

Trodimenzionalni geodetski model jezera šljunčare Novo Čiče

Zavod za geomatiku Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu je 2002. godine temeljem programa o eksploataciji mineralnih sirovina na području Grada Velike Gorice i zaključaka "Povjerenstva za kontrolu i unapređenje iskorištavanja mineralnih sirovina na području Grada Velike Gorice" izvršio detaljno trodimenzionalno snimanje kombinacijom najsuvremenijeg instrumentarija GPS/ehosonder, te izradio trodimenzionalni snimak dna jezera Novo Čiče.

Ovdje se želi dati teorijski prikaz korištenih suvremenih geodetskih metoda na predmetnom projektu, kao i opis izvedbe tih najnovijih mjerenja, te analiza i obrada podataka dobivenih tim mjerenjima kao rezultat kojih je i nastao 3D model.

Globalni pozicijski sustav - GPS

Globalni pozicijski sustav (GPS) služi za određivanje položaja jedne ili cijelog niza točaka na kopnu, moru ili zraku uz pomoć satelita. Iako prvotno namijenjen za navigaciju, GPS je našao široku primjenu u geodeziji, te u svim područjima znanosti i tehnologije koja koriste prostorno definirane informacije. Primjena GPS-a u

geodeziji izmjenila je ne samo metode mjerenja nego i filozofiju izmjere. Prikazat ćemo samo kratki teorijski opis GPS metode pozicioniranja primijenjene u predmetnom projektu, a to je GPS-RTK (*real time kinematics*), odnosno kinematička mjerenja u realnom vremenu.

Kinematika u realnom vremenu se zasniva na radio vezi između referentnog i pokretnog prijamnika, kao i primjeni OTF (On The Fly) postupaka. Za sve vrste kinematičkih mjerenja prioritetan zadatak je određivanje ambiguiteta (neodređenosti cjelobrojnih valnih duljina) dok je antena u pokretu, bilo da je riječ o

početnoj inicijalizaciji ili u toku mjerenja uslijed gubitka signala. Metode koje omogućuju takvu inicijalizaciju nazivaju se "on the fly" (OTF), odnosno "ambiguity resolution on the fly". Kod RTK metode radio vezom prenose se podaci mjerenja do jednog od prijamnika u kojem se (skoro) istovremeno postupkom mjerenja vrši i računanje korekcija pseudo-udaljenosti (od satelita do prijamnika). U praksi bi to značilo da je po prolasku kroz tunel, šumu ili usku ulicu moguće u kratkom vremenskom periodu ponovno inicijalizirati mjerenje što omogućuje prošireni spektar primjena. Današnji



Trimble 5700 RTK komplet:
referentni prijamnik s radio odašiljačem

Mjerna GPS-stanica Trimble 5700 ima sljedeće tehničke karakteristike:

- vodonepropusnost do dubine od 1m, izdržljivost pada na beton s visine od 1 m, napajanje 10,5-28 V sa zaštitom od previsokog napona, trajanje baterija 7 sati, potrošnja energije 2,5 W, radna temperatura -40 do +65 °C
- 24-kanalni dvofrekventni prijamnik s milimetarskom točnošću mjerenja faze, masa manja od 4 kg (pokretni prijamnik s antenom)
- točnost kinematičkih mjerenja 10 mm ± 1 ppm (horizontalna komponenta) i 20 mm ± 1 ppm (vertikalna komponenta), latencija 0,02 s, minimalno vrijeme inicijalizacije 10 s, pouzdanost inicijalizacije preko 99,9%



Trimble Survey Controller

Mjerenje dubina

Hidrografija je grana primijenjene znanosti koja se bavi izmjerom i opisom fizičkih karakteristika vodenog dijela površine Zemlje sa pripadajućim obalnim područjima. Glavni zadatak hidrografskih mjerenja je prikazati reljef morskog (riječnog, jezerskog) dna, uključujući sve karakteristike dna, prirodne ili umjetne (djelovanje čovjeka). Dakle, treba prikazati prirodu dna na način sličan topografskim kartama kopnenih područja.

