

IZZIVI IN DEJAVNOSTI V ZVEZI Z DRŽAVNIM HORIZONTALNIM KOORDINATNIM SISTEMOM SLOVENIJE

CHALLENGES AND ACTIVITIES ON THE NATIONAL HORIZONTAL COORDINATE SYSTEM OF SLOVENIA

Klemen Medved, Sandi Berk, Oskar Sterle, Bojan Stopar

UDK: 528.23(497.4)

Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.01

Prispelo: 2. 10. 2018

Sprejeto: 22. 11. 2018

DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2018.04.567-586>

SCIENTIFIC ARTICLE

Received: 2. 10. 2018

Accepted: 22. 11. 2018

IZVLEČEK

V prispevku predstavljamo stanje in dejavnosti pri vzpostavljanju državnega horizontalnega koordinatnega sistema Slovenije. V Sloveniji uporabljamo realizacijo državnega horizontalnega koordinatnega sistema (referenčni sestav) z oznako D96/TM, ki je bila vzpostavljena na podlagi EUREF GPS-izmer, izvedenih pred več kot dvajsetimi leti. V vsakdanji geodetski praksi je določanje položaja v tem sistemu zagotovljeno na podlagi podatkov in storitev državnega omrežja stalnih GNSS-postaj SIGNAL, ki se uporablja že več kot deset let. Zaradi aktivnega geodinamičnega dogajanja se koordinate točk referenčnega sestava spreminjajo. V zadnjih letih je bilo izvedenih kar nekaj dejavnosti za zagotovitev ustreznosti kakovosti referenčnega koordinatnega sistema. Vzpostavljena sta bila državna kombinirana geodetska mreža oziroma mreža ničtega reda in analitični center službe za GNSS ter izvedena GNSS-izmera EUREF Slovenija 2016. V prispevku so predstavljene vse dejavnosti in načrti za dolgoročno zagotovitev kakovostnega državnega horizontalnega referenčnega koordinatnega sistema.

KLJUČNE BESEDE

državni geodetski referenčni sistem, časovne vrste koordinat, EUREF, geokinematični model, GNSS, horizontalni koordinatni sistem, geodetska mreža ničtega reda

ABSTRACT

This article describes the current situation and activities on the establishment of the national horizontal coordinate system of Slovenia. In Slovenia, a horizontal coordinate system (reference frame) denoted as D96/TM, which is based on the EUREF GPS campaigns performed more than 20 years ago, is used. In daily geodetic practice, the access to the national coordinate reference system is provided by the national network of continuously operating GNSS stations, called SIGNAL, which has been in use for more than ten years. Because of the active geodynamics, the coordinates of the reference frame points diverge in time. To ensure the proper quality of the coordinate reference system, many activities have been started in recent years. The national combined geodetic network, also referred to as the 'zero-order network', and the Analytical Centre of GNSS Service were established, and the 'EUREF Slovenia 2016' GNSS campaign was performed. All these activities and plans to provide a high quality national horizontal coordinate reference system in the long term are presented.

KEY WORDS

national geodetic reference system, coordinate time series, EUREF, geokinematic model, GNSS, horizontal coordinate system, zero-order geodetic network

1 UVOD

Državni geodetski referenčni sistem je opredeljen kot sistemska državna infrastruktura za določanje in izražanje položaja objektov in pojavov v prostoru. Sestavljata ga državni prostorski koordinatni sistem in državni topografski sistem. Državni prostorski koordinatni sistem omogoča enotno in kakovostno določanje in izražanje položajev ter vzpostavljane, vodenje in uporabo prostorskih podatkov v javnem in zasebnem sektorju na celotnem državnem ozemlju. Organi javne uprave podatke vodijo v javnih evidencah za potrebe izvajanja nalog s svojih delovnih področij, predvsem pri urejanju prostora, upravljanju naravnih virov, prometa, obrambe, zaščite in reševanja, kmetijstva in vseh vrst gospodarske infrastrukture ... Prostorski podatki se uporabljajo pri oblikovanju strateških in političnih odločitev, določanju ukrepov, ki so vezani na prostor in prostorski razvoj, ter za spremljanje njihovega izvajanja. Kakovostni prostorski podatki imajo izjemno veliko vrednost, zato je bistvenega pomena zagotavljati njihovo ustrezno kakovost, pri čemer je nujni pogoj vzpostavitev kakovostnega državnega prostorskega koordinatnega sistema.

Edini način za zagotavljanje ustreznosti kakovosti državnega prostorskega koordinatnega sistema je njegova vzpostavitev na geodetski podlagi, ki vključuje upoštevanje fizikalnih in geometrijskih lastnosti fizičnega prostora. Za uspešno opravljanje svoje vloge mora državni prostorski koordinatni sistem izpolnjevati številne zahteve, med katerimi je najpomembnejša, da mora biti za nekaj stopenj višje kakovosti od kakovosti georeferenciranja prostorskih podatkov. Hiter tehnološki razvoj prinaša številne tehnologije za pridobivanje prostorskih podatkov, vsesplošna digitalizacija pa omogoča vse obsežnejšo in kompleksnejšo uporabo prostorskih podatkov. Našteto zahteva stalen konceptualni, tehnološki in formalnopравни razvoj državnega prostorskega koordinatnega sistema, in sicer tako, da večina njegovih uporabnikov tega ne zazna. Pomemben vidik pri vzdrževanju in vodenju sta namreč tudi njegova vzdržnost oziroma trajnost; treba se je izogniti nepotrebni spremembi koordinat v zbirkah prostorskih podatkov, ki bi bile posledica vzdrževanja koordinatnega sistema (npr. Sterle in sod., 2009).

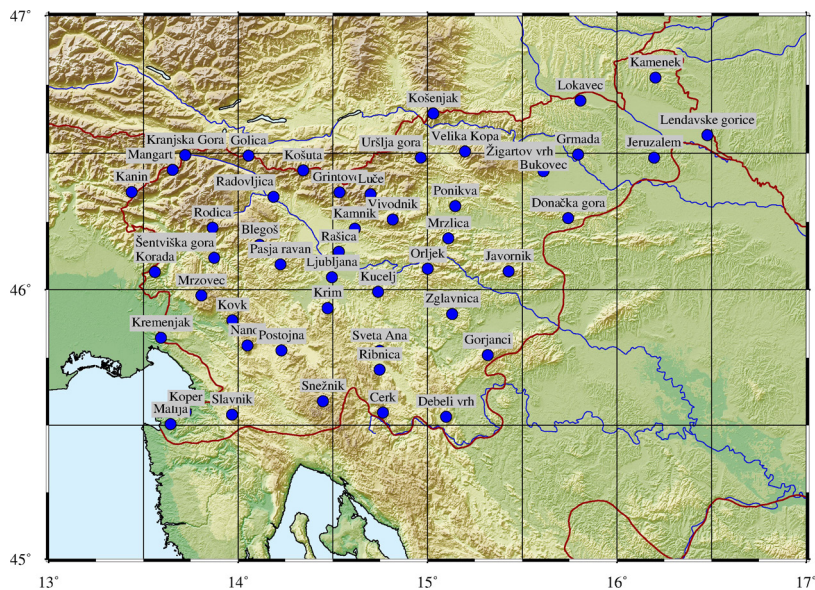
Za vzpostavitev, vodenje in vzdrževanje državnega prostorskega koordinatnega sistema je pri nas zadolžena Geodetska uprava Republike Slovenije. V preteklosti je bila horizontalna sestavina državnega prostorskega koordinatnega sistema (horizontalni koordinatni sistem) opredeljena le geometrijsko, kot geometrijski koordinatni sistem. Ta je bil praktično realiziran z različnimi temeljnimi geodetskimi točkami, ki so bile povezane v različne vrste geodetskih mrež: astrogeodetsko, trigonometrično, navezovalne, poligonske in mestne. Mreže so se glede na metodo določanja, stopnjo natančnosti in gostoto točk uvrščale v različne rede. Koordinate so se določale s klasičnimi geodetskimi postopki, kot so astronomska opazovanja, triangulacija, trilateracija, poligonometrija, aerofotogrametrija, ter s kombinacijo naštetih metod. Stari državni horizontalni koordinatni sistem je temeljil na Besslovem referenčnem elipsoidu in koordinatah državnih geodetskih mrež, določenih na podlagi meritev po drugi svetovni vojni do leta 1948, zato označujemo realizacijo starega državnega horizontalnega koordinatnega sistema kot D48 (npr. Jenko, 1976; Vodopivec in sod., 1976; Jenko, 1986; Stopar in Kuhar, 2003; Delčev in sod., 2014). Za praktično uporabo je bil na njegovi podlagi vzpostavljen ravninski referenčni koordinatni sistem, ki je temeljil na Gauß-Krüegerjevi projekciji in ga označujemo z oznako D48/GK.

Z uveljavitvijo metod za določanje položaja z globalnimi navigacijskimi satelitskimi sistemi (GNSS) se je pojavila potreba po vzpostavitvi novega državnega horizontalnega referenčnega sistema. Danes v vsakdanji geodetski praksi poteka določanje koordinat s kombinacijo GNSS in terestrične izmere.

Zaradi narave GNSS-tehnologije so uporabniki prostorskih podatkov vse manj v neposrednem stiku z državnim koordinatnim sistemom ter se tudi vse manj zavedajo porekla koordinat in pomena kakovostne referenčne podlage, ki je vse bolj ključna za kakovost georeferenciranja prostorskih podatkov. Na videz enostavnejši geodetski merilni postopki od uporabnikov zahtevajo poglobljeno poznavanje delovanja, upravljanja in vzdrževanja referenčnega sistema ter zelo poglobljeno poznavanje problematike skrbnikov geodetskega referenčnega sistema.

2 SLOVENSKI HORIZONTALNI GEODETSKI DATUM D96

Mednarodna zveza za geodezijo IAG (angl. *International Association of Geodesy*) – oziroma njena podkomisija za evropski referenčni sestav z okrajšavo EUREF (angl. *European Reference Frame*) – že od leta 2003 (EUREF-resolucije, 2003, resolucija št. 2) poziva vse evropske države, da čim prej uvedejo enoten evropski terestrični referenčni sistem 1989 – ETRS89 (angl. *European Terrestrial Reference System 1989*). V Sloveniji tako uporabljamo državni prostorski koordinatni sistem, ki smo ga sicer uzakonili šele v letu 2014 (ZDGRS, 2014), čeprav smo ga dejansko uvedli že leta 2008, ko je bila za evidentiranje nepremičnin v zemljiškem katastru omogočena tudi uporaba GNSS-tehnologije (ZEN, 2006).



Slika 1: Temeljne državne geodetske točke (točke EUREF), ki definirajo D96.

Horizontalna sestavina slovenskega državnega prostorskega koordinatnega sistema je določena s parametri evropskega terestričnega referenčnega sistema ETRS89 in praktično realizirana z 49 temeljnimi državnimi geodetskimi točkami, ki imajo koordinate določene v tem sistemu (slika 1). Koordinate teh 49 geodetskih točk so bile določene v okviru EUREF GPS-izmer, ki so bile izvedene v letih 1994, 1995 in 1996. Srednji trenutek (epoha) navedenih GPS-izmer je 1995,55, zato realizacijo novega državnega horizontalnega koordinatnega sistema označujemo tudi s kratico D96 (geodetski datum 1996). Končni kombinirani izračun vseh treh izmer je bil izveden v letu 2003 in potrjen na EUREF-simpoziju v Toledu (Berk in sod., 2003, 2004a in 2004b). Koordinate točk izračuna spadajo v kakovostni razred B (EUREF Product Class

B), kar je najvišji razred za rezultate obdelav EUREF GPS-izmer in pomeni točnost koordinat približno 1 centimeter v ETRS89 v epohi izmere. Koordinate v koordinatnem sistemu ETRS89 so določene kot kartezične koordinate (X, Y, Z) oziroma geodetske koordinate (geodetska širina φ , geodetska dolžina λ in elipsoidna višina h) glede na referenčni elipsoid GRS80.

