

DOLOČITEV POLOŽAJA CERKVENEGA ZVONIKA S TERESTRIČNIM LASERSKIM SKENIRANJEM

DETERMINATION OF CHURCH BELFRY POSITION USING TERRESTRIAL LASER SCANNING

Tine Hren, Klemen Kregar, Aleš Marjetič

UDK: 528.7:726
Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.01
Prispelo: 19. 6. 2020
Sprejeto: 9. 9. 2020

DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2020.03.320-334
SCIENTIFIC ARTICLE
Received: 19. 6. 2020
Accepted: 9. 9. 2020

IZVLEČEK

Cerkveni zvoniki so bili zaradi svoje oblike in višje postavitve v preteklosti primerne orientacijske točke pri detajlni izmeri. Z razvojem metod satelitske izmere in predvsem uvedbo koordinatnega sistema D96/TM so počasi izgubljali pomen. Kljub temu so v primerjavi s talnimi trigonometričnimi točkami večinoma ostali nedotaknjeni. Kot takšni omogočajo določitev transformacijskih parametrov med starim in novim koordinatnim sistemom. Zato potrebujemo določitev njihovih položajev tudi v novem koordinatnem sistemu. V prispevku opisujemo postopek določitve položaja cerkvenega zvonika s terestričnim laserskim skeniranjem (TLS) na primeru obeh zvonikov Trnove cerkve. Postopek vključuje določitev koordinat oslonilnih točk za georeferenciranje oblakov točk. To zahteva določitev geodetskega datuma s kombinacijo izmere GNSS in geometrične nivelmana ter klasično izmero geodetske mreže z izravnavo proste mreže in uporabo postopka S-transformacije. Na podlagi georeferenciranih oblakov točk smo določili položaj trigonometrične točke zvonika z izravnavo parametrov krogle. Podatke filtriramo z algoritmom RANSAC, tako da imamo v izravnavi res le točke, ki pripadajo krogli. Rezultate smo primerjali s položaji, določenimi na podlagi klasične terestrične geodetske izmere.

ABSTRACT

In the past, church belfries, due to their shape and higher layout, often served as reference points in surveying. With the development of satellite based positioning methods and the establishment of the D96/TM coordinate system, they slowly lost their significance. Nevertheless, unlike ground trigonometric points, they have remained largely intact. As such, they enable the determination of transformation parameters between the old and the new coordinate systems. Therefore, we need to determine their positions in the new coordinate system. In this paper, we describe the process of determining the position of church belfries using terrestrial laser scanning (TLS) in the case of both belfries of the Trnovo church. The process involves determining coordinates of the tie points for georeferencing the point clouds, which requires the determination of the geodetic datum by a combination of GNSS measurement and geometric levelling, and the classical geodetic survey of the geodetic network with free-network adjustment and further use of the S-transformation. Based on the georeferenced point clouds, we determined the position of the trigonometric point by sphere parameters adjustment. The data is filtered using the RANSAC so that we only have points that belong to the sphere in the adjustment process. The results were compared with the positions determined based on the classical terrestrial geodetic survey.

KLJUČNE BESEDE

cerkveni zvonik, državni koordinatni sistem, geodetska mreža, terestrično lasersko skeniranje, georeferenciranje, oblak točk, izravnava po metodi najmanjših kvadratov, RANSAC

KEY WORDS

church belfry, national coordinate system, geodetic network, terrestrial laser scanning, georeferencing, point cloud, least-squares adjustment, RANSAC

1 UVOD

Cerkveni zvoniki so imeli v zgodovinskem razvoju geodezije zelo pomembno vlogo. Cerkve so zaradi višine in lokacije običajno izstopajoči objekti v naseljih ali celo stojijo na vrhu hribov, zaradi česar so njihovi zvoniki vidni daleč naokrog in precej bolj odporni proti uničenju kot talne trigonometrične točke. Te so pogosto uničene zaradi naravnih vplivov ali gradbenih posegov v prostor, dandanes pa ni več interesa za njihovo obnovo. Že v preteklosti so cerkvene zvonike zaradi njihove oblike in vidnosti pogosto uporabljali kot izhodišče za terenske izmere oziroma določitev položaja geodetskih točk nižjih redov, predvsem pri polarni metodi izmere. Podatke o njihovem položaju in stanju je v svojih bazah redno vzdrževala Geodetska uprava Republike Slovenije (v nadaljevanju: GURS), koordinate v teh bazah pa se nanašajo na ravninski koordinatni sistem D48/GK.

Začetki starega državnega koordinatnega sistema segajo v obdobje avstro-ogrske monarhije. S kratico D48/GK označujemo letnico vzpostavitve slovenske astro-geodetske mreže (1948) in Gauß-Krügerjevo projekcijo. GURS je v začetku leta 2008 začel uvajati državni koordinatni sistem D96/TM na podlagi 139. člena Zakona o evidentiranju nepremičnin – ZEN (2006). Oznaka D96/TM pomeni letnico določitve 1996 in transverzalno Mercatorjevo projekcijo, kar je pravzaprav splošno uveljavljeno ime za Gauß-Krügerjevo projekcijo. Z oznako TM poudarjamo le, da gre za nov koordinatni sistem. Novi koordinatni sistem smo v Sloveniji uvedli tudi za višine v letu 2018 z oznako SVS2010/Koper. Parametri so določeni z Uredbo o določitvi parametrov višinskega dela vertikalne sestavine državnega prostorskega koordinatnega sistema (2018).

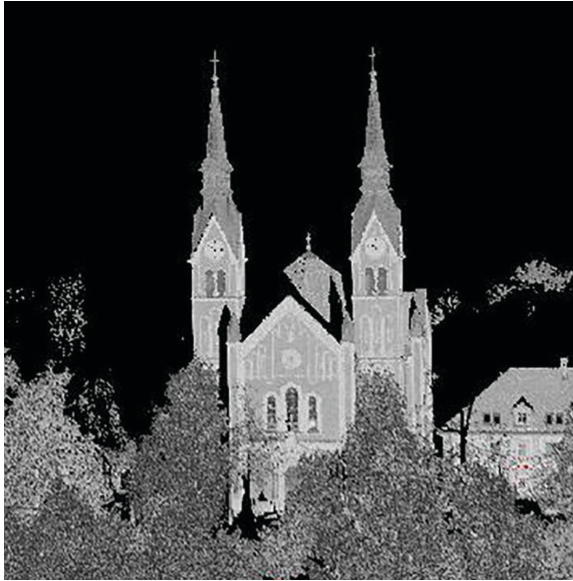
Z razvojem geodezije, še posebej z uvedbo tehnologije GNSS, so trigonometrične mreže izgubljale pomen. Predvsem se je njihova uporaba začela opuščati z uvajanjem novega državnega koordinatnega sistema D96/TM po letu 2008. Cerkveni zvoniki so tako izgubili svojo vlogo v geodeziji. Kljub temu ostaja dejstvo, da so v nasprotju s preostalimi, predvsem talnimi trigonometričnimi točkami, ki so večinoma uničene, povečini ostali nedotaknjeni. Zato imajo podatki o njihovih položajih neprecenljivo vrednost, omogočajo namreč zvezni prehod med starim in novim državnim koordinatnim sistemom na manjšem območju izmere (Marjetič in Pavlovčič, 2018), določitev kakovostnejših transformacijskih parametrov med starim in novim koordinatnim sistemom ali vsaj oceno kakovosti parametrov te transformacije. Za vse to pa potrebujemo kakovostne položaje cerkvenih zvonikov v novem državnem koordinatnem sistemu D96/TM.

