

Obnova trigonometrične točke prvega reda št. 167 – Grintovec

Renovation of the First-Order Trig Point No. 167 – Grintovec

Sandi Berk, Peter Hojan, Marjan Kogelnik, Boštjan Vizjak

Uvod

Razvoj vesoljskih tehnologij je prinesel revolucionarne spremembe na področju geodezije. Klasične astronomske in geodetske meritve je za potrebe vzpostavitve in vzdrževanja horizontalne sestavine prostorskega referenčnega sistema v celoti nadomestila satelitska geodezija. Državna geodetska infrastruktura je bila zato v začetku novega tisočletja dopolnjena z omrežjem SIGNAL – državnim omrežjem stalnih GNSS-postaj, ki zagotavlja storitve za določanje položaja v realnem času. Kasneje je bila vzpostavljena še kombinirana geodetska mreža ničtega reda, osnovna infrastruktura za bodoče realizacije državnega prostorskega referenčnega sistema, ki bo vključeval tudi četrto, časovno razsežnost.

Čeprav nove tehnologije prinašajo drugačna merila za izbiro lokacij geodetskih točk, so točke starih trigonometričnih mrež še vedno pomemben del državne geodetske infrastrukture. Predvsem točke trigonometrične mreže prvega reda so pomembna vez med staro (D48) in novimi realizacijami državnega koordinatnega sistema (D96, D17, D96-17), ki v Sloveniji vzpostavljajo skupen evropski terestrični referenčni sistem ETRS89. Poleg tega so te točke pomembne za spremljanje sprememb koordinat točk skozi čas. Zato so bile z Zakonom o državnem geodetskem referenčnem sistemu (ZDGRS, 2014) – skupaj s stalnimi postajami za določanje položaja s tehnologijo GNSS – uvrščene med državne geodetske točke (Režek, 2014). V naravi so stabilizirane s trajnimi znamenji, ki so v lasti Republike Slovenije, za njihovo vzdrževanje pa skrbi Geodetska uprava Republike Slovenije. Nekatere točke trigonometrične mreže prvega reda in pripadajočih baznih mrež so bile razglašene tudi za kulturno dediščino (Oven, 2022 in 2023).

Trigonometrična mreža prvega reda

Trigonometrična mreža prvega reda, vključno s točko Gorjanci ob slovensko-hrvaški meji, obsega geodetske točke na 35 lokacijah, ki tvorijo 46 trikotnikov. Včasih v to mrežo uvrščamo še po štiri točke iz dveh baznih mrež – mariborske in radovljiške. Na vsaki lokaciji trigonometrične točke prvega reda so stabilizirani:

- glavna točka na betonsko-opečnem stebru ali stolpu, ki ima poleg kovinskega čepa (na vrhu) še tri ali štiri podzemne centre, ter
- tri ali več bočnih zavarovanj v neposredni bližini glavne točke; običajno so stabilizirana s čepom v živi skali ali z granitnim kamnom, ki ima poleg kovinskega čepa (na vrhu) še vsaj en ali dva podzemna centra.

Poleg navedenih referenčnih točk lahko na lokaciji trigonometrične točke prvega reda oziroma v njeni okolici najdemo še:

- drugi oziroma nadomestni steber trigonometrične točke,
- ekscenter trigonometrične točke za GNSS-meritve ter
- enega ali več signalov trigonometrične točke.

Točke slovenske trigonometrične mreže prvega reda so bile stabilizirane s 27 stebri, visokimi od 1,0 (Lokavec) do 5,2 metra (Mrzovec), ter z osmimi stolpi, visokimi od 6,0 (Kucelj) do 23,5 metra (Žigartov vrh). Trigonometrične točke prvega reda imajo med tri in sedem bočnih zavarovanj. Ekscentre za GNSS-meritve, stabilizirane z v živo skalo vgrajenim svornikom z navojem (bolcno), ima 13 trigonometričnih točk prvega reda. Poleg tega je na desetih lokacijah trigonometričnih točk še približno trideset s koordinatami določenih dodatnih stebrov in signalov, ki so večinoma antenski stolpi. Skupaj najdemo v centralni bazi geodetskih točk v okviru trigonometrične mreže prvega reda kar 223 referenčnih točk (stebrov/stolpov, granitnih kamnov in drugih bočnih zavarovanj, GNSS-ekscentrov in signalov), ki so povezane v mikromreže ali v bazne mreže in so določene s koordinatami v državnem koordinatnem sistemu.

