

# DOLOČITEV POLOŽAJEV CERKVENIH ZVONIKOV V KOORDINATNEM SISTEMU D96/TM

# POSITION DETERMINATION OF CHURCH BELFRIES IN THE D96/TM COORDINATE SYSTEM

*Aleš Marjetič, Polona Pavlovčič Prešeren*

UDK: 528.236:726

Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.01

Prispelo: 27. 8. 2018

Sprejeto: 20. 11. 2018

DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2018.04.587-603>

SCIENTIFIC ARTICLE

Received: 27. 8. 2018

Accepted: 20. 11. 2018

## IZVLEČEK

Cerkveni zvoniki so v starem koordinatnem sistemu v veliko primerih služili za izhodišče izmere, zato so njihove koordinate redno vzdrževali v geodetskih bazah. V novem koordinatnem sistemu ob uporabi satelitskih metod izmere ter transformacij med koordinatnimi sistemi so izgubili na uporabni vrednosti. Ker se danes število talnih točk starih trigonometričnih mrež zaradi rekonstrukcijskih del zmanjšuje, zapet pridobivajo na pomenu. V večini primerov so ohranjeni v prvotnem stanju, zato predstavljajo možnost zveznega prehoda med starim in novim koordinatnim sistemom. Uporabimo jih lahko za določitev transformacijskih parametrov ali za oceno kakovosti vsedržavnega modela transformacije, vendar jim moramo pred tem koordinate določiti v novem koordinatnem sistemu. V prispevku opisujemo določitev položajev zvonikov petih cerkva na območju jugo-zahodne Ljubljane v koordinatnem sistemu D96/TM. Postopek združuje določitev datuma geodetske mreže z meritvami GNSS, terestrično izmero in izravnavo proste mreže ter uporabo S-transformacije za vklop izravnanе terestrične mreže v koordinatni sistem D96/TM. Koordinate smo primerjali s transformiranimi (trikotniška transformacija) in ugotovili razlike reda velikosti nekaj cm. Za obravnavani vzorec točk lahko rečemo, da model vsedržavne trikotniške transformacije učinkovito opisuje prehod iz starega v novi koordinatni sistem.

## KLJUČNE BESEDE

cerkveni zvonik, geodetska mreža, izmera GNSS, terestrična izmera, datum izmeritvene mreže, S-transformacija

## ABSTRACT

In the old coordinate system, church belfries often served as reference points in detail surveying, so their coordinates were regularly maintained in the geodetic databases. Their usability was reduced by the new coordinate system establishment along with the use of satellite based positioning methods. Today they have gained at their practical value since the trigonometric geodetic points decrease due to reconstructions. They were mostly preserved in the original condition, so they present the possibility of transition from the old to the new coordinate system. They serve for the transformation parameters' determination as well as for the quality evaluation of the state transformation model. For this, their coordinates should be determined in the new coordinate system. The article describes the determination of five church belfries from south-western part of Ljubljana in the new coordinate system D96/TM. The procedure combines geodetic network datum determination, inclusion of the terrestrial measurements and free-network adjustment and further use of the S-transformation. Further comparison of coordinates shows some centimetre differences for the given sample of church belfries. For the sample under consideration, we can conclude that the Slovenian triangle-based transformation model effectively describes transformation between the old and the new coordinate system.

## KEY WORDS

church belfry, geodetic network, GNSS methods, terrestrial measurements, adjustment, S-transformation

## 1 UVOD

V Sloveniji smo novi koordinatni sistem D96/TM najprej pričeli uvajati v zemljiški kataster (Pravilnik o urejanju mej ter spreminjanju ..., Uradni list RS, št. 8/2007). S postopnim uvajanjem koordinatnega sistema v državne prostorske podatkovne zbirke, ki je opredeljen z datumom 1. 1. 2008 (139. člen ZEN, Uradni list RS, št. 47/2006), so se uveljavile nove metode določitve koordinat, ki so temeljile na uporabi tehnologije GNSS oziroma kombinaciji terestričnih in GNSS-metod izmere oziroma na določitvi položajev točk s transformacijo. Do predstavitve modela trikotniške transformacije smo za prehod med koordinatnima sistemoma imeli na voljo le podobnostno transformacijo (Stopar in Kuhar, 2001). Geodetska uprava Republike Slovenije (v nadaljevanju: GURS) je uporabnikom dala na voljo transformacijske parametre, vendar z opozorilom, da ne ustrezajo zahtevani kakovosti določitve detajlnih točk. Da bi tudi s transformacijo zadovoljili opredeljene zahteve glede kakovosti določitve koordinat detajlnih točk, je bilo na izbranem območju treba določiti transformacijske parametre na podlagi nabora točk s koordinatami v obeh koordinatnih sistemih. S postopkom se še vedno uspešno rešuje problematika prehoda med koordinatnima sistemoma na detajlu, medtem ko je za transformacijo večjih (vsedravnih) podatkovnih zbirk preveč kompleksen.

Natančnost enostavnega in kompleksnih modelov transformacije med starim in novim koordinatnim sistemom sta v letu 2007 opredelila Berk in Duhovnik (2007). Ob tem je bila prvič omenjena možnost neposrednega prehoda med starim in novim koordinatnim sistemom za vso državo s trikotniško zasnovano odsekoma afino transformacijo v ravnini projekcije (v nadaljevanju: trikotniška transformacija). Izboljšano zasnovano državnega transformacijskega modela z virtualnimi veznimi točkami so predstavili v letih 2010 in 2013 (Berk in Komadina, 2013) ter tako opredelili enotni prehod vseh prostorskih podatkovnih zbirk v novi državni koordinatni sistem. Geodetska uprava Republike Slovenije je v letu 2014 trikotniško transformacijo zakonsko opredelila kot vsedravnini model prehoda v novi koordinatni sistem (28. člen ZDGRS, Uradni list RS, št. 25/2014) s končnim datumom 23. 11. 2017.

Z verifikacijo modela trikotniške transformacije različice 4.0 (Berk in sod., 2015) so ugotovili, da aktualni model trikotniške transformacije na nekaterih območjih precej dobro opisuje dejansko stanje zemljiškega katastra v državi. Kljub temu še vedno obstajajo območja z večjimi razlikami med dejanskim in modeliranim stanjem, ki so opredeljena kot nepreverjena oziroma niso bila vključena v oceno kakovosti transformacije (Berk in sod., 2017). Čeprav so na večini izbranih testnih območij ugotovili, da je pogojno sprejemljiva kakovost trikotniškega transformacijskega modela nekje do 10 centimetrov, je modelirano stanje dobro oceniti s primerjavo terensko določenih položajev točk s transformiranimi koordinatami. Če pri detajlni izmeri uporabimo za koordinatno izhodišče transformirane koordinate danih točk, lahko opredeljena natančnost danih koordinat 10 centimetrov pri 100 metrov dolgi orientacijski vizuri vodi v pogrešek smeri do velikosti približno  $200''$  ( $\sim 3'$ ), kar vpliva na natančnost določitve koordinat detajlnih točk najmanj enakega (10 cm) velikostnega reda. To je precej več od dopustne natančnosti določitve koordinat detajlnih ali zemljiškokatastrskih točk (večja polos standardne elipse pogreškov (verjetnost je 39,4 %) ne sme presegati 4 centimetrov).

Postopek verifikacije modela trikotniške transformacije je temeljil na točkah poligonske mreže in nadaljnji zgostitveni mreži veznih točk. Žal se dogaja, da so fizično stabilizirane talne geodetske točke starega koordinatnega sistema zaradi rekonstrukcijskih del pogosto podvržene uničenju. Točk ne obnavljajo več,

čeprav imajo pri rekonstrukciji starega stanja v naravi neprecenljivo vrednost, ponujajo namreč možnost zveznega prehoda med starim in novim koordinatnim sistemom na območju detajla. Zato je smiselno, da posameznim geodetskim točkam starih trigonometričnih mrež, ki jih ni zlahka uničiti, določimo položaj tudi v novem koordinatnem sistemu. Ekscentrični signali starih trigonometričnih mrež, kot so cerkveni zvoniki, telekomunikacijske antene in drugi objekti, katerih koordinate so bile do leta 2008 določene s klasično terestrično geodetsko izmero v koordinatnem sistemu D48/GK, ponujajo možnost za ohranitev starega koordinatnega sistema in rekonstrukcijo stanja iz preteklosti za daljše časovno obdobje. Na nekaterih območjih so že danes edina možnost za zagotovitev zveznosti prehoda med starim in novim koordinatnim sistemom.

