

POVEČANJE ZANESLJIVOSTI GNSS-OMREŽIJ SIGNAL IN 0. RED

INCREASE OF RELIABILITY OF THE SIGNAL AND ZERO-ORDER GNSS NETWORKS

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

UDK: 528.28
Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.04
Prispelo: 19. 11. 2019
Sprejeto: 30. 11. 2019

DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2019.04.514-524
PROFESSIONAL ARTICLE
Received: 19. 11. 2019
Accepted: 30. 11. 2019

IZVLEČEK

Služba za GNSS na Geodetskem inštitutu Slovenije že več kot desetletje operativno upravlja državno omrežje stalno delujočih GNSS-postaj SIGNAL, od leta 2016 pa ima v upravljanju tudi stalno delujoče postaje kombinirane geodetske mreže. V tem obdobju smo se srečali z različnimi težavami v delovanju vseh segmentov omrežja stalno delujočih GNSS-postaj in si nabrali mnogo izkušenj na celotnem področju upravljanja in nadzora kakovosti delovanja GNSS-omrežij. Tako smo se leta 2018 v sodelovanju s Katedro za matematično in fizikalno geodezijo ter navigacijo UL FGG in Geodetsko upravo Republike Slovenije dogovorili za izvedbo raziskovalnega projekta Povečanje zanesljivosti javnih omrežij GNSS SIGNAL in 0. red, v katerem smo na podlagi vseh pridobljenih izkušenj oblikovali metodologijo za posodobitev in izboljšanje veljavnih postopkov za celostno upravljanje obeh omrežij, s poudarkom na povečanju zanesljivosti in izboljšanju nadzora kakovosti njenega delovanja. V tem prispevku predstavljamo rezultate navedenega projekta.

ABSTRACT

For more than a decade, the GNSS Service at the Geodetic Institute of Slovenia has been managing the national GNSS CORS network SIGNAL, and since 2016 also the GNSS part of the national Zero-Order Geodetic Network. During this period, different problems in the operation of CORS networks have been encountered, and much experience in the field of management and quality control of CORS networks has been gained. In cooperation with the Chair of Mathematical and Physical Geodesy and Navigation at the UL FGG and the Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia, a research project named 'The increase of reliability of public GNSS network SIGNAL and combined zero-order geodetic network was carried out in 2018 and 2019. Based on all the experience gained, a methodology for upgrading and improving the current procedures for management of both national CORS networks, with an emphasis on improving operational reliability and the quality control of both networks, was developed. In this article, the results of that project are presented.

KLJUČNE BESEDE

omrežje SIGNAL, kombinirana geodetska mreža, geodetska mreža 0. reda, GNSS-omrežje, zanesljivost delovanja, nadzor kakovosti

KEY WORDS

SIGNAL network, combined geodetic network, zero-order geodetic network, GNSS network, operational reliability, quality monitoring

1 UVOD

Geodetska uprava Republike Slovenije je lastnik dveh državnih omrežij GNSS-postaj. Omrežji operativno upravlja Služba za GNSS, ki deluje na Geodetskem inštitutu Slovenije. Prvo je omrežje SIGNAL, ki ga trenutno sestavlja šestnajst domačih in štirinajst tujih stalno delujočih GNSS-postaj in ki ga pri svojem delu dnevno uporabljajo slovenski geodeti ter drugi uporabniki. Drugo omrežje oziroma mrežo sestavlja deset stalno delujočih GNSS-postaj na šestih lokacijah državne kombinirane geodetske mreže (oziroma geodetske mreže 0. reda, kot jo tudi imenujemo). Kombinirana geodetska mreža je bila vzpostavljena leta 2016 kot ogrodje državnega prostorskega koordinatnega sistema najvišje kakovosti. Podrobnosti glede vzpostavitve obeh omrežij in njune vpetosti v državno prostorsko infrastrukturo so predstavili Medved et al. (2018), Ritlop et al. (2018a), Berk et al. (2019) in Oven et al. (2019a, 2019b). Glede na vlogi, ki ju imata omrežji, je jasno, da morata biti kakovostno vzpostavljeni ter delovati kakovostno in nemoteno. Obstoječi nadzor delovanja omrežja SIGNAL in stalno delujočih GNSS-postaj kombinirane geodetske mreže izvaja Služba za GNSS s programsko opremo *Trimble Pivot Platform*, *Alberding GNSS Software*, *Alberding PPP Monitoring* in *Alberding-QC* v skladu z obstoječimi internimi metodologijami in postopki. V Službi za GNSS smo v sodelovanju z Geodetsko upravo Republike Slovenije in Katedro za matematično in fizikalno geodezijo ter navigacijo Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani ugotovili, da bi bilo obstoječo metodologijo in praktične postopke nadzora kakovosti treba posodobiti in nadgraditi. V projektu *V2-1729: Povečanje zanesljivosti javnih omrežij GNSS SIGNAL in 0. red*, ki je bil del *Ciljnega raziskovalnega programa CRP 2017* Javne agencije Republike Slovenije za raziskovalno dejavnost, smo si (Služba za GNSS in UL FGG KMFNG) kot cilj zadali pripraviti predloge za izboljššan nadzor in učinkovitejše reševanje:

- težav na področju delovanja omrežja SIGNAL in stalno delujočih GNSS-postaj kombinirane geodetske mreže (na primer težav s strojno in programsko opremo ter težav, povezanih s kakovostjo različnih produktov omrežja za določitev položaja v realnem času in z naknadno obdelavo);
- težav individualnih uporabnikov omrežja SIGNAL (na primer težav pri povezavi z omrežjem, zaradi napačnih nastavitvev GNSS-instrumenta);
- težav, ki niso neposredno povezane z omrežjem SIGNAL, vendar lahko uporabniki omrežja pomislijo na napako omrežja (na primer napačnega izvajanja GNSS-izmere, napak v postopku naknadne obdelave opazovanj, nepravilnega delovanja GNSS-instrumenta).

