

VZPOSTAVITEV KOMBINIRANE GEODETSKE MREŽE V SLOVENIJI IN ANALIZA NJENEGA DELOVANJA V OBDOBJU 2016–2018

ESTABLISHMENT OF THE SLOVENIAN COMBINED GEODETTIC NETWORK AND ITS OPERATION ANALYSIS FOR THE PERIOD 2016–2018

*Katja Oven, Klemen Ritlop, Mihaela Triglav Čekada, Polona Pavlovčič Prešeren,
Oskar Sterle, Bojan Stopar*

UDK: 528.3(497.4)*2016-2018*
Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.02
Prispelo: 28. 8. 2019
Sprejeto: 22. 11. 2019

DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2019.04.491-513
REVIEW ARTICLE
Received: 28. 8. 2019
Accepted: 22. 11. 2019

IZVLEČEK

V prispevku so predstavljeni razlogi za vzpostavitev ter aktivnosti pred in med izgradnjo kombinirane geodetske mreže ter prvi rezultati obdelave časovnih vrst koordinat nekaterih točk te mreže. Kombinirana geodetska mreža ali geodetska mreža 0. reda je geodetska mreža najvišje kakovosti in zagotavlja ogrodje za realizacijo enotnega državnega prostorskega geodetskega sistema, saj povezuje horizontalno in vertikalno komponento koordinatnega sistema. Od vzpostavitve naprej v kombinirani geodetski mreži poteka dnevna obdelava opazovanj GNSS, kar omogoča vzpostavitev in analiziranje časovnih vrst koordinat točk mreže. Trenutno vzpostavljene časovne vrste koordinat kažejo, da se na točkah kombinirane geodetske mreže uporablja kakovostna merska oprema, da so opazovanja visoke kakovosti, da je stabilizacija točk ustrezna ter da so lokacije za vse postaje primerne. Ponovljivost koordinat je na ravni nekaj milimetrov za horizontalne koordinate in na ravni približno petih milimetrov za višino. Vzpostavljene časovne vrste koordinat omogočajo prvi vpogled v oceno lokalne stabilnosti točk kombinirane geodetske mreže. Za zanesljivejše rezultate bo treba počakati še nekaj let, da bodo časovne vrste omogočale identifikacijo različnih vplivov na stabilnost posamezne postaje. V prihodnje načrtovane aktivnosti na kombinirani mreži so vezane na uporabo opazovanj vseh satelitskih sistemov GNSS in vključitev postaj GNSS kombinirane geodetske mreže v mrežo stalnih postaj EPN, ki bodo omogočale kakovostno in neprekinjeno povezavo slovenskega koordinatnega sistema z vsemi realizacijami koordinatnih sistemov ITRS ali ETRS.

KLJUČNE BESEDE

kombinirana geodetska mreža, geodetska mreža 0. reda, GNSS, državni geodetski referenčni sistem, časovne vrste koordinat, zanesljivost delovanja

ABSTRACT

This paper presents the reasons for the establishment, activities prior to and after the construction as well as the first results of coordinate time-series of points of the Slovenian combined geodetic network. The so-called zero-order geodetic network is of the highest quality, and since it connects the horizontal and vertical components of the coordinate system, it represents a framework for the realization of a unified national geodetic spatial system. From the establishment on, daily GNSS processing is performed for the analysis of time-series of coordinates of the network points. Currently, the time-series of coordinates confirm the satisfactory quality of equipment, observations and stabilization of stations. The repeatability of the coordinates is at a few-millimetre level for horizontal coordinates and at a five-millimetre level for the heights. However, the current time-series of coordinates allow only the first insight into the stability of the network points. For more definitive conclusions, it will take a few more years to acquire longer time-series of coordinates for identification of the disturbing effects for the particular station. The future activities are related to the inclusion of all satellite GNSS systems and the integration of combined geodetic network's GNSS stations into the EUREF permanent station network, EPN, which will enable quality and continuous connection of the Slovenian coordinate system with all the ITRS and/or ETRS realizations.

KEY WORDS

combined geodetic network, zero-order geodetic network, GNSS, national geodetic reference system, coordinate time-series, operational reliability

1 UVOD

Koordinatni sistemi v geodeziji so realizirani z geodetskimi mrežami, ki jih predstavlja množica fizično stabiliziranih geodetskih točk, s katerimi so na podlagi geodetskih meritev določene koordinate v izbranem koordinatnem sistemu. Geodetske mreže se delijo glede na kakovost določitve koordinat točk in jih splošno delimo na horizontalne in višinske. Razlog, da mreže obravnavamo posebej, izhaja iz drugačnega vpliva neznane geometrije težnostnega polja Zemlje in atmosfarske refrakcije na meritve, ki jih uporabljamo za določitev horizontalnih koordinat in višin. Uveljavljena delitev na horizontalne in višinske mreže je smiselna, ker geometrija težnostnega polja Zemlje (odklon navpičnice) in atmosfarska refrakcija mnogo bolj vplivata na meritve za določitev višine kot na meritve za določitev horizontalnih koordinat. Posledica ločene vzpostavitve posameznih državnih koordinatnih sistemov je šibka povezanost obeh koordinatnih sistemov.

Državni koordinatni sistem je realiziran z geodetskimi mrežami, ki jih vzpostavlja in vzdržuje državna geodetska služba oziroma Geodetska uprava Republike Slovenije. Državni horizontalni koordinatni sistem je realiziran s horizontalno geodetsko mrežo, državni vertikalni sistem pa z nivelmansko in gravimetrično mrežo. Zaradi praktičnih razlogov so državne geodetske mreže razdeljene v redove, pri čemer so v geodetskih mrežah najvišjega reda meritve opravljene z najvišjo kakovostjo ter obdelane po najstrožjih merilih. V preteklosti je bila državna horizontalna geodetska mreža najvišjega reda tako imenovana astrogeodetska mreža in nanjo so se navezovala trigonometrične mreže nižjih redov, poligonometrične mreže, navezovalne mreže, poligonske in linijske mreže (Stopar in Kuhar, 2001). Državni vertikalni koordinatni sistem je v preteklosti sestavljala osnovna državna nivelmanska mreža, medtem ko prave gravimetrične mreže v Sloveniji nismo imeli (Koler et al., 2019).

S pojavom sistemov GNSS (*angl. Global Navigation Satellite System*) so klasične horizontalne geodetske mreže, vzpostavljene na podlagi terestričnih meritev, začele nadomeščati geodetske mreže, vzpostavljene z meritvami GNSS. V prvem obdobju uporabe tehnologije GNSS so se v klasično vzpostavljenih horizontalnih geodetskih mrežah začele koordinate točk določati z meritvami GNSS. Geodetske točke v teh mrežah so tako poleg koordinat, določenih v državnem koordinatnem sistemu, pridobile koordinate tudi v terestričnih koordinatnih sistemih (Stopar in Kuhar, 2001). Glavni namen določitve koordinat točk državne horizontalne geodetske mreže v terestričnem koordinatnem sistemu je bila vzpostavitev povezave (možnost izvedbe transformacije) med državnim horizontalnim koordinatnim sistemom in terestričnimi koordinatnimi sistemi (Stopar in Kuhar, 2001). V kasnejšem obdobju uporabe sistemov GNSS v nalogah visoko natančnega določanja položaja so se začela vzpostavljati omrežja stalno delujočih postaj GNSS. Ta tako imenovana aktivna omrežja GNSS so začela nadomeščati državne horizontalne geodetske mreže najvišjih redov. V Sloveniji je takšno omrežje poimenovano z okrajšavo SIGNAL (SI-Slovenija, G-Geodezija, NA-navigacija, L-lokacija) in operativno deluje od 1. januarja 2007 (Stopar, 2007).

Vzpostavitev aktivnega omrežja postaj GNSS je prinesla številne spremembe, tako glede praktične realizacije državnega horizontalnega koordinatnega sistema kot glede možnosti dostopa uporabnikov do državnega koordinatnega sistema. Aktivna omrežja stalno delujočih postaj GNSS danes praviloma opravljajo obe nalogi: realizirajo državne horizontalne koordinatne sisteme in omogočajo uporabnikom dostop do državnega koordinatnega sistema. Navedeno v Sloveniji sicer še ne velja, kajti slovenski državni horizontalni koordinatni sistem je realiziran z 49 tako imenovanimi temeljnimi državnimi geodetskimi točkami, najenostavnejši dostop do državnega horizontalnega koordinatnega sistema pa je zagotovljen

z uporabo omrežja SIGNAL (Medved et al., 2018). Razlog za takšno stanje je dejstvo, da se postaje omrežja SIGNAL nahajajo na objektih, ki praviloma niso v lasti Geodetske uprave Republike Slovenije, lastnice omrežja SIGNAL. Večinoma tudi niso znane konstrukcijske lastnosti ter lastnosti tal in izvedba temeljenja objektov, zato stabilnost postaj omrežja SIGNAL ni dovolj dobro poznana. Posledično ni znana stabilnost omrežja SIGNAL oziroma stabilnost državnega horizontalnega koordinatnega sistema.

S široko dostopnostjo tehnologij za določitev položaja v prostoru so se pojavile zahteve uporabnikov za hkratno določitev položaja v trirazsežnem prostoru, brez (zanje) nepotrebnega ločevanja na horizontalno in vertikalno komponento. Državni koordinatni sistem naj bi zagotavljal pogoje za določitve horizontalnih koordinat in višin z enako kakovostjo na celotnem državnem ozemlju, kar naj bi bilo zagotovljeno z vzpostavitvijo državnih koordinatnih sistemov homogene kakovosti ter kakovostnimi povezavami med njimi. Najzanesljivejše povezave med koordinatnimi sistemi je mogoče vzpostaviti, če kakovostno določimo koordinate točk v vseh koordinatnih sistemih, ki jih želimo povezati. Za izpolnitev te naloge se je ob koncu 90. let prejšnjega stoletja pojavila zamisel za vzpostavitev tako imenovanih kombiniranih geodetskih mrež oziroma omrežij (Pearlman in Plag, 2009). Točke oziroma postaje kombinirane geodetske mreže naj bi bile vzpostavljene po zgledu sodobnih geodetskih observatorijev, v okviru katerih se z uporabo razpoložljivih tehnologij določajo koordinate v različnih koordinatnih sistemih.

