

## **Hibridni sustavi pozicioniranja u kombinaciji s dubinomjerom**

### *Hybrid positioning system in combination with echo sounder*

<sup>1</sup>Lovro Gradišer, <sup>2</sup>Dinko Domiter

<sup>1</sup>Graditeljska škola Čakovec, Hrvatska

<sup>2</sup>Geoplan d.o.o., Čakovec, Hrvatska

e-mail: <sup>1</sup>gradiser.lovro@gmail.com, <sup>2</sup>dinko.domiter@gmail.com

**Sažetak:** *U radu su ukratko opisane polarna metoda prikupljanja podataka kod koje se koristi totalna stanica i GNSS metoda izmjere detalja. Zbog svojih prednosti, odnosno uslijed svojih nedostataka razvili su se hibridni sustavi za pozicioniranje koji omogućuju integraciju više metoda izmjere u jedan sustav koji sada raspolaže s mnogo više mogućnosti prilikom samog prikupljanja podataka na terenu te na taj način pojednostavljuje samu terensku izmjeru i smanjuje troškove izmjere. U posebnom poglavlju prikazana je primjena hibridnog sustava za pozicioniranje koji se sastoji od robotizirane mjerne stanice Topcon serije GT i dubinomjera pri geodetskim radovima u hidrotehnici, kao što su snimanje uzdužnih i poprečnih profila vodotoka u blizini mostova.*

**Ključne riječi:** *polarna metoda izmjere, GNSS, hibridni sustavi pozicioniranja, dubinomjer*

**Abstract:** *Throughout this paper some of basic land surveying methods like polar method using total station and Global Navigation Satellite Systems (GNSS) are described. Due to advantages and disadvantages of mentioned methods new positioning systems evolve integrating robotic total stations with GNSS called hybrid positioning systems. In particular chapter there is briefly described possibility of using such hybrid positioning system which combines Topcon robotic total station and GNSS with echo sounder in hydrographic surveying for the purposes of getting cross sections and longitudinal profiles for areas which are inapproachable or limiting for some of land surveying methods.*

**Key words:** *Total station, GNSS, hybrid positioning systems, echo sounder*

## 1. Uvod

U geodetskim mjerenjima podatci na terenu mogu se prikupiti različitim metodama i instrumentima. U načelu metode geodetske izmjere dijele se na grafičke, numeričke i satelitske. Neke od tih metoda, kao što je topografska izmjera koja se radila pomoću geodetskog stola ili ortogonalna metoda mjerenja, više se ne koriste, budući da su se razvile nove tehnologije, a s njima i nove metode izmjere. Kao posebnu metodu valja izdvojiti satelitsku metodu prikupljanja podataka, koja se u civilne svrhe počela koristiti 1980-ih godina, a danas se razvila u jednu od najekonomičnijih, najpraktičnijih i najpouzdanijih metoda određivanja koordinata točaka u prostoru.

Međutim, kao i sve ostale metode i ona ima svojih ograničenja i nedostataka. Glavni i osnovni nedostatak je što se položaj neke točke ili objekta ne može odrediti ukoliko ne postoji mogućnost prijema signala dovoljnog broja satelita, što zna biti čest slučaj kada se mjerenja provode u blizini visokih građevina, unutar zatvorenih prostora ili u blizini visokog drveća.

U posljednjih nekoliko godina proizvođači geodetske opreme razvili su hibridne sustave pozicioniranja, kojima kombiniraju različite tehnologije i metode mjerenja. Takav relativno nov način prikupljanja prostornih podataka, koji omogućava kombiniranje više različitih metoda, pokazao se izuzetno učinkovit u praksi, ali i ekonomičan, budući da sada sva mjerenja na terenu može obavljati jedna osoba.

## 2. Metode izmjere detalja

### 2.1. Polarna metoda

Od 1970-ih započinje dinamičan razvoj elektroničkih daljinomjera. Posebno značenje u razvoju tih uređaja imala je primjena automatske registracije podataka, uvođenje mikroprocesora i automatizacija cijelog mjernog procesa. S razvojem tehničkih sredstava za prikupljanje podataka razvile su se i nove metode, pa se tako razvojem elektroničkih tahimetara ili totalnih stanica razvila i polarna metoda snimanja detalja (Lasić, 2007).