Cerkveni zvoniki so se v trigonometričnih mrežah drugega ali nižjih redov uporabljali za posredno določitev koordinat detajlnih točk. Pri polarni izmeri smo jih uporabljali za orientacijo ter nadaljnjo izmero detajla, v postopku notranjega ureza pa kot dane točke za določitev koordinat stojišča. Njihove položaje v koordinatnem sistemu D48/GK je bilo mogoče pridobiti iz Gurovih evidenc. Čeprav evidenc o točkah starih geodetskih mrež ne obnavljajo več, so podatki še vedno na voljo. V nasprotju s poligonskimi ali trigonometričnimi točkami, ki so bile na tleh in so jih z gradbenimi deli preprosto fizično odstranili, so cerkveni zvoniki točke, ki večinoma niso bile podvržene uničenju. Ker so v naravi ohranjeni, jih lahko uporabimo kot točke s položaji v starem koordinatnem sistemu, ki jim je s terensko izmero mogoče določiti koordinate tudi v novem koordinatnem sistemu. Dodatno jim lahko položaj določimo posredno, s transformacijo.

V prispevku predstavljamo postopek določitve koordinat cerkvenih zvonikov v novem koordinatnem sistemu s kombinacijo GNSS in terestričnih geodetskih merskih tehnik ob upoštevanju zahtev glede primerne kakovosti določitve koordinat točk. Izmera GNSS je podlaga za določitev koordinat nekaterih točk geodetske mikromreže, ki jo vzpostavimo v okolici posameznega cerkvenega zvonika. Izmera celotne mreže je izvedena tudi klasično, s terestričnimi metodami triangulacije in trilateracije, ter izravnana po metodi najmanjših kvadratov (v nadaljevanju MNK) z definiranim geodetskim datumom, ki ga določajo točke GNSS. Postopek smo uporabili pri določitvi koordinat šestih cerkvenih zvonikov na območju jugozahodne Ljubljane. Mreže v okolici cerkva so se zaradi konfiguracije terena po geometriji razlikovale, zato smo pri vsakem primeru k problemu pristopili nekoliko drugače. Glavni cilj je bil pridobiti nabor položajev (koordinat v horizontalni ravnini in višin) cerkvenih zvonikov v novem in starem koordinatnem sistemu za fizično rekonstrukcijo detajla iz podatkov starega koordinatnega sistema in njegovo določitev v novem koordinatnem sistemu. Obenem so se z naborom koordinat točk v obeh koordinatnih sistemih pojavile druge možnosti za uporabo podatkov, in sicer za oceno kakovosti vsdržavnega modela ravninske trikotniške transformacije ter izračun transformacijskih parametrov prostorske transformacije za obravnavano območje.

## 2 METODA IZMERE

### 2.1 Vzpostavitev izmeritvene mreže

V okviru naloge, s katero smo želeli določiti koordinate cerkvenih zvonikov, smo si na jugozahodnem delu Ljubljane izbrali pet cerkva, katerih zvoniki so koordinatno določeni v starem sistemu D48/GK in

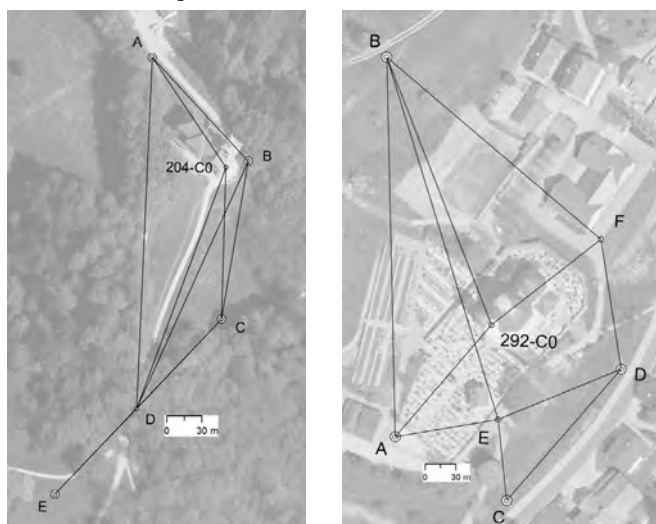
za katere smo predpostavili, da v zadnjih dvajsetih letih niso bile obnovljene. To so cerkve v Trnovem, na Viču, Rožniku, v Podsmreki in na Dobrovi pri Polhovem Gradcu. Iz Gurovih evidenc smo pridobili topografije točk s koordinatami v D48/GK, iz katerih je razvidno, da so bile koordinate določene s triangulacijo ter višine z metodo trigonometričnega višinomerstva.

Preglednica 1: Opis in seznam koordinat obravnavanih točk v D48/GK (vir: GURS).

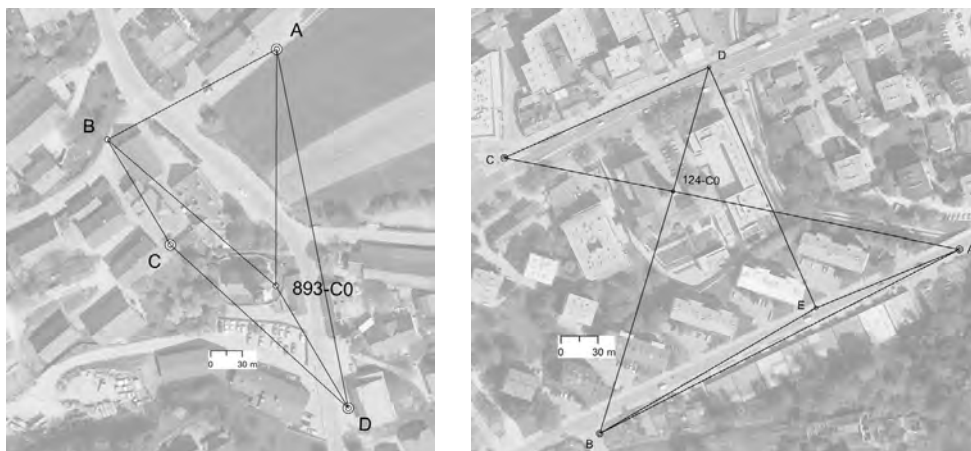
Točka (cerkveni zvonik)	Oznaka točke	Opis	y [m]	x [m]	H [m]
Trnovo – zahod	240-C2	Trigonom. in poligonom. točka IV. reda	461.832,46	99.989,50	/
Trnovo – vzhod	240-C1		461.849,93	99.989,22	/
Vič	124-C0	Trigonom. in poligonom. točka III. reda	459.984,02	99.868,19	340,52
Rožnik	204-C0		459.937,19	101.340,75	425,80
Podsmreka	893-C0		456.202,40	99.557,54	347,13
Dobrova	292-C0		454.777,14	100.905,65	356,02

Za določitev koordinat obravnavanih točk (preglednica 1) v koordinatnem sistemu D96/TM smo uporabili kombinacijo GNSS in klasične terestrične izmere. Slednja je vključevala izvedbo tahimetričnih meritev in geometričnega nivelmana. Pred izmero smo postavili zahtevo glede določitve koordinat točk z nadštevilnimi meritvami, zato smo v okolici posamezne cerkve vzpostavili geodetsko mikromrežo. Vsakič smo izhajali iz istih zahtev, in sicer:

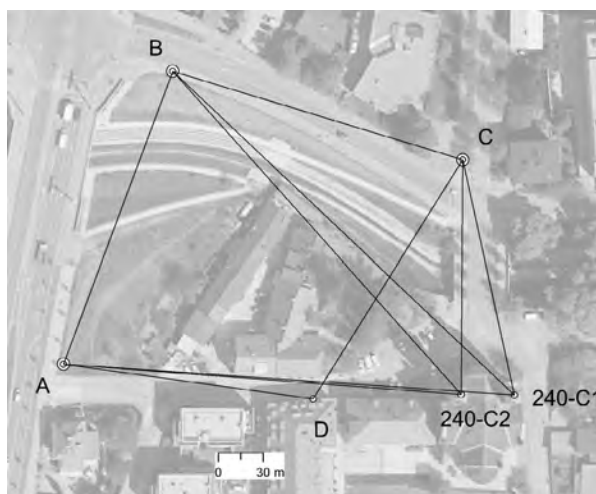
- lokacijo vsaj treh točk moramo izbrati tako, da bo mogoče izvesti kakovostno izmero GNSS,
- zagotoviti moramo vidnost med točkami,
- točka na strehi zvonika mora biti vidna z vsaj treh točk mreže,
- oddaljenost točk od cerkvenega zvonika mora biti vsaj 50 metrov, da se izognemo prestrnim vizuram, in
- geometrija geodetske mreže naj bo primerna, kar pomeni, da moramo zagotoviti čim enakomernejše oddaljenosti in čim več merskih povezav med točkami.