Zaradi precej šibke povezave med posameznimi državnimi koordinatnimi sistemi in težav s stabilnostjo lokacij postaj GNSS v omrežju SIGNAL se je tudi v Sloveniji pojavila potreba po vzpostavitvi državne kombinirane geodetske mreže oziroma geodetske mreže 0. reda, s katero naj bi odpravili večino težav v omrežju SIGNAL. Točke kombinirane geodetske mreže naj bi vzpostavili na zemljiščih, ki so v državni lasti, stale naj bi na območjih z ustrezno geološko sestavo, stabilizacija točk naj bi zagotavljala stabilnost točk v prostoru in času. Na lokacijah točk kombinirane geodetske mreže naj bi bila zagotovljena oskrba z električno energijo in povezava z internetom. Na izbranih lokacijah naj bi bilo mogoče, poleg meritev GNSS, izvajati tudi nivelmanske in gravimetrične meritve ter klasično-terestrično geodetsko izmero. Ker bi bila na točkah kombinirane geodetske mreže omogočena povezava horizontalne in vertikalne komponente državnega koordinatnega sistema, bi kombinirana geodetska mreža postala podlaga za realizacijo enotnega geodetskega prostorskega referenčnega sistema, ki bi bil temelj prostorske podatkovne infrastrukture Slovenije (Stopar et al., 2015; Stopar et al., 2016; Medved et al., 2018). S stalnimi meritvami bi lahko ugotavljali kakovost in morebitne časovne spremembe realizacije državnega koordinatnega sistema ter po potrebi ustrezno ukrepali (Sterle et al., 2009; Sterle, 2015; Stopar et al., 2015; Stopar et al., 2016; Medved et al., 2018).

V okviru projekta *Izdelava projektne dokumentacije za točke kombinirane mreže 0. reda*, ki je bil izveden v okviru podprojekta *Geodetski referenčni okvir (GRFR)*, enega od štirih podprojektov projekta *Posodobitev prostorske podatkovne infrastrukture za zmanjšanje tveganj in posledic poplav*, so bile določene lokacije geodetskih točk kombinirane geodetske mreže, in sicer Korada, Kog, mareografska postaja Koper, Šentvid pri Stični, Prilozje v Beli krajini in Areh na Pohorju (Stopar et al., 2013, 2014a, 2014b). Fizična gradnja točk kombinirane geodetske mreže je potekala od leta 2014 do konca leta 2015. Na petih točkah so bili na novo zgrajeni geodetski stebri, v Kopru so bile privzete obstoječe geodetske točke mareografske postaje (Režek, 2015). Točke kombinirane geodetske mreže ustrezajo smernicam EUREF za vzpostavitev mrež stalno delujočih postaj GNSS ter višinske in gravimetrične mreže (Stopar et al., 2016). Vsako točko kom-

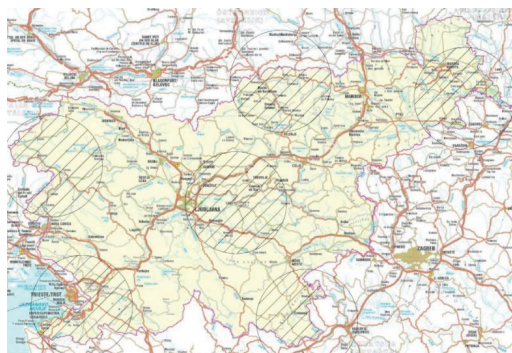
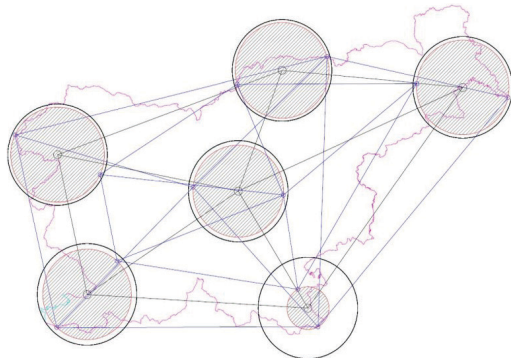
binirane geodetske mreže sestavlja več fizično stabiliziranih točk, in sicer glavna referenčna točka, ki stoji ob vznožju stebra, referenčna točka v osi stebra, ena ali dve referenčni točki GNSS na stebru, tri referenčni reperji za nivelmansko in gravimetrično izmero ob vznožju stebra ter tri ali štiri točke zavarovalne geodetske (terestrične in nivelmanske) mreže. Točka kombinirane geodetske mreže v Kopru, ki je hkrati stalna postaja omrežja SIGNAL, pa ima vzpostavljene referenčne točke v okviru geodetskih mrež mareografske postaje.

V prispevku predstavljamo izgradnjo kombinirane geodetske mreže, analizo zanesljivosti delovanja ter kakovost določitve koordinat stalnih postaj GNSS v mreži od njenega začetka delovanja do danes. Osnovni cilj vzpostavitve kombinirane geodetske mreže je zagotovitev spremljanja stanja in kakovosti državnega koordinatnega sistema. Ker je slovenski horizontalni koordinatni sistem realiziran kot del evropskega koordinatnega sistema ETRS89 na ozemlju Slovenije, je pomembna njegova povezanost s tem sistemom. V prihodnje je tako predvidena vključitev nekaterih postaj GNSS kombinirane geodetske mreže Slovenije v EPN (*EUREF Permanent Network*) ter vključitev v evropske in mednarodne pobude, kot so evropska kombinirana geodetska mreža ECGN (angl. *European Combined Geodetic Network*) ali globalni geodetski opazovalni sistem GGOS (angl. *Global Geodetic Observing System*) (Poutanen et al., 2014; Baucer et al., 2015).

2 IZBOR LOKACIJ IN GRADNJA

Izbor lokacij točk kombinirane geodetske mreže je potekal na šestih makrolokacijah v velikosti krogov z radijem 25 kilometrov z naslednjimi središči (Berk et al., 2012):

- severozahodna makrolokacija: $y = 396578$ m, $x = 119653$ m (Kamno v občini Tolmin)
- jugozahodna makrolokacija: $y = 411405$ m, $x = 50732$ m (Socerb v občini Koper)
- osrednja makrolokacija: $y = 487352$ m, $x = 101618$ m (Litija v občini Litija)
- jugovzhodna makrolokacija: $y = 522373$ m, $x = 44010$ m (Bedenj v občini Črnomelj)
- severna makrolokacija: $y = 509386$ m, $x = 161221$ m (Trbonje v občini Dravograd)
- severovzhodna makrolokacija: $y = 600176$ m, $x = 152824$ m (Gibina v občini Razkrižje)



Slika 1: Prikaz šestih makrolokacij za izbor geodetskih točk kombinirane geodetske mreže (vir: Berk et al., 2012).

Pri izbiranju lokacij so bile upoštevane smernice EUREF za vzpostavitev postaj GNSS, višinskih mrež, gravimetričnih geodetskih mrež in kombiniranega omrežja ter dodatna merila. Slednja so vključevala preveritev lokacij glede na reliefne in podnebne danosti, vegetacijo ter glede na geološke, hidrološke in geotektonske danosti. Proučena so bila tudi priporočila, zahteve in smernice IGS (angl. *International*

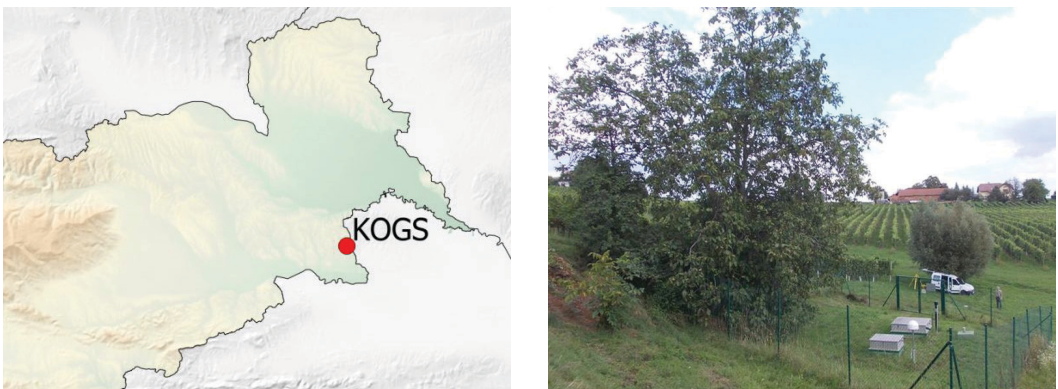
GNSS Service) (Stopar et al., 2013). Preverjanje priporočil, zahtev, smernic in dodatnih meril je večinoma potekalo neposredno na terenu z izvedbo geodetskih meritev, preverjanje prostorskih omejitev pa na podlagi pridobljenih lokacijskih informacij na občinah. Zemljišča so morala izpolnjevati tudi ustrezna geološka merila in biti v lasti države ali občine. Na območju makrolokacije v jugozahodnem delu Slovenije je bila za točko kombinirane geodetske mreže privzeta obstoječa stalna postaja GNSS omrežja SIGNAL v Kopru, KOPE, ki deluje v okviru mareografske postaje Koper (slika 2).



Slika 2: Lokacija stalne postaje omrežja SIGNAL v Kopru, KOPE (levo, vir: GI), meteorološka postaja v Kopru (desno, vir: Berk et al., 2012).

2.1 Potresne opazovalnice ARSO

Prvotno je bilo predvideno, da bo gradnja točk kombinirane geodetske mreže potekala na lokacijah potresnih opazovalnic Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO), saj so bili tam že določeni prostorski pogoji za gradnjo, imele so znano geološko strukturo tal in ustrezno lastništvo. Zato so bili na dvanajstih izbranih potresnih opazovalnicah izvedeni terenski ogledi in opravljene testne meritve, na podlagi česar je bil izdelan ožji izbor petih lokacij potresnih opazovalnic: BOJS-Bojanci, ZAVS-Zavodnje, GBRŠ-Gornja Briga, KOGS-Kog in LJU-Ljubljana. Med samo izvedbo projekta pa je bil z Arsom sklenjen dogovor le za izgradnjo točke kombinirane geodetske mreže na lokaciji potresne opazovalnice KOGS na Kogu (slika 3).



Slika 3: Lokacija potresne opazovalnice KOGS (levo, vir: GI), zemljišče potresne opazovalnice KOGS pred gradnjo (desno, vir: GURS).

Zemljišča, potrebna za gradnjo točke kombinirane geodetske mreže in točk zavarovalne mreže na Kogu, so bila v lastništvu Arsa in fizične osebe. Z Arsom je bil sklenjen sporazum o uporabi zemljišča za potrebe vzpostavitve, obratovanja in vzdrževanja točke kombinirane geodetske mreže, z lastnikom okoliških zemljišč pa pogodba o ustanovitvi stvarne služnostne pravice. Z geološkega vidika je bila lokacija sprejemljiva, saj je podlaga na globini 2–5 metrov trdna, sama lokacija pa ni v neposredni bližini tektonske prelomnice. Na podlagi lokacijske informacije, ki jo je izdala občina Ormož, zemljišča niso bila del zavarovanih območij (Stopar et al., 2013).