Za državni ravninski referenčni koordinatni sistem je bila izbrana prečna Mercatorjeva projekcija GRS80 referenčnega elipsoida, zato ima novi ravninski referenčni koordinatni sistem oznako D96/TM (Stopar, 2007).

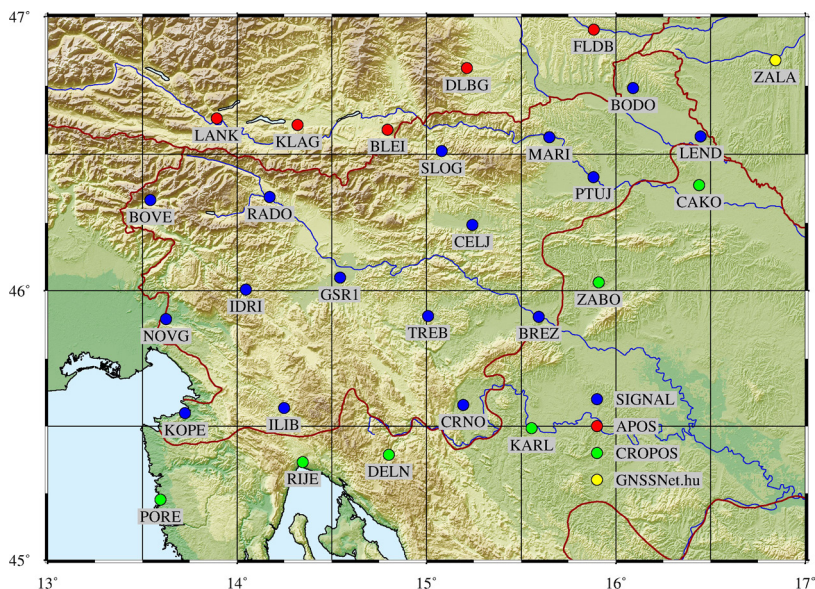
Prehod med starim (D48/GK) in novim državnim ravninskim referenčnim koordinatnim sistemom (D96/TM) v Sloveniji še vedno ni v celoti izveden, saj večina upravljavcev prostorskih podatkovnih zbirk tega še ni storila. Geodetska uprava RS je objavila seznam veznih točk in zagotovila model transformacije za prehod iz starega v novi referenčni koordinatni sistem, na voljo pa je tudi programska oprema za izvedbo transformacije prostorskih podatkov (Transformacija, 2017).

3 OMREŽJE SIGNAL

Tehnične možnosti za dostop do državnega referenčnega koordinatnega sistema D96/TM so na ozemlju Slovenije zagotovljene uporabnikom omrežja stalno delujočih GNSS-postaj SIGNAL (SlovenIja-Geodezija-NAvigacija-Lokacija). Omrežje je bilo zasnovano že na prelomu stoletja (Stopar in sod., 2002), dokončno je bilo vzpostavljeno v okviru projekta *Vzpostavlanje omrežja postaj GPS in evropskega koordinatnega sistema v Sloveniji*, ki je bil financiran s proračunskimi sredstvi Republike Slovenije in sofinanciran z donacijo Norveškega finančnega mehanizma – NFM. Projekt je trajal štiri leta (2007–2010), v njegovem okviru je bilo fizično vzpostavljenih 15 stalnih GNSS-postaj na območju Slovenije ter nadzorni center (služba za GNSS), ki ima sedež na Geodetskem inštitutu Slovenije (Berk in sod., 2006; Projekt NFM, 2007).

Prvotna konfiguracija omrežja se je s časom nekoliko spremenila, tako je bila v aprilu 2013 postaja Velika Polana nadomeščena s postajo Lendava (Medved in sod., 2013), v januarju 2014 pa je bila v omrežje vključena postaja v Idriji. V omrežje je poleg šestnajstih slovenskih postaj vključeno še pet avstrijskih (omrežje APOS), ena madžarska (omrežje GNSSnet.hu) in šest hrvaških (omrežje CROPOS), celotno konfiguracijo omrežja SIGNAL tako sestavlja 28 postaj (slika 2). Kot kontrolna postaja (angl. *rover integrity*) je v omrežje vključena dodatna postaja na stavbi Fakultete za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani.

Za upravljanje omrežja se uporablja programska oprema podjetja Trimble, in sicer zadnja verzija Pivotal 4.1. Zaradi varnosti je celoten sistem podvojen, vzporedni sistem se uporabi ob morebitnih težavah na primarnem strežniku oziroma za testne namene. Komunikacija med postajami in nadzornim centrom poteka po omrežju VPN (angl. *Virtual Private Network*). Za zagotovitev večje kakovosti delovanja sistema se uporablja neodvisna programska oprema (Alberding QC Software) za nadzor delovanja, ki neodvisno nadzira podatkovni tok z različnih dostopnih točk (npr. prekinitve/izpadi), prav tako se neodvisno izvaja periodični nadzor koordinat GNSS-postaj. Vse postaje so bile do leta 2016 nadgrajene, tako je na vseh postajah v omrežju sedaj omogočen sprejem signalov z GPS- in GLONASS-satelitov. Stroški vzdrževanja omrežja SIGNAL so relativno veliki, saj je tudi razvoj na področju satelitske navigacije hiter, zato bo omrežje kmalu treba spet nadgraditi za sprejem dodatnih signalov, na primer satelitov evropskega globalnega navigacijskega satelitskega sistema Galileo.



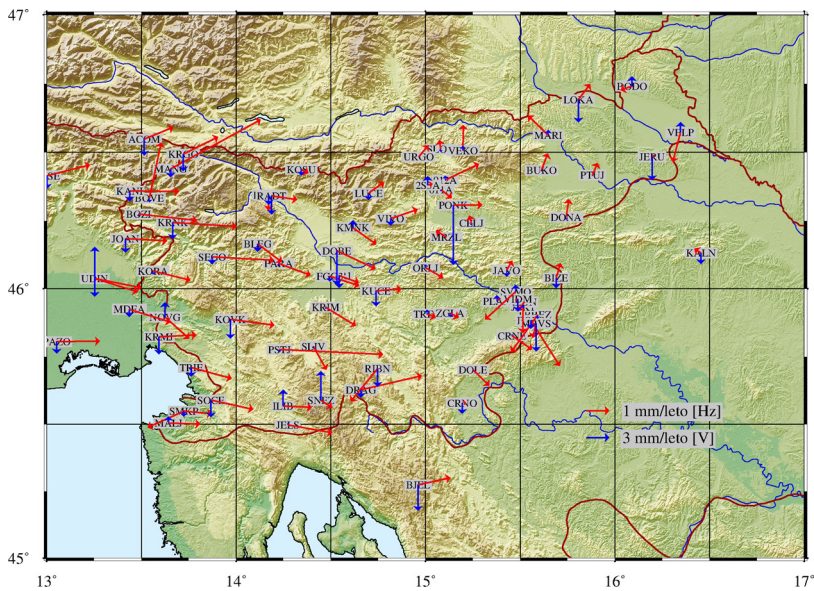
Slika 2: Omrežje SIGNAL z vključenimi postajami sosednjih držav (SIGNAL, 2018).

SIGNAL je omrežje, ki je namenjeno predvsem uporabnikom. Z njegovim delovanjem je uporabnikom zagotovljen dostop do državnega horizontalnega koordinatnega sistema ter s tem kakovostna določitev koordinat katere koli točke na območju Slovenije. Za zagotavljanje kakovostne določitve položaja v državnem prostorskem koordinatnem sistemu je zato nujno nemoteno delovanje omrežja SIGNAL. Uporabniki pridobivajo produkte omrežja SIGNAL v realnem času ali za naknadno obdelavo GNSS-opazovanj. Določitev koordinat v realnem času je uporabniku omogočena s posredovanjem opazovanj posamezne referenčne postaje ter z uporabo dveh vrst tako imenovanih mrežnih produktov omrežij GNSS-postaj, in sicer VRS (angl. *Virtual Reference Station*) in MAC (angl. *Master-Auxiliary Concept*). Za naknadno obdelavo GNSS-opazovanj uporabniki pridobivajo datoteke opazovanj referenčnih postaj v formatu RINEX, ki so shranjene v arhivu RINEX-datotek omrežja SIGNAL. V primerjavi z izmero v realnem času zagotavlja naknadna obdelava opazovanj boljšo natančnost in točnost koordinat, predvsem pa uporabnikom omogoča določitev koordinat, tudi ko med izmero na terenu ni bilo mogoče dostopati do produktov in storitev omrežja SIGNAL v realnem času (SIGNAL, 2018).

Če je tehnično za delovanje omrežja dobro poskrbljeno in ga lahko uporabniki nemoteno uporabljajo, pa se odpira bistveno pomembnejše vprašanje, kakšna je prostorska in časovna usklajenost koordinat stalnih GNSS-postaj s slovenskim državnim referenčnim koordinatnim sistemom D96/TM. Koordinate postaj omrežja SIGNAL so bile šele konec leta 2007 s tako imenovano Mini EUREF-izmero 2007 usklajene z D96, pri čemer je bil uporabljen nekoliko poenostavljen postopek (Stopar in sod., 2008). Izmera je trajala tri dni (72 ur), s srednjo epoko 2007,23, vanjo je bilo poleg stalnih postaj omrežja SIGNAL in postaj sosednjih držav vključenih še pet uradnih EUREF-točk (Donačka gora, Korada, Kucelj, Malija in Velika Kopa), ki so vključene tudi v realizacijo slovenskega horizontalnega geodetskega datuma D96.

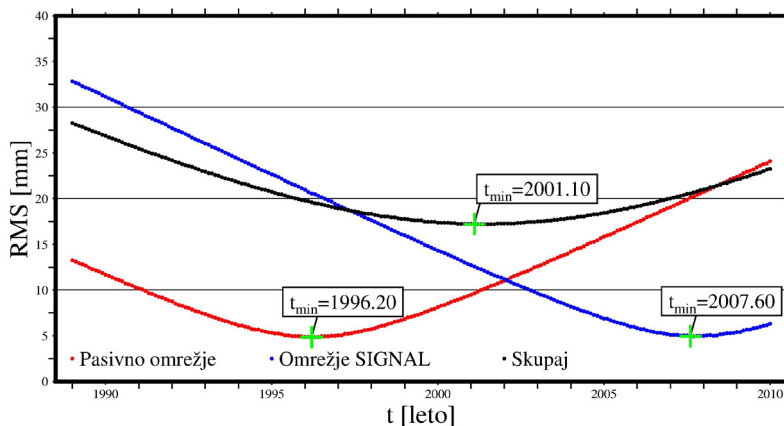
Med realizacijama geodetskega datuma D96 v okviru EUREF GPS-izmere z epoko 1995,55 in vključitvijo/povezavo postaj omrežja SIGNAL v D96 z epoko 2007,23 je več kot deset let časovne razlike.

