
ODREĐIVANJE VISINA GPS-OM U KOMBINACIJI S LASERSKOM TEHNOLOGIJOM

Rinaldo Paar, Ante Marendić¹

¹Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
(e-mail: rpaar@geof.hr, amarendic@geof.hr)

Sažetak. U ovom radu prikazat će se mogućnosti i prednosti Topcon GPS RTK HiPer Pro sustava u kombinaciji sa "Topcon LazerZoneTM" tehnologijom u svakodnevnim geodetskim zadacima za potrebe inženjerske geodezije. Korištenjem navedenog sustava povećava se preciznost određivanja visina s centimetarske na milimetarsku razinu. U radu se prikazuje usporedba sustava s klasičnim niveliranjem za potrebe određivanja visina, te će se utvrditi da li je stvarno moguće ostvariti preciznost u pogledu određivanja visina kao što je to moguće s klasičnim metodama. Isto tako, utvrditi će se i možebitni nedostaci, odnosno prednosti ovog revolucionarnog sustava koji ujedinjuje brzinu i jednostavnost rotacijskih laserskih nivelira, s preciznošću klasičnih instrumenata, te fleksibilnost GPS uređaja u jednom sustavu.

Ključne riječi: GPS, laser-zona, visine, preciznost.

1 UVOD

Određivanje visina niveliranjem s dodatkom planparalene ploče do danas je bio jedini način da bi se ostvarila milimetarska preciznost. GPS nikada nije mogao ostvariti tako visoku preciznost. Korištenje GPS RTK sustava za izmjernu, iskolčenu i kontrolu u mnogim je slučajevima bilo ograničeno preciznošću koju je njime moguće ostvariti. Posebno u visinskom smislu, gdje su se najbolji rezultati ostvarivali u rasponu od 1 do 4 centimetara, do danas.

Korištenjem "Topcon LazerZoneTM" sustava u kombinaciji s Topcon GPS RTK HiPer Pro sustavom povećava se preciznost određivanja visina s centimetarske na milimetarsku razinu.

2 ODREĐIVANJE VISINA GPS RTK SUSTAVOM U KOMBINACIJI S LAZERZONE SUSTAVOM

Kako je u uvodu spomenuto određivanje visina GPS RTK sustavom ograničeno je preciznošću koju je njime moguće ostvariti, odnosno visine je moguće određivati s preciznošću od 1 do 4 centimetara. Klasične metode određivanja visina omogućavaju veću preciznost. Trigonometrijskim niveliranjem (mjernom

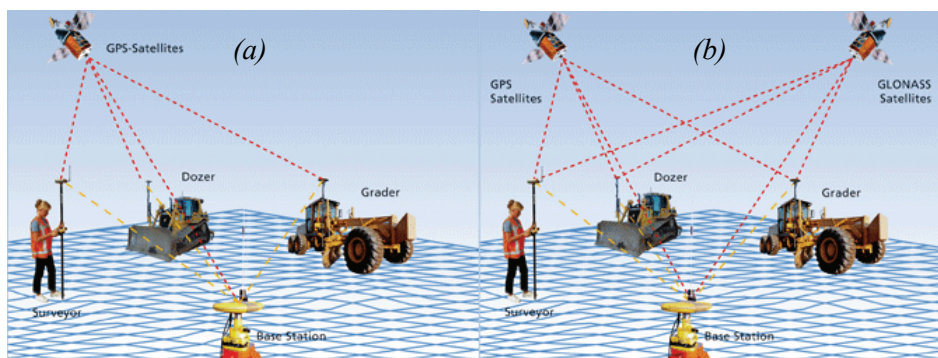
stanicom) moguće je ostvariti subcentimetarsku preciznost, dok je geometrijskim nivelmanom (nivelir s planparalenom pločom) moguće ostvariti submilimetrasku preciznost (Janković 1980).

Proizvođač geodetskih instrumenata *Topcon* razvio je novu tehnologiju pod nazivom "*Topcon LazerZone™*" koja omogućava određivanje visina i iskolčenje visinskih razlika s milimetarskom preciznošću. Sustav je moguće koristiti samo u kombinaciji s *Topcon* GPS RTK sustavima. Takav integrirani sustav sastoji se od kompletnog GPS RTK sustava i *Topcon LazerZone™* sustava. *Topcon LazerZone™* sustav čine laserski odašiljač i laserski senzor.

