



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU - GEODETSKI FAKULTET
UNIVERSITY OF ZAGREB - FACULTY OF GEODESY
Zavod za inženjersku geodeziju i upravljanje prostornim informacijama
Institute of Engineering Geodesy and Spatial Information Management
Kačićeva 26; HR-10000 Zagreb, CROATIA
Web: www.igupi.geof.hr; Tel.: (+385 1) 46 39 222; Fax.: (+385 1) 48 28 081

Usmjerenje: Inženjerska geodezija i upravljanje prostornim informacijama

DIPLOMSKI RAD

Model sedimenta na dnu Prošćanskog jezera

Izradio:

Jakša Belić

Žrnovo 704

Korčula

jbelic@geof.hr

Mentor: doc. dr. sc. Siniša Mastelić - Ivić

Zagreb, studeni 2005.

Zahvala:

Zahvaljujem se svojim roditeljima na velikoj podršci tijekom studiranja.

Također zahvaljujem svom mentoru doc. dr. sc. Siniši Masteliću-Iviću na pomoći pri izradi diplomskog rada.

I naravno hvala svim prijateljima zbog kojih će mi ovo studiranje uvijek ostati u lijepom sjećanju.

I. Autor

Ime i prezime: Jakša Belić

Datum i mjesto rođenja: 14.09.1980. Dubrovnik

II. Diplomski rad

Predmet: Geodetski radovi u hidrotehnici

Naslov: Model sedimenta na dnu Proščanskog jezera

Mentor: doc. dr. sc. Siniša Mastelić - Ivić

Voditelj: doc. dr. sc. Siniša Mastelić - Ivić

III. Ocjena i obrana

Datum zadavanja zadatka: 05.09.2005.

Datum obrane: 18.11.2005.

Sastav povjerenstva pred kojim je
branjen diplomski rad:

1. doc. dr. sc. Siniša Mastelić - Ivić
2. prof. dr. sc. Zdravko Kapović
3. prof. dr. sc. Miodrag Roić

Model sedimenta na dnu Proščanskog jezera

Jakša Belić

Sažetak: Na Proščanskom jezeru izvedena su geodetska snimanja dna jezera uz korištenje nisko i visoko frekventne sonde čija su mjerenja pozicionirana uz pomoć GPS/RTK sustava. Tako možemo zaključiti kako se prilikom te izmjere koristila najmodernija geodetska tehnologija i oprema, koja nam omogućava kvalitetne i visoko precizne podatke izmjere. Na temelju tako dobivenih izmjerenih podataka i nakon njihove obrade stvoren je trodimenzionalni model dna jezera. Osnovni cilj izmjere i izrade ovakvog digitalnog trodimenzionalnog modela dna jezera jest praćenje taloženja sedre. Tako dobiveni podaci geodetskih mjerenja mogu dalje poslužiti kao baza za analizu i polazište svim ostalim zainteresiranim znanstvenim disciplinama.

Ključne riječi: transducer, ultrazvučni dubinomjer...

Master's Thesis Template

Abstract: The geodesic measurements of the lake bottom (Proscansko lake, Croatia) were performed using the low and high frequency probes positioned by the GPS/RTK systems. Qualitative and high precision data were obtained with a cutting-edge geodesic technology and equipment. Based on the measured data and their analysis, the three-dimensional model of Proscansko lake bottom was created. The main goal of the measurements and the formation of digital three-dimensional model of the lake bottom was monitoring the sedimentation of calcium carbonate. In addition, the obtained geodesic data could be used as an analytic basis and the starting point for all other scientific disciplines.

Keywords: transducer, echosounder...

Model sedimenta na dnu Prošćanskog jezera

Jakša Belić

S A D R Ž A J

1. UVOD	7
2. HIDROGRAFIJA	8
2.1. POVIJEST HIDROGRAFIJE	8
2.2. PODJELA HIDROGRAFIJE	8
2.3. HIDROGRAVSKA MJERENJA	9
3. MJERENJE DUBINA	10
3.1. VERTIKALNI DATUM	10
3.2. KLASIČNE METODE MJERENJA DUBINA	12
3.3. AKUSTIČKE METODE MJERENJA DUBINA	13
3.3.1. <i>Ultrazvučni dubinomjer</i>	13
3.3.2. <i>Rezolucija dubinomjera</i>	14
3.3.3. <i>Jednosnopni dubinomjer</i>	16
3.3.4. <i>Ultrazvučni dubinomjer ATLAS DESO 14</i>	16
3.3.5. <i>Višesnopni dubinomjeri</i>	19
3.3.6. <i>Bočni side scan sonar</i>	22
3.4. KOREKCIJA MJERENJA DUBINOMJERIMA	25
3.5. DVOFREKVENTNA BATIMETRIJA	27
3.6. BATIMETRIJSKE KARTE	27
3.7. MJERILO	28
4. STANDARDI U HIDROGRAFIJI	30
4.1. IHO S-44	30
4.2. IHO S-55	31
4.3. IHO S-57	31
5. POZICIONIRANJE	33
5.1. DIFERENCIJALNI GPS - DGPS	33
5.2. KINEMATIKA U REALNOM VREMENU	34
5.2.1. <i>Trimble 4800 sustav za mjerenje</i>	36
5.3. AKUSTIČKO POZICIONIRANJE	37
5.3.1. <i>Osnove podvodne akustike</i>	38
5.3.2. <i>Brzina zvuka u vodi</i>	39
5.3.3. <i>Sustav s dugim baznim linijama (Long Baseline System LBL)</i>	40
5.3.4. <i>Sustav s kratkom bazom (Short Baseline System SBL)</i>	42
5.3.5. <i>Sustav s ultra kratkom bazom (Ultra- Short Baseline System)</i>	43
5.3.6. <i>Kombinirane metode akustičkog pozicioniranja</i>	43
5.3.7. <i>Sustav s dugom i ultra kratkom bazom</i>	43
5.3.8. <i>Sustav s dugom, kratkom i ultrakratkom baznom linijom</i>	44
5.3.9. <i>Kalibracija i izvor pogrešaka kod sustava dugih baznih linija</i>	45
6. KOMBINIRANE METODE ODREĐIVANJA POLOŽAJA I DUBINE	46



6.1.	KOMBINACIJA GPS-A I ECHO – SOUNDERA.....	46
7.	TRANSDUCERI	48
7.1.	VRSTE TRANSDUCERA.....	50
8.	NACIONALNI PARK PLITVIČKA JEZERA.....	52
8.1.	SEDRA PLITVIČKIH JEZERA	53
9.	DIGITALNI TRODIMENZIONALNI MODEL DIJELA DNA PROŠĆANSKOG JEZERA	55
9.1.	MJERENJE DUBINA NA PROŠĆANSKOM JEZERU	55
9.2.	OBRADA PODATAKA	56
9.3.	3D MODEL PROŠĆANSKOG JEZERA	58
9.4.	SLOJNI PRIKAZ DNA JEZERA	62
10.	SADRŽAJ PRILOŽENOG MEDIJA (CD-A)	64
11.	ZAKLJUČAK.....	65

Literatura

Životopis

1. UVOD

Pošto voda obuhvaća ukupno 71% Zemljine površine, geodezija na moru poprima sve veći značaj. Geodezija na moru svoj brzi razvoj može zahvaliti paralelnom razvoju različitih satelitskih i informatičkih tehnologija. Za razvoj i unapređenje metoda rada koje koristi geodetska struka neophodno je uključiti najnovije tehnologije mjerenja, te instrumentarij koji ima za cilj ubrzati mjerene procese, povećati njihovu točnost i ekonomičnost radova. Dok se na čvrstom Zemljinom tlu mjereni podaci mogu ponovno određivati u više uzastopnih ponavljanja, na nestabilnoj vodenoj površini to najčešće nije moguće. Ponavljanje mjerenja vodi uvijek do novih podataka, koji određuju slične, ali različite konfiguracije za izračunavanje nepoznatih parametara.

Danas je geodezija na sve višem i značajnijem interdisciplinarnom nivou, a kojeg potvrđuje zainteresiranost, ali i potreba srodnih te ostalih znanosti za geodetskim metodama. Interdisciplinarni značaj geodezije najizraženiji je u dodirnim točkama s ostalim srodnim geoznanostima koje proučavaju fenomene Zemlje i njihovo ponašanje. Ovakav pristup i suradnja neosporno pružaju kvalitetno i integralno rješenje proučavanog problema na znanstveno – istraživačkom te praktičnom nivou.

U ovom diplomskom radu biti će opisani suvremeni geodetski instrumenti i metode koje se koriste pri različitim hidrografskim izmjerama, sa posebnim osvrtom na izvedena geodetska mjerenja na Prošćanskom jezeru, te analizu i obradu podataka dobivenih tim mjerenjima. Kao krajnji rezultat dobiven je digitalni trodimenzionalni model dna jezera. Kao takav, model dna jezera služi kao osnova za daljnja mjerenja i opažanja taloženja sedre. Saznanjem o debljini sedre moguće je praćenje ciklusa osedranja jezera.

Prilikom geodetske izmjere Prošćanskog jezera izvedena su snimanja dna jezera uz korištenje ultrazvučnih dubinomjera čiji se senzori pozicioniraju pomoću satelitskih sustava. To nam omogućuje visoku točnost mjerenja te visoku razinu znanstvenih istraživanja.

2. HIDROGRAFIJA

Hidrografija je znanost o prirodnim obilježjima voda i rubnog kopna uz njih. U općenitom smislu hidrografija se odnosi na mjerenje i opis bilo kojih voda (mora, rijeka, jezera).

2.1. *Povijest hidrografije*

Podrijetlo hidrografije leži u izradi karata kao crteža i zabilješki koje su radili pojedini mornari. One su uglavnom bile u privatnom vlasništvu pojedinaca, koji su ih zbog različitih tajni koje su sadržavale koristili u trgovinske i vojne svrhe. Mnoge organizacije, naročito mornarice su shvatile da sakupljanje tih pojedinačnih znanja i distribucija među svojim članovima daje određene prednosti organizaciji. Nastale su hidrografske organizacije posvećene posebno za sakupljanje, organizaciju, izdavanje i distribuciju hidrografije sadržane u kartama i smjerovima plovidbe.

Zanimljiv doprinos hidrografiji dao je James Whistler. Svojim umjetničkim talentom izradio je prekrasne crteže obale koji su se pojavljivali na kartama tijekom njegova kartografskog rada. Ti su se crteži na ranim kartama oblikovali urezivanjem metala pomoću kiseline kako bi pomagali mornarima u identificiranju obala i luka kojima su se približavali.

2.2. **Podjela hidrografije**

Hidrografija se može podijeliti na oceanografiju i limnologiju. Oceanografija je znanost o zemljinim oceanima i njihovih međusobno povezanih ekosustava te kemijskih i fizičkih procesa. Limnologija je grana hidrografije koja se bavi istraživanjem jezera, fizikalnim i kemijskom svojstvima jezerske vode i biologijom jezera. Hidrografija se također može podijeliti na:

1. Priobalna hidrografija
 - prikuplja, obrađuje i daje na korištenje sve podatke vezane uz pliće vode u svrhu što sigurnije plovidbe.
2. Obalna hidrografija
 - osigurava hidrografske podatke u području kontinentalnih podvodnih grebena (na dubinama 200-300 m).
 - osigurava hidrografske podatke za polaganje podmorskih kablova, podmorske ispusne kanalizacije, eksploataciju minerala i goriva te podatke vezane za ribolov.
3. Oceanska hidrografija
 - Prikuplja podatke za oceanografska istraživanja.

2.3. Hidrogravska mjerenja

Hidrografska mjerenja uključuju informacije o: plimi i oseci, morskim strujama i valovima. Također uključuje i mjerenjeorskog dna, ali sa posebnom važnošću na morska geološka obilježja kao što su stijene, pličine, grebeni itd. koji predstavljaju rizik za plovidbu.

Svrha hidrografskog premjera je izrada navigacijskih karata u cilju sigurnosti plovidbe, izrada podloga za projektiranje u pomorstvu, kao što su izgradnja luka, pristaništa, brodogradilišnih navoza i dokova, izgradnje podvodnih vodova, geofizičkih i drugih istraživanja na moru.

Podvodno prikupljanje podataka kao dio hidrografske izmjere osigurava podatke o morskom dnu. Svrha je zorno prikazati reljef morskog dna uključujući sve prirodne i umjetno stvorene objekte.

Primarni zadatak hidrografije je izmjera dubine točaka ispod površine mora gustoćom koja se određuje s obzirom na pokrivenost područja. Dubine tih točaka definirane su tro-dimenzionalnim koordinatama, X, Y i Z. X i Y koordinate predstavljaju položaj mjerenja, dok vertikalna dimenzija Z predstavlja dubinu.

Kao što je slučaj sa visinama na zemlji, tako su i vrijednosti dubina beznačajne ukoliko se ne odnose na nivo referentnog datuma. Površina mora, od koje se mjere dubine, ne može poslužiti kao referentni nivo zbog fluktuacija izazvanih mjesečevim mijenama. Mora se, dakle, odabrati proizvoljan datum i svaka izmjerena dubina mora biti reducirana za visinu plime iznad odabranog nivoa u trenutku i mjestu mjerenja.

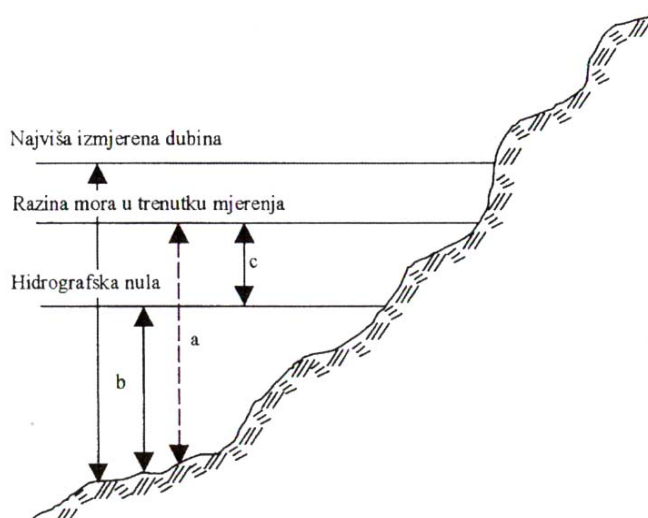
Tehnike mjerenja dubina osiguravaju adekvatan prikaz prirodnog reljefa morskog dna, ali izolirani objekti kao što su vrhovi olupina mogu promaći detekciji, pa u tom slučaju specijalne tehnike pomažu pri rješavanju problema. Poznavajući cilj izmjere, instrumentarij, osoblje i raspoloživo vrijeme, promišljeno se planira prekrivenost područja na najekonomičniji mogući način.

Jednom prikupljeni, podaci se obrađuju i prezentiraju na način najprikladniji klijentovim zahtjevima. Uobičajen način prezentacije je karta sa iscrtanim dubinama, ali kako je često reljef morskog dna samo dio cjelokupnog zahtjeva, to se profili određenih sekcija morskog dna nadopunjuju snimkama bitnih primjeraka, geofizičkim informacijama ili pak izmjerenim vrijednostima.

U svrhu izrade pomorskih karata hidrografska izmjera, osim mjerenja dubina, podrazumijeva dodatne radnje kao što je: određivanje materijala morskog dna; određivanje položaja svjetionika, plutača, bova, pozicioniranje topografskih detalja i vidljivih objekata na obali koji mogu koristiti pomorcima; određivanje najviše i najniže vodene razine, itd.

3. MJERENJE DUBINA

Mjerenjem dubina određuje se vertikalna udaljenost između trenutne razine mora i morskog dna. Međutim ukoliko se mjerenje izvede na istom mjestu u različitim vremenima uočit će se promjene u njenim vrijednostima. Razlog tome je promjena razine mora zbog plime i oseke. Radi toga je potrebno izvršiti korekciju mjerenih vrijednosti. (Slika 1).