Za iskanje preostalih štirih lokacij smo se v nadaljevanju usmerili na območja letališč in izvedli analize lastništva.

2.2 Analiza lokacij letališč in drugih zemljišč

Izbor lokacij za štiri makrolokacije je potekal v več fazah:

1. izbor na podlagi lastništva (državno/občinsko) – izvedba ustreznih analiz,
2. izbor na podlagi geodetskih meril – izvedba terenskih ogledov in testnih geodetskih izmer,
3. izbor na podlagi prostorskih omejitev – pridobivanje lokacijskih informacij in
4. izbor na podlagi geoloških meril – izdelava geoloških študij.

Lastništvo: Analize lastništva so bile opravljene na podlagi podatkov zemljiškega katastra in zemljiške knjige za vsa zemljišča na posamezni makrolokaciji, s čimer bi določili zemljišča v državni ali občinski lasti, ki bi bila primerna po geodetskih merilih. Pri analizi lokacij je bilo treba preveriti, ali obstajajo ovire za sklenitev pogodbe o uporabi, najemu, skupnem upravljanju, vzdrževanju uporabljene infrastrukture ali zemljišč, pridobiti soglasja in pogodbe za dobavo električne energije in telekomunikacijskih storitev ter z lastniki zemljišč urediti medsebojne pogodbene odnose.

Geodetska merila: Med terenskimi ogledi za ovrednotenje lokacij je bilo treba preveriti možnosti izvajanja različnih geodetskih meritev na lokaciji točke oziroma do točke, ustreznost reliefa in dostopnost z vozilom. Izvesti je bilo treba meritve ovir za sprejem signala GNSS, preveriti prisotnost virov elektromagnetnega sevanja, ki bi lahko motili sprejem signala GNSS (radijski in drugi oddajniki, daljnovodi ipd.), ter oceniti, ali je v bližini motiča prometna infrastruktura in drugi objekti, ali obstaja možnost hitrih intervencij in ali je v prihodnosti predvidena gradnja novih objektov v bližini. Pri izbiri lokacij na letališčih je bilo treba preveriti, kateri del območja je najmanj obljuden (ljudje, letala ...), in oceniti, kako pogosti so preleti letal oziroma ali obstaja možnost morebitnih zbiranj večjih množic ljudi na mitingih, turističnih prireditvah in podobno.

Prostorske omejitve: Ker nam je točke kombinirane geodetske mreže, skladno z Uredbo o razvrščanju objektov glede na zahtevnost gradnje (Uradni list RS, št. 18/2013, 24/2013, 26/2013), med projektom izgradnje uspelo uvrstiti v kategorijo enostavnih objektov št. 22: »Pomožni objekt za spremljanje stanja okolja in naravnih pojavov«, za gradnjo točke ni bilo treba pridobiti gradbenega dovoljenja, temveč le lokacijsko informacijo za gradnjo objektov oziroma izvajanje drugih del na zemljiščih ali objektih. Pridobljene lokacijske informacije so bile podlaga za nadaljnje pridobivanje soglasij, če so bile na izbranem zemljišču prisotne prostorske omejitve.

Geološke študije: Izdelane so bile za lokacije, ki smo jih uvrstili v ožji izbor. V njih so podane geološke ocene glede sestave tal, predvidene globine trdne podlage, hidroloških razmer, tektonskih struktur in

drugo. Na podlagi geoloških študij je bil izbran tudi ustrezen način in globina temeljenja (Stopar et al., 2013, 2014a, 2014b).

1.2.1 Letališče Prilozje na območju makrolokacije v jugovzhodni Sloveniji

Letališča so bila zanimiva predvsem zaradi ugodne geomorfologije območij. Ustreznost letališč smo preverjali na vseh štirih območjih makrolokacij po vseh navedenih merilih, in sicer: letališče v Bovcu, Murski Soboti, Prilozju in Slovenj Gradcu. Zahtevanim merilom je ustrezalo le letališče v Prilozju v Beli krajini, ki je bilo tudi izbrano za lokacijo točke kombinirane geodetske mreže na območju jugovzhodne Slovenije (slika 4).



Slika 4: Lokacija letališča Prilozje (levo, vir: GI), testne meritve GNSS na lokaciji (desno, vir: GURS).

Zemljišča, predvidena za gradnjo, so bila v lasti občine Metlika, s katero je bila kasneje sklenjena pogodba o ustanovitvi stvarne služnostne pravice in pogodba o ustanovitvi stavbne pravice na podlagi predhodno pridobljenega sklepa občinskega sveta občine Metlika, ki je Gursu dodelil stavbno pravico. Ugotovitve preliminarnega poročila o litostratigrafskih in hidroloških značilnostih lokacije so pokazale, da je ob ustrezni prilagoditvi temeljenja lokacija z geološkega stališča sprejemljiva. Na podlagi lokacijskih informacij, ki ju je izdala občina Metlika, zemljišča niso bila del zavarovanih območij (Stopar et al., 2013).

2.2.2 Naselje Šentvid pri Stični v osrednji Sloveniji

Za makrolokacijo v osrednji Sloveniji smo na podlagi analize lastništva določili devet potencialnih lokacij: tri v okolici gradu Bogenšperk, dve na območju Golovca in po eno v Šentvidu pri Stični, Muljavi, Krumperku in Dolskem. Po preverjanju meril je bila izbrana lokacija v Šentvidu pri Stični (slika 5).

Zemljišča, predvidena za lokacijo točke, so bila v lastništvu Republike Slovenije (upravljavalec Center za zdravljenje boleznih otrok), občine Ivančna Gorica in Rimokatoliškega župnijstva Šentvid. Z vsemi so bile sklenjene pogodbe o ustanovitvi stvarne služnostne pravice, s Centrom za zdravljenje boleznih otrok pa dodatno še pogodba o ustanovitvi stavbne pravice. Geološka študija lokacije je pokazala, da je ugodna za točko kombinirane geodetske mreže, saj leži na trdni podlagi in je malo verjetno, da bi aktivne tektonske deformacije v prihodnje vplivale na stabilnost točke. Na podlagi lokacijske informacije, ki jo je izdala občina Ivančna Gorica, so bili pridobljeni kulturno-varstveni pogoji Zavoda za varstvo kulturne dediščine Slovenije (Stopar et al., 2014a).



Slika 5: Lokacija naselja Šentvid pri Stični (levo, vir: GI), testne meritve na izbrani lokaciji (desno, vir: GURS).

2.2.3 Hrib Korada v severozahodni Sloveniji

Za območje točke v severozahodni Sloveniji smo na podlagi analize lastništva določili pet potencialnih lokacij: dve v Bovcu in po eno na Koradi, Šentviški planoti in v Tolminu. Po preverjanju meril je bila izbrana lokacija na Koradi (slika 6).

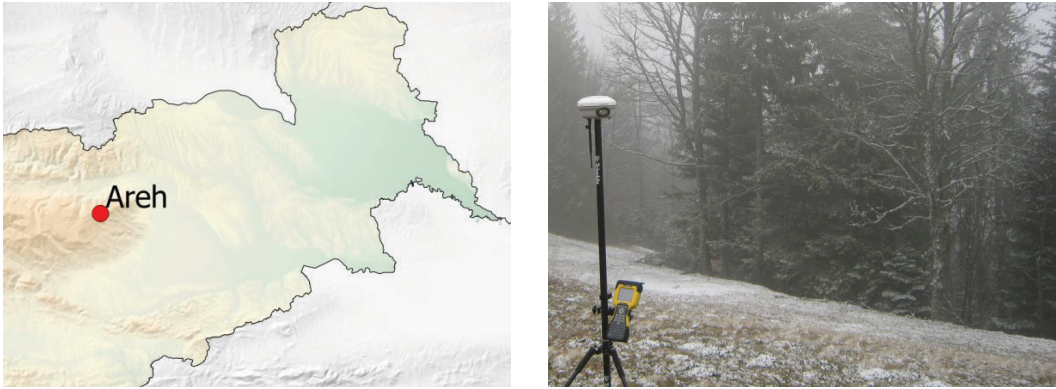


Slika 6: Lokacija na Koradi – najvišji vrh v zaledju Goriških brd (levo, vir: GI), testne meritve na izbrani lokaciji (desno, vir: GURS).

Zemljišča, predvidena za gradnjo na Koradi, so bila v lasti Republike Slovenije in v upravljanju Sklada kmetijskih zemljišč in gozdov Republike Slovenije. S slednjim je bila sklenjena pogodba o ustanovitvi stvarne služnostne pravice in pogodba o ustanovitvi stavbne pravice. V neposredni bližini lokacije točke kombinirane geodetske mreže na tem območju stoji tudi trigonometrična točka 1. reda Korada. Rezultati geološke študije so pokazali, da je lokacija primerna za točko kombinirane geodetske mreže, analiza strukture in tektonike pa, da v bližini izbrane lokacije ne potekajo pomembni tektonski prelomi. Na podlagi lokacijske informacije, ki jo je izdala občina Kanal ob Soči, je bilo pridobljeno naravovarstveno soglasje, v katerem so bile opredeljene ustrezne usmeritve med gradnjo. ARSO je izdal sklep, da za predvideni poseg v prostor vodno soglasje ni potrebno. Pridobljeno je bilo tudi strokovno mnenje Zavoda Republike Slovenije za varstvo narave, v katerem so bile podane zahteve za prilagoditev gradnje (Stopar et al., 2014b).

2.2.4 Planota Areh v severovzhodni Sloveniji

Za makrolokacijo v severni Sloveniji smo na podlagi prostorske analize lastništva določili devet potencialnih lokacij: dve na letališču Slovenj Gradec in po eno na Rogli, Arehu, Hrastovcu, Mislinji, Slemenu, Narovskem vrhu in Navrškem vrhu. Po preverjanju meril je bila izbrana lokacija na Arehu (slika 7).