Dva su faktora koji definiraju poziciju pojedine točke na Zemljinoj površini, a za hidrografska mjerenja to su:

- horizontalni položaj točke, kao latituda i longituda, kartezijeve koordinate u nekoj mreži, odnosno kut i dužina sa neke poznate kontrolne točke;
- dubina točke ispod površine vode, korigirana za vertikalnu udaljenost između točke mjerenja i nivoa vode i za visinu

plime iznad datuma ili referentnog nivoa na koji se dubine odnose.

Problem koji se javlja je kako primijeniti ove faktore da bi se dobila slikovita reprezentacija reljefa dna.

Batimetrija je određivanje dubine mora, rijeka i jezera, odnosno generalna konfiguracija dna određena iz profila analizom podataka dubine. Batimetrija je dio hidrografske izmjere, a hidrografska izmjera je dio marinske geodezije i hidrografije. Dakle, u hidrografiji (batimetriji) predmet istraživanja je dno i njegov prikaz. Obično se prvo odredi horizontalna pozicija plovila, a zatim udaljenost između plovila i dna, odnosno dubina. Dubina je vertikalna udaljenost od trenutne vodne površine do dna. Dubine se mogu mjeriti direktno ili indirektno. Direktno mjerenje pomoću ručnog dubinomjera se više ne koristi. Indirektno mjerenje je mjerenje drugih fizikalnih veličina temeljem kojih se posredno određuje

dubina. U suvremenim hidrografskim mjerenjima dubina se određuje mjerenjem vremenskog razmaka između odaslanog zvučnog signala i prijama njegove jeke (echo) koja nastaje odbijanjem akustičkog signala od dna.

Echo sounder je uređaj koji određuje dubinu na osnovu emitiranog akustičkog impulsa sa emitera (transducera) koji dalje putuje kroz stupac vode, reflektira se od dno i vraća natrag na hidrofon. Dubina se računa iz izmjenog vremena putovanja impulsa

Δt :

$$d = \frac{\Delta t c_{zv}}{2}$$

gdje je c_{zv} brzina zvuka u vodi.

Očito je od velike važnosti poznavanje zakonitosti širenja i brzine zvuka kroz vodu, te je zbog toga potrebno izvršiti utvrđivanje stvarne brzine širenja zvuka kroz vodu postupkom kalibracije:

usporedbom dubine mjerene dubinomjerom s dubinom određenom na neovisan način (ručno).

Pri izmjeri je korišten visoko precizan ehosonder proizvođača STN ATLAS Marine Electronics, ATLAS DESO 14.

ATLAS DESO 14 je kompaktan, a njegova kontrola, odnosno upravljanje, izvodi se PC-računalom. Dizajniran je za precizna mjerenja dubina vode gdje je prostor ograničen, kao i za kontrolu sedimentiranja u bazenima luka ili kanala. ATLAS DESO 14 je razvijen za mjerenja dubine voda od minimalno 50 cm do maksimalno 650 m (zavisno od odabrane frekvencije i transducera) u širokom spektru aplikacija: općenito u hidrografiji, vađenju mulja, sedimentacijskim studijama, studijama i istraživanju okoliša, inženjerskim radovima na vodi, kontroli

Kompletno mjerenje se može kontrolirati vanjskim računalom bez fizičkog kontakta s ehosonderom. Kompaktna veličina i mala težina dozvoljavaju upotrebu ovog dubinomjera kao nezavisnog ehosondera na vrlo malim mjernim čamcima, plovilima na daljinsko upravljanje i u potpuno integriranim sustavima na specijaliziranim plovilima.