Slika1. Redukcija mjerene dubine

a = izmjerena dubina u trenutku mjerenja

b = hidrografska dubina

c = korekcija dubine za trenutak mjerenja

$c = a - b$

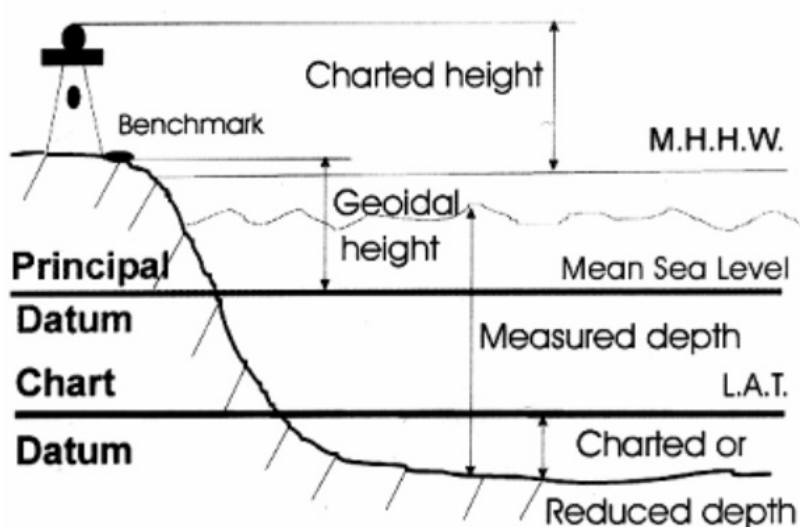
Ovdje je riječ o pojednostavljenom slučaju, jer ako uzmemo u obzir i gibanje plovila u trenutku mjerenja dubine tada imamo i čitav niz dodatnih korekcija, čemu treba pridodati i korekciju zbog instrumentalnih pogrešaka.

3.1. Vertikalni datum

Svaka izmjerena dubina mora se odnositi na nivo određenog datuma. Takav datum može biti bilo koja razina proizvoljno definirana u odnosu na permanentne oznake na obali kao što su npr. reperi, prag doka, temelj mosta, ili se jednostavno može koristiti datum koji je osnova za niveliranje na zemlji. Međutim, u većini slučajeva, pogotovo kada je uključen i prijevoz vodenim putem, određivanje datuma za mjerenje dubina ovisi o režimu plime i oseke.

Vertikalni datum je definiran na temelju analiza dugih perioda kontinuiranog promatranja razine mora. Datum za visine i razine Zemlje naziva se Osnovni datum (Principal Datum ili Ordinance Datum).

U mnogim zemljama se koriste geoidne ili ortometrijske visine koje se odnose na geoid kao referentnu plohu. Geoid je najbliže aproksimiran globalnom srednjom razinom mora. Srednja razina mora je prosječna razina mora kroz period promatranja od najmanje 18.6 godina, a koji je potreban za eliminiranje osnovnog periodičnog utjecaja Mjeseca na varijacije mijena. Drugim riječima, srednja razina mora je prosječna razina mora koja bi postojala i u odsustvu mijena. Datum može biti arbitrarno definiran korištenjem prosječne srednje razine mora, dobivene kroz određeni period promatranja, kao nul-oznaka ili u određenoj relaciji prema prosječnoj vrijednosti (Slika 2).



Slika 2. Vertikalni datumi

Za hidrografsku izmjeru i nautičke karte kao vertikalni datum se koristi hidrografska nula (Chart Datum-CD). Hidrografski nivo ili hidrografska nula je linija srednjeg nivoa nižih niskih voda za vrijeme živih morskih mijena. U većini zemalja uzeta je razina najniže astronomske mijene kao hidrografska nula. Najniža astronomska mijena je najniža razina za koju se može prognozirati da će se pojaviti pod utjecajem bilo koje kombinacije astronomskih i prosječnih meteoroloških uvjeta. Dubine koje se odnose na najniži astronomski mijenski datum na nautičkim kartama tada prikazuju minimalnu dubinu dostupnih voda. Ako je dubinska vrijednost na karti približno 5 m, tada će dubina vode biti najmanje 5 m, kao što će trenutna razina mora biti uvijek iznad najniže astronomske mijene pri normalnim vremenskim uvjetima. Ovo je vrlo bitno za sigurnost navigacije jer su stvarne dubine vode, dostupne za navigaciju, uvijek veće od onih prikazanih na nautičkim kartama.

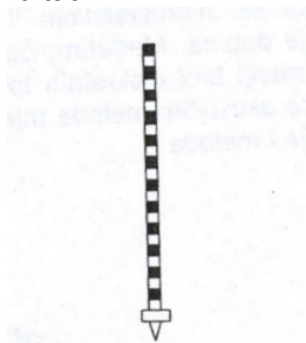
Izmjerene dubine se odnose na trenutnu razinu mora i moraju biti reducirane na dobivene hidrografske dubine (dubine koje se odnose na hidrografsku nulu nazivaju se reduciranim ili hidrografskim dubinama). Nautička karta prikazuje dubine ispod hidrografske nule i visine iznad srednje visoke visine vode. Srednje visoka visina vode je definirana kao srednja razina viših ili dvodnevno visokih voda kroz duži period vremena.

Ako su osnovni datum i hidrografska nula definirani na prethodni način tada je odnos između dva datuma vrlo jednostavan. Naravno, hidrografska nula je ispod osnovnog datuma za konstantni faktor. Hidrografska se nula na području promatranja mijena može uspostaviti niveliranjem od repera osnovnog datuma. Hidrografska nula se određuje iz podataka mareografa na području mjerenja. Iz niza podataka nižih niskih vodostaja određuje se srednja razina koja predstavlja hidrografsku nulu.

Hidrografska nula određuje se iz podataka osmatranja mareografa. Stalni mareografi nalaze se na određenim lokalitetima na našoj jadranskoj obali, redovito u lukama većih gradova. Za određivanje hidrografske nule prilikom premjera instaliraju se prijenosni mareografi odnosno vodomjerne letve, koje se postavljaju po mogućnosti na mjestu zaštićenom od valova. Očitavanje na letvama obavljaju obučene osobe, a očitane veličine se zapisuju u odgovarajući zapisnik.

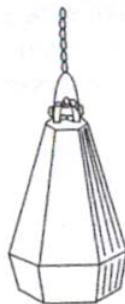
3.2. Klasične metode mjerenja dubina

Mjerenje dubina klasičnim metodama izvodi se: hidrografskom ili sondnom motkom, ručnim dubinomjerom te strojem za mjerenje dubina. Hidrografska ili sondna motka je okruglasta drvena motka duljine 5 m, debljine 4 – 6 cm (Slika 3). Letva je podijeljena na decimetre koji su naizmjenično obojeni bijelo i crveno, dok je svaki metar označen crvenom brojkom. Na kraju koji ulazi u vodu motka završava tanjurastim željeznim naglavkom, koji omogućava da motka zauzme vertikalni položaj, a ujedno brani da ne ulazi u dno. Ovom se motkom mogu mjeriti dubine do 5 metara. Ukoliko su povoljni uvjeti pri mjerenju, mala brzina vode i bez vjetrova mogu se postići dobri rezultati.



Slika 3. Sondna motka

Ručni dubinomjer je visak od 3 do 10 kg obješen na konopac (Slika 4). Koristi se za mjerenje dubina između 5 i 10 m pri brzini strujanja vode ne većoj od 1 m/sec. Podjela na konopcu je decimetarska. Decimetri su označeni uskom kožnatom trakom, a metri posebnim oznakama. Treba voditi računa da u trenutku mjerenja konopac bude ravno ispod čamca. S obzirom na to da je ručni dubinomjer praktično potpuno istisnut od ultrazvučnih dubinomjera, njegova je primjena najčešće svedena na postupak kalibracije ultrazvučnih dubinomjera i mjerenje malih broja dubina u plićacima.



Slika 4. Utteg ručnog dubinomjera

3.3. Akustičke metode mjerenja dubina

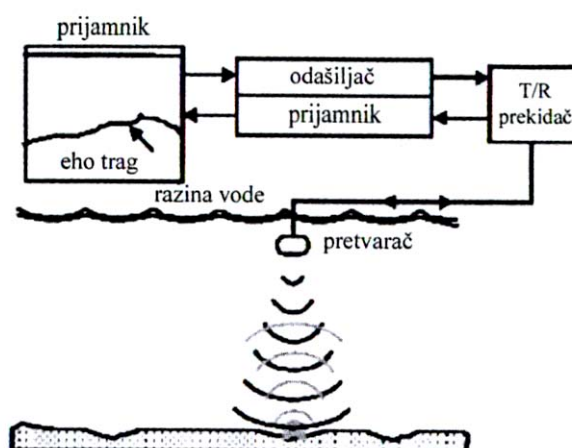
3.3.1. Ultrazvučni dubinomjer

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 Δt :

$$\text{Dubina} = c \cdot \frac{\Delta t}{2}$$

gdje je c brzina zvuka u vodi, koja približno iznosi 1500 m/s.

Dubinomjer koji mjeri impulse dvostrukog puta kroz vodu sastoji se od slijedećih komponenti (Slika 5):



Slika 5. Princip rada ultrazvučnog dubinomjera

- 1) Odašiljač (transmitter), pulsni generator koji generira (stvara) impulse. Opremljen je s kvarcnim satom koji oscilira u granicama od 1-10 MHz. Kvarcni

sat se također koristi za mjerenje intervala između odašlanog i primljenog zvučnog signala. Moderni dubinomjeri obično nude izbor od dvije odašiljajuće frekvencije:

- Niska frekvencija – koristi se za mjerenja u dubokim vodama jer nije veliko slabljenje signala na velike udaljenosti, ali zahtjeva velike pretvarače.
- Visoka frekvencija – pretvarači su manji, ali domet je ograničen zbog većeg slabljenja signala.

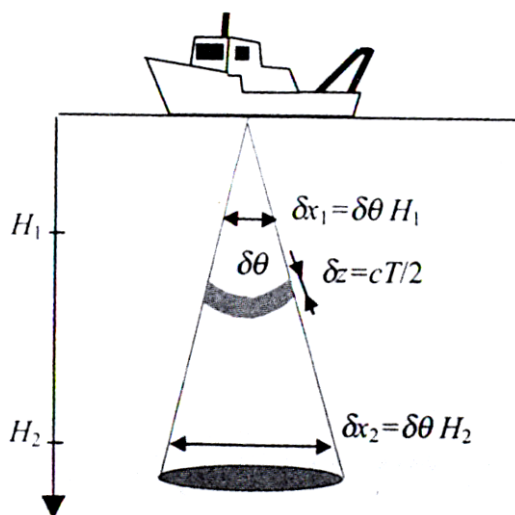
- 2) T/R-prekidač, prenosi energiju odašiljaču.
- 3) Pretvarač (transducer), postavljen na trupu broda i u kontaktu je s vodom. Pretvara električnu u zvučnu energiju, šalje zvučne signale u vodu, prima reflektirani signal (echo) i pretvara ga u električni signal.
- 4) Prijamnik (reciever), pojačava reflektirani signal i šalje ga sustavu za snimanje.
- 5) Kontrolna stanica (recorder), kontrolira odašiljanje signala, mjeri vrijeme putovanja zvučnog signala, snima podatke i pretvara vremenske intervale u udaljenosti.

3.3.2. Rezolucija dubinomjera

Mjerna rezolucija dubinomjera je njegova mogućnost odvojenog raspoznavanja dvaju bliskih zasebnih meta (objekata na dnu). Postoji vertikalna i horizontalna rezolucija. U vertikalnom smjeru ona je direktno određena trajanjem emitirajućeg pulsa. Vertikalna rezolucija dana je slijedećom formulom:

$$\delta z = cT/2$$

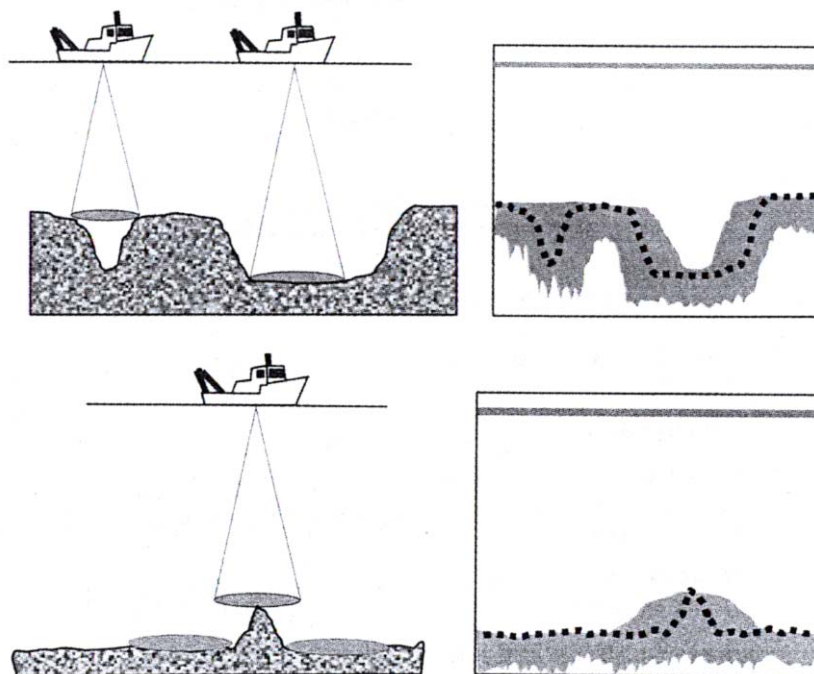
i obično iznosi između 0.075m (za $T=0.1\text{ms}$) i 0.075m (za $T=1\text{ms}$), (Slika 6).



Slika 6. Vertikalna i horizontalna rezolucija jednosnopnih sondera

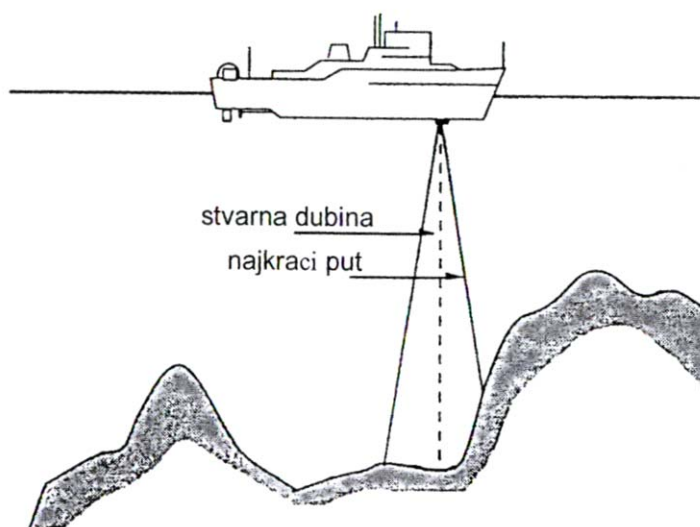
Horizontalna rezolucija povezana je sa kutnom širinom snopa. Ona degradira točnost mjerenja jednosnopnih dubinomjera. Na slijedećoj slici prikazane su osnovne mane u mjerenju topografije dna jednosnopnim dubinomjerima, a

uzrokovane su horizontalnom rezolucijom. Lokalna depresija koja se nalazi na liniji snimanja neće biti detektirana ako je manja od traga koji ostavlja signal. S druge strane izbočenja u reljefu bit će lakše detektirana, ali njihova površina i oblik neće biti precizno određeni (Slika 7).



Slika 7. Geometrijske konfiguracije(ljevo) i ehogrami (desno) za detekciju morskog dna

Dubinomjer registrira signale koji su se najprije vratili natrag na pretvarač, tj. onaj odbijeni signal koji je prešao najkraću udaljenost. To ne mora biti točka vertikalno ispod odašiljača. Koliko će ova pojava uzrokovati problema pri snimanju ovisi o : širini snopa, dubini vode, te o kutu nagiba dna (slika 8).



Slika 8. Izmjerena dubina ovisi o širini snopa i kutu nagiba dna

Dubinomjere možemo podijeliti prema različitim kriterijima:

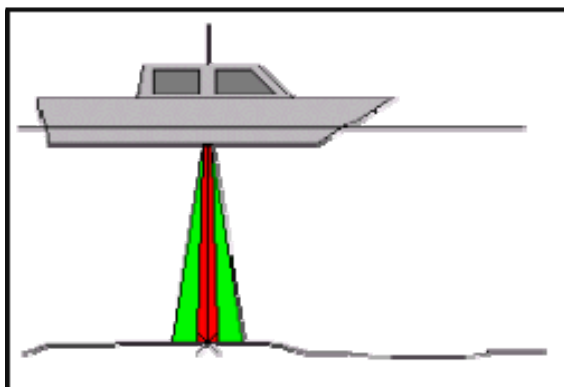
- Prema broju frekvencija – na jednofrekventne i dvofrekventne
- Prema broju kanala – jednokanalne i dvokanalne. Dvokanalni mogu odašiljati istovremeno dvije frekvencije (jako visoka cijena)
- Prema broju snopova – jednosnopni i višesnopni
- Prema obliku snopa – širokopojasni i uskosnopni

3.3.3. Jednosnopni dubinomjer

Širina snopa jednosnopnog dubinomjera (single beam echosounder, SBES) je najčešće 30° (Slika 9). Međutim do sredine 80-tih godina prošlog stoljeća također su se koristili i uskosnopni dubinomjeri sa širinom snopa od $\leq 5^\circ$. Uskosnopni dubinomjer se koristi za:

- Mjerenje dubina izravno ispod broda, izbjegavajući tako pogreške širokog snopa uzrokovane nagnutim dnom. Ta se mjerenja koriste za sigurnost navigacije i za kartiranje morskog dna.
- Povećavanje kvaliteta podataka u rezoluciji i točnosti

Za izvedbu uskog snopa, potrebni su nam veći odašiljači nego za široki snop. Uskosnopni dubinomjeri ne daju informacije o topografiji koja se nalazi sa strane broda, već samo o topografiji direktno ispod broda. Stoga se ponekad koriste u integraciji sa širokosnopnim sustavima kao dodatni izvor podataka.



