

# Novi koordinatni sistem v Sloveniji

Bojan Stopar, Miran Kuhar, Božo Koler\*

## Povzetek

V prispevku predstavljamo zasnovo in realizacijo novega državnega koordinatnega sistema Slovenije. Nov državni koordinatni sistem bo realizacija evropskega referenčnega sistema ESRS (European Spatial Reference System) na našem ozemlju. ESRS bosta sestavljala nov horizontalni sistem ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) in nov višinski sistem. Nova bo tudi kartografska projekcija. ESRS naj bi zagotavljal dolgoročno stabilno referenčno osnovo za potrebe strok in aktivnosti, ki proizvajajo ali uporabljajo podatke vezane na prostor.

## Uvod

Naloga geodetske znanosti in stroke ter na operativnem nivoju državne geodetske službe je zagotovitev referenčne osnove za enolično in nedvoumno lociranje stanj in pojavov v fizičnem prostoru. Takšna referenčna osnova je koordinatni sistem. V dosedanjem delu na projektu vzpostavitve ESRS smo pripravili teoretične in praktične podlage za uvedbo evropskega koordinatnega sistema v Sloveniji. Nov koordinatni sistem je pomemben z več vidikov - od možnosti uporabe novih tehnologij in metod v praksi številnih strok in resorjev, geodezije in prostorskih informacijskih sistemov, geologije, geofizike in seizmologije, uporabe metod satelitske navigacije v vseh vrstah prometa, razvoja lokacijsko podprtih storitev do potreb policije, vojske, zaščite in reševanja ter splošnega izboljšanja kakovosti geolokacije. Ker se dostopnost satelitskih navigacijskih sistemov povečuje, je naloga vzpostavitve novega državnega koordinatnega sistema velikega pomena za vso na prostor vezano infrastrukturo in celotno družbo.

Obstoječi državni koordinatni sistem Slovenije so zasnovale, vzpostavile in vzdrževale štiri države: Avstro-Ogrska monarhija, Kraljevina Jugoslavija, Socialistična federativna republika Jugoslavija in Republika Slovenija. Pestra zgodovina nastajanja obstoječega državnega koordinatnega sistema je razlog, da je popolna rekonstrukcija njegovega nastajanja praktično nemogoča. Veliko podatkov o obstoječem koordinatnem sistemu je uničenih ali nedostopnih. Zato se v razmišljanjih o zagotovitvi koordinatnega sistema ustrezne kakovosti nismo odločili za sanacije obstoječih geodetskih mrež, ampak smo sprejeli odločitev o uvedbi novega državnega koordinatnega sistema v Republiki Sloveniji. To odločitev je sprejela in potrdila tudi vlada Republike Slovenije, ki je potrdila strategijo osnovnega geodetskega sistema, katere glavni cilj je vzpostavitev novega državnega koordinatnega sistema v Sloveniji.

Nov državni geodetski koordinatni sistem bo v praktično uporabo uveden postopoma: 1. januarja leta 2008 bomo začeli z evidentiranjem nepremičnin v novem sistemu, 1. januarja 2010 bodo vsi koordinatni prostorski podatki vezani na nov koordinatni sistem. V obdobju aktivnosti vzpostavitve novega sistema pa se je izkazalo, da želijo nekatere stroke uporabljati razpoložljivo infrastrukturo bodočega koordinatnega sistema že danes. Temu se deloma prilagajamo že v času trajanja projekta. Cilj vzpostavitve novega državnega

---

\* izr.prof.dr. Bojan Stopar, doc.dr. Miran Kuhar, doc.dr. Božo Koler, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za Gradbeništvo in Geodezijo, Jamova 2, SI-1000 Ljubljana

koordinatnega sistema je namreč izgradnja sistema, ki bo namenjen različnim uporabnikom in proizvajalcem podatkov o lokaciji v prostoru.

V dosedanjem izvajanju projekta vzpostavitve novega državnega koordinatnega sistema smo pridobili vpogled v stanje trenutno aktualnega državnega koordinatnega sistema, definirali komponente novega sistema, pripravili predloge za transformacije prostorskih podatkov iz trenutnega v nov koordinatni sistem, izdelali programsko opremo za transformacijo prostorskih podatkov med sistemoma ter pridobili vpogled v geokinematično dogajanje slovenskega ozemlja. V nadaljevanju podajamo pregled opravljenih del po posameznih sklopih.

### **Obstoječ državni koordinatni sistem Slovenije**

Državni koordinatni sistem praktično predstavljajo državne geodetske mreže. Tradicionalno so to tri osnovne geodetske mreže: astrogeodetska in položajna – horizontalna geodetska mreža, nivelmanska – višinska geodetska mreža in gravimetrična mreža. Vse mreže skupaj zagotavljajo referenčno osnovo za določitev položaja v 3–rasežnem prostoru. Metode, ki so bile uporabljane za določitev koordinat točk v teh mrežah, so bila astronomska opazovanja, gravimetrična opazovanja in klasična geodetska izmera (triangulacija, trilateracija, trigonometrično višinomerstvo, nivelman...). Zato imenujemo te geodetske mreže tudi klasične geodetske mreže.

#### **Obstoječa astrogeodetska in položajna – horizontalna geodetska mreža Slovenije**

Raziskave stanja obstoječe astrogeodetske mreže so se začele koncem 70–ih let prejšnjega stoletja in so potekale pod vodstvom dipl.inž. Marjana Jenka na Geodetskem zavodu SRS (Jenko, 1986). Raziskave so se nadaljevale tudi v kasnejših obdobjih (Stopar, 1995, Stopar, Kuhar, 1997) in so vključevale tako analize originalnih podatkov terestričnih kotnih in dolžinskih opazovanj, ki smo jih imeli na razpolago, kot tudi analizo koordinat točk od začetkov nastajanja do kasnejšega dopolnjevanja mreže. Te analize so obsegale analize kakovosti astrogeodetske mreže kot take, niso pa v mreži izvedli nobenega posega, s katerim bi spreminjali koordinate točk v astrogeodetski mreži ali v trigonometričnih mrežah višjih redov. S pojavom in široko dostopnostjo tehnologije GPS smo v začetku 90–ih let prejšnjega stoletja pridobili možnost vrednotenja kakovosti geodetskih mrež tudi glede na rezultate GPS-izmer (Stopar, Kuhar, 2001, Stopar, Kuhar, 2003). Obe skupini analiz sta pokazali, da je kakovost obstoječih mrež preslaba za sodobne potrebe. Na osnovi teh analiz in dejstva, da je bila astrogeodetska mreža Slovenije skoraj 50 let nedotaknjena, smo se odločili, da v astrogeodetsko mrežo ter v trig. mreže II., II. dop. in III. gl. reda ne bomo posegali. Geodetske mreže nižjih redov: III. dop. in IV. reda pa so se v okviru GPS-izmer navezovalnih mrež od začetka 90–ih let prejšnjega stoletja skušale optimalno prilagoditi trig. mrežam višjih redov, tako da smo izboljševali homogenost teh mrež v okviru vzpostavitve t. i. navezovalnih mrež. Lahko trdimo, da so geodetske mreže na območjih, kjer so bile na novo vzpostavljene navezovalne mreže, sedaj dokaj solidne kakovosti in bi svoje naloge na lokalnem nivoju, tudi z uporabo GPS-metod izmere, lahko opravljale še kar nakaj časa.

