice od kojih su njih 17 postavljene na teritorij Federacije BiH s kontrolnim centrom u Sarajevu (FBIHPOS sustav), a preostalih 17 stanica je postavljeno na teritoriju Republike Srpske s kontrolnim centrom u Banja Luci (SRPOS sustav). U protekle 2-3 godine FBIHPOS mreža je proširena na 20 stanica postavljanjem novih stanica u Varešu i u Bosanskoj Krupi, te uključivanjem u sustav gradske permanentne mreže u Tuzli. Na cijelom području Bosne i Hercegovine mogu se koristiti servisne usluge mreže permanentnih stanica jer sustavi BIHPOS-a (FBIHPOS i SRPOS) i CROPOS razmjenjuju podatke mjerenja u pograničnim područjima. U tom slučaju, FBIHPOS mreža se sastoji od 34 GNSS stanice (20 stanica na teritoriji Federacije BiH, 12 stanica iz SRPOS-a, 2 stanice iz CROPOS-a) i kontrolnog centra u Sarajevu (Slika 4).

4.1.2 Referentni okvir prvog reda

Referentni okvir prvog reda Federacije Bosne i Hercegovine čine točke triangulacijske mreže (14 točaka trigonometara prvog reda) na kojima su tijekom GNSS kampanje "BIHREF2000" izvršena mjerenja i određene koordinate u sustavu ETRS89.

Ključanin, S., Redžepagić, E.

Uvođenje novih geodetskih datuma i kartografske projekcije u Federaciji Bosne Hercegovine

4.1.3 Referentni okvir drugog reda

Referentni okvir drugog reda Federacije Bosne i Hercegovine nastaje progušćenjem referentnih okvira viših redova, a čine ga točke prostornog referentnog okvira stabilizirane u Federaciji BiH na prosječnoj udaljenosti 10-15 km (točke se označavaju slovnobrojčanim oznakom, npr. FD147) i svi fundamentalni reperi trećeg nivelmana visoke točnosti (NVT3) pogodni za GNSS mjerenja (točke se označavaju slovnobrojčanim oznakom, npr. FR01).

U okviru realizacije projekta trećeg nivelmana visoke točnosti (NVT3) koja je započela polovinom 2019. godine izvedeno je statičko GNSS mjerenje na točkama prostorne referentne mreže i na fundamentalnim reperima. Od planiranih 176 točaka prostorne mreže, izmjereno je njih 174 (2 uništene) i 13 fundamentalnih repera. Metoda određivanja trodimenzionalnog kartezijevog položaja točaka bila je brza statika sukladno odredbama Pravilnika o primjeni satelitskih mjerenja u geodeziji („Sl. novine Federacije BiH“, broj 18/12).

Nakon *a priori* ocjene točnosti i analize zatvaranja figura urađeno je kontrolno slobodno izjednačenje, a potom i definitivno posredno izjednačenje sa prisilom na točke nultog reda. Sve koordinate su izračunate u ETRS89 koordinatnom sustavu, epoha 2011.307 (epoha u kojoj je sračunat sustav FBIHPOS). Također su dane standardne devijacije (Tablica 1) po koordinatnim osima (Tabaković i dr. 2020.).

Tablica 1. Točke prostorne referentne mreže sa ocjenom točnosti (isječak originalne tablice)

IME	sX [m]	sY [m]	sZ [m]	IME	sX [m]	sY [m]	sZ [m]	IME	sX [m]	sY [m]	sZ [m]
FD1	0.015	0.006	0.015	FD146	0.002	0.001	0.002	FD4	0.019	0.007	0.019
FD10	0.003	0.002	0.003	FD147	0.018	0.006	0.018	FD40	0.015	0.005	0.015
FD100	0.009	0.006	0.008	FD148	0.016	0.006	0.016	FD41	0.019	0.007	0.018
FD101	0.011	0.007	0.011	FD149	0.006	0.003	0.006	FD42	0.008	0.003	0.008
FD102	0.011	0.004	0.011	FD15	0.003	0.002	0.003	FD43	0.012	0.004	0.011
FD103	0.014	0.005	0.014	FD150	0.003	0.003	0.003	FD44	0.006	0.003	0.005
FD104	0.007	0.003	0.007	FD151	0.017	0.006	0.017	FD45	0.004	0.002	0.003
FD105	0.005	0.003	0.005	FD152	0.018	0.005	0.020	FD46	0.005	0.003	0.005