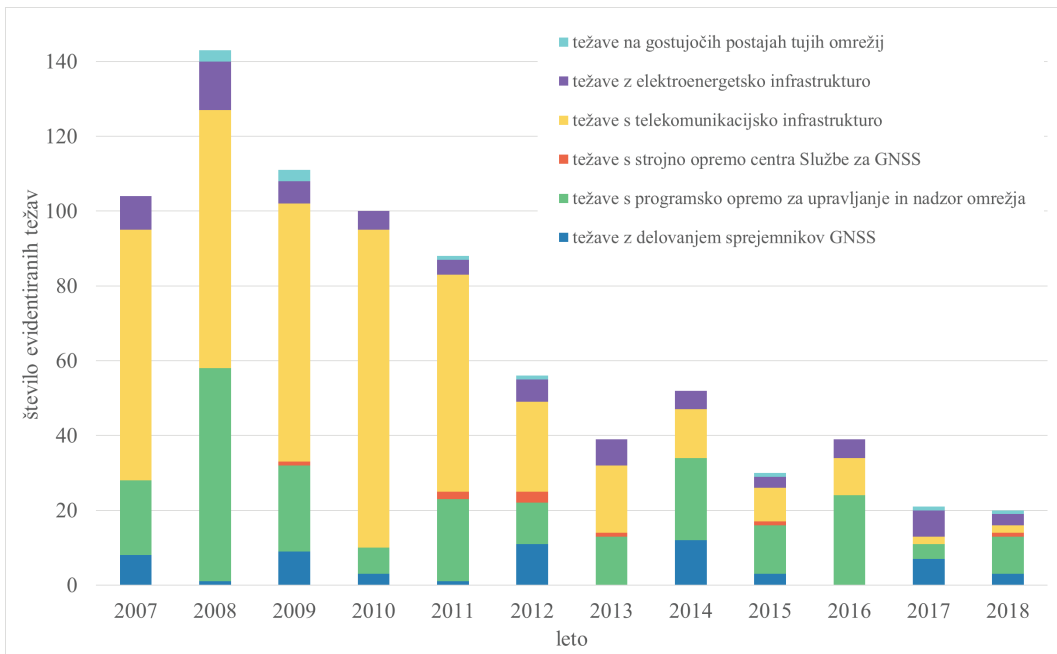
Prvi korak projekta sta sestavljala analiza tehničnih težav obravnavanih GNSS-omrežij, skupaj z analizo klicev na klicni center omrežja SIGNAL, in pregled dobrih praks v primerljivih tujih omrežjih stalno delujočih GNSS-postaj. Dobljeni rezultati so nam bili izhodišče za nadaljnje delo. Razvili smo metodologijo, s katero bi nadgradili obstoječi nadzor kakovosti delovanja omrežja SIGNAL in stalno delujočih GNSS-postaj kombinirane geodetske mreže, kot tudi neposredno povečali zanesljivost njnega delovanja. Podali smo tudi predloge za implementacijo pripravljene metodologije v njuno redno delovanje. Rezultati projekta so podrobno opisani v končnem poročilu projekta (Triglav Čekada et al., 2019), ki je prosto dostopno na spleti strani projekta. V nadaljevanju so predstavljene bistvene ugotovitve in predlogi, ki so glavni rezultat projekta.

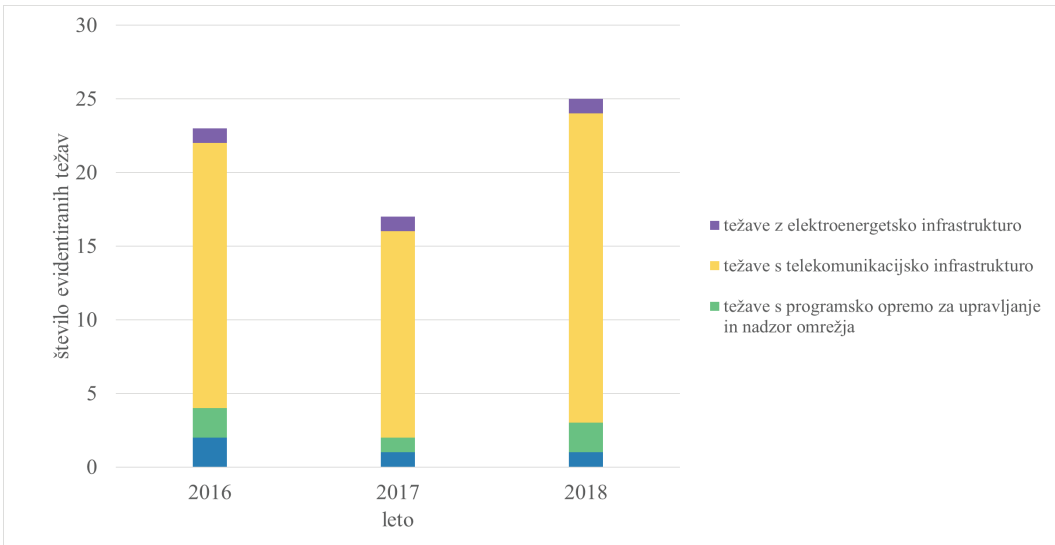
2 ANALIZA TEHNIČNIH IN UPORABNIŠKIH TEŽAV OMREŽJA SIGNAL IN STALNO DELUJOČIH GNSS-POSTAJ KOMBINIRANE GEODETSKE MREŽE