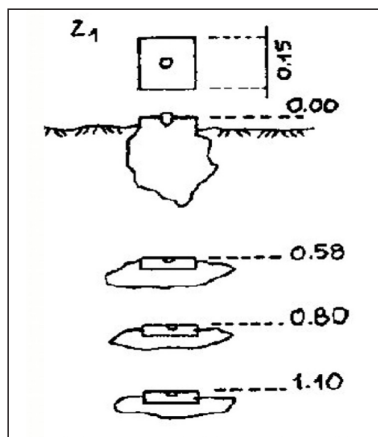
Vse trigonometrične točke prvega reda (glavne točke ali pripadajoči ekscentri) imajo koordinate določene neposredno v referenčnih koordinatnih sistemih D48/GK in D96/TM, v D96-17/TM pa niso bile neposredno določene le trigonometrične točke št. 167 – Grintovec, 215 – Žigartov vrh in 388 – Lendavske gorice, ki so bile med zadnjo EUREF GNSS-izmero že uničene oziroma spoznane za neustrezne (Medved, 2016). Ob zadnjem pregledu stanja trigonometričnih točk prvega reda je bilo ugotovljenih še šest poškodovanih stebrov, in sicer na Blegošu, Golici, Košuti, Lokavcu, Maliji in Vivodniku. Poleg tega je še sedem uničenih ali poškodovanih bočnih zavarovanj, nadaljnjih sedem bočnih zavarovanj pa je zgolj delno uporabnih ali še nepreverjenih.

Stolp na Žigartovem vrhu je bil zaradi dotrajanosti in neprimernosti lokacije za GNSS-meritve (obdanost z visokim gozdom) leta 2019 odstranjen, ostala pa so štiri bočna zavarovanja, ki omogočajo obnovo točke na prvotnem mestu, če bi se pokazala potreba po tem. Je pa vlogo te točke že pred njeno odstranitvijo v večji meri prevzela v bližnjem Arehu postavljena točka kombinirane geodetske mreže ničtega reda (Medved, 2014). Stolp v Lendavskih goricah je bil že pri obdelavi EUREF GPS-izmer v letih 1994–1996 spoznan za nestabilnega (Berk in sod., 2003) in se odtlej ne uporablja več pri GNSS-izmerah. V letu 2024 je bil obnovljen steber trigonometrične točke št. 180 – Malija in dve pripadajoči bočni zavarovanji. Obnovljeni sta bili dve bočni zavarovanji na trigonometrični točki št. 517 – Jeruzalem. Opravljen pa je bil tudi ogled stanja trigonometrične točke št. 167 – Grintovec. Slednja se je izkazala za nekoliko večji zalogaj. V nadaljevanju je predstavljeno, kako smo se lotili tega izziva.

Obnova trigonometrične točke Grintovec

Grintovec je z 2558 metri nad morjem najvišji vrh Kamniško-Savinjskih Alp. Trigonometer na Grintovcu je tako za Mangartom (2679) in Kaninom (2570 m) tretji najvišji trigonometer prvega reda. Po besedah oskrbniškega para na Cozjovi koči na Kokrskem sedlu naj bi bilo pogorje bogato z železom, ki privablja strele. Steber trigonometrične točke (167z) na Grintovcu so strele zelo poškodovale – ostala je le talna oznaka (167z1), tj. granitni kamen, nad katerim je bil sezidan prvotni steber. Dejansko je to prvi »podzemni« center trigonometra, pod njim pa so glede na topografijo točke vkopani še trije, in sicer na globinah 0,58, 0,80 in

1,10 metra (slika 1). Leta 1988 je bil 4,7 metra stran postavljen nadomestni montažni armiranobetonski steber (167z2 oz. 167s), ki pa so ga že po nekaj letih prav tako porušile strele (Triglav Čekada in Jenko, 2020).