Pričakovali smo, in raziskave so to potrdile, da so se koordinate točk, določenih v obeh epohah (1995,55 in 2007,23), v desetletnem obdobju spremenile. Na temo recentne tektonike na ozemlju Slovenije je bilo sicer opravljenih precej študij (npr. Pavlovčič Prešeren in sod., 2005; Vrabec in sod., 2006; Weber in sod., 2006, 2010a in 2010b; Sterle, 2015), ni pa še sistematičnega spremljanja gokinematičnega dogajanja na območju države, ki bi nam omogočalo vzpostavitev državnega geokinematičnega modela. Na podlagi številnih ponovljenih GNSS-izmer na območju Slovenije (v več kot dvajsetletnem časovnem obdobju), podatkov omrežja SIGNAL (v obdobju od 2004 do 2010), omrežij stalno delujočih postaj v okolici Slovenije (IGS- in EPN- omrežje) in ustrezne obdelave vseh teh opazovanj pa nam je vendarle že uspelo oceniti vektorje hitrosti premikov za nekatere geodetsko-geodinamične točke na območju Slovenije. Preliminarne rezultate ugotovljenih vektorjev hitrosti na območju Slovenije, ki znašajo do nekaj milimetrov, predstavljamo na sliki 3.



Slika 3: Vektorji hitrosti na GNSS-točkah v Sloveniji (Sterle, 2015).

Iz dosedanjih ugotovitev sklepamo, da je državni referenčni koordinatni sistem D96/TM sicer kakovostno vzpostavljen, vendar se s časovnim oddaljevanjem od referenčne epohe (1995,55) njegova kakovost slabša; po nekaterih ocenah mu je že potekel rok trajanja (Caporali in sod., 2011; Sterle, 2015) oziroma ni več ustrezne kakovosti za potrebe sodobnega časa. Stopnjo kakovosti D96/TM skozi čas prikazujemo na sliki 4. Slika prikazuje srednjo stopnjo kakovosti koordinat temeljnih geodetskih točk (EUREF-točk), ki definirajo D96/TM (rdeča krivulja), oziroma postaj omrežja SIGNAL (modra krivulja) v odvisnosti od časa. Najvišja kakovost koordinat točk je tako določena v začetku leta 1996 za pasivne točke in v sredini leta 2007 za postaje omrežja SIGNAL. V bližini teh dveh epoh so bile koordinate obeh mrež tudi določene. Če se ne oziramo na vrsto geodetske točke oziroma mreže, pa je srednja kakovost koordinat točke predstavljena s črno krivuljo. S slike je razvidno, da se kakovost z oddaljevanjem od (povprečja) epoh 1996 in 2007 slabša, do sedanjosti (2018) se kakovost zniža na stopnjo poldecimetrskosti, kar ni več ustrezno za današnje potrebe.



Slika 4: Kakovost državnega koordinatnega sistema D96/TM v odvisnosti od časa (Sterle, 2015).

V prihodnosti se je tako treba usmeriti v zagotovitev ustrezne definicije, realizacije in vzdrževanja, s katerimi bo zagotovljena ustrezna kakovost koordinatnega sistema na dolgi rok. Tovrstne dejavnosti so potrebne tudi zato, da se običajnim uporabnikom državnega koordinatnega sistema in prostorskih podatkov nasploh ni treba ukvarjati z njegovo kakovostjo. V ta namen je bilo v zadnjih letih storjenih nekaj korakov, in sicer:

- vzpostavljena je bila državna kombinirana geodetska mreža (mreža 0. reda),
- vzpostavljen je bil analitični center omrežja SIGNAL in
- opravljena je bila nova EUREF GNSS-izmera.

V nadaljevanju so podrobneje opisane izvedene dejavnosti.

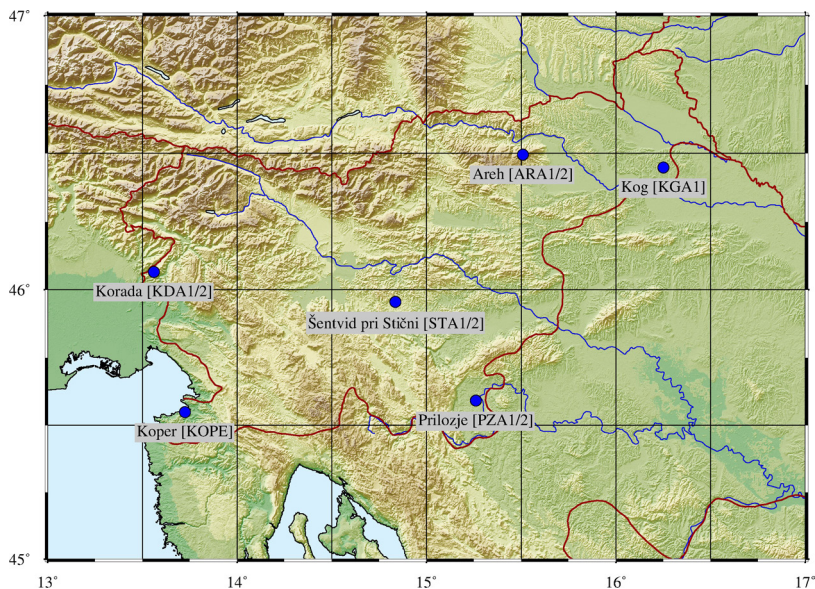
4 DRŽAVNA KOMBINIRANA GEODETSKA MREŽA OZIROMA MREŽA 0. REDA

Z vzpostavitvijo državne kombinirane geodetske mreže sta omogočena kakovostna realizacija in vzdrževanje državnega geodetskega referenčnega sistema na dolgi rok. Pri vzpostavitvi državne kombinirane geodetske mreže gre za povezavo vseh sestavin koordinatnega sistema v enoten, sodoben prostorski koordinatni sistem, in sicer na podlagi neprekinjenega in/ali periodičnega izvajanja vseh vrst geodetskih meritev najvišje kakovosti. Kombinirana geodetska mreža naj bi zagotavljala referenčno podlago za državni horizontalni, višinski in gravimetrični referenčni sistem ter za državno omrežje GNSS-postaj. Hkrati naj bi imela vlogo večnamenske kalibracijske mreže za geodetske instrumente pa tudi metod in postopkov geodetske izmere. Podatki in produkti kombinirane geodetske mreže so poleg geodezije lahko uporabni za druga znanstvena področja, kot so meteorologija, seizmologija, geodinamika, oceanografija ... (Stopar in sod., 2016).

Dejavnosti za vzpostavitev kombinirane geodetske mreže so se začele v okviru ciljnega raziskovalnega projekta z naslovom *Zasnova temeljne državne geoinformacijske infrastrukture*. Rezultat je bil idejni projekt za kombinirano geodetsko mrežo 0. reda (Berk in sod., 2012a in 2012b), ki je vključeval analizo razlogov, potreb in možnosti za njeno vzpostavitev. V okviru projekta so bile obravnavane možnosti za umestitev točk mreže glede na obliko in velikost državnega ozemlja, reliefa, podnebne danosti in vegetacijo, geološke,

hidrološke in tektonske danosti ter glede na druge dejavnike, kot so lokalna stabilnost terena in možnost kakovostnega izvajanja geodetskih meritev. Na podlagi pripravljenih izhodišč in analiz sta bila izdelana predlog optimalnega števila in razporeditve točk mreže. Sama vzpostavitev mreže 0. reda je potekala v okviru projekta *Posodobitev prostorske podatkovne infrastrukture za zmanjšanje tveganj in posledic poplav*, podprojekta *Geodetski referenčni sistem*, ki se je izvajal med letoma 2013 in 2016 v okviru Finančnega mehanizma EGP (Projekt EGP, 2013; Režek, 2017).

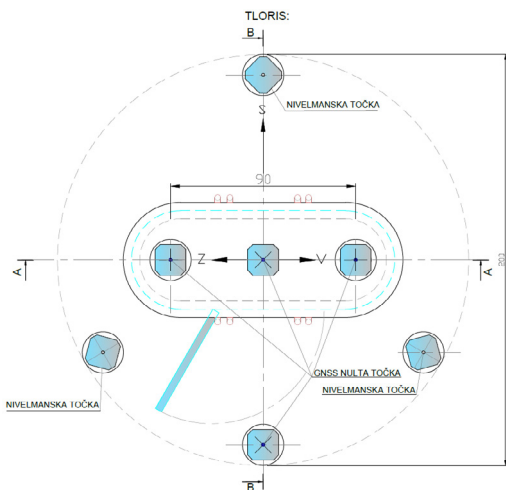
Državno kombinirano geodetsko mrežo sestavljajo geodetske točke na šestih lokacijah. To so državne geodetske točke Prilozje (Bela krajina), Areh (Frajhajm na Pohorju), Kog (Prlekija), Korada (Zapotok v Goriških brdih), Šentvid pri Stični in Koper (Režek, 2017), ki so na medsebojnih razdaljah okoli 100 kilometrov približno enakomerno razporejene po celotnem državnem ozemlju (slika 5). Prvih pet točk je postavljenih na novo, za točko Koper je bila uporabljena obstoječa GNSS-postaja omrežja SIGNAL, ki je na lokaciji mareografske opazovalnice. Ker so bili redovi geodetskih mrež doslej označeni kot 1. red (najpomembnejši), 2. red, 3. red ..., nova mreža pa vključuje najkakovostnejše določene geodetske točke, jo imenujemo tudi državna geodetska mreža 0. reda.



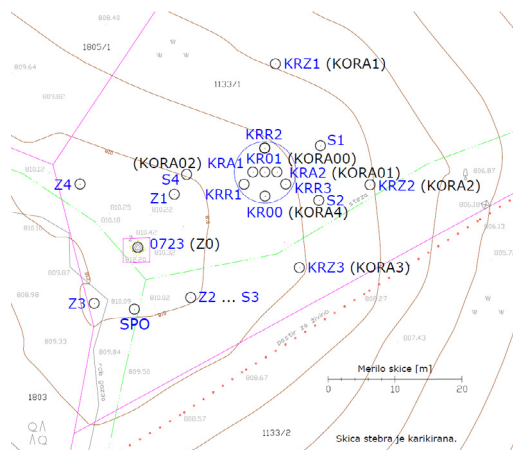
Slika 5: Lokacije točk državne kombinirane geodetske mreže – mreže 0. reda.

Nekatere GNSS-točke 0. reda so v neposredni bližini referenčnih točk drugih merilnih tehnologij (angl. *collocation points*), in sicer: absolutne gravimetrične točke AGT400 na Arehu, trigonometrične točke 1. reda 518 na Koradi in mareografske postaje Agencije RS za okolje v Kopru. Za vsako geodetsko točko 0. reda posebej je bila izdelana projektna dokumentacija, pri kateri so poleg geodetov sodelovali geologi, gradbeniki in hidrologi (Logar, 2013; Vrabec, 2013; Popović in Popović, 2013; Stopar in sod., 2013, 2014a in 2014b). V naravi so točke stabilizirane z betonskim stebrom ovalne oblike, visokim približno dva metra. Steber stoji na temeljni betonski plošči s premerom 2 metra, debelino 0,5–0,9 metra. Plošča je temeljena neposredno na živo skalo (točki Areh in Korada) ali podprta s tremi piloti premera 30 centimetrov, ki segajo pod kotom 18° v globino različno glede na geološko sestavo tal

(Kog – do 5,5 metra, Šentvid pri Stični – do 7,9 metra in Prilozje – do 21 metrov). Piloti, temeljna plošča in stebri sestavljajo enovito armiranobetonsko konstrukcijo, ki zagotavlja ustrezno lokalno stabilnost točke. Na dveh točkah (Prilozje – globina 18 metrov in Šentvid pri Stični – globina 12 metrov) sta tudi vrtni s peziometrom za spremljanje višine podtalnice. Na vseh lokacijah je izvedena drenaža za njeno odvajanje.