Poligonske, linijske in na novo vzpostavljene navezovalne mreže so bile nato referenca za detajlno izmero. Postavlja se vprašanje, ki pa zaenkrat nima celovitega odgovora, kako so posegi v mreže nižjih redov in vzpostavitev navezovalnih mrež vplivali na kakovost koordinatnih podatkov na nivoju detajla: zemljiškega katastra in topografije. Iz analiz, ki pa so prostorsko in po obsegu zelo omejene, izhaja, da so razmere na nivoju detajla po Sloveniji zelo različne, tako v smislu njihove absolutne kot tudi relativne koordinatne

kakovosti. Praviloma pa je kakovost detajla na območjih navezovalnih mrež, ki so bile vzpostavljene v 90–letih in kasneje, ustrezne koordinatne kakovosti. Vrednotenju skladnosti kakovosti geodetske mreže in detajla v obstoječem koordinatnem sistemu bo pri uporabi podatkov iz obstoječega sistema potrebno posvečati potrebno pozornost tudi v bodoče.

## Višinska geodetska mreža Slovenije

Temeljna geodetska višinska mreža Republike Slovenije je podana z višinami reperjev v normalnem ortometričnem sistemu višin, ki je zastarel in se je uveljavil v 19. stoletju, ko so se na območju Evrope izvajale prve obsežne izmere nivelmanskih mrež (npr. avstroogrška izmera). Višine točk niso določene na osnovi nivelmanske in gravimetrične izmere, ki predstavljata osnovo za vzpostavitev sodobnega višinskega sistema.

Poleg tega v sistemu normalnih ortometričnih višin ne obstaja geometrijska izhodiščna ploskev kot v primeru ortometričnih višin (geoid) in normalnih višin (kvazigeoid). Glede na razvoj in prodor metode GNSS-izmere v prakso, tako ni možno določiti geoidne/kvazigeoidne višine, ki nam omogoča preračunavanje elipsoidnih višin v različne višinske sisteme in obratno. Referenčno ploskev predstavlja ničelna nivojska ploskev, ki jo geometrijsko določa položaj vseh točk, ki so določene v normalnih ortometričnih višinah na ozemlju Slovenije. Ploskve se ne da izračunati s pomočjo enačb. Aproximiramo jo lahko samo z neko analitično ploskvijo izračunano na osnovi velikega števila točk z znano elipsoidno višino in normalno ortometrično višino.

Trenutno je nivelmanska mreža Slovenije določena na osnovi zelo raznovrstnih podatkov. Tako so v nivelmansko mrežo vključeni nivelmanski poligon iz izmere I. NVN, ki je potekala po drugi svetovni vojni, iz izmere II. NVN, ki je potekala na območju Slovenije v začetku sedemdesetih, in izmere nivelmanskih poligonov I. reda, ki so potekale po letu 1989. Poleg časovne raznovrstnosti podatkov o nivelmanskih izmerah, ki so vključeni v nivelmansko mrežo Slovenije, se moramo zavedati, da je na območju Slovenije prisotno intenzivno geodinamično dogajanje, ki se kaže tudi v relativno velikih letnih hitrostih vertikalnih premikov (Koler, 2006). Glede na dejstvo, da so zadnje izmere nivelmanskih poligonov, ki so vključeni v nivelmansko mrežo Slovenije potekale pred skoraj 20, 35 oziroma 45 leti, je jasno, da obstajajo razlike med višinami reperjev na terenu in podatki iz Centralne baze geodetskih točk, ki jo vzdržuje Geodetska uprava Republike Slovenije. Glede na hitrosti vertikalnih premikov na območju Slovenije, ki so določene na osnovi izmere I. in II. NVN ter izmer po letu 1989, lahko te razlike znašajo od centimetra pa do več kot decimetra.

Višine vseh reperjev v slovenski nivelmanski mreži so izračunane v vertikalnem datumu Trst. Vertikalni datum predstavlja ničelna nivojska ploskev oziroma srednji nivo morja, ki je bil določen leta 1875 na osnovi enoletnih mareografskih opazovanj na pomolu Sartorio v Trstu. Nivelmanska mreža Republike Slovenije je navezana na avstroogrški fundamentalni reper številka No 394 (FR 1049), ki je stabiliziran pod Pohorjem v bližini Ruš. Višina normalnega reperja je bila določena v času avstroogrške nivelmanske izmere, ki je potekala na območju Slovenije.

S problemom določitve vertikalnega datuma avstroogrške nivelmanske mreže so se ukvarjali različni geodeti in geofiziki. V literaturi lahko zasledimo vrednosti o razliki položaja primerjalne ploskve, ki je bila prevzeta za vertikalni datum avstroogrške nivelmanske mreže, ki znašajo od 8.93 cm (Kasumović, 1950) do 18.5 cm (Bilajbegović in Marchesini, 1991).

Za povezavo obstoječega in novega državnega višinskega sistema je bilo potrebno izvesti analizo stanja v obstoječem višinskem sistemu. Na osnovi opravljene analize

večkratnih preračunavanj nivelmanske mreže v preteklosti smo ugotovili, da nadmorske višine točk niso določene v enotnem višinskem datumu in da imajo nekatere višinske točke tudi več različnih višin. Tako smo imeli na posameznih območjih Slovenije opravka s »stopnicami«, ki smo jih odpravili s hkratno izravnavo celotne nivelmanske mreže Slovenije (Koler, Vardjan, 2003). Slabost te izravnave je dejstvo, da je bila izravnavna opravljena v sistemu niveliranih višinskih razlik. Zato bo potreben ponoven preračun celotne nivelmanske mreže v sistemu geopotencialnih kot. Za pridobitev kakovostnih geopotencialnih kot pa potrebujemo izvedbo kakovostnih relativnih gravimetričnih opazovanj vzdolž nivelmana visoke natančnosti.

### Gravimetrična mreža Slovenije

V zgodovinskem smislu sta na območju Slovenije obstajali gravimetrični mreži I. in II. reda, ki sta bili vzpostavljeni v okviru bivše Jugoslavije. Gravimetrično mrežo I. reda je tvorilo 15 točk, v Sloveniji je točka v Ljubljani. Konec 60-ih let prejšnjega stoletja sta bili obe mreži združeni v eno t. i. osnovno gravimetrično mrežo. To mrežo je tvorilo približno 350 točk, od tega je bilo v Sloveniji 32 točk. Meritve so se nanašale na stari Potsdamski težnostni sistem (»Potsdam Gravity System«), ki je bil mednarodno uveljavljen gravimetrični sistem od leta 1909 do leta 1971.