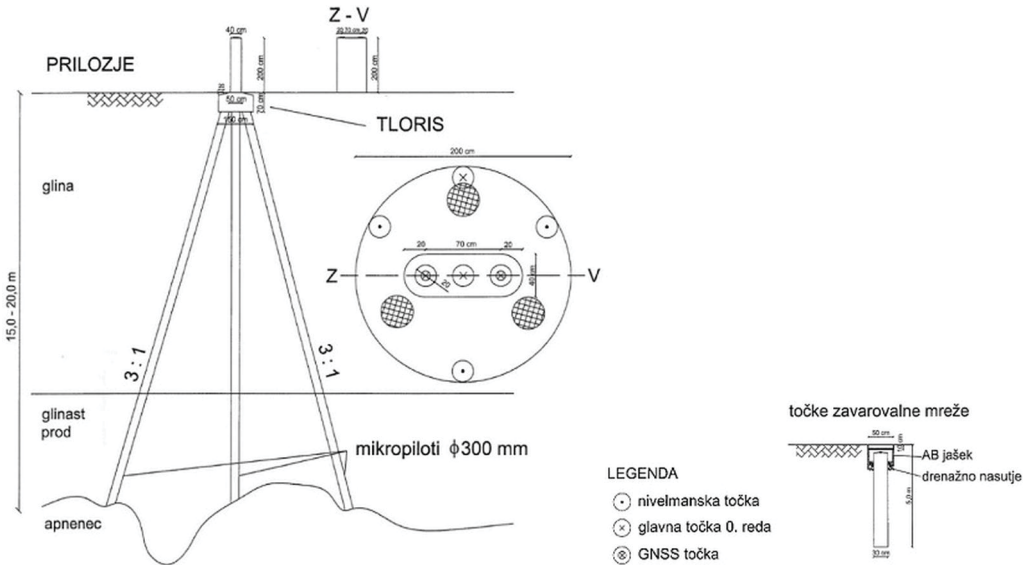


Slika 7: Lokacija planote Areh (levo, vir: GI), testne meritve na izbrani lokaciji (desno, vir: GURS).

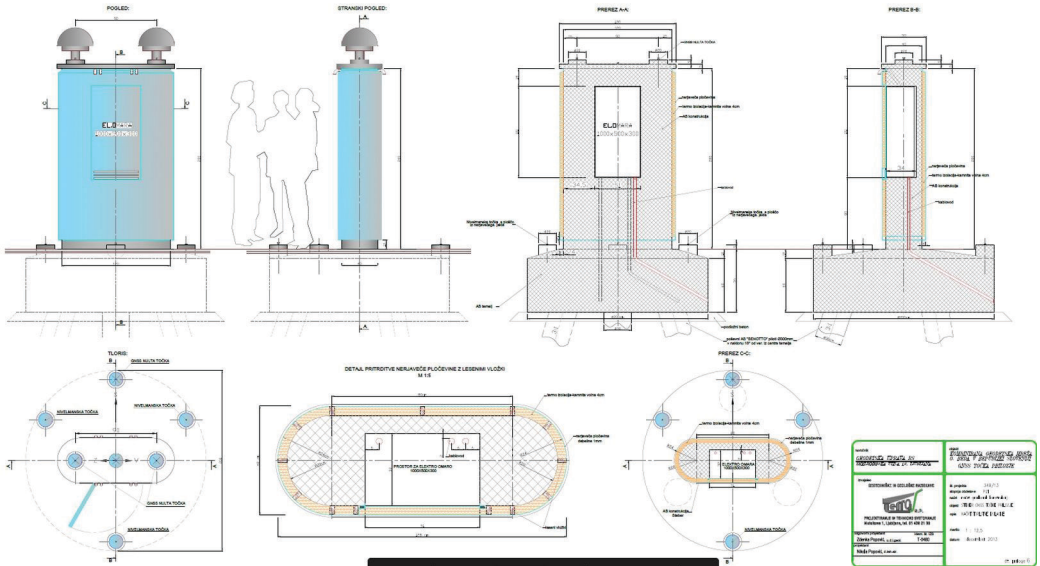
Zemljišča, predvidena za gradnjo na Arehu, so bila v solastništvu Planinske zveze Slovenije in Planinskega društva Ruše, od katerih smo pridobili soglasje za postavitev točke kombinirane geodetske mreže. S solastnikoma je bila sklenjena pogodba o ustanovitvi stavbne pravice in pogodba o ustanovitvi stvarne služnostne pravice. Rezultati geološke študije in preliminarno opravljeni strojni izkop sta pokazala, da je trdna kamninska podlaga na globini 2,5 metra in da je lokacija primerna za gradnjo. Na podlagi lokacijske informacije, ki jo je izdala občina Slovenska Bistrica, je bilo pridobljeno soglasje krajevne skupnosti Šmartno na Pohorju za poseg v prostor na predvidenih zemljiščih (Stopar et al., 2014b).

2.3 Izgradnja – stabilizacija točk kombinirane geodetske mreže Slovenije

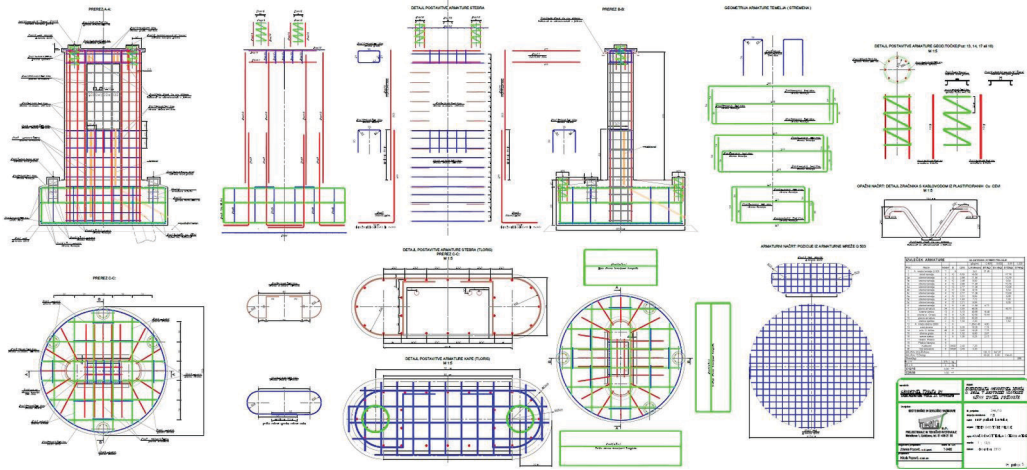
Vzporedno s postopkom izbora mikrolokacij so bili raziskani načini stabilizacije oziroma temeljenja in izgradnje stalnih postaj GNSS v tujini. Analizirane so bile relacije med geološkimi značilnostmi lokacij in njihovo stabilizacijo nekaterih obstoječih stalnih postaj omrežij GNSS v tujini: FreDNet (it. *Friuli Regional Deformation Network*), GREF (nem. *Integriertes Geodätisches Referenznetz Deutschlands*), izbrane postaje EUREF, APOS (angl. *Austrian Positioning Service*) in AGNES (angl. *Automated GNSS Network for Switzerland*) (Stopar et al., 2013). Načini stabilizacije in temeljenja točk kombinirane geodetske mreže v Sloveniji so se prilagajali predhodno ugotovljenim geološkim značilnostim posameznih lokacij. Načrti za gradnjo so bili izdelani v okviru projektov za izvedbo (PZI), kjer so bile opredeljene podrobne tehnične rešitve in detajlni načrti temeljenja, gradbenih konstrukcij in električnih inštalacij ter opreme za vsako točko (slike 9–11). Izdelalo jih je podjetje TERRAS, s. p., na podlagi izhodišč, ki so bila podana v gradbeni zasnovi stabilizacije točk kombinirane geodetske mreže na Kogu in v Prilozju. Gradbeno zasnovo so izdelali na Katedri za mehaniko tal z laboratorijem UL FGK v sodelovanju z Oddelkom za geodezijo UL FGK (slika 8). S PZI smo zagotovili predvidljivo, kakovostno in natančno gradnjo, ki je bila stalno pod nadzorom nadzornika gradnje. Gradnjo točke kombinirane geodetske mreže v Prilozju prikazuje slika 12.



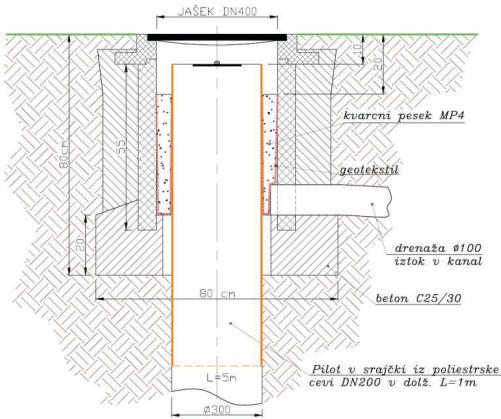
Slika 8: Gradbena zasnova stabilizacije točke kombinirane geodetske mreže v Prilozju (levo) in točke zavarovalne mreže (desno) (vir: Logar et al., 2013).



Slika 9: Načrt (PZI) točke kombinirane geodetske mreže v Prilozju (vir: Popović et al., 2013).



Slika 10: Armaturni načrt stebra (PZI) točke kombinirane geodetske mreže v Prilozju (vir: Popović et al., 2013).



Slika 11: Načrt točke zavarovalne mreže (PZI) (levo, vir: Popović et al., 2013) in točka zavarovalne mreže v gradnji v Prilozju (desno, vir: GURS).



Slika 12: Betoniran krožni temelj in armatura stebra (levo), steber pred izolacijo (sredina), točka kombinirane geodetske mreže v Prilozju po izgradnji in v obratovanju (desno) (vir: GURS, 2014).

Izdelava projektov za gradnjo je bila pri vseh točkah kombinirane geodetske mreže podobna. Gradnja se je razlikovala predvsem v načinih temeljenja in nekoliko v izvedbi stabilizacije. Tako imamo na lokacijah Prilozje, Šentvid pri Stični, Areh in Korada na stebru po dve točki GNSS, na lokacijah Kog in Koper pa po eno.

Gradnjo točk kombinirane geodetske mreže na preostalih štirih lokacijah prikazujejo slike 13–16.



Slika 13: Gradnja točke kombinirane geodetske mreže na Kogu (levo vir: TERRAS, s. p., desno vir: GURS).



Slika 14: Gradnja točke kombinirane geodetske mreže v Šentvidu pri Stični (levo vir: TERRAS, s. p., desno vir: GURS).

