

Mario Švarc, univ. bacc. ing. geod. et geoinf.  
Tomislav Horvat  
Viktor Mihoković  
Luka Zalović

► diplomski studij, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: masvarc@geof.hr  
► preddiplomski studij, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: thorvat@geof.hr  
► preddiplomski studij, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: vmihokovi@geof.hr  
► preddiplomski studij, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: lzalovic@geof.hr

# Primjena "HYBRID POSITIONING" sustava u terenskim mjerenjima

**SAŽETAK:** U radu je predstavljen sustav koji omogućuje korištenje najnaprednije tehnologije temeljene na softveru, hardveru i kombinaciji mjernih tehnologija. Tehnologija "Hybrid positioning" omogućuje korištenje obje mjerne metode, GNSS pozicioniranje i podatke optičkih instrumenata (mjernih stanica), kako bi se uštedjelo vrijeme te unaprijedila produktivnost i efikasnost rada. MAGNET Field softver u kombinaciji sa spomenutim hardverskim rješenjima čini osnovne sastavnice sustava hibridnog pozicioniranja. Sustav omogućuju brže mjerenje na terenu u odnosu na robotske mjerne stanice ili RTK sustave. Smanjuje potrebu za uspostavljanjem poligonskog vlakova i neprestanim seljenjem instrumenta. U sklopu studentske terenske radionice ispitana je funkcionalnost hibridnog sustava testiranjem u realnim radnim uvjetima. Izvršena je usporedba u odnosu na rad s klasičnim geodetskim metodama uzevši u obzir vremensku komponentu i točnost.

**KLJUČNE RIJEČI:** Sustav hibridnog pozicioniranja, efikasnost, kombinacija metoda, MAGNET Field softver

## Implementation of "Hybrid Positioning" system in field surveying

**ABSTRACT:** In this paper, a system that enables the use of the most advanced technology based on software, hardware and a combination of measurement technologies was presented. Hybrid Positioning technology enables the use of both methods of measurement - GNSS positioning and optical measurement (total stations) - to save time and improve productivity, as well as work efficiency. MAGNET Field software, in combination with the mentioned hardware solutions, represents a basic component of the hybrid positioning system. The system enables faster measurement in the field compared to robot measuring stations or RTK rovers. It reduces the requirement for conventional traversing methods and constant moving of the instrument. The functionality of the hybrid system was tested during a student field workshop under real operating conditions. A comparison with conventional surveying methods was made, taking into consideration duration and accuracy.

**KEYWORDS:** Hybrid Positioning System, efficiency, combination of methods, MAGNET Field Software

## 1. UVOD

Napredovanje tehnologije neminovno utječe na tehnike izvođenja geodetskih radova te se sukladno tome i načini određivanja koordinata bitno mijenjaju. Primjerice klasično postavljanje poligonskih vlakova i vezanje na često nepristupačne trigonometre velikim je dijelom stvar prošlosti. Inovacije su otvorile put nekim bitno jednostavnijim rješenjima geodetske problematike što je rezultiralo pojednostavljenjem terenskih radova, ali i naknadne obrade podataka. Prijašnjih godina svjedočili smo pojavi instrumentarija koji omogućuje sinkronizaciju terenskog i uredskog rada u realnom vremenu temeljenu na primjeni kodiranja i atributiranja uz stalnu komunikaciju kontrolera na terenu i računala u uredu. Time je omogućena komunikacija terenske ekipe i uredske ekipe. Uredska ekipa istovremeno obrađuje automatski isporučene podatke i sprječava eventualnu potrebu ponovnog izlaženja na teren. No, kako pro-

stora daljnjem napretku uvijek ima dokazuje sustav nazvan kao „hibridni“. Napredak je ostvaren u pogledu brzine izvođenja radova i broja potrebnih izvođača koristeći se instrumentarijem koji se ne razlikuje od postojećeg. Predstavljen je jednostavan koncept koji je riješio kompleksan problem preciznog pozicioniranja koristeći GNSS signale i optičku preciznost mjerenja na jednom štapu s dodatnom prednošću potpuno automatiziranog tijeka rada. Instrumentarij koji sustav zahtijeva jednak je pojedinačnim instrumentima kojim se koristimo u praksi. Terenskom radionicom na igralištu pokraj Geodetskog fakulteta željelo se ispitati funkcionalnost hibridnog sustava testiranjem u realnim radnim uvjetima. Izvršena je usporedba u odnosu na rad s klasičnim geodetskim metodama (relativno statičko pozicioniranje, poligonometrija, RTK, tahimetrija) uzevši u obzir vremensku komponentu i točnost mjerenja.