Služba za GNSS vodi evidenco tehničnih težav za obravnavani omrežji, in sicer za celotni obdobji njunega delovanja. Ta evidenca je bila, skupaj z mesečnimi poročili o delovanju in vzdrževalnih delih na obeh državnih omrežjih, izhodišče projekta. Pregled tehničnih težav in rezultate analize so že podrobno predstavili Ritlop et al. (2018b) za omrežje SIGNAL in Oven et al. (2019b) za stalno delujoče GNSS-postaje kombinirane geodetske mreže. Zato bomo v tem prispevku le na kratko ponovno predstavili glavne ugotovitve.

V prvih letih delovanja omrežja SIGNAL je bila večina težav povezanih z nezanesljivim delovanjem telekomunikacijske infrastrukture, to je mrežne opreme in internetnih povezav. S posodobitvami mrežne opreme in prehodom na profesionalno rešitev VPN v letu 2015 teh težav tako rekoč ni več. Trend zmanjševanja težav oziroma povečevanje stabilnosti in zanesljivosti v delovanju omrežja SIGNAL v času je viden na sliki 1. V zadnjih letih so motnje v delovanju omrežja SIGNAL povezane predvsem z manjšimi težavami v delovanju programske opreme za upravljanje in nadzor omrežja ter z napakami oziroma vzdrževalnimi deli na telekomunikacijskem in elektroenergetskem omrežju.

Tudi za stalno delujoče GNSS-postaje kombinirane geodetske mreže velja, da je največ težav povezanih s telekomunikacijsko infrastrukturo oziroma povezljivostjo postaj z glavnim strežnikom mreže (slika 1). Večina težav je povezanih s stabilnostjo telekomunikacijskih povezav postaj na Arehu in Koradi. Težave s stabilnostjo povezave postaje na Arehu so izginile oktobra leta 2018, ko so v bližnji Ruški koči obnovili elektroenergetsko infrastrukturo, medtem ko je težava na postaji Korada rešila namestitev modema s podporo mobilnega omrežja 4G maja 2019.





Slika 1: Število evidentiranih težav na omrežju SIGNAL v obdobju 2007–2018 (zgoraj) in na stalno delujočih GNSS-postajah kombinirane geodetske mreže v obdobju 2016–2018 (spodaj).

Pri analizi trenutne zanesljivosti delovanja omrežja SIGNAL nas je zanimalo tudi, s katerimi težavami se uporabniki najpogosteje obrnejo na klicni center omrežja SIGNAL. Zato smo za obdobje od 1. 5. do 31. 12. 2018 naredili statistiko prejetih klicev. Izmed 65 klicev, kar je povprečno osem klicev na mesec, jih je bilo kar 40 % s strani uporabnikov, ki imajo pogodbo za dostop do omrežja SIGNAL urejeno s Telekomom Slovenije, hkrati pa težave niso bile povezane z delovanjem omrežja SIGNAL. Dobra četrtina klicev je bila povezana s težavami pri povezavi z omrežjem SIGNAL ali z inicializacijo sprejemnika v času, ko je omrežje SIGNAL delovalo nemoteno. Slaba petina klicateljev je iskala pomoč oziroma informacije glede registracije za dostop do omrežja SIGNAL, nastavitve za povezavo do strežnika NTRIP ali pozabljenega gesla. Preostanek klicev, tj. 16 %, pa so predstavljali primeri, ko je bilo delovanje omrežja SIGNAL moteno zaradi težav na telekomunikacijski ali elektroenergetski infrastrukturi oziroma zaradi težav na infrastrukturi omrežja SIGNAL (strežniki, programska oprema, GNSS-instrumentarij). Statistika kaže, da je klicna podpora uporabnikom pomembna tako s tehničnega kot tudi z administrativnega vidika.

Za zmanjšanje deleža težav uporabnikov, ki niso neposredno povezane z delovanjem omrežja SIGNAL, smo v projektu oblikovali predloge za razširjeno redno izobraževanje geodetov, ki se poleg ustaljenih oblik, kot so predstavitve na Geodetskem dnevu in predavanja na Inženirski zbornici Slovenije, lahko izvaja tudi prek drugih neformalnih kanalov, kot je na primer GEOblog.