V nadaljevanju prikazujemo inovativen način določanja koordinat zvonikov v D96/TM, in sicer s terestričnim laserskim skeniranjem (v nadaljevanju: TLS) ob podpori drugih geodetskih merskih metod za umestitev skeniranega oblaka točk v državni koordinatni sistem na podlagi oslonilnih točk. Postopek določitve koordinat oslonilnih točk temelji na kombinaciji izmere GNSS in klasične terestrične geodetske izmere.

Georeferenciran oblak točk je v konkretnem primeru podlaga za določitev položaja trigonometrične točke z izravnavo parametrov krogle. Trigonometrična točka je namreč pri večini cerkvenih zvonikov določena pod jabolkom zvonika (slika 5), ki jo po obliki predpostavimo kot prisekano kroglo, na kateri stoji križ. Koordinate so tako določene s središčem te krogle.

Postopek smo uporabili za določitev koordinat obeh zvonikov Trnovske cerkve (slika 1) v Ljubljani. Za to delovišče smo se odločili, ker smo želeli preveriti smiselnost uporabe metode TLS za določanje položaja

cerkvenega zvonika. Koordinate smo lahko primerjali s koordinatami, določenimi s klasično terestrično geodetsko izmero (Marjetič in Pavlovčič Prešeren, 2018). Ker ima Trnovska cerkev dva zvonika, nam omogoča tudi relativno primerjavo med starim in novim državnim koordinatnim sistemom. Tako smo lahko na primeru preprostega izračuna razdalje med zvonikoma preverili kakovost določitve koordinat v starem koordinatnem sistemu, brez vpliva transformacije.



Slika 1: Oblak točk Trnovske cerkve.

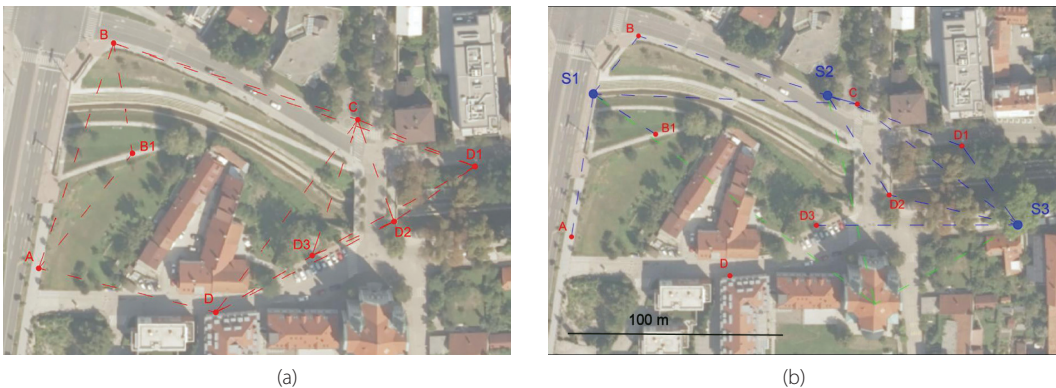
V članku predstavljeni postopek spada na področje kombiniranja različnih geodetskih merskih tehnik. Poudarek je seveda na metodi TLS, ki vključuje več faz obdelave skenograma. Na temo registracije in georeferenciranja oblakov točk obstaja vrsta raziskav in iz njih izvedenih postopkov (Besl in McKay, 1992). Najširše uporabljena metoda registracije je ICP (angl. *Iterative Closest Point*, He in sod., 2017). Georeferenciranje je na drugi strani ključen postopek umeščanja oblaka točk v zunanji koordinatni sistem (Kraus, 2000), kar je v našem primeru osnovni pogoj, saj želimo z modeliranjem iz oblaka točk in določanjem geometrijskih lastnosti objekta določiti položaj točno določene točke na zvoniku v državnem koordinatnem sistemu. Primernost metode TLS se je sicer izkazala že v več primerih iskanja geometrijskih lastnosti objektov: pri modeliranju cerkvenega zvonika (Oleniacz in sod., 2017), določevanju geometrije tirnic žerjavne proge (Kregar in sod., 2017), določevanju vertikalnosti dimnikov (Barazzeti in sod., 2019, Kregar in sod., 2015) itd., kjer sicer umeščanje v zunanji/globalni/državni koordinatni sistem ni pogoj. V povezavi z arhitekturnimi objekti se metoda TLS povečini uporablja za vizualizacije za namen arhiviranja in obnov zgodovinskih objektov (Petrovič in sod., 2019), kamor spadajo tudi cerkve.

Cilj obdelave v obravnavanem primeru je določitev koordinat specifične točke na cerkvenem zvoniku. Način določitve je v smislu povezovanja merskih metod inovativen in zagotavlja kakovostne rezultate, kar skušamo v nadaljevanju tudi predstaviti in potrditi.

2 METODE IZMERE IN OBDELAVA OPAZOVANJ

2.1 Vzpostavitev koordinatne osnove

V okolici Trnovske cerkve so bile že za potrebe predhodnih izmer, s katerimi smo določali položaj cerkvenih zvonikov v novem koordinatnem sistemu, trajno stabilizirane štiri geodetske točke (Marjetič in Pavlovčič Prešeren, 2018). Te točke so bile vključene v geodetsko mrežo, s katero smo zagotavljali geodetski datum pri klasični določitvi položaja cerkvenih zvonikov. Stabilizirane so s kovinskimi čepi na pločnikih pred cerkvijo ter na obeh bregovih Gradaščice. Za potrebe georeferenciranja oblakov točk potrebujemo več oslonilnih točk s kakovostno določenimi koordinatami. Še posebej to velja na tem območju, kjer zagotavljanje vizur ovirata gosta pozidava in bujno rastje. V osnovi za georeferenciranje oblaka točk zadostujejo tri oslonilne točke. V našem primeru smo cerkvena zvonika zajeli s treh stojšč skenerja (slika 2b). Če bi torej imeli le tri oslonilne točke, bi morale biti jasno vidne z vseh treh stojšč. Zaradi ovir je bilo to neizvedljivo, zato smo vzpostavili več (osem) oslonilnih točk ter jih s kombinacijo GNSS in klasičnih terestričnih meritev povezali v geodetsko mrežo (slika 2a). Pri tem smo uporabili tri trajno stabilizirane točke (A, B, C) in pet dodatnih, ki smo jih stabilizirali le začasno s stativi. Namen je bil vzpostaviti kakovostno koordinatno osnovo za georeferenciranje oblaka točk.



Slika 2: Geodetska mreža (a) in položaj stojšč skenerja (b) (podlaga DOF; GURS, 2019).