Slika 1.1. Upoznavanje s opremom

## 2. OPIS SUSTAVA

Tehnologija "Hybrid positioning" (Slika 2.1.) omogućuje istovremeno korištenje dviju najkorištenijih geodetskih metoda: GNSS pozicioniranje i polarna metoda. Kao instrument za izvođenje GNSS pozicioniranja koristi se klasični GNSS prijamnik koji je moguće *bluetoothom* ili na drugi način povezati s kontrolerom. Prijamnik može biti korišten u sustavu baza-rover, kao RTK rover pomoću CROPOS-a ili rover koji koristi softver MAGNET Relay. Ovisno o točnosti GNSS pozicije, može se odabrati između različitih razina hibridnih performansi. S obzirom na to da ovaj sustav omogućuje i kao bitnu prednost navodi rad isključivo jednog čovjeka na terenu (tzv. „one man show“), potrebno je koristiti robotiziranu stanicu. Za potrebe terenske radionice korišteni su TopconHiPer SR prijamnik i Topcon DS robotizirana stanica kao sastavnice hibridnog sustava. Sav rad, izuzevši postavljanje totalne stanice, izvršava se pomoću instrumentarija koji je moguće nositi u jednoj ruci. Na štap se postavlja 360° prizma, a povrh nje, pomoću posebnog adaptera, GNSS prijamnik (slika 2.1). Time se GNSS prijamnik nalazi iznad prizme na poznatoj konstantnoj udaljenosti. U našem slučaju korištena je ATP1 prizma te je s odgovarajućim adapterom spomenuta konstrukcija vidljiva na slici 2.1. u gornjem desnom kutu. Uređaj pomoću kojeg se upravlja svim objedinjenim sastavnicama sustava je kontroler. Potrebno je koristiti kontroler koji podržava rad Magnet field softvera te nadogradnju posebnim modulom za "Hybrid positioning". Proizvođač predlaže korištenje Topcon Tesla kontrolera kojim se najbolje iskorištavaju prednosti sustava hibridnog pozicioniranja (vidljiv na slici 2.1. u donjem desnom kutu). Međutim, korištenjem jeftinijeg modela kontrolera Topcon FC-336 koji podržava potreban softver, dokazano je kako je za rad sustava moguće iskoristiti postojeći instrumentarij koji je na raspolaganju. Konfiguriranjem kontrolera uspješno je omogućen rad hibridnog sustava pozicioniranja te brzo usvojen način korištenja. Prema tome, gotovo bilo koja kombinacija Topconovih proizvoda za pozicioniranje koja se sastoji od robotske stanice, GNSS rovera i kontrolera može biti pretvorena u sustav hibridnog pozicioniranja što dokazuje vrijednost i svestranost primjene ove tehnologije. Komponenta koja nosi glavnu zaslugu i čini razliku u odnosu na ostale sustave upravo je softver. Potrebno je istaknuti kako se spomenuti paket sastoji od više softverskih rješenja.

MAGNET Field terenski je softver koji omogućuje prikupljanje pro-

stornih podataka i izvođenje naprednih funkcija za građevinarstvo, cestogradnju i geodeziju korištenjem mjernih stanica, nivelira i GNSS prijamnika. MAGNET Office Tools je softver koji služi za obradu prikupljenih podataka u uredu. MAGNET Enterprise je mrežno korisničko sučelje u "oblaku" za upravljanje podacima i projektnim zadacima te za prijenos podataka u realnom vremenu između terena i ureda. MAGNET Relay je softver koji omogućuje slanje RTK GNSS korekcije putem NTRIP-a. Povezivanjem GNSS baznog uređaja na uslugu MAGNET Relay preko mobilnog uređaja, omogućeno je slanje RTK korekcije do 10 rovera. MAGNET paket softverskih rješenja i ugrađeni modul za "Hybrid positioning" omogućuje da, teren i ured mogu biti spojeni u realnom vremenu za razmjenu podataka, primanje i slanje poruka, stvarajući time najproduktivniji koncept tijekom rada.



Slika 2.1. Prikaz sastavnica sustava hibridnog pozicioniranja (URL-5)

Prednosti sustava najbolje je uvidjeti opisom četiriju ključnih aplikacija:

1. hibridni prijelaz
2. hibridno zaključavanje
3. hibridni presjek i
4. autolokalizacija.