3 RAZVOJ IN TESTIRANJE RAZVITIH METODOLOGIJ ZA DODATNEN NADZOR OMREŽIJ

Rezultati analize tehničnih težav omrežja SIGNAL in GNSS-postaj kombinirane geodetske mreže, analize klicev na klicni center omrežja SIGNAL ter pregleda dobrih praks v primerljivih tujih omrežjih stalno delujočih GNSS-postaj so bili podlaga za razvoj metodologije za posodobitev in izboljšanje nadzora kakovosti in povečanje zanesljivosti delovanja državnih GNSS-omrežij. Oblikovano metodologijo smo razdelili na tri sklope:

i) Predlogi za izboljšanje dostopnosti in zanesljivosti delovanja omrežja SIGNAL in stalno delujočih GNSS-postaj kombinirane geodetske mreže:

- vzpostavitev samodejnega preklopa med glavnimi in redundantnimi strežniki omrežja SIGNAL, s čimer bi zagotovili nemoteno delovanje omrežja v primeru okvare na glavnem strežniškem sistemu;
- zagotovitev sekundarne (mobilne) internetne povezave za strežnike omrežja SIGNAL, s čimer bi bilo omrežje dosegljivo uporabnikom kljub izpadu primarne internetne povezave Službe za GNSS;
- nadgradnja brezprekinitvenega napajanja (sistem UPS) strežnikov obeh omrežij z namenom zvišanja avtonomije delovanja v primeru izpada električne energije;
- redno nadgrajevanje strojne programske opreme (angl. *firmware*) GNSS-sprejemnikov obeh omrežij, s čimer bi zagotovili stabilnejše delovanje sprejemnikov in vpeljavo novih, kakovostnejših algoritmov za obdelavo in filtriranje sprejetih GNSS-signalov.

ii) Predlogi za izboljšanje nadzora nad vodenjem in arhiviranjem GNSS-opazovanj ter drugih podatkov omrežja SIGNAL in stalno delujočih GNSS-postaj kombinirane geodetske mreže:

- posodobitev strežniške oziroma diskovne infrastrukture arhivov in postopkov arhiviranja GNSS-opazovanj ter podatkov obeh omrežij, s čimer bi izboljšali stopnjo varnosti hranjenja podatkov;
- vzpostavitev sistema samodejnega nadzora popolnosti arhivov GNSS-opazovanj, s čimer bi vzpostavili evidenco popolnosti arhivov, ki bi se posodabljala dnevno;
- vzpostavitev enotne metapodatkovne baze obeh omrežij;
- vzpostavitev nadzorno-informacijskega centra omrežja SIGNAL.

iii) Predlogi za izboljšanje nadzora kakovosti produktov omrežja SIGNAL za določitev položaja v realnem času:

- vzpostavitev stalnega nadzora mrežnega produkta VRS omrežja SIGNAL;
- vzpostavitev protokola nadzora RTK-produktov omrežja SIGNAL po potrebi.

Predlogi skupine (i) so namenjeni izboljšanju predvsem tehničnega vidika zanesljivosti delovanja omrežja SIGNAL in stalno delujočih GNSS-postaj kombinirane geodetske mreže. Z njihovo implementacijo v redno delovanje bi največ pridobili uporabniki, ki omrežje SIGNAL uporabljajo za določitev položaja v realnem času, saj bi bilo omrežje v primeru težav na elektroenergetski ali telekomunikacijski infrastrukturi centra Službe za GNSS še vedno dosegljivo. Z implementacijo predlogov skupine (ii) bi izboljšali samo upravljanje državnih GNSS-omrežij. Na eni strani bi se poenostavilo in izboljšalo vodenje metapodatkov o stalno delujočih postajah in njihovih opazovanjih ter drugih relevantnih podatkov, na drugi strani pa bi se zvišala stopnja varnosti hranjenja GNSS-opazovanj, ki so ključna z vidika zagotavljanja dolgoročne kakovosti državnega koordinatnega sistema. Predlogi skupine (iii) pa so namenjeni spremljanju in zagotavljanju visoke kakovosti vseh produktov in podatkov, ki jih uporabniki omrežja SIGNAL dnevno pridobivajo za določitev položaja v realnem času. V nadaljevanju bomo podrobneje opisali nekatere izbrane predloge.

3.1 Vzpostavitev stalnega nadzora mrežnega produkta VRS omrežja SIGNAL

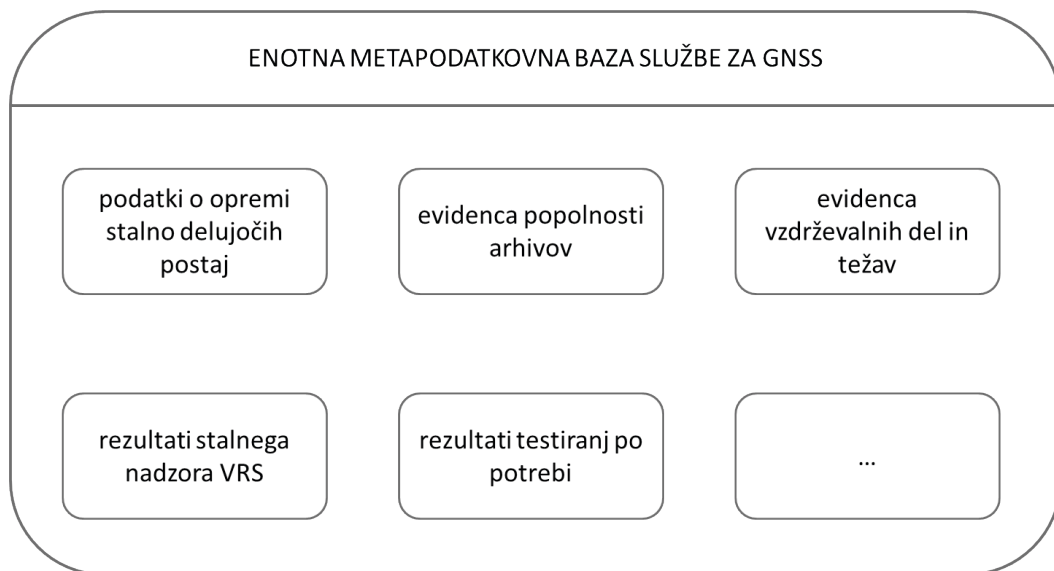
V praksi so v omrežju SIGNAL najpogosteje uporabljeni postopki za določitev položaja v realnem času – koncepta VRS (angl. *Virtual Reference Station*) in MAC (angl. *Master-Auxiliary Concept*) ter navezava na posamezno fizično stalno delujočo GNSS-postajo. V obravnavanem projektu smo razvili metodologijo