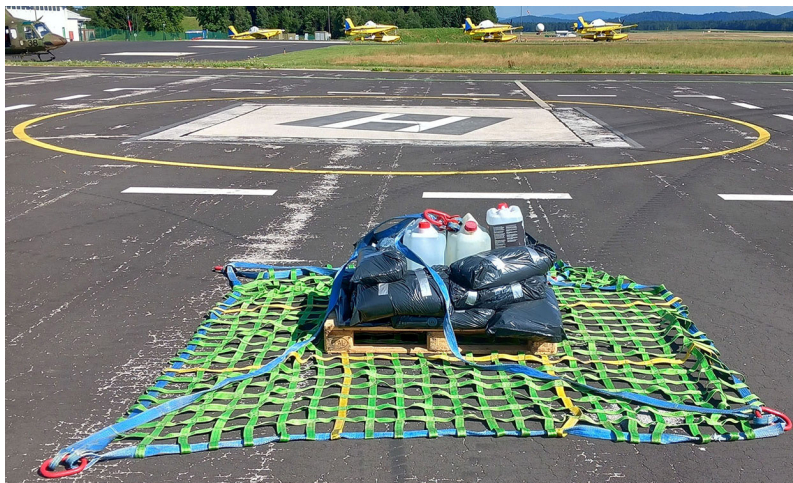
Slika 1: Izsek iz topografije točke – stabilizacija točke (167z1) po porušitvi prvotnega stebra.

Vsekakor nadomestni steber že leta 1995 ni bil več uporaben, saj je bil v takratno EUREF GPS-izmero vključen ostanek prvotnega stebra, torej točka 167z1. Slednja je bila ob ogledu leta 2024 že v zelo slabem stanju (betonskega temelja je ostalo le še za vzorec – slika 2), medtem ko je bil nadomestni armiranobetonski steber porušen do temelja, iz katerega je štrlelo le še nekaj železnih palic (preostanek armature).



Slika 2: Stanje trigonometra (167z1) pred pričetkom obnove.

Obnova trigonometra na Grintovcu je bila načrtovana za sredino julija 2025, vendar nam prvi teden vreme ni šlo na roko. V ponedeljek, 21. julija, je bila naša štiričlanska terenska ekipa z vso opremo in gradbenim materialom že v pripravljenosti v policijskem hangarju na letališču na Zgornjem Brniku. Vendar so slabe vremenske razmere zamaknile našo akcijo na naslednji dan. Kakšnih 500 kilogramov gradbenega materiala smo naložili v mrežo za prevoz tovora (slika 3). Letalska policijska enota je s helikopterjem (slika 4) na Grintovec najprej odpeljala člane terenske ekipe, nato gradbeni material, v tretji vožnji pa še preostalo opremo, orodje in merilne instrumente.



Slika 3: Gradbeni material, zložen na paleto v mreži za prevoz tovora.



Slika 4: Dostava orodja in opreme s policijskim helikopterjem Agusta Westland AW 169.

Trigonometrična točka je bila približno v enakem stanju kot ob zadnjem ogledu leta 2024. Betona okrog obdelanega granitnega kamna (15×15 centimetrov) je ostalo zelo malo in je bil zelo krhek. Zaradi slabih izkušenj s strelami smo trigonometer obnovili tako, da bo čim manj izpostavljen, torej z obstoječim

granitnim kamnom (167z1) ter temeljem na višini tal in brez železne armature. Previdno smo odstranili preostali beton, naredili izkop za novi temelj ($90 \times 90 \times 40$ centimetrov) in namestili opaž (slika 5).



Slika 5: Izkop za novi temelj trigonometra (167z1) in namestitev opaža.

Za novi betonski temelj smo uporabili suhi beton (13 vreč po 25 kilogramov), ki je bil ojačan z mikroarmaturo (polipropilenska vlakna) ter dodatnim cementom (2 vreči po 25 kilogramov). Za boljši oprijem betona in granitnega kamna smo uporabili emulzijo. Podrobnejši popis uporabljene opreme, orodja in gradbenega materiala je v preglednici 1.