Hibridni prijelaz predstavlja polaznu funkciju koja omogućuje sve daljnje prednosti sustava. Hibridnim prijelazom omogućuje se prijelaz s korištenja jedne metode na drugu i obratno. Izvršava se pritiskom na ikonu instrumenata na kontroleru (Slika 2.2., unutar crvenog kruga). Primjer upotrebe prijelaza s jedne metode na drugu vidljiv je na slici 2.3. Primjerice polarnom metodom mjerimo rubove objekta te želimo nastaviti mjeriti ogradu. Međutim, izmjera ograde je onemogućena s lokacije instrumenta zbog vegetacije ili nekog drugog objekta koji onemogućuje dogledanje instrumenta i prizme. Tada se funkcijom hibridnog prijelaza prebacujemo na korištenje GNSS RTK metode kako bismo izmjerili ogradu. Hibridno zaključavanje je funkcija koju omogućuje robotizirani način rada stanice (Slika 2.2., ikona unutar zelenog kruga). Posebnost funkcije hibridnog sustava temelji se na poznatom položaju prizme dobivenom GNSS mjerenjem. Naime, prednost robotiziranih stanica leži u mogućnosti praćenja prizme dokle god je moguće ostvariti dogledanje. Međutim, postoji mogućnost da stanica izgubi svoju povezanost s prizmom zbog raznih prepreka koje se nalaze ili pak prođu između stanice i štapa s prizmom i GNSS prijemnikom. U toj situaciji nije jednostavno uspostaviti kontrolu nad stanicom kako bi pratila prizmu. Upravo je tada vidljiva iskoristivost funkcije hibridnog zaključavanja. Dovoljno je pomaknuti se na mjesto na kojem je moguć prijem GNSS signala

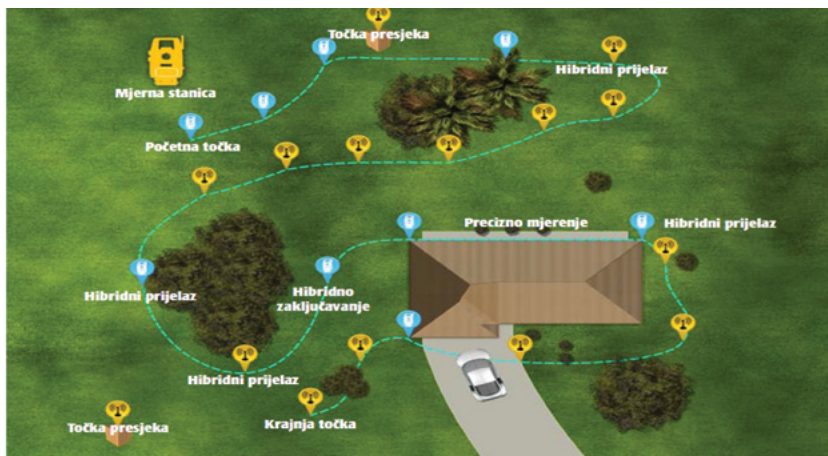
kako bi prijamnik odredio svoj položaj. Samim time sustav računa i položaj centra prizme koja se nalazi na konstantnoj udaljenosti ("offsetu") od referentne točke prijamnika. Tada se, na temelju poznatog položaja prizme, za prethodno postavljeni i orijentirani instrument računa kut zaokreta prema prizmi te se ponovno uspostavlja kontinuirano praćenje – robotizirana stanica i prizma su "zaključane". Hibridni presjek funkcija je koja odgovara metodi slobodnog stajališta čiji je postupak računanja ugrađen u većinu totalnih stanica. Međutim, hibridni sustav čini ju bržom i jednostavnijom. Klasični presjek natrag kao osnova metode slobodnog stajališta zahtijeva viziranje na dvije točke s prethodno poznatim koordinatama pohranjenim u istome poslu. U slučaju korištenja hibridnog sustava, korisnik jednostavno može postaviti stanicu na bilo koje pogodno i sigurno mjesto bez potrebe za ikakvom prethodnom pripremom podataka. Ujedno i štap s prizmom i GNSS antenom moguće je postaviti na bilo koju željenu točku ili neku drugu lako uočljivu oznaku. U GNSS načinu rada određuju se koordinate takve dvije točke. Jednim se potezom prebacujemo na rad s robotiziranom stanicom koja se već navela na prizmu konstantno ju prateći. Očitavaju se vrijednosti pravaca i udaljenost prema točki te softver iz prethodnih opažanja računa položaj totalne stanice (stajalište i orijentaciju u prostoru). Jedini uvjeti koje je potrebno zadovoljiti jednaki su općenitim uvjetima za metodu slobodnog stajališta, a to su da postoji dogledanje prema točkama poligona i da se sa stajališta vide točke detalja. Također treba paziti da je dovoljna duljina vizurne linije te kut među točkama kako bi se postigla odgovarajuća točnost presjeka. Hibridni presjek otklanja potrebu za poligonskim vlakom čija lakoća izvođenja znatno ovisi o udaljenostima i dogledanjima među točkama. Iz tog razloga hibridni presjek predstavlja jednostavniju alternativu jer je dovoljno postaviti instrument na željeno stajalište te ostvariti vizuru prema dvjema točkama na kojima je moguć prijem GNSS signala. Funkcija autolokalizacije omogućuje automatsku lokalizaciju na prethodno određene geodetske koordinate GNSS prijamnikom. Osim toga, funkcija omogućuje prikaz Bingovih satelitskih snimaka u lokalnom koordinatnom sustavu u funkciji podloge. Tijekom izvođenja izmjere prikupljeni podaci, uključujući i korištene kodove, u realnom vremenu prikazuju se na kontroleru pri čemu su podloga Bing karte (Slika 2.4.).