Slika 9. Širina snopa kod jednosnopnog dubinomjera

3.3.4. Ultrazvučni dubinomjer ATLAS DESO 14

Dizajniran je za precizna mjerenja dubina vode gdje je prostor ograničen, za kontrolu sedimentiranja u lukama ili kanalima, te za određivanje dubina i mjerenje visina valova (Slika 10).



Slika 10. ATLAS DESO 14

ATLAS DESO 14 je prijenosni jednokanalni ultrazvučni dubinomjer koji je kompatibilan sa većinom komercijalnih transducera i može se konfigurirati za rad na visokim frekvencijama (190-225kHz) i niskim frekvencijama (28-35kHz). Razvijen je za mjerenja dubina vode do minimalno 50cm (20 cm s odvojenim transducerima sa odašiljanje i primanje) do maksimalno 640m što ovisi o odabranoj frekvenciji i vrsti transducera.

Ima vrlo široki spektar aplikacija, a neke od njih bi bile: vađenje mulja, sedimentacijske studije, hidrološka istraživanja okoliša, traženje objekata i inženjerski radovi na vodi.

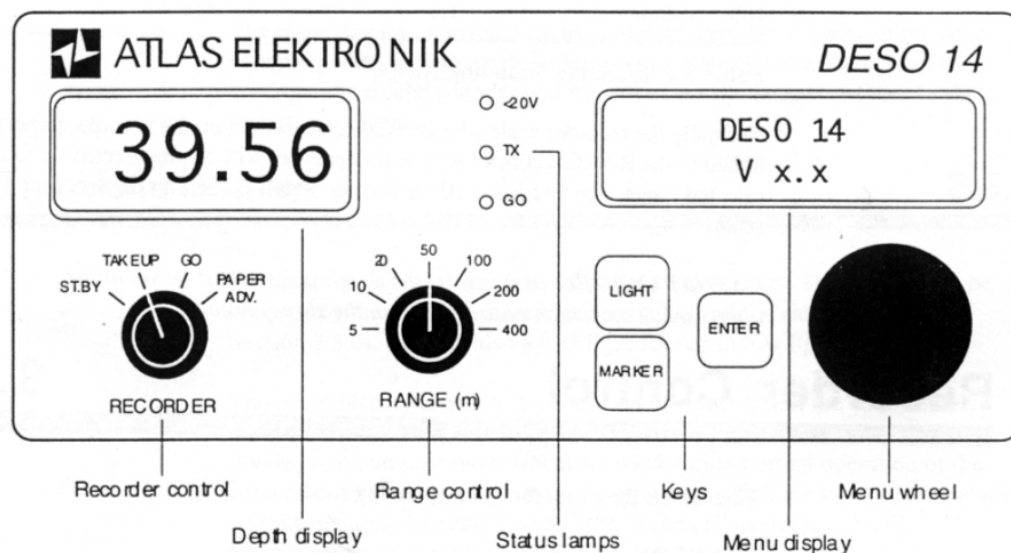
Napredna tehnologija ovog dubinomjera omogućuje potpunu daljinsku kontrolu i postavljanje svih unutarnjih parametara od kojih su neki npr. napon transmitera, repeticijska frekvencija pulsa, radna frekvencija, offset transducera, brzina zvuka, osjetljivost recievera.

Prilikom samih mjerenja moguće je podešavati valnu duljinu kao i jačinu odaslanog signala, što ovisi o prirodi dna, njegovom izgledu i različitim slojevima materijala, te raznim objektima koji se nalaze na dnu. Jačina odaslanog signala važna je zbog jačine prijema njegove jeke (echo), no u većini slučajeva ATLAS DESO 14 se može namjestiti na automatski mod rada gdje se jačina odaslanog signala određuje na osnovu zadnje primljene jeke, što daje optimalnu jačinu tijekom cijelog vremena rada.

Povratna jeka filtrira se na jedan od dva moguća načina. Prvi način filtrira povratne jeke na bazi širine povratne jeke. Ako je širina signala manja od minimalne prihvatljive mjerenje se odbacuje. Taj filter ima dvije mogućnosti rada tzv. "normal mode" kada se izbacuju mjerenja kod kojih je povratna jeka manja od $400\mu\text{s}$ (30 kHz) odnosno $100\mu\text{s}$ (200 kHz) i "decreased mode" kada se izbacuju mjerenja kod kojih je povratna jeka manja $150\mu\text{s}$ (30 kHz) odnosno $40\mu\text{s}$ (200 kHz). Drugi filter poznat kao "initial lockout" izbacuje mjerenja koja su očito previše blizu transducera da bi bila stvarno dno, kao npr. jeke reflektirane od trupa broda, a može se također koristiti kako bi ultrazvučni dubinomjer prikazivao čvrsto dno koje je prekriveno slojem tekućeg mulja ili morskim travama. Ispravne povratne jeke

služe za računanje dubine bazirano na brzini zvuka i zatim korigirane za dubinu transducera ispod vodene površine, naravno uz uvjet da su korekcija za brzinu zvuka, kao i dubina transducera prethodno zadani.

Rad sa ultrazvučnim dubinomjerom ATLAS DESO 14 prilično je jednostavan. Nakon što je uključen odmah počinje odašiljati signale i mjeriti dubinu koja se prikazuje na displeju sa lijeve strane (Slika 11).



Slika 11. Upravljačka ploča ultrazvučnog dubinomjera ATLAS DESO 14

Range control – Služi za namještanje približne dubine (u metrima) koje dubinomjer mjeri. Time se određuje broj odašlanih signala u sekundi što omogućuje optimalnu kvalitetu mjerenja. Maksimalno područje rada dubinomjera je 1.5 puta od onog podešenog na "Range control".

Recorder control – služi za upravljanje uređajem za ispis mjerenih dubina na papirnu traku.

Status lamps – tri kontrolne lampice koje označavaju:

- < 20 V – upozorenje da pada napon (ultrazvučni dubinomjer još uvijek radi, ali treba provjeriti izvor napajanja)
- TX – dok svijetli dubinomjer odašilje signale
- GO – svijetli ako je uključena opcija ispisa na papirnu traku
-

Menu display – sastoji se od dvije linije sa 16 znakova. Postoji ukupno 30 različitih menija podijeljenih u dva seta "standard menus" koji se koriste tijekom samog rada ultrazvučnog dubinomjera i "technical menus" koji služe za instaliranje i održavanje ultrazvučnog dubinomjera.

Menu wheel – služi za odabir traženog menija. Okrećući kotačić u smjeru kazaljke na satu pregledavamo menije prema dolje, i obratno. Pritiskom na tipku ENTER odbiremo traženi meni i podešavamo parametre okrećući kotačić. Kod numeričkih parametara okretanjem u smjeru kazaljke na satu povećavamo vrijednost, a obratno je smanjujemo.

Jednom podešeni parametri mogu biti pohranjeni na jednu od tri memorijske lokacije i ponovno pozvani kada nam zatrebaju. Također postoji i opcija *autosave*

koja automatski sprema postavljene parametre, ako nema nikakvih promjena unutar jedne minute.

Zvučni modul baziran na naprednoj digitalnoj i mikroprocesorskoj tehnologiji je srce samog ATLAS DESO 14 uređaja. U ovome modulu generiraju se zvučni signali, odašilju u vodu, primaju i obrađuju.

Kompaktna veličina i mala težina dozvoljavaju upotrebu ovog dubinomjera na vrlo malim čamcima, plovilima na daljinsko upravljanje i u potpuno integriranim sustavima na specijaliziranim plovilima.

Tehničke karakteristike dubinomjera ATLAS DESO 14:

- broj kanala: jedan
- radne frekvencije: dvije (33 kHz ili 210 kHz)
- raspon mjerenih dubina: od 0.5 do 650 m
- zaslon: četveroznamenasti LCD ekran, 2×16 znamenaka, radni menu
- snaga odašiljanja: 300W, 600W ili 1000W
- duljina impulsa: 0.04 - 0.01 ms za 210 kHz i 0.15 - 0.4 ms za 33 kHz
- otpor: 100 Ohm
- rezolucija: 1 cm
- preciznost mjerenja: 7 cm na 33 kHz i 1 cm na 210 kHz
- postavke brzine zvuka: 1400 - 1600 m/s rezolucija je 1 m/s
- draft kompenzacija transducera: 0 - 99.99m
- heave kompenzacija: moguća je digitalna kompenzacija pomoću kompenzatora TSS 320 B, TSS 330
- rata snimanja: 1-17 snimaka/s
- tip snimača: termalni printer sa 832 piksela na 10 cm, snima u sivoj boji
- širina/duljina papira: 11.2 cm × 34 m
- širina snimka: 10 cm
- kontrola: sve postavke se mogu daljinski kontrolirati putem računala
- izlazni podaci: format im je kompatibilan sa DESO 15 i DESO 25
- veza s računalom: RS-232C ili RS-422 (koriste isti ulaz)
- napon: od 18 V do 32 V
- potrošnja energije: max. 50W, 20W bez snimanja na papir
- radna temperatura: od 0°C do +50°C
- vlažnost: 5-90% relativna vlažnost, nema kondenzacije
- dimenzije: 340 × 245 × 215 mm
- težina: približno 10 kg

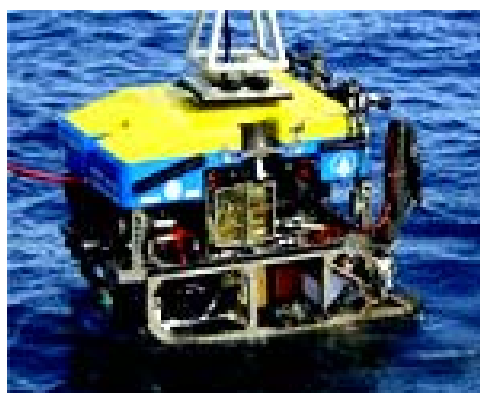
3.3.5. Višesnopni dubinomjeri

Višesnopni dubinomjer (Multibeam echosounder, MBES) se koristi da bi se dobila bolja pokrivenost dna, a samim tim i povećanje produktivnosti. Točnost mjerenja je ista kao kod jednosnopnog dubinomjera i smanjuje se sa povećanjem kuta upada zrake. Višesnopni dubinomjeri se dijele u dvije skupine: swath i sweep sustavi.

1) Swath sustav

Swath sustav proizvodi višestruke zvučne snopove iz jednog sustava odašiljača. Razvoj swath sustava počeo je 70-ih godina prošlog stoljeća. Ti sustavi omogućuju brzu i točnu batimetrijsku izmjeru, a mogu se koristiti i za razne znanstvene svrhe. Početkom 90-tih počeo se swath višesnopni dubinomjer intenzivno koristiti za izmjeru plitkih voda, kao što su luke i kanali, gdje je potrebna 100%-tna izmjera područja.

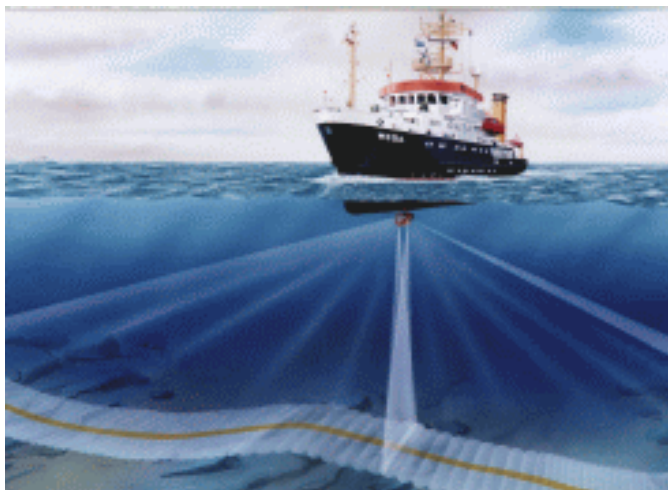
Swath višesnopni dubinomjeri se mogu koristiti na površinskim plovilima, gdje se postavljaju na kobilicu ili sa strane plovila, ili na podvodna vozila kao što su vozila na daljinsko upravljanje (remotely operated vehicle, ROV (Slika 12)).



Slika 12. Podvodno vozilo na daljinsko upravljanje (ROV)

Swath sustavi odašilju zvučni impuls u širokoj lepezi u jednom smjeru (ispred, iza ili s boka broda). To rezultira širokim snimkom u tom smjeru. Povratni signal prima odašiljač koji dijeli takav široki snimak u više manjih snimaka. Širina tih snimaka u pravilu je od jednog do nekoliko stupnjeva, ovisno o sustavu. Na taj se način dobiva veliki broj mjerenih dubina za svaki odaslani impuls (Slika 13).

Glavna prednosti nad korištenjem jednosnopnih dubinomjera je ta da se može ostvariti 100%-tna pokrivenost dna uz relativno malu cijenu. To je važno kod izmjere luka i kanala. Prednost swath sustava nad ssweep sustavom je u tome što je on mnogo kompaktniji i ostvaruje dobru pokrivenost snimaka u plitkim vodama.



Slika 13. Snimak višesnopnog dubinomjera

Za svaki primjeni snop postoji dvostruko vrijeme putovanja Δt mjerene kose udaljenosti i mjereni swath kut.

Višesnopni dubinomjeri se mogu postaviti na plovilo trajno ili privremene. Tako na primjer, dubokomorski odašiljači su veliki do 5 metara i postavljaju se trajno. Brod mora biti dovoljno velik da podrži tako velike odašiljače. Plitkovodni sustavi su puno manji (nekoliko decimetara) i ne moraju biti trajno pričvršćeni za brod. Kad je oprema jednom kalibrirana, može se prebacivati s jednog plovila na drugi bez potrebe za ponovnom kalibracijom.

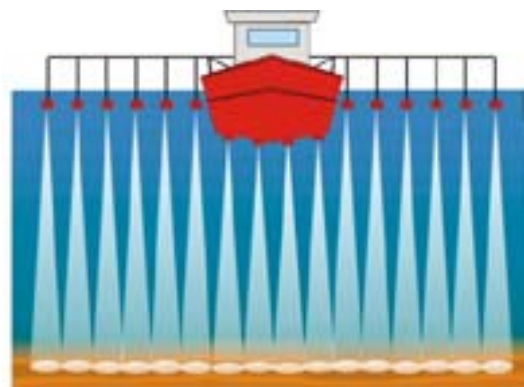
Snimak višesnopnog dubinomjera varira ovisno o swath kutu. Veličina snimka raste s povećanjem dubine. Pogreška snimka izmjerena dubine s velikim swath kutom je veća nego kod malog kuta zbog efekta zakretanja broda i refrakcije zvučnih valova. Da bi ograničili veličinu snimka i pogreške mjerenja dubina mnogi sustavi automatski reduciraju swath kut s povećanjem dubine. Parametri gibanja broda: zakretanje, ljuljanje, propinjanje broda, kao i vertikalno gibanje broda kod mjerenja sa swath višesnopnim dubinomjerima moraju biti poznati u realnom vremenu. Postoji čitav niz pogrešaka koje se javljaju kod mjerenja višesnopnim dubinomjerom. Najvažnije su:

- Pogreške zbog gibanja broda.
- Pogreške mjernog sustava zbog elektronike sustava.
- Pogreška mjerenja dubina zbog širine snopa (isto kao i za jednosnopne dubinomjere).
- Pogreške kuta snopa (mnogo značajnija nego kod jednosnopnih dubinomjera).
- Pogreške širenja zvuka. Raste sa povećanjem swath kuta.
- Pogreške ljuljanja, propinjanja i zakretanja broda . Rastu sa povećanjem swath kuta.
- Pogreška smjera snopa uzrokovana pogreškom u brzini širenja zvuka na površini.
- Pogreška nehorizontalnosti odašiljača.
- Pogreška uslijed dinamičke promjene površine vode (jednako kao i za jednosnopne dubinomjere).