Sustav radi na slijedeći način. Referentni GPS uređaj postavlja se na poznatu točku te šalje sve korekcije putem radio ili GSM veze pokretnom GPS uređaju ispod kojeg je postavljen laserski senzor. Laserski senzor prima laserski signal od laserskog odašiljača postavljenog na poznatu točku (točka ima poznatu visinu). Laserski senzor je povezan s GPS pokretnim uređajem, te trenutno računa visinske razlike s milimetarskom preciznošću u odnosu na odašiljač. Laserski odašiljač ne šalje klasičnu lasersku zraku u horizontalnoj ili kosoj ravnini, već šalje laserski snop. Na taj način, laserski senzori računaju visinske korekcije u odnosu na odašiljač.

2.1 *Topcon* GPS RTK HiPer Pro sustav

Topcon GPS RTK Hiper Pro sustav je prvi sustav koji je omogućio istovremeno korištenje NAVSTAR GPS satelita i GLONASS satelita (slika 1a i 1b). Standardni GPS sustavi omogućuju korištenje 24 NAVSTAR GPS satelita, centimetarsku točnost u RTK modu mjerenja, no nemaju 100% pokrivenost Zemlje satelitima tijekom 24 sata.



Slika 1. Standardni GPS (a), GPS + GLONASS (b) (URL-3)

GPS plus GLONASS sustavi omogućuju korištenje 24 NAVSTAR GPS satelita i 11 GLONASS satelita, centimetarsku točnost u RTK modu mjerenja, te imaju mnogo bolju pokrivenost Zemlje satelitima tijekom 24 sata. Više satelita znači veću preciznost, šira područja za rad, te kraće vrijeme inicijalizacije sustava. Komponente Topcon GPS RTK HiPer Pro sustava te njegove tehničke karakteristike prikazane su na slici 2.



Slika 2. Topcon GPS RTK HiPer Pro sustav (URL-4)

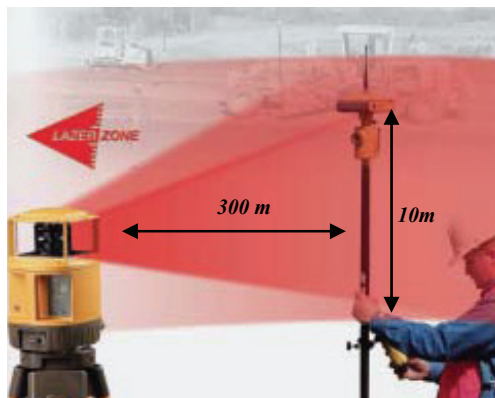
Tehničke karakteristike (Topcon 2006):

- 40 kanalni uređaj: 20 GPS L1+L2 (dvofrekvencijski GPS), GPS L1 +GLONASS (jednofrekvencijski GPS+GLONASS), 20 GPS L1+L2/GLONASS (dvofrekvencijski GPS+GLONASS)
- Preciznost: H - 3mm+0,5ppm, V - 5mm+0.5ppm (statitka)
- Preciznost: H - 10mm+1ppm, V - 15mm+1ppm (RTK)
- Bežična veza (Bluetooth do 50 m)
- Memorija: 96MB, proširivo do 1 GB
- Radio-interni Tx / Rx, UHF antena
- Baterije - dvije interne Li-ion za 14 sati rada
- Težina 1,74 kg
- Aluminijsko kućište, otporno na kišu
- Raspon rada -30 °C do 60 °C

Topcon GPS RTK HiPer Pro sustav je moguće kombinirati s "Topcon LazerZoneTM" sustavom te na taj način povećati preciznost određivanja visina s centimetarske na milimetarsku razinu. "Topcon LazerZoneTM" sustav prikazan je u nastavku.

2.2 Topcon LazerZoneTM sustav

"Topcon LazerZoneTM" sustav sastoji se od laserskog odašiljača PZL-1 (slika 4) i laserskog senzora PZS-1 (slika 5). Laserski odašiljač ne šalje horizontalnu lasersku zraku kao što je to slučaj sa rotacijskim nivelirima, već šalje laserski snop visine 10 metara u radijusu 300 metara (slika 3). Na taj način, laserski senzori primaju laserski signal od odašiljača.