Izjednačenjem su određene elipsoidne visine točaka prostorne referentne mreže, kao i njihove standardne devijacije. Prosječna vrijednost standardnih devijacija je 1.4 cm. Kako su točke prostorne mreže opažane u dvije sesije, radi kontrole je izvedeno zasebno izjednačenje mreže za obje sesije. Nakon izjednačenja izvedena je usporedba elipsoidnih visina određenih u prvoj i drugoj sesiji za svaku tačku prostorne mreže. Usporedbom je utvrđeno kako je prosječno odstupanje visina između dvije sesije 1.3 cm (Tabaković i dr. 2020.).

4.1.4 Referentni okvir trećeg reda

Referentni okvir trećeg reda Federacije BiH nastaje progušćenjem referentnih okvira viših redova, a čine ga gradske GNSS mreže, GNSS mreže nastale tijekom izmjere Federacije BiH i svi reperi NVT3 na kojima je moguće izravno mjerenje GNSS uređajima.

Razvijanje gradskih mreža realizira se usporeno, jer se dao prioritet uspostavi FBIHPOS sustava permanentnih stanica. FBIHPOS pruža uslugu dijeljenja položajnih parametara grid transformacije, koja se korisnicima šalje putem RTK korekcija za automatski koordinatni sustav. U početku je taj sustav činilo cca 1450 točaka (uglavnom trigonometara 3. i 4. reda) dok je sada taj broj gotovo 2500 točaka.

Prema Bilajbegović i Odalović (2017.), koordinate svih repera NVT3 treba odrediti zbog normalnog ubrzanja sile teže u odnosu na normalni potencijal Geodetskog referentnog sustava

Ključanin, S., Redžepagić, E.

Uvođenje novih geodetskih datuma i kartografske projekcije u Federaciji Bosne Hercegovine

1980 (GRS80), diskretnih vrijednosti anomalija visina ili undulacija geoida i pridruživanja koordinata mjerenim vrijednostima ubrzanja sile teže na reperima. U praksi je izvedeno mjerenje i računanje u prosjeku za svaki peti reper u nivelmanskoj liniji, pri tome vodeći računa da dva susjedna opažana repera budu na maksimalnoj udaljenosti od 5 km. S mjerenjem se počelo polovinom 2019. godine, a ista se završavaju u prosincu 2021. Do sada su, primjenom metode određivanja trodimenzionalnog kartezijevog položaja repera brzom statikom, definirane koordinate 372 repera.

Nakon *a priori* ocjene točnosti i analize zatvaranja figura, izvedeno je kontrolno slobodno izjednačenje, a potom i konačno posredno izjednačenje sa prisilom na VRS (Virtualne referentne stanice koje kreira FBIHPOS sustav za proizvoljnu lokaciju) točke. Sve koordinate su sračunate u ETRS89 koordinatnom sustavu, epoha 2011.307 (Tabaković i dr. 2020.).

4.2 Referentni sustav u projekcijskoj ravnini

Veza između referentnog sustava u projekcijskoj ravnini BH_ETRS89/TM i postojećeg državnog koordinatnog sustava, treba se uspostaviti primjenom odgovarajućih transformacija na osnovu velikog broja opažanih točaka iz svih referentnih sustava. Do sada je taj broj dosegao oko 2500 točaka, a kroz projekte koji su u tijeku očekuje se da će se do kraja 2022. godine stvoriti uvjeti za adekvatnu transformaciju i uspostavu novog referentnog sustava.

4.3 Visinski referentni sustav

U periodu od 1945. do 1953. godine na području Bosne i Hercegovine rađeno je na uspostavi prvog nivelmana visoke točnosti NVT I. Ovaj nivelman oslonjen je na vertikalni datum iz 1875. godine, a kote izračunate u NVT I koriste se do danas (Krzyk, 2001.).