V Sloveniji obstajajo tudi podatki obsežne regionalne in lokalne gravimetrične izmere, ki jo je izvajal Geološki zavod Slovenije v obdobju po letu 1951. Regionalna izmera je bila opravljena z namenom izdelave regionalne gravimetrične karte Slovenije. Skupno je izmera na celem ozemlju obsegala približno 2800 gravimetričnih točk. Lokalno oz. detajlno izmero so izvajali strokovnjaki Geološkega zavoda Ljubljana za potrebe raziskav v zvezi z nafto in zemeljskim plinom. Popolnejši podatki izmer obstajajo samo za obdobje 1985–1991 (Koler et al., 2005).

Leta 1995 je Geodetska uprava Republike Slovenije začela z delom na obnovi gravimetričnih mrež na območju Slovenije. Tako je bilo stabiliziranih šest novih absolutnih gravimetričnih točk. Te točke so: grad Bogenšperk, Gotenica, cerkev sv. Areha na Pohorju, Sevniški grad, grad Socerb ter trdnjava Kluže pri Bovcu. Te točke so tudi osnova nove gravimetrične mreže Slovenije (Koler et al., 2006).

### Višinska referenčna ploskev Slovenije

V Sloveniji danes kot višinsko referenčno ploskev uporabljamo geoid. V Sloveniji imamo tri modele ploskve geoida, en »relativni geoid« in dva »absolutna geoida«. Relativni geoid je izračunan leta 1992 za območje Slovenije in dela Hrvaške glede na referenčni elipsoid Bessel (Čolić et al., 1992). Določen je na osnovi astronomskih koordinat 42 točk astrogeodetske mreže Slovenije. Oba absolutna modela geoida »Zagrebski model geoida« iz leta 2001 in Evropski gravimetrični kvazigeoid iz leta 1997 sta izračunana glede na referenčni elipsoid GRS-80 (Geodetic Reference System). »Zagrebski model geoida« je izračunan na osnovi odklonov navpičnice in anomalij težnosti. Geoidna ploskev je preračunana v obstoječ uradni višinski sistem Slovenije na osnovi »nadmorskih« višin 163 t. i. GPS/niveliranih točk, ki so zelo neenakomerno razporejene na območju Slovenije (Pribičević, 2000). Uporabljene »nadmorske« višine pa tudi ne ustrezajo novim uradnim višinam, ker so v izračun privzete vrednosti višin pred novim preračunom višin reprevej v RS leta 2000. Evropski gravimetrični geoid 1997 (EGG97) je v osnovi izračunan kot kvazigeoid in s pomočjo znane zveze geoidnih višin in anomalij višin prek Bouguerovih anomalij težnosti preračunan tudi v geoid. Ker je EGG97 v višinskem smislu podan glede na Amsterdamski mareograf, nastopajo na ozemlju RS

razlike v vrednosti do 0,5 m. Zaradi tega je potrebno vse interpolirane vrednosti geoidnih višin iz tega modela geoida preračunati v uradni višinski sistem RS. Za ta preračun pa potrebujemo določeno število t. i. GPS/niveliranih točk, s katerimi izvedemo preračun (Denker, Torge, 1997).

Strogo vzeto pa v višinskem sistemu normalnih ortometričnih višin ne obstaja analitično definirana višinska referenčna ploskev kot v primeru ortometričnih višin (geoid) in normalnih višin (kvazigeoid). Referenčna ploskev je geometrijsko mesto točk vseh normalnih ortometričnih višin na ozemlju Republike Slovenije z vrednostmi višin enakimi 0. Aproximiramo jo lahko samo z analitično referenčno ploskvijo, izračunano na osnovi velikega števila točk z znano elipsoidno (GPS) višino in normalno ortometrično višino. Če želimo torej geoid praktično uporabiti v povezavi z elipsoidnimi (GPS) višinami, ga je potrebno preračunati - transformirati v državni višinski datum. Tako preračunana ploskev pa ni več geoid, temveč »višinska referenčna ploskev«, ki v sebi vsebuje skupne vplive pogreškov vhodnih podatkov, metode izračuna ter geodinamiko v višinskem smislu. Ne glede na to, lahko takšno višinsko referenčno ploskev uspešno uporabimo za izračun višin s pomočjo t. i. GPS-višinomerstva.

### Kartografska projekcija

Uradna kartografska projekcija Slovenije je Gauss-Kruegerjeva projekcija meridijanskih con. Referenčni elipsoid projekcije je enak referenčnemu elipsoidu položajne geodetske mreže, ki je elipsoid Bessel 1841. Gauss-Krügerjeva projekcija je prečna Mercatorjeva projekcija, dotikalni meridian je meridian z geografsko dolžino  $15^{\circ}$ . Projekcija je modulirana z modulom 0,9999 ter pomaknjena proti severu za  $-5000000$  m in proti vzhodu za  $500000$  m.

### Nov državni koordinatni sistem

V realizaciji novega državnega koordinatnega sistema v Sloveniji povzemamo ideje in postopke, s katerimi vzpostavljajo sodobne referenčne sisteme v drugih evropskih državah. Pri vzpostavitvi – praktični realizaciji sistema v Sloveniji pa je nekaj specifičnosti. Največji problem, ki ga v moramo v Sloveniji rešiti, je dejstvo, da obstoječ koordinatni sistem ni bil vzdrževan ter tako sedaj ne opravljamo le še enega »majhnega koraka« v vzdrževanju sistema, ampak opravljamo »velik korak«, vzpostavitev novega sistema.

Realizacija novega horizontalnega koordinatnega sistema je danes naloga, ki je lažje izvedljiva kot podobne naloge v preteklosti. Tehnološki napredek, predvsem pa dostopnost visokokakovostnih opazovanj v okviru GNSS (Global Navigation Satellite System), omogočata kakovostno realizacijo terestričnih koordinatnih sistemov. Nov horizontalni koordinatni sistem je tako realiziran s sodobnimi postopki satelitske geodezije. V realizaciji novega višinskega sistema nismo imeli na razpolago tako zelo revolucionarnih visokotehnoloških orodij, kljub temu pa dostopnost absolutnih in relativnih gravimetričnih opazovanj zagotavljata realizacijo novega višinskega sistema bistveno višje kakovosti od obstoječega. Nov višinski sistem praktično še ni v celoti realiziran, bo pa realiziran s kakovostnimi nivelmanskimi in gravimetričnimi opazovanji.

Nov državni koordinatni sistem Slovenije bo realizacija evropskega referenčnega sistema ESRS (European Spatial Reference System) na našem ozemlju. Horizontalno komponento predstavlja ETRS89 (European Terrestrial Reference System) in višinsko komponento, ki bo temeljila na EVRS (European Vertical Reference System). ESRS naj bi zagotavljal dolgoročno prostorsko in časovno stabilno referenčno osnovo za vse potrebe.

Nov koordinatni sistem bo v osnovi 4–razsežen, zato smo, v okviru več projektov, skušali ugotoviti oziroma oceniti dejansko recentno geodinamično dogajanje na našem ozemlju. Slovenija leži na stiku Jadranske plošče, Vzhodnih Alp in Panonske nižine, kjer je geodinamično dogajanje slabo raziskano. S ponavljajočimi geodinamičnimi opazovanji pridobivamo prvi vpogled v to dogajanje. Trenutno imamo za približno 50 točk na razpolago vektorje hitrosti sprememb koordinat oziroma recentne geodinamike. Predvidevamo, da bodo ti rezultati prispevali k razumevanju geoloških, tektonskih in seizmičnih procesov, ki se dogajajo na našem ozemlju.