Izmero geodetske mreže smo izvedli s tahimetrom na petih stojščih (A, B, C, D, D2 na sliki 2a), v štirih girusih. S tem smo zagotovili kombinirane triangulacijsko-trilateracijske meritve za izravnavo geodetske mreže po metodi najmanjših kvadratov. Geodetski datum v tem primeru zagotovimo z izravnavo proste mreže in uporabo postopka S-transformacije, kjer kot dane uporabimo točke A, B in C, s predhodno določenimi koordinatami v državnem koordinatnem sistemu z metodo GNSS. Postopek S-transformacije (Marjetič in Stopar, 2007, Baarda, 1981) nam zagotovi določitev geodetskega datuma z minimalnimi popravki koordinat danih točk, pri tem pa ne vpliva na geometrijo mreže.

Priprava vhodnih podatkov za postopek izravnave zahteva izračun sredin girusov, redukcijo poševnih dolžin na raven državnega koordinatnega sistema, izračun približnih koordinat in zagotovitev koordinat danih točk. Koordinate točk za zagotovitev geodetskega datuma smo določili s statično metodo GNSS. Na podlagi hkratnih statičnih opazovanj GNSS, ki so trajala približno 120 minut, opazovanj stalne GNSS postaje omrežja SIGNAL, preciznih efemerid in parametrov anten smo določili položaj danih točk A, B in

C. Interval registracije med izmero je bil nastavljen na 1 s, minimalni višinski kot pa na 10°. Pri obdelavi smo uporabili hitre precizne efemeride IGR službe IGS (angl. *International GNSS Service*; IGS, 2020), opazovanja stalne postaje omrežja SIGNAL – GSRI (SIGNAL, 2020) in kalibracijske parametre anten službe NGS (angl. *National Geodetic Survey*; NGS, 2020). V preglednici 1 so prikazani rezultati obdelave opazovanj GNSS. Navedene vrednosti za oceno natančnosti koordinat so seveda precenjene. Razlog je v navezavi na samo eno stalno postajo omrežja SIGNAL, zaradi česar je geodetski datum poddoločen in posledično ne kvari notranje geometrije mreže, ter v velikem številu nadštevilknih meritev (posledica sekundnega intervala registracije med izvajanjem meritev).

Preglednica 1: Koordinate GNSS-točk v državnem koordinatnem sistemu D96/TM in višinskem sistemu SVS2010/Koper.

Točka	e [m]	n [m]	H [m]	σ_e [mm]	σ_n [mm]	σ_H [mm]
A	461.331,319	100.486,251	293,122	0,1	0,0	0,1
B	461.364,774	100.584,163	293,612	0,1	0,0	0,1
C	461.462,245	100.552,567	292,432	0,2	0,1	0,2

Splošno velja, da je višinska komponenta, določena z metodo GNSS, precej slabše kakovosti. Zaradi neposredne bližine reperjev mestne nivelmanske mreže Ljubljana smo v obravnavani geodetski mreži za določitev višine točke C uporabili metodo preciznega geometričnega nivelmana. Višinsko izhodišče je predstavljal reper mestne nivelmanske mreže v neposredni bližini. Višinska geodetska mreža je bila nato izravnana z dano višino točke C. Merjene višinske razlike v mreži smo zagotovili z metodo trigonometričnega višinomerstva.

Pri terenski izmeri smo uporabljali naslednji instrumentarij in pribor:

– **Statična izmera GNSS:**

- tri GNSS-sprejemnike Leica GS18: natančnost pri statični izmeri $\sigma_{\text{ISO-17123-8}}$: Hz: 3 mm, 0,1 ppm; V: 3,5 mm, 0,4 ppm (Leica Geosystems, 2017; slika 3 a);
- stativi, podnožja s peclji in nastavki za anteno in merski trak.

– **Klasična geodetska izmera:**

- tahimeter Leica TS30: natančnost merjenja smeri $\sigma_{\text{ISO-17123-3}}$: 0,5"; natančnost merjenja dolžin $\sigma_{\text{ISO-17123-4}}$: 0,6 mm, 1 ppm (Leica Geosystems, 2013; slika 3 b);
- stativi, podnožja s peclji, precizni reflektorji s prizmo Wild GPH1P, merski trak in vremenska postaja.

– **Geometrični nivelman:**

- digitalni nivelir Leica DNA03: natančnost odčitkov na invar nivelmanski lati $\sigma_{\text{ISO-17123-2}}$: 0,3 mm/ km dvojnega nivelmana (Leica DNA03 Manual, 2006);
- stativ, invar nivelmanske late Leica GPCL2 in podložke.



(a)



(b)

Slika 3: Statična metoda izmere GNSS z instrumentom Leica GS18 (a) in klasična geodetska izmera s tahimetrom Leica TS30 (b).

Koordinate točk mreže so predstavljene v preglednici 2. Določene so v državnem koordinatnem sistemu D96/TM in višinskem sistemu SVS2010/Koper. Pri izračunu višin oslonilnih točk je upoštevana konstantna višinska razlika med centrom reflektorja in centrom tarče skenerja (slika 4b).

Preglednica 2: Koordinate oslonilnih točk v državnem koordinatnem sistem D96/TM in SVS2010/Koper.

Točka	e [m]	n [m]	H [m]	σ_e [mm]	σ_n [mm]	σ_H [mm]
A	461.331,3166	100.486,2505	295,0648	0,4	0,5	0,9
B	461.364,7706	100.584,1631	295,5448	0,5	0,4	0,7
C	461.462,2508	100.552,5674	294,2712	0,7	0,2	0,0
B1	461.369,3437	100.537,4125	293,3525	0,5	0,8	1,4
D	461.415,9137	100.474,4054	293,5724	1,1	0,6	0,8
D1	461.512,3730	100.532,0211	293,5790	1,0	0,5	0,8
D2	461.478,8649	100.508,6190	294,2881	0,8	0,6	1,0
D3	461.443,9452	100.494,9798	294,0273	1,0	0,6	1,2

2.2 Terestrično lasersko skeniranje

Terestrično lasersko skeniranje smo izvedli s treh možnih stojišč (slika 2b), da smo zajeli vrh zvonika z vseh strani. Oslonilne točke smo imeli že stabilizirane s stativi, le reflektorje smo zamenjali s tarčami skenerja (slika 4b). Tako smo se izognili morebitnim pogreškom pri ponovnem centriranju. Tarče smo skenirali podrobneje s posebej vgrajeno funkcijo, oba zvonika v omejenem obsegu (samo vrh) pa s prostorsko resolucijo 2 mm.

Pri terenski izmeri smo uporabili:

- terestrični laserski skener Riegl VZ-400 (Riegl Laser Measurements System, 2019): točnost meritev dolžin: 5 mm, natančnost meritev dolžin: 3 mm, divergenca laserskega žarka: 0,35 mrad;
- pribor (stativi, podnožja s peclji in nastavki za tarče, Tilt&Turn tarče Leica HDS 6", slika 4b).