Slika 1: Geodetska mreža za izmero cerkvenega zvonika – levo: Rožnik, desno: Dobrova.



Slika 2: Geodetska mreža za izmero cerkvenega zvonika – levo: Podsmreka, desno: Vič.



Slika 3: Geodetska mreža za izmero cerkvenega zvonika v Trnovem.

Glede na konfiguracijo terena in ovire smo skušali v okolici vsake cerkve vzpostaviti za klasično izmero optimalno geometrijo geodetske mreže (slike od 1 do 3). Geodetska mreža na Rožniku je zaradi velike razgibanosti terena in zaraščenosti precej slabe oblike. Odločili smo se, da je tu zaradi zaraščenosti z gozdom nujno vzpostaviti štiri točke za izvedbo meritev GNSS (v nadaljevanju: točke GNSS), od katerih je bila le točka E locirana na jasi z dobrimi pogoji za sprejem signala. Na žalost lokacija točke E ni omogočala izvedbe nadštevilnih klasičnih merskih povezav (dolžine, smeri) do preostalih točk, razen do točke D. Na podobno težavo smo naleteli pri mreži na Viču (slika 2), le da so tam sprejem signala ali vzpostavitev vizur ovirale gosto pozidane stavbe.

Točke v obravnavanih mikromrežah smo trajno stabilizirali s kovinskimi čepi, kar omogoča ponovljivost izmere z isto geometrijo mreže. Trajna stabilizacija nam je poleg tega omogočila signalizacijo točk s prisilnim centriranjem z uporabo stativov in preciznih reflektorjev.

## 2.2 Izmera GNSS

V posamezni mikromreži v okolici cerkva smo na izbranih točkah izvedli statično izmero GNSS v trajanju od 120 do 180 minut. Pri tem smo uporabili:

- tri instrumente Leica Viva GS15 (natančnost pri statični izmeri: Hz: 3 mm, 1 ppm; V: 3,5 mm, 0,4 ppm (Leica Viva GS15 Datasheet, 2018; levo na sliki 4);
- instrument Javad Triumph LS10 z zunanjo anteno s kovinskimi obroči Antena RingAnt-G3T (angl. choke ring; natančnost pri statični izmeri: Hz: 3 mm, 1 ppm; V: 3,5 mm, 0,4 ppm (Javad Triumph-LS Datasheet, 2018); desno na sliki 4);
- ter drugo mersko opremo (žepni merski trak, optično grezilo Leica GZR 103).



Slika 4: Statična metoda izmere GNSS na delovišču Dobrova z instrumentoma Leica Viva GS15 (levo) in Javad Triumph LS10 z zunanjo anteno (desno).

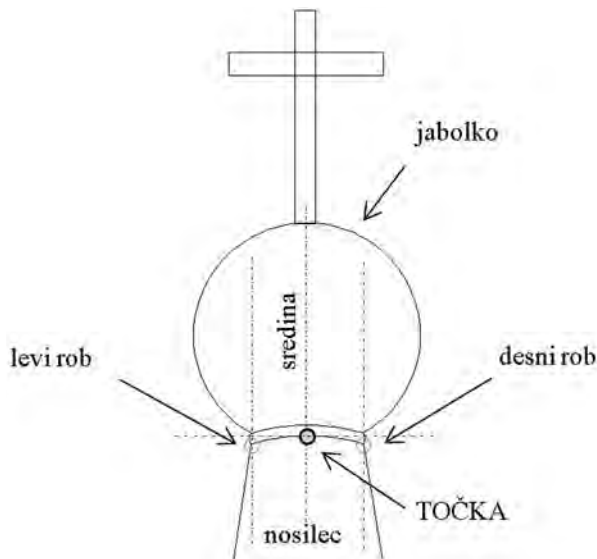
Med meritvijo smo nastavili interval registracije 5 s in minimalni višinski kot  $10^\circ$ . Izvedli smo eno serijo opazovanj ter jo v nadaljnji obdelavi razdelili na dve oziroma tri enako dolge serije, pri čemer smo v vsaki obdelali linearno neodvisne povezave med točkami. Ker smo se v nadaljnji obdelavi navezovali na izhodiščne točke omrežja SIGNAL (SIGNAL, 2018), smo med meritvijo sprejemali le signale navigacijskih sistemov GPS in GLONASS.

## 2.3 Klasična terestrična izmera

Pri klasični terestrični izmeri so bile stojišča instrumenta točke geodetske mikromreže, brez cerkvenega zvonika. Zaradi majhnih dimenzij mreže smo sledili priporočilom glede realizacije vseh mogočih merskih povezav do preostalih točk v mreži. Izmero horizontalnih smeri smo po girusni metodi izvedli v petih girusih, hkrati z merjenjem zenitnih razdalj in poševnih dolžin. Pri izmeri smo uporabili preizkušen elektronski tahimeter Leica MS50 ( $\sigma_{ISO-THEO} = 1''$ ,  $\sigma_{ISO-EDM} = 1 \text{ mm} + 1,5 \text{ ppm}$ ), ki omogoča samodejno viziranje, ter dodaten merski pribor: digitalni barometer Paroscientific, precizni aspiracijski psihrometer in žepni merski trak.



Glede na to, da je bil namen določiti koordinate cerkvenega zvonika, smo posebno pozornost namenili viziranju na točko na vrhu zvonika. Zaradi zagotovitve nadštevilnosti smo sledili zahtevi, da mora biti točka zvonika določena z zunanjimi meritvami kotov in dolžin z vsaj treh stojišč. Polarna metoda izmere z enega stojišča v konceptu določevanja s čim večjo natančnostjo tokrat ni bila primerna, saj so bile dolžine stojišč od zvonika relativno kratke in je bilo ocenjevanje sredinske točke na vrhu nosilca pod jabolkom relativno težka naloga. Najboljša metoda viziranja je bila izmera levega in desnega vidnega roba nosilca pod jabolkom, pri čemer smo merili samo horizontalne smeri, in izmera ocenjene sredinske točke z vsemi tremi merskimi količinami (horizontalna smer, zenitna razdalja in poševna dolžina, slika 5). Slednja je bila točka, do katere smo računali višinsko razliko, ker smo imeli na voljo merjeno zenitno razdaljo in poševno dolžino. Poševno dolžino smo merili v načinu brez reflektorja.



Slika 5: Viziranje na točko na zvoniku (pogled od spodaj).

Rezultat girusne metode so izračunane sredine reduciranih smeri na vizirane točke na posameznem stojišču ter vrednosti sredin za merjene zenitne razdalje in poševne dolžine. Na vsakem stojišču smo izmerili tudi meteorološke parametre ( $p$  – zračni tlak,  $t_s$  – suha in  $t_m$  – mokra temperatura), ki smo jih kasneje uporabili za redukcijo poševno merjenih dolžin. Prehod iz poševno merjenih v horizontalne dolžine med točkami mikromreže smo izvedli na podlagi zenitnih razdalj; dolžine smo reducirali za meteorološke, geometrične in projekcijske popravke na ničelni nivo v prečni Mercatorjevi projekcijski ravnini z upoštevanjem ustrezne modulacije (Kogoj, 2002).