Slika 6a: Izsek iz projektne dokumentacije, geodetske točke na temeljni plošči in stebri (Popović in Popović, 2013).



Slika 6b: Prikaz točk osnovne in razširjene mikromreže Korada na geodetskem načrtu (Stopar in sod., 2016).

V izogib morebitnim deformacijam zaradi temperaturnih sprememb je armiranobetonski stebri vsake točke izoliran s 4-centimetrskim slojem mineralne volne in zaščiten z nerjavečo pločevino. Okrog stebra je postavljena varovalna ograja v obliki četvero- ali osmerokotnika z dvojnimi dvokrilnimi vrati, kar omogoča njeno enostavno odstranitev za potrebe izvajanja geodetskih meritev s točk zavarovalne mreže. V osi stebra in na temeljni plošči ob njegovem vznožju je stabiliziranih še pet referenčnih točk (slika 6a), namenjenih izvajanju klasičnih terestričnih, nivelmanskih in gravimetričnih meritev. Na vrhu stebra sta nameščeni dve oziroma ena GNSS-antena. Znotraj stebra so v omarici nameščeni merilni instrumenti in telekomunikacijska oprema. Vsaka točka ima zunaj ograjenega dela na oddaljenostih od nekaj 10 pa do 200 metrov od stebra postavljene še tri do štiri zavarovalne točke, kot del zavarovalne mikromreže (slika 6b). Tudi te točke so postavljene na pilotih (globine do 7,4 metra), zaščitene so z betonskimi jaški, ki so v ravnini terena pokriti z litoželeznimi pokrovi. Na vrhu pilotov so vgrajene kovinske plošče z vijaki za prisilno centriranje geodetskih instrumentov in pribora (slika 7a).

Vse stalno delujoče GNSS-postaje na točkah mreže 0. reda so opremljene z antenami in sprejemniki, ki zagotavljajo opazovanja najvišje kakovosti. Štiri točke (Areh, Korada, Prilozje in Šentvid pri Stični) so tako imenovane dvojne točke (angl. *double/twin stations*) z dvema GNSS-antenama, glej sliko 7b, dve točki (Kog in Koper) pa sta enojni, tj. z eno GNSS-anteno. GNSS-oprema omogoča izvajanje opazovanj vseh dostopnih globalnih navigacijskih satelitskih sistemov. Za vse nameščene antene je podjetje Geo++ opravilo individualno absolutno kalibracijo. Za vse antene so pridobljene tudi enolične mednarodne oznake, tako imenovane DOMES numbers. Razen v Kopru je na vseh točkah senzor nagiba (elektronska

libela), s katerim se neprekinjeno spremlja lokalna stabilnost betonskega stebra. Štiri točke (Areh, Korada, Priložje in Šentvid pri Stični) so opremljene tudi s kalibrirano meteorološko postajo (Ritlop in sod., 2018).

Vsa opazovanja se prek telekomunikacijskih poti neprekinjeno pošiljajo v nadzorni center službe za GNSS na Geodetskem inštitutu Slovenije. Poleg primarne povezave za prenos podatkov (VPN-povezave po zemeljskih kabljih) je vzpostavljena sekundarna povezava prek mobilnega omrežja, ki se uporabi ob morebitnem izpadu primarne povezave. Podatki se obdelujejo s programskim paketom Alberding GNSS Status, ki v realnem času preverja kakovost delovanja omrežja in po potrebi opozori upravljalca na ugotovljena odstopanja. Izvaja tudi dnevne izračune koordinat vseh vključenih točk po metodi PPP (angl. *Precise Point Positioning*) in jih primerja z referenčnimi koordinatami, kar omogoča spremljanje stanja omrežja v realnem času. Državna mreža 0. reda je operativna od 1. januarja 2016, v popolni konstelaciji (nameščena vsa oprema) pa je od 28. novembra 2017.



Slika 7a: Točka zavarovalne mikromreže.



Slika 7b: Dvojna GNSS-postaja Priložje.

Na vseh točkah mreže 0. reda so bile za vključitev mreže v državni koordinatni sistem in ugotavljanje lokalne stabilnosti točk izvedene geodetske meritve v ponovljenih serijah v razmiku nekaj mesecev. Lokalne stabilnosti točk 0. reda namreč ne moremo vnaprej predpostaviti, potrditi oziroma ugotoviti jo je treba s ponavljajočimi se kakovostnimi meritvami, in sicer GNSS, klasičnimi terestričnimi, nivelmanskimi in gravimetričnimi. Glede na prve rezultate ocenjujemo, da so vse na novo stabilizirane točke mreže v horizontalnem smislu lokalno stabilne na ravni natančnosti določitve koordinat (Stopar in sod., 2016). Ugotovljena pa je bila lokalna nestabilnost na lokaciji točke Koper, kjer bo treba mikromrežo razširiti ter izvesti dodatne izmere in analize (Sterle in sod., 2017b). Poleg spremljanja lokalne stabilnosti točk 0. reda je treba poudariti zagotavljanje stalne in neprekinjene povezave točk 0. reda z državnim koordinatnim sistemom. V horizontalnem smislu to pomeni vzpostavitev časovnih vrst koordinat točk 0. reda, zagotovitev njihove povezave s časovnimi vrstami postaj v omrežju SIGNAL ter časovnimi vrstami (kolikor jih je mogoče vzpostaviti) občasno opazovanih GNSS-točk, s katerimi je realiziran državni horizontalni koordinatni sistem.

Dokončna odločitev o odnosu državne geodetske mreže 0. reda glede na geodetski datum državnega horizontalnega koordinatnega sistema še ni sprejeta. Pri tem je bistveno vprašanje, ali bodo točke 0. reda enakovredno ali kako drugače obravnavane glede na preostale točke, vključene v realizacijo hori-

zontalnega geodetskega datuma. Točke 0. reda bodo v prihodnje ključne za določitev geokinematičnega modela Slovenije in za zagotovitev povezave lokalnega geokinematičnega modela slovenskega ozemlja s kontinentalnim (evropskim) in regionalnimi geokinematičnimi modeli. Te točke so namreč edine, ki v Sloveniji izpolnjujejo precej stroge pogoje glede stabilizacije/izgradnje tovrstnih GNSS-točk/postaj. Pri tem posebej poudarjamo, da geokinematični model ne bo namenjen samemu sebi ali drugim strokam, ampak je ključnega pomena za geodezijo, in sicer pri realizaciji sodobnega 4-razsežnega koordinatnega sistema. GNSS-mreža v okviru geodetske mreže 0. reda ima tako nalogo spremljanja morebitnih deformacij državnega horizontalnega koordinatnega sistema, pri tem pa omrežje SIGNAL še naprej ohranja status uporabniškega omrežja.

5 ANALITIČNI CENTER SLUŽBE ZA GNSS

V okviru službe za GNSS od leta 2016 deluje analitični center omrežja SIGNAL in mreže 0. reda. Njegove glavne naloge so izračunavanje dnevnih/tedenskih koordinat GNSS-postaj obeh omrežij, vzpostavitev časovnih vrst koordinat GNSS-postaj in izračun vektorjev hitrosti spreminjanja koordinat.

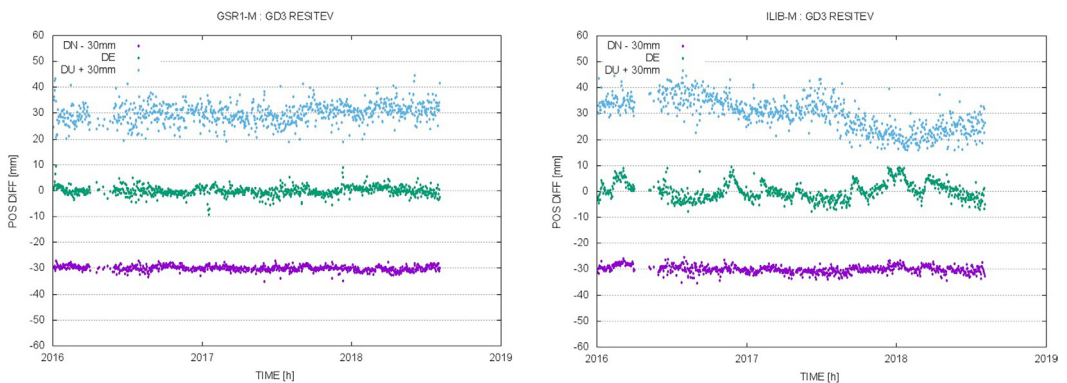
Tako pridobljene časovne vrste koordinat postaj omogočajo vpogled v kakovost delovanja postaj in posledično strokovno podprte odločitve pri upravljanju obeh GNSS-omrežij. Ker so koordinate stalno delujočih postaj omrežja SIGNAL sestavni del realizacije državnega koordinatnega sistema Slovenije, imamo tako na podlagi vzpostavljenih časovnih vrst koordinat možnost spremljanja kakovosti realizacije državnega koordinatnega sistema in ugotavljanja njegovega morebitnega spreminjanja skozi čas. Ugotovljene časovne spremenljivosti podajajo možnost opredelitve ustreznega koordinatnega sistema, ki bo kakovostno realiziran v daljšem časovnem obdobju.

V obdelavo opazovanj za določitev koordinat na dnevni ravni so vključena opazovanja 27 GNSS-postaj omrežja SIGNAL (skupaj z opazovanji postaj omrežij sosednjih držav), desetih GNSS-postaj mreže 0. reda, opazovanja 38 GNSS-postaj službe IGS (*International GNSS Service*), ki imajo kakovostno določene koordinate in vektorje hitrosti sprememb koordinat v zadnji realizaciji koordinatnega sistema ITRS, ter opazovanja izbranih (25) stalno delujočih postaj omrežja EPN (EUREF Permanent GNSS Network). Kot metapodatke pri obdelavi vodimo vse spremljajoče podatke, ki so potrebni za obdelavo opazovanj, in sicer koordinate in vektorje hitrosti sprememb koordinat točk v globalnem koordinatnem sistemu, kalibracijske parametre anten sprejemnikov in GNSS-satelitov, parametre vpliva plimovanj oceanov na koordinate točk, parametre vpliva plimovanja atmosfere na koordinate točk in podatke globalnega modela troposferske refrakcije GMF (angl. *Global Mapping Function*). Podatki in produkti službe IGS in njenih analitičnih centrov pa so natančne tirnice satelitov (efemeride), popravki ur satelitov (na 30 sekund) in parametri rotacije Zemlje, model ionosfere ter kodni zamiki satelitov P1-C1 in P1-P2.