Totalna stanica je geodetski instrument koji objedinjuje mogućnosti teodolita, koji omogućuje opažanje horizontalnih i vertikalnih pravaca i elektroničkog daljinomjera koji služi za određivanje kose udaljenosti do opažane detaljne točke.

Koordinate nepoznate točke mogu se odrediti ukoliko je moguće izravno opažati horizontalni i vertikalni kut te kosu duljinu prema nepoznatoj točki. Koordinate nepoznate točke (X, Y, Z ili N, E, h) koje su relativne u odnosu na položaj totalne stanice, izračunavaju se upotrebom trigonometrije i triangulacije.

Totalnim stanicama može se upravljati ručno ili postoje robotizirane verzije s ugrađenim motorima za precizno okretanje alhidade i durbina te se njima može upravljati na daljinu (Chekole, 2014.).

## **2.2. Metode satelitskog pozicioniranja**

Prvi satelitski navigacijski sustav *Transit* razvila je američka vojska 60-ih godina prošlog stoljeća koji se kasnije razvio u **Globalni Navigacijski Satelitski Sustav (GNSS)**. Do 2009. godine jedini potpuno operativni GNSS sustav bio je američki *NAVSTAR GPS* (hrv. **Globalni pozicijski sustav**). Valja napomenuti kako su danas operativni i ruski *GLONASS* i europski *Galileo* koji trenutno broji 14 satelita u orbiti (Rip i Hasik, 2002.).

Satelitsko pozicioniranje podrazumijeva korištenje GNSS prijemnika koji na osnovi faznih mjerenja primljenih signala od satelita računa udaljenost prijemnika od satelita. Na osnovi najmanje tri, odnosno četiri takva mjerenja, određuje se položaj prijemnika.

Kako signali koje odašilju sateliti prolaze kroz različite slojeve atmosfere koji imaju različita elektromagnetska (ionosfera) i temperaturna (troposfera) svojstva, dolazi do poremećaju u širenju samog signala, odnosno elektromagnetskog vala, što u konačnici utječe na točnost opažanja.

GPS RTK (engl. *Real Time Kinematics*) je metoda koja koristi diferencijalne GPS korekcije koje se šalju od baznog prijemnika koji je fiksiran na poznatoj točki i šalje korekcijske parametre radiovezom prijammniku u pokretu, kako bi se položaj prijemnika u pokretu odredio centimetarskom točnošću.

## **3. Usporedba polarne metode i satelitskog pozicioniranja**

Unatoč prednostima koje ima svaka od prethodno spomenutih metoda, uporaba isključivo samo jedne metode prilikom izmjere detalja znatno ograničava rad na terenu, a vrlo često na kraju i poskupljuje cijeli postupak izmjere.

Tako je upotreba polarne metode i totalne stanice ograničavajuća kada se totalna stanica ne dogleda s detaljnom točkom koja se želi opažati. Također, konvencionalna totalna stanica treba najmanje 2 kontrolne točke poznate po koordinatama preko kojih se može orijentirati u prostoru kako bi se za opažane točke odredili aposlutni položaji .

Kod satelitskog opažanja točke koje se opažaju ne trebaju se dogledati s točkama geodetske osnove, međutim metode satelitskog pozicioniranja se ne mogu koristiti na područjima s mnogo drveća i visokim zgradama zbog smetnji u prijemu signala satelita.

GPS RTK prijemnik može odrediti svoj položaj u vrlo kratkom vremenu s centimetarskom točnošću koristeći korekcijske parametre koje mu odašilje referentna stanica koja se može nalaziti na udaljenosti i do 50 km.

Takav način prikupljanja podataka je brz i efikasan, ali zahtijeva otvoreno nebo za prijem signala satelita.

Stoga se danas sve više proizvođača geodetskih instrumenata odlučuje na integraciju elektrooptičkih instrumenata, koje koristimo pri polarnoj izmjeri detalja, i GNSS prijemnika u novu tehnologiju koja je danas poznata pod nazivom sustavi za hibridno pozicioniranje.