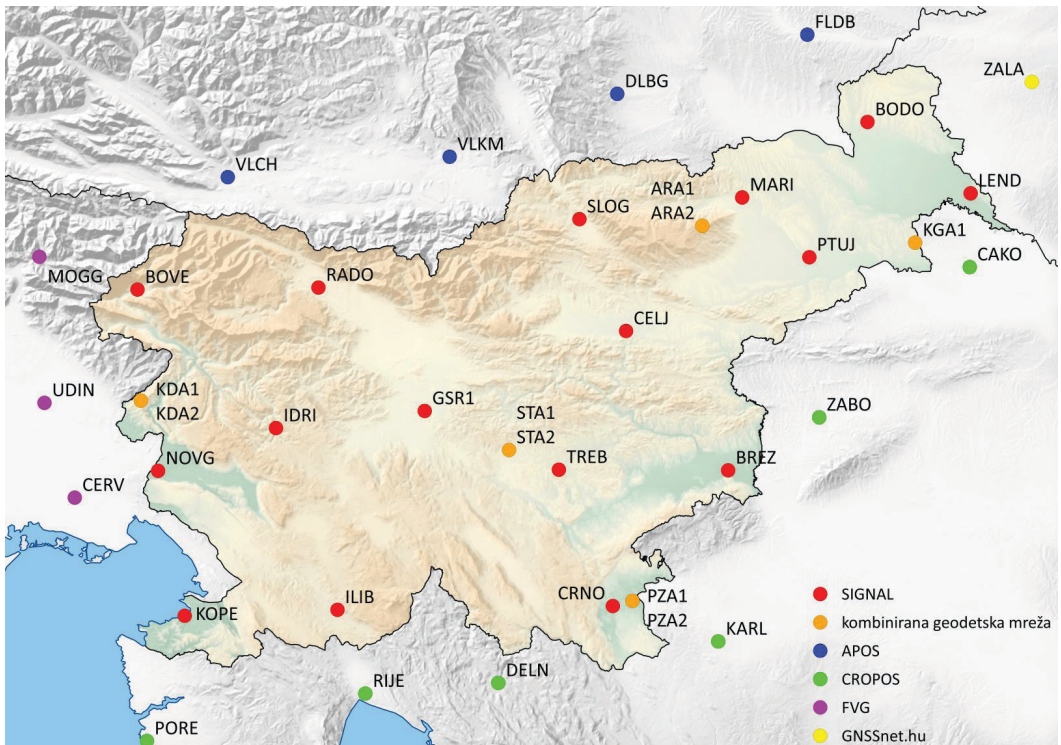


Slika 15: Gradnja točke kombinirane geodetske mreže na Koradi (levo vir: TERRAS, s. p., desno vir: GURS).



Slika 16: Gradnja točke kombinirane geodetske mreže na Arehu (levo vir: TERRAS, s. p., desno vir: GURS).

Prostorsko umeščenosť vseh točk kombinirane geodetske mreže, skupaj s stalnimi postajami omrežja SIGNAL in postajami omrežij sosednjih držav, prikazuje slika 17.



Slika 17: Razporeditev stalnih postaj SIGNAL in kombinirane geodetske mreže (vir: GI, 2019).

2.4 Meritve pred začetkom obratovanja točk kombinirane geodetske mreže

V sklopu projektov *Razvoj geodetskega referenčnega sistema 2014* in *Implementacija kombinirane geodetske mreže in višinske komponente ESRS v državni geodetski referenčni sistem*, ki sta bila izvedena v okviru na-

vedenega podprojekta *Geodetski referenčni okvir (GRFR)*, je bil izdelan projekt povezave vseh šestih točk kombinirane geodetske mreže na horizontalni, višinski in gravimetrični sistem ter izvedba terestričnih, GNSS, nivelmanskih in gravimetričnih meritev.

V neposredni bližini vsake točke kombinirane geodetske mreže je vzpostavljena geodetska mikromreža, ki je namenjena kakovostni določitvi medsebojnih relacij (horizontalnih kotov, zenitnih razdalj, poševnih razdalj in višinskih razlik) med referenčnimi točkami in točkami zavarovalne mikromreže (Stopar et al., 2015). Kakovostna določitev relacij med vsemi naštetimi točkami omogoča:

- izvedbo kakovostnih redukcij geodetskih opazovanj, opravljenih z različnimi meritvami (GNSS, klasične meritve, niveliranje, gravimetrija) med posameznimi referenčnimi točkami,
- ponovno vzpostavitev referenčnih točk ob morebitni poškodbi ali uničenju in
- spremljanje stabilnosti posameznih referenčnih točk skozi čas.

Na vseh šestih točkah kombinirane geodetske mreže smo tako izvedli tako imenovano ničelno terestrično in izmero GNSS mikromreže. Za spremljanje stabilnosti posameznih referenčnih točk je bila izvedena tudi prva ponovna terestrična in izmera GNSS zavarovalne mikromreže. Poleg terestričnih in meritev GNSS so bile opravljene tudi nivelmanske in gravimetrične meritve. Nivelman do točke kombinirane geodetske mreže je potekal od reperjev nivelmanske mreže 1. reda, gravimetrična izmera se je izvedla z relativno gravimetrično izmero (Stopar et al., 2016). Na vseh šestih točkah kombinirane geodetske mreže je bila izvedena ločena izravnava meritev v okviru mikromrež, ločeno po komponentah (višinska, horizontalna mreža), ter izravnava terestričnih meritev v okviru trirazsežnih geodetskih mrež. Na podlagi meritev GNSS so bile izračunane koordinate točk kombinirane geodetske mreže v koordinatnem sistemu D96/TM ter njihove elipsoidne in geoidne višine (Stopar et al., 2016).

V nadaljevanju članka je predstavljena zanesljivost delovanja stalnih postaj GNSS kombinirane geodetske mreže in kakovost točk kombinirane geodetske mreže na podlagi dvoletnih opazovanj GNSS.

3 OCENA ZANESLJIVOSTI DELOVANJA STALNIH POSTAJ GNSS KOMBINIRANE GEODETSKE MREŽE

Točke GNSS v kombinirani geodetski mreži so opremljene z namenskimi sprejemniki in antenami GNSS za stalno delujoče referenčne postaje. Vse na novo zgrajene točke so opremljene tudi s senzorjem nagiba, s katerim se spremlja stabilnost temeljne plošče, na kateri stoji steber točke. Štiri izmed petih na novo zgrajenih točk (Areh, Korada, Prilozje in Šentvid pri Stični) so opremljene tudi z meteorološkimi postajami, ki stalno merijo zračni tlak, temperaturo, relativno vlažnost, smer in moč vetra ter količino padavin. Podrobnejši pregled instrumentarija posameznih stalnih postaj GNSS je podan v preglednici 1.

Podatki stalnih postaj GNSS kombinirane geodetske mreže se v realnem času prenašajo in shranjujejo v arhiv kombinirane geodetske mreže. Nadzor kakovosti njihovega delovanja se izvaja neprekinjeno, za kar skrbi programski paket *Alberding GNSS Status Software*. Skrbniku stalnih postaj GNSS kombinirane geodetske mreže so v realnem času na voljo številni podatki o delovanju posamezne postaje – dosegljivost postaje, število opazovanih satelitov, število izvedenih in število možnih opazovanj, razmerje med signalom in šumom za posamezno nosilno valovanje, faktorji DOP, število izpadov signala, velikost večpotja,

zakasnitev pridobitve podatkov itd. Z modulom *Alberding PPP Monitoring* se na podlagi dnevnih določitev koordinat postaj z metodo PPP (angl. *Precise Point Positioning*) spremlja stabilnost vseh točk GNSS kombinirane geodetske mreže.

Preglednica 1: Instrumentarij posameznih stalnih postaj GNSS kombinirane geodetske mreže.

Lokacija točke	Ime referenčne točke GNSS	Sprejemnik GNSS	Antena GNSS	Senzor nagiba	Meteorološka postaja
Areh	ARA1	Leica GR30	Leica AR20	/	/
	ARA2	Leica GR25	Leica AR20	Leica Nivel 210	Vaisala WXT520
Korada	KDA1	Leica GR30	Leica AR20	/	/
	KDA2	Leica GR25	Leica AR20	Leica Nivel 210	Vaisala WXT520
Kog	KGA1	Leica GR25	Leica AR20	Leica Nivel 210	/
Koper	KOPE	Leica GR25	Leica AR20	/	/
Prilozje	PZA1	Leica GR25	Leica AR20	Leica Nivel 210	Vaisala WXT520
	PZA2	Leica GRX1200 PRO	Leica AR20	/	/
Šentvid pri Stični	STA1	Leica GRX1200 PRO	Leica AR20	/	/
	STA2	Leica GR25	Leica AR20	Leica Nivel 210	Vaisala WXT520

Služba za GNSS na Geodetskem inštitutu Slovenije v okviru nadzora delovanja vodi evidenco vseh težav pri delovanju stalnih postaj GNSS kombinirane mreže. Od pričetka njihovega operativnega delovanja, tj. od 1. 1. 2016, do 31. 12. 2018 je bilo zabeleženih 67 dogodkov (preglednica 2). Vidimo lahko, da je daleč največ težav (55) povezanih s telekomunikacijsko infrastrukturo. Najpogosteje se zgodi, da telekomunikacijska oprema (modem ali usmerjevalnik) postane neodzivna in posledično postaja izgubi povezavo z glavnim strežnikom. V teh primerih se o težavi obvesti telekomunikacijskega operaterja, ki težavo odpravi. V obravnavanem obdobju sta s stabilnostjo podatkovne povezave največ težav imeli postaji na Arehu in Koradi (preglednica 2). Podatkovna povezava postaje na Arehu je od oktobra 2018 naprej boljša in od takrat naprej ni več zaslediti prekinitev v povezavi. Podatkovna povezava do postaj na Koradi je vzpostavljena le prek mobilnega omrežja, pri čemer je bila postaja do maja 2019 opremljena z modемом, ki je podpiral le omrežji 2G in 3G. Signal omrežja 3G je na lokaciji postaje lahko izredno slab, signal 2G pa ima premalo pasovne širine. Težavo smo rešili z namestitvijo modema, ki podpira tudi omrežje 4G. Na postaji Kog se je leta 2017 pokvaril senzor nagiba, zato ga je bilo treba zamenjati. Trikrat se je tudi zgodilo, da je zaradi težav na električnem omrežju prišlo do izpada električne energije na Geodetskem inštitutu Slovenije in je za krajši čas prenehal delovati glavni strežnik kombinirane geodetske mreže. Ostale zabeležene težave niso imele večjega vpliva na kakovost delovanja stalnih postaj GNSS.

Stalne postaje GNSS kombinirane geodetske mreže niso namenjene uporabi v realnem času. Njihova naloga je zagotavljanje niza čim bolj neprekinjenih opazovanj GNSS, ki bo omogočal vzpostavitev časovne vrste koordinat točk najvišje kakovosti. Kakovost oziroma zanesljivost delovanja stalnih postaj GNSS tako lahko ocenimo tudi na podlagi popolnosti arhiva opazovanj GNSS. V preglednici 3 podajamo stanje arhiva za prva tri leta operativnega delovanja postaj GNSS kombinirane geodetske mreže, in sicer za leta 2016, 2017 in 2018.

Preglednica 2: Pregled evidentiranih težav stalnih postaj GNSS kombinirane geodetske mreže v obdobju od 1. 1. 2016 do 31. 12. 2018.