Obdelava dnevnih GNSS-opazovanj poteka na dva načina. Cilj je pridobiti dnevne koordinate postaj v enotnem globalnem koordinatnem sistemu (IGb08, IGS14) z najvišjo mogočo natančnostjo in točnostjo. Prva obdelava poteka s programskim paketom Bernese GNSS Software, različica 5.2, in je namenjena obdelavi dvojnih faznih razlik v geodetski mreži GNSS-postaj, kjer kot rezultat pridobimo ocenjene dnevne koordinate in parametre troposferske refrakcije za vsako postajo. Druga obdelava se izvaja s programskim paketom gPPP lastne izdelave (Sterle, 2015). Postopek temelji na metodi PPP in deluje v absolutnem načinu, saj se GNSS-opazovanja obdelajo ločeno za vsako postajo posebej. Rezultati obdelav podatkov

so ocenjene koordinate točk, fazne nedoločenosti, parametri troposfere, kodni zamiki in popravki ur sprejemnikov. Geodetski datum pri metodi PPP zagotovimo tako, da ocenjene koordinate transformiramo v/na dane koordinate IGS-postaj. Obdelava teče rutinsko (avtomatizirano) enkrat na teden, obdelava opazovanj pa se izvede na podlagi dnevniških datotek opazovanj vseh GNSS-postaj za ves teden (Sterle in sod., 2017a). Izvedena je že obdelava opazovanj od leta 2001 do leta 2010 in od 21. avgusta 2016 do 1. oktobra 2018. Vmesno obdobje je še v obdelavi, vsi podatki bodo obdelani v kratkem. Rezultat teh obdelav bodo časovne vrste koordinat za vse stalne GNSS-postaje od vzpostavitve obeh GNSS-omrežij do danes. S tem bo omogočeno ugotavljanje morebitnega spreminjanja koordinat vseh GNSS-postaj ter verjetno tudi vzrokov zanj.

Kot časovne vrste koordinat obravnavamo niz ocenjenih koordinat posamezne točke, ki so bile določene v različnih časovnih epohah (Sterle, 2015). To so osnovni vhodni podatki za analizo kakovosti posamezne točke in tudi za analizo kakovosti koordinatnega sistema, ki ga točke predstavljajo oziroma realizirajo. Na sliki 8 predstavljamo dva primera časovnih vrst koordinat, levo za postajo GSR1 (Ljubljana), desno pa za postajo ILIB (Ilirska Bistrica) za obdobje približno 2,5 leta. Koordinate točk so bile določene z metodo PPP, pri čemer je bil geodetski datum zagotovljen s tremi parametri premika na dane koordinate postaj omrežja IGS, iz časovnih vrst pa je odstranjen tudi linearni trend – vektor hitrosti spreminjanja položaja obeh postaj.



Slika 8: Časovne vrste koordinat dveh GNSS-postaj omrežja SIGNAL (GSR1 in ILIB) za obdobje 2,5 leta.

Razlike v časovnih vrstah koordinat obeh postaj pripisujemo razlikam v kakovosti stabilizacije in lokacije posamezne postaje. Leva slika prikazuje dobro stabilizirano stalno postajo, na kateri ni prisotnih očitnih vplivov na vrednosti koordinat. Odstopanja od premice (linearnega spreminjanja koordinat) so zgolj slučajna. Časovne vrste na desni sliki pa vsebujejo periodična spreminjanja, ki so vidna predvsem v višinski komponenti (modre točke) in v smeri vzhod–zahod (zelene točke). Kaj povzroča taka sistematična odstopanja, je zelo težko ugotoviti, večinoma pa izhajajo iz neposredne okolice točke (neprimerna geološka sestava tal, moten sprejem GNSS-signalov s satelitov – velik vpliv večpotja, nestabilnost objekta in podobno).

Časovne vrste koordinat GNSS-postaj so podlaga za izračun spreminjanja koordinat točk skozi čas – vektorje hitrosti postaj. Vendar pa je za kakovostno določitev vektorjev hitrosti treba vzpostaviti časovne vrste vsaj za obdobje treh let, v nasprotnem primeru so izračunani vektorji hitrosti praviloma neustrezne kakovosti.

V okviru obdelave GNSS-opazovanj stalno delujočih postaj omrežja SIGNAL in mreže 0. reda smo naredili primerjavo med uradnimi koordinatami omrežja SIGNAL, ki definirajo D96/TM, in izračunanimi koordinatami, ki definirajo trenutno geometrijo območja Slovenije. Primerjavo smo naredili s šestparametrično podobnostno transformacijo. Rezultati so predstavljeni v preglednici 1.

Preglednica 1: Primerjava med uradnimi in izračunanimi D96/TM-koordinatami postaj omrežja SIGNAL.

Omrežje SIGNAL	Bernese GNSS Software, različica 5.2			Metoda PPP		
	$\sigma_{\Delta N}$ [mm]	$\sigma_{\Delta E}$ [mm]	$\sigma_{\Delta U}$ [mm]	$\sigma_{\Delta N}$ [mm]	$\sigma_{\Delta E}$ [mm]	$\sigma_{\Delta U}$ [mm]
<i>RMS</i>	8,8	10,0	3,8	9,0	10,1	4,3

Preglednica 1 prikazuje stopnjo (ne)ujemanja med dvema nizoma koordinat: uradnimi in na novo izračunanimi. Primerjavo smo naredili tako za izračunane koordinate s programskim paketom Bernese kot za koordinate, določene z metodo PPP. Videti je očitna in zelo velika stopnja skladnosti rezultatov, pridobljenih z obema postopkoma obdelave opazovanj GNSS. Po drugi strani pa lahko ugotovimo, da je neujemanje uradnih in novo izračunanih koordinat na ravni centimetra ali celo nekoliko slabše. Koordinate postaj omrežja SIGNAL so bile določene leta 2007 (Stopar in sod., 2008) in v več kot desetih letih je aktivna geodinamika na območju Slovenije prispevala znaten delež k spremembam koordinat točk. Pri tem je bila postaja v Koprju evidentirana kot izrazito slabša od drugih (zaradi že navedenih težav z lokalno stabilnostjo), z razlikami koordinat do približno 3 centimetre (Sterle in sod., 2017a). Dokler nimamo vzpostavljenih časovnih vrst koordinat za celotno obdobje delovanje omrežja SIGNAL, lahko le ugibamo, kakšno je stanje sistema, ne moremo pa ničesar sklepati o vzrokih za morebiti velike razlike.

Pri GNSS-postajah mreže 0. reda, za katere so bile koordinate postaj določene januarja 2017, pa rezultati kažejo na milimetrsko skladnost uradnih in na novo določenih koordinat (preglednica 2).

Preglednica 2: Primerjava med uradnimi in izračunanimi D96/TM-koordinatami postaj mreže 0. reda.

Mreža 0.reda	Bernese GNSS Software, različica 5.2			Metoda PPP		
	$\sigma_{\Delta N}$ [mm]	$\sigma_{\Delta E}$ [mm]	$\sigma_{\Delta U}$ [mm]	$\sigma_{\Delta N}$ [mm]	$\sigma_{\Delta E}$ [mm]	$\sigma_{\Delta U}$ [mm]
<i>RMS</i>	0,9	1,5	1,2	1,0	1,5	1,3

6 GNSS-IZMERA EUREF SLOVENIJA 2016 IN GEODETSKI DATUM D17

Glede na dosedanje rezultate raziskav lahko ugotovimo, da je trenutni realizaciji državnega horizontalnega referenčnega koordinatnega sistema D96 že potekel rok uporabnosti. Zato je bilo treba poskrbeti za ponovno kakovostno določitev koordinat EUREF-točk in njihovo mednarodno uveljavitev. Geodetska uprava RS je tako v letu 2016 izvedla ponovno GNSS-izmero EUREF Slovenija 2016 (Medved, 2016). Izmera je bila izvedena 20 let po zadnji EUREF GPS-izmeri, deset let po vzpostavitvi omrežja SIGNAL in nemudoma po vzpostavitvi mreže 0. reda. Namen izmere je bil (Berk in sod., 2018):

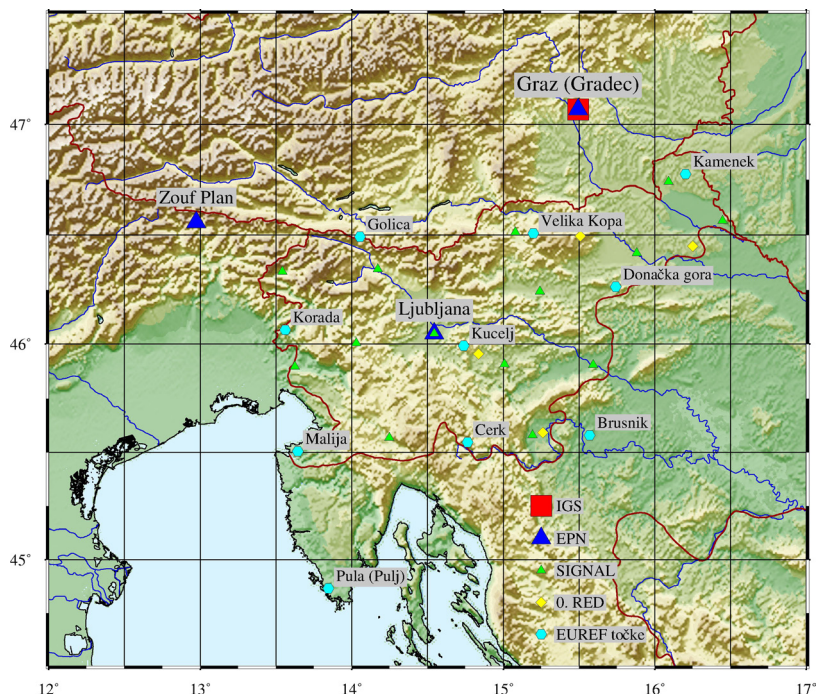
- ugotoviti in izboljšati pravilnost in skladnost koordinat v mreži EUREF-točk in v omrežju SIGNAL,
- povezati mrežo EUREF-točk in omrežje SIGNAL z novo GNSS-mrežo 0. reda ter
- ugotoviti vplive recentne tektonike na ozemlju Slovenije na kakovost obstoječe realizacije horizontalnega državnega koordinatnega sistema Slovenije.

GNSS-izmera EUREF Slovenija 2016 je bila izvedena med 22. avgustom 2016 in 10. novembrom 2016, skupaj je trajala 80 dni. Srednja epoha opazovanj je 2016,75 (tj. 1. oktober 2016), z zaokrožitvijo srednje

epohe izmere dobimo tudi oznako nove slovenske realizacije koordinatnega sistema ETRS89, ki je D17 (geodetski datum 2017). V izmero je bilo vključenih 48 pasivnih točk, med njimi je velika večina prvotnih EUREF-točk iz izmer v letih 1994, 1995 in 1996. Poleg tega so bila pridobljena opazovanja za 75 stalnih GNSS-postaj, in sicer v mreži 0. reda (8), omrežju SIGNAL (15), sosednjih GNSS-omrežjih (20) ter EPN- in IGS-omrežju (32); slednje so nastopale v vlogi kontrolnih in referenčnih točk za določitev geodetskega datuma mreže.

Konec maja 2018 je bil na 28. EUREF-simpoziju v Amsterdamu predstavljen izračun GNSS-izmere EUREF Slovenija 2016 (Berk in sod., 2018). Resolucija št. 3 s tega simpozija potrjuje, da spadajo koordinate točk iz tega izračuna v kakovostni razred B (EUREF Product Class B), torej zagotavljajo točnost koordinat približno 1 centimeter v ETRS89 v epohi opazovanj. Obdelava podatkov izmere je bila izvedena s programskim paketom Bernese GNSS Software, različica 5.2. Izračun je bil izveden v koordinatnem sestavu IGB08 (Bruyninx in sod., 2012), ki temelji na ITRF2008 (Altamimi in sod., 2011) oziroma na različici IGS08 (Rebischung in sod., 2012), in skladno s smernicami za zgostitve omrežij EUREF-točk (Bruyninx in sod., 2013). Rezultat tega izračuna je nova realizacija ETRS89 v Sloveniji z oznako ETRS89/D17 in ogrodjem realizacije IGB08/ETRF2000, medtem ko je za obstoječo realizacijo z oznako ETRS89/D96 ogrodje realizacije ITRF96/ETRF96.