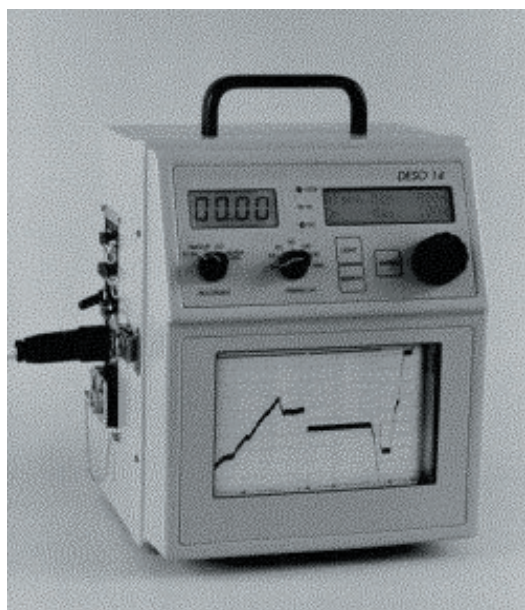
Kombinacija GPS / ehosonder

GPS-sustav koji daje visokotočnu poziciju u WGS 84 koordinatama kombinira se sa sustavom ultrazvučnog dubinomjera koji daje iznose dubine za odnosnu diskretnu točku. Ova dva sustava povezuju se na način da se diskretnoj točki na kojoj je izmjerena dubina pridodjeli pozicija dobivena metodom satelitskog pozicioniranja, konkretno GPS-RTK metodom koja je prikazana u prijašnjim poglavljima ovog članka.

GPS-antena postavljena je na nosač učvršćen na bočnu stranu broda kojim su izvedena hidrografska mjerenja po predodređenim putanjama. Na isti nosač postavljena je i sonda ultrazvučnog dubinomjera. Pomak (offset) između faznog