Pri določitvi višinskega datuma smo ravnali drugače kot pri horizontalni situaciji. Z GNSS lahko z ustrežno kakovostjo določimo le elipsoidne višine, ki imajo geometričen pomen, medtem ko je bil cilj določiti višine cerkvenih zvonikov v uradnem državnem višinskem koordinatnem sistemu (tj. normalne višine). To pomeni, da posredno določene normalne višine ob uporabi aktualnega državnega modela geoida AMG2000 (Pribičević, 2000) za dano nalogo niso bile dovolj. Odločili smo se, da bomo pri določitvi višinskega datuma izhajali iz reperjev državne višinske geodetske mreže v neposredni bližini (preglednica 2).

Preglednica 2: Izhodiščni reperji za višinsko navezavo mrež (vir: GURS)

Reper	Red	H [m]
17/7 (Vič)		294,5148
18/5 (Trnovo)		294,5729
11/26 (Rožnik)	mestni nivelman	394,4744
R2 (Dobrova)		312,9150
13/2 (Podsmreka)		322,0067

Prenos višine z reperja na vsaj eno točko geodetske mikromreže smo izvedli z metodo preciznega geometričnega nivelmana z niveliranjem v nivelmanskem vlaklu v obe smeri (tja in nazaj). Pri tem smo uporabili precizni nivelir Leica DNA03 ( $\sigma_{ISO-LEV} = 0,3 \text{ mm / km}$  dvojnega nivelmana) in precizne invar nivelmanske late Leica GPCL2.

### 3 IZRAČUN DEFINITIVNIH KOORDINAT TOČK

Izračun koordinat točk je za vsako mrežo potekal v dveh osnovnih korakih, ločeno za GNSS in klasično terestrično izmero. Najprej smo z obdelavo opazovanj GNSS določili položaje točk v globalnem koordinatnem sistemu in nadalje izravnali ravninsko triangulacijsko-trilateracijsko mrežo.

#### 3.1 Obdelava podatkov izmere GNSS

Opazovanja posamezne terenske izmere smo obdelali ločeno z navezavo različne postaje omrežja SIGNAL (v Ljubljani (GSR1), Idriji (IDRI) in Radovljici (RADO)) ter z uporabo virtualnega referenčnega stojišča VRS v neposredni bližini mikromreže.

V obdelavo smo vključili končne precizne efemeride IGV (za GPS in GLONASS) službe IGS (angl. *International GNSS service*) (IGS, 2018) ter kalibracijske protokole anten službe NGS (angl. *National Geodetic Survey*) (NGS, 2018). Z različnimi načini upoštevanja vpliva troposfere na opazovanja (modeli Hopfield, VMF z GPT2 ali ocena vpliva troposfere tekom obdelave) smo se po ugotavljanju kakovosti zapiranja figur v mreži GNSS odločili za model, s katerim smo dobili najboljše rezultate.

Vsako izmero smo obdelali na več načinov, in sicer ko:

- so se vsi vektorji navezovali na isto referenčno točko omrežja SIGNAL, in sicer GSR1 oziroma VRS (govorimo o tako imenovani radialni izmeri),
- smo opazovanja celotne serije razdelili v dve ali tri serije enakega trajanja in v vsaki obdelali poligon z linearno neodvisnimi vektorji ter
- smo v obdelavi uporabili različne modele troposferske refrakcije.

Prvi način se je navezoval na konfiguracijo mreže brez nadštevilnih baznih vektorjev, zato tu ni bilo mogoče narediti nekaterih računskih kontrol (zapiranje figur v posameznih zaključenih poligonih) niti izravnave. V načinu, ko smo obdelovali linearno neodvisne vektorje v posamezni seriji, smo določili nadštevilne povezave med točkami, to je mrežo baznih vektorjev GNSS. Pred izravnavo smo ugotavljali pogreške pri zapiranju figur v mreži. Med rezultati obdelav, ko so bile nastavitve povsem enake, le uporabljeni model troposferske refrakcije je bil drugačen, smo dobili različne rezultate zapiranja figur v mreži. Na podlagi najmanjših razlik v zapiranju različnih figur v mreži smo se odločili, kateri model troposferske refrakcije bomo uporabili v končni določitvi koordinat točk posamezne mreže. V vseh obdelavah opa-



zovanj so bili vektorji uspešno obdelani in fazne neznanke določene kot cela števila (angl. *phase fixed*); pri daljši povezavi je bilo najbolje vpliv troposferske refrakcije ocenjevati, pri krajših je bil večinoma najučinkovitejši model VMF z GPT2 (angl. *Vienna Mapping Function z Global Pressure Temperature model 2*). Mrežo vektorjev smo naprej izravnavali po metodi najmanjših kvadratov; v postopku izravnav smo s testom Tau (Popova metoda) ugotavljali grobo pogrešene vektorje v mreži (če smo vektor iz mreže izločili, smo obdelali drugo povezavo).

V preglednici 3 podajamo koordinate GNSS-točk v slovenski realizaciji koordinatnega sistema ETRS89, pri čemer smo v nadaljnjem postopku določitve koordinat cerkvenih zvonikov uporabili le horizontalne koordinate. Z GNSS-višinomerstvom določeno višino podajamo zato, da lahko potrdimo odločitev, zakaj je višinski datum treba določiti drugače (podrobnejši opis v razdelku 3.3).

Preglednica 3: Koordinate GNSS-točk v koordinatnem sistem D96/TM, pri čemer je višina  $H$  določena z GNSS-višinomerstvom ob uporabi modela geoida AMG2000.

Točka	$e$ [m]	$\sigma_e$ [mm]	$n$ [m]	$\sigma_n$ [mm]	$h$ [m]	$\sigma_h$ [mm]	$H$ [m]
<b>Rožnik</b>							
A	459.528,3370	0,9	101.880,9340	1,1	434,847	2,7	388,417
B	459.577,2040	1,3	101.830,5580	1,4	440,133	4,1	393,698
C	459.565,8580	0,6	101.751,8590	0,8	425,506	1,8	379,072
E	459.485,6420	0,5	101.662,9880	0,6	425,962	1,5	379,527
<b>Trnovo</b>							
A	461.331,3200	0,5	100.486,2600	0,8	293,178	1,8	339,588
B	461.367,3800	0,5	100.581,8520	0,8	293,625	1,8	340,035
C	461.462,2390	0,8	100.552,5740	1,2	292,493	2,4	338,903
<b>Vič</b>							
A	459.788,5160	1,3	100.326,9520	1,8	340,961	3,9	294,542
B	459.574,5180	1,5	100.205,8020	2,0	340,957	4,3	294,539
C	459.509,5120	1,2	100.370,7850	1,6	340,668	3,8	294,247
<b>Dobrova</b>							
A	454.369,5065	0,3	101.345,4354	0,3	369,329	0,7	322,825
B	454.359,4120	1,2	101.498,3217	0,3	380,866	0,4	334,361
C	454.415,4015	0,5	101.321,7116	0,6	360,825	1,4	314,322
D	454.459,0689	0,4	101.376,6478	0,5	359,985	0,0012	313,483
<b>Podsmreka</b>							
A	455.829,4711	2,0	100.133,4245	2,6	366,212	6,3	319,746
C	455.791,0793	2,4	100.058,5582	3,0	370,288	6,0	323,823
D	455.859,9611	2,5	99.998,3927	3,3	366,214	7,4	319,750

### 3.2 Izravnava ravninske triangulacijsko-trilateracijske mikromreže

Sredine girusov reduciranih smeri in reducirane horizontalne dolžine med točkami mikromreže ter sredine horizontalnih smeri levega in desnega roba vrha nosilca pod jabolkom točke cerkvenega zvonika so bile vhodni podatek za izravnavo po MNK za določitev horizontalnih koordinat. Sredine girusov

merjenih zenitnih razdalj in poševnih dolžin pa so bile vhodni podatek za izračun višinskih razlik med točkami mreže, ki smo jih uporabili v izravnavi višinske mreže. Pri izravnavi horizontalne mreže dolžine do točke zvonika nismo uporabili, saj se meritev dolžine nanaša na obod nosilca in ni merjena neposredno do točke.