Slika 2.2. Sučelje MAGNET Field softvera na zaslonu kontrolera



Slika 2.4. Kontroler FC-336 s prikazom snimljenih detalja i Bing pozadinom

Slika 2.3. Primjer rada sustava "Hybrid positioning" (URL-5)

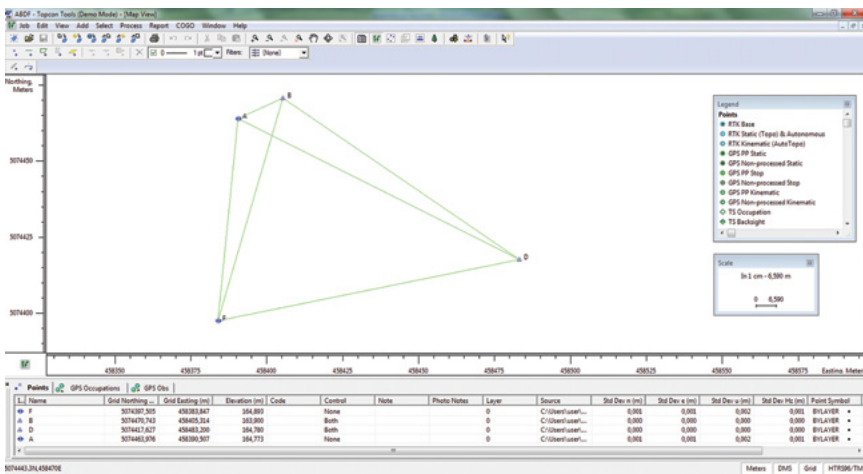


Robotska  
mjerna stanica

Mjerenje  
robotikom

GNSS  
mjerenje

definiran je kao bazni vektor. Koordinate točaka B i D izračunate su zasebno metodom *post-processinga* pomoću triju virtualnih referentnih stanica (CROPOS usluga geodetskog preciznog pozicioniranja – GPPS) koje nam je ustupio DGU. Na taj način dobivene koordinate spomenutih dviju točaka korištene su kao fiksne točke prilikom određivanja koordinata četverokuta ACEF. Za potrebe procesuiranja baznih linija u obzir su uzete samo nezavisne bazne linije BA, BC, BE, BF, DA, DC, DE i DF. Provedeno je izjednačenje neslobodne mreže s prisilom uz zadržavanje koordinata točaka oB i oD fiksnima. Ukupno vrijeme provedeno na terenu iznosilo je 90 minuta što uz 30 minuta obrade podataka čini ukupno 2 sata rada. Na terenu su mjerenja izvodile četiri osobe, svaka uz jedan uređaj.



Slika 3.1.1. Prikaz sučelja MAGNET Tools softvera

Poligonometrija je izvedena koristeći totalnu stanicu Leica TCRP 1201 te dva pribora za prisilno centriranje (tri stativa, tri podnožne ploče i dvije odgovarajuće prizme). Koordinate točaka oB i oD, dobivene prethodnom metodom statičkog pozicioniranja koristeći GPPS uslugu CROPOS-a, korištene su kao fiksne točke prilikom obrade podataka poligonometrije. Time je određivanje koordinata točaka četverokuta ACEF ovisno o istim početnim parametrima kao i u slučaju prethodno objašnjene satelitske metode. Na terenu je provedena izmjera zatvorenog poligonskog vlaka koji počinje i završava na točki oD, a kao orijentacija korištena je točka oB. Obrada podataka uz približno izjednačenje trajala je 20 minuta. Uz 90 minuta provedenih na terenu, ukupno vrijeme utrošeno na izmjeru geodetske osnove poligonometrijom iznosi 1 sat i 50 minuta. Terenski rad izvodile su tri osobe.