centra GPS antene i sonde ehosondera je određen odmah po uspostavi sustava, a bilo je tim lakše što nije bilo planarnih pomaka. Sva mjerenja u realnom vremenu, budući se radilo o RTK metodi, korigirana su za vrijednost tog vertikalnog pomaka.

Čamac sa sustavom GPS-RTK/dubinomjer plovi po linijama snimanja i u unaprijed određenim vremenskim intervalima registrira se horizontalna pozicija dobivena GPS-RTK metodom, dodjeljuju se dubine dobivene mjerenjem dubinomjerom za dobivenu točku.

Dakle, sustav omogućuje dobivanje prostornih podataka o poziciji GPS



Precizni geodetski dubinomjer
ATLAS DESO 14

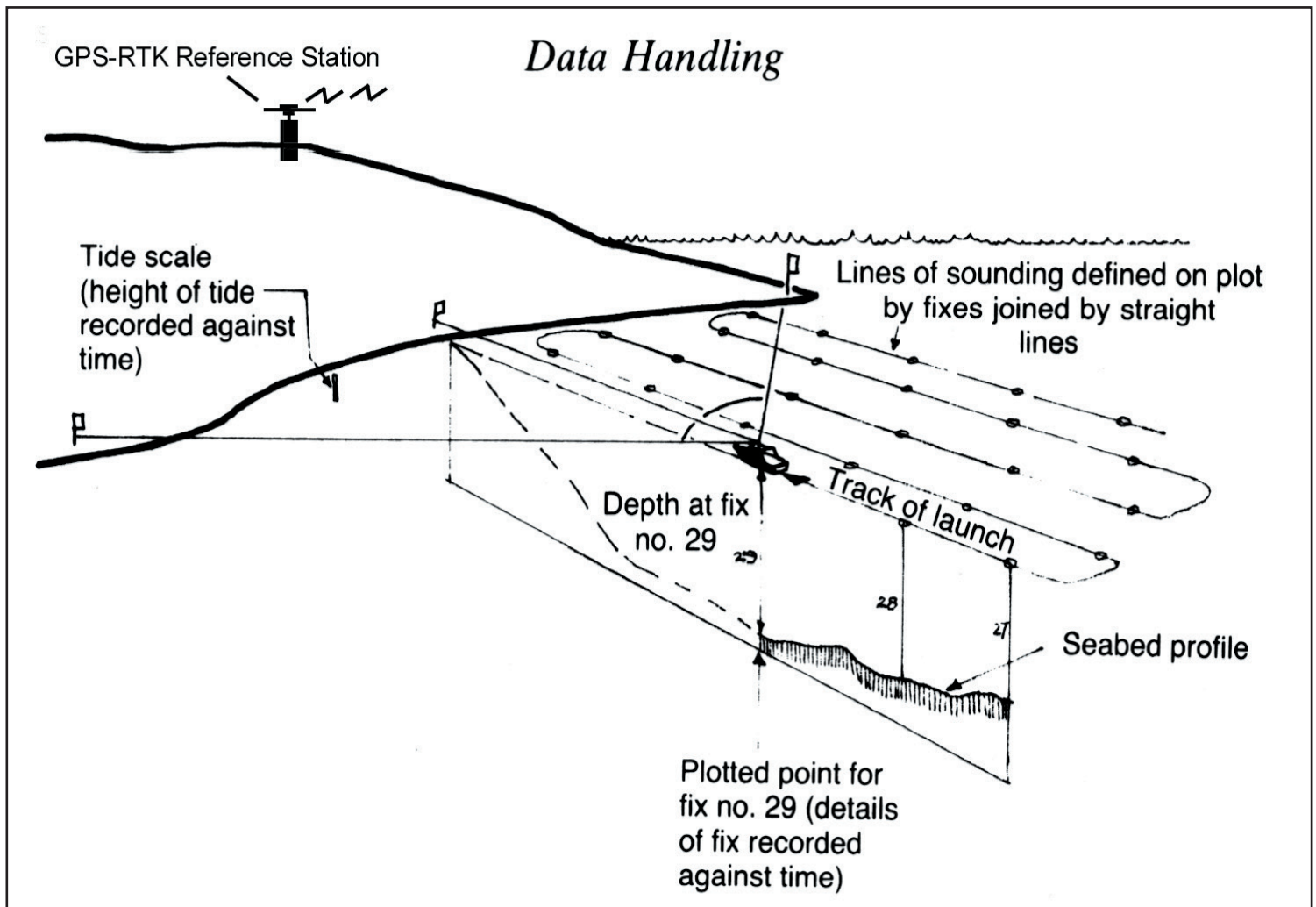
Tehničke karakteristike dubinomjera ATLAS DESO 14:

- jednokanalni dvofrekventni dubinomjer radne frekvencije 33 kHz ili 210 kHz
- raspon mjerenih dubina 0,5 do 650 m, rezolucija 1 cm
- preciznost mjerenja 7 cm na 33 kHz, 1 cm na 210 kHz
- potpuna daljinska kontrola i postavljanje svih unutarnjih parametara
- duljina impulsa 0,04ms do 0,1ms za 210 kHz
- podešavanje brzine širenja zvuka od 1400m/s do 1600 m/s
- napon od 18 do 32 V
- radna temperatura od 0 do 50 °C
- masa uređaja 10 kg



Kombinacija RTK-GPS/ehosonder na jezeru Novo Čiče: bazni prijamnik s radio-odašiljačem (lijevo), pokretni prijamnik s ehosonderom na brodu (desno)

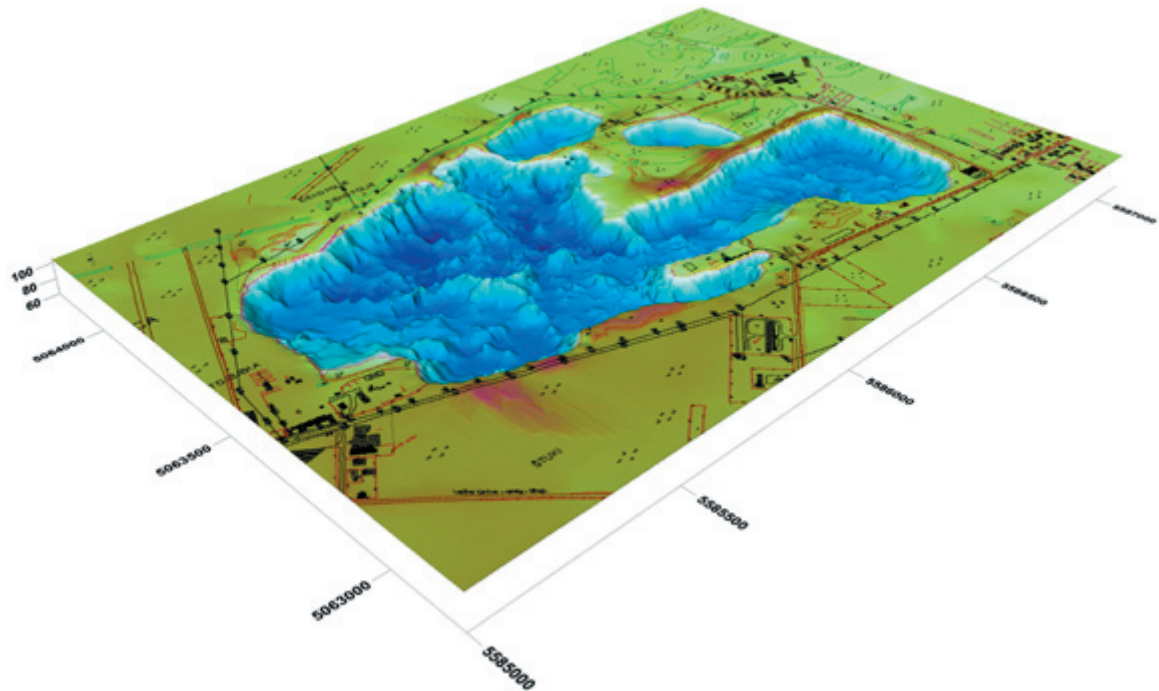
metodom kojima se za svaki trenutak opažanja pridružuje dubina dobivena ehosonderom za taj isti trenutak mjerenja. Oba uređaja su povezana sa PC-računalom u kojem se pomoću kontrolnog softvera sinkroniziraju podaci dobiveni pomoću oba sustava, odnosno usklađivanjem satova omogućuje integracija rezultata.



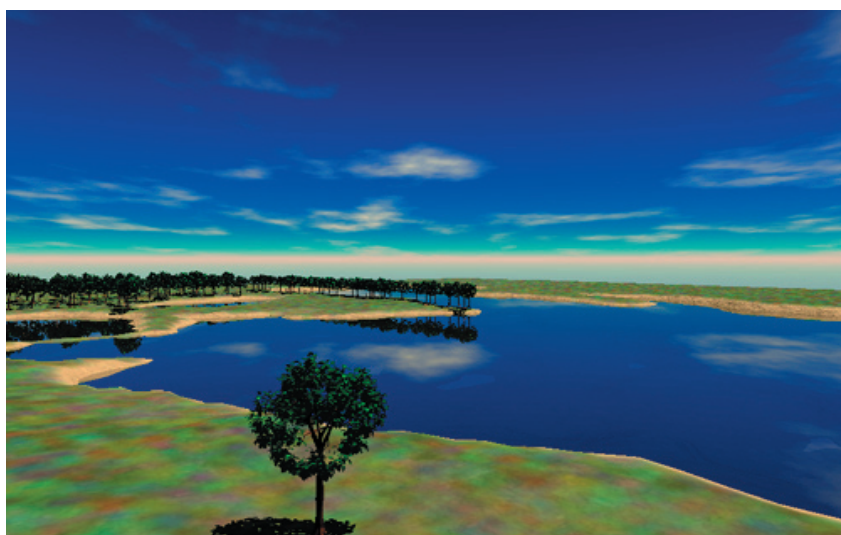
Princip mjerenja kombinacijom GPS/ehosonder.

Obrada podataka

Kombinacijom mjerenja GPS-RTK i ehosoundera određeno je oko 35000 točaka dna jezera sa sve tri koordinate (dubinom i položajnim koordinatama). Zahvaljujući mreži homogenog polja stalnih geodetskih točaka koja je razvijena prije na području Grada Velike Gorice, određeni su parametri transformacije te su GPS koordinate u WGS84 sustavu transformirane u Gauss-Krügerove koordinate kako bi se spojile sa koordinatama točaka okolnog terena dobivenih digitalizacijom. Dakle, nakon transformacije WGS koordinata dobiveno je oko 50000 koordinata u Gauss-Krügerovu sustavu.