Glede na uporabljen precizen merski instrumentarij in dodaten merski pribor ter glede na korektno izvedeno terensko izmero v optimalnih vremenskih razmerah je pričakovati kakovostne rezultate. To najlažje preverimo, če celotno mrežo izravnamo kot prosto mrežo (Kuang, 1996; Marjetič in Stopar, 2007), to je brez danih točk mreže. Popravki meritev ter ocena natančnosti meritev in koordinat točk po izravnavi kažejo na visoko kakovost meritev. Ker smo imeli cilj, da natančne terestrične meritve vplivajo tudi na ustrezno kakovost končnih koordinat točk mreže v ustrezno definiranim geodetskem datumu, smo se odločili izravnavo meritev izvesti po ustreznem premisleku in postopku. Ker smo izhajali iz predhodno določene mreže GNSS (za določitev koordinat v D96/TM), smo pričakovali neskladnosti geometrije mreže GNSS z geometrijo, ki jo določajo terestrične meritve. Najprej smo se vprašali, ali lahko koordinate točk GNSS predstavljajo dane koordinate v izravnavi terestrične mreže. Če pogledamo rezultate izravnave petih mrež, vpetih na GNSS-koordinate točk, vidimo, da so natančnosti v vpeti mreži glede na rezultate izravnave prostih mrež slabše (preglednica 4). Kljub temu bi bila lahko natančnost določitve koordinat cerkvenih zvonikov primerna za naloge določitve položajev točk detajla s predvideno natančnostjo nekaj centimetrov. Bolj kot poslabšanje natančnosti pa pri rezultatih izravnave vpete mreže moti precejšnja razlika v koordinatah točk glede na koordinate iz proste mreže, ki pa so zaradi značilnosti obeh izravnav pričakovane. Razlike med definitivnimi koordinatami proste in vpete mreže znašajo do nekaj centimetrov (preglednica 4).

Preglednica 4: Rezultati izračuna koordinat v prosti in vpeti mreži

Mreža (dane točke)	Točka	$e$ [m]	$n$ [m]	$\sigma_e$ [mm]	$\sigma_n$ [mm]	$e$ [m]	$n$ [m]	$\sigma_e$ [mm]	$\sigma_n$ [mm]
		Prosta mreža				Vpeta mreža			
Rožnik (A, B, C, E)	D	459.524,9861	101.706,4015	0,2	0,3	459.524,9806	101.706,4049	1,3	1,5
	<b>204-C0</b>	<b>459.566,2268</b>	<b>101.827,2825</b>	<b>0,3</b>	<b>0,7</b>	<b>459.566,2178</b>	<b>101.827,2910</b>	<b>1,7</b>	<b>3,9</b>
Trnovo (A, B, C)	D	461.413,0072	100.474,6489	0,8	0,6	461.413,0339	100.474,6538	2,5	1,7
	<b>240-C1</b>	<b>461.478,8643</b>	<b>100.475,7027</b>	<b>1,3</b>	<b>1,4</b>	<b>461.478,8818</b>	<b>100.475,7215</b>	<b>3,4</b>	<b>4,9</b>
	<b>240-C2</b>	<b>461.461,4590</b>	<b>100.475,9693</b>	<b>0,9</b>	<b>1,2</b>	<b>461.461,4788</b>	<b>100.475,9845</b>	<b>2,9</b>	<b>4,2</b>
Vič (A, B, C)	D	459.631,6631	100.431,1052	1,0	1,1	459.631,7076	100.431,1927	2,4	2,3
	E	459.702,8502	100.287,6061	0,9	0,8	459.702,8709	100.287,6820	1,8	1,4
	<b>124-C0</b>	<b>459.612,9947</b>	<b>100.354,5806</b>	<b>1,1</b>	<b>1,5</b>	<b>459.613,0273</b>	<b>100.354,6705</b>	<b>2,2</b>	<b>2,9</b>
Dobrova (A, B, C, D)	E	454.410,4831	101.354,1738	0,3	0,3	454.410,4852	101.354,1720	0,9	0,9
	F	454.448,6721	101.428,6475	0,3	0,4	454.448,6690	101.428,6430	1,7	2,9
	<b>292-C0</b>	<b>454.406,2286</b>	<b>101.392,2562</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>454.406,2257</b>	<b>101.392,2531</b>	<b>3,6</b>	<b>4,5</b>
Podsmreka (A, C, D)	B	455.766,2909	100.097,5639	0,1	0,1	455.766,2783	100.097,5642	1,0	1,7
	<b>893-C0</b>	<b>455.831,3941</b>	<b>100.044,0623</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>455.831,3871</b>	<b>100.044,0588</b>	<b>2,5</b>	<b>3,7</b>

Razlike v koordinatah pri izravnavi proste in vpete mreže so posledica dejstva, da je geodetski datum pri izravnavi proste mreže vezan na približne koordinate točk, ki jih uporabimo v izravnavi, in se tako nanaša na (Marjetič in Stopar, 2007):

- položaj težišča mreže, ki po izravnavi ohranja svoj položaj, torej se mreža v splošnem ne premakne,
- povprečno orientacijo točk v mreži, torej se v povprečju mreža ne suka, in
- merilo dolžin, ki se v povprečju ne spremeni.

Pri vpeti mreži geodetski datum definirajo dane točke v mreži. V našem primeru so to točke, ki so bile določene z izmero GNSS in so po pravilu na obodu obravnavanih mikromrež (slike od 1 do 3). Pri izravnavi po MNK v vpeti mreži koordinate danih točk ostanejo nespremenjene, se pa vse neskladnosti med danimi količinami in meritvami v mreži prenesejo na neznane koordinate točk, torej tudi na točko cerkvenega zvonika. Neskladja med GNSS-koordinatami in terestričnimi meritvami v mreži so očitna, kar dokazujejo tudi natančnosti v preglednici 5. Po vpetju mreže na GNSS-točke globalnega testa modela po izravnavi ne moremo več sprejeti (Grigillo in Stopar, 2003). To pomeni, da so predpostavljene a-priori vrednosti (2 mm za dolžine in 2" za merjene kote – velja za vse mreže) za izbrani model preoptimistične. Hkrati se močno poslabša natančnost meritev kotov in dolžin.

Preglednica 5: Razlika v natančnosti meritev v prosti in vpeti mreži

Mreža	Prosta mreža		Vpeta mreža	
	globalni test	$\sigma_{\text{smcr}} [^\circ]; \sigma_{\text{dol}} [\text{mm}]$	globalni test	$\sigma_{\text{smcr}} [^\circ]; \sigma_{\text{dol}} [\text{mm}]$
Rožnik	0,565	1,1; 1,1	2,940	5,9; 5,9
Trnovo	1,200	2,4; 2,4	3,200	6,4; 6,4
Vič	1,340	2,7; 2,7	2,108	4,2; 4,2
Dobrova	0,675	1,4; 1,4	3,648	7,3; 7,3
Podsmreka	0,187	0,4; 0,4	2,412	4,8; 4,8

V opisanem primeru je optimalna rešitev problema uporaba računskega postopka S-transformacije, ki služi kot orodje za umestitev rezultatov izravnave proste mreže v izbrani geodetski datum točk GNSS-mreže. Pri S-transformaciji se poleg minimizacije vsote kvadratov popravkov meritev minimizira tudi norma vektorja koordinatnih neznank, ki definirajo datum (Baarda, 1981; Marjetič in Stopar, 2007):

$$\Delta^T \Delta = \min., \tag{1}$$

zato v tem primeru tudi datumske količine dobijo popravke. Poenostavljeno lahko rečemo, da nekako 'izravnamo' tudi koordinate GNSS-točk, ki predstavljajo dane količine v izravnavi geodetske mreže. Prehod rešitve mreže iz geodetskega datuma  $i$  v rešitev z datumom  $j$  opišemo z enačbo S-transformacije:

$$\Delta_i = \mathbf{S}_{j \rightarrow i} \cdot \Delta_j, \tag{2}$$

kjer so:

$\Delta_i$  – rešitev za vektor neznank v geodetskem datumu  $i$ ,

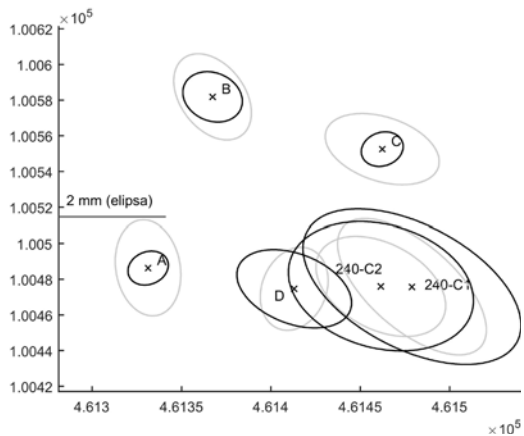
$\Delta_j$  – rešitev za vektor neznank v geodetskem datumu  $j$ ,

$\mathbf{S}_{j \rightarrow i} = \mathbf{I} - \mathbf{H}(\mathbf{H}^T \mathbf{E}_i \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{E}_i$  – matrika S-transformacije dimenzije  $2m \times 2m$  ( $m$  – število točk v mreži), kjer je  $\mathbf{I}$  – enotska matrika,  $\mathbf{H}$  – datumska matrika notranjih vezi,  $\mathbf{E}_i$  – matrika z izvendagonalnimi členi 0 in vrednostjo 1 na tistih mestih glavne diagonale, ki pripadajo posamezni koordinatni komponenti z dano količino za definiranje geodetskega datuma (Marjetič in Stopar, 2007). V danem primeru so to točke GNSS.

V matriki **E** je vrednost 1 v vseh mestih koordinatnih komponent točk, ki so bile določene z metodo GNSS. S tem damo vsem 'danim' koordinatam enak vpliv pri definiranju geodetskega datuma, ne glede na to, s kolikšno natančnostjo so bile določene. Rezultate S-transformacije izravnava prostih mrež v numerični in grafični obliki z izrisom standardnih elips pogreškov podajamo v preglednicah od 6 do 10.

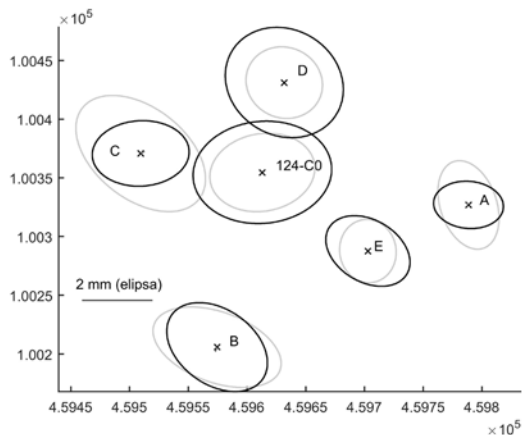
Preglednica 6: Rezultati S-transformacije za geodetsko mrežo Trnovo (desno grafična predstavitev standardnih elips pogreškov pred S-transformacijo (siva) in po njej (črna))

Točka	$e$ [m]	$n$ [m]	$\sigma_e$ [mm]	$\sigma_n$ [mm]
Prosta mreža				
A	461.331,2900	100.486,2703	0,9	0,6
B	461.367,3713	100.581,8598	0,8	0,7
C	461.462,2308	100.552,5684	0,7	1,0
D	461.413,0072	100.474,6489	0,8	0,6
240-C1	461.478,8643	100.475,7027	1,3	1,4
240-C2	461.461,4590	100.475,9693	0,9	1,2
S-transformacija na točke A, B, C				
A	461.331,3182	100.486,2605	0,3	0,4
B	461.367,3814	100.581,8496	0,6	0,5
C	461.462,2394	100.552,5758	0,4	0,3
D	461.413,0319	100.474,6534	1,1	0,7
<b>240-C1</b>	<b>461.478,8845</b>	<b>100.475,7180</b>	<b>1,4</b>	<b>2,0</b>
<b>240-C2</b>	<b>461.461,4803</b>	<b>100.475,9817</b>	<b>1,2</b>	<b>1,7</b>



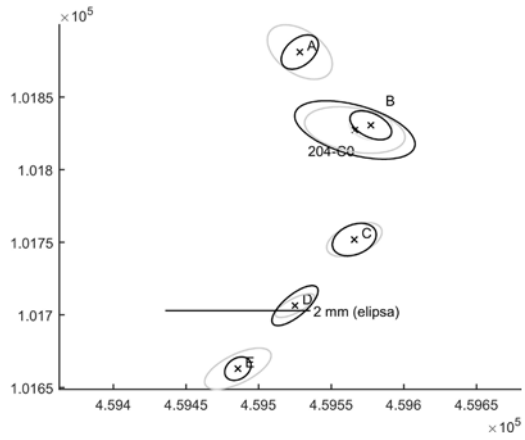
Preglednica 7: Rezultati S-transformacije za geodetsko mrežo Vič (desno grafična predstavitev standardnih elips pogreškov pred S-transformacijo (siva) in po njej (črna))

Točka	$e$ [m]	$n$ [m]	$\sigma_e$ [mm]	$\sigma_n$ [mm]
Prosta mreža				
A	459.788,4896	100.326,8932	1,3	0,9
B	459.574,5097	100.205,6994	1,1	1,8
C	459.509,4797	100.370,6790	1,6	1,8
D	459.631,6631	100.431,1052	1,0	1,1
E	459.702,8502	100.287,6061	0,9	0,8
124-C0	459.612,9947	100.354,5806	1,1	1,5
S-transformacija na točke A, B, C, D				
A	459.788,5144	100.326,9541	1,0	0,7
B	459.574,5164	100.205,7981	1,3	1,4
C	459.509,5152	100.370,7868	0,9	1,4
D	459.631,7074	100.431,1916	1,6	1,7
E	459.702,8693	100.287,6820	1,2	1,0
124-C0	459.613,0262	100.354,6710	1,5	2,0



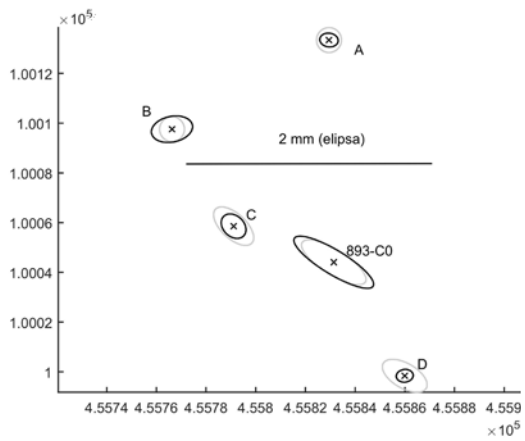
Preglednica 8: Rezultati S-transformacije za geodetsko mrežo Rožnik (desno grafična predstavitev standardnih elips pogreškov pred S-transformacijo (siva) in po njej (črna))

Točka	$e$ [m]	$n$ [m]	$\sigma_e$ [mm]	$\sigma_n$ [mm]
<b>Prosta mreža</b>				
A	459.528,3351	101.880,9376	0,4	0,4
B	459.577,2119	101.830,5524	0,2	0,3
C	459.565,8650	101.751,8525	0,2	0,3
D	459.524,9861	101.706,4015	0,2	0,3
E	459.485,6470	101.662,9882	0,3	0,4
204-C0	459.566,2268	101.827,2825	0,3	0,7
<b>S-transformacija na točke A, B, C, E</b>				
A	459.528,3313	101.880,9382	0,3	0,2
B	459.577,2071	101.830,5535	0,2	0,3
C	459.565,8599	101.751,8549	0,2	0,3
D	459.524,9814	101.706,4048	0,3	0,3
E	459.485,6427	101.662,9924	0,2	0,2
<b>204-C0</b>	<b>459.566,2221</b>	<b>101.827,2837</b>	<b>0,4</b>	<b>0,8</b>