za vzpostavitev dodatnega stalnega nadzora mrežnega produkta VRS. Razloga za to sta dva: (i) le pri produktu VRS poteka del modeliranja vplivov na opazovanja že na ravni omrežja (pri navezavi na stalno delujočo GNSS-postajo ali uporabi mrežnega produkta MAC se celotna obdelava opazovanj izvede na strani uporabnika, tj. na premičnem sprejemniku) in (ii) po interni statistiki Službe za GNSS za določitev položaja premičnega sprejemnika v realnem času še vedno največ uporabnikov izbere koncept VRS.

Kakovost določitve položaja z uporabo mrežnega produkta VRS je močno odvisna od skladnosti v omrežju modeliranih vplivov na opazovanja (vpliv troposfere, ionosfere in pogreški tirnic satelitov) za lokacijo premičnega sprejemnika in dejanske velikosti teh vplivov na lokaciji premičnega sprejemnika v času izmere. Ker pravih vrednosti vplivov ne poznamo, kakovosti produkta VRS ni mogoče zvezno ocenjevati za območje celotne Slovenije. V praksi lahko kakovost produkta VRS ocenjujemo diskretno s kontrolno mrežo stalno delujočih GNSS-postaj, ki jih obravnavamo kot premične sprejemnike. Te postaje morajo imeti dobro določen položaj v državnem koordinatnem sistemu in ne smejo biti vključene v izračun mrežnega produkta VRS. Uporaba stalno delujočih GNSS-postaj kombinirane geodetske mreže za ta namen je skoraj samoumevna, saj izpolnjujejo oba pogoja, njihova uporaba za nadzor kakovosti produktov v omrežju SIGNAL ne prinaša dodatnih stroškov, hkrati pa je bil eden izmed glavnih ciljev vzpostavitve kombinirane geodetske mreže ravno stalen nadzor nad kakovostjo državnega koordinatnega sistema. Kakovost produkta VRS se ocenjuje posredno, prek primerjave položajev postaj kontrolne mreže (tj. postaj kombinirane geodetske mreže), določenih z RTK-metodo, z referenčnimi koordinatami postaj. Kot orodje za obdelavo GNSS-opazovanj smo izbrali prosto dostopen in odprtokoden program *RTKLIB*. Ta med drugim omogoča relativno kinematično določitev položaja v realnem času s kakovostjo, ki je primerljiva realni terenski RTK-izmeri. To smo tudi potrdili z izračuni, ki smo jih izvedli v okviru testiranja ustreznosti predlagane metodologije. S testi smo dodatno določili optimalne nastavitve programa *RTKLIB* in preverili stabilnost delovanja programa, ko ta brez prekinitve obdeluje opazovanja več dni. Vsi izvedeni testi so pokazali, da je *RTKLIB* primerno orodje za nadzor kakovosti mrežnega produkta VRS. V predlogu smo opredelili tudi cenilke kakovosti produkta VRS in njihove mejne vrednosti. Cenilke bi se kontinuirano izračunavale v realnem času in če bi presegle mejne vrednosti, bi sistem na to opozoril skrbnike omrežja SIGNAL. V projektu smo oblikovali predlog metodologije in izvedli testiranje, medtem ko realizacija predloga v vsakodnevno delovanje omrežja SIGNAL ni bila predmet tega projekta.

3.2 Predlog za vzpostavitev enotne metapodatkovne baze omrežja SIGNAL in stalno delujočih GNSS-postaj kombinirane geodetske mreže

Kljub relativni majhnosti omrežja SIGNAL in kombinirane geodetske mreže sta to še vedno kompleksna sistema, katerih upravljanje in nadzor ter zagotavljanje kakovostnega delovanja ni enostavno. Upravljanje vključuje tudi vodenje evidenc, ki vsebujejo najrazličnejše podatke – na primer številne metapodatke o postajah, skupaj s celotno zgodovino nameščenega GNSS-instrumentarija in druge opreme, podatke o težavah in vzdrževalnih delih na postajah ter podatke o popolnosti arhivov z GNSS-opazovanji. Služba za GNSS trenutno nima vzpostavljenih enotnih podatkovnih baz, ki bi se uporabljala kot enotna evidenca, temveč so zgoraj naštetih podatki shranjeni v različnih datotekah različnih formatov. Tako smo v okviru projekta izdelali konceptualni in logični model enotne metapodatkovne baze omrežja SIGNAL in kombinirane geodetske mreže. Zasnova metapodatkovna baza je modularna (slika 2).



Slika 2: Shematski prikaz posameznih segmentov metapodatkovne baze omrežij SIGNAL in 0. red.