Preglednica 1: Uporabljeno orodje in gradbeni material za obnovo trigonometra

OPREMA IN ORODJE	Število	MATERIAL	Količina
čopič, ploščati	1	cement	2 × 25 kg
delovne rokavice, pari	4	emulzija	1 kg
kramp	1	kamenje	–
krožna žaga, baterijska	1	opažne deske	6 m
libela (vodna tehtnica)	1	pesek	–
lopata, zložljiva	1	polipropilenska vlakna	1 kg
macola	1	suhi beton	13 × 25 kg
rovnica	2	vijaki	30
vijačnik, baterijski	1	voda	70 l
zidarska gladilka (dleter)	1	žebli	20
zidarska lopatica (špahtel)	1		
zidarska zajemalka (fangelj)	1		
zidarska žlica (kela)	1		
zidarsko korito, 50 l	1		
žičnata krtača (drotpiršna)	1		

V temelj smo vgradili tudi avtohtoni pesek in večje kamne iz neposredne okolice trigonometra. Betonska ploskev na vrhu temelja je bila oblikovana z rahlim naklonom na vse štiri strani – torej po zgledu strehe štirikapnice, s padcem za približno 5 centimetrov od granitnega kamna do roba temelja, pri čemer je vrh granitnega kamna 16,2 centimetra nad betonsko ploščo (slika 6).



Slika 6: Stanje trigonometra (167z1) po obnovi.

Obnova točke je bila izvedena tako, da je prvotni granitni kamen ostal na istem mestu. Položaj točke 167z1 je torej po obnovi ostal nespremenjen. Odstranili smo še štrleče ostanke železne armature na porušnem nadomestnem stebru (167z2), da ne bi privabljali strel in ogrožali planincev. Obnovo trigonometra smo ustrezno dokumentirali in posodobili topografijo točke v centralni bazi geodetskih točk.

GNSS-izmera na trigonometrični točki Grintovec

Na obnovljeni trigonometrični točki smo takoj po koncu zidarskih del pričeli s statičnimi GNSS-meritvami. Postavili smo trinožni stativ ter ga centriral in horizontalizirali s standardnim podnožjem Leica GDF322. Na stativ smo namestili pecelj s privito GNSS-anteno (slika 7). Izvedli smo 48-urne GNSS-meritve s 15-sekundnim intervalom in 0-stopinjskim višinskim kotom zajema opazovanj. Uporabili smo GNSS-instrument Javad Triumph-LS in pripadajočo zunanjo GNSS-anteno Jav_Ringant_G3T. Naslednja dva dneva smo prespali v Cojzovi koči na Kokrskem sedlu in se vračali na Grintovec, kjer smo nadzirali izvedbo meritev.



Slika 7: GNSS-izmera po koncu obnove na trigonometru (167z1) in s trinožnim stativom.

Zadnji dan meritev, 24. julija 2025, smo popoldne poskusili z vzponom na Grintovec, vendar nam je to preprečila nevihta. Pozno popoldne pa se je vreme izboljšalo in spet nam je bil v veliko pomoč policijski helikopter. Dva člana ekipe je pobral pri Cojzovi koči in ju odpeljal na vrh, kjer sta zaključila GNSS-izmero, nato pa odstranila opaž okrog novega betonskega temelja trigonometrične točke ter zložila ves preostali gradbeni material, orodje in merilno opremo za helikopterski odvoz. Še isti dan sta bila prepeljana nazaj na letališče – skupaj z vsem materialom, opremo in instrumentarijem. Preostala dva člana ekipe sta se v dolino spustila peš. Na različne scenarije smo bili pripravljeni vnaprej, tako da nas je eden izmed treh uporabljenih službenih avtomobilov čakal v Kamniku.

Zaključek

Na kratko so orisani pomen in trenutno stanje trigonometrične mreže prvega reda ter nekatera vzdrževalna dela, ki jih izvaja Geodetska uprava v okviru svoje redne dejavnosti. Podrobneje je predstavljen nekoliko zahtevnejši primer obnove državne geodetske točke v visokogorju. Točke trigonometrične mreže prvega reda so skupaj s približno dvajsetimi geodinamičnimi točkami vključene tudi v sodobne realizacije državnega prostorskega referenčnega sistema (t. i. EUREF-točke). Poleg kampanjskih GNSS-izmer so te točke tudi predmet posamičnih statičnih GNSS-izmer, in sicer v okviru redne naloge za spremljanje geodinamike. Zadnje čase na Geodetski upravi v povprečju izvedemo GNSS-izmere na petih lokacijah letno. Tako bo posamezna točka prišla na vrsto približno vsakih deset let.