- Pogreške kod kalibracije sustava.
- Pogreške uslijed plime i oseke ili drugih efekta promjene razine vode.

2) Sweep sustav

Višesnopni sweep sustav sastoji se od reda blisko smještenih jednosnopnih dubinomjera, postavljenih na oplatu okomito na plovilo (Slika 14). Ti se sustavi najčešće upotrebljavaju u plitkim vodama uskih vodenih područja (luke, kanali, itd.) za 100%-tnu pokrivenost snimka dna. Potpuno prekrivanja područja ovisi o međusobnom razmaku odašiljača i dubini vode. Ovi sustavi su veoma točni i u potpunosti zadovoljavaju IHO specijalne odredbe i to posebice prvu odredbu izmjere gdje se zahtjeva 100%-tno prekrivanje, te visoka točnost i rezolucija. Praktična izvedba na terenu je veoma kompleksna zbog izvedbe oplate plovila, pa je zbog toga korištenje ovog sustava uglavnom ograničeno samo na izmjeru u lukama i uskim kanalima.



Slika 14. Vertikalni sweep sustav

3.3.6. Bočni side scan sonar

Bočni sonar služi nam za snimanje topografije morskog dna. Koristi odašiljač postavljen ukoso u odnosu na glavnu os broda. Prvenstveno se koriste za interpretaciju između mjernih linija koje su prethodno opažene jednosnopnim dubinomjerom. Jednostruki bočni sonar koristi odašiljač postavljen s jedne strane trupa broda, dok dvostruki sonar koristi dva odašiljača koji su postavljeni na cilindrično tijelo zaobljenog nosa koje se vuče plovilom (poznato kao riba), (Slika 15).



Slika 15. Side scan sonar

Dvostruki bočni sonar ima dva odašiljača smještena postrance u ribi koji su obično postavljeni 10° ispod horizonta radi što bolje horizontalne pokrivenosti i za bolje otkrivanja prepreka na dnu.

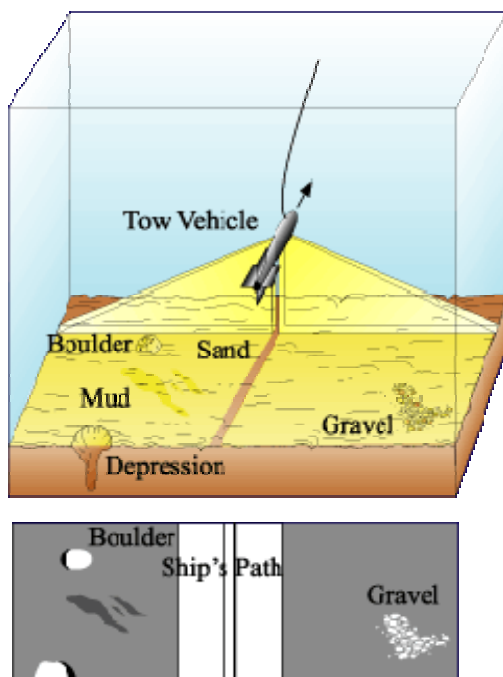
Snop zraka je pravokutnog oblika, širina snopa je 30° u vertikalnoj ravnini i 1° do 2° u horizontalnoj ravnini. Bočni sonari mogu prekrivati velika područja i pri tome otkrivati nepravilnosti u topografiji dna. Širina pokrivenog područja morskog dna bočnim sonarom ovisi o:

- Širini snopa u vertikalnoj ravnini.
- Nagibu osi snopa u odnosu na horizontalnu ravninu.
- Visini odašiljača iznad morskog dna.
- Jačini zvučnog odašiljača, frekvenciji i odjeku

Na točnost mjerene dubine bočnim sonarom utječe ista pogreška kao i kog jednosnopsnog dubinomjera. No, glavni izvori pogrešaka dolaze uslijed propinjanja. lžuljanja i vertikalnog gibanja broda.

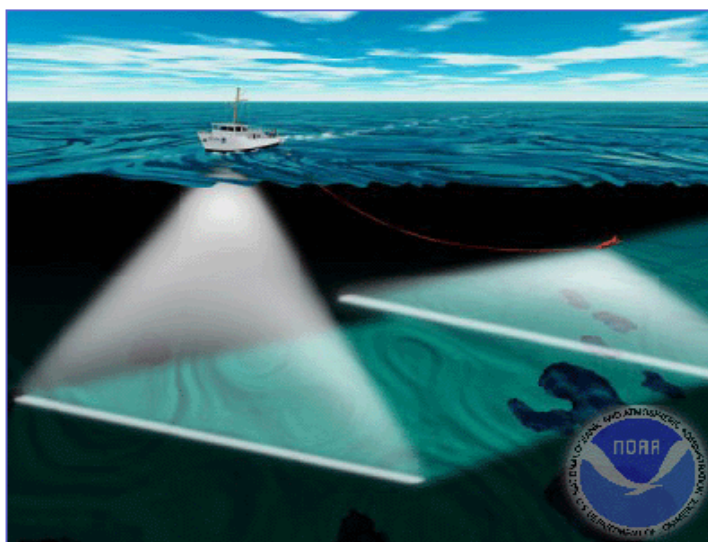
Bočni sonari koji su postavljeni pod kosim kutom koriste se za pretraživanje morskog dna u opasnim plitkim vodama. To se izvodi tako da plovilo koje vuče bočni sonar ostaje u sigurnoj vodi (veće dubine) dok izvodi snimanje pod kosim kutom površine morskog dna u plićaku.

Za razliku od echo-soundera čija mjerenja služe samo za određivanje dubine ispod broda, iz mjerenja side scan sonara praktički možemo dobiti sliku širokog područja dna s obje strane putanje plovila. Osim prikaza dna dobijemo i dubine (batimetrijski profil) ispod broda iako manje točnosti nego kod echo-soundera. Karakteristike dna možemo podijeliti na topografske i one koje se tiču fizikalnih svojstava (mulj, pijesak, stijena). Koeficijent refleksije zvuka bitno se mijenja promjenom fizikalnih svojstava dna tako da intenzitet eha varira i zato možemo iz mjerenja odrediti radi li se o pješčanom, stjenovitom ili kakvom drugom tlu (Slika 16). Meko sedimentno dno (pjesak, mulj) poslat će natrag malo energije zbog malog impedancijskog kontrasta dna u odnosu na vodu i zbog njegove relativne glatke površine. Stjenovito i šljunkovito dno će imati obrnut efekt, s jakim impedancijskim kontrastom i velikom hrapavošću.



Slika 16. Karakteristike dna dobivena nakon snimanja side scan sonar-om

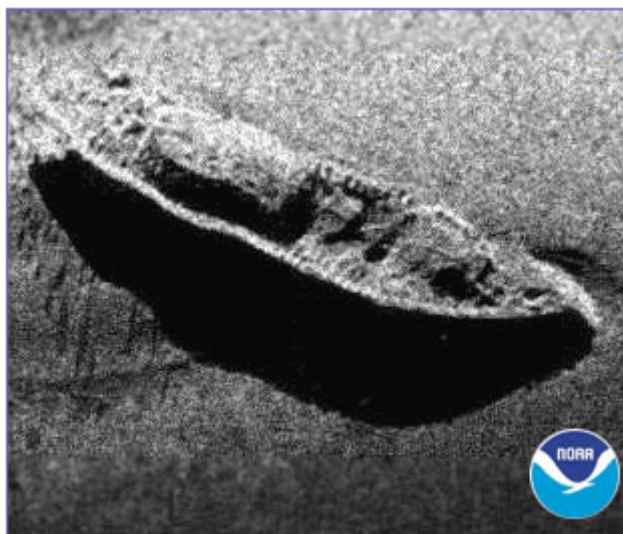
Cijeli sistem sastoji se od ribe (fish) - valjkasto tijelo koje sadrži transducere i vučeno je brodom, zatim vučni kabel, kojim se uspostavlja veza sa brodom, i par kutija za snimanje koje sadrže elektro-osjetljivi papir ili magnetske vrpce za snimanje (Slika 17). Side scan sonar koristi gotovo isto sklopovlje i radi kao konvencionalni dubinski zvučni sonari. Impulsi se odašilju koristeći odašiljač (ili niz odašiljača) i instrument za detekciju zvuka primljenih impulsa sa morskog dna koji se prenose prijamnom sustavu. Razlika između side scan sonara i dubinsko zvučnog sonara je način na koji obrađuje povratne zvučne signale



Slika 17. Princip rada side scan sonar-a

Ako se na dnu nalazi neki objekt on će više reflektirati akustičnu energiju nego okolno homogeno dno. Zbog toga je energija povratnog signala viša nego ona od

okružujućeg dna. To prouzrokuje mali skok u amplitudi koji mjeri prijamnik u vrijeme vraćanja signala. Na osnovu tog skoka u amplitudi može se razabrati da se na dnu nalazi nekakav objekt (Slika 18).



Slika 18. Slika olupine na morskom dnu dobivena side scan sonar-om

Bočni sonari su obično manjih masa, laki za transport i dizajnirani za snimanje plićih voda s tipičnim dosegom od nekoliko stotina metara. Mala dimenzija, jednostavnost korištenja i kvaliteta njihovih podataka čine ih vrlo poželjnim i rasprostranjenim u mnogim obalnim istraživanjima. Kod oslikavanja u dubokim vodama pojavljuju se neki specifični problemi i zahtijevaju preinake u izradi sonara. Korištenje visoke frekvencije blizu dana bočni sonari daju odlične rezultate, ali moraju biti napravljeni od materijala otpornih na velike dubine (zbog tlaka) i zahtijevaju električne kabele duge i do nekoliko kilometara.

3.4. Korekcija mjerenja dubinomjerima

Sve izmjerene dužine moraju se odnositi na zajednički unaprijed definirani datum. Da bi se dobile željene kartirane dubine, koje se odnose na definirani datum, potrebno je na sirova mjerenja pripremiti različite korekcije:

Prava dubina se dobije kao suma:

- opažanih, nekorigiranih dubina
- instrumentalnih korekcija
- korekcija za brzinu zvuka u vodi
- dinamičke korekcije hoda odašiljača, koji se sastoji od:
 - o statičkog hoda (dubina odašiljača kad vozilo miruje)
 - o razlike između stanja mirovanja vozila i stanja u vožnji
 - o promjena položaja u vožnji
 - o plimne korekcije

Brzina zvuka u vodi varira od 1460 m/s do 1560 m/s, ovisi najviše o temperaturi, slanosti i tlaku. Ako se računa brzina zvuka moraju biti poznati temperatura, slanost i tlak. Tada se brzina računa po formuli (Wilson):

$$C = 1449.2 + 4.623T - 0.0546T^2 + 1.391(S-35)$$

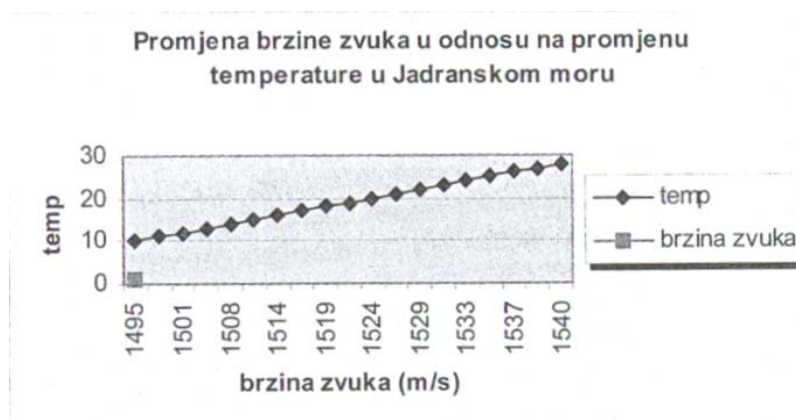
Gdje je:

c – brzina rasprostranjenosti ultrazvučnih valova u vodi [m/s]

T – temperatura vode [°C]

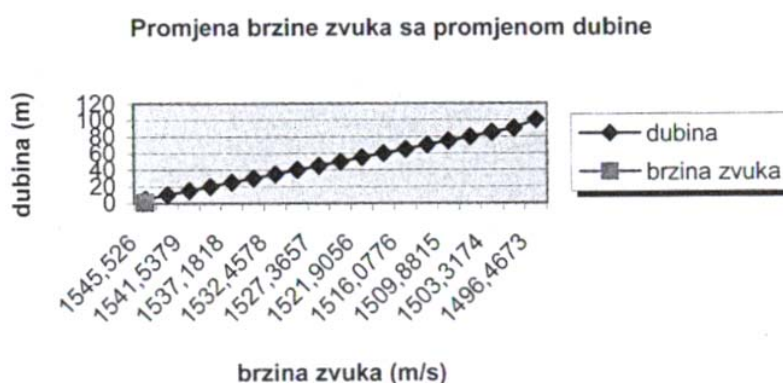
S – slanost [‰ - promili]

Porastom temperature povećava se i brzina zvuka. S porastom temperature za 1°C raste brzina zvuka za 3,46 m/s (do 20°C). Između 20°C i 25°C s porastom temperature za 1°C raste brzina zvuka za 2,16 m/s, a iznad 25°C brzina zvuka raste za 1,73 m/s (Slika 19). Na površini mora gdje je temperatura najveća i brzina zvuka je najveća, a promjene u brzini zvuka su najmanje.



Slika 19. Promjena brzine zvuka u odnosu na primjenu temperatura

S porastom dubine smanjuje se brzina zvuka i ona postaje najmanja na dubini na kojoj je temperatura stabilna. (Slika 20).

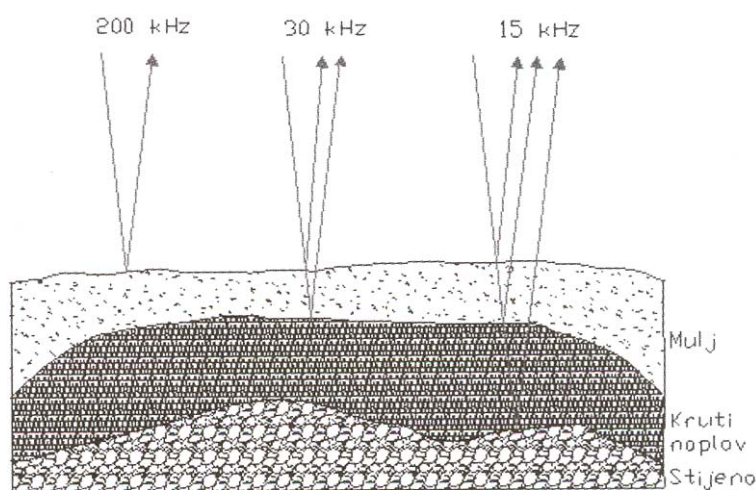


Slika 20. Promjena brzine zvuka s promjenom dubine

3.5. Dvofrekventna batimetrija

Glavna primjena dvofrekventne batimetrije je snimanje podvodnih naslaga i taloga. Princip je vrlo jednostavan: istovremeno se koriste dvije sonde s različitom frekvencijom. Sonda s višom frekvencijom generira signal koji se reflektira od prve prepreke na koju naiđe (i meki i tvrdi materijal), dok sonda sa niskom frekvencijom odašilje signal koji prolazi kroz mekše materijale (mulj, šljunak).

Kada je morsko dno sastavljeno od slojeva različitih materija koji se preklapaju jedni preko drugih, dubinomjer će pri niskim frekvencijama prepoznati različite slojeve, dok će pri visokim frekvencijama prepoznati samo najviši sloj. Niže frekvencije od 3 – 15 kHz prodiru duboko u slojeve dna i mogu odrediti granice svih slojeva do čvrste stijene. Takvi uređaji koji rade na najnižim frekvencijama često se nazivaju i sedimentni profileri, jer najčešće služe za dobivanje informacija o slojevima dna. Frekvencije od 15 – 30 kHz služe za određivanje granice između vode ili mulja i stijena. Frekvencije od 100 – 300 kHz reagiraju na malu promjenu gustoće tako da mogu odrediti granicu prijelaza vode u mulj (Slika 21). Moderni dvofrekventni uređaji koriste i visoke i niske frekvencije tako da mogu određivati različite gustoće slojeva, pa se koriste za istraživanje sastava morskog dna. Frekvencije od 1 – 15 kHz služe za mjerenje u oceanima do 15 km dubine, frekvencije od 15 – 50 kHz za dubine od 1 – 8 km, a frekvencije od 100 – 300 kHz za mjerenje dubina do 1 km.