Zaradi modularnosti lahko vzpostavitev baze poteka postopoma, v več korakih. Baza bi pomenila tudi podlago za različne aplikacije, kot so pregledovalnik popolnosti arhiva, kakovosti produkta VRS (v kombinaciji z implementacijo sistema za nadzor kakovosti produkta VRS – poglavje 3.1), aplikacija za samodejno generiranje log-datotek z informacijami o stalno delujočih GNSS-postajah ter aplikacija za samodejno generiranje mesečnih poročil o težavah in vzdrževalnih delih na omrežju. Dolgoročna vizija je, da bi, po vzoru primerljivih tujih omrežij, metapodatkovna baza pomenila podlago za nadzorno-informacijski center Službe za GNSS, del katerega bi bil namenjen tudi uporabnikom. Prek spletnega portala nadzorno-informacijskega centra bi bile uporabnikom na voljo informacije o statusu omrežja SIGNAL (status posameznih stalno delujočih postaj, dosegljivost dostopnih točk, podatki o aktivnosti ionosfere, o kakovosti mrežnega produkta VRS in o razpoložljivosti opazovanj za namen naknadne obdelave ter informacije in obvestila o delovanju omrežja SIGNAL).

3.3 Vzpostavitev protokola nadzora ponovljivosti RTK-izmere v omrežju SIGNAL ob sistemskih nadgradnjah

Nadgradnje in posodobitve programske opreme za nadzor in upravljanje omrežja SIGNAL običajno prinesejo nove funkcionalnosti ter praviloma izboljšajo kakovost in stabilnost delovanja omrežja. Kljub obsežnim testiranjem na strani proizvajalca se še vedno lahko zgodi, da nova različica programske opreme ne deluje po pričakovanjih – zaradi kompleksnosti sistema se lahko pojavijo težave, zaradi katerih delovanje omrežja ni stabilno oziroma so storitve slabše kakovosti. Služba za GNSS ob vsaki posodobitvi programskega paketa *Trimble Pivot Platform*, na katerem deluje omrežja SIGNAL, že izvaja različne teste stabilnosti in kakovosti delovanja omrežja. Nima pa še vzpostavljenega standardnega protokola, po katerem bi se izvajale posodobitve oziroma nadgradnje sistema in pripadajoča testiranja. V projektu smo zato oblikovali predlog protokola, ki bi se izvedel ob vsaki nadgradnji programske opreme omrežja SIGNAL. Namenjen je nadzoru kakovosti

obeh produktov omrežja SIGNAL za določitev položaja v realnem času, tj. VRS, MAC in podatkov za navezavo na posamezno stalno delujočo GNSS-postajo. V protokolu so opredeljeni postopki posodobitve sistema, terenske izmere in analize skladnosti koordinat. Sestavljajo ga tri ravni, in sicer:

- **I. raven – splošna kontrola kakovosti RTK-produktov:** V okolici Geodetskega inštituta Slovenije, kjer deluje Služba za GNSS, se vzpostavi in trajno stabilizira kontrolna mreža desetih do dvajsetih točk. V skladu z *Navodilom za izvajanje izmere ... (2006)* se izvede RTK-izmera vseh kontrolnih točk z vsemi tremi produkti omrežja SIGNAL za določitev položaja v realnem času. Sledi posodobitev redundantnega strežniškega sistema in ponovna izmera kontrolnih točk z uporabo redundantnega sistema. Če statistična analiza potrdi skladnost koordinat točk pred posodobitvijo in po njej ter če tudi II. raven kontrole ne pokaže težav v delovanju omrežja, se posodobi še glavni strežniški sistem. Ponovno se izvede izmera kontrolnih točk z uporabo glavnega sistema in opravi analiza skladnosti koordinat.
- **II. raven – kontrola kakovosti višinske komponente položaja:** Konceptualno gre za enak test kot pri I. ravni kontrole, le da se kontrolna mreža vzpostavi na območju, ki je vsaj 500 metrov više od okoliških postaj omrežja SIGNAL.
- **III. raven – kontrola kakovosti v izrednih primerih:** Obstaja možnost, da se po posodobitvi sistema pojavijo težave v delovanju omrežja le na nekem območju, ki se zaradi lokalne narave na I. in II. ravni kontrole ne zaznajo, opazijo pa jih uporabniki omrežja na tistem območju. V takšnem primeru potrebuje Služba za GNSS test, s katerim lahko potrdi ali ovrže, da težava izvira iz omrežja SIGNAL. V ta namen se lahko uporabijo točke kontrolne mreže, ki jo je vzpostavil GURS. Točke te mreže so stabilizirane po območju celotne Slovenije in imajo kakovostno določen položaj v državnem koordinatnem sistemu. Težave na omrežju je mogoče odkriti s primerjavo rezultatov RTK-izmere na izbranih točkah omenjene kontrolne mreže z znanim položajem (referenčnimi koordinatami) teh točk.

3.4 Zagotavljanje ponovljivosti RTK-izmere v omrežju SIGNAL skozi daljše časovno obdobje

Za zagotovitev dolgoročne kontinuitete koordinat, določenih v omrežju SIGNAL, je smiselno periodično izvajati dodatne in bolj poglobljene analize, s katerimi lahko potrdimo kakovost različnih postopkov izmere, ki jih lahko izvajamo z omrežjem SIGNAL (RTK in statična izmera). Zato smo v projektu opredelili kakovost:

- obdelave statičnih opazovanj v mreži, kjer so bili položaji točk VRS določeni na različnih oddaljenostih in višinskih razlikah od dane točke, in
- določitve večurnih istočasno izvedenih statičnih opazovanj in RTK-določitev koordinat.