V izračun za potrebe potrditve podkomisije EUREF je bil vključen nekoliko okrnjen niz točk – 10 pasivnih točk in 47 stalnih GNSS-postaj, prav tako je bilo vključenih le 21 dnevni nizov opazovanj; skupaj je bilo uporabljenih 993 dnevni RINEX-datoteke. Slika 9 prikazuje točke na ozemlju Slovenije in v bližnji okolici, ki so bile vključene v izračun.



Slika 9: Točke v Sloveniji in okolici, vključene v izračun (Berk in sod., 2018).

Primerjava končnih koordinat EUREF-točk v ETRS89/D96 in ETRS89/D17 – vključenih je bilo osem točk v Sloveniji: Cerk, Donačka gora, Golica, Kamenek, Korada, Kucelj, Malija in Velika Kopa – je pokazala na razlike, ki presegajo 8 centimetrov, vendar predvsem zaradi različnih referenčnih sestavov, na katera se nanašata izračuna (Medved in Berk, 2017). S primerjavo koordinat teh EUREF-točk po predhodnem optimalnem vklopu novega niza koordinat točk (D17) na prvotni niz koordinat (D96) s 7-parametrično prostorsko podobnostno transformacijo so odstopanja znašala do 2,4 centimetra (Berk in sod., 2018). Analiza bo seveda še dopolnjena po obdelavi vseh točk, vključenih v izmero. Cilj nadaljnje obdelave bo predvsem uskladitev koordinat EUREF-točk in stalnih GNSS-postaj omrežja SIGNAL. Predhodne analize so dale razlike koordinat posameznih GNSS-postaj, ki so večinoma manjše od 1 centimetra; nekoliko izstopa postaja v Kopru – 2,8 centimetra za e-koordinato (Berk, 2018, 446–447), kar se zelo ujema z že navedenimi predhodnimi raziskavami (Sterle in sod., 2017a). To pomeni, da načrtovana uskladitev koordinat vendarle ne bo vplivala na kakovost že pridobljenih prostorskih podatkov, ki se že skoraj desetletje dolgo pridobivajo s tehnologijo GNSS (npr. podatkov v zemljiškem katastru). Pri tem nova realizacija ETRS89 ne bo uveljavljena neposredno, ampak bo do nadaljnjega ostala v uporabi obstoječa realizacija ETRS89/D96.

7 NAČRTI ZA PRIHODNOST

Odlčitve, kako bo potekalo vzdrževanje državnega koordinatnega sistema v prihodnje, bodo temeljile predvsem na rezultatih GNSS-izmere EUREF Slovenija 2016, ki prinaša kakovostno homogeno realizacijo sistema (Sterle in sod., 2018). Glede na to, da je izmera EUREF le enkratni dogodek, ki omogoča kakovostno določitev koordinat točk v epohi opazovanj, bo pomembno analizirati tudi rezultate dnevnih obdelav GNSS-opazovanj v obeh aktivnih GNSS-omrežjih. V časovnih vrstah so prisotni različni periodični vplivi, ki po velikosti znatno presegajo zahtevano natančnost državnega koordinatnega sistema. Končni rezultat obdelave opazovanj v okviru GNSS-izmere EUREF Slovenija 2016 bo nova realizacija državnega horizontalnega koordinatnega sistema (ETRS89/D17), ki bo tudi most med sedanjim pasivnim referenčnim sestavom (mreža EUREF-točk) in prihodnjim aktivnim referenčnim sestavom (mreža 0. reda). Za vzdrževanje državnega koordinatnega sistema v prihodnje je mogočih več scenarijev (Stopar in sod., 2015).

Prvi predvideva, da je stanje slovenskega državnega horizontalnega koordinatnega sistema (D96/TM) ustrezno, kar pomeni, da v tem trenutku ni treba storiti ničesar. Ta scenarij je glede na preliminarne rezultate analiz že izključen; na kratek rok je treba vsaj uskladiti koordinate v mreži EUREF-točk in postaj omrežja SIGNAL, kot je opisano zgoraj.

Drugi scenarij predvideva uvedbo nove realizacija ETRS89 v Sloveniji, kar pomeni nov statični geodetski datum z epoho 2016,75 (D17). To prinaša utečeni postopek, ki smo ga delno že realizirali s prehodom iz D48 v D96, vendar je težava transformacija koordinat med sistemoma in posledično spreminjanje koordinat vseh točk. Ker prehod na D96 po desetletju uporabe še vedno ni dokončan, bi si težko privoščili še eno transformacijo, ki bi povzročila zmedo in težave uporabnikom ter velike stroške upravljavcem prostorskih podatkov. Nekatere države so sicer v praksi uvajale nove realizacije ETRS89, s katerimi so nadomestili prejšnje, vendar so to naredile še pred transformacijo prostorskih podatkovnih zbirk, na primer Belgija, Makedonija in Srbija, nekatere države pa so kljub ponovljenim izmeram ohranile prvotno (starejšo) realizacijo ETR89, na primer Nemčija in baltske države (Altiner in Perlt, 2018; Häkli in sod., 2016).

Tretji scenarij vključuje ohranitev sedanje realizacije ETRS89, vendar postopni prehod na poldinamični geodetski datum, na primer po zgledih Grčije, Islandije, Izraela, Nove Zelandije ali Švedske (Chatzini-kos, 2015; Kierulf in sod., 2017; Even-Tzur, 2011; Blick in Donnelly, 2016; Jivall, 2014). Scenarij je priporočljiv predvsem za območja z večjimi lokalnimi deformacijami. Po dveh desetletjih ukvarjanja s problematiko ustrezne realizacije geodetskega datuma je jasno, da povsem statičen referenčni koordinatni sistem v prihodnje ne bo zadoščal niti na območjih z manjšimi deformacijami, zato se v zadnjem času vse bolj oblikuje zamisel o enotnem pristopu k reševanju problematike (Poutanen in Häkli, 2018). Zaželeno je, da bi bila izbrana rešitev za realizacijo geodetskega datuma za uporabnike prostorskih podatkov povsem nezaznavna, kar je mogoče doseči z dodatnimi storitvami v GNSS-omrežjih oziroma sistemih za vodenje zbirke prostorskih podatkov (transformacije koordinat v in iz referenčne epohe). Scenarij se zdi optimalen, kar zadeva vodenje prostorskih podatkovnih zbirk – koordinate tako ostanejo konstantne v prostoru in času (Berk, 2014).

Četrty scenarij pomeni postopni prehod na dinamični/kinematični (4R) geodetski datum, kjer so koordinate vsake točke funkcija časa. Koordinate točke, veljavne za izbrano epoho, določimo na podlagi predhodno določenega vektorja hitrosti sprememb njenih koordinat. Čeprav bi lahko imeli tako realiziran geodetski datum za idealno rešitev, saj bi s kakovostnim geokinematičnim modelom v celoti odstranili vpliv geodinamike na koordinate točk, je koordinatni sistem, v katerem so koordinate točk časovno odvisne, zelo težko praktično implementirati. Predvsem se odpira vprašanje, katere koordinate voditi v zbirkah in kako bi časovna spremenljivost koordinat točk na dolgi rok vplivala na relativna geometrijska in celo topološka razmerja.

V tem trenutku se zdi optimalna rešitev za vprašanje geodetskega datuma tretji scenarij (poldinamični geodetski datum), vendar je treba za njegovo implementacijo izvesti še kar nekaj nalog. Podlaga bodo kakovostno določene koordinate (in njihove spremembe skozi čas) za čim več geodetskih točk in stalno delujočih GNSS-postaj v čim daljšem časovnem obdobju. Vzpostavljene časovne vrste koordinat točk bo treba analizirati glede na ugotovljeno periodičnost spreminjanja koordinat, nato določiti vektorje hitrosti koordinat in zasnovati geokinematični oziroma deformacijski model ozemlja Slovenije. Pri tem se postavlja še veliko dodatnih vprašanj, in sicer ali trenutna kakovost mikrolokacij, gostota in razporeditev stalnih GNSS-postaj izpolnjujejo pogoje za vzpostavitev takšnega modela. Treba bo zagotoviti dodatne podatke s periodičnimi izmerami (letno/dvoletno) na primerno izbranem nizu geodinamičnih točk. Podrobno bo treba tudi analizirati, kakšne bi bile posledice posameznih scenarijev v daljšem časovnem obdobju. Hkrati bo treba upoštevati vidik skladnosti in izmenljivost podatkov med državami. Strategija EUREF za prihodnje realizacije ETRS89 temelji na vzpostavitvi gostega in homogenega vseevropskega modela hitrosti sprememb koordinat GNSS-postaj (Bruyninx in sod., 2017). Konkretni koraki, ki jih je treba izvesti ne glede na dokončno odločitev, so:

- dokončati izračun GNSS-izmere EUREF Slovenija 2016 z vključitvijo vseh preostalih merjenih točk,
- uskladiti koordinate stalnih postaj omrežja SIGNAL s koordinatami EUREF-točk,
- določiti časovne vrste koordinat za vse stalne GNSS-postaje na območju Slovenije in v bližnji okolici za celoten čas delovanja postaj ter
- vzpostaviti geokinematični model ozemlja Slovenije.

Naštete dejavnosti zagotavljajo vzdrževanje državnega koordinatnega sistema v dobrem stanju na dolgi rok.

8 SKLEP

Državni horizontalni koordinatni sistem Slovenije je realiziran z mrežo EUREF-točk in stalno delujočih GNSS-postaj v omrežju SIGNAL, v prihodnje pa bo vlogo referenčnega ogrodja prevzela državna kombinirana geodetska mreža – mreža 0. reda. Koordinate EUREF-točk so bile na območju Slovenije prvič določene v okviru EUREF-izmer v letih 1994, 1995 in 1996 ter pomenijo prvo realizacijo koordinatnega sistema ETRS89 v Sloveniji (oznaka D96). Koordinate stalno delujočih postaj omrežja SIGNAL v koordinaten sistemu ETRS89 so bile določene v mini EUREF GNSS-izmeri leta 2007. V okviru posodobitve državne prostorske podatkovne infrastrukture je bila pred kratkim vzpostavljena še geodetska mreža 0. reda, ki jo sestavlja deset referenčnih GNSS-postaj na šestih lokacijah. Koordinate vseh treh omrežij so bile prvič hkrati določene z GNSS-izmero EUREF Slovenija 2016. Z obdelavo opazovanj v GNSS-izmeri EUREF Slovenija 2016 je bila vzpostavljena nova realizacija ETRS89 v Sloveniji (ETRS89/D17), ki pa ne bo praktično uveljavljena, ampak bo zgolj most med obstoječo in prihodnjo realizacijo prostorskega koordinatnega sistema v Sloveniji. Hkrati bo omogočila kakovostno uskladitev koordinat stalnih GNSS-postaj v omrežju SIGNAL z obstoječo realizacijo.

Za nadzor nad kakovostjo in stabilnostjo državnega prostorskega koordinatnega sistema je nujna neprekinjena obdelava GNSS-opazovanj stalnih GNSS-postaj, zato je bil razvit postopek samodejne obdelave GNSS-opazovanj, kar je že dolgo praksa v skoraj vseh evropskih državah. Ocenjene dnevne koordinate in njihova medsebojna odstopanja kažejo na spreminjanje koordinat točk v času. Poznavanje lastnosti teh odstopanj je podlaga za definicijo in realizacijo koordinatnega sistema, ki bo vzpostavljen za daljše časovno obdobje, tako da bo lahko kakovostno opravljal svoje naloge.