Više od 10 godina nakon radova na NVT1, 1967. godine usvojen je zaključak o uspostavi drugog nivelmana visoke točnosti NVT2. Aktivnosti na uspostavi nove nivelmanske mreže trajale su od 1970. do 1973. godine, ali nažalost, podaci NVT2 nikad nisu stavljeni u zvaničnu upotrebu. Skoro pedeset godina nakon ovih mjerenja pokrenuti su radovi na uspostavi trećeg nivelmana visoke točnosti NVT3 na području Federacije BiH. Mreža NVT3 na području Federacije BiH sastoji se 2692 točke, od čega je 1 normalni reper u Maglaju, 33 fundamentalna repera, 92 točke prostorne referentne mreže, 972 vertikalna repera te 1594 horizontalnih repera. Od 33 fundamentalna repera, 15 njih je preuzeto iz NVT 2. Na osnovu projektiranih nivelmanskih linija izvedena je stabilizacija novih (vertikalnih i horizontalnih) repera. Reperi nižih redova (precizni, tehnički i reperi tehničkog nivelmana povećane točnosti) koji se nalaze na projektiranim linijama (Tablica 2) i koji su zadovoljili projektom postavljene uvjete, postali su sastavni dio nove NVT3 mreže (Tabaković i dr. 2020.).

Ključanin, S., Redžepagić, E.

Uvođenje novih geodetskih datuma i kartografske projekcije u Federaciji Bosne Hercegovine

Tablica 2. Podaci o nivelmanskim linijama (isječak originalne tablice)

Nivelmanska linija	Dužina nivelmanske linije (km)	Broj repera	Broj fundamentalnog repera	Broj tačaka prostorne referentne mreže	Broj vertikalnih repera	Broj horizontalnih repera
1	59,4	61	0	3	32	26
2	10,5	10	1	0	7	2
3	22,4	27	0	1	2	24
4	47	52	1	1	27	23
8	55,2	59	1	2	22	34
9	8,7	11	0	1	4	6
30	54,7	66	1	2	19	44
45	34,9	38	0	2	12	24
46	37,4	41	1	3	16	21
47	44,7	47	0	1	23	23
48	20,3	23	0	1	12	10
49	35,9	36	0	2	16	18

U razdoblju od kolovoza 2019. do listopada 2021. godine izvedena su nivelmanska mjerenja na svim planiranim nivelmanskim linijama na području Federacije BiH, te na linijama koje spajaju dva entiteta, kao i prekograničnim linijama (Republika Hrvatska) kojima je povezana nivelmanska mreža Federacije BiH s mareografom u Dubrovniku A496 (15 km nivelmanske linije od granice FBiH) i datumskom točkom (reperom) europske mreže nivelmana visoke točnosti u Plitvicama HR008 (12 km nivelmanske linije od granice FBiH).

4.4 Gravimetrijski referentni sustav

Točke apsolutne gravimetrijske mreže izmjerene su u razdoblju rujan-listopad 2013. godine. Vrijednosti apsolutnih ubrzanja određene su na četiri točke pomoću apsolutnog gravimetra Micro-g Lacoste FG5# 233, dok je vertikalni gradijent određen pomoću relativnog gravimetra Scintrex CG-5# 740. Mjerenja su izvedena na četiri točke na području BiH, a njihove koordinate s visinama i dobivenim rezultatima apsolutnog ubrzanja su prikazane u Tablici 3. (Starčević, 2021.).

Tablica 3. Položaj i visina apsolutnih točaka i njihove vrijednosti ubrzanja na teritoriji BiH (Starčević, 2021.).

Točka	Latituda [WGS84]	Longituda [WGS84]	Normalna visina [m]	Apsolutna ubrzanja [mgal]
AG01 Banja Luka	44° 43' 49,088"	16° 54' 38,734"	320,805	980515.045
AG02 Bijeljina	44° 36' 50,802"	19° 06' 22,477"	202,509	980547.266
AG03 Sarajevo	43° 52' 31,931"	18° 26' 09,537"	726,784	980319.770
AG04 Mostar	43° 20' 54,015"	17° 47' 36,295"	96,277	980353.234

Osnovna gravimetrijska mreža izmjerena je u razdoblju rujan-listopad 2014. godine na cijelom području BiH. Mreža se sastoji od 60 prostornih referentnih mrežnih točaka trećeg reda (30 točaka u FBiH i 30 točaka u RS) smještenih na udaljenosti od 30 do 50 kilometara, koje

Ključanin, S., Redžepagić, E.