Pri RTK-izmeri se VRS vzpostavi na podlagi sporočila NMEA GGA, ki ga pošlje uporabnik, na lokaciji, kjer se uporabnik poveže s strežnikom NTRIP omrežja SIGNAL. Položaj virtualne referenčne postaje, za katerega se izračunavajo podatki opazovanj, se nato med izmero ne spreminja. Izjema sta primera, ko se uporabnik od virtualne postaje oddalji za več kot 2 kilometra ali če se prekine povezava s strežnikom NTRIP. Pri naknadni obdelavi GNSS-opazovanj pa je izbira položaja točke VRS prepuščena uporabniku. Ta odločitev je še posebej pomembna pri vzpostavitvi GNSS-mrež, v katerih so točke na velikih višinskih razlikah. Ugotovili smo, da se z večanjem višinske razlike med točko VRS in omrežjem stalno delujočih GNSS-postaj povečujejo tudi končne razlike v izračunanih višinah novih točk. Če naše delovišče stoji na večji horizontalni ali višinski oddaljenosti od točk omrežja stalno delujočih GNSS-postaj, je smiselno položaje točk določati postopoma, prek višinskega poligona s spremembo višine od 200 do 300 metrov.

Za opredelitev kakovosti končnih produktov omrežij je treba testna območja vzpostaviti na različnih lokacijah, in sicer blizu ter na večji horizontalni oddaljenosti in predvsem večji višinski razliki od dejanskih stalno delujočih GNSS-postaj. To je pomembno zaradi ocene kakovosti modeliranih vplivov na GNSS-opazovanja, ki jih uporabniku zagotavlja omrežje stalno delujočih GNSS-postaj. Za opredelitev kakovosti določite položaja z različnimi metodami in za popolno skladnost z zahtevo, da je, še posebej pri RTK-metodi izmere, treba položaj določiti večkrat neodvisno po preteku določenega časa (vsaj 30 minut), smo na podlagi obsežnih analiz koordinat, določenih z RTK in statično GNSS-izmero, prišli do naslednjih ugotovitev:

- Statična GNSS-izmera je boljša izbira glede na kinematično izmero, in to ne glede na to, ali gre za naknadno obdelavo podatkov opazovanj ali za izmero v realnem času. Pri statični izmeri interval registracije signala ne vpliva bistveno na kakovost določite položaja, medtem ko sta izbira minimalnega višinskega kota (to dejansko pomeni, da v okolici točk ne sme biti visokih ovir) in predvsem dolžina trajanja opazovanj, ki naj bi bila vsaj eno uro ali več, pomembni in zelo vplivata na končno kakovost koordinat. Bazni vektorji naj bi bili krajši od 10 kilometrov, višinska razlika med dano in novo točko naj ne bi bila večja kot 200 metrov.
- Kakovost določite koordinat točk je odvisna od oddaljenosti delovišča od stalno delujoče GNSS-postaje. Za kakovost določite horizontalnega položaja oddaljenost od referenčne postaje niti ni tako pomembna, večji vpliv ima oddaljenost na kakovost določite višin. Na delovišču, ki je bilo v višinskem smislu od omrežja stalno delujočih postaj GNSS oddaljeno več kot 800 metrov, smo v statičnem načinu obdelave in ob uporabi VRS-postaje, vzpostavljene na območju delovišča, dobili do 4-centimetrski odstopanja od referenčnih (s terestrično izmero določenih) višinskih razlik. Na delovišču, ki je stalo v bližini stalno delujoče postaje v Ljubljani in je bilo v smislu višinske razlike minimalno oddaljeno od referenčne postaje, smo za na enak način izvedena opazovanja in enak postopke obdelave tako v horizontalnem kot v višinskem smislu določili koordinate, ki so se od referenčnih koordinat razlikovale le za nekaj milimetrov.
- Srednje vrednosti koordinat točk, določenih z večurno zaporedno določitvijo koordinat v RTK-načinu, se od referenčnih koordinat razlikujejo od nekaj milimetrov do nekaj centimetrov. Na podlagi tega lahko ugotovimo, da je določitev koordinat s statično metodo GNSS-izmere kakovostnejša od kinematičnih metod izmere, ne glede na to, ali je opravljena z naknadno obdelavo ali v realnem času.
- Iz časovne vrste koordinat, določenih z večurno zaporedno določitvijo koordinat v RTK-načinu, smo določili definicijsko območje koordinat, ki je velikosti nekaj centimetrov za horizontalni položaj, pri višini pa je večje, in sicer okrog 10 centimetrov za delovišče z minimalno višinsko razliko od bližnjih točk omrežja SIGNAL in okoli 15 centimetrov za delovišče, ki je bilo višje (800 metrov) od bližnjih točk omrežja SIGNAL. To vodi do ugotovitve, da je kakovost določite koordinat močno odvisna od lokacije delovišča glede na omrežje stalno delujočih GNSS-postaj. Ko je treba opraviti določitev koordinat na večji višinski oddaljenosti od omrežja SIGNAL, je za doseganje centimetrski točnosti višin treba izvesti nekajurna statična GNSS-opazovanja.