Slika 21. Prodiranje različitih frekvencija u slojeve morskog dna

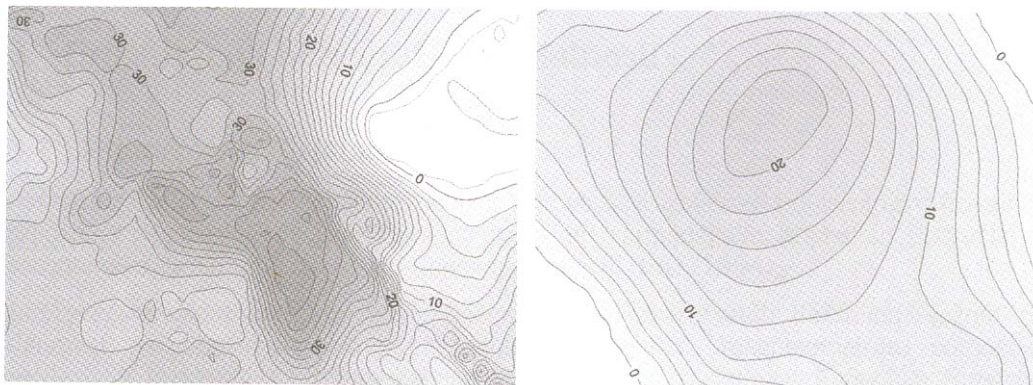
3.6. Batimetrijske karte

Batimetrijske karte su karte morskih, jezerskih i riječnih dubina, pri čemu je reljef dna prikazan izobatama (linije koje spajaju točke iste dubine).

U 16. stoljeću prvi put se na kartama pojavljuju podaci o dubinama mora kao točke ili kao izobate. Međutim batimetrijske karte nisu imale širu primjenu sve do 1850. godine. Te karte nisu samo prikazivale dubine nego su također uključivale i

toponime (imena topografskih objekata podvodnog reljefa). Umnožavanje batimetrijskih karata dovelo je do potrebe uvođenja međunarodnih dogovora o unificiranju nomenklature i terminologije. Zbog toga je 1899. godine u Berlinu donesena rezolucija o terminologiji i nomenklaturi podmorskog reljefa, te je osnovano međunarodno povjerenstvo koje će izdati taj dokument. Prvo izdanje generalne batimetrijske karte (General Bathymetric Charts of the Oceans) tiskano je 1905. godine na 24 lista u mjerilu 1 : 10000000. Za projekciju karte je izabrana Mercatorova projekcija ograničena meridijanima 0°, 90°, 180° i 270° geografske duljine i paralelama od 45°, 64° i 72° geografske širine. Dubine su prikazane u metrima.

Povećanjem sadržaja radi sigurnosti plovidbe batimetrijske karte su prerasle u pomorske navigacijske karte. Raspored i gustoća prikaza dubina, izobata i ostalih znakova ukazuje na karakter reljefa morskog dna. Jednolični raspored dubina i izobata karakterističan je za nerazvedeni reljef dna (Slika 22). Dubinska Ljestvica, odnosno razmak izobata za more je uz obalu gušća, gdje su vrijednosti dubina manje i povećava se udaljavanjem od obale, gdje su dubine veće.



Slika 22. Prikaz batimetrijske karte a) razvedeni reljef dna, b) nerazvedeni reljef

3.7. Mjerilo

Mjerilo mjerenja se određuje ovisno o točnosti i zahtijevanoj gustoći kojom se mora prekriti neko područje, a ono se također može koristiti kao standard na osnovu kojeg se određuje brzina mjerenja dubina, fiksni intervali i razmak među linijama.

Mjerilo karte se odabire prema gospodarskom značaju obrađivanog područja. Od posebnog značaja su područja kontinentalnih pličina, u koja ulazi dio kontinenta do dubine otprilike 200 m ispod površine mora. Za pličine se izrađuju karte u mjerilu 1:25.000 do 1:250.000. Kako one čine 15% površine svih kontinenata predstavljaju i značajnu zadaću za geodete. Za otvoreno more, koje čini 2/3 ukupne Zemljine površine, izrađuju se karte od mjerila 1:1.000.000.

IHO (International Hydrographic Organisation) je 1987. godine odredio relevantna mjerila za nautičke karte (Tablica 1).

Tablica 1.. Relevantna mjerila za nautičke karte

Objekti	Mjerilo
Luke i kanali	1 : 10 000 ili sitnije
Prilazi lukama	1 : 20 000 ili sitnije
Plitke vode (dubine < 30 m)	1 : 50 000 ili sitnije
Priobalni pojas (dubine > 30 m)	1 : 100 000 ili sitnije

Nadalje je definirano: "Položaj izmjerenih dubina, mjesta opasnosti ili drugih značajnih oblika mora biti određen i to na način da pravi položaj leži unutar kruga radijusa 1.5 mm u odnosu na mjerilo izmjere".

4. STANDARDI U HIDROGRAFIJI

Sva istraživanja i mjerenja vezana uz hidrografiju, zbog sigurnosti plovidbe i jednoličnosti obavljanja radova, trebala bi zadovoljavati norme i standarde koje propisuje Međunarodna hidrografska organizacija (IHO - International Hydrographic Organization, sa sjedištem u Monacu). IHO je međuvladina konzultacijska i tehnička organizacija osnovana 1921. godine, koja radi na potpori i sigurnosti navigacije i zaštiti morskog okoliša. IHO se danas sastoji od 73 države članice. Djelokrug rada IHO-a je:

- Usklađivanje djelatnosti nacionalnih hidrografskih ureda
- Najveće moguće ujednačavanje pomorskih karata i dokumenata
- Usvajanje mogućih i efikasnih metoda iskoristivosti hidrografske izmjere
- Razvoj hidrografije kao znanstvene discipline

4.1. IHO S-44

IHO special publication № 44 4th edition donesena u travnju 1998. Da bismo postigli odgovarajuću točnost za pojedina različita područja hidrografska mjerenja su prema standardu za hidrografsku izmjeru svrstana u četiri kategorije:

- *Specijalna mjerenja*

Odnose se na mjerenja luka, sidrišta i kritičnih kanala te ostalih područja gdje bi konfiguracija dna mogla biti opasna za plovidbu. Svi izvori pogrešaka trebaju se minimizirati, zahtjeva se uski razmak linija snimanja side scan sonarima, te korištenje više transducera u nizu i multibeam echosoundera s visokom rezolucijom kako bi se postiglo 100 %-tno snimanje dna. Mora se uzeti u obzir da se područje veće od jednog metra može razaznati sa "zvučnim" instrumentarijem, ali kombinacijom višeslojnih dubinomjera (multibeam echosoundera) i panoramskih dubinomjera (side scan sonara) otkrivamo opasne prepreke na morskom dnu.

- *Mjerenja I. Reda*

Odnose se na luke i njihove okolne kanale, riječne kanale i priobalna područja s velikom gustoćom prometa, ali gdje su geofizikalne osobine morskog dna manje rizične za brodove (npr. pjeskovito dno). Mjerenja prvog reda mogla bi se ograničiti na područja s dubinom do 100 m. Zahtjevi za detaljnim snimanjem morskog dna su blaži nego kod specijalnih mjerenja. Detaljna mjerenja će se zahtijevati na područjima gdje karakteristike morskog dna predstavljaju potencijalnu opasnost brodovima.

- *Mjerenja II. Reda*

Odnose se na područja sa dubinama do 200 m koja nisu obuhvaćena sa specijalnim mjerenjima i mjerenjima prvog reda i gdje je kao dokaz, da na tom području nema opasnih prepreka, dovoljna opća batimetrija. Detaljno snimanje dna će se zahtijevati na području gdje karakteristike morskog dna predstavljaju potencijalnu opasnost brodovima.

- *Mjerenja III. Reda*

Odnose se na područja mjerenja dubina preko 200 m.

4.2. IHO S-55

IHO special publication № 55 3th edition donesen 2001. godine. Svrha ovog standarda je da osigura bazu podataka u kojoj će biti sadržani što točniji i ujednačeniji podaci hidrografske izmjere svake zemlje, te da osigura dostupnost tih podataka svim korisnicima.

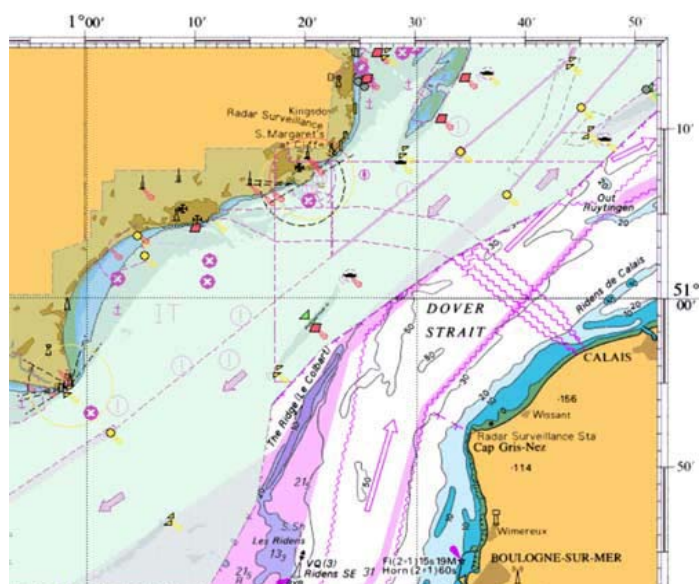
Do sada se za bazu podataka prikupljeni podaci za otprilike 80% svih priobalnih voda u svijetu. Dobivenim podacima nastoji se omogućiti što sigurnija plovidba i navigacija, nacionalni ekonomski prosperitet svake zemlje u vidu što boljeg iskorištavanja morskih bogatstava te zaštita mora.

Jedan od glavnih zahtijeva je da se podaci dobiveni izmjerom moraju transformirati u jedinstveni koordinatnom sustavu. Zbog izuzetne raširenosti korištenja i mogućnosti GPS-a kao jedinstveni koordinatni sustav uzet je WGS-84. Sve mjere koje se ucrtavaju na kartama, a mogu pomoći pri navigaciji i radovima na moru moraju biti u metričkom sustavu.

4.3. IHO S-57

Transfer standard for digital hydrographic data, nastao 1992. godine (prije nazvan DX-90). Ovaj standard je razvijen sa svrhom da osigurava objektni katalog za snimanje, pohranjivanje i prezentaciju hidrografskih podataka, standardizira format za prijenos digitalnih podataka i proizvoda. Sadrži niz odredbi za pretvorbu analognog izvora podataka u digitalni oblik.

Najznačajniji digitalni proizvod u S-57 formatu je Elektronička navigacijska karta–ENC (Electronic Navigation Chart) (Slika 23). Takve karte su skenirane i digitalizirane. Njihov značaj je u tome te se na njima upotrebom različitih programskih paketa (ovisno o potrebama korisnika) mogu ucrtavati i dobivati relevantni podaci. Do 2000. godine napravljeno je preko 400 ENC-a.



Slika 23. Izgled ENC-a

5. POZICIONIRANJE

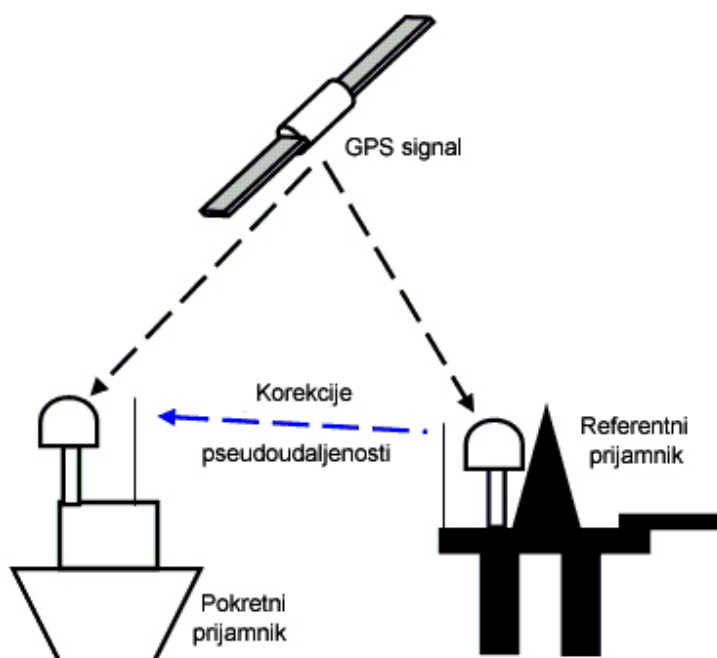
Gledajući kroz proteklih dvadesetak godina, metode i instrumenti koji se koriste pri hidrografskoj izmjeri rapidno su se poboljšavali, tako da nam danas omogućavaju izuzetno točnu i pouzdanu izmjeru podmorja u relativno kratkom vremenskom razdoblju. Općenito, hidrografska izmjera obuhvaća dva osnovna zadatka:

1. Pozicioniranje mjernog plovka za hidrografsku izmjeru
2. Mjerenje dubine vode ispod vertikalnog datuma

Oba zadatka mogu se riješiti na više načina, od kojih će neki biti opisani u sljedećim poglavljima.

5.1. Diferencijalni GPS - DGPS

Diferencijalno pozicioniranje s GPS-om (dalje u tekstu DGPS) je apsolutna metoda mjerenja s dva ili više prijamnika u realnom vremenu uz primjenu samo kodnih ili i faznih mjerenja. Sam princip ove metode je taj da jedan prijamnik (referentni), koji obično miruje, smješten na poznatoj točki, registrira satelite i za njih na osnovu poznate (iz koordinata) i mjerene udaljenosti računa korekcije pseudoudaljenosti (*Pseudorange correction- PRC*) i njihov prirast (*Range rate correction- RRC*). Te se veličine prenose radio vezom do drugog prijamnika (najčešće u pokretu), koji ih koristi za korekciju izmjerenih pseudoudaljenosti prije samog izračuna pozicije. Primjena korigiranih pseudoudaljenosti ima za posljedicu povećanu točnost pozicioniranja (Slika 24).



Slika 24. Princip rada DGPS-a

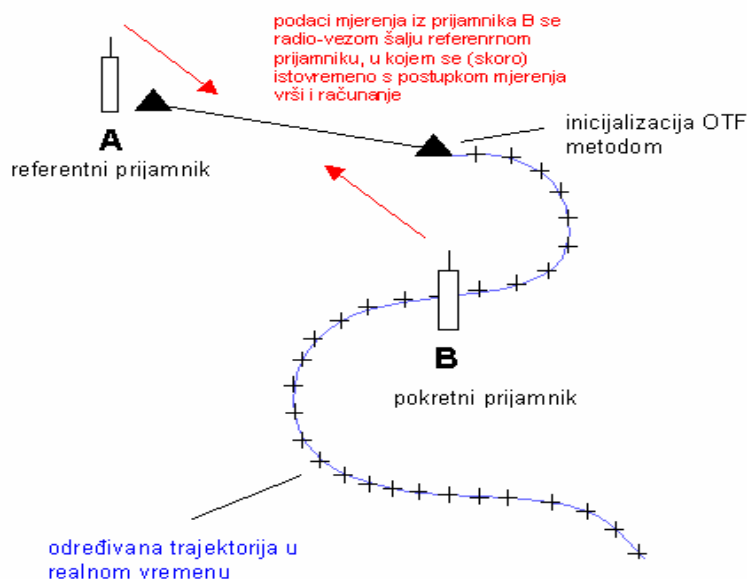
Razvoj DGPS-a potaknut je aktiviranjem selektivne dostupnosti u svim Blok II satelitima jer je to drastično degradiralo točnost pozicioniranja samo s jednim prijamnikom. DGPS je također izražen primjer kada se GPS istovremeno može koristiti i za pozicioniranje i za navigaciju.

Uvođenje selektivne dostupnosti je posljedica činjenice da se GPS sustav pokazao boljim no što su to njegovi kreatori očekivali. Naime, početno je predviđeno da će se mjerenjem udaljenosti pomoću C/A koda moći ostvariti točnost od oko 400 m. Rezultati mjerenja pokazali su međutim, da se položaj može odrediti s točnošću od 15-40 m, a brzina s 1 m/s. Kako su te vrijednosti, po mišljenju vojske SAD-a preblizu vrijednostima koje se ostvaruju P kodom, u Blok II satelite je ugrađena mogućnost selektivne dostupnosti, a čija je svrha upravo smanjenje ostvarene navigacijske točnosti s C/A kodom. To se postiže pomoću dva procesa, kvarenjem (drhtanjem) podataka sata satelita (tzv. δ -proces), te manipuliranjem efemerida satelita (tzv. ϵ -proces). Iznos utjecaja SA na rezultate mjerenja s C/A kodom je nepredvidiv i promjenjiv. Treba istaknuti da je od 1. svibnja 2000, godine odlukom Predsjednika SAD-a ukinut SA do 2006. godine.