Uvođenje novih geodetskih datuma i kartografske projekcije u Federaciji Bosne Hercegovine

zatvaraju ukupno 45 poligona. Ova mreža je poslužila kao osnova za detaljnu gravimetrijsku izmjeru BiH.

Na osnovu mjerenja i računanja dobiveni su rezultati standardnog odstupanja ubrzanja sile teže bolji od 0,016 *mgala*. Točke apsolutne i osnovne gravimetrijske mreže poslužit će za oslanjanje mjerenja ubrzanja sile teže na reperima NVT3 i za ostala gravimetrijska mjerenja.

2017. godine završena je detaljna gravimetrijska izmjera repera u NVT3 mreži i detaljna gravimetrijska izmjera FBiH. Točke detaljne gravimetrijske izmjere uzete su iz nekoliko izvora. U Tablici 4. prikazani su podaci o nazivu izvora detaljnih točaka, kao i evidencija broja izmjerenih točaka.

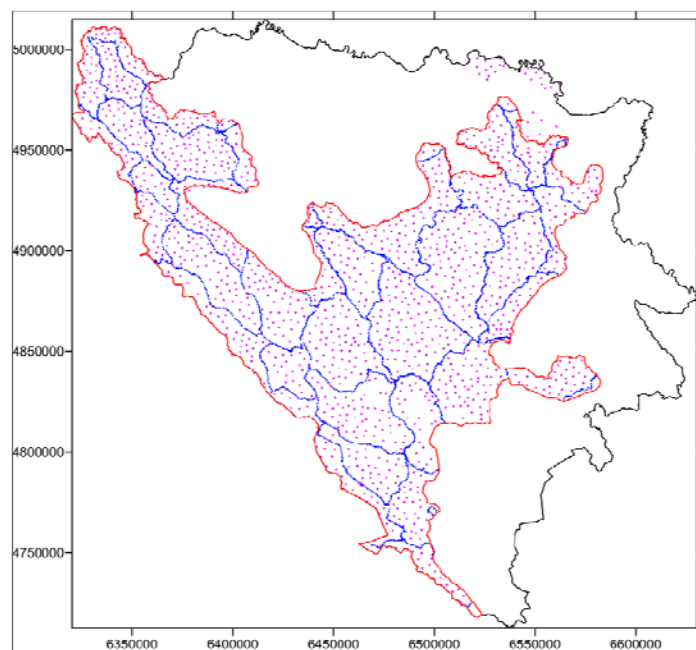
Tablica 4. Nazivi izvora točaka

Opis	Broj projektovanih tačaka	Broj izmjerenih tačaka
EUREF 98	8	7
BIHREF 2000	16	13
Točke popunjavajuće Osnovne Gravimetrijske Mreže	141	141
GRID točke	175	173
Kontrolne GRID točke	22	22
Gradske GPS točke	33	33
Točke Detaljne gravimetrijske mreže	1021	1009
Ukupan broj tačaka	1416	1398

Mrežu NVT3 sačinjava skup točaka koje su stabilizirane u nivelmanskim linijama na udaljenostima od 300 do 1300 metara. Sastoji se od sljedećih točaka: 32 fundamentalna repera, 77 točki prostorne referentne mreže, 883 vertikalnih repera i 1620 horizontalnih repera (slika 5).

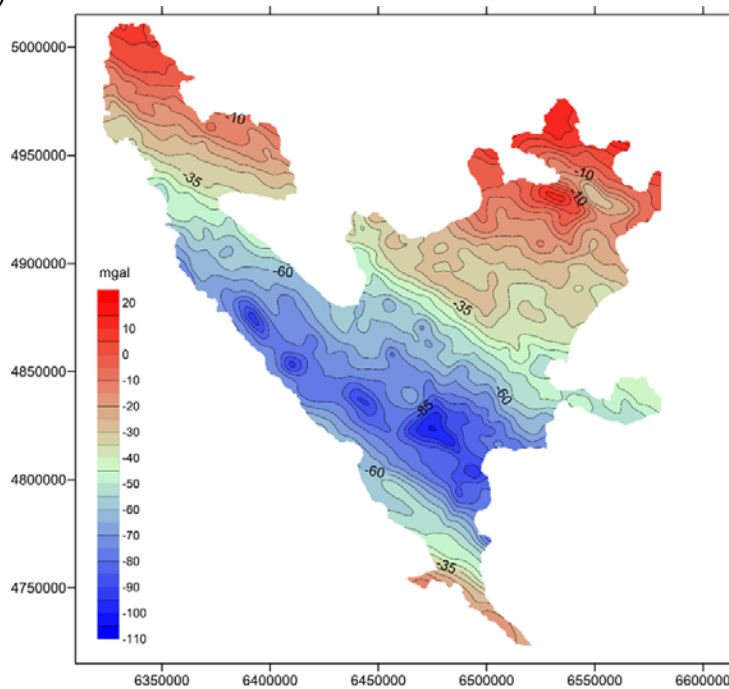
Ključanin, S., Redžepagić, E.