(a)



(b)

Slika 4: Terestrično lasersko skeniranje z instrumentom Riegl VZ400 (a) in tarča skenerja (b).

Za obdelavo podatkov terestričnega laserskega skeniranja smo uporabili program RiSCAN PRO (RIEGL Laser Measurement Systems GmbH). V osnovi poznamo šest korakov za obdelavo skenogramov, to so vizualizacija, organizacija podatkov, filtriranje, segmentacija, registracija in georeferenciranje, po navadi v tem vrstnem redu.

V fazi vizualizacije že na terenu preverjamo, ali je obravnavani objekt v celoti zajet z zadostnim številom točk. Dopolnjevanje oblaka točk z naknadnimi meritvami bi v našem primeru pomenilo veliko dodatnega dela v obliki ponovne izmere mreže, saj so oslonilne točke (tarče) samo začasno stabilizirane.

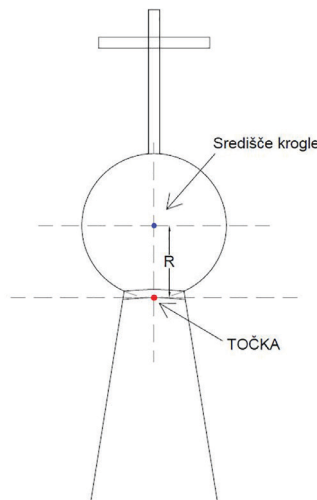
Kadar je objekt zajet z več stojišč, imamo več skenogramov, ki jih združimo v postopku registracije, tej pa sledi georeferenciranje. V našem primeru med skenogrami zaradi nedostopnosti objekta (vrh zvonika) nismo zagotovili veznih točk, zato smo se odločili za registracijo prek oslonilnih točk. Opraviti smo jo poskusili z metodo MSA (*Multi Station Adjustment*; RIEGL Laser Measurement Systems, 2004), vendar rezultati niso bili zadovoljivi. Ker smo skenirali samo vrh zvonikov (območje okrog jabolka), program RiSCAN PRO, verjetno zaradi majhnega števila in nepravilnosti geometrijskih oblik med skenogrami s posameznih stojišč, ni našel dovolj točk za kakovostno skupno izravnavo. Tudi rezultati na koncu niso bili smiselni, saj je bil radij krogle jabolka celo večji za registriran oblak, kot če registracije ne bi opravili.

Program RiSCAN PRO v osnovi loči tri koordinatne sisteme: skenerjev lastni koordinatni sistem oziroma koordinatni sistem posameznega stojišča, projektni koordinatni sistem in zunanji oziroma globalni koordinatni sistem. V našem primeru imamo tri stojišča, in . Ob registraciji oblakov točk v enoten lokalni koordinatni sistem bi imeli vsi trije določen položaj v enem projektnem koordinatnem sistemu. V našem primeru smo določali položaj točno določene točke (slika 5) v globalnem oziroma državnem koordinatnem sistemu D96/TM z višinskim datumom SVS2010/Koper, kar predstavlja naš globalni koordinatni sistem.

3 DOLOČITEV POLOŽAJA CERKVENEGA ZVONIKA

3.1 Izravnava parametrov krogle

Položaj cerkvenih zvonikov določamo na podlagi modeliranja iz oblaka točk ob predpostavljeni obliki krogle jabolka na cerkvenem zvoniku. Položaj določamo na podlagi parametrov krogle, ki jih izračunamo z izravnavo po metodi najmanjših kvadratov (MNK). Po definiciji je kroglja geometrijsko telo, definirano kot množica točk v 3D-prostoru (Urbančič in sod., 2014). Vse točke so od središča krogle (x_0, y_0, z_0) enako oddaljene, in sicer za vrednost polmera krogle R . Središče in polmer krogle sta parametra, s katerima je kroglja enolično določena. V horizontalnem koordinatnem sistemu je položaj zvonika določen s koordinatama centra krogle (x_0, y_0) . Po višini predpostavljamo, da je trigonometrična točka določena s koordinato centra krogle (z_0) in odštetim polmerom R (slika 5).



Slika 5: Trigonometrična točka na cerkvenem zvoniku.

Kroglja je v 3D-prostoru določena z enačbo (1):

$$(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2 - (R)^2 = 0, \tag{1}$$

kjer (x_i, y_i, z_i) predstavljajo koordinate točke na krogli ($i = 1 \dots n$, n – št. točk), ki predstavljajo meritve v modelu (1). Glede na uporabljeno gostoto skeniranja (2 mm) imamo na voljo nadštevilne meritve. Problem določitve parametrov krogle (x_0, y_0, z_0, R) rešujemo s splošnim modelom izravnave po metodi

najmanjših kvadratov (Teunissen, 2003). Pri tem predpostavimo, da so vse točke določene z enako natančnostjo, zato je matrika uteži opazovanj enotska.

Kot vhodni podatek v izravnavo smo v tej fazi uporabili samo oblak točk spodnje polovice jabolka zvonika, saj predvidevamo, da jabolko v celoti nima oblike krogle, kar tudi potrdimo v poglavju 3.2. Postopek izravnave smo izvedli tako za točke iz vsakega posameznega skenograma kot tudi za združene podatke. Preglednici 3 in 4 prikazujeta parametre krogle za oba zvonika Trnovske cerkve, izračunane iz skenogramov s treh stojšč, S_1 , S_2 in S_3 , ter iz združenega oblaka točk (skupaj). Trnovska cerkev ima dva zvonika, vzhodnega in zahodnega. Položaj smo določili obema. Uradni oznaki točk v trigonometrični mreži sta 240-C1 (vzhodni zvonik) in 240-C2 (zahodni zvonik).

Preglednica 3: Parametri krogle vzhodnega zvonika (240-C1) v D96/TM in SVS2010/Koper.

	Središče krogle				Polmer			
	e_0 [m]	σ_{e_0} [mm]	n_0 [m]	σ_{n_0} [mm]	H_0 [m]	σ_{H_0} [mm]	R [m]	σ_R [mm]
S_1	461.478,909	0.11	100.475,707	0.09	339,704	0.14	0,253	0.13
S_2	461.478,900	0.09	100.475,720	0.08	339,708	0.11	0,255	0.10
S_3	461.478,916	0.06	100.475,719	0.04	339,705	0.09	0,252	0.06
Skupaj	461.478,911	0.04	100.475,715	0.05	339,712	0.04	0,259	0.06

Preglednica 4: Parametri krogle zahodnega zvonika (240-C2) v D96/TM in SVS2010/Koper.