### **Nov horizontalni koordinatni sistem**

Horizontalno komponento novega državnega koordinatnega sistema predstavlja realizacija ETRS89 koordinatnega sistema v Sloveniji. Realizacija tega sistema je bila izvedena v okviru izmer EUREF (EUropean REference Frame), ki so potekale v 90–ih letih prejšnjega stoletja. Rezultati teh izmer so koordinate točk v koordinatnem sistemu ETRS89 in predstavljajo ogrodje novega horizontalnega sistema. Z začetkom operativnega delovanja omrežja GNSS-postaj SIGNAL (SI-Slovenija, G-geodezija, NA-navigacija, L-lokacija) pa smo pridobili sodobno omrežje, uporabno za vse naloge določanja lege v prostoru. Z uvedbo novega horizontalnega koordinatnega sistema se spreminja tudi referenčna ploskev horizontalnega sistema, ki je sedaj rotacijski referenčni elipsoid GRS 80, s parametroma: veliko polosjo  $a = 6378137,00$  m in prvo sploščenostjo  $f = 1/298,257222101$  (Radovan et al., 2006).

#### Mreža točk v ETRS89 koordinatnem sistemu

Koordinatni sistem ETRS89 smo na našem ozemlju realizirali v okviru 3 izmer EUREF v letih 1994, 1995 in 1996. GPS-opazovanja, opravljena v okviru teh 3 izmer na območju Slovenije, so bila dokončno obdelana v letih 2002 in 2003. Obdelava je bila že peta po vrsti, bila pa je prva in edina, ki je bila v celoti opravljena v Sloveniji. Obdelava je vključevala GPS-izmere EUREF SLO-CRO '94, EUREF SLOVENIA '95 in CRODYN '96 in CROREF '96. Rezultat izmer in obdelav podatkov so koordinate 5 uradnih EUREF-točk in koordinate dodatnih 41 točk v Sloveniji (Berk et al. 2003). Za ta izračun smo pridobili status uradnosti za uporabo v okviru koordinatnega sistema ETRS89, s potrditvijo rezultatov na letni konferenci EUREF v Toledu v Španiji junija 2003, z resolucijo št. 1 te konference (EUREF, 2003). 46 geodetskih točk s koordinatami določenimi v koordinatnem sistemu ETRS89, veljavnimi za leto 1995,55, določenimi na osnovi GPS-opazovanj v okviru 3 izmer EUREF na območju Slovenije v letih 1994, 1995 in 1996, tako predstavlja realizacijo horizontalne komponente novega državnega koordinatnega sistema.

Za realizacijo koordinatnega sistema, ki bo široko praktično uporaben, je nato Geodetska uprava Republike Slovenije sistematično izvedla zgostitev mreže točk EUREF, do gostote približno 1 točka/100 km<sup>2</sup>, ki so razporejene po celotnem ozemlju države. Ta naloga je praktično končana, z izjemami, ki jih predstavljajo težko dostopna in neobljudena območja, kjer je gostota točk manjša. Pomen zgostitve točk EUREF s koordinatami v koordinatnem sistemu ETRS89 je tudi v vzpostavitvi povezave med obstoječim in novim državnim koordinatnim sistemom. Na osnovi koordinat točk, danih v obeh sistemih, bo namreč mogoče izvajati transformacije med koordinatnima sistemoma.

#### Slovensko omrežje GPS-postaj SIGNAL

Mreža točk v koordinatnem sistemu ETRS89, lahko služi kot referenčna osnova v novem koordinatnem sistemu za vse naloge določitve položaja. Ker je bila vzpostavljena z tehnologijo GPS, je tudi namenjena predvsem uporabi tehnologije GPS za izvajanje vseh vrst GPS-izmer. Tehnološki razvoj pa je že med izvajanjem projekta zgoščitve mreže točk EUREF omogočil vzpostavitev t. i. aktivnega omrežja GNSS-postaj. V današnjem času, ko imamo na razpolago globalne satelitske navigacijske sisteme GNSS, realizacija koordinatnega sistema ne zahteva več ogromnega števila geodetskih točk v geodetskih mrežah vseh redov, ki pokrivajo celotno državno ozemlje in v katerih so položaji določeni »enkrat za vselej«. Danes je osnova za realizacijo koordinatnega sistema povezana z vzpostavitvijo omrežij stalno delujočih GNSS-postaj oziroma v našem primeru GPS-postaj, ki zagotavljajo praktično realizacijo terestričnih koordinatnih sistemov in omogočajo dostop do le-teh.

Geodetska uprava Republike Slovenije je tako leta 2001 začela izvajati projekt izgradnje slovenskega omrežja GPS-postaj. Projekt je bil zasnovan v letu 1999 (Mišković et al., 2000, Stopar et al., 2002), realiziran je bil konec leta 2006. Omrežje z imenom SIGNAL predstavlja, poleg GNSS-postaj, tudi Služba za GNSS, ki jo sestavljajo operativni, podatkovni in analitični center. Služba za GNSS operativno deluje na Geodetskem inštitutu, organizacijsko pa je del državne geodetske službe. Bila je vzpostavljena hkrati z omrežjem GNSS-postaj, uporabnikom sistema pa zagotavlja potrebne informacije za vsakdanje delo v koordinatnem sistemu. Z uvedbo novega koordinatnega sistema bo omrežje SIGNAL predstavljalo osnovno državno geoinformacijsko infrastrukturo (Stopar et al. 2002).

Podatki GNSS-opazovanj v omrežju so na razpolago v realnem času preko omrežij operaterjev mobilne telefonije in preko mobilnega interneta ter za naknadno obdelavo podatkov opazovanj preko interneta ([www.gu-signal.si](http://www.gu-signal.si)). Za določitev koordinat točk v realnem času je na razpolago več možnosti: diferencialni GNSS (DGNSS), klasična izmera RTK–GNSS (Real Time Kinematic) z uporabo opazovanj izbrane referenčne postaje ter določitev koordinat v sistemu virtualnih referenčnih postaj VRS (Virtual Reference Station) (Berk et al., 2006).

Omrežje je povezano z evropskim omrežjem permanentnih GNSS postaj EPN (EUREF Permanent Network), omrežjem, ki predstavlja evropski ekvivalent slovenskega omrežja GNSS postaj. EPN je osnova bodočega evropskega geodetskega koordinatnega sistema, ker, v nasprotju z mrežo točk EUREF, zagotavlja 4–razsežno obravnavo koordinatnega sistema, kjer so koordinate točk funkcija časa.