Lokacija	Merska oprema stalne postaje	Programska oprema omrežja	Telekomunikacijska infrastruktura	Elektroenergetska infrastruktura	Skupaj
Areh	1	0	25	0	26
Korada	0	0	15	0	15
Kog	2	0	9	0	11
Koper	0	0	0	0	0
Prilozje	1	0	4	0	5
Šentvid pri Stični	1	0	1	0	2
GI	0	4	1	3	8
Skupaj	5	4	55	3	67

Preglednica 3: Arhiv opazovanj stalnih postaj GNSS kombinirane geodetske mreže za obdobje od 1. 1. 2016 do 31. 12. 2018.

Točka GNSS	Operativni pričetek delovanja	Število možnih epoh	Število shranjenih epoh	Odstotek popolnosti arhiva
ARA1	2. 12. 2017	1.137.600	1.102.364	96,9026 %
ARA2	1. 1. 2016	3.156.480	3.155.251	99,9611 %
KDA1	2. 12. 2017	1.137.600	1.102.640	96,9269 %
KDA2	3. 1. 2016	3.150.720	3.150.671	99,9984 %
KGA1	1. 1. 2016	3.156.480	3.153.982	99,9209 %
KOPE	1. 1. 2016	3.156.480	3.156.340	99,9956 %
PZA1	1. 1. 2016	3.156.480	3.154.139	99,9258 %
PZA2	1. 1. 2016	3.156.480	3.144.452	99,6189 %
STA1	28. 1. 2016	3.156.480	3.064.895	99,6442 %
STA2	1. 1. 2016	3.156.480	3.156.034	99,9859 %

Analiza popolnosti arhiva podatkov opazovanj GNSS pokaže, da je ta za večino točk višja od 99,5 %. Večina težav v delovanju stalnih postaj GNSS kombinirane geodetske mreže ne vpliva na popolnost arhiva, saj se opazovanja, poleg tega, da se v realnem času prenašajo in shranjujejo v arhiv, shranjujejo tudi neposredno na spominsko kartico v sprejemnikih, kar omogoča naknadno dopolnitev vira.

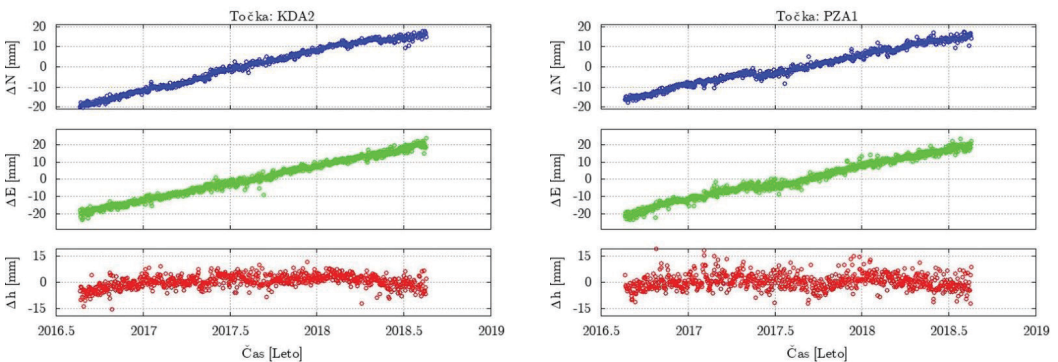
4 ČASOVNE VRSTE KOORDINAT STALNO DELUJOČIH POSTAJ GNSS V KOMBINIRANI GEODETSKI MREŽI

Opazovanja GNSS vseh stalnih postaj kombinirane geodetske mreže se dnevno obdelujejo v okviru razvojne naloge *Analitični center mreže 0. reda in njen vpliv na geodetski referenčni sistem* (Fabiani et al., 2018). V obdelavo so poleg stalno delujočih postaj GNSS kombinirane geodetske mreže vključene še vse stalno delujoče postaje omrežja SIGNAL, stalno delujoče postaje z obmejnih območij sosednjih držav in stalno delujoče postaje omrežja EPN v vseh sosednjih državah ter stalno delujoče postaje omrežja IGS z območja celotne Evrope.

Namen naloge je ocena (določitev) koordinat vseh stalno delujočih postaj za vsak dan za celotno obdobje delovanja vseh postaj. Tako pridobljene časovne vrste koordinat postaj nam zagotavljajo podlago za spre-

mljanje stanja geodetskega referenčnega koordinatnega sistema v daljšem časovnem obdobju, kakor ga realizirajo koordinate postaj kombinirane geodetske mreže (Sterle, 2015). Seveda podajajo tudi vpogled v kakovost stabilizacije stalno delujočih postaj in v kakovost opazovanj GNSS.

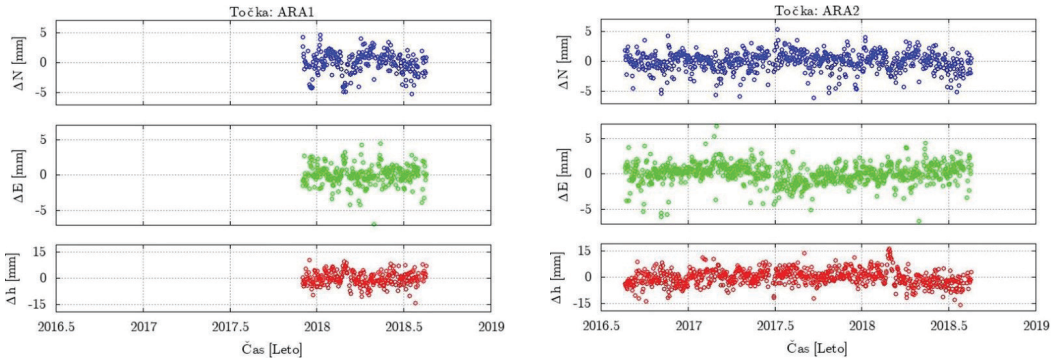
Obdelava opazovanj poteka na dva načina. V prvem primeru uporabljamo programski paket *Bernese GNSS Software, Version 5.2* (Bernese, 2019) (Dach et al., 2015), ki deluje na podlagi dvojnih faznih razlik, torej na relativni način. V drugem primeru uporabljamo programsko opremo lastne izdelave (Oddelek za geodezijo UL FGG), program *gPPP*, ki deluje po načelu metode Precise Point Positioning (PPP), torej na absolutni način (Sterle et al., 2014; Sterle, 2015). Oba postopka obdelave temeljita na najkakovostnejšem modeliranju sistematičnih vplivov in pogreškov v opazovanjih GNSS, zato zagotavljata rezultate z visoko stopnjo kakovosti. Postopka obdelave sledita navodilom obdelave opazovanj GNSS omrežij EPN (http://www.epncb.oma.be/_documentation/guidelines/guidelines_analysis_centres.pdf, pridobljeno dne 28. 3. 2019) in IGS (<ftp://ftp.igs.org/pub/center/analysis/>, pridobljeno dne 28. 3. 2019), ki zagotavljajo najkakovostnejšo obdelavo opazovanj GNSS pri statični izmeri na podlagi dnevni datotek opazovanj GNSS. Ker se rezultati med seboj statistično ne razlikujejo (Sterle, 2015), bomo v nadaljevanju predstavili le rezultate metode PPP. Rezultat obdelave opazovanj GNSS z metodo PPP so ocenjene koordinate stalno delujočih postaj GNSS za vsak dan, za celotno obdobje delovanja postaje oziroma izvajanja opazovanj GNSS. Za stalno delujoče postaje GNSS kombinirane geodetske mreže imamo trenutno določene koordinate za obdobje od sredine leta 2016 do sredine leta 2018 (Fabiani et al., 2018; Oven et al., 2019). Ocenjene koordinate so določene v zadnji realizaciji koordinatnega sestava ITRF, to je ITRF2014 (Altamimi et al., 2016), kjer se na območju Slovenije koordinate spreminjajo za približno 3 cm/leto v smeri proti severovzhodu. Primera časovnih vrst koordinat za postaji KDA2 (Korada 2) in PZA1 (Priloga 1) sta na sliki 18.



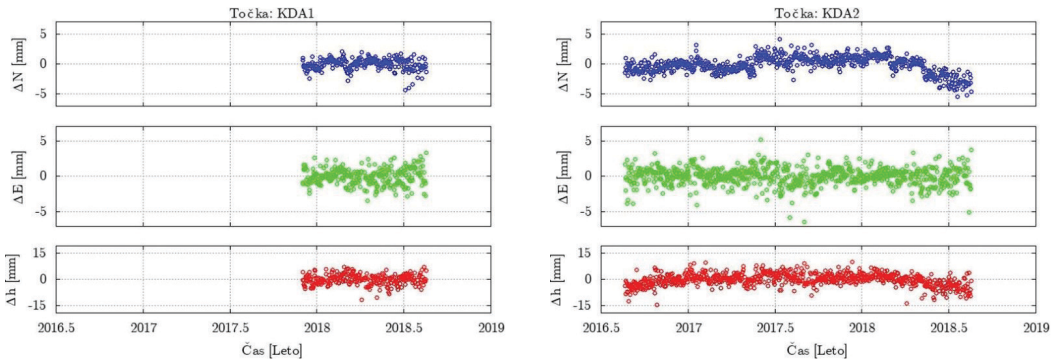
Slika 18: Časovne vrste koordinat stalno delujočih postaj KDA2 (levo) in PZA1 (desno), predstavljene v smereh N, E in h v koordinatnem sestavu ITRF2014.