	Središče krogle				Polmer			
	e_0 [m]	σ_{e_0} [mm]	n_0 [m]	σ_{n_0} [mm]	H_0 [m]	σ_{H_0} [mm]	R [m]	σ_R [mm]
S_1	461.461,491	0.10	100.475,971	0.08	339,662	0.11	0,252	0.11
S_2	461.461,488	0.03	100.475,985	0.07	339,661	0.09	0,249	0.07
S_3	461.461,500	0.08	100.475,981	0.04	339,662	0.11	0,250	0.08
Skupaj	461.461,495	0.06	100.475,977	0.08	339,669	0.09	0,257	0.05

Iz preglednic 3 in 4 vidimo, da je polmer krogle za združen oblak (skupaj) točk nekoliko večji (do nekaj milimetrov) kot pri določitvi s posameznega stojšča. To je posledica tega, da oblakov točk s posameznih stojšč nismo združevali v postopku registracije iz zgoraj navedenih razlogov, ampak smo opravili kar georeferenciranje oblaka na posameznem stojšču in jih nato združili. Izračunane krogle s posameznih stojšč so lahko tako nekoliko manjše (manjši R) od izračunane krogle za združen oblak točk. Ali drugače, oblaki točk s posameznih stojšč so lahko med sabo nekoliko razmaknjeni. Razmaknjenost oblakov točk je lahko tudi posledica neupoštevanja redukcij dolžin za meteorološke vplive, kot je na primer prvi popravek hitrosti (Kogoj, 2005). To ne vpliva bistveno na določitev horizontalnega položaja. Zagotovljena mora biti le osna simetričnost (vertikalna os), ki pa jo zagotovimo z združenim oblakom z vseh stojšč. Negativen vpliv je lahko samo na določitev višine, vendar glede na metodo in pričakovano natančnost napaka velikostnega reda milimetra nima bistvenega pomena.

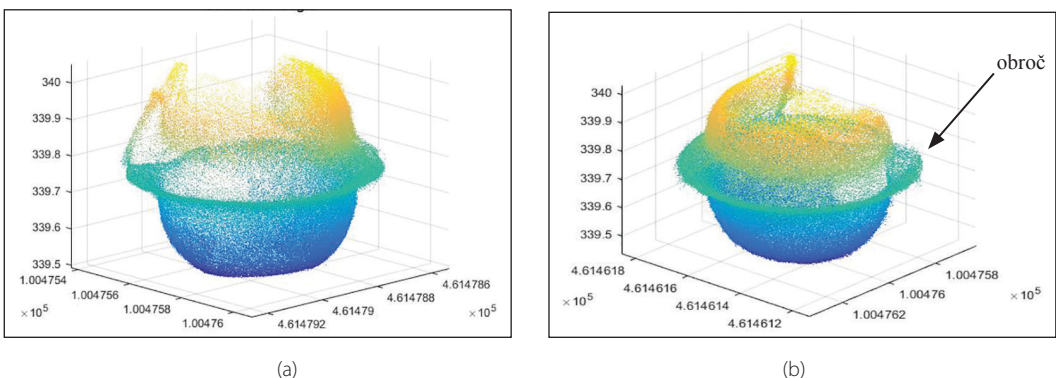
Za smiselno primerjavo različnih metod določitve položaja cerkvenega zvonika potrebujemo tudi podatek o natančnosti rezultatov. Pri klasični geodetski izmeri natančnost ocenimo med izravnavo geodetske mreže. Iz teh rezultatov smo dobili podatek o natančnosti koordinat oslonilnih točk, ki so bile vključene v geodetsko mrežo in smo jih kasneje uporabili za georeferenciranje (preglednica 2). V programu RiSCAN PRO se pojavi težava z določanjem natančnosti koordinat točk v oblaku, saj jo lahko ob georeferenciranju oziroma registraciji

ocenjujemo le na podlagi zadostnega števila veznih točk. V izravnavo parametrov krogle smo šli s predpostavko, da so vse točke določene z enako natančnostjo, kar pomeni, da je matrika uteži enotska. Ocena natančnosti izračunanih parametrov krogle je ob tolikšni nadštevilnosti tako rekoč neuporabna. Natančnosti parametrov krogle so močno precenjene, saj izračunane vrednosti natančnosti v povprečju znašajo red velikosti desetinke milimetra (preglednici 3 in 4), kar ni realno, zaradi česar podatka v rezultatih v poglavju 3.2 ne prikazujemo. Natančnost položaja cerkvenih zvonikov v državnem koordinatnem sistemu je odvisna od natančnosti meritev in obdelave skenogramov: v našem primeru od georeferenciranja skenogramov in predhodne določitve koordinat oslonilnih točk. Te so navedene v preglednici 2 in so velikosti nekaj milimetrov. Sklepamo, da smo parametre krogle in s tem horizontalni položaj cerkvenih zvonikov (preglednica 6) določili z natančnostjo približno 5 milimetrov. Višina je pri tem že v osnovi zaradi predpostavke o geometriji jabolka (viziranje pod obroč jabolka = višina centra krogle z odštetim radijem, slika 5) določena s slabšo natančnostjo.

3.2 RANSAC

Algoritem soglasja naključnih vzorcev oziroma RANSAC (angl. *RAN*dOm *SAM*ple *CON*sensus; Fischler in Bolles, 1981) je robustna metoda za segmentacijo ali filtriranje oblaka točk. V postopku izračuna parametrov ne uporablja celotnega podatkovnega niza vhodnih podatkov, temveč izbere naključni vzorec. Velikost vzorca je enaka številu točk, ki je minimalno potrebno za enolično določitev parametrov izbranega matematičnega modela. Algoritem iz izbranih točk določi parametre matematičnega modela, za vse ostale točke pa na podlagi podanega odstopanja preveri, ali pripadajo izračunanemu modelu. Matematični model krogle je enolično določen s štirimi parametri. Z algoritmom iščemo tak vzorec štirih točk, da bo število točk, ki znotraj določenega odstopanja pripadajo krogli, kar največje. Take točke imenujemo inlierji. Vse druge, ki ne pripadajo modelu, pa outlierji.

Ob izravnavi parametrov krogle v poglavju 3.1 smo kot vhodni podatek uporabili oblake točk, ki smo jih predhodno obrezali na območje spodnje polovice jabolka zvonika. Ker smo skenirali od spodaj, je bila orientacija površine spodnjega dela jabolka za elektrooptično merjenje dolžine ugodnejša. Posledica tega je večja gostota in manjša razpršenost točk na spodnjem delu jabolka. Ob prikazu oblakov točk (slika 6) ugotovimo, da jabolko zvonika v celoti dejansko ni kroglja. Izkaze se, da gre najverjetneje za dve polkrogli, ki sta med seboj razmaknjeni za širino obroča.



Slika 6: Prikaz združenih oblakov točk za celotno jabolko, vzhodni zvonik (a), zahodni zvonik (b).