Slika 3. Raspon rada laserskog snopa PZL-1 odašiljača (URL-1)



Slika 4. Topcon laserski odašiljač PZL-1 (URL-6)

Tehničke karakteristike (URL-2):

- Širina laserskog snopa: $\pm 10^\circ$ (0-30 m), $\pm 5\text{m}$ (30-300 m)
- Radijus laserskog snopa: 300 m
- Točnost laserskog snopa: rezolucija - 1 arc sekunda
- Automatsko horizontiranje: $\pm 5^\circ$
- Brzina vrtnje lasera: 600 okr/min
- Klasa lasera: 1
- Bežična veza (Bluetooth), RS - 232C veza
- Baterije-interne Ni-MH za 15 sati rada
- Aluminijsko kućište, vodootporno
- Raspon rada -20°C do 50°C



Slika 5. Topcon laserski senzor PZS-1 (URL-5)

Tehničke karakteristike (URL-2):

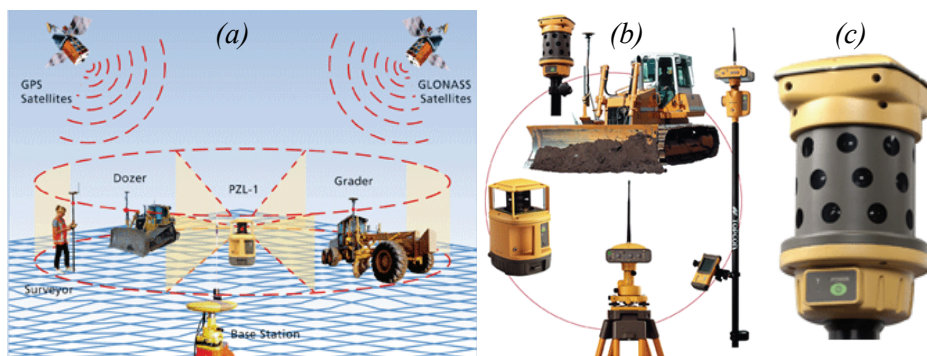
- Detektiranje laserskog signala: "prozor" širine $\pm 10^\circ$ sa $\pm 10^\circ$
- RS - 232C veza
- Baterije - interne Li-Ion za 8 sati rada
- Aluminijsko kućište, vodootporno
- Raspon rada -20°C do 50°C
- Težina 1,00 kg

Laserski odašiljač postavlja se na točku koja ima poznatu visinu. Laserski senzor postavlja se na štap ispod antene pokretnog uređaja GPS RTK HiPer Pro

sustava, te je s njome povezan putem RS - 232C veze. Preko upravljačkog uređaja GPS RTK HiPer Pro sustava sve komponente sustava se povezuju i usklađuju.

Laserski senzor prima laserski signal od odašiljača i trenutno računa visinsku razliku svoje pozicije u odnosu na položaj odašiljača, s preciznošću od $\pm 2,5$ mm/50 m. Neograničen broj laserskih senzora može raditi u djelokrugu rada jednog laserskog odašiljača istovremeno.

Jedan laserski senzor može primiti signale s četiri različita odašiljača, te je na taj način moguće raditi u zoni koja pokriva područje širine 2,4 km (odašiljač ima radijus rada 300 m, tj. promjer 600 m, odnosno četiri odašiljača pokrivaju područje od 2,4 km), a visinske razlike 40 m (odašiljač šalje laserski snop visine 10 m, četiri odašiljača 40 m). Laserski senzor koji je postavljen na pokretni uređaj GPS RTK HiPer Pro sustava može se bez ikakvih intervencija od strane korisnika prebacivati iz jednog u drugi djelokrug rada laserskih odašiljača.



Slika 6. Topcon LazerTone™ sustav u praksi (a, b), i PZS-MC senzor (c)
(URL-3, URL-1, URL-5)

Rad s ovim sustavom u praksi je vrlo jednostavan i praktičan. Nakon što se cjelokupan instrumentarij postavi na terenu, početna inicijalizacija sustava se može napraviti u vrlo kratkom vremenu te se može započeti s radom, odnosno mjerenjem. Treba napomenuti da je pri tome potrebno dosta precizno usmjeriti štapić mobilnog GPS RTK uređaja na koji je postavljen PZS-1 senzor prema PZL-1 odašiljaču, kako bi se primio laserski signal. Tu činjenicu bi se moglo istaknuti i kao jedini nedostatak cijelog sustava s obzirom da smatramo da je "prozor" od $\pm 10^\circ$ sa $\pm 10^\circ$ unutar kojeg se prima signal, premali. No i taj problem će vjerojatno biti riješen sa senzorom koji će moći primiti signal u krugu od 360° , kao što je to slučaj sa senzorom PZS-MC koji je namijenjen građevinskim strojevima. U trenutku kada senzor primi laserski signal od odašiljača, visina se više ne određuje iz GPS mjerenja, već samo temeljem laserskog signala.