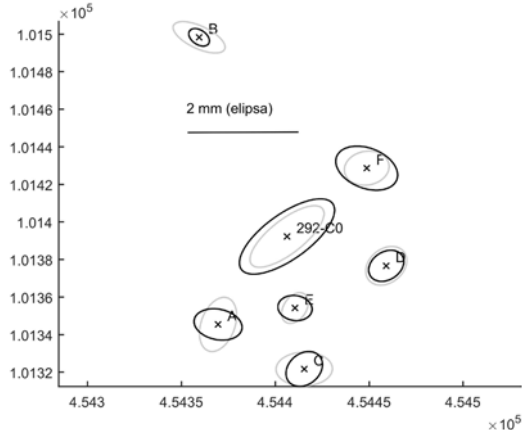
Preglednica 9: Rezultati S-transformacije za geodetsko mrežo Podsmreka (desno grafična predstavitev standardnih elips pogreškov pred S-transformacijo (siva) in po njej (črna))

Točka	$e$ [m]	$n$ [m]	$\sigma_e$ [mm]	$\sigma_n$ [mm]
<b>Prosta mreža</b>				
A	455.829,4780	100.133,4203	0,1	0,1
B	455.766,2909	100.097,5639	0,1	0,1
C	455.791,0898	100.058,5610	0,1	0,1
D	455.859,9690	99.998,3943	0,1	0,1
893-C0	455.831,3941	100.044,0623	0,2	0,3
<b>S-transformacija na točke A, B, C</b>				
A	455.829,4698	100.133,4233	0,1	0,1
B	455.766,2799	100.097,5655	0,1	0,2
C	455.791,0798	100.058,5608	0,1	0,1
D	455.859,9619	99.998,3913	0,1	0,1
<b>893-C0</b>	<b>455.831,3858</b>	<b>100.044,0614</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>



Preglednica 10: Rezultati S-transformacije za geodetsko mrežo Dobrova (desno grafična predstavitev standardnih elips pogreškov pred S-transformacijo (siva) in po njej (črna))

Točka	$e$ [m]	$n$ [m]	$\sigma_r$ [mm]	$\sigma_n$ [mm]
Prosta mreža				
A	454.369,5089	101.345,4359	0,5	0,3
B	454.359,4180	101.498,3249	0,3	0,4
C	454.415,4000	101.321,7106	0,3	0,5
D	454.459,0724	101.376,6567	0,3	0,4
E	454.410,4831	101.354,1738	0,3	0,3
F	454.448,6721	101.428,6475	0,3	0,4
292-C0	454.406,2286	101.392,2562	0,6	0,7
S-transformacija na točke A, B, C, D				
A	454.369,5070	101.345,4329	0,4	0,3
B	454.359,4144	101.498,3207	0,2	0,2
C	454.415,3980	101.321,7083	0,3	0,3
D	454.459,0695	101.376,6545	0,3	0,3
E	454.410,4808	101.354,1712	0,3	0,2
F	454.448,6686	101.428,6448	0,4	0,5
<b>292-C0</b>	<b>454.406,2259</b>	<b>101.392,2533</b>	<b>0,7</b>	<b>0,8</b>



### 3.3 Izračun višin

Višinsko situacijo smo izračunali ločeno tako, da smo celotno mrežo navezali na uradni državni višinski geodetski datum. Pri tem smo uporabili metodo geometričnega nivelmana, s katerim smo prenesli višino z najbližjega repolja obstoječe nivelmanske mreže na vsaj eno točko geodetske mikromreže, ki smo jo vzpostavili za določitev koordinat cerkvenega zvonika. V geodetski mikromreži smo nato na podlagi merjenih zenitnih razdalj in poševnih dolžin izračunali enostranske višinske razlike z metodo trigonometričnega višinomerstva po enačbi (na primer med točkama  $a$  in  $b$ ):

$$\Delta H_a^b = S_r \cos(z_{a,r}^b) + \frac{S_r^2}{2R} (1 - k) \sin^2(z_{a,r}^b) + i - l, \quad (3)$$

kjer so:

$S_r$  – poševno merjena dolžina, z upoštevanjem meteoroloških popravkov in popravka zaradi ukrivljenosti merskega žarka (Kogoj, 2002),

$z_{a,r}^b$  – merjena zenitna razdalja med točkama  $a$  in  $b$ , ki se nanaša na tetivo  $S_r$ ,

$R$  – polmer Zemlje (= 6378 km),

$k = 0,13$  – koeficient refrakcije,

$i, l$  – višina instrumenta in reflektorja.

Zaradi predoločenosti smo mrežo izravnali po MNK in kot rezultat pridobili izravnane višine točk in pripadajoče natančnosti (preglednica 11).



Preglednica 11: Izravnane višine cerkvenih zvonikov.

Točka (cerkveni zvonik)	Oznaka točke	H [m] 'staro'	H [m] 'novo'	$\sigma_n$ [mm]
Trnovo – vzhod	240-C1	/	339,4586	2,2
Trnovo – zahod	240-C2	/	339,4167	2,1
Vič	124-C0	340,52	339,8135	2,9
Rožnik	204-C0	425,80	425,8600	2,2
Podsmreka	893-C0	347,13	347,1574	0,9
Dobrova	292-C0	356,02	356,0352	1,4

#### 4 DOLOČITEV RAZLIK ZA KOORDINATE TOČK

Glavno vodilo prispevka je bil opis postopka določitve položajev (koordinat v horizontalni ravnini in višin) ekscentričnih točk starih geodetskih mrež. Koordinate so nam lahko tudi izhodišče za oceno kakovosti transformiranih koordinat točk. V vsedravnem modelu trikotniške transformacije lahko ocenimo razlike za transformirane in referenčne koordinate točk v ravnini projekcije (prehod iz D48/GK v D96/TM), medtem ko bi lahko pri oceni kakovosti prostorske transformacije dodatno obravnavali tudi višine. V prispevku smo se omejili le na oceno kakovosti transformacije s trikotniško transformacijo.

Preglednica 12: S trikotniško transformacijo določene koordinate točk v D96/TM in razlike do referenčnih (določenih s kombinacijo klasične terestrične in izmere GNSS)

Točka	Oznaka točke	$e$ [m]	$n$ [m]	$\Delta e$ [m]	$\Delta n$ [m]
Trnovo – vzhod	<b>240-C1</b>	461.478,940	100.475,681	<b>0,076</b>	<b>-0,021</b>
Trnovo – zahod	<b>240-C2</b>	461.461,470	100.475,961	<b>0,011</b>	<b>-0,008</b>
Vič	<b>124-C0</b>	459.613,032	100.354,687	<b>0,006</b>	<b>0,016</b>
Rožnik	<b>204-C0</b>	459.566,239	101.827,275	<b>0,012</b>	<b>-0,008</b>
Podsmreka	<b>893-C0</b>	455.831,420	100.044,110	<b>0,034</b>	<b>0,049</b>
Dobrova	<b>292-C0</b>	454.406,202	101.392,287	<b>-0,024</b>	<b>0,034</b>

Na podlagi rezultatov iz preglednice 12 lahko ugotovimo, da je kakovost modela trikotniške transformacije na danem območju boljša od pogojno še sprejemljive kakovosti (določene z 10 centimetri) in v definicijskem realno dosegljive kakovosti transformacijskega modela, ki je opredeljena s 5 centimetri.

V postopku ocene kakovosti modela trikotniške transformacije na podlagi nabora ekscentričnih točk starih trigonometričnih mrež velja izpostaviti tudi nekatere pomanjkljivosti postopka, in sicer:

- v nekaterih primerih je iz topografij težko razbrati način določitve položajev cerkvenih zvonikov glede na njihovo obliko (način določitve centra geometrijskega telesa, ki opisuje obliko nosilca pod jabolkom),
- upoštevati moramo tudi možnost, da so bili tudi cerkveni zvoniki prenovljeni, zato lahko nastane neskladje med situacijo v starem in novem koordinatnem sistemu, ki ni posledica transformacije,
- če ne poznamo celotnega postopka določitve položajev cerkvenih zvonikov v starem koordinatnem sistemu, bi lahko pod vprašaj postavili tudi kakovost njihove določitve glede na druge točke trigonometričnih mrež (na primer poligonske točke).