Da bi korisnici, koji su većinom u pokretu, mogli primijeniti primljene informacije za korekciju svojih opažanih pseudoudaljenosti, oba prijamnika moraju simultano opažati najmanje četiri zajednička satelita. Točnost koja se pri tome postiže je znatno bolja nego pri samostalnom opažanju s jednim prijamnikom. Povećana točnost je zasnovana na činjenici da su izvori GPS pogrešaka vrlo slični na udaljenostima do nekoliko stotina kilometara, te da su zato primjenom diferencijalne tehnike pogreške znatno reducirane (pogreške orbita, ionosfera i troposfera, ...) ili eliminirane (pogreške satova satelita i prijamnika). Pogreške koje preostaju kod DGPS-a su šum prijamnika, multipath te utjecaj ionosfere i troposfere kod jednofrekventnih prijamnika.

5.2. Kinematika u realnom vremenu

Kinematika u realnom vremenu zasniva se na radio-vezi između referentnog i pokretnog prijamnika, kao i primjeni OTF postupaka. Radio-vezom se prebacuju podaci mjerenja do jednog od prijamnika u kojem se (skoro) istovremeno s postupkom mjerenja vrši i računanje korekcija pseudoudaljenosti. Primjena nekog od OTF postupaka osigurava da se mjerenje, i u slučaju gubitka signala s dovoljnog broja satelita, može inicijalizirati u pokretu i nastaviti. OTF rješenje zahtijeva trenutno određivanje ambiguiteta ili pozicije za svaku epohu. Iako je princip metode vrlo jednostavan, problem predstavlja činjenica da je rješenje potrebno naći brzo, što točnije i pouzdano. OTF tehnika koristi različite algoritme, koji se svi zasnivaju na rješavanju problema u više faza (približenja), započevši s približnom pozicijom i njenim poboljšavanjem bilo izjednačenjem najmanjih kvadrata ili primjenom tehnika traženja. To u praksi doslovno znači da je po prolasku kroz tunel, šumu ili usku ulicu moguće u kratkom vremenskom periodu ponovno inicijalizirati mjerenje, što omogućuje prošireni spektar primjena (Slika 25).



Slika 25 Princip GPS-RTK metode pozicioniranja

Kinematika u realnom vremenu omogućuje točnost od nekoliko centimetara, konzervativna procjena kaže $5 \text{ cm} + 5 \text{ ppm}$. Osnovni razlog umanjene točnosti u odnosu na klasičnu kinematiku je da se kod primjene u realnom vremenu javlja novi problem: podaci referentne stanice kasne za vrijeme potrebno za prijenos podataka te se javlja pogreška koja proistječe iz činjenice da se antena u trenutku izračunavanja više nalazi na izračunatoj poziciji. Ova se pogreška naziva *latency* ili pogreška sinkronizacije. Da bi se izbjeglo kašnjenje rezultata moguće je koristiti podatke mjerenja referentne stanice iz prethodne epohe i ekstrapolirati ih u trenutak registracije podataka na pokretnom prijamniku. Ovaj postupak uzrokuje dodatnu pogrešku pozicioniranja. Iznos te pogreške varira u odnosu na vrijeme kašnjenja i postupak predviđanja koji je primijenjen u pojedinom programskom paketu.

Današnji RTK sistemi odlikuju se vrlo kvalitetnim OTF algoritmima koji omogućavaju brzu i pouzdanu inicijalizaciju, a time i visoku učinkovitost mjerenja, kao i visokim ratama registracije mjerenja, od 2 do 10 Hz, što pak omogućava praćenje i kontroliranje visoko dinamičkih gibanja. Naglašeni problem kod RTK sistema je, pored standardnih GPS boljki, radio-veza, koja je u slučaju lošije kvalitete, značajan ograničavajući faktor.

RTK sistemi funkcioniraju na jednoj ili obje frekvencije. Prednost prvih je da su znatno jeftiniji od drugih sistema, dok im je osnovna mana da ne raspolažu OTF tehnikama inicijalizacije, te se moraju osloniti na druge postupke. Prema Landau et al. (1995), vrijeme potrebno za inicijalizaciju jednofrekventnog i dvofrekventnog RTK sistema istog proizvođača iznosi za prvi sistem prosječno 4 – 8 minuta, a za drugi sistem prosječno 1 minutu.

5.2.1. Trimble 4800 sustav za mjerenje

To su prijamnici visoke točnosti, a upravljani su ručnim terminalom “Trimble System Controller” (Slika 26). Software za kontroler je specijalno dizajniran kako bi početnicima omogućio lakši rad s ovim GPS sustavom. Kontroler na ekranu ima stalan prikaz stanja oba prijamnika, broja satelita, status baterije, stanje radio veze te preciznost horizontalnih i vertikalnih komponenti tokom mjerenja.



Slika 26: Trimble System Controller

Trimble 4800 je prvi GPS instrument za mjerenje kojem su sve komponente integrirane u kućištu antene (Slika 27), a to su:

- dvofrekventni GPS prijamnik
- GPS antena
- radio modem
- radio antena



Slika 27: Trimble 4800

Trimble 4800 RTK/GPS sustav za mjerenje nam omogućuje veću točnost mjerenja na dužim baznim linijama i manju potrošnju vremena provedenu na svakoj točki. S ugrađenim radi modemom i antenom Trimble 4800 najviše se koristi za RTK/GPS mjerenja.

Trimble 4800 sustav za mjerenje ima sljedeće karakteristike:

- cijeli RTK sustav za mjerenje (pokretni prijamnik, kontroler) teži 3,9kg

- točnost kinematičkih mjerenja 10mm + 2ppm za horizontalnu komponentu i 20mm + 2ppm za vertikalnu komponentu
- ima litij – ionsku bateriju koja omogućava 4 sata rada
- dvofrekventni prijamnik s milimetarskom točnošću mjerenja faze
- kontroler: ima lako čitljiv ekran (6,4 × 7,6cm), radi na vrlo niskim temperaturama, daje brze odgovore, omogućuje brz prijenos podataka.

5.3. Akustičko pozicioniranje

Radio valovi ne mogu prodrijeti kroz vodu do većih dubina pa se stoga ne mogu koristiti za podvodno pozicioniranje. Umjesto njih koriste se podvodni akustični valovi. Podvodno pozicioniranje obuhvaća određivanje položaja platforme na površini vode u odnosu na morsko dno, te određivanje položaja plovila ili podvodnih vozila koja služe za precizna mjerenja dubina, kontroliranje cjevovoda i drugih konstrukcija. Prvu kategoriju čini dinamičko određivanje položaja plutajućih platformi koje se koriste za oceanska istraživanja i eksploataciju. Danas se te platforme koriste na dubinama većim od 2000 m, a istraživanja traju nekoliko mjeseci ili čak godinama. Za industriju na moru razvijene su brojne tehnike podvodnog određivanja položaja koje imaju različite stupnjeve točnosti. Akustičke sustave dijelimo na:

- sustav dugih baznih linija (LBL)
- sustav kratkih baznih linija (SBL)
- sustav jako ili super kratkih baznih linija (SSBL)
- kombinacije navedenih sustava
- spojevi jednog ili više navedenih sustava s drugim mjernim instrumentima ili sustavima

U praksi se uglavnom koriste kombinacije različitih sustava. Sustavi podvodne akustične navigacije koriste različite tipove podvodnih markera. Imamo više tipova takvih uređaja:

- ❖ Transducer – istovremeno i odašiljač i prijamnik, najčešće smješten na trupu broda ili na podvodnu platformu. Odašilje upitne signale na jednoj frekvenciji, a odgovor dobiva na drugoj.
- ❖ Transponder – najrasprostranjeniji podvodni uređaj, pričvršćen na morsko dno ili na uronjenu platformu. To je prijamnik/odašiljač koji radi zajedno sa transducerom na brodu. Kad primi upitni signal na jednoj frekvenciji, transponder odgovara odaslanim signalom na drugoj frekvenciji i onda postaje pasivan do slijedećeg upitnog signala (kako bi štedi energiju).
- ❖ Pinger – najjednostavniji aktivni podvodni marker pričvršćen na morsko dno ili na uronjenu platformu. To je odašiljač koji u pravilnim razmacima odašilje signale na određenoj frekvenciji. Upitni signal mu nije potreban.
- ❖ Hidrofon – prijamnik usmjeren prema određenom mjestu. Postavlja se na trup broda, a služi za primanje signala od transpondera ili pingera.
- ❖ Responder – odašiljač smješten na morsko dno ili podvodnu platformu. Aktivira ga snažni signal vanjske kontrole s ciljem da pošalje upitni signal kojeg primaju transduceri i hidrofonu na brodu.

Energiju zvuka koja se širi pod vodom ometaju različiti zvukovi iz okoliša. Većina zvukova koji utječu na akustičke sustave imaju frekvenciju jačine manju od 5 kHz. Kako bi se izbjeglo to ometanje signala, najniža frekvencija koja se koristi za podvodno akustičko određivanje položaja je između 7 – 12 kHz. Konačni izbor frekvencije za akustički sustav ovisi o potrebnom dometu, točnosti veličini i troškovima. Što je veća frekvencija kraći je domet i veća točnost. Odnos frekvencije i udaljenosti prikazan je u slijedećoj tablici (Tablica 2).

Tablica 2. Karakteristične udaljenosti kod zvučnog sustava u odnosu na frekvenciju

Frekvencija (kHz)	Domet (m)
10 - 20	10000
300	400

Točnost podvodnog akustičkog sustava ovisi o frekvenciji, kvaliteti propagacije, Šumovima iz okoline ili unutar samih instrumenata, refrakciji i refleksiji. Obično se u dubokim vodama postižu točnosti od nekoliko metara. Korištenjem podvodnih platformi točnost se može poboljšati na nekoliko decimetara, jer su salinitet i temperatura stabilniji na većim morskim dubinama.

Iz navedenog se može zaključiti da ako postoje kontrolne točke na morskom dnu, može se akustičkim postupkom odrediti položaj na površini. Sva mjerenja ima smisla raditi samo u slučaju kada je kontrolne točke na morskom dnu moguće stabilizirati. Kao kontrolne točke na moru služe instalirani transponderi čiji je položaj određen u jedinstvenom geodetskom datumu. Od takvih kontrolnih točaka moguće je ultrazvučnim mjerenjima odrediti položaj točaka na i u moru. One su polazne točke za detaljnu premjeru i koordiniranje objektima na i u moru. Zbog toga je uspostava dovoljno gustog sustava kontrolnih točaka vrlo važan zadatak. Pošto je određivanje pozicije moguće jedino s ultrazvučnim mjerenjima, kada se udaljenosti mjere do najmanje tri točke, postavljaju se i kontrolne točke (transponderi) u grupi od po tri točke. Određivanje položaja kontrolnih točaka najčešće se rješava ultrazvučnom trilateracijom u kombinaciji s mjerenjima prema stabiliziranim točkama na kopnu ili platformama.

5.3.1. Osnove podvodne akustike

Akustika može biti definirana kao stvaranje, prijenos i primanje energije u obliku vibrirajućih valova. Najuobičajeniji akustički fenomeni su zvučni valovi koji su longitudinalni. Kako zvučni valovi putuju kroz medij, čestice medija vibriraju i proizvode promjene u gustoći i tlaku duž putanje gibanja vala. Promjene u tlaku poznate su kao akustički tlak i definirane su formulom:

$$\rho_e = \rho - \rho_0$$

gdje je ρ trenutni, a ρ_0 hidrostatski tlak.

Čestice u mediju će se početi gibati zbog akustičkog tlaka, a kao rezultat tog gibanja dolazi do promjene u udaljenosti između čestica. Ta je promjena funkcija vremena i položaja. Da bi zvuk mogao prolaziti kroz medij on mora biti kompresibilan odnosno podložan sabijanju. Kompresibilnost je promjena volumena po jedinici tlaka, a izražena je u m^2/N ili u Pa^{-1} .

Brzina zvuka ovisi o volumnoj elastičnosti κ i o gustoći medija ρ_0 :

$$C = \sqrt{\kappa/\rho_0} = \sqrt{1/(\rho_0 \kappa)}$$

Za vodu je $\kappa = 2,2 \cdot 10^9 \text{ Pa}$ i $\rho_0 \approx 1000 \text{ kg/m}^3$ pa je brzina zvuka u vodi približno iznosi 1480 m/s. Za usporedbu, brzina zvuka u metalu je oko 5050 m/s, a u zraku je 330 m/s.

5.3.2. Brzina zvuka u vodi

Brzina zvuka u vodi c može se izraziti kao funkcija temperature T , tlaka p i saliniteta S . Ostali parametri kao što su mjehurići i živi organizmi također utječu na brzinu zvuka. Brzina zvuka se obično modelira koristeći formulu:

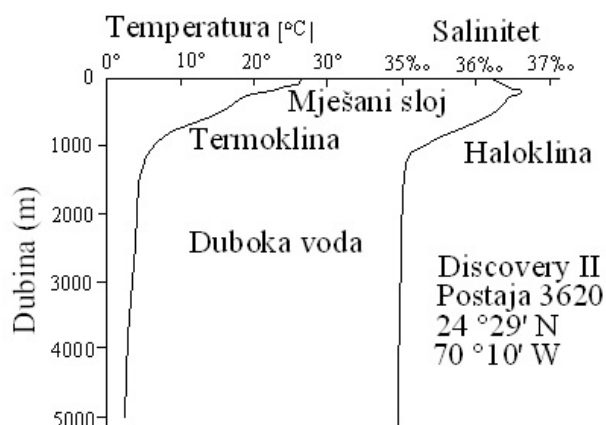
$$c = f(T, p, S) = f(T, D, s)$$

Brzina zvuka se povećava sa povećanjem temperature, saliniteta i dubine. Dokazano je koristeći razne formule kako na brzinu zvuka najveći utjecaj ima temperatura. Za mjerenje brzine zvuka koristimo dva uređaja batitermograf i velocimetar.

Batitermograf je jednostavan i uglavnom jeftin instrument. Ponire se u more da bi se pomoću njega izmjerila temperatura koja je funkcija dubine. Sposoban je za osiguravanje profila temperature bez potrebe za popravljanjem osjetljivih elemenata nakon mjerenja. Batitermograf pretvara trag temperatura – dubina u brzinu zvuka pri čemu se pretpostavlja da je gradijent saliniteta poznat ili da nije prisutan. Za navedene razloge, batitermograf je točan u dubokim vodama daleko od obale.

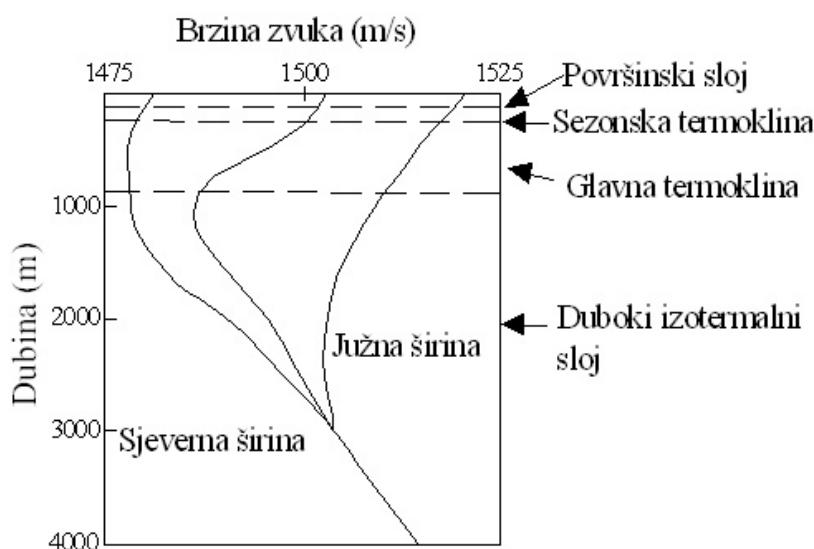
Velocimetar (brzinomjer) direktno mjeri vrijeme putovanja između transmitera (odašiljača) i prijamnika koji je smješten na maloj platformi. Ovaj instrument je točan pod bilo kakvim uvjetima, uključujući područja uzduž obalnih linija i područja na kojima dolazi do otapanja ledenih pokrova gdje su značajne promjene saliniteta.