Uvođenje novih geodetskih datuma i kartografske projekcije u Federaciji Bosne Hercegovine



Slika 5. Mjerene točke detaljnog gravimetrijskog premjera (roza boja) zajedno s točkama nivelmanske mreže (plave točke) (Starčević, 2021.)

Kako bi se potvrdila kvaliteta gravimetrijskih mjerenja na mjenim točkama, izračunate su Bouguerove anomalije na osnovu kojih se izvela analiza prisutnih pogrešaka mjerenja ili računanja (slika 6).



Slika 6. Karta Bouguerovih anomalija izrađena na osnovu gravimetrijskih mjerenja (Starčević, 2021.)

Ključanin, S., Redžepagić, E.

Uvođenje novih geodetskih datuma i kartografske projekcije u Federaciji Bosne Hercegovine

Srednje pogreške apsolutnih ubrzanja na točkama nalaze se u sljedećim rasponima:

- 50% do 100 μGal
- 38% od 100-150 μGal
- 11% od 150-200 μGal
- 1% od 200-244 μGal .

5. ZAKLJUČAK

U Federaciji BiH utvrđeni su novi referentni sustavi (novi geodetski datumi) i počelo se s realizacijom njihove primjene u praksi. Federalna uprava za geodetske i imovinsko-pravne poslove ulaže velike napore kako bi osigurala odgovarajuća sredstva i druge kapacitete potrebne za izvršavanje poslova iz oblasti osnovnih geodetskih radova. Kako bi se uspješno prešlo s „starih“ na „nove“ geodetske datume potrebno je nastaviti na realizaciji godišnjih i trogodišnjih planova i na taj način sustavno upravljati procesom provedbe.

Iz realiziranih radova na uspostavi novih referentnih sustava može se zaključiti kako je implementacija novog geodetskog referentnog sustava vrlo zahtjevan, složen i dugotrajan proces, te kao takav predstavlja veliki izazov. To je prilika da se cijeli geodetski (i katastarski) sustav Federacije BiH dokaže i predstavi kao moderan geodetski referentni sustav koji je usuglašen sa suvremenim međunarodnim standardima.

LITERATURA

1. Altiner, Y., Schlüter, W., Seeger, H. (1999): Results of the EUREF'98 GPS Campaigns in Albania, Bosnia and Herzegovina and Yugoslavia. Symposium of the IAG Subcommission for Europe, EUREF99, Prague, May 31 – June 6.
2. Bašić, T. (1999). Nužnost uvođenja novog geodetskog datuma u Republici Hrvatskoj i Bosni i Hercegovini (The necessity of introducing new geodetic datum in the Republic of Croatia and Bosnia and Herzegovina). Prvi simpozij geodeta Bosne i Hercegovine "Stanje i strategija razvoja geodetske djelatnosti" At: Neum, 7.-9.10.1999. Volume: Zbornik radova, 43-56, Mostar: https://www.researchgate.net/publication/277294467_Nuznost_uvodenja_novog_geodetskog_datuma_u_Republici_Hrvatskoj_i_Bosni_i_Hercegovini_The_necessity_of_introducing_new_geodetic_datum_in_the_Republic_of_Croatia_and_Bosnia_and_Herzegovina
3. Bašić, T., Bačić, Ž. (1999). Prijedlog geodetskog datuma Republike Hrvatske za treći milenij. Zbornik radova simpozija "Državne geodetske osnove i zemljišni informacijski sustavi", str. 117.-128., Hrvatsko geodetsko društvo, Opatija 12.-14. svibanj
4. Bilajbegović, A., Mulić, M. (2013). Izbor optimalnog visinskog sustava na primjeru budućeg nivelmana Bosne i Hercegovine. Geodetski glasnik, god. 47, br. 44, str. 5-33.
5. Bilajbegović, A., Odalović, O. (2017). Detaljne tehničke specifikacije nivelmana visoke točnosti BiH. CILAP projekt i Federalna uprava za geodetske i imovinsko-pravne poslove.
6. Delčev, S., Timár, G., Kuhar, M. (2014): O nastanku koordinatnega sustava D48, Geodetski vestnik, 58, 4, 681–694.
7. Frančula, N., Lapaine, M. (2008). Geodetsko-geoinformatički rječnik. Državna geodetska uprava, https://bib.irb.hr/datoteka/340862.rjecnik50_1.pdf
8. Grgić, I., Lučić, M., Trifković, M. (2015). Visinski sustavi u nekim europskim zemljama. Geodetski list 2015, 2, 79-96.