GPS RTK metodom, koristeći CROPOS-ov visoko precizni servis pozicioniranja, također je izmjerena osnova (četverokut ACEF). Korištena je Topcon Hiper Pro antena te kontroler Topcon FC-336. Izmjera svake točke provedena je na način da smo koristili hvataljku koja je držala štاپ s GPS antenom stabiliziran u horizontalnom položaju. Sve četiri točke mjerene su u skladu sa zahtjevom za neovisnom kontrolom položaja. Položaj svake točke određuje se najmanje dva puta tako da drugo mjerenje bude provedeno nakon određenog vremena. Izvedena su tri opažanja u trajanju od 30 epoha za svaku točku te je isti postupak ponovljen i nakon dva sata kao neovisna kontrola. Ovu vrstu izmjere osnove izvodila je jedna osoba, a tijekom rada trajao je zbrojivši oba mjerenja ukupno 55 minuta (ali u razmaku dva sata).

Izmjera geodetske osnove hibridnim sustavom izvedena je postavljanjem totalne stanice iznad svake pojedine točke geodetskog četverokuta. Na manjoj udaljenosti od robotske totalne stanice uključen je program praćenja prizme te smo sa štاپom na kojem se nalazi prizma i antena krenuli prema sljedećoj točki geodetske osnove. Nakon što su GPS RTK metodom koristeći CROPOS-ov visoko precizni servis pozicioniranja izmjerene koordinate dviju točaka opažanjem od 30 sekundi, funkcijom hibridnog prijelaza kontroler je prebačen na način rada s robotskom totalnom stanicom. Stanica koja je konti-

nuirano pratila prizmu očitala je vrijednosti pravaca i udaljenosti prema tim dvjema novouspostavljenim točkama. Ugrađeni softver (Slika 3.1.2.) u kontroler Topcon FC-336 je na temelju poznatog položaja točaka, dobivenih GPS RTK metodom koristeći CROPOS-ov visokoprecizni servis pozicioniranja, izračunao koordinate stajališta i orijentaciju totalne stanice (tzv. slobodno stajalište). Hibridni presjek izveden je opažajući dvije točke prethodno uspostavljene geodetske osnove iako je mogao biti izveden koristeći bilo koje druge dvije točke. Isti postupak proveden je za sve četiri točke četverokuta. Za rad ovog sustava bila je dovoljna jedna osoba. Terenski dio trajao je 70 minuta, a obrada podataka nije bila potrebna jer softver sve potrebne podatke računa i pohranjuje u memoriju u realnom vremenu.



Slika 3.1.2. Sučelje MAGNET Field softvera prilikom izvođenja hibridnog presjeka na Tesla kontroleru pomoću: a) GNSS mjerenja i b) optičkog mjerenja

### 3.2. IZMJERA ZA POTREBE IZRADE POSEBNE GEODETSKE PODLOGE

Izmjera terena za potrebu izrade posebne geodetske podloge izvedena je uz prethodne dogovore koji su primijenjeni kod korištenja oba sustava. Područje sadrži dovoljan broj detalja pri čemu nije moguće svaki detalj snimiti GPS RTK metodom. Dogovoreno je kako će se sve točke na kojima je moguć prijem GNSS signala snimiti GPS RTK metodom, a sve ostale polarnom metodom. U prvom načinu izmjere korištene su odvojeno GPS RTK metoda i tahimetrija. GPS RTK metodom izmjeru je izvodila jedna osoba u trajanju od 50 minuta. Za potrebe tahimetrije instrument je postavljen na najpovoljnije mjesto čije su koordinate određene metodom slobodnog stajališta. Presjek je proveden pomoću dviju točaka osnove čije su koordinate morale biti prethodno pohranjene u instrumentu. Tahimetriju su izvodile dvije osobe u trajanju od 80 minuta te ukupno vrijeme utrošeno na izmjeru kompletnog područja dvjema metodama iznosi 2 sata i 10 minuta.

Izmjera terena za potrebe izrade posebne geodetske podloge hibridnim sustavom pozicioniranja izvedena je tako da su prikupljeni identični podaci s terena kako bi se pokušalo utvrditi je li hibridni sustav učinkovitiji (tj. šteti li vrijeme). Metodom hibridnog presjeka određen je položaj i orijentacija totalne stanice koja je ponovno postavljena tako da se s jednog stajališta vide svi potrebni detalji. Potrebe za prethodno poznatim i pohranjenim podacima nije bilo. Na bliskoj udaljenosti od totalne stanice uključen je program praćenja prizme te smo sa štاپom na kojem se nalaze prizma i prijamnik krenuli u izvođenje izmjere. Kao što je već spomenuto, na dijelovima terena na kojima je ostvaren potreban prijam signala satelita detalji su snimani GPS RTK metodom. Prijam signala satelita nije bio moguć u slučajevima kad smo se približili visokom zidu objekta te kad smo mjerili detalje područja zaklonjenog krošnjama stabala. Tada bismo se, koristeći mogućnost hibridnog prijelaza, prebacili na izmjeru detalja polarnom metodom pomoću robotske totalne stanice. Prilikom izmjere detalja polarnom metodom može se dogoditi da sustav ro-