Profil brzine zvuka predstavlja promjene brzine zvuka u odnosu na dubine. Uobičajeni profil temperature (termoklina granica između dva sloja različitih temperatura) i saliniteta (haloklina granica između dva sloja različitih temperatura) prikazan je na Slici 28. na srednjim geografskim širinama.



Slika 28. Termoklina i haloklina

Postoje promjene gradijenta koje se mogu razlikovati zbog miješanja površinskih slojeva, koje nazivamo sezonske i glavne termokline. Ispod 1000 m dubine brzina zvuka ravnomjerno raste kao funkcija dubine. Sveukupne promjene su od 30 m/s do 50 m/s npr. $\Delta c < 5\%$, ako je brzina zvuka otprilike 1500 m/s. Prikazan je profil brzine zvuka u dubokim morima na područjima koja se nalaze na različitim geografskim širinama (Slika 29).



Slika 29. Profil promjene brzine zvuka u dubokim morima na raznim širinama

U plitkim vodama i priobalnim područjima, profil brzine zvuka je nepravilan i nepredvidiv. Razlog tome su značajna površinska zagrijavanja i hlađenja, promjene saliniteta (obližnja slatka voda npr. ušće rijeke) i učestalost strujanja vode. U slatkim vodama brzina zvuka je manja, npr. 1402 m/s (0°C) i 1529 m/s (40°C).

5.3.3. Sustav s dugim baznim linijama (Long Baseline System LBL)

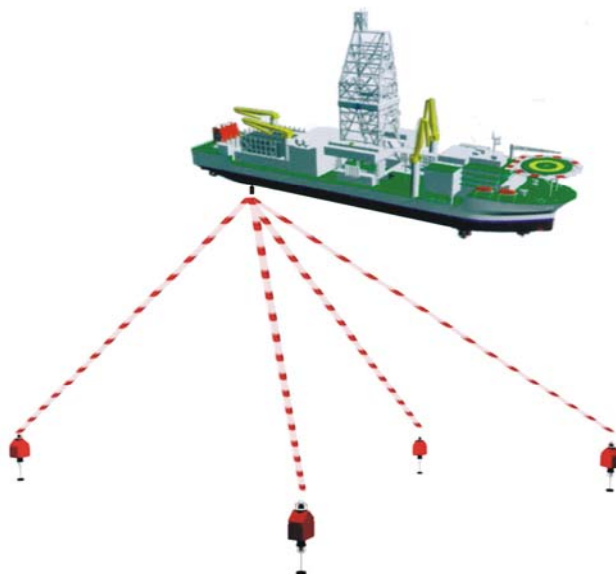
U dubokim vodama, gdje se točnost drugih metoda degradira s porastom dubine koristi se sustav s dugim baznim linijama. Ova metoda koristi se pri dubinama

većih od 1000 metara. Sustav se sastoji od najmanje tri odašiljača (transpondera) postavljena na morskom dnu, na poznatoj lokaciji.

Linija koja spaja dva odašiljača naziva se baza. Duljina bazne linije varira s dubinom vode, topografijom morskog dna, uvjetima okoliša i zvučnom frekvencijom koja se koristi, a kreće se od nekoliko 10-taka metara pa do više od 5 km. Vrijeme promatranog odašiljača je zabilježeno kao i povratno vrijeme (vrijeme povratnog signala). Podvodni odašiljači emitiraju signale na različitim frekvencijama, kako bi razlikovali svoje signale od ostalih.

Osnovno mjerenje sastoji se od vremena dvostrukog puta zvučnog signala dt između broda i odašiljača, iz čega možemo dobiti udaljenost R kao $R = c \cdot dt / 2$. Kod opažanja minimalno tri odašiljača pozicija broda može biti određena korištenjem iteracijskog postupka po metodi najmanjih kvadrata. Dobivene koordinate nisu orijentirane prema plovilu, nego su vezane uz morsko dno. To dopušta određivanje pozicije za više brodova u odnosu na iste odašiljače, bez potrebe za dodavanjem senzora.

Sustavi s dugom bazom (Slika 30) uvijek su bili preferirani akustički sustavi kad je točnost bila najvažnija. Vrijednost očitavanja mjernih instrumenata je $\pm 1\text{m}$. Što daje u dubokim morima položajnu točnost od ± 5 do $\pm 20\text{m}$, ovisi o gustoći mora. Korištenje prekobrojnih transpondera može se ostvariti kvaliteta kontrole za uvjete statičkih testova, te preciznih i pouzdanih analiza. Međutim, kalibracija ovog sustava, određivanje položaja podvodnih odašiljača relativno jedan prema drugome, proces je koji zahtjeva dosta vremena.



Slika 30. Sustav s dugom bazom

Akustički sustavi dugih baznih linija mogu se koristiti u raznim modulima:

- Za brodsku navigaciju
- Za sputanu podvodnu navigaciju kojom ne upravlja čovjek
- Za nesputanu podvodnu navigaciju kojom upravlja čovjek

Ti različiti moduli omogućuju sinkronizaciju određenog položaja za površinska i podvodna vozila.

5.3.4. Sustav s kratkom bazom (Short Baseline System SBL)

Akustički sustav s kratkim baznim linijama je podvodni sustav za pozicioniranje koji se koristi za određivanje položaja transpondera ili pingera postavljenih na morskom dnu ili podvodnom vozilu, korištenjem niza hidroфона postavljenih na trup broda u razmaku od cca 10m (Slika 31). Plovilo može biti statično ili pokretno. Zbog kratkih udaljenosti između hidroфона u odnosu prema dubini vode relativna geometrija određivanja položaja je slaba, pa udaljenost između hidroфона i podvodnih odašiljača (transponderi ili pingeri) mora biti kratka.



Slika 31. Sustav s kratkom bazom

Ako je položaj odašiljača na morskom dnu poznat, položaj broda može se odrediti koristeći odgovarajuće dodatne senzore na brodu, jer je koordinatni sustav broda definiran hidrofonskim sklopom u kojem je definiran položaj transpondera ili pingera na morskom dnu. Kod ove metode koordinatni sustav je fiksiran na plovilu i može se rotirati i translirati prilikom kretanja broda.

Sustav s kratkim baznim linijama koristi se za:

- pozicioniranje broda unutar malog radijusa jednakog dubini vode
- pozicioniranje ili određivanje putanje platforme ili ribe
- dinamičko pozicioniranje (kad brod miruje iznad određene točke, bušenje)

Mogu se pojaviti tri slučaja u konfiguraciji zvučnog sustava kratkih baznih linija:

- 1) Fiksira brod i pokretan odašiljač (ako je odašiljač montiran na pokretno podvodno vozilo, brod fiksiran), može se odrediti položaj vozila.
- 2) Pokretan brod i fiksiran odašiljač (ako je odašiljač fiksiran na morskom dnu s poznatim koordinatama, koordinate plovila mogu biti određene korištenjem dodatnih senzora).
- 3) I brod i odašiljač su pokretni, a koordinate broda su poznate.

5.3.5. Sustav s ultra kratkom bazom (Ultra- Short Baseline System)

Sustavi ultrakratkih baznih linija (USBL), također poznati pod imenom sustavi superkratkkih baznih linija (SSBL) razvijeni su da bi pojednostavnili podvodno određivanje položaja (Slika 32).

Mjeri se fazna razlika akustičkog signala kojeg primaju dva senzora na međusobnoj udaljenosti b . Hidrofon smještena na trupu broda, sastoji se od tri takva senzora pod pravim kutom, a udaljenost b je vrlo kratka (manja od 30 cm). Ako se transponder ili pinger nalaze na poznatom položaju na morskom dnu, potrebni su dodatni senzori da bi se ustanovio položaj broda u istom koordinatnom sustavu (slično kao kod sustava s kratkim baznim linijama).

Najveća mana ovog načina akustičkog pozicioniranja je to da su njegove mogućnosti limitirane akustičkim uvjetima u moru. Pošto se ova metoda koristi u plićim vodama, zvuk motora broda (ali i drugi zvukovi u moru) uzrokuju pogreške koje je nemoguće ukloniti.



Slika 32. Sustav s ultrakratkom bazom

5.3.6. Kombinirane metode akustičkog pozicioniranja

Kombinirani postupci u praksi daju najbolje rezultate, zato što se kombinacijom navedenih metoda eliminiraju slabosti svake pojedine metode i dobivaju pouzdani rezultati.

5.3.7. Sustav s dugom i ultra kratkom bazom

Kombinacija dugih i jako kratkih baznih linija predstavlja specijalan slučaj USBL metode. Određivanje udaljenosti i navođenje u LUSBL metodi svodi se na mjerenje opisano u USBL metodi, ali zbog broja transpondera na morskom dnu

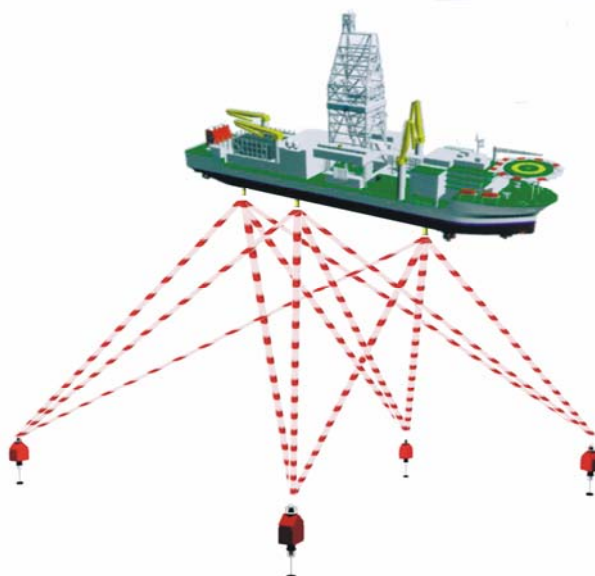
postiže se veće točnost (Slika 33). Povećanje točnosti postiže se multipliciranom komunikacijom između transpondera koji se nalaze na morskom dnu.



Slika 33. Sustav s dugom i ultrakratkom bazom

5.3.8. Sustav s dugom, kratkom i ultrakratkom baznom linijom

Kombinacija dugih, kratkih i jako kratkih baznih linija koristi se kada su četiri ili više transpondera grupirana na morskom dnu ispod više transducera montiranih na brodu (Slika 34). Udaljenost svakog transducera na brodu do jednog transpondera na dnu daje SBL komponentu rješenja. Udaljenosti jednog transducera na brodu do svih transpondera na dnu daje LBL komponentu. Smjer je uzet od jednog transducera i daje USBL komponentu. Izjednačenjem ovako dobivenih podataka postiže se izuzetno visoka točnost akustičnog pozicioniranja.

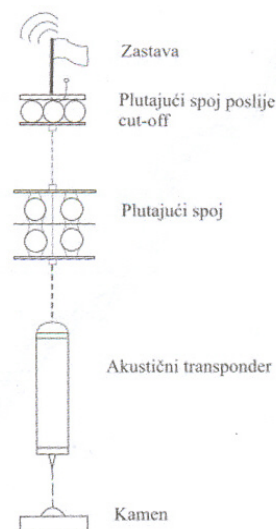
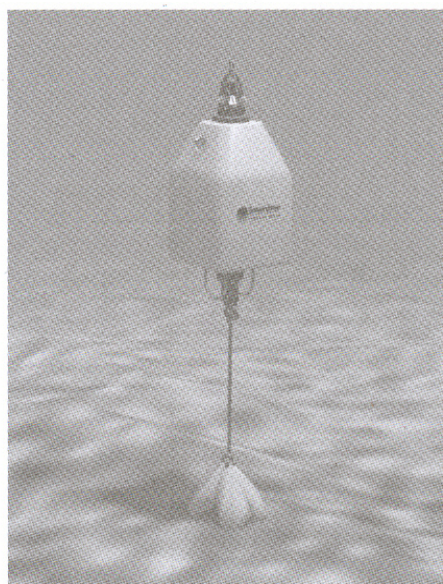


Slika 34. Sustav s dugom, kratkom i ultrakratkom bazom

5.3.9. Kalibracija i izvor pogrešaka kod sustava dugih baznih linija

Sklop odašiljača inicijalno je određen korištenjem površinskog plovila ili podvodne platforme. Ako koristimo površinu broda, geodetski položaj odašiljača (u poznatom referentnom sustavu) određen je obalnim ili satelitskim radiofrekventnim sustavom, kao što je npr. GPS. Pri tome se značajne pogreške mogu dogoditi između precizno određenog položaja broda u vrijeme porinuća odašiljača i krajnjeg položaja odašiljača na morskom dnu. Relativni položaj odašiljača (njihova udaljenost i dubina) mogu se odrediti direktnim zvučnim mjerenjima na odašiljačima ili između njih. Takvim postupkom se ustvari radi kalibracija odašiljača.

Međusobno dogledni odašiljači mogu provesti mjerenja među odašiljačima, zajedno s mjerenjima temperature T , saliniteta S , tlaka P , prateći specifične signale s površine broda. Lokalna brzina zvuka može biti točno određena koristeći T , S , P mjerenja. Ova metoda je brza i precizna, ali samo određeni odašiljači imaju sposobnost mjerenja među sobom, Odašiljači (transponderi) su opterećeni težinom i plutačom, kako bi održali određenu udaljenost iznad morskog dna (Slika 35). Muljevito dno se mora izbjegavati, inače bi težina vukla odašiljač u mulj i spriječila aktiviranje zvučnog signala.



Slika 35. Prikaz postavljanja odašiljača

Drugi postupak brze kalibracije zahtijeva kombinaciju sustava dugih i superkratkih baznih linija. Korištenjem sustava superkratkih baznih linija određen je položaj odašiljača. Kad su položaji poznati s vrlo visokom točnošću nastupa sustav dugih baznih linija.

6. KOMBINIRANE METODE ODREĐIVANJA POLOŽAJA I DUBINE

Suvremena tehnologija omogućava integraciju različitih metoda opažanja u jedinstveni mjerni sustav, te zajedničku obradu njihovih opažanja. To omogućuje pridobivanje boljih, točnijih, pouzdanijih, ali i posve novih informacija. Cilj integracije različitih metoda opažanja jest da se tražene informacije zahtijevane kvalitete odrede maksimalno učinkovito uz minimalne troškove. Stupanj integracije može, ovisnosti o zadatku biti različit. U pojedinim slučajevima neka metoda opažanja može poslužiti samo kao nadopuna (kontrola) drugoj metodi, dok je u drugim slučajevima tek integracijom dviju ili više metoda moguće dobiti željene informacije.

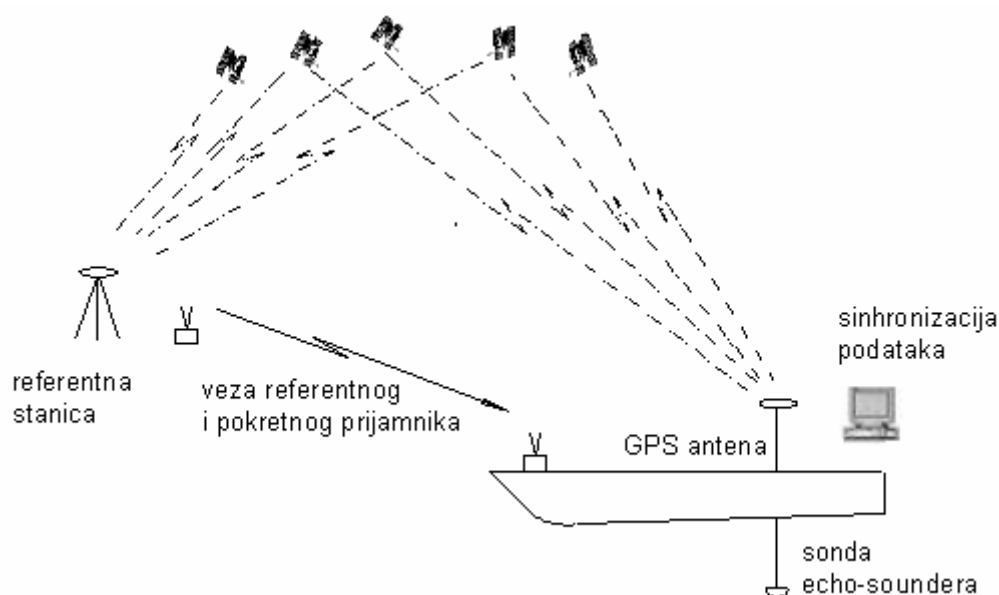
Kod integracije različitih metoda mjerenja potrebno je definirati koordinatne sustave u kojima se vrše opažanja pojedinom metodom i transformacije između njih, riješiti tehničke probleme integracije različitih uređaja i problem modeliranja raznovrsnih mjerenja. Pritom razlikujemo dinamičko i kinematičko modeliranje.