Ključanin, S., Redžepagić, E.

Uvođenje novih geodetskih datuma i kartografske projekcije u Federaciji Bosne Hercegovine

9. Idhe, I. (2006). Global Vertical Reference System -Integration of Gravity and Geometric Reference. FIG Congress and INTERGEO 2006 Erdmessungsforum 12 October 2006 Munich
10. Krzyk, T. (2001). Nivelmanske mreže viših redova i vertikalni datum na području Bosne i Hercegovine. Geodetski glasnik, br. 35., god. 35. Savez udruženja građana geodetske struke u Bosni i Hercegovini.
11. MGI (1901). Die Ergebnisse der Triangulierungen des K. und K. Militär-Geographischen Institutes in Wien, 1. Band.
12. Mugnier, C. (2012). Yugoslavia. <https://www.asprs.org/wp-content/uploads/2012/05/09-97-yugoslavia.pdf>
13. Peterca, M., Čolović, G. (1987): Geodetska služba JNA, Vojnoizdavački i novinski centar, Beograd.
14. SG RS (2012): Pravilnik za osnovne geodetske radove, Službeni glasnik Republike Srbije, broj 19/12, Beograd.
15. Starčević, M. (2021). Završni izvještaj o gravimetrijskim mjerenjima u Federaciji Bosne i Hercegovine. Radni materijal. Federalna uprava za geodetske i imovinsko-pravne poslove.
16. Šugar, D., Zrinski, M., Rezo, M. (2015). Osnovni geodetski radovi prilikom uspostave pulskog bazisa i određivanja njegove duljine. Geodetski list, 2, 115–138. <https://hrcak.srce.hr/142574>
17. Tabaković, A., Redžepagić, E., Bojić, M. (2020). Aktivnosti na realizaciji mreže nivelmana visoke točnosti III u Federaciji Bosne i Hercegovine. Geodetski glasnik, br.51., god. 54. UDK 528. ISSN 1512-6102. Savez udruženja građana geodetske struke u Bosni i Hercegovini.
18. Vušović, N., Svrkota, I., Vaduvesković, Z. (2012). Prostorni referentni sustavi. Rudarski radovi, br. 3., str. 143-156. Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor. Komitet za podzemnu eksploataciju mineralnih sirovina. <https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/1451-0162/2012/1451-01621203143V.pdf>
19. Zimić, Š., Đonlagić, E. (2017). Uvođenje novih geodetskih referentnih sustava u Bosni i Hercegovini. Geodetski glasnik 51(48), 154-164.
20. URL1: <https://www.fws.gov/r7/nwr/Realty/data/LandMappers/Public/Help/HTML/R7-Public-Land-Mapper-Help.html?Datumsprojectionsandcoordinatesy.html>
21. URL2: <http://www.fgu.com.ba/bs/o-sustavu.html> (pristupljeno 19.10.2021)
22. URL3: Kuhar, M. - Referenčni sustavi v geodeziji. Predavanja. http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/~mkuhar/Pouk/RSG/gradivo/5-Ref_sustavi-Transformacije.pdf (pristupljeno 19.10.2021.)
23. URL4: <http://fbihpos.katastar.ba/SBC/spider-business-center> (pristupljeno 12.11.2021.)