botizirane stanice izgubi prizmu iz vidnog polja. Tada instrument u prethodno definiranom području traženja pretražuje prostor pokušavajući locirati prizmu. Razlozi gubitka vizure, odnosno povezanosti instrumenta i prizme su različiti. Na našem terenu prilikom prolaza iza gustog grmlja visine 3 m ili iza betonskog zida očekivano bi se izgubio kontinuitet praćenja. U takvim slučajevima koristi se funkcija hibridnog zaključavanja. Potrebno je izići na najbliži prostor s otvorenim nebom kako bi prijamnik odredio svoj položaj. Pritiskom na ikonu funkcije hibridnog zaključavanja (Slika 2.2., ikona unutar zelenog kruga) softver trenutačno računa parametre zaokreta totalne stanice prema prizmi koja se nalazi 55 mm ispod GNSS prijamnika. Totalna stanica ponovno uspostavlja vizuru s prizmom te ju prati do točke koju želimo izmjeriti polarnom metodom. Iznenadila nas je jednostavnost funkcioniranja hibridnog zaključavanja. Naime, zbog problema povezivanja s CROPOS-om u jednom trenutku nismo imali mogućnost fiksnog rješenja položaja prijamnika. Na kontroleru je umjesto "fixed" pisalo "auto". Unatoč tome, pokušali smo izvesti hibridno zaključavanje i postupak je uspio. Instrument se okrenuo u pravom smjeru te "zaključao" s prizmom. Na temelju zadnjih baznih korekcija primljenih od CROPOS-a, prijamnik je odredio svoj položaj s dovoljnom točnošću na temelju koje bi instrument locirao prizmu. Prilikom namještanja postavki robotiziranog načina rada namješteno je da robotska totalna stanica traži prizmu u vidnom polju od 15° x 15°. Ovisno o udaljenosti, čak i uz pogrešku veću od 1 m pri određivanju položaja prijamnika, robotska totalna stanica uspostaviti će vizuru s prizmom. Ta mogućnost isprobana je i u daljnjoj izmjeri detalja. Namjerno je prekinuta povezanost robotske totalne stanice i prizme te je pokušano funkcijom hibridnog zaključavanja ponovno istu uspostaviti. Nalazili smo se u području u kojem su nesmetan prijam signala satelita zaklanjale krošnje visoke bjelogorice i crnogorice. Kontroler je prikazivao da prijamnik prima signal od nekoliko satelita, ali je ponuđeno rješenje bilo plivajuće odnosno „float“. U tom slučaju točnost određivanja položaja znatno varira, a dobiveni podatak je nepouzdan. Usprkos tome, funkcija hibridnog zaključavanja bez ikakvih problema unutar par sekundi izvršila bi svoj zadatak te je točka izmjerena polarnom metodom. Tijekom postupka snimanja detalja bila je uključena funkcija autolokalizacije. Na

Bingovim satelitskim snimkama jasno se vidjelo područje na kojem se nalazimo te poklapanje snimljenih točaka sa stvarnim rubovima objekata, staza i slično. Kako smo koristili kodirano snimanje, kontroler je svakome kodu pridružio različit vizualni element. Isti kodovi prema definiranim željama spajali su se na realnom prikazu te zatvarali izmjerene detalje u smislene cjeline ujedno vidljive i na Bing podlozi (Slika 2.4.). Izmjeru hibridnom tehnologijom izvodila je jedna osoba u trajanju od 120 minuta.