Samo kakovosten državni geodetski referenčni sistem lahko zadovolji potrebe vseh, ki imajo opravka s prostorskimi podatki in georeferenciranjem v kakršnikoli obliki. Kljub izzivom, s katerimi se danes srečuje geodezija kot znanost, se od državne geodetske službe pričakuje, da bo zagotovila kakovosten državni prostorski koordinatni sistem za daljše časovno obdobje. To nalogo mora opraviti tako, da se običajnemu uporabniku pri vsakdanjem delu s koordinatnimi sistemi in vsem z njimi povezanimi težavami ni treba ukvarjati. Spreminjanje koordinat detajlnih točk skozi čas bi namreč povzročalo preveč težav pri vsakdanjem operativnem delu. Po drugi strani pa je spremenljivost odnosov med točkami na zemeljskem površju dejstvo, ki ga moramo ugotoviti in upoštevati. Rešitev je vzpostavitev geokinematičnega modela, ki mora vključevati horizontalno in višinsko sestavino koordinatnega sistema. Le kakovostna realizacija vseh sestavin državnega prostorskega koordinatnega sistema omogoča vzpostavitev kakovostne referenčne podlage za vse potrebe sodobne družbe. S tem bo izpolnjeno temeljno poslanstvo geodezije kot znanosti in državne geodetske službe, ki je zagotavljanje kakovostne podlage za georeferenciranje vseh vrst objektov in pojavov na ozemlju države.

ZAHVALA

Del predstavljenih raziskav je v okviru raziskovalnega programa P2-0227 *Geoinformacijska infrastruktura in trajnostni prostorski razvoj Slovenije* sofinancirala Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije iz državnega proračuna.

Literatura in viri:

- Altamimi, Z., Collilieux, X., Métivier, L. (2011). ITRF2008: An Improved Solution of the International Terrestrial Reference Frame. *Journal of Geodesy*, 85 (8), 457–473. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00190-011-0444-4>
- Altiner, Y., Pertl, J. (2018). Geodätischer Raumbezug von GNSS-Messungen – Der Beitrag des BKG zur Realisierung 2016. *Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, 143 (2), 114–120. DOI: <https://doi.org/10.12902/zfv-0201-2018>
- Berk, S. (2014). Zamrznjeno v prostoru in času. *Geodetski vestnik*, 58 (3), 578–582. http://www.geodetski-vestnik.com/58/3/gv58-3_berk.pdf
- Berk, S. (2018). Obdelava GNSS-kampanje »EUREF Slovenija 2016«. Vmesno poročilo, 457 str. Ljubljana: Geodetska uprava Republike Slovenije
- Berk, S., Bajec, K., Fajdiga, D., Bitenc, M., Hari, J., Klanjšček, M., Triglav Čekada, M., Žagar, T., Radovan, D., Ambrožič, T., Koler, B., Kuhar, M., Pavlovčič Prešeren, P., Savšek, S., Sterle, O., Stopar, B. (2012a). Zasnova temeljne večnamenske državne geoinformacijske infrastrukture. Končno poročilo. CRP-projekt, št. V2-1096, 148 str. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije in Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
- Berk, S., Bajec, K., Fajdiga, D., Radovan, D., Komadina, Ž., Medved, K., Ambrožič, T., Koler, B., Kuhar, M., Pavlovčič Prešeren, P., Savšek, S., Sterle, O., Stopar, B. (2012b). Idejni projekt za kombinirano geodetsko mrežo ničtega reda. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2011, 17. strokovno srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko, Ljubljana, 26. januar 2012. Zbornik predavanj, str. 37–44. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/SUGG/referati/2012/SZGG_2012_Berk_in_drugi.pdf
- Berk, S., Komadina, Ž., Marjanovič, M., Radovan, D., Stopar, B. (2003). Kombinirani izračun EUREF GPS-kampanj na območju Slovenije. *Geodetski vestnik*, 47 (4), 414–422. http://www.geodetski-vestnik.com/47/4/gv47-4_414-422.pdf
- Berk, S., Komadina, Ž., Marjanovič, M., Radovan, D., Stopar, B. (2004a). Preračun EUREF GPS-kampanj na območju Slovenije. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2003, 9. strokovno srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko, Ljubljana, 15. januar 2004. Zbornik predavanj, str. 45–56. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/SUGG/referati/2004/SZGG_04_Berk_et_al.pdf
- Berk, S., Komadina, Ž., Marjanovič, M., Radovan, D., Stopar, B. (2004b). The Recomputation of the EUREF GPS Campaigns in Slovenia. Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF), Toledo, Španija, 4.–7. junij 2003. Reports of the EUREF Technical Working Group (TWG) – EUREF publication, št. 13. *Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie*, vol. 33, str. 132–149. Frankfurt na Majni: Verlag des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie. <http://www.euref.eu/symposia/book2003/4-02-Berk.pdf>
- Berk, S., Kozmus, K., Radovan, D., Stopar, B. (2006). Planning and Realization of the Slovenian Permanent GPS Network. *Allgemeine Vermessungs-Nachrichten*, 113 (11–12), 383–388. <https://gispoint.de/artikelarchiv/avn/2006/avn-ausgabe-11-122006/2158-planning-and-realization-of-the-slovenian-permanent-gps-network.html>
- Berk, S., Sterle, O., Medved, K., Komadina, Ž., Stopar, B. (2018). Computation of the EUREF Slovenia 2016 GNSS Campaign. Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF), Amsterdam, Nizozemska, 30. maj–1. junij 2018, št. 28, 27 str. <http://www.euref.eu/symposia/2018Amsterdam/01-03-p-Berk.pdf>
- Blick, G., Donnelly, N. (2016). From Static to Dynamic Datums: 150 Years of Geodetic Datums in New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 59 (1), 15–21. DOI: <https://doi.org/10.1080/00288306.2015.1128451>
- Bruyninx, C., Altamimi, Z., Caporali, A., Kenyeres, A., Lidberg, M., Stangl, G., Torres, J. A. (2013). Guidelines for EUREF Densifications, Version 5. IAG Subcommission for the European Reference Frame – EUREF, 9 str. http://www.epncb.oma.be/_documentation/guidelines/Guidelines_for_EUREF_Densifications.pdf, pridobljeno 9. 7. 2018
- Bruyninx, C., Altamimi, Z., Brockmann, E., Caporali, A., Dach, R., Dousa, J., Fernandes, R., Giannou, M., Habrich, H., Ihde, J., Jivall, L., Kenyeres, A., Lidberg, M., Pacione, R., Poutanen, M., Szafranek, K., Söhne, W., Stangl, G., Torres, J., Völkens, C. (2017). Implementation of the ETRS89 in Europe: Current Status and Challenges. Proceedings of the Symposium on Reference Frames for Applications in Geosciences, 2014, Kirchberg, Luksemburg. *International Association of Geodesy Symposia*, 146, 135–145. DOI: https://doi.org/10.1007/1345_2015_130
- Bruyninx, C., Habrich, H., Söhne, W., Kenyeres, A., Stangl, G., Völkens, C. (2012). Enhancement of the EUREF Permanent Network Services and Products. Proceedings of the 2009 IAG Symposium »Geodesy for Planet Earth«, 2009, Buenos Aires, Argentina. *International Association of Geodesy Symposia*, 136, 27–34. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-20338-1_4
- Caporali, A., Lidberg, M., Stangl, G. (2011). Lifetime of ETRS89 Coordinates. Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF), Kišinjev, Moldavija, 25.–28. maj 2011, št. 21, 4 str. <http://www.euref.eu/symposia/2011Chisinau/01-03-p-Caporali.pdf>
- Chatzinikou, M., Fotiou, A., Pikridas, C., Rossikopoulos, D. (2015). The Realization of a Semi-Kinematic Datum in Greece Including a New Velocity Model. Proceedings of the IAG Scientific Assembly »IAG 150 Years«, 2013, Potsdam, Nemčija. *International Association of Geodesy Symposia*, 143, 75–83. DOI: https://doi.org/10.1007/1345_2015_93
- Dach, R., Lutz, S., Walser, P., Fridez, P. (2015). Bernese GNSS Software, Version 5.2. User manual, 852 str. Bern: Astronomski inštitut Univerze v Bernu. <http://www.bernese.unibe.ch/docs/DOCUS2.pdf>
- Delčev, S., Timár, G., Kuhar, M. (2014). O nastanku koordinatnega sistema D48. *Geodetski vestnik*, 58 (4), 681–694. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2014.04.681-694>
- EUREF-resolucije (2003). EUREF Symposia Resolutions: Toledo, 4.–7. junij 2003. http://www.euref.eu/html/resolutions_toledo2003.pdf
- Even-Tzur, G. (2011). Updating the Semi-Dynamic Datum of Israel. *Surveying and Land Information Science*, 71 (2), 41–47. <https://www.ingentaconnect.com/content/aags/salis/2011/00000071/00000002/art00002>
- Häkli, P., Lidberg, M., Jivall, L., Nørbech, T., Tangen, O., Weber, M., Pihlak, P., Aleksejenko, I., Paršeliūnas, E. (2016). The NKG2008 GPS Campaign – Final Transformation Results and a New Common Nordic Reference Frame. *Journal of Geodetic Science*, 6 (1), 1–33. DOI: <https://doi.org/10.1515/jogs-2016-0001>
- Jenko, M. (1976). Raziskava natančnosti triangulacijske mreže I. reda v SR Sloveniji. V