#### **4. Sustav hibridnog pozicioniranja – Hybrid positioning**

Sustav hibridnog pozicioniranja je sustav koji pruža znatno veće mogućnosti na terenu koristeći prednosti GNSS prijemnika i satelitskog pozicioniranja i polarne metode upotrebom robotiziranih totalnih stanica.

Sam sustav sastoji se od robotizirane stanice, GNSS prijemnika koji se postavlja na štap s 360° reflektorom (slika 1). S cijelim sustavom upravlja se uz pomoć kontrolera koji je također fiksiran na štapu. Uz pomoć kontrolera može se na daljinu upravljati robotiziranom stanicom ili se vrlo jednostavno prebaciti na GNSS mjerenja kada se robotizirana stanica ne dogleda s reflektorom.

**Slika 1.** Sustav za hibridno pozicioniranje – Topcon 200 – DS robotizirana stanica, štap s 360° prizmom i GNSS prijemnikom



Izvor: <http://synergypositioning.co.nz/products/total-stations/hybrid>

#### **5. Metode mjerenja dubina**

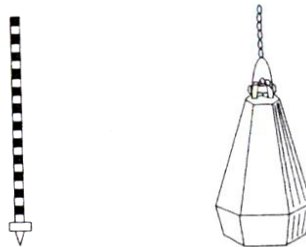
Mjerenjem dubina određuje se vertikalna udaljenost između trenutne razine vodene površine i dna.

Dubine se mogu mjeriti izravno (direktno) i neizravno (indirektno). Za izravne metode mjerenja koristi se hidrografska ili sondna motka, ručni dubinomjer, komparirana čelična vrpca ili još bolje plastificirana vrpca. Posredna mjerenja ostvaruju se zvučnim, odnosno ultrazvučnim dubinomjerom.

### 5.1. Klasične metode mjerenja dubina

Klasične metode mjerenja dubina su metode koje se danas rijetko koriste u praksi. Takve metode mjerenja dubina koriste se u plićacima gdje su manje dubine. U klasične metode spadaju hidrografska ili sondna motka, ručni dubinomjer i u novije vrijeme čelična vrpca ili plastificirana vrpca s utegom.

**Slika 2.** Sondna motka i uteg ručnog dubinomjera



Izvor: *Pribičević, 2005.*

### 5.2. Akustične metode mjerenja dubina

Dubine se mogu određivati zvučnim i ultrazvučnim dubinomjerima. Zvučni dubinomjeri rade s frekvencijom zvuka koji ljudsko uho može čuti i rade na principu jeke, tj. odraza emitiranog zvuka od dna. Koriste se za mjerenje velikih dubina, redovito za potrebe navigacije (Pribičević, 2005.).

Poznavajući brzinu širenja zvuka u vodi i vrijeme za koje zvuk prevali put od trenutka emitiranja od odašiljača do dna i natrag do prijavnika, može se izračunati dužina prijeđenog puta.

Ultrazvučni dubinomjeri rade s frekvencijom od 10 000 vibracija u sekundi, koje ljudsko uho ne može čuti. Oni se koriste za hidrografska mjerenja, jer se pomoću njih mogu mjeriti i male dubine. S obzirom na kratke valne dužine zvuka, može se dobiti detaljni profil dna. Prema tome frekvencija zvuka je usko povezana s namjenom ultrazvučnog dubinomjera i njegovim dometom.

Prednost ultrazvučnih dubinomjera je u tome što oni koriste uski snop zvuka, uslijed čega su uklonjene bočne jeke. Otporni su na zvučne valove u vodi koje uzrokuje buka broskog motora, propelera i slično jer su te zvučne frekvencije znatno niže.

### 5.2.1. Ultrazvučni dubinomjer (echo-sounder)

U batimetriji se najčešće određuje topografija morskog dna. Obično se prvo odredi horizontalna pozicija plovila, a zatim udaljenost između plovila i dna, odnosno dubina. Dubina se određuje iz opažanja prijeđenog puta zvučnih valova. Zvučni impuls koji prenosi pretvarač putuje kroz vodu i zatim se reflektira od morskog dna natrag na hidrofon. Dubina se izračuna iz mjerenog vremena  $\Delta t$  (Pribičević, 2005.):

$$\text{dubina} = c * \Delta t / 2$$

gdje je  $c$  brzina zvuka u vodi.