Na Geodetski upravi izvajamo tudi projekt SLO4D, v okviru katerega bodo izdelane rešitve za uvedbo četrte, časovne razsežnosti državnega prostorskega referenčnega sistema. Ena izmed ključnih nalog projekta je vzpostavitev državnega geokinematskega modela. Za določitev vektorjev hitrosti na posamezni lokaciji seveda potrebujemo stalno GNSS-postajo in dovolj dolgo periodo neprekinjenih GNSS-meritev (vsaj tri leta). Vendar pa bodo imele pri verifikaciji geokinematskega modela pomembno vlogo tudi tako imenovane pasivne GNSS-točke. Koordinate iz periodičnih statičnih GNSS-izmer na teh točkah imamo namreč za bistveno daljše obdobje (tudi 30 let), kar deloma kompenzira nekatere pomanjkljivosti tako določenih vektorjev hitrosti. Poleg tega so te točke razmeroma enakomerno razporejene po celotnem državnem ozemlju in so posejane precej gosteje od stalnih GNSS-postaj.

Skrb za trigonometrično mrežo prvega reda je in mora ostati zaveza za geodetsko stroko. Ta mreža ima še vedno pomembno vlogo pri realizaciji državnega koordinatnega sistema pa tudi pri raziskovanju geodinamike in s tem skrbi za kakovost državnega koordinatnega sistema na dolgi rok. Ne nazadnje gre pri tem tudi za ohranitev naše kulturne in tehnične dediščine.

Zahvala

Za helikopterske prevoze terenske ekipe, opreme in gradbenega materiala se iskreno zahvaljujemo Letalski policijski enoti z Zgornjega Brnika. Brez njihove podpore bi bilo obnovo trigonometrične točke Grintovec bistveno težje izvesti.

Literatura in viri:

- Berk, S., Komadina, Ž., Marjanović, M., Radovan, D., Stopar, B. (2003). Kombinirani izračun EUREF GPS-kampanj na območju Slovenije. *Geodetski vestnik*, 47 (4), 414–422.
- Medved, K. (2014). Postavljeni sta prvi dve točki kombinirane geodetske mreže. *Geodetski vestnik*, 58 (4), 774–782.
- Medved, K. (2016). GNSS-kampanja »EUREF Slovenija 2016«. *Geodetski vestnik*, 60 (4), 752–758.
- Oven, K. (2022). Trigonometrična točka I. reda na Krimu razglašena za kulturno dediščino. *Geodetski vestnik*, 66 (3), 449–454.
- Oven, K. (2023). Mariborska triangulacijska baza razglašena za kulturno dediščino. *Geodetski vestnik*, 67 (4), 513–520.
- Režek, J. (2014). Novi geodetski zakon. *Geodetski vestnik*, 58 (2), 358–366.
- Triglav Čekada, M., Jenko, M. (2020). Načini stabilizacije trigonometričnih točk skozi čas v Sloveniji. *Geodetski vestnik*, 64 (4), 469–488. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2020.04.469-488>
- ZDGRS (2014). Zakon o državnem geodetskem referenčnem sistemu. Uradni list Republike Slovenije, št. 25/2014 in 61/2017 – ZAIID.

Sandi Berk, univ. dipl. inž. geod.

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

Peter Hojan, dipl. inž. geod.

*Geodetska uprava Republike Slovenije, Urad za geodezijo
Območna geodetska uprava Velenje
Rudarska cesta 3, SI-3320 Velenje
e-naslov: peter.hojan@gov.si*

Marjan Kogelnik

*Geodetska uprava Republike Slovenije, Urad za geodezijo
Območna geodetska uprava Velenje, Geodetska pisarna Žalec
Ulica Savinjske čete 5, SI-3310 Žalec
e-naslov: marjan.kogelnik@gov.si*

Boštjan Vizjak, univ. dipl. inž. geod.

*Geodetska uprava Republike Slovenije, Urad za geodezijo
Območna geodetska uprava Kranj
Slovenski trg 2, SI-4000 Kranj
e-naslov: bostjan.vizjak@gov.si*