Opisani sustav, osim u svakodnevnim geodetskim poslovima iskolčenja i izmjere, nalazi široku primjenu pri upravljanju i navođenju građevinskih strojeva na gradilištima (slika 6a, 6b). Od građevinskih se strojeva, ovisno o namjeni, traži različita položajna i visinska točnost izvođenja radova zadanih projektom.

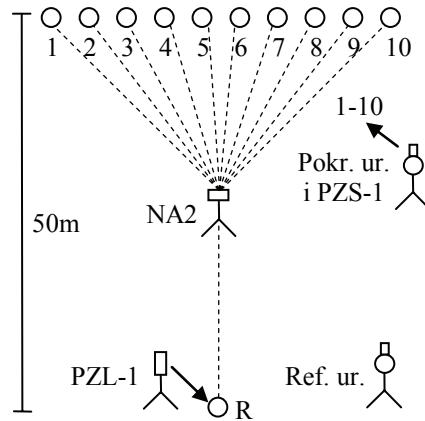
Za projekte koji su zahtijevali milimetarsku visinsku točnost do danas se u sustavu navođenja nije mogla koristiti GPS RTK mjerna tehnika za određivanje položaja strojeva, zbog nedovoljne točnosti u visinskom smislu. Instaliranjem PZS-MC senzora (slika 6c) uz GPS RTK prijarnike na različite građevinske strojeve (finašere, grejdere, buldožere i ostale strojeve) svodi se visinska točnost na milimetarsku razinu, te je kao takav sustav pogodan za gotovo sve radove na gradilištu.

Upotreba "*Topcon LazerZoneTM*" sustava za upravljanje i navođenje građevinskih strojeva značajno smanjuje potrebno vrijeme za mjerenja te povećava kvalitetu rada građevinskih strojeva, a samim time povećava se produktivnost i smanjuje troškove građevinskih radova.

3 REZULTATI I ANALIZA MJERENJA

U prethodnim poglavljima opisani sustav, testirao se na praktičnom primjeru. Uspostavilo se testno polje koje se sastojalo od 11 točaka (slika 7). Jedna točka je od prije poznata po svojoj visini u državnom koordinatnom sustavu te iznosi $H_R=119,660$ m. Preostalih deset točaka su novostabilizirane, te nemaju poznate visine u državnom koordinatnom sustavu.

Visine novostabiliziranih točaka su određene na slijedeći način. Prvo su visine određene metodom geometrijskog nivelmana koristeći instrument Wild NA2 sa dodatkom planiparalelne ploče, koji ostvaruje preciznost od 0,3 mm / 1 km (Leica 2004). Nakon toga visine točaka su određene GPS RTK mjernom tehnikom koristeći Topcon HiPer Pro sustav, te konačno GPS RTK mjernom tehnikom u kombinaciji s Topcon LazerzoneTM sustavom (u nastavku mmGPS). Visine određene geometrijskim nivelmanom uzete su kao referentne, odnosno kao bespogrešne. Na taj način željelo se napraviti usporedbu visina dobivenih GPS RTK metodom i mmGPS-om, s visinama određenim geometrijskim nivelmanom.



Slika 7. Konfiguracija testnog polja

Tablica 1 prikazuje ostvarene rezultate. Vidljivo je da se visine ostvarene mmGPS-om puno bolje podudaraju s visinama određenim geometrijskim nivelmanom, od visina određenih samo GPS RTK metodom. Konkretno, visine određene mmGPS-om imaju odstupanja od visina određenih geometrijskim nivelmanom u rasponu od $\Delta_{min} = 1$ mm do $\Delta_{max} = 3$ mm, dok srednje odstupanje iznosi $\Delta_{sr} = 2$ mm. Visine određene GPS RTK metodom imaju odstupanja od visina određenih geometrijskim nivelmanom u rasponu od $\Delta_{min} = 5$ mm do $\Delta_{max} = 28$ mm, dok srednje odstupanje iznosi $\Delta_{sr} = 12$ mm.