Trodimenzijski prikaz jezera šljunčare Novo Čiče



Isječci iz animacije jezera šljunčare Novo Čiče.

Kako bi se dobili podaci (koordinate) potrebni za izradu digitalnog modela terena korištene su karte mjerila 1:5000, ekvidistancije slojnica 5 m.

Koordinate su pohranjene u posebnu tekstualnu datoteku i služile su kao ulazni podaci za računanje prostorne mreže (grid) tj. za postupak interpolacije, kojom se dobija gušća, pravilna prostorna mreža koordinata od kojih se tvori 3D model. Interpolacija je obavljena

kriging metodom u programskom paketu Surfer 8. Kriging je geostatistička metoda interpolacije koja se pokazala vrlo korisnom i popularnom u raznim granama znanstvenih istraživanja. Ova metoda omogućuje dobivanje pravilne mreže točaka iz nepravilno raspoređenih ulaznih podataka (koordinata). Kriging kao metoda interpolacije zadržava trendove koji su izraženi u ulaznim podacima tj. ne mijenja njihove vrijednosti kod postupka interpolacije već ih uzima kao fiksne. Time predstavlja idealan izbor za interpolaciju ulaznih podataka koji su korišteni za tvorbu trodimenzionalnog geodetskog modela jezera Novo Čiče. Za dobivanje rezolucije interpolacije od 5 m potrebno je bilo postaviti prostornu mrežu od 518 x 635 točaka što čini ukupno 328930 interpolacijom dobivenih točaka s pripadnim X, Y, Z prostornim koordinatama koje tvore trodimenzionalni geodetski model prikazan na prethodnoj stranici. Koristeći specijalizirani softver izrađena je trodimenzionalna

animacija koja je bila prezentirana na javnoj tribini u Gradu Velika Gorica povodom prezentacije projekta trodimenzionalnog snimka jezera šljunčare Novo Čiče (slika na prethodnoj stranici).

Zaključak

Napredak tehnologije, prije svega pojava satelitskog sustava za pozicioniranje (GPS), omogućava višestruko veći broj daleko točnijih mjerenja u znatno kraćem vremenu. Ta je činjenica u potpunosti potvrđena i pri realizaciji terenskih radova na ovom projektu, gdje je kombinacija najsuvremenijih dvofrekventnih GPS-prijamnika s visokopreciznim geodetskim ultrazvučnim dubinomjerom dala izuzetno detaljan i točan jedinstveni snimak dna jezera. Snimak pokazuje da je dno izuzetno neravno s naglim padovima dubina.

Na temelju dobivenih rezultata pouzdano je određen volumen jezera od dna do vodnog lica, te je izračunata površina vodnog lica Velikog jezera koja je 82,8 hektara. Predmetni snimak s obzirom na njegovu visoku

točnost moći će se koristiti u sljedeće svrhe:

- kao geodetska podloga za buduću sanaciju jezera u skladu s rudarskim projektom i drugom prostornom dokumentacijom,

- kao podloga za urbanističko projektiranje pri izradi detaljnog urbanističkog plana budućeg sportsko-rekreacijskog centra Novo Čiče,

- za izračun i kontrolu dosad iskopanih količina i proračun rezervi šljunka

- kao primjer za edukaciju studenata Geodetskog fakulteta na kolegiju Pomorska geodezija.

Na kraju želimo naglasiti da je predmetni snimak izrađen u potpunoj suglasnosti s projektnim zadatkom, kao i da je geodetsko snimanje izvršeno s homogenog polja stalnih geodetskih točaka i na taj način snimak jezera se nalazi i u Hrvatskom državnom koordinatnom sustavu i u Europskom referentnom koordinatnom sustavu ETRS89.

Precizno mjerenje dna jezera šljunčare Novo Čiče. Vidimo kako ležerno, skoro u bestežinskom stanju, geodetski stručnjaci mjere profile. Kako bi se lakše snašli u bespućima jezera vode detaljan zapisnik o svakoj mjerenoj točki, što se može vidjeti i na slici.

Napisali:
Almin Đapo
Ivan Medved