#### 4. ANALIZA I USPOREDBA OSTVARENIH REZULTATA

U tablici 1. prikazane su vrijednosti dobivenih koordinata geodetske osnove različitim geodetskim metodama. Određene su razlike koordinata dobivene svim metodama u odnosu na koordinate dobivene relativnim statičkim pozicioniranjem kako bi se moglo jednostavno usporediti. Vidljivo je da je metoda određivanja geodetske osnove hibridnim presjekom sasvim zadovoljila potrebe u pogledu točnosti koja se zahtijeva u praksi. Potrebno je uzeti u obzir da nijedna metoda ne rezultira apsolutno točnim koordinatama te da su prikazane međusobne usporedbe rezultata. Rezultat određivanja geodetske osnove poligonometrijom djeluje neočekivano loše te upućuje na mogućnost pogreške prilikom izmjere. Međutim, bitno je napomenuti da su se na točki oF pojavili određeni problemi koji su utjecali na određivanje koordinata bilo kojom metodom. Osim što je točka oF imala loše označen centar stabilizacije, ujedno su i krošnje stabala i blizina zida objekta predstavljale problem. Negativan utjecaj na određivanje koordinata točke oF GPS metodama rezultirao je lošijim vrijednostima mjera za geometriju satelita (bezdimezionalni faktori: PDOP, HDOP i VDOP) te manjim brojem vidljivih satelita. Utjecaj na izmjeru poligonskim vlakom bio je vidljiv u otežanom ostvarivanju vizure između točaka A i F s obzirom na smetnju u obliku vegetacije. Osim što djelomično opravdava veće koordinatne razlike na točki oF, navedeno ukazuje i na prednost metode hibridnog presjeka. Naime, spomenut je negativan utjecaj vegetacije na GPS metode kao i na ostvarivanje vizure kod poligonometrije. S druge strane, na izvođenje hibridnog presjeka spomenute prepreke nisu utjecale jer smo mogli birati na koje točke želimo izvršiti opažanje kao i broj točaka na kojima želimo izvršiti opažanje.

Tablica 1. Usporedba točnosti izmjere geodetske osnove različitim metodama

GNSS statika						
Točka	N	E	h			
A	5074463,976	458390,507	164,773			
C	5074440,046	458485,194	165,006			
E	5074402,550	458482,275	164,916			
F	5074397,505	458383,847	164,893			
Poligonometrija						
Točka	N	E	h	ΔN	ΔE	Δh
A	5074463,995	458390,473	164,774	-0,019	0,034	-0,001
C	5074440,049	458485,167	165,009	-0,003	0,027	-0,003
E	5074402,549	458482,240	164,921	0,001	0,035	-0,005
F	5074397,516	458383,799	164,891	-0,011	0,048	0,002
GPS RTK (CROPOS)						
Točka	N	R	h	ΔN	ΔE	Δh
A	5074463,973	458390,508	164,780	0,003	-0,001	-0,007
C	5074440,045	458485,194	165,007	0,001	0,000	-0,001
E	5074402,546	458482,277	164,912	0,004	-0,002	0,004
F	5074397,490	458383,847	164,895	0,015	0,000	-0,002
Hibridni presjek						
Točka	N	R	h	ΔN	ΔE	Δh
A	5074463,962	458390,491	164,770	0,014	0,016	0,003
C	5074440,039	458485,198	165,000	0,007	-0,004	0,006
E	5074402,531	458482,296	164,920	0,019	-0,021	-0,004
F	5074397,480	458383,860	164,880	0,025	-0,013	0,013

Tablica 2. Vremenska usporedba uspostave geodetske osnove

Metoda/vrijeme	Terenski dio	Obrada podataka	Ukupno	Broj djelatnika
GNSS statika	90'	30'	120'	4
Poligonometrija	90'	20'	110'	3
RTK (CROPOS)	55'	0'	55'	1
Hibridni presjek	70'	0'	70'	1

Tablica 3. Vremenska usporedba svih radova potrebnih za izradu PGP-a

Metoda/vrijeme	Terenski dio	Ukupno	Broj djelatnika
GPS RTK + tahimetrija	50'	130'	1
	80'		2
Hibridni sustav	120'	120'	1

U tablici 2. prikazane su vremenske usporedbe uspostave geodetske osnove različitim metodama. Navedena usporedba nema veliku težinu zato što su opažanja mogla biti izvedena na mnogo jednostavnije, ali i zahtjevnije načine s obzirom na željenu točnost. Ipak, metode su izvedene na načine koji odgovaraju onima koje se najčešće koriste u praksi te je usporedba pokazala očekivanu efikasnost hibridnog sustava. Veću težinu stavili bismo na usporedbu u tablici 3. u kojoj je prikazana vremenska usporedba svih radova potrebnih za izradu posebne geodetske podloge. Usporedba je potpuno opravdana jer je identično područje izmjereno tako da je prikupljen identičan broj točaka. Metoda hibridnog pozicioniranja prikazala je neznatnu uštedu vremena u iznosu od 10 minuta, ali znatnu s obzirom na broj osoba koje su izvodile izmjeru. Osim toga, prednosti upravljanja sustavom pomoću jednog uređaja (kontrolera) sa svim njegovim funkcijama te rad u jednome poslu dodatno pojednostavljaju terenski rad, ali i skraćuju vrijeme potrebno za obradu podataka. Nedostatak hibridnog sustava, upravo kao posljedica njegove prednosti, vidljiv je u pogledu sigurnosti. Naime, ako terenski rad izvodimo samostalno kao "one man show", veliki problem predstavlja sigurnost robotizirane stanice koja se tijekom rada često nalazi na velikim udaljenostima od izvođača radova. Tada postoji opasnost od krađe instrumenta ili nenamjernog oštećenja od strane radnih strojeva i vozila. Iz tog razloga potrebno je markantno obilježiti instrument kako bi bio vidljiv osobama koje upravljaju radnim strojevima i time spriječiti potencijalnu opasnost. S druge strane, zaštita od krađe osigurana je TSshield tehnologijom. Korištena robotska stanica opremljena je multifunkcionalnim komunikacijskim modulom baziranim na telematici čime je osigurana najbolja sigurnost i mogućnost održavanja softvera i firmvera. U slučaju krađe ili gubitka instrumenta koji je aktiviran, moguće je poslati kodirani signal do instrumenta i isključiti ga – tom funkcijom moguće je pronaći instrument bilo gdje u svijetu.