Omrežje stalno delujočih GNSS-postaj lahko obravnavamo kot materializacijo koordinatnega sistema, ki naj bi, v strogo geodetskem smislu, zagotavljalo praktično realizacijo koordinatnega sistema ETRS89 najvišje kakovosti. Omogočalo naj bi obravnavo geodinamičnega dogajanja potrebnega za definiranje sodobnega koordinatnega sistema. Omrežje GNSS-postaj je, skupaj z mrežo geodetskih točk v ETRS89 in novem višinskem sistemu, osnova novega koordinatnega sistema v Sloveniji. Z omrežjem GNSS-postaj je zagotovljen ustrezen tehnološki razvoj stroke, dana je možnost enakomerno kakovostne realizacije koordinatnega sistema na celotnem državnem ozemlju, izvedena je geodetska povezava Slovenije in Evrope ter sveta, predvsem pa je omogočena realizacija geodetskih in sorodnih nalog na sodoben in racionalen način (Radovan, 2007).

### Horizontalni geokinematični model Slovenije

Recentno geodinamiko slovenskega ozemlja smo začeli spoznavati pred približno 20 leti, ko smo sodelovali v različnih mednarodnih geodinamičnih projektih, kot npr: AGREF (Pesec et al., 1997) ali CRODYN (Altiner et al., 2006). Nekaj podatkov o lokalni

geokinematiki slovenskega ozemlja smo v preteklosti pridobili tudi v okviru manjših geodinamičnih izmer za potrebe območja Jedrske elektrarne Krško, Premogovnika Velenje (Vrabec et al., 2006) in zgornjega Posočja. Prvo sliko o geodinamiki celotnega slovenskega ozemlja pa smo začeli pridobivati z geodinamičnimi GPS-izmerami od leta 2003 naprej (Weber et al., 2006). Geodinamične raziskave so potekale v okviru več nacionalnih raziskovalnih projektov in raziskovalnih programov, dveh bilateralnih projektov in dveh evropskih raziskovalnih projektov. Geodetska uprava Slovenije pa je organizirala in izvedla GPS-izmeri na 8 točkah EUREF v letu 2005 in na 5 točkah EUREF v letu 2007. Cilj vseh teh projektov je bila ugotovitev geodinamičnega dogajanja na ozemlju Slovenije na osnovi ponavljajočih GNSS-meritev. V vse našete projekte je bilo vključenih več kot 50 točk po celotnem ozemlju Slovenije. Rezultati še niso dokončni, pridobili pa smo vektorje hitrosti sprememb koordinat točk v globalnem terestričnem koordinatnem sistemu, ki so bili nato transformirani v t. i. »stabilno Evrazijo«. Tako pridobljeni vektorji hitrosti so bili nato uporabljeni za izdelavo modela deformacij našega ozemlja. Cilj ponavljajočih geodinamičnih GPS-izmer je pridobitev kakovostnega geokinematičnega modela Slovenije, ki ga v geodetskem smislu potrebujemo za realizacijo 4-koordinatnega sistema. Z vzpostavitvijo omrežja SIGNAL nalogo neprekinjenega spremljanja geodinamičnega dogajanja prevzemajo neprekinjena opazovanja permanentnih GNSS-postaj.

### **Višinski sistem Slovenije**

Nov državni višinski sistem Slovenije je višinski sistem v težnostnem polju Zemlje. Evropski višinski sistem predstavlja EVRS, katerega težnostni potencial na višinski referenčni ploskvi je enak težnostnemu potencialu referenčnega elipsoida GRS 80. Višine v sistemu pa so razlike med dejanskim težnostnim potencialom obravnavane točke in potencialom referenčne ploskve EVRS. Zadnja realizacija sistema EVRS je EVRF2000 (European vertical Reference Frame), ki ima izhodišče v NAP (Normaal Amsterdams Peil). Višine točk v EVRF2000 so geopotencialne kote in normalne višine. Končne odločitve o tipu višin v slovenskem višinskem sistemu še nismo sprejeli Kot vemo, pa so geopotencialne kote osnova za preračun le-teh v katerikoli tip višin.

### **Nivelmanska mreža Slovenije**

Z analizami obstoječe nivelmanske mreže je bilo ugotovljeno, da iz obstoječih podatkov ni smiselno izvesti realizacije novega višinskega sistema. Takšno razmišljanje je posledica neustrezne oblike nivelmanske mreže Slovenije (zapiranje zank izven območja Slovenije), pomanjkljivih podatkov o obstoječi nivelmanski mreži Slovenije in dokaj velikih sprememb višin točk na slovenskem ozemlju (Koler, 2006). Sodoben in kakovosten višinski sistem lahko na območju Slovenije vzpostavimo le na osnovi novih izmer v nivelmanski in gravimetrični mreži (Koler et al., 2006).

### **Nov gravimetrični sistem Slovenije**

Nov gravimetrični sistem Slovenije temelji na mednarodnem referenčnem gravimetričnem sistemu IGSN 71 (International Gravity Standardization Network 1971). Realizacijo gravimetričnega sistema - gravimetrični datum Republike Slovenije predstavljajo vrednosti težnosti na 6 absolutnih točkah gravimetrične mreže 0. reda in 29 točkah gravimetrične mreže 1. reda. Absolutne gravimetrične točke so bile stabilizirane



leta 1995, izmera težnosti z absolutnimi gravimetričnimi meritvami je bila opravljena leta 1996.

Gravimetrična mreža 1. reda je sestavljena iz 29 relativnih točk. Vključenih je 17 ohranjenih gravimetričnih točk osnovne gravimetrične mreže Jugoslavije, dodatno pa je bilo stabiliziranih 12 novih točk. Pri tem je bilo upoštevano geološko mnenje o primernosti lokacij točk, enakomerna pokritost območja, kot tudi stanje prometnic na ozemlju Slovenije, saj je meritve v posameznem gravimetričnem liku potrebno opraviti v enem dnevu. Mreža je tako sestavljena iz 39. gravimetričnih likov (Koler, Medved in Kuhar, 2006).

Mreža je bila izmerjena konec leta 2006. V izmero so vključene tudi točke onstran meja Slovenije: ekscenter avstrijske absolutne točke in štiri hrvaške relativne gravimetrične točke. Tako je bila dosežena večja homogenost naše gravimetrične mreže, poleg tega pa je mreža navezana na gravimetrične mreže sosednjih držav (Avstrija in Hrvaška).

Meritve so se izvajale z dvema relativnima gravimetričnima instrumentoma SCINTREX CG-3M. Uporabljena je bila metoda izmere zvezda in metoda profilov z vsakodnevnim zapiranjem likov. Vsaka stranica mreže je bila izmerjena vsaj dvakrat. Trenutno obdelujemo merske vrednosti. Rezultati izmere gravimetrične mreže I. reda bodo na voljo spomladi 2008.

Z novo gravimetrično mrežo Slovenije bomo pridobili osnovo za vse nadaljnje gravimetrične izmere na območju Slovenije. Gravimetrično mrežo bomo navezali tudi na nivelmansko mrežo Slovenije. Tako bomo dobili tudi osnovo za določitev višin točk v sodobnem višinskem sistemu (z geopotencialno koto).

### Nova višinska referenčna ploskev Slovenije

Pri uvedbi nove višinske referenčne ploskve se kot ustrezna možnost ponuja uporaba Evropskega gravimetričnega kvazigeoida 200x. Poleti 2004 je začel teči vseevropski projekt (EGGP – European Gravity and Geoid Project), ki bi naj zagotovil novo izboljšano inačico Evropskega gravimetričnega geoida 200x. Dela potekajo pod okriljem Mednarodne Zveze za Geodezijo (IAG) v okviru Komisije 2 (Denker, 2006).