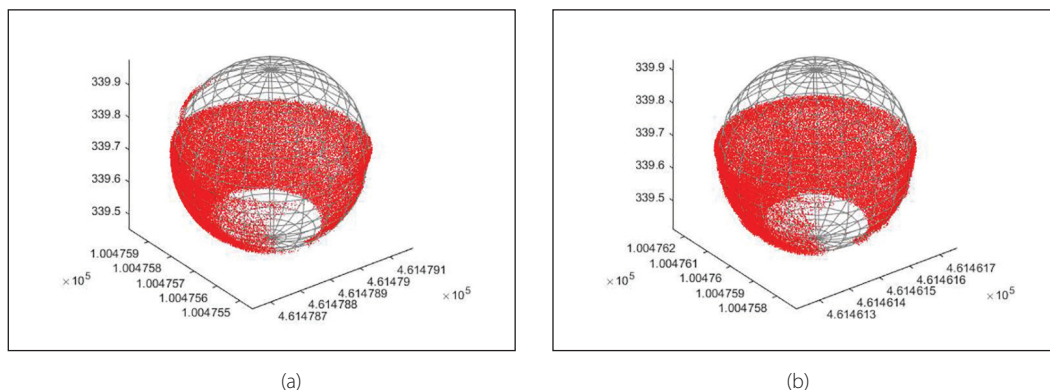
Ker nas zanima le položaj trigonometrične točke pod jabolkom zvonika (slika 5), za nas ni pomembno, kakšne oblike je jabolko. RANSAC načeloma deluje dobro tudi ob večjem deležu outlierjev (v našem primeru 40 %). Kljub temu ob preveč optimistično nastavljenem odstopanju dobimo v več poskusih zelo različne rezultate (Urbančič in sod., 2016; Urbančič in sod., 2014). Na podlagi poskušanja, ob spreminjanju praga odstopanja, smo ugotovili, da je optimalen prag odstopanja en centimeter. Če smo prag preveč zmanjšali, smo dobili majhen odstotek inlierjev in zelo različne rezultate v več poskusih. Če smo ga povečali, pa smo v skupino inlierjev zajeli tudi točke, za katere je iz grafičnih prikazov razvidno, da odstopajo od krogle, na primer točke na obroču (slika 6). V preglednici 5 so rezultati izravnave parametrov krogle, ko za vhodni podatek uporabimo celoten združen oblak točk jabolka (spodnja in zgornja polovica ter obroč), z uporabo RANSAC-a in brez nje.

Preglednica 5: Parametri krogle z uporabo RANSAC-a in brez nje, v D96/TM in SVS2010/Koper.

ZVONIK	Vzhodni 240-C1			Zahodni 240-C2		
	RANSAC			RANSAC		
Parameter	ne	da	Δ	ne	da	Δ
e_0 [m]	461.478,915	461.478,910	0,005	461.461,497	461.461,493	0,004
n_0 [m]	100.475,712	100.475,715	0,003	100.475,974	100.475,979	0,005
H_0 [m]	339,771	339,716	0,055	339,734	339,672	0,062
R [m]	0,292	0,261	0,031	0,294	0,259	0,035

Δ ... razlika med parametri krogle po izravnavi pred uporabo RANSAC-a in po njej (absolutne vrednosti)

Na podlagi prikaza inlierjev na izravnani krogli (slika 7) ugotovimo, da so v skupini inlierjev predvsem točke spodnje polovice krogle. Zaradi večje gostote točk na spodnji strani in obroča, ki loči spodnjo in zgornjo polkroglo, dobimo pričakovano po RANSAC-u samo točke na spodnji polovici (slika 7). Zgodi se tudi, da veliko točk na spodnji polovici pade v skupino outlierjev, zato je gostota na spodnjem delu manjša kot na sliki 6, posledično so tudi rezultati nekoliko drugačni kot v preglednici 4 (če primerjamo rezultate z RANSAC-om v preglednici 5 in rezultate »Skupaj« v preglednici 4).



Slika 7: Prikaz inlierjev na izravnani krogli, vzhodni zvonik (a), zahodni zvonik (b).

Preglednica 6: Položaj zvonikov Trnovske cerkve, v D96/TM in SVS2010/Koper.

Točka	e [m]	n [m]	H [m]
240-C1 (vzhodni)	461.478,910	100.475,715	339,455
240-C2 (zahodni)	461.461,493	100.475,979	339,413

4 PRIMERJAVA POLOŽAJEV

Položaje obeh zvonikov Trnovske cerkve, izračunanih z izravnavo parametrov krogle na osnovi TLS, smo primerjali s položaji, določenimi s klasično terestrično geodetsko izmero (Marjetič in Pavlovčič Prešeren, 2018; preglednici 7 in 8). Horizontalni koordinati smo primerjali tudi s transformiranimi koordinatami iz starega koordinatnega sistema D48/GK v novi D96/TM na podlagi 7-parametrične transformacije s spletno aplikacijo SiTraNet (Kozmus Trajkovski in Stopar, 2008–2017).

Ob primerjavi položajev med TLS in klasično terestrično izmero ugotovimo centimetrskе razlike predvsem pri koordinati e (preglednica 7). Razlika je lahko posledica več dejavnikov. Eden izmed njih je različna natančnost izmere TLS v primerjavi s klasično terestrično izmero. Natančnost precizne klasične terestrične izmere je višja kot pri izmeri TLS. Razlike so lahko tudi posledica dejstva, da smo ponovno izmero GNSS opravili na istih točkah A, B in C kot pri klasični izmeri, vendar dobili do enega centimetra različne položaje. Razlog je v različni epohi izmere, dolžini trajanja statičnih meritev, definiciji geodetskega datuma in načinu obdelave meritev GNSS.

Preglednica 7: Primerjava izračunanih horizontalnih koordinat med TLS in klasično terestrično izmero.

Zvonik	TLS		Klasična izmera		TLS - Klasika	
	e [m]	n [m]	e [m]	n [m]	Δ_e [m]	Δ_n [m]
240-C1	461.478,910	100.475,715	461.478,885	100.475,718	0,025	-0,003
240-C2	461.461,493	100.475,979	461.461,480	100.475,982	0,013	-0,003

Preglednica 8: Primerjava izračunanih višin med TLS in klasično terestrično izmero

Zvonik	TLS	Klasična izmera	TLS - Klasika
	H [m]	H [m]	Δ_H [m]
240-C1	339,455	339,459	-0,004
240-C2	339,413	339,417	-0,004

V preglednici 9 je prikazana primerjava položajev obeh cerkvenih zvonikov, izračunanih na podlagi 7-parametrične transformacije iz D48/GK v D96/TM in na podlagi modeliranja iz oblakov točk, merjenih s TLS. Primerjan je samo horizontalni položaj, saj podatkov o višinah obeh zvonikov Trnovske cerkve v starem koordinatnem sistemu na topografijah ni bilo na voljo. Rezultate transformacije smo izračunali s spletno aplikacijo SiTraNet. Uporabili smo transformacijske parametre za območje osrednje Slovenije.

Odstopanja v preglednici 9 so še nekoliko večja kot v preglednici 7 in znašajo nekaj centimetrov po posamezni koordinatni komponenti. Te razlike kažejo, da so uporabljeni transformacijski parametri relativno slabi. Primerjava kaže na smiselnost določanja koordinat cerkvenih zvonikov v novem koordinatnem sistemu, ker lahko tako ovrednotimo kakovost transformacijskih parametrov, ki so lahko ponujeni v aplikacijah za transformacijo. Uporabniki jih namreč prepogosto nekritično uporabljajo pri prehodu iz starega D48/GK v novi D96/TM koordinatni sistem.

Preglednica 9: Primerjava položajev točk med TLS in rezultati 7-parametrične transformacije.