Dubinomjer, koji mjeri impulse dvostrukog puta kroz vodu, sastoji se od sljedećih komponenti:

- odašiljač (*transmitter* - pulsni generator s kvarcnim satom) generira (stvara) impulse.
- **T/R-prekidač** prenosi energiju odašiljaču.
- pretvarač (*transducer*) postavljen na trupu broda, pretvara električnu u zvučnu energiju, šalje zvučne signale u vodu, prima reflektirani signal i pretvara u električni signal.
- prijemnik (*receiver*) pojačava reflektirani signal i šalje ga sustavu za snimanje (*recording system*).
- kontrolna stanica (*recorder*) kontrolira odašiljanje signala, mjeri vrijeme putovanja zvučnog signala, snima podatke i pretvara vremenske intervale u udaljenosti.

### 5.2.2. Jednosnopni dubinomjeri

Širina snopa jednosnopnog dubinomjera (engl. *single beam echosounder*, SBES) je najčešće 30°. Uskosnopni dubinomjeri se koriste za:

- mjerenje dubina izravno ispod broda, izbjegavajući tako pogreške širokog snopa uzrokovane nagnutim dnom. Ta se mjerenja koriste ili za sigurnost navigacije, ili za kartiranje morskog dna.

- povećavanje kvalitete podataka u rezoluciji i točnosti.

Za izvedbu uskog snopa, potrebni su nam veći odašiljači nego za široki snop.

### 5.2.3 Višesnopni dubinomjeri

Višesnopni dubinomjer (engl. *Multibeam echosounder*, MBES) se koristi za bolju pokrivenost dna, a samim tim i povećanje produktivnosti. Svaki od uskosnopnih senzora daje rezoluciju dna jednaku kao što je daju jednosnopni dubinomjeri. Točnost mjerenja im nije ništa bolja od jednosnopnih dubinomjera, štoviše, točnost im se smanjuje s povećanjem kuta upada ("swath" kut). Višesnopni dubinomjeri se dijele u dvije skupine: swath i sweep sustavi.

*Swath sustav* proizvodi višestruke zvučne snopove iz jednog sustava odašiljača (iako se koristi i dvostruki sustav odašiljača, a ponekad odašiljač i prijammnik odvojeno).

Neke konstrukcije swath sustava imaju široki snop pa se mogu koristiti jednako kao i bočni (engl. *sidescan*) sonari. Swath višesnopni dubinomjeri se mogu koristiti na površinskim plovilima gdje se postavljaju na kobilicu ili sa strana plovila

*Sweep sustav* je sastavljen od niza jednosnopnih dubinomjera postavljenih na platforme sa svake strane broda i okomito na površinu broda (Pribičević, 2005).

Ti se sustavi najčešće upotrebljavaju u plitkim vodama uskih vodenih područja (luke, kanali, itd.) za 100%-tnu pokrivenost snimki dna. Potpuno prekrivanje područja ovisi o međusobnom razmaku odašiljača i dubini vode. Praktična uporaba na terenu je vrlo kompleksna zbog izvedbe oplata plovila, pa je zbog toga korištenje ovog sustava uglavnom ograničeno samo na luke i uske kanale.

## 6. Primjena hibridnog pozicioniranja i dubinomjera

Zbog nedostataka GPS metode mjerenja u situacijama gdje nema otvorenog neba, odnosno gdje je dostupnost signala s minimalno 4 GPS ili Glonass satelita ograničena ili u potpunosti nedostupna potrebno je pristupiti klasičnom pristupu izmjere (Bačić, 1997.).

Klasičan pristup izmjere još uvijek podrazumijeva uporabu totalnih stanica i reflektora, a takav način izmjere iziskuje više vremena i minimalno dva čovjeka. Spomenuta izmjera je prihvatljiva kada promatramo izmjeru objekata i detalja na terenu koji su statični te im se može pristupiti i odrediti njihov položaj u prostoru. Kada se radi o izmjeri detalja koji se određuju s neke pomične platforme kao što je npr. čamac "klasična" izmjera je znatno kompliciranija u pogledu određivanja položaja detalja u prostoru prvenstveno zbog kretanja plovila te položaja reflektora u odnosu na totalnu stanicu tj. opažača.