Ne glede na to, ali bomo uporabili stari ali novi evropski geoid, bo potrebno interpolirane geoidne višine preračunati - transformirati v nov višinski sistem Republike Slovenije.

### Mareografska postaja v Kopru

Agencija RS za okolje – ARSO je v okviru evropskega projekta FP5 ESEAS–RI (Framework Programme 5 European Sea Level Service – Research Infrastructure) in nacionalnega projekta posodobitve hidrološke mreže prenovila in nadgradila mareografsko postajo Koper. Triletni projekt FP5 ESEAS–RI se je začel novembra 2002 z namenom vzpostavitve in razvoja infrastrukture za izvajanje sodobnih standardiziranih mareografskih in drugih opazovanj evropske službe za spremljanje višin morja. Konec leta 2005 je bila tako na Ukmarjevemu trgu v Kopru, kjer je več desetletij stal stari mareograf, postavljena nova mareografska postaja. Postaja ustreza mednarodnim standardom in zahtevam za registracijo in dolgoročno spremljanje nivoja morja in predstavlja osnovo za kakovostno določitev izhodišča slovenskega višinskega sistema. Mareografska postaja Koper je, med drugim, opremljena s permanentno GPS-postajo, ki je vključena v slovensko omrežje GPS-postaj SIGNAL (Stopar et al., 2006). Kakšna bo vloga in pomen nove mareografske postaje v Kopru v novem višinskem sistemu Slovenije, pa še ni odločeno.

## **Transformacijski modeli med starim in novim državnim koordinatnim sistemom**

Nov koordinatni sistem bo v celoti realiziran, ko bodo vsi koordinatni podatki pridobljeni neposredno v novem sistemu. Ker pa imamo v obstoječem sistemu velike količine koordinatno opredeljenih podatkov, ki jih želimo uporabljati tudi v novem sistemu, lahko te podatke transformiramo v nov sistem. Za transformacijo podatkov iz obstoječega v nov koordinatni sistemom je potrebno zagotoviti kakovostno povezavo obeh sistemov. Osnovo za povezavo prostorskih podatkov v obstoječem in novem koordinatnem sistemu predstavljajo koordinate točk, določene z izmero v obeh sistemih. Med postopki za transformacijo geodetskih podatkov iz obstoječega v novi koordinatni sistem imamo na razpolago večje število transformacijskih modelov. Z ustrezno izbranim modelom transformacije želimo namreč zagotoviti »idealno« rezultat: odpravili naj bi slabosti podatkov v obstoječem sistemu in ohranili njihovo kakovost.

Zasnova in vrednotenje transformacijskih modelov med obstoječim in novim sistemom sta tako vključevali podobnostne, afine in polinomske transformacije ter transformacije s kolokacijo. Ti modeli so bili testirani na nivoju astrogeodetske mreže, na geodetskih mrežah višjih redov in na nivoju detajla za podatke zemljiškega katastra, in sicer v 2- in 3-razsežnem prostoru (Radovan et al., 2004, Radovan et al., 2005). Rezultati transformacij na več območjih po Sloveniji so pokazali, da so razmere od območja do območja zelo različne. Razmere na nivoju geodetskih mrež so v okviru pričakovanj. Kažejo pa se določene sistematične nepravilnosti koordinat točk v obstoječih mrežah. Te nepravilnosti so verjetno posledica načina vzpostavitve in razvoja trigonometričnih mrež v preteklosti.

Na nivoju detajla pa so razmere po pravilu zelo različne (Lavbič 2005, Viler 2007, Kocen 2006). Nekoliko sicer sledijo razmeram na nivoju mrež, pojavljajo pa se tudi zelo velike lokalne nepravilnosti koordinat. Za koordinatne podatke o detajlu to pomeni, da kakovostnih transformacij iz obstoječega v nov sistem ne bo mogoče izvajati z uporabo regijskih, mestnih, vaških ali kakršnihkoli transformacijskih parametrov, veljavnih za večja območja. Praviloma bo potrebno izvajati transformacije med detajlom v starem in novem sistemu, in to samo na nivoju detajla. Vedeti pa moramo, da nobena transformacija ne more izboljšati kakovosti obstoječih koordinat. Izboljša jo samo višja kakovost neposredno opravljene detajlne izmere.

Za lokalne transformacije je Geodetska uprava zagotovila izdelavo programske opreme, ki naj bi izvajalcem geodetskih izmer zagotovila nemoteno delo s podatki v starem in novem sistemu. V ta namen smo izdelali programsko opremo, ki omogoča izvajanje večjega števila transformacij geodetskih koordinatnih sistemov z dokaj obširnim vrednotenjem pridobljenih rezultatov (Kozmus, Stopar, 2007). Dva programska paketa, ki sta namenjena za samostojno rabo SiTra (Si-Slovenija, Tra-Transformacija) (Kozmus, Stopar, 2007a) ter rabo preko interneta SiTraNet (Kozmus, Stopar, 2007b). Programska paketa omogočata transformacije geodetskih podatkov za več običajnih transformacijskih modelov, ki smo jim dodali nekaj postopkov modeliranja »nepravilnosti« obstoječega koordinatnega sistema. Programski paket SiTra bo na voljo v kratkem in sicer za imetnike geodetske izkaznice brezplačno, SiTraNet pa je javno dostopna internetna različica programa na IP-naslovu: 193.2.92.129.

Pri transformaciji obstoječih zbirk podatkov Geodetske uprave v nov koordinatni sistem se je Geodetska uprava odločila za uporabo trikotniške odsekoma afine transformacije na osnovi Delaunyjeve triangulacije (Berk, Duhovnik, 2007).

## **Nova kartografska projekcija**

Za grafično prikazovanje slovenskega ozemlja na načrtih in kartah v obliki kartografskih projekcij je bila opravljena študija kartografskih projekcij: Gauss-Kruegerjeve projekcije, pokončne konformne Lambertove konusne projekcije in Bonnove psevdokonusne ekvivalentne projekcije (Radovan et al., 2006). Opravljena je bila tudi analiza posledic uporabe novega referenčnega elipsoida GRS 80, ki je sestavni del novega horizontalnega koordinatnega sistema.

Gauss-Kruegerjeva projekcija je, glede na svoje matematične lastnosti in razširjenost, še vedno referenčna projekcija v veliko državah. Tudi slovenske državne topografske karte do merila 1 : 250000 bodo tako izdelane v Gauss-Kruegerjevi projekciji. Osnovni parametri te projekcije so: projekcija je modulirana s faktorjem merila 0,9999 na srednjem poldnevniku, srednji poldnevnik je poldnevnik z geografsko dolžino 15°, navidezen pomik proti severu znaša -5000000 m in navidezen pomik proti vzhodu 500000 m.