S slike 18 je razvidno, da se položaj točke spreminja za približno 3 cm/leto in da točka »potuje«^{proti severu in vzhodu}. Ker je to gibanje v večini le posledica gibanja evrazijske litosferske plošče glede na telo Zemlje (globalni koordinatni sistem), premika točke po višini (skoraj) ni. Kakovost stalno delujoče postaje je zaradi velikega premikanja točke v času s slike 18 težko razbrati. Zato časovne vrste obdelamo tako, da vsaki postaji z metodo najmanjših kvadratov ocenimo konstanten vektor hitrosti (Brockmann, 1996) in časovne vrste predstavimo kot odstopanje koordinat točke od linearnega trenda gibanja točke

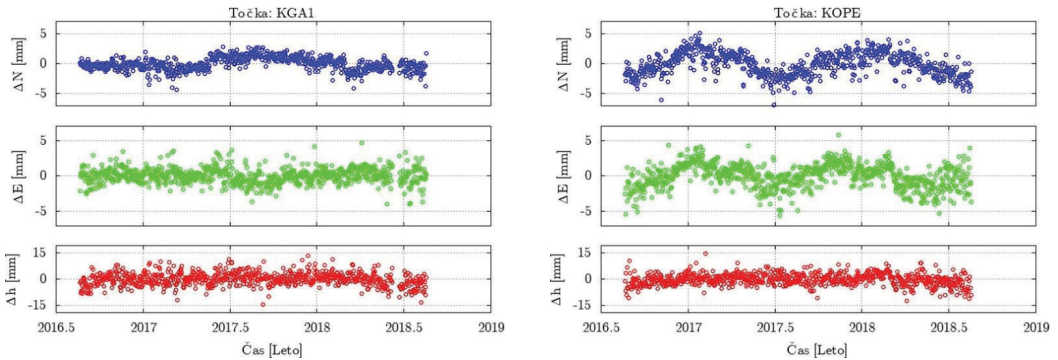
v globalnem koordinatnem sestavu. Kakovost ocenjenega vektorja hitrosti je bolj odvisna od dolžine časovnega intervala časovnih vrst koordinat, ki je trenutno dve leti. Dveletno časovno obdobje je prekratko za pridobitev kakovostnih vektorjev hitrosti, saj se zaradi prisotnosti sistematičnih in slučajnih pogreškov v časovnih vrstah priporoča časovni interval vsaj treh let (Santamaría-Gómez et al., 2011). Primeri časovnih vrst koordinat, kjer so odstranjene vrednosti vektorjev premika, so podani na grafih slik 19–23.



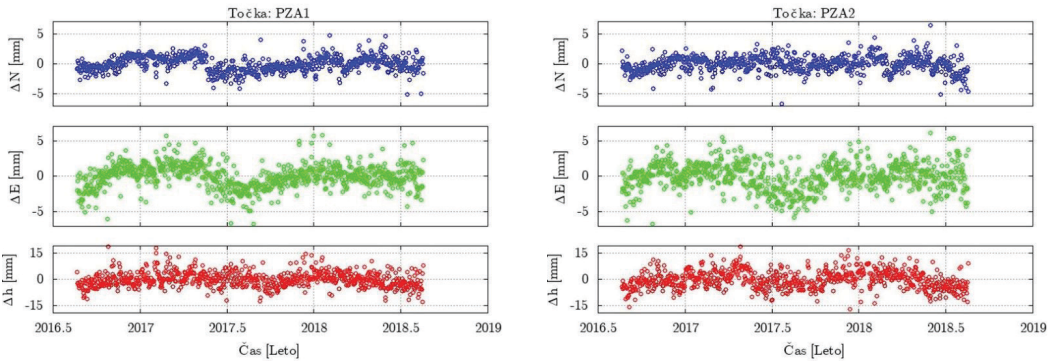
Slika 19: Časovne vrste koordinat stalno delujočih postaj ARA1 (levo) in ARA2 (desno), predstavljene v smereh N, E in h, po odstranjenem vektorju hitrosti.



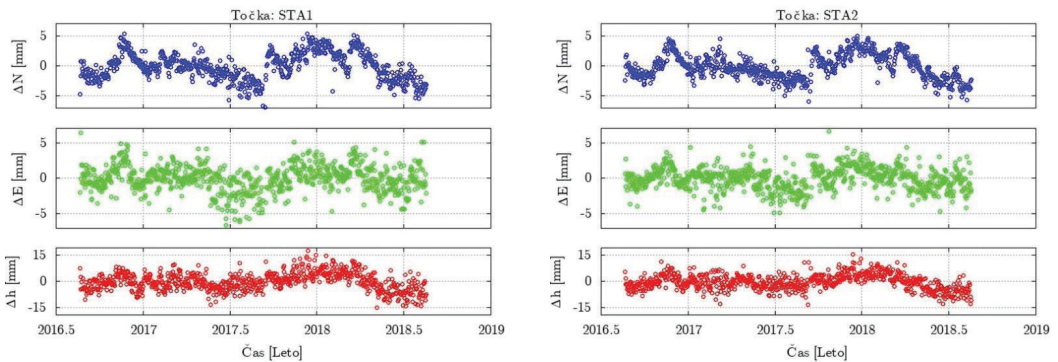
Slika 20: Časovne vrste koordinat stalno delujočih postaj KDA1 (levo) in KDA2 (desno), predstavljene v smereh N, E in h, po odstranjenem vektorju hitrosti.



Slika 21: Časovne vrste koordinat stalno delujočih postaj KGA1 (levo) in KOPE (desno), predstavljene v smereh N, E in h, po odstranjenem vektorju hitrosti.



Slika 22: Časovne vrste koordinat stalno delujočih postaj PZA1 (levo) in PZA2 (desno), predstavljene v smereh N, E in h, po odstranjenem vektorju hitrosti.



Slika 23: Časovne vrste koordinat stalno delujoči postaj STA1 (levo) in STA2 (desno), predstavljene v smereh N, E in h, po odstranjenem vektorju hitrosti.

Slike 19–23 prikazujejo časovne vrste koordinat po odstranitvi vektorja hitrosti za vse stalno delujoče postaje GNSS kombinirane geodetske mreže. Razvidno je, da postaje niso operativne enako časovno obdobje, saj sta bili postaji ARA1 in KDA1 vzpostavljeni šele konec leta 2017. Razpršenost koordinat točk okoli srednje vrednosti (linearnega trenda-vektorja hitrosti) je predstavljena s standardnimi odkloni v preglednici 4. Od tod je razvidno, da je ponovljivost (razpršenost) koordinat velikosti milimetra po obeh horizontalnih koordinatah in nekaj milimetrov za višino. Sklepamo lahko, da so ocenjene koordinate točk kombinirane geodetske mreže visoke natančnosti.

Preglednica 4: Natančnost ocenjenih koordinat postaj GNSS kombinirane geodetske mreže po posamezni koordinatni komponenti.

POSTAJA GNSS	ARA1	ARA2	KDA1	KDA2	KGA1	KOPE	PZA1	PZA2	STA1	STA2
[mm]	1,9	1,7	0,9	1,4	1,1	1,9	1,3	1,3	2,3	2,1
[mm]	1,5	1,8	1,7	1,3	1,4	1,8	1,7	2,1	2,1	1,7
[mm]	3,9	4,5	3,0	3,5	3,6	3,4	4,4	5,7	5,5	4,6

Iz grafov časovnih vrst (slike 19–23) lahko opazimo nekaj razlik. Zaželeno »oblika« časovnih vrst je samo časovna vrsta za postaji ARA1 in ARA2, saj predstavljata časovni vrsti koordinat, ki so konstantne v času, kjer so dnevne koordinate naključno (normalno) razpršene okoli srednje vrednosti. Takšna odstopanja dnevnih koordinat postaj od srednjih vrednosti so v večini posledica le slučajnih vplivov. Podobni sta tudi časovni vrsti koordinat postaj KDA1 in KDA2, z izjemo zadnjega pol leta za komponento N na postaji KDA2, kjer se časovne vrste razlikujejo od točke KDA1. Vse ostale postaje pa že na pogled vsebujejo sistematične pogoške v časovnih vrstah, tudi v nezveznosti (postaja PZA1). Vzrokov za zdaj ne poznamo, v splošnem pa jih iščemo v vplivih, kot so zamenjava opreme, atmosferska refrakcija, večpotje, lokalni premiki točk, nihanje podtalnice in podobno (Gazeaux et al., 2013; Sánchez et al., 2018). Iskanju vzrokov za sistematične vplive na ocenjene koordinate točk v času bo treba v prihodnosti posvetiti kar nekaj pozornosti.

Primer časovnih vrst postaj STA1 in STA2 prikazuje časovne vrste, pri katerih so v ocenjenih dnevnih koordinatah prisotni sistematični vplivi, ki so za obe postaji enaki (levi in desni graf na sliki 23 sta skoraj enaka). Ker je na postajah nameščen različen instrumentarij, lahko ugotovimo, da ta ni vzrok za pogoške koordinat. Verjetno tudi večpotje ni vzrok, saj ga različni sprejemniki in antene GNSS različno obravnavajo in odpravljajo. Ker so časovne vrste obeh postaj skoraj enake, so vzroki zelo verjetno v neposredni okolici, v atmosferi, v tleh ali v izvedbi stabilizacije ali temeljenja točke. Pri postajah PZA1 in PZA2 je najprej treba analizirati vpliv instrumentarija in njegove zamenjave, saj sta časovni vrsti na postajah različni. Ker sta točki GNSS stabilizirani na istem stebru, je verjetnost, da se točki dejansko različno premikata, majhna. Pri postaji KGA1 je razvidna nelinearnost le pri komponenti N, medtem ko se časovni vrsti komponent E in h zdita v redu. Če gledamo postajo KOPE, jasno vidimo sinusno obliko spremembe ravninskih koordinat (E in N), a stabilno višinsko komponento. Tu gre zelo verjetno za lokalne premike ali/in atmosferske vplive.

V prihodnosti bodo postaje GNSS kombinirane geodetske mreže, skupaj s postajami omrežja SIGNAL, zagotavljale ogrodje državnega koordinatnega sistema. Če želimo zagotoviti kakovost državnega koordinatnega sistema in nanj navezanih prostorskih podatkov, je treba zagotoviti visoko kakovost koordinatnega sistema oziroma določite koordinat postaj kombinirane geodetske mreže in omrežja SIGNAL. To lahko zagotovimo le prek vzpostavljenih in analiziranih časovnih vrst koordinat vseh postaj.

5 SKLEP

V članku je podan pregled aktivnosti pri izboru lokacij, postopkov pred začetkom gradnje, same gradnje, pregled delovanja, določitev koordinat na dnevni osnovi za prvi dve leti obratovanja postaj GNSS, predstavljena je prva analiza stabilnosti vseh točk kombinirane geodetske mreže Slovenije. Zasnova stabilizacije, geološke lastnosti lokacije, višina podtalnice in ovire v bližini točke lahko pomembno vplivajo na dolgoročno kakovost koordinat ter tudi na stabilnost posamezne točke. Pregled delovanja postaj GNSS kaže, da merska oprema za izvajanje meritev GNSS in programska oprema, ki nadzira delovanje postaj GNSS, delujeta brezhibno. Vzpostavljene časovne vrste koordinat kažejo tudi na kakovostno stabilizacijo in lokacijo točk. Ponovljivost koordinat je na nekajmilimetrski ravni za horizontalne koordinate in približno 5-milimetrski ravni za višino. Z analizo časovnih vrst koordinat točk kombinirane geodetske mreže trenutno lahko podamo le prvo oceno stabilnosti točk, medtem ko bo na zanesljivejše rezultate treba počakati še nekaj let, da bodo časovne vrste dovolj dolge in bo iz njih mogoče identificirati moteče vplive.