Ob tem velja izpostaviti, da kakovost določitve položajev cerkvenih zvonikov s kombinirano GNSS in terestrično izmero ni prostorsko pogojena, kot je to pri transformaciji. To pomeni, da bi lahko z enakim

postopkom izmere vsepovsod pridobili koordinate točk v okviru predvidene natančnosti metod izmere. Nasprotno pa tega ne moremo trditi za vsedrjavni model trikotniške transformacije, pri katerem je kakovost končnih rezultatov odvisna od posameznega območja. Z verifikacijo modela smo nakazali na območja z večjimi razlikami, obstajajo pa tudi neverificirana območja, kjer je pričakovati precej večje (tudi nekajdecimetske) razlike med referenčnimi in transformiranimi koordinatami (Berk in sod., 2017).

## 5 SKLEP

V prispevku smo opisali in praktično preverili postopek določitve koordinat ekscentričnih stojišč trigonometričnih mrež starega koordinatnega sistema v koordinatnem sistemu D96/TM. Na praktičnih primerih smo pokazali združitev rezultatov dveh geodetskih mrež različne kakovosti, to je GNSS in natančnejše terestrične mreže, s postopkom S-transformacije. Tako smo zagotovili umestitev geodetske mreže v aktualni državni horizontalni koordinatni sistem ob ohranitvi dobrih relativnih odnosov med vsemi točkami, ki smo jih pridobili z izravnavo proste terestrične mreže. Opisali smo tudi določitev višin cerkvenih zvonikov, ki jih pri oceni kakovosti trikotniške transformacije ne potrebujemo, uporabili pa bi jih lahko v izračunu ali analizi transformacijskih parametrov prostorske transformacije. Te zaradi preobsežnosti prispevka nismo podrobneje obravnavali niti primerjali z rezultati vsedrjavne trikotniške transformacije, ampak za zdaj nerešeno vprašanje puščamo kot izhodišče za nadaljnje raziskave. V prihodnje bi bilo dobro z enakim postopkom določiti tudi koordinate cerkvenim zvonikom na območjih, ki so jih med verifikacijo trikotniške transformacije identificirali kot problematična, oziroma tam, kjer trikotniške transformacije še niso verificirali. Poleg opredelitve razlik transformiranih in s terensko izmero pridobljenih koordinat točk v novem koordinatnem sistemu posebej za cerkvene zvonike in druge točke starih geodetskih mrež bi lahko tudi sklepali o nesoglasjih (napakah) v starem koordinatnem sistemu, ki so izhajala iz različnih merskih postopkov za določitev koordinat detajlnih točk.

Opisani postopek ima poleg kakovostne določitve položajev ekscentričnih stojišč stare mreže v novem sistemu tudi slabosti, pri čemer bi lahko izpostavili zamuden postopek določitve koordinat. Vseeno pa postopek omogoča vzpostavitev kakovostne povezave (ali ocene kakovosti transformacije) med starim in novim koordinatnim sistemom na območjih, kjer točk starih trigonometričnih mrež ni več na voljo. Zanimivo bi bilo tudi določiti relativne odnose med več zvoniki iste cerkve, da bi morda lahko tudi opredelili kakovost rezultatov terestričnih meritev v preteklosti.

### Zahvala

*Prispevek je nastal v okviru raziskovalnega programa Geoinformacijska infrastruktura in trajnostni prostorski razvoj Slovenije (P2-0227) Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije – ARRS.*

### Literatura in viri:

- Baarda, W. (1981). S-transformations and criterion matrices. Rijkscommissie voor Geodesie, Delft, 168 str.
- Berk, S., Duhovnik, M. (2007). Transformacija podatkov Geodetske uprave Republike Slovenije v novi državni koordinatni sistem Geodetski vestnik, 51 (4), 803–826.
- Berk, S., Komadina, Ž. (2013). Local to ETRS89 datum transformation for Slovenia: triangle-based transformation using virtual tie points. Survey Review, 45 (328), 25–34. DOI: <https://doi.org/10.1179/1752270611Y.0000000020>
- Berk, S., Čeh, M., Fabiani, N., Fajdiga, D., Komadina, Ž., Lisec, A., Oven, K., Pavlovčič Prešeren, P., Stopar, B. (2015). Verifikacija vsedrjavnega modela transformacije med D48/GK in D96/TM. Geodetski vestnik, 59 (1), 159–167.
- Berk, S., Triglav, J., Komadina, Ž., Oven, K., Lisec, A., Čeh, M., Stopar B. (2017). Vsedrjavni model transformacije podatkov zemljiškega katastra iz D48/GK v

- D96/TM. Predavanje v okviru 45. Geodetskega dneva, Izmerjena dežela: 200 let katastra na Slovenskem. [http://dgg.si/wp-content/uploads/2017/06/2-04\\_GD2017\\_Sandi\\_Berk\\_in\\_sod-Transformacije-D48GK-v-D96TM.pdf](http://dgg.si/wp-content/uploads/2017/06/2-04_GD2017_Sandi_Berk_in_sod-Transformacije-D48GK-v-D96TM.pdf), pridobljeno 7. 8. 2018.
- Grigillo, D., Stopar, B. (2003). Metode odkrivanja grobih pogreškov v geodetskih opazovanjih. *Geodetski vestnik*, 47 (4), 387–403.
- GURS (2018). Portal prostor. <http://www.e-prostor.gov.si/>, podatki pridobljeni 12. 6. 2018.
- International GNSS Service, spletna stran podatkov – IGS (2018). Spletni vir podatkov: <ftp://igs.ensg.ign.fr/pub/igs/products/>, podatki pridobljeni 26. 4. 2017 in 15. 4. 2018.
- Javad Triumph-LS Datasheet. <https://www.javad.com/jgnss/products/receivers/triumph-ls.html>, pridobljeno 7. 8. 2018.
- Kogoj, D. (2002). Merjenje dolžin z elektronskimi razdaljmeri. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Kuang, S. (1996). *Geodetic Network Analysis and Optimal Design: Concepts and Applications*. Ann Arbor Press, Inc.
- Leica Viva GS15 Datasheet. [http://geotx.com/pdf/Leica\\_Viva\\_GS15.pdf](http://geotx.com/pdf/Leica_Viva_GS15.pdf), pridobljeno 7. 8. 2018.
- Marjetič, A., Stopar, B. (2007). Geodetski datum in S-transformacija. *Geodetski vestnik*, 51 (3), 549–564.
- National Geodetic Survey – NGS (2018). Spletni vir podatkov: <https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>, pridobljeno 26. 4. 2017 in 15. 4. 2018.
- Pravilnik o urejanju mej ter spreminjanju in evidentiranju podatkov zemljiškega katastra. Uradni list RS, št. 8/2007, 26/2007.
- Pribečvič, B. (2000). Uporaba geološko-geofizičnih in geodetskih baz podatkov za računanje ploskve geoida Republike Slovenije. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 179 str.
- SIGNAL (2018). Spletni vir podatkov: <http://www.gu-signal.si/>, pridobljeno 26. 4. 2017 in 15. 4. 2018.
- Stopar, B., Kuhar, M. (2001). Moderni geodetski koordinatni sistemi in astrogeodetska mreža Slovenije. *Geodetski vestnik*, 45 (1-2), 11–26.
- ZDGRS (2014). Zakon o državnem geodetskem referenčnem sistemu. Uradni list



Marjetič A., Pavlovčič Prešeren P. (2018). Določitev položajev cerkvenih zvonikov v koordinatnem sistemu D96/TM, 62 (4), 587–603.  
DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2018.04.587-603>

**Doc. dr. Aleš Marjetič, univ. dipl. inž. geod.**  
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo  
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana  
e-naslov: ales.marjetic@fgg.uni-lj.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.pavlovic-preseren@fgg.uni-lj.si