Karte v merilih 1 : 500000 in 1 : 1000000 bodo izdelane v Lambertovi konformni konusni projekciji. Ta je za navedeni merili preferenčna tudi v večini drugih držav, na področju civilnega letalstva in za izdelavo Mednarodne karte sveta. Mercatorjeva projekcija je po standardih IHO (International Hydrographic Organization) zahtevana za vse pomorske karte in jo bomo ohranili tudi za področje prikazovanja podmorske topografije v priobalnem pasu in na odprtem morju. Pri tem so upoštevane pozitivne lastnosti te projekcije v zvezi z varnostjo plovbe in pomorsko navigacijsko prakso.

Slovenski topografsko - kartografski sistem že sedaj za različne namene (predvsem vojaške) postopoma uvaja pretiskovanje serij topografskih kart v Gauss-Kruegerjevi projekciji na Besselovem elipsoidu s pravokotno ali geografsko mrežo. Ti mreži temeljita na elipsoidu GRS 80 oziroma na kartografsko praktično enakovrednem WGS 84 (World Geodetic System 1984). Če gre za pretis s pravokotno mrežo, se pri tem uporabi sistem UTM namesto Gauss-Kruegerjeve projekcije.

## **Normativna uvedba novega državnega koordinatnega sistema**

Glede na to, da je uvedba novega državnega koordinatnega sistema naloga, ki se bo izvajala postopno in bo imela posledice na celotno družbo oziroma na vse proizvajalce in uporabnike prostorskih podatkov, se je Sektor za geodezijo in kartografijo na Geodetski upravi Republike Slovenije Ministrstva za okolje, prostor in energijo Republike Slovenije odločil podpreti aktivnosti potrebne za prehod v nov državni koordinatni sistem tudi na deklarativni ravni.

Na osnovi opravljenih del v državnem koordinatnem sistemu kot tudi drugih aktivnosti povezanih z državnim koordinatnim sistemom je na predlog Komisije za Osnovni geodetski sistem Geodetska uprava Republike Slovenije pripravila Strategijo Osnovnega geodetskega sistema, ki med drugim vključuje tudi dokončno odločitev o uvedbi novega geodetskega državnega koordinatnega sistema Slovenije in navaja postopke, ki jih je potrebno opraviti do prehoda v nov državni koordinatni sistem. Strategijo Osnovnega geodetskega sistema je v mesecu marcu leta 2004 potrdila tudi Vlada Republike Slovenije (Režek et al., 2004).

Med poudarki iz Strategije OGS lahko omenimo deklarativno odločitev in zavezo Vlade Republike Slovenije, da bo podpirala vzpostavitev novega državnega koordinatnega sistema Slovenije ter posledično zagotavljala potrebna sredstva, kar bo omogočilo kakovostno koordinatno povezavo našega ozemlja z Evropo.

## Zaključek

Obstoječi, uradno veljaven državni koordinatni sistem Slovenije predstavljajo tri skupine temeljnih geodetskih mrež: astrogeodetska oz. trigonometrična mreža, nivelmanska mreža in gravimetrična mreža. Nov koordinatni sistem Slovenije pa bosta sestavljala ETRS89, ki bo zagotavljal horizontalno komponento, ter višinski sistem, ki bo povezan z EVRS in ki bo predstavljal višinsko komponento koordinatnega sistema. Podatke v obstoječem in novem koordinatnem sistemu je, ob prehodu v nov sistem, potrebno povezati med seboj. To povezavo lahko vzpostavimo z uporabo koordinat identičnih točk v obeh sistemih. Ta povezava mora biti čim bolj zvezna na celotnem območju države, zato mora biti število takih točk kar se da veliko. Transformacija podatkov med sistemi pa ni zdravilo za neustrezno kakovost podatkov v obstoječem sistemu. Ustrezno kakovost podatkov v novem koordinatnem sistemu lahko zagotovimo samo z novo geodetsko izmero v novem koordinatnem sistemu. Izvedemo jo lahko s klasično terestrično geodetsko izmero ali z metodami izmere GNSS. S pojavom metod izmere GNSS, ki omogočajo pridobitev podatka o položaju že med samim terenskim delom, predvsem pa z dokončano izgradnjo in operativnim delovanjem omrežja SIGNAL, so vzpostavljeni pogoji za enostavno, kakovostno in hitro izvedbo nove detajlne geodetske izmere. Velik potencial pa je predvsem kombinacija obeh metod izmere

Jasno nam je postalo, da bo naloga vzpostavitve in praktične uvedbe novega državnega koordinatnega sistema zahtevala ogromno dela, ki mora biti opravljeno zelo sistematično. Vse bolj postaja tudi očitno, da državni koordinatni sistem ni sam sebi namenjen, ampak je sestavni del vsakega podatka o položaju v prostoru, predstavljenega v kakršnikoli obliki. Pridobivanje, obdelovanje in analiziranje prostorskih podatkov postaja vse bolj množično. Na razpolago imamo številna orodja za tovrstna opravila, predvsem v obliki geografskih informacijskih sistemov, ki jih uporablja cela vrsta strok, ki se ukvarjajo s prostorom. Postaja pa vse bolj jasno, da sta izredno pomembna kakovost prostorskega podatka ter identičnost osnov, na katere se podatki nanašajo. Prostorski podatek izkaže svojo pravo vrednost šele, ko je enolično vključen v obstoječe prostorske evidence. Glede na to, da je državna geodetska služba zadolžena za vzdrževanje osnovne državne geoinformacijske infrastrukture, je naloga vzpostavitve novega državnega koordinatnega sistema ena od temeljnih nalog državne geodezije v naslednjih nekaj letih

Zahvala: Prispevek je nastal kot rezultat dela na raziskovalnih projektih, ki jih je financirala Geodetska uprava Republike Slovenije, in v okviru raziskovalnega programa P2-227 »Geoinformacijska infrastruktura in trajnostni prostorski razvoj Slovenije« ARRS. Avtorji prispevka se obema zahvaljujejo za finančno podporo.

## Literatura

- Altiner Y., Marjanović M., Medved M., Rasić L., V: Pinter N., Grenerczy G., Weber J., Stein S., Medak D. The Adria microplate: GPS geodesy, tectonics and hazards, NATO Science Series, IV, Earth and Environmental Sciences, vol. 61. Dordrecht: Springer, cop., 257-267.
- Berk S., Duhovnik M., (2007), Transformacija podatkov Geodetske uprave Republike Slovenije v novi državni koordinatni sistem, Geodetski vestnik.
- Berk, ., Kozmus, K., Radovan, D., Stopar, B. (2006). Planning and realization of the Slovenian permanent GPS network. AVN. Allg. Vermess.-Nachr., letn. 113, št. 11-12, 383-387.
- Berk, S., Kumaduna, Ž., Marjanović, M., Radovan, D., Stopar, B. (2003). The Recomputation of the EUREF GPS Campaigns in Slovenia. V: Torres, J A (ur.), Hornik, H (ur.)..Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF) held in Toledo, 4 - 7 June 2003.