Kombinirana geodetska mreža sestavlja ogrodje koordinatnega sistema, a to ne pomeni, da ni treba vzdrževati tudi omrežja SIGNAL, ki je uporabniško omrežje in uporabnikom omogoča neposreden dostop do državnega horizontalnega koordinatnega sistema prek produktov in podatkov, ki so v omrežju na voljo. Prav tako ne smemo pozabiti na temeljne državne geodetske točke in ostale točke, namenjene za uporabo drugih merskih tehnik, predvsem pri klasični terestrični geodetski izmeri.

V nadaljevanju nas v okviru delovanja kombinirane geodetske mreže čaka še precej aktivnosti, predvsem bo treba vzpostaviti časovne vrste za daljše časovno obdobje, opraviti obsežne analize časovnih vrst, na podlagi katerih bo poleg določitve vektorjev hitrosti mogoče ovrednotiti tudi druge vplive. Treba bo zagotoviti vključitev meritev GNSS vseh satelitskih sistemov (evropski Galileo, kitajski BDS, mogoče tudi SBAS) ter ugotoviti njihov vpliv na koordinate, časovne vrste in realizacijo državnega horizontalnega koordinatnega sistema. Ena od pomembnih nalog, ki je bila opredeljena že pred samim začetkom vzpostavljanja kombinirane geodetske mreže, je vključitev postaj GNSS kombinirane geodetske mreže v EPN, s čimer bomo zagotovili neprekinjeno kakovostno koordinatno povezavo slovenskega državnega ozemlja z vsemi realizacijami koordinatnih sistemov ITRS in ETRS. Tako bo izpolnjen tudi osnovni cilj vzpostavitve kombinirane geodetske mreže, to je zagotovitev najvišje kakovosti državnega koordinatnega sistema ter vseh podatkov, ki so vanj vključeni.

Zahvala

Predstavljeno delo v članku je bilo opravljeno v okviru podprojekta *Geodetski referenčni okvir (GRFR)*, ki je bil eden od štirih podprojektov projekta *Posodobitev prostorske podatkovne infrastrukture za zmanjšanje tveganj in posledic poplav*. Slednji je bil vključen v Memorandum o soglasju (MoS) za izvajanje Finančnega mehanizma Evropskega gospodarskega prostora za leta 2009–2014 (FM EGP), izvajala ga je Geodetska uprava Republike Slovenije (GURS) v sodelovanju z Ministrstvom za kmetijstvo in okolje ter s projektoma partnerjema norveško geodetsko upravo Statens Kartverk in islandsko geodetsko upravo Landmaelingar Islands. Nekatera dela so bila opravljena še v okviru ciljnih raziskovalnih projektov V2-1096 *Zasnova temeljne večnamenske državne geoinformacijske infrastrukture* in V2-1729 *Povečanje zanesljivosti javnih omrežij GNSS SIGNAL in 0. red*, ki sta bila izvedena v okviru različnih ciljnih raziskovalnih programov, sofinanciranih od Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS) in Geodetske uprave Republike Slovenije. Nekaj aktivnosti je bilo izvedenih tudi s finančno podporo ARRS v okviru raziskovalnega programa P20227 *Geoinformacijska infrastruktura in trajnostni prostorski razvoj Slovenije*.

Projekt izgradnje geodetskih točk kombinirane geodetske mreže je izvajalo več institucij. Ključni za izvedbo sta bili Oddelek za geodezijo Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani (prof. dr. Bojan Stopar in doc. dr. Božo Koler) ter Geodetski inštitut Slovenije (mag. Katja Oven, Sandi Berk, Niko Fabiani in mag. Vasja Bric). V projektu so sodelovali še Oddelek za geologijo Naravoslovnotehniške fakultete Univerze v Ljubljani (izr. prof. dr. Marko Vrabc) z namenom izdelave geoloških študij mikrolokacij, Katedra za mehaniko tal z laboratorijem UL FGG (izr. prof. dr. Janko Logar) z namenom izdelave gradbene zasnove izgradnje točk kombinirane geodetske mreže ter podjetje TERRAS, s. p. (Zdenka Popović in Nikola Popović), ki je izdelalo načrte za izgradnjo in izvajalo nadzor izgradnje geodetskih točk kombinirane geodetske mreže, medtem ko je bilo podjetje Grča gradnje d.o.o. zadolženo za izvedbo gradbenih del. Projekt izgradnje geodetskih točk kombinirane geodetske mreže je vseskozi

potekal v tesnem sodelovanju z Geodetsko upravo Republike Slovenije (mag. Klemen Medved, Žarko Komadina in mag. Jurij Režek).

Literatura in viri:

- Altamimi, Z., Rebischung, P., Metivier, L., Collilieux, X. (2016). ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling nonlinear station motions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 121 (8), 6109–6131. DOI: <https://doi.org/10.1002/2016JB013098>
- Bernese. <http://www.bernese.unibe.ch/docs/DOCUS2.pdf>, pridobljeno 11. 1. 2019.
- Brockmann, E. (1996). *Combination of Solutions for Geodetic and Geodynamic Applications of the Global Positioning System (GPS)*. Doktorska disertacija. Bern, Švica: Astronomski inštitut Univerze v Bernu.
- Dach, R., Lutz, S., Walser, P., Fridez, P. (2015). *Bernese GNSS Software Version 5.2*. Astronomski inštitut Univerze v Bernu, Bern, Švica.
- Fabiani, N., Ritlop, K., Oven, K., Sterle, O., Stopar, B. (2018). *Služba za GNSS 2018*. Končni elaborat, 2000 str.
- Gazeaux, J., Williams, S., King, M., Bos, M., Dach, R., Deo, M., Moore, A. W., Ostini, L., Petrie, E., Roggero, M., Teferle, F. N., Olivares, G., Webb, F. H. (2013). Detecting offsets in GPS time series: first results from the Detection of Offsets in GPS Experiment. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 118 (5), 2397–2407. DOI: <https://doi.org/10.1002/jgrb.50152>
- Koler, B., Stopar, B., Sterle, O., Urbančič, T., Medved, K. (2019). Nov slovenski višinski sistem SVS2010. *Geodetski vestnik*, 63 (1), 27–40. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2019.01.27-40>
- 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: <http://dx.doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2018.04.567-586>
- Oven, K., Ritlop, K., Triglav Čekada, M., Sterle, O., Stopar, B. (2019). Analiza kakovosti operativnega delovanja točke kombinirane geodetske mreže Kog. Raziskave s področja geodezije in geofizike. Zbornik del. Ljubljana, 2019.
- Pearlman, M., Plag, H. P. (ur.). 2009. *Global Geodetic Observing System: Meeting the Requirements of a Global Society on a Changing Planet in 2020*. Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-02687-4>
- Poutanen, M., Amalvict, M., Bruyninx, C., Francis, O., Ihde, J., Kallio, U., Kenyeres, A., Liebsch, G., Mäkinen, J., Shipman, S., Simek, J., Williams, S., Wilmes, H. (2014). *Future and Development of the European Combined Geodetic Network ECGN*. V: C. Rizos (ur.), P. Willis (ur.), *Earth on the Edge: Science for a Sustainable Planet*, International Association of Geodesy Symposia, 139, Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-37222-3_15
- Režek, J. (2015). Odrptje prve državne geodetske točke O. reda – Prilozje. *Geodetski vestnik*, 59 (3), 634–636.
- Sánchez, L., Völksen, C., Sokolov, A., Arenz, H., Seitz, S. (2018). Present-day surface deformation of the Alpine region inferred from geodetic techniques. *Earth System Science Data*, 20 (3), 1503–1526. DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-10-1503-2018>
- Sterle, O. (2015). Časovno odvisne geodetske mreže in koordinatni sistemi. Doktorska disertacija. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Sterle, O., Pavlovčič Prešeren, P., Kuhar, M., Stopar, B. (2009). Definicija, realizacija in vzdrževanje modernih koordinatnih sistemov. *Geodetski vestnik*, 53 (4), 679–694.
- Sterle, O., Stopar, B., Pavlovčič Prešeren, P. 2014. Metoda PPP pri statični izmeri GNSS. *Geodetski vestnik*, 58 (3), 466–481. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2014.03.466-481>
- Stopar, B., Kuhar, M. (2001). Moderni geodetski koordinatni sistemi in astrogeodetska mreža Slovenije. *Geodetski vestnik*, 45 (1/2), 11–26.
- Stopar, B. (2007). Vzpostavitev ESRS v Sloveniji. *Geodetski vestnik*, 51 (4), 763–776.
- Stopar, B., Koler, B., Ambrožič, T., Pavlovčič Prešeren, P., Kuhar, M., Sterle, O., Štebe, G., Urbančič, T., Oven, K., Janežič, M., Bajec, K., Berk, S., Bric, V. (2013). Izdelava projektne dokumentacije za točke kombinirane mreže O. reda. Projekt 2433-13-0003. Elaborat: 1. faza, 2. faza. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije in Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 166 str.
- Stopar, B., Koler, B., Ambrožič, T., Pavlovčič 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 O. reda. Projekt 2433-13-0003. Elaborat: 3. faza: točka Šentvid pri Stični. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije in Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 46 str.
- Stopar, B., Koler, B., Ambrožič, T., Pavlovčič 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 O. reda. Projekt 2433-13-0003. Elaborat: 3. faza: točke Areh, Koper in Korada. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije in Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 43 str.
- Stopar, B., Koler, B., Kogoj, D., Ambrožič, T., Pavlovčič 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. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije in Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 216 str.
- Stopar, B., Koler, B., Kogoj, D., Ambrožič, T., Pavlovčič 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. (2015). Razvoj geodetskega referenčnega sistema 2014. Projekt št. 2433-13-0003. Zaključni elaborat. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije in Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 295 str.



Oven K., Ritlop K., Triglav Čekada M., Pavlovčič Prešeren P., Sterle O., Stopar B. (2019). Vzpostavitev kombinirane geodetske mreže v Sloveniji in analiza njenega delovanja v obdobju 2016–2018. *Geodetski vestnik*, 63 (4), 491–513.

DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2019.04.491-513>

mag. Katja Oven, univ. dipl. inž. geod.

Geodetski inštitut Slovenije
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: katja.oven@gis.si

doc. dr. Polona Pavlovčič Prešeren, univ. dipl. inž. geod.

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

Klemen Ritlop, mag. inž. geod. geoinf.

Geodetski inštitut Slovenije
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: klemen.ritlop@gis.si

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

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

doc. dr. Mihaela Triglav Čekada, univ. dipl. inž. geod.

Geodetski inštitut Slovenije
Univerza v Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: mihaela.triglav@gis.si

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

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