4 SKLEP

V projektu *Povečanje zanesljivosti javnih omrežij GNSS SIGNAL in 0. red* smo podali predloge za povečanje zanesljivosti delovanja omrežja SIGNAL in stalno delujočih GNSS-postaj kombinirane geodetske

mreže ter predloge za nadgradnjo obstoječega nadzora kakovosti njihovega delovanja. V okviru projekta so bili predlogi zgolj oblikovani in testirani, niso pa bili implementirani v operativno delovanje omrežja SIGNAL oziroma stalno delujočih GNSS-postaj kombinirane geodetske mreže. Ob postopnem dodajanju predlaganih rešitev v operativno delovanje Službe za GNSS lahko v prihodnosti pričakujemo še zanesljivejše in kakovostnejše delovanje obeh omrežij ter posledično še manj težav na strani uporabnikov. Vzporedno pa je treba poskrbeti tudi za redno izobraževanje uporabnikov na področju GNSS v različnih oblikah, od strokovnih objav v strokovnih in znanstvenih periodičnih publikacijah, predstavitev na rednih strokovnih srečanjih, kot je na primer Geodetski dan, in v okviru rednih izobraževanj za pooblaščen inženirje geodezije, ki jih izvaja Inženirska zbornica Slovenije, do neformalnih izmenjav mnenj in dobrih praks prek portala GEOblog.

Zahvala

Raziskava je bila delno opravljena v okviru raziskovalnega projekta *V2-1729: Povečanje zanesljivosti javnih omrežij GNSS SIGNAL in 0. red*, ki je bil izveden v okviru Ciljnega raziskovalnega programa *CRP 2017* ter sta ga sofinancirali Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije in Geodetska uprava Republike Slovenije iz državnega proračuna in delno v okviru raziskovalnega programa *P2-0227: Geoinformacijska infrastruktura in trajnostni prostorski razvoj Slovenije*, ki ga financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije iz državnega proračuna.

Literatura in viri:

- Berk, S., Fabiani, N., Koler, B., Komadina, Ž., Kuhar, M., Medved, K., Oven, K., Pavlovčič Prešeren, P., Režek, J., Ritlop, K., Sterle, O., Stopar, B., Triglav Čekada, M. (2019). National report of Slovenia to the EUREF 2019 symposium in Tallinn. V Report on the Symposium of the IAG Reference Frame Subcommittee for Europe (EUREF) held in Tallinn, Estonia, 21–24 May 2019. 6 str. <http://www.euref.eu/symposia/2019Tallinn/05-24-p-Slovenija.pdf>, pridobljeno 15. 9. 2019.
- Medved, K., Berk, S., Sterle, O., Stopar, B. (2018). Izzivi in dejavnosti v zvezi z državnim horizontalnim koordinatnim sistemom Slovenije. *Geodetski vestnik*, 62 (4), 567–586. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2018.04.567-586>
- Navodilo za izvajanje izmere z uporabo globalnih navigacijskih satelitskih sistemov v državnem koordinatnem sistemu. Različica 2.0, 20. 11. 2006 (2006). http://www.e-prostor.gov.si/fileadmin/ogs/Horizontalni_koordinatni_sistem_D96/Navodila/Navodilo_na_GNSS-izmero-v2.pdf, pridobljeno 26. 11. 2019.
- Oven, K., Ritlop, K., Triglav Čekada, M., Sterle, O., Stopar, B. (2019a): Analiza kakovosti operativnega delovanja točke kombinirane geodetske mreže Kog.V.M. Kuhar (ur.) et al. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2018. Zbornik del, str. 131–140. 24. srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko, Ljubljana, 31. januar 2019. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/SUGG/referati/2019/SZGG_2019-Oven_in_drugi.pdf
- Oven, K., Ritlop, K., Triglav Čekada, M., Pavlovčič Prešeren, P., Sterle, O., Stopar, B. (2019b). Vzpostavitev kombinirane geodetske mreže v Sloveniji in analiza njenega delovanja v obdobju 2016–2018. *Geodetski vestnik*, v tisku.
- Ritlop, K., Fabiani, N., Oven, K., Triglav Čekada, M. (2018a). Prvi dve leti kombinirane geodetske mreže 0. reda. V M. Kuhar (ur.) et al. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2017. Zbornik del, str. 103–112. 23. srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko, Ljubljana, 25. januar 2018. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/SUGG/referati/2018/SZGG_2018_Ritlop_in_dr.pdf
- Ritlop, K., Fabiani, N., Oven, K., Triglav Čekada, M. (2018b). Izboljšanje delovanja omrežja SIGNAL od leta 2007. *Geodetski vestnik*, 62 (4), 657–667. http://www.geodetski-vestnik.com/62/4/gv62-4_ritlop.pdf
- Triglav Čekada, M., Ritlop, K., Fabiani, N., Oven, K., Radovan, D., Pavlovčič Prešeren, P., Sterle, O., Kuhar, M., Stopar, B. (2019). CRP V2–2019: Povečanje zanesljivosti javnih omrežij GNSS SIGNAL in 0. red. Zaključno poročilo. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije. <http://www.gis.si/sl/predstavitev-projektov/v2-1729>



Ritlop K., Fabiani N., Oven K., Pavlovčič Prešeren P., Sterle O., Stopar B., Triglav Čekada M. (2019). Povečanje zanesljivosti GNSS-omrežij SIGNAL in O. red. Geodetski vestnik, 63 (4), 514-524.
 DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2019.04.514-524>

Klemen Ritlop, mag. inž. geod. geoinf.

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

Niko Fabiani, univ. dipl. inž. geod.

*Geodetski inštitut Slovenije
 Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija
 e-naslov: niko.fabiani@gis.si*

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

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

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

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

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

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

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

*Geodetski inštitut Slovenije
 Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija
 e-naslov: mihaela.triglav@gis.si*

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

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