Prednosti koje proizlaze iz korištenja hibridnog sustava pozicioniranja su:

- povećanje produktivnosti i učinkovitosti rada
- brže mjerenje na terenu u odnosu na samostalne robotske sustave ili samostalne GPS RTK rovere
- smanjena potreba za poligonskim vlakom i neprestanim seljenjem instrumenta
- korištenje dvaju nezavisnih načina određivanja podataka mjerenja i
- kompatibilnost instrumentarija i softvera za uspostavu hibridnog sustava.

## 5. ZAKLJUČAK

U ovome radu prikazano je na koji način primjena tehnologije hibridnog pozicioniranja utječe na učinkovitost izvođenja geodetskih radova. Softverom omogućena integracija mjernih sustava i sinkronizacija podataka između terena i ureda skraćuju vrijeme izvođenja terenskih radova te uklanjaju nepotrebne prekide i gubitke financijskih sredstava. Prije svega, omogućeno je samostalno izvođenje terenskih radova te ušteda vremena prilikom prikupljanja podataka. Za uspostavu sustava moguće je iskoristiti postojeći instrumentarij čime se njegovi troškovi drastično smanjuju. Tehnologija napreduje i nudi mnoge prednosti bez utjecaja na kvalitetu prikupljenih podataka. Navedene karakteristike utječu na konkurentnost izvođenja geodetskih radova. Na geodetskim je stručnjacima odluka o prihvaćanju novih tehnologija, ali i još teža odluka o spremnosti na ulaganje kako bi se iskoristila njihova dostignuća.

## ZAHVALA:

Zahvaljujemo docentu dr. sc. Rinaldu Paaru, višem asistentu ds. sc. Anti Marendiću i asistentu Igoru Grgcu na asistenciji prilikom izrade rada. Zahvaljujemo se tvrtki GEO CENTAR d.o.o. na ustupljenom instrumentariju.

## LITERATURA

- › Bačić, Ž. (2009): Predavanja iz kolegija Satelitsko pozicioniranje, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
- › AchielSturm(2014): HybridPositioning, InPosition - Magazine for positioningprofessionals, br. 6, str. 6.-7., 22.-24.
- › Bečirević, D., Luketić, A., Maganić, J. (2012): Integracija mjernih sustava, napredno kodiranje i atributiranje uz sinkronizaciju terena i ureda, Ekscentar, br. 15, str. 76.-80.
- › URL-1: CROPOS, [Internet], <raspoloživo na: [http://www.cropos.hr/index.php?option=com\\_content&view=section&layout=blog&id=2&Itemid=3&lang=hr](http://www.cropos.hr/index.php?option=com_content&view=section&layout=blog&id=2&Itemid=3&lang=hr)>, [pristupljeno 10. svibnja 2014.]
- › URL-2: MAGNET FieldHelp, [Internet], <raspoloživo na: [http://topcon.lv/wp-content/uploads/2013/03/HLP\\_MAGNET\\_Field\\_v200\\_EN.pdf](http://topcon.lv/wp-content/uploads/2013/03/HLP_MAGNET_Field_v200_EN.pdf)>, [pristupljeno 8. svibnja 2014.]
- › URL-3: FC-336 Brochure, [Internet], <raspoloživo na: [http://www.topconpositioning.com/sites/default/files/FC-336\\_Broch\\_7010\\_2142\\_RevA\\_TF\\_sm.pdf](http://www.topconpositioning.com/sites/default/files/FC-336_Broch_7010_2142_RevA_TF_sm.pdf)>, [pristupljeno 8. svibnja 2014.]
- › URL-4: HybridPositioning, [Internet], <raspoloživo na: <http://www.topconpositioning.com/products/hybrid-positioning>>, [pristupljeno 28. travnja 2014.]
- › URL-5: HybridPositioning, [Internet], <raspoloživo na: <http://geocentar.com/hybrid-positioning/>>, [pristupljeno 25. ožujka 2014.]