Tablica 1. Analiza određenih visina

Br. točke	H_{NA2} (m)	H_{mmGPS} (m)	$\Delta_{mmGPS-NA2}$ (m)	H_{GPS} (m)	$\Delta_{GPS-NA2}$ (m)
1	118,997	118,998	0,001	119,003	0,006
2	118,999	119,002	0,003	118,988	-0,011
3	119,002	119,003	0,001	119,008	0,006
4	119,007	119,010	0,003	119,035	0,028
5	119,011	119,014	0,003	119,025	0,014
6	119,006	119,008	0,002	119,015	0,009
7	119,004	119,006	0,002	119,009	0,005
8	118,998	119,001	0,003	119,011	0,013
9	118,991	118,993	0,002	119,006	0,015
10	118,981	118,982	0,001	118,994	0,013
		Δ_{sr}	0,002	Δ_{sr}	0,012
		Δ_{max}	0,003	Δ_{max}	0,028
		Δ_{min}	0,001	Δ_{min}	0,005

Iz ostvarenih rezultata vidljivo je da kombiniranje GPS RTK mjerne tehnike s Lazerzone tehnologijom rezultira puno višom preciznošću u pogledu određivanja visina.

4 ZAKLJUČAK

Tehnike rada u geodeziji, potpomognute sve većim tehnološkim napretkom, razvijaju se velikom brzinom. Razvijeni *Lazerzone* sustav od strane *Topcon* proizvođača, povećava preciznost određivanja visina s centimetarske na milimetarsku razinu u kombinaciji s GPS RTK sustavom, koji je kada se koristi zasebno donekle ograničen u pogledu određivanja visina. Sustav donosi i niz prednosti na području automatizacije poslova, kao što je to slučaj prilikom navođenja građevinskih strojeva. Isto tako je znatno povećano područje rada kako u horizontalnom tako i u vertikalnom smislu, posebno ako se koristi više (do četiri) laserskih odašiljača. Uza sve to, sustav je zadržao i poznate prednosti GPS RTK metode mjerenja, kao što su jednostavnost upotrebe, brzina i ekonomičnost.

ZAHVALA

Ovim putem želimo se zahvaliti zastupniku tvrtke Topcon za Hrvatsku firmi GEO CENTAR d.o.o. iz Čakovca što su nam ustupili na korištenje Topcon LazerZone™ sustav, kako bi se mogli upoznati s tom novom tehnologijom za potrebe određivanja visina u kombinaciji s GPS RTK sustavima.

LITERATURA

Janković, M. (1980): *Inženjerska geodezija 3*. Sveučilišna naklada Liber, Zagreb.

Leica (2004): *NA2/NAK user manual*. Leica geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland.

Topcon (2006): *HiPer Pro operator's manual*. Topcon Positioning Systems, Inc; Livermore, California, USA.

Internet izvori:

URL-1: <http://www.topconeurope.com/index.asp?pageid=8087c897f0a74d79b59adbee27772478>

Millimeter GPS+

11.01.2007.

URL-2: http://www.topconeurope.com/img/pdf/pdf_GPS/Leaflet%20MM_GPS

Englis h web.pdf

Millimeter GPS+

11.01.2007.

URL-3: <http://www.topconeurope.com/index.asp?pageid=54130172f6ab4f8c9362bd35d4c9b92a>

GPS + GLONASS

11.01.2007.

URL-4: <http://www.topconeurope.com/index.asp?pageid=d62f2fdf00924365b792d5ace13a86ff&q=HIPERPRO>

HiPer Series

11.01.2007.

URL-5: http://www.topconca.com/products_pl_ea.html

Topcon California - Products

11.01.2007.

URL-6: <http://www.topcon.com.au/news/milli.htm>

Topcon Millimeter-GPS

11.01.2007.

HEIGHT MEASURING USING GPS IN COMBINATION WITH LASER TECHNOLOGY

Abstract. *This paper presents the capabilities and advantages of Topcon GPS RTK HiPer Pro system in combination with Topcon LazerZone™ technology during most common geodetic tasks. Using this system increases precision in height measuring from centimeter to millimeter level. The paper will present the comparison of this system with classic level height measuring method. The aim of this comparison is to determine whether is really possible to measure the heights with millimeter level precision using this system, like we can with classic methods. We are going to determine all advantages of this revolutionary system, and on the other side all disadvantages if they persist. This system combines speed and simplicity of rotating lasers with precision of classic levels and flexibility of GPS in one system.*

Key words: *GPS, lazerzone, heights, precision.*