Zvonik	TLS		7-parametrična transformacija		TLS – 7-par. transf.	
	e [m]	n [m]	e [m]	n [m]	Δ_e [m]	Δ_n [m]
240-C1	461.478,910	100.475,715	461.478,924	100.475,673	-0,014	0,042
240-C2	461.461,493	100.475,979	461.461,454	100.475,954	0,039	0,025

Kakovost koordinat v različnih koordinatnih sistemih najlažje preverimo z izračunom količin, ki so od koordinatnega sistema neodvisne – relativna primerjava. Tako smo iz koordinat v starem koordinatnem sistemu, ki smo jih dobili iz topografij, in našega rezultata po izravnavi parametrov krogle izračunali dolžino med obema trigonometričnima točkama. Glede na rezultat v preglednici 10 lahko ob predpostavki zanesljivosti naših rezultatov sklepamo, da so bile koordinate v preteklosti slabše določene. Razlika pa je lahko tudi posledica deformacij zvonikov v obdobju od določitve koordinat v preteklosti (obnova zvonika, potres itd.).

Preglednica 10: Relativna primerjava položajev v D48/GK in D96/TM.

Zvonik	D48/GK			D96/TM			
	y [m]	x [m]	D_{GK} [m]	e [m]	n [m]	D_{TM} [m]	Δ_D [m]
240-C1	461.849,930	99.989,220	17,472	461.478,910	100.475,715	17,419	0,053
240-C2	461.832,460	99.989,500		461.461,493	100.475,979		

5 SKLEP

V prispevku smo predstavili postopek določitve prostorskega položaja trigonometrične točke cerkvenega zvonika z metodo TLS. V horizontalnem smislu je bila določitev izvedena v novem ravninskem državnem koordinatnem sistemu D96/TM in v višinskem sistemu SVS2010/Koper.

Uporaba metode TLS za določitev koordinat sama po sebi ni dovolj. Iz opisanega praktičnega primera določevanja položajev dveh zvonikov Trnovske cerkve v Ljubljani vidimo, da gre dejansko za kombinacijo več geodetskih merskih metod: geometričnega nivelmana in trigonometričnega višinomerstva, izmere GNSS, triangulacije in trilateracije ter metode TLS. Cilj je bil izmeriti oblak točk jabolka na vrhu cerkvenega zvonika (slika 5). Iz rezultatov skeniranja smo dobili oblake točk s posameznih stojišč, ki jih je bilo treba registrirati in georeferencirati. Zaradi navedenih razlogov (pomanjkanje veznih točk in pravilnih geometrijskih oblik med oblaki točk z različnih stojišč) registracije nismo opravili, ampak smo oblak točk s posameznega stojišča le georeferencirali in točke na koncu združili. Ta način se nam, glede na to, da določamo le koordinate središča krogle, zdi primeren. Zagotoviti moramo le osno simetričnost oblaka. Georeferenciran in združen oblak točk je osnova za določitev koordinat zvonika na podlagi geometričnega modeliranja. Ob predpostavki, da ima jabolko obliko krogle, smo s postopkom izravnave po metodi najmanjših kvadratov določili parametre krogle in tako določili položaj obeh cerkvenih zvonikov v navedenem državnem horizontalnem in višinskem sistemu. Pri tem smo uporabili tudi metodo filtriranja RANSAC. Z rezultati filtriranja smo dobili več informacij o obliki jabolka. Ugotovili smo, da je jabolko sestavljeno iz dveh približno polkrogelnih delov, ločenih z obročem (slika 6).

Vedno se vprašamo tudi po kakovosti določitve položaja. Kakovost položaja trigonometrične točke, določenega z uporabo TLS, temelji na kakovosti položajev oslonilnih točk, kakovosti skeniranja in obdelave skenograma. S statično izmero GNSS in višinsko navezavo geodetske mreže z geometričnim nivelmanom na državni višinski sistem smo zagotovili koordinatno osnovo za določitev oslonilnih točk. Te smo s klasičnimi terestričnimi meritvami povezali v geodetsko mrežo in z izravnavo zagotovili kako-

vostno izhodišče za georeferenciranje oblaka točk. Natančnost koordinat točk v geodetski mreži ni slabša od enega milimetra in je objektivno določljiva z rezultati izravnave. Težje je oceniti kakovost parametrov, izračunanih iz predhodno obdelanih oblakov točk, ki temelji na kakovosti postopkov obdelave oblaka točk (georeferenciranja, filtriranja). Izravnava parametrov nekega geometrijskega telesa na podlagi velikega števila vhodnih opazovanj (točk) oziroma velikega števila nadštevilnosti privede do zmanjšanja vrednosti natančnosti po izravnavi (v našem primeru desetinke milimetra). Realno oceno določitve parametrov krogle in s tem položaja trigonometrične točke cerkvenega zvonika smo ob upoštevanju natančnosti oslonilnih točk, natančnosti določitve skenirane točke, ki je odvisna predvsem od natančnosti merjene dolžine s skenerjem, ocenili na pet milimetrov. Pri tem je zaradi nepoznavanja točne geometrije jabolka višina lahko določena nekoliko slabše. Kljub temu so rezultati, to so koordinate obeh trigonometričnih točk cerkvenih zvonikov v Trnovem, primerljivi z rezultati klasične izmere. Koordinate so določene z zadovoljivo natančnostjo, zlasti če vemo, za kakšne potrebe jih lahko uporabimo. S tem se izkaže uporabnost metode TLS za tovrstne naloge. Sicer je predstavljen način precej zahtevnejši in tudi časovno potratnejši od določitve koordinat s klasično terestrično izmero, ker vključuje več terenskega dela z veliko merskega instrumentarija in tudi kompleksnejšo obdelavo merskih podatkov.

V obravnavanem primeru je zanimiva tudi relativna primerjava medsebojnih odnosov obeh trigonometričnih točk Trnovske cerkve v starem in novem državnem koordinatnem sistemu na podlagi izračunane dolžine med njima v obeh sistemih. Razkrila je namreč slabšo kakovost terestričnih meritev v preteklosti, lahko pa je neujemanje dolžine posledica deformacije zvonika v daljšem časovnem obdobju.

V splošnem je določevanje koordinat cerkvenih zvonikov v novem državnem koordinatnem sistemu pomembna in uporabna naloga. Trigonometrične točke cerkvenih zvonikov so zaradi svoje lege in precej velike odpornosti proti uničenju uporabna vez med starim in novim koordinatnim sistemom. S primerjavo v nov koordinatni sistem transformiranih »starih« koordinat in na novo določenih koordinat lahko ocenimo kakovost uporabljenih transformacijskih parametrov. Če imamo možnost izmere več zvonikov na nekem območju, lahko kakovostneje ocenimo lokalne transformacijske parametre, ki jih uporabimo za transformacijo prostorskih podatkov iz starega v novi koordinatni sistem. Poznane koordinate trigonometričnih točk cerkvenih zvonikov v novem koordinatnem sistemu so hkrati uporabne kot orientacijske točke pri izmeri detajla predvsem na območjih, kjer je zaradi ovir (urbana območja) ali dostopnosti signala mobilnega omrežja pri uporabi podatkov stalnih postaj GNSS (omrežje SIGNAL) težko izvajati izmero GNSS.