- Reports of the EUREF Technical Working Group (TWG) : International Association of Geodesy, Subcommission for Europe (EUREF), (Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Bd. 33), (EUREF Publication, No. 13). Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, 132-149.
- Bilajbegović, A., Marchessini, C. (1991). Jugoslavenski vertikalni datum i preliminarno povezivanje nove Jugoslavenske nivelmanske mreže s Austrijskom i Talijanskom. Geodetski list, 45 (7-9), 223-248.
- Čolić K., Bašić T., Petrović S., Pribičević B., Ratkajec M., Sünkel H., Kühtreiber N. (1992). New geoid solution for Slovenia and a part of Croatia, Proceeding IAG First Continental Workshop on the Geoid in Europe, Praga, 158-165.
- Denker H, Torge W, (1997). The european gravimetric quasigeoid EGG97 – an IAG supported continental enterprise. In: IAG Symp. Proceed., IAG Scient. Ass. Rio de Janeiro, Springer, Berlin.
- Denker, H. (2006): Das Europäische Schwere- und Geoidprojekt (EGGP) der Internationalen Assoziation für Geodäsie. Z.f.Vermessungswesen 131 (1), 1-10.
- Kasumović, M. (1950). Srednja razina Jadranskog mora i geodetska normalna nula. (4), 243-256.
- Jenko M. (1986). Dela na astronomsko-geodetski mreži v letih 1975-1982, Institut GZ SRS.Jenko.
- Kocen, J. (2006). Analiza rezultatov transformacij med ETRS89 in državnim koordinatnim sistemom na majhnem območju : diplomska naloga. Ljubljana, 128 str.
- Koler, B. (2006). Vertical Movements in slovenia from Leveling Data. V: Pinter N., Grenczy G., Weber J., Stein S., Medak D. The Adria microplate: GPS geodesy, tectonics and hazards, NATO Science Series, IV, Earth and Environmental Sciences, vol. 61. Dordrecht: Springer, cop., 223-236.
- Koler, B., Kuhar. M., Medved, K., Mesner, N., Radovan, D. (2005). Študija stanja del na gravimetrični mreži v Republiki Sloveniji in predlog nadaljnjih el. Končno poročilo. Geodetski Inštitut Slovenije.
- Koler, B., Medved, K., Kuhar, M. (2006). Projekt nove gravimetrične mreže 1.reda Republike Slovenije. Geodetski vestnik, 50 (3), 451-460.
- Koler, B., Vardjan, N. (2003). Analiza stanja nivelmanskih mrež Republike Slovenije. Geodetski vestnik, 47 (3), 251-262.
- Kozmus, K., Stopar, B. (2007a). Navodila za uporabo spletne aplikacije za transformacije koordinatnih sistemov SiTraNet : v1.0. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 19 str., ilustr.
- Kozmus, K., Stopar, B. (2007b). SiTraNet : v 1.0. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,. CD-ROM. Windows. <http://193.2.92.129>.
- Lavbič, D. (2005). Analiza kakovosti metode v omrežju SIGNAL ter kakovosti transformacij med ETRS89 in državnim koordinatnim sistemom na območju Celja : diplomska naloga. Ljubljana, 112 str., graf. Prikazi.
- Miškovič, D, Radovan, Dr, Berk, S, Stopar, B, Bilc, A. (2000). Osnutek strategije osnovnega geodetskega sistema za področje slovenskega omrežja permanentnih postaj GPS. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije, 129 str.
- Pesec P., Suenkel H., Erker E., Imrek I., Stangl G. (1997), Das Oesterresichische Geodynamische Bezugssystem AGREF, Realisierung und Ergebnisse, Einmalige Sonderausgabe des Instituts fuer Weltraumforschung der Oesterreichischen Akademie des Wissenschaften; Abteilung Satellitengeodaesie.
- Pribičević B. (1999). Nov preračun geoida Republike Slovenije, magistrska naloga. Ljubljana EUREF, 2003, Pridobljeno s spletne strani 20.10.2007: <http://www.euref-iag.net/html/resolutions.html#Toledo>
- Pribičević, B. (2000). Uporaba geološko – geofizičnih in geodetskih baz podatkov za računanje ploskve geoida Republike Slovenije. Doktorska disertacija. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Radovan, D. (2007). Slovensko omrežje referenčnih postaj GPS za natančno določanje položaja. V: Kozmus, K., Kuhar, M. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2006 : zbornik predavanj. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 21-28.

- Radovan, D., Berk, S., Fegic, J., Ipša, A., Klanjšček, M., Mesner, N., Vrenko, D., Ambrožič, T., Bogatin, S., Jakljič, S., Kogoj, D., Koler, B., Kozmus, K., Kuhar, M., Lisec, A., Marjetič, A., Pavlovčič Prešeren, P., Savšek-Safić, S., Sterle, O., Stopar, B. (2006). Razvoj OGS 2006 : prehod na nov koordinatni sistem : končno poročilo. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije, 222 str., ilustr..
- Radovan, D., Berk, S., Stopar, B. (2004). Razvoj osnovnega geodetskega sistema : končno poročilo. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije.
- Radovan, D., Klanjšček, M., Berk, S., Stopar, B., Kozmus, K. (2005). Razvoj osnovnega geodetskega sistema : končno poročilo. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije, 2 zv.
- Režek, J., Radovan, D., Stopar, B. (2004). Strategija osnovnega geodetskega sistema. Geod. vestn., let. 48, št. 3, str. 288.
- Stopar, B., Kuhar, M. (1997). Astrogeodetska mreža Slovenije in geoid. Astrogeodetic network of Slovenia and geoid. Geod. vestn., let. 41, št. 2, 91-100; 101-110
- Stopar, B., Kuhar, M. (2001). Moderni geodetski koordinatni sistemi in astrogeodetska mreža Slovenije. Geod. vestn., let. 45, št. 1-2, 11-26
- Stopar, B. (1995). Sanacija astrogeodetske mreže v Sloveniji z GPS meritvami : doktorska disertacija. Ljubljana, 132 str., 39 str. pril., graf. prikazi, tabele.
- Stopar, B., Koler, B., Kogoj, D., Sterle, O., Ambrožič, T., Savšek-Safić, S., Kuhar, M., Radovan, D. (2006). Geodetska dela na novi mareografski postaji Koper = Geodetic activities at the new tide gauge station Koper. Geod. vestn., letn. 50, št. 4, 609-619.
- Stopar, B., Kuhar, A. (2003). Study of distortions of the primary triangulation network of Slovenia. Acta geod. geophys. Hung., vol 38, (1), 43-52, ilustr.
- Stopar, B., Radovan, D., Berk, S., Bilc, A. (2002). Projekt izgradnje slovenskega omrežja permanentnih GPS-postaj in vzpostavitve GPS-službe. V: Kuhar, M., Brilly, M. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2002 : zbornik predavanj. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 73-80.
- Viler, B. (2007). Analiza rezultatov transformacij med koordinatnima sistemoma ETRS89 in D48 na območju Slovenske obale: diplomska naloga. Ljubljana, 75 str.
- 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. Geol. Carpath. (Bratisl.), vol. 57, no. 1, 57-65.
- 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. V: Pinter N., Grenerczy G., Weber J., Stein S., Medak D. The Adria microplate: GPS geodesy, tectonics and hazards, NATO Science Series, IV, Earth and Environmental Sciences, vol. 61. Dordrecht: Springer, cop., 305-320