- P. Jovanović (ur.), Simpozijum o osnovnim geodetskim radovima. Zbornik del, str. 110–120. Herceg Novi: Savez geodetskih inženjera i geometara Jugoslavije
- Jenko, M. (1986). Dela na astronomsko-geodetski mreži v letih 1975–1982. Ljubljana: Inštitut Geodetskega zavoda SRS
- Jivall, L. (2014). The Maintenance of SWEREF99, Including the Use of a Deformation Model. Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF), Vilna, Litva, 4.–6. junij 2014, št. 24, 19 str. (ppt). <http://www.euref.eu/symposia/2014Vilnius/03-02-Jivall.pdf>
- Kierulf, H. P., Evers, K., Häkli, P., Knudsen, P., Lidberg, M., Poutanen, M., Valsson, G., Vestol, O., Opseth, P. E. (2017). Dynamic Reference Frames in Iceland. Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF), Wrocław, Poljska, 17.–19. maj 2017, št. 27, 15 str. (ppt). <http://www.euref.eu/symposia/2017Wroclaw/01-08-Kierulf.pdf>
- Logar, J. (2013). Gradbena zasnova stabilizacije točk kombinirane geodetske mreže 0. reda: Kog in Priložje. Poročilo, št. E-18-13. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
- Medved, K. (2016). GNSS-kampanja »EUREF Slovenija 2016«. Geodetski vestnik, 60 (4), 752–758. http://www.geodetski-vestnik.com/60/4/gv60-4_medved.pdf
- Medved, K., Berk, S. (2017). Proti novi realizaciji ETRS89. Geodetski vestnik, 61 (2), 293–295. http://www.geodetski-vestnik.com/61/2/gv61-2_medved.pdf
- Medved, K., Berk, S., Bajec, K. (2013). Recent Developments of Spatial Reference System in Slovenia. 3. CROPOS konferenca, Opatija, Hrvaška, 24.–25. oktober 2013. Zbornik radova, str. 57–62. Zagreb: Državna geodetska uprava, Geodetski fakultet in Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije
- Pavlovič Prešeren, P., Stopar, B., Vrabec, M. (2005). Hitrosti premikov ob prelomih v vzhodni Sloveniji: Opazovanja iz let 1996, 1999 in 2002. Geodetski vestnik, 49 (3), 407–415. http://www.geodetski-vestnik.com/49/3/gv49-3_407-415.pdf
- Popović, N., Popović, Z. (2013). Načrt gradbenih konstrukcij: Stabilizacija GNSS točke 0. reda. Poročilo, št. 348/13. Ljubljana: Terras, s. p.
- Poutanen, M., Häkli, P. (2018). Future of National Reference Frames – from Static to Kinematic? *Geodesy and Cartography*, 67 (1), 117–129. DOI: <https://doi.org/10.24425/118697>
- Projekt EGP (2013). Posodobitev prostorske podatkovne infrastrukture za zmanjšanje tveganj in posledic poplav. <http://www.gurs-egp.si/>, pridobljeno 9. 7. 2018
- Projekt NFM (2007). Vzpostavljjanje omrežja postaj GPS in evropskega koordinatnega sistema v Sloveniji. <http://www.e-prostor.gov.si/zbirke-prostorskih-podatkov/drzavni-koordinatni-sistem/projekti/vzpostavljjanje-omrežja-postaj-gps-in-evropskega-koordinatnega-sistema-v-sloveniji/>, pridobljeno 9. 7. 2018
- Reischung, P., Griffiths, J., Ray, J., Schmid, R., Collilieux, X., Garayt, B. (2012). IGS08: The IGS Realization of ITRF2008. *GPS Solutions*, 16 (4), 483–494. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10291-011-0248-2>
- Režek, J. (2017). Ob zaključku projekta »Posodobitev prostorske podatkovne infrastrukture za zmanjšanje tveganj in posledic poplav«. Geodetski vestnik, 61 (1), 115–124. http://www.geodetski-vestnik.com/61/1/gv61-1_rezek.pdf
- Ritlop, K., Fabiani, N., Oven, K., Triglav Čekada, M. (2018). Prvi dve leti delovanja kombinirane geodetske mreže 0. reda. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2017, 23. srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko, Ljubljana, 25. januar 2018. Zbornik del, str. 103–112. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/SUGG/referati/2018/SZGG_2018_Ritlop_in_dr.pdf
- SIGNAL (2018). Omrežje SIGNAL. <http://www.gu-signal.si>, pridobljeno 9. 7. 2018
- Sterle, O. (2015). Časovno odvisne geodetske mreže in koordinatni sistemi. Doktorska disertacija, št. 27/GO, 194 str. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. <https://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:DOC-GXOKP062>
- Sterle, O., Berk, S., Medved, K., Komadina, Ž., Fabiani, N., Stopar, B. (2018). Zagotavljanje kakovosti horizontalnega državnega koordinatnega sistema. Geodet inženir. 46. Geodetski dan, Maribor, 15.–16. marec 2018. Povzetki prispevkov, str. 21–23. Ljubljana: Zveza geodetov Slovenije, in Maribor: Društvo geodetov severovzhodne Slovenije
- Sterle, O., Fabiani, N., Ritlop, K., Triglav Čekada, M., Oven, K., Stopar, B. (2017a). Analiza mreže 0. reda in njen vpliv na geodetski referenčni sistem. Končno poročilo. Projekt, št. 2552-17-000018, 319 str. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije in Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
- Sterle, O., Kuhar, M., Stopar, B., Pavlovič Prešeren, P., Urbančič, T., Koler, B. (2017b). Ocena vertikalne stabilnosti mareografske postaje Koper. Geodetski vestnik, 61 (4), 527–540. http://www.geodetski-vestnik.com/61/4/gv61-4_sterle.pdf
- Sterle, O., Pavlovič Prešeren, P., Kuhar, M., Stopar, B. (2009). Definicija, realizacija in vzdrževanje modernih koordinatnih sistemov. Geodetski vestnik, 53 (4), 679–694. http://www.geodetski-vestnik.com/53/4/gv53-4_679-694.pdf
- Sterle, O., Stopar, B. (2016). Stanje horizontalne komponente državnega koordinatnega sistema D96. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2015, 21. srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko, Ljubljana, 28. januar 2016. Zbornik del, str. 123–133. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/SUGG/referati/2016/12-SZGG_2016_Sterle_Stopar.pdf
- Stopar, B. (2007). Vzpostavitev ESRS v Sloveniji. Geodetski vestnik, 51 (4), 763–776. http://www.geodetski-vestnik.com/51/4/gv51-4_763-776.pdf
- Stopar, B., Koler, B., Ambrožič, T., Pavlovič Prešeren, P., Kuhar, M., Sterle, O., Štebe, G., Urbančič, T., Oven, K., Janežič, M., Bajec, K., Bric, V., Berk, S. (2013). Izdelava projektne dokumentacije za točke kombinirane mreže 0. reda. Projekt, št. 2433-13-0003. Elaborat: 1. in 2. faza, 166 str. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije in Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
- Stopar, B., Koler, B., Ambrožič, T., Pavlovič Prešeren, P., Kuhar, M., Sterle, O., Štebe, G., Urbančič, T., Oven, K., Janežič, M., Bajec, K., Bric, V., Berk, S. (2014a). Izdelava projektne dokumentacije za točke kombinirane mreže 0. reda. Projekt, št. 2433-13-0003. Elaborat: 3. faza – točke Areh, Koper in Korada, 43 str. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije in Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
- Stopar, B., Koler, B., Ambrožič, T., Pavlovič Prešeren, P., Kuhar, M., Sterle, O., Štebe, G., Urbančič, T., Oven, K., Janežič, M., Bajec, K., Bric, V., Berk, S. (2014b). Izdelava projektne dokumentacije za točke kombinirane mreže 0. reda. Projekt, št. 2433-13-0003. Elaborat: 3. faza – točka Šentvid pri Stični, 46 str. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije in Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
- Stopar, B., Koler, B., Kogoj, D., Ambrožič, T., Pavlovič Prešeren, P., Kuhar, M., Sterle, O., Kregar, K., Štebe, G., Urbančič, T., Goršič, J., Mencin, A., Berk, S., Fabiani, N., Mesner, N., Caserman, M., Bric, V., Triglav Čekada, M., Karničnik, I., Janežič, M., Oven, K. (2016). Implementacija kombinirane geodetske mreže in višinske komponente ESRS v državni geodetski referenčni sistem. Projekt, št. 2433-13-

0003. Končno poročilo, sklop 1, 216 str. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije in Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
- Stopar, B., Koler, B., Kuhar, M., Berk, S., Radovan, D. (2008). National Report of Slovenia. Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF), Bruselj, Belgija, 18.–21. junij 2008, št. 18, 8 str. http://www.euref.eu/symposia/2008Brussels/06-23-p-Stopar_et_al_EUREF2008_NRep_Slovenia.pdf
- Stopar, B., Kuhar, M. (2003). A Study of Distorsions of the Primary Triangulation Network of Slovenia. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 38 (1), 43–52. DOI: <https://doi.org/10.1556/AGeod.38.2003.1.7>
- Stopar, B., Radovan, D., Berk, S., Bilc, A. (2002). Projekt izgradnje slovenskega omrežja permanentnih GPS-postaj in vzpostavitve GPS-službe. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2002, 8. strokovno srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko, Ljubljana, 12. december 2002. Zbornik predavanj, str. 73–80. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/SUGG/referati/2002/Stopar_et_al2002.pdf
- Stopar, B., Režek, J., Komadina, Ž., Medved, K., Berk, S., Bajec, K., Oven, K., Koler, B., Urbančič, T., Kuhar, M., Pavlovčič Prešeren, P., Sterle, O. (2015). Aktivnosti pri vzpostavitvi sodobnega geodetskega referenčnega sistema v Sloveniji. *Geodetska (r)evolucija*, 43. Geodetski dan, Sežana, 9.–10. april 2015. Zbornik posveta, str. 37–56. Ljubljana: Zveza geodetov Slovenije, in Nova Gorica: Primorsko geodetsko društvo
- Transformacija (2017). Transformacija v novi koordinatni sistem. <http://www.e-prostor.gov.si/zbirke-prostorskih-podatkov/drzavni-koordinatni-sistem/transformacija-v-novi-koordinatni-sistem/>, pridobljeno 9. 7. 2018
- Vodopivec, F., Černe, F., Jenko, M., Jereb, V., Krstič, J., Peresič, V. (1976). Temeljne triangulacijske mreže v SR Sloveniji. Ljubljana: Inštitut Geodetskega zavoda SRS.
- Vrabec, M. (2013). Geološka ocena potencialne lokacije GNSS točke O. reda na letališču Prilozje: Preliminarno poročilo o litostratigrafskih in hidroloških značilnostih lokacije. Ljubljana
- Vrabec, M., Pavlovčič Prešeren, P., Stopar, B. (2006). GPS Study (1996–2002) of Active Deformation along the Periadriatic Fault System in Northeastern Slovenia: Tectonic Model. *Geologica Carpathica*, 57 (1), 57–65. <http://www.geologicacarpatica.com/browse-journal/volumes/57-1/article-344/>
- Weber, J., Vrabec, M., Pavlovčič Prešeren, P., Dixon, T., Jiang, Y., Stopar, B. (2010a). Določitev recentnega gibanja Jadranske mikroplošče iz meritev GPS v Istri in Padiški nižini. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2009, 15. strokovno srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko, Ljubljana, 21. januar 2010. Zbornik predavanj, str. 71–73. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/SUGG/referati/2010/SZG62010_Vrabec_et_al.pdf
- Weber, J., Vrabec, M., Pavlovčič Prešeren, P., Dixon, T., Jiang, Y., Stopar, B. (2010b). GPS-Derived Motion of the Adriatic Microplate from Istria Peninsula and Po Plain Sites and Geodynamic Implications. *Tectonophysics*, 483 (3–4), 214–222. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.09.001>
- Weber, J., Vrabec, M., Stopar, B., Pavlovčič Prešeren, P., Dixon, T. (2006). The PIVO-2003 Experiment: A GPS Study of Istria Peninsula and Adria Microplate Motion, and Active Tectonics in Slovenia. *The Adria Microplate: GPS Geodesy, Tectonics and Hazards*, NATO Science Series, IV: Earth and Environmental Sciences, vol. 61, str. 305–320. Dordrecht: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/1-4020-4235-3_21
- ZDRS (2014). Zakon o državnem geodetskem referenčnem sistemu. Uradni list Republike Slovenije, št. 25/2014. <http://pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ZAKO6446>
- ZEN (2006). Zakon o evidentiranju nepremičnin. Uradni list Republike Slovenije, št. 47/2006, spr. 65/2007 in 79/2012 – odl. US. <http://pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ZAKO4544>



Medved K., Berk S., Sterle O., Stopar B. (2018). Izzivi in dejavnosti v zvezi z državnim horizontalnim koordinatnim sistemom Slovenije. *Geodetski vestnik*, 62 (4), 567–586. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2018.04.567-586>

Mag. Klemen Medved, univ. dipl. inž. geod.

Geodetska uprava Republike Slovenije
Zemljemerska ulica 12, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: klemen.medved@gov.si

Sandi Berk, univ. dipl. inž. geod.

Geodetska uprava Republike Slovenije
Zemljemerska ulica 12, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: sandi.berk@gov.si

Asist. dr. Oskar Sterle, univ. dipl. inž. geod.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: oskar.sterle@fgg.uni-lj.si

Prof. dr. Bojan Stopar, univ. dipl. inž. geod.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: bojan.stopar@fgg.uni-lj.si