Literatura in viri:

Baarda, W. 1981. S-transformations and Criterion matrices. Delft, Netherlands Geodetic Commission, Publications on Geodesy, 5 (1), 168 str.

Barazzeti, L., Previtali, M., Roncoroni, F. (2019). The Use of Terrestrial Laser Scanning Techniques to Evaluate Industrial Masonry Chimney Verticality. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-2/W11, 173–178. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-2-w11-173-2019>

Besl, P. J., McKay, N. D. (1992). A method for registration of 3-D shapes. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 14 (2), 239–256. DOI: <https://doi.org/10.1109/34.121791>

Fischler, M. A., Bolles, R. C. (1981). Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. Communications of the ACM, 24 (6), 381–395. DOI: <https://doi.org/10.1145/358669.358692>

He, Y., Liang, B., Yang, J., Li, S., He, J. (2017). An Iterative Closest Points Algorithm for Registration of 3D Laser Scanner Point Clouds with Geometric Features. Sensors, 17 (8), 1862. DOI: <https://doi.org/10.3390/s17081862>

GURS (2019). E-prostor. <https://www.e-prostor.gov.si/>, pridobljeno 23. 3. 2020.

IGS (2020). Precizne efemeride GNSS satelitov. International GNSS service. <https://kb.igs.org/hc/en-us/articles/115003935351-Access-to-Products>, pridobljeno 27. 2. 2020.

Kraus, K. (2000). Photogrammetry. De Gruyter, 2. izdaja, 459 str.

- Kregar, K., Ambrožič, T., Kogoj, D., Vezočnik, R., Marjetič, A. (2017). Determining the inclination of tall chimneys using the TPS and TLS approach. *Measurement*, 75, 354–363. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.08.006>
- Kregar, K., Možina, J., Ambrožič, T., Kogoj, D., Marjetič, A., Štebe, G., Savšek, S. (2017). Control Measurements of Crane Rails Performed by Terrestrial Laser Scanning. *Sensors*, 17 (7), 1671. DOI: <https://doi.org/10.3390/s17071671>
- Kogoj, D. 2005. Merjenje dolžin z elektronskimi razdaljmeri. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Kozmus Trajkovski, K., Stopar, B. (2008–2017). Navodila za uporabo spletne aplikacije za transformacije koordinatnih sistemov SiTraNet v4. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. <http://sitranet.si/SiTraNet4-navodila.htm>, pridobljeno 25. 4. 2020.
- Leica Geosystems (2017). Leica GS18 User Manual. Heerbrugg, Leica Geosystems AG: 48–52. http://www.surveyeq.com/uploads/p_8C2A3551-F841-8399-25A8-7418916DECB1-1517301119.pdf, pridobljeno 20. 3. 2020.
- Leica Geosystems (2006). Leica DNA03/DNA10 User Manual. Heerbrugg, Leica Geosystems AG: 147–149. <http://surveyequipment.com/assets/index/download/id/59/>, pridobljeno 20. 3. 2020.
- Leica Geosystems (2013). Leica TS30/TM30 User Manual. Heerbrugg, Leica Geosystems AG: 60–75. <http://surveyequipment.com/assets/index/download/id/220/>, pridobljeno 22. 3. 2020.
- Marjetič, A., Pavlovčič Prešeren, P. (2018). Določitev položajev cerkvenih zvonikov v koordinatnem sistemu D96/TM. *Geodetski vestnik*, 62 (4), 587–603. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2018.04.587-603>
- Marjetič, A., Stopar, B. (2007). Geodetski datum in S-transformacija. *Geodetski vestnik*, 51 (3), 549–564.
- NGS (2020). Kalibracijski podatki GNSS anten. National Geodetic Survey. <https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>, pridobljeno 27. 2. 2020.
- Petrovič, D., Grigillo, D., Kosmatin Fras, M., Urbančič, T., Kozmus Trajkovski, K. (2019). Geodetic Methods for Documenting and Modelling Cultural Heritage Objects. *International Journal of Architectural Heritage*. DOI: <https://doi.org/10.1080/15583058.2019.1683779>
- RIEGL Laser Measurement Systems (2019). Riegl VZ-400i Technical data. Horn, RIEGL Laser Measurement Systems GmbH, 9–10. <http://www.riegl.com/nc/products/terrestrial-scanning/produktdetail/product/scanner/48/>, pridobljeno 10. 4. 2020.
- Oleniazc, G., Skrzypczak, I., Slecza, L., Swieton, T., Rymar, M. (2017). Survey of the urban bell in the belfry of St. Trinity church in Krosno. *Reports on Geodesy and Geoinformatics*, 103, 38–45. DOI: <https://doi.org/10.1515/rgg-2017-0004>
- RIEGL Laser Measurement Systems (2004). RiSCAN PRO User manual. Horn, RIEGL Laser Measurement Systems GmbH, 150 str. <http://www.riegl.com/nc/products/>, pridobljeno 10. 4. 2020.
- Teunissen, P. J. G. (2003). *Adjustment Theory*. Delft, Netherlands, VSSD, 193 str.
- Urbančič, T., Koler, B., Stopar, B., Kosmatin Fras, M. (2014). Analiza kakovosti določitve parametrov krogle pri terestričnem laserskem skeniranju. *Geodetski vestnik*, 58 (1), 11–27. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.slv.2014.01.011-027>
- Urbančič, T., Koler, B., Stopar, B., Kosmatin Fras, M. (2014). The Influence of the Input Parameters Selection on the RANSAC Results. *International Journal of Simulation Modelling*, 13 (2), 159–170. DOI: [https://doi.org/10.2507/IJSIMM13\(2\)3.258](https://doi.org/10.2507/IJSIMM13(2)3.258)
- Urbančič, T., Vrečko, A., Kregar, K. (2016). Zanesljivost metode RANSAC pri oceni parametrov geometrijskih oblik. *Geodetski vestnik*, 60 (1), 69–97. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2016.01.69-97>
- SIGNAL (2020). SIGNAL, RINEX podatki stalnih postaj. Ljubljana, Služba za GNSS, Geodetski inštitut Slovenije. <http://www.gu-signal.si/rinex>, pridobljeno 27. 2. 2020.
- Uredba o določitvi parametrov višinskega dela vertikalne sestavine državnega prostorskega koordinatnega sistema. Uradni list RS, št. 80/2018.
- ZEN (2006). Zakon o evidentiranju nepremičnin. Uradni list RS, št. 47/2006.



Hren T., Kregar K., Marjetič A. (2020). Določitev položaja cerkvenega zvonika s terestričnim laserskim skeniranjem. *Geodetski vestnik*, 64 (3), 320–334.
DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2020.03.320-334>

Tine Hren, mag. inž. geod. geoinf.

Ob gozdu 25a, SI-2352 Selnica ob Dravi
e-naslov: hrentine@gmail.com

asist. dr. Klemen Kregar, univ. dipl. inž. geod.

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

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