Zbog ranije navedenih mogućnosti hibridne tehnologije da u svakom trenutku postoji veza između totalne stanice i reflektora, ako nema prepreka, omogućeno je određivanje položaja velikog broja detaljnih točaka objekata i detalja terena, a i detalja ispod površine vode posebice u trenucima kada nam GPS metoda nije dostupna.

Ova metoda ne iziskuje spretnost opažača, jer robotizirana mjerna stanica automatski vizira i mjeri pravce i dužine na reflektor od 360° i sve to u vrlo kratkom vremenu.

Cijelim sustavom upravlja se pomoću registratora koji je povezan s hibridnom stanicom, GPS-om i dubinomjerom te u svakom trenutku kada određujemo položaj točke ispod površine vode dobivamo korekciju visine za dubinu koju dobivamo iz dubinomjera.

**Slika 3.** Primjena hibridnog sustava pozicioniranja i dubinomjera pri snimanju poprečnih profila ispod mosta



Izvor: *autor*

### **6.1. Podloge za projektiranje, poprečni presjeci, DMR**

Uporabom hibridne metode u kombinaciji s dubinomjerom iz prikupljenih podataka terenske izmjere omogućen je prikaz karakterističnih presjeka, kako objekata, tako i samog terena oko vode i ispod površine vode.

Prednost hibridne metode mjerena prepoznata je prilikom snimanja korita rijeke gdje je prvenstveno upotrebljavana za izmjeru detalja ispod samog mosta. Izmjera detalja obavlja se sustavom poprečnih profila ili mjerenjem karakterističnih točaka terena ili njihovom kombinacijom iz čega je moguće izraditi detaljne, položajno i visinski kvalitetne podloge za projektiranje zbog prikupljenog velikog broja točaka u kratkom vremenu (npr. 1 sekunda = 1 točka).

Ovisno o gustoći snimljenih točaka moguće je kreirati vrlo detaljne i vjerodostojne modele terena što može poslužiti za različite simulacije npr. protok vode koritom, izlivanje vode iz korita itd.



## 7. Zaključak

Sustav hibridnog pozicioniranja kao nova tehnologija izmjere detalja omogućila je znatno veće mogućnosti prikupljanja podataka na terenu posebno u pogledu količine podataka i potrebnog vremena. Sustav hibridnog pozicioniranja spoj je suvremenih tehnoloških dostignuća iz područja satelitskog pozicioniranja i robotiziranih mjernih totalnih stanica. Sustav ima veliku primjenjivost na svim područjima geodetske izmjere od najjednostavnijih geodetskih radova do najzahtjevnijih inženjerskih zadataka.

Na sustav hibridnog pozicioniranja moguće je povezati dodatne sustave za mjerenje, kao što je mjerenje dubina dubinomjerom čime dodajemo dodatnu dimenziju cijelom sustavu i još veću iskoristivost.

## Literatura

1. Bačić, Ž. (1997). Satelitska geodezija III., interna skripta. Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet.
2. Chekole, S. D. (2014). Surveying with GPS, total station and terrestrial laser scanner: a comparative study, Master of Science Thesis in Geodesy No. 3131, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm.
3. Lasić, Z. (2007). Geodetski instrumenti.  
[http://www2.geof.unizg.hr/~zlastic/Prakticni\\_rad\\_s\\_geodetskim\\_instrumentima.pdf](http://www2.geof.unizg.hr/~zlastic/Prakticni_rad_s_geodetskim_instrumentima.pdf)  
(28.9.2016.)
4. Pribičević, B. (2005). Pomorska geodezija. Zagreb, Geodetski fakultet, Zagreb.
5. Rip M. R., Hasik J. M. (2002). *The Precision Revolution: GPS and the Future of Aerial Warfare*, Naval Institute Press, Pp. xvi+552.
6. Synergy Positioning. <http://synergypositioning.co.nz/products/total-stations/hybrid>  
(28.09.2016.)