Rezultati GPS mjerenja, bez obzira o kojoj je metodi riječ, mogu se, po izvršenoj transformaciji u sustav koordinata koji je definiran za bazu podataka, direktno unositi i koristiti. Pritom su GPS mjerenja upotrebljiva za određivanje preciznih položajnih koordinata pojedinačnih točaka (relativna statička ili brza statička metoda) ili koordinata niza točaka (relativna kinematička ili DGPS metoda). Isto se tako mogu koristiti u navigacijske svrhe (DGPS, RTK ili apsolutna mjerenja). Prednosti korištenja GPS-a kao direktnog izvora podataka su: brzo pribavljanje prostornih koordinata, četvrta dimenzija koju daje GPS kao direktno mjerenu veličinu, a to je vrijeme, te indirektnne veličine kao što su azimut i brzina gibanja između dvije točke, te ocjena točnosti.

GPS se kao izvor podataka javlja u funkciji kontrolnog senzora za druge vrste mjerenja. Tako se GPS prijamnici koriste danas u satelitima i avionima za daljinska opažanja kao senzori koji daju pouzdanu prostornu informaciju o poziciji kamere u trenutku snimanja svakog pojedinog snimka, kao i kod hidrografskih mjerenja za definiranje pozicije hidrografskog uređaja.

6.1. Kombinacija GPS-a i echo – soundera

GPS sustav, koji daje visoko točnu poziciju u WGS-84 koordinatama, kombinira se sa sustavom ultrazvučnog dubinomjera, koji daje vrijednosti dubine pojedinu diskretnu točku (Slika 36). Ta se dva sustava povezuju tako da se diskretnoj točki kojoj je izmjerena dubina dodijeli pozicija dobivena satelitskom metodom određivanja položaja, najčešće GPS-RTK metodom.



Slika 36. Kombinacija GPS/RTK mjerenja i dubinomjera

GPS antena je postavljena na vrh nosača učvršćenog na bočnu stranu broda, kojim se izvode mjerenja po određenim linijama snimanja. Na dnu istog nosača postavljena je i sonda ultrazvučnog dubinomjera. Pomak (offset) između faznog centra GPS antene i sonde dubinomjera određuje se nakon montaže sustava, prije početka mjerenja (najčešće je taj razmak fiksno određen duljinom nosača). Sva izvedena mjerenja moraju se korigirati za vrijednost tog vertikalnog razmaka. Plovilo sa sustavom GPS-RTK/dubinomjer plovi po linijama snimanja i u unaprijed određenim vremenskim intervalima sustav registrira horizontalnu poziciju i dubinu. Ukoliko se raspolaže sa računalnim programom za dizajn i obradu hidrografskih mjerenja, linije snimanja se mogu projektirati ranije u uredu. Nakon toga na terenu isti program u modulu za izmjeru pomoću kursora usmjeruje plovilo po projektiranim linijama snimanja.

Dakle sustav omogućuje dobivanje prostornih trodimenzionalnih podataka o položaju svake pojedine točke, jer se mjerenja položaja i dubine izvode direktno. Oba su uređaja povezana prijenosnim računalom u kojem se pomoću kontrolnog računalnog programa sinkroniziraju podaci dobiveni iz oba sustava. Ako je riječ o GPS-RTK metodi, tada je moguće pregledavanje i kontroliranje podataka u realnom vremenu, što znatno pomaže stručnjaku pri izvođenju mjerenja.

7. TRANSDUCERI

Transducer je elektronički uređaj koji pretvara energiju iz jednog oblika u drugi. On je jedan od najvažnijih elemenata ultrazvučnog dubinomjera (echo soundera). Šalje upitni signal na jednoj frekvenciji, a prima odgovor na drugoj. Njegove glavne funkcije bi bile: pretvaranje električnog u zvučni signal, odašiljanje tog istog zvučnog signala u vodu, prihvatanje eha odbijenog zvučnog signala i na kraju opet pretvaranje zvučnog u električni signal.

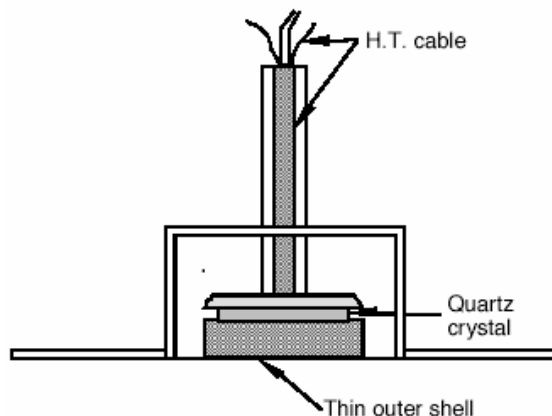
Transducer je kombinacija odašiljača i prijamnika, koji su postavljeni na oplati plovila i u stalnom je kontaktu s vodom. Odašiljač je ultrazvučni oscilator, napravljen od čistog nikla ili keramike. Ovakav se oscilator preko elektro uključnog elementa uzbudi, tako da odašiljač koji se nalazi na dnu broda odašilje kratke i snažne uhu nečujne zvučne signale u vodu, u smjeru morskog dna. Prijamnik je isto tako napravljen te on prima zvučne impulse iz vode i pretvara ih u električne.

Tri tipa transducera se koriste pri mjerenju dubina, a to su transduceri izvedeni od magnetootpornog materijala, piezoelektrični transduceri i elektrootporni transduceri. Sva tri tipa transducera rade na sličnom principu. Električni puls iz odašiljača (transmitera) uzrokuje vibriranje dijafragme transducera na određenoj rezonantnoj frekvenciji. Te vibracije, odaslane kroz vodu se ponašaju kao zvučni impulsi na osnovu kojih se odbijanjem od dna stvara jeka koja se opet registrira u svrhu dobivanja mjerene dubine.

Dijafragma može biti izvedena od različitih materijala sa različitim svojstvima, neke od tih dijafragmi su:

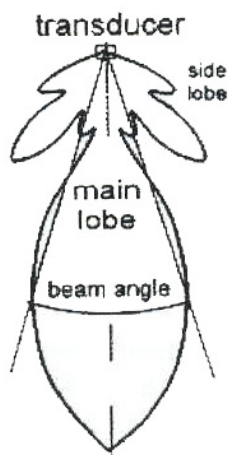
- magnetska – koristi svojstvo magnetootpornog materijala (npr. nikal) i mijenja duljinu u prisustvu magnetskog polja
- piezoelektrična – piezoelektricitet je pojava električnog naboja na površini prirodnog dielektrika kad se na njega djeluje nekom mehaničkom silom; znači ova dijafragma koristi svojstva određenih kristala (kvarc) ili keramika (barij, titanat, cirkonat), koji su dielektrici, da mijenjaju duljinu pri pojavi naboja na njihovoj površini
- električna – neke keramike mijenjaju duljinu kada se nalaze u električnom polju.

Najšire upotrebljavani transduceri su oni bazirani na piezoelektričnim osobinama određenih keramika (barij, titanat, cirkon) (Slika 37). Oni vibriraju na određenoj rezonantnoj frekvenciji. Te vibracije, odašiljane kroz vodu se ponašaju kao zvučni impulsi. Keramika je brzo postala dominantni materijal zbog svojih dobrih piezoelektričnih osobina i njihove olakšane izrade u raznim oblicima i veličinama.



Slika 37. Piezoelektrični transducer

Transducери su tako kreirani da proizvode signal zvučne snage različitih obilika (Slika 38). Najveći dio dostupne snage je smješten u glavnoj resici. Iako od glavne resice, postoje i dvije manje resice koje ne služe ničemu i mogu povremeno proizvesti krive ehoe.



Slika 38. Oblik echosignala

Širina signala je definirana kutom signala β glavne resice i ovisi o veličini radijusa transducera d i frekvenciji f signala. Širina signala β u $^\circ$ može se dobiti slijedećom relacijom:

$$\beta \approx 65^\circ \frac{\lambda}{d} = 65^\circ \frac{c_w}{f \cdot d}$$

gdje je λ valna duljina, a c_w prosječna brzina zvuka u vodi. Iz formule je vidljivo, da što je viša frekvencija kraća je valna duljina i uža širina signala za datu veličinu transducera. Veliki radijus transducera sa visokim impulsom frekvencije stvara uske signale visoke koncentracije.

7.1. Vrste transducera

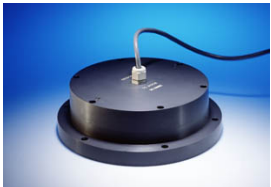
Transducери su karakterizirani sa svojom nominalnom frekvencijom, širinom snopa (usmjerenosti) i jakosti zračenja (nivo emitiranja). Usmjerivost transducera odgovara kutu odaslanog signala. Nominalna frekvencija odgovara frekvenciji emitiranja pod stalnim poticajem (rezonancijom).

Optimalni raspon frekvencija, koji zavisi o dubini vode i prirodi dna je između 15 kHz i 200 kHz, ovisno o tipu uređaja. Što je viša frekvencija to je bolja apsorpcija. Nivo emitiranja transducera mjeri se za emitiranu energiju duž osi emitiranja, mjereno na metar udaljenosti. Visok nivo za istu električnu energiju znak je bolje učinkovitosti. Ovisno o jačini frekvencije i kutu odaslanog signala, postoje mnoge vrste transducera, koji imaju različite primjene.

- **Transducери serije 1000:**

Model	Opis	Frekvencija	Širina snopa (vertikalna)	Širina snopa (horizontalna)
TC1010 	niskofrekventni i širokosnopni transducer	12 kHz	180°	u svim smjerovima
TC1012 	Niskofrekventni i širokosnopni transducer	12 kHz	180°	u svim smjerovima
TC1035 	Viskonaponski, niskofrekvencijski transducer	9.5 kHz	70°	U svim smjerovima
TC1037 	Niskofrekvencijski transducer	8 – 12 kHz	80° (na 8 kHz) i 56° (na 12 kHz)	stožasta

- **Transducери серије 2000:**

Model	Opis	Frekvencija	Širina snopa (vertikalna)	Širina snopa (horizontalna)
TC2003 	Uskosnopni transducer, pogodan za hidrogravska mjerenja	200 kHz	3°	stožasta
TC2024 	Transducer idealan za navigaciju i hidrogravske izmjere u plitkim vodama	200 kHz	9.5°	stožast
TC2046 	Visokofrekventni transducer idealan za navigaciju	200 kHz	18°	stožast
TC2115 	Univerzalni visokonaponski transducer	30 kHz	23°	stožast
TC2150 	Univerzalni visokonaponski transducer	66 kHz	15°	stožast
TC2166 	Dvostruki sonar idealan za izradu mapi podmorja i istrage u luci	200 kHz	1.1°	2 x 47°

8. NACIONALNI PARK PLITVIČKA JEZERA



Slika 39. Plitvička jezera

Nacionalni park se prostire na teritoriju od 19,462 ha od čega na vodu otpada 217 ha, šume 15.715 ha i na travnjake sa seoskim prostorima 3.530 ha. Privatno je oko 3 ha, dok društvenim zemljištem upravlja radna organizacija Nacionalni park Plitvice. Plitvička jezera čine niz od 16 krških kaskadnih jezera smještenih u sjeveroistočnoj Lici na području između Male Kapele i Ličke Plješevice. Gotovo 80% od ukupne površine otpada na dva najveća jezera, Prošćanskog i Kozjak. Sustav jezera dijeli se na Gornja i Donja jezera. Gornja su jezera okružena gustom šumom i povezana slapovima, smještena su u dolomitskoj dolini, dok su Donja jezera manja i plića, okružena niskim raslinjem i smještena na vapnenačkoj podlozi. Najveći dio vode jezera dobivaju od Crne i Bijeke rijeke.

Na temelju dosadašnjih saznanja, geološku podlogu Plitvičkih jezera čine stijene mezozojske starosti sastavljene od karbonatnih taloga biogenog porijekla. Tektonske sile poremetile su, tokom milijuna godina, prvobitni položaj taloga i stvorile brdovit kraj, na danas trošnim dolomitima i čvrstim vapnencima. Oborinske vode pomoću ugljične kiseline otapaju karbonate i stvaraju krški reljef s vrtačama, ponorima, spiljama i podzemnim tokovima vode. U krškom podzemlju sakupljene vode izbijaju na površinu u vidu krških vrela i manjih izvora, odakle teku potocima, napajajući jezerski sistem vodom obogaćenom otopljenim karbonatima.

Riječnu dolinu pregradile su prirodne brane i stvorile niz riječnih jezera, međusobno povezanih slapovima. U tom, inače krškom krajoliku, izdvaja se dio s dubljim i starijim slojevima stijena, koje sadržavaju, uz karbonate, nepropusne gline i lapore. Na tom dijelu reljefa leže prostranija Gornja jezera, dok su Donja jezera duboko usječena u vapnenački kanjon. Tla nacionalnog parka na dolomitima i vapnencima obrasla su bujnim biljnim pokrovom šuma i travnjaka.

U povoljnim temperaturnim uvjetima voda u svom površinskom toku gubi veliki dio ugljične kiseline, a taloži kalcijev karbonat. Proces travertinizacije započinje finim vapnenim talogom na svemu živom i neživom u vodi. Najveće taloženje travertina je na preljevima iz jezera u jezero gdje se stvaraju barijere i do 50m visoke. U tom vjekovnom djelovanju sudjeluju i brojni drugi organizmi pa tako nastaju raznovrsni oblici sedrenih tvorevina, a to su jezera i jezerca, barijere, slapovi, zastori i špilje. Barijere se na mjestima protoka povisuju godišnje i do 3cm, a time se povisuje i razina jezera. Uslijed takvog "rasta", mjesta preljeva se barijerom pomjeraju i na taj način izgrađuju barijeru na cijeloj širini.

8.1. Sedra Plitvičkih jezera

Plitvička jezera osim što privlače svojim neočekivanim oblicima i bogatstvom vode u pokretu, ona su tipsko područje za specifična jezera što ih stvaraju krške vode. Kao zaštitni čimbenik krških vodotoka je taloženje sedre. Pretpostavlja se kako je taloženje i rast počeo prije 12000 do 15000 godina.

Na poprečnim dolinskim pragovima tektonskog podrijetla počele su se u postglacijalu, pod utjecajem toplije klime stvarati sedrene barijere inkrustacijom vapnenca na starim dijelovima sedrotvornih mahovina. Na Donjim jezerima taj je proces počeo tek kada se dno kanjona Donjih jezera uslijed erozije spustilo do dolomitne podloge. Na taj način je cijela riječna dolina pretvorena u niz jezera, koja su preko sedrenih barijera povezana slapovima.

Jedan u nizu potrebnih uvjeta za stvaranje sedre je količina otopljenih organskih tvari u vodi. Naime, primijećeno je da na mnogim lokacijama gdje su zadovoljeni osnovni uvjeti za sedrenje (prezasićenost, pH, temperatura, prozračivanje vode, kaskade i sl.), do njega ipak ne dolazi. Ispitivanjima su se utvrđivale razlike u sastavu otopljenih organskih tvari u vodama pojedinih tekućica. Utvrđeno je da te organski otopljene tvari (DOC-Disolved Organic Carbon), djeluju kao "omekšivači", odnosno kao snažni inhibitori, koji sprečavaju proces taloženja sedre. Iz toga proizlazi zaključak da sedra može nastati samo u potpuno čistim tekućicama vodama, koje nisu zagađene prirodnim ili otpadnim organskim tvarima.

Sedra se stvara na podnožju slapova. Otopljeni kalcijev bikarbonat ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$), koji se nalazi u vodi kao posljedica kemijskog trošenja stijena, gubi (zbog mehaničkih udara) CO_2 i prelazi u teško topljivi kalcijev karbonat CaCO_3 , mineral kalcit. Od kalcitovih kristala izgrađena je sedra.

Jedan od bitnih uvjeta što pogoduju stvaranju sedre je i osvjetljenost vode, jer osvjetljenost određuje tipove biocenoza koji nastanjuju slapove, odnosno da li će na njima prevladavati vegetacija svijetla ili vegetacija sjene. Brzina taloženja sedre ovisi također o padu i obliku riječnih korita, hrapavosti površine na koju se sedra taloži i slično.

Sedra se u Plitvičkim jezerima taloži na dno u obliku mikroskopski sitnih kristalića koji dno jezera oblažu debelim slojem sprječavajući tako gubitak vode kroz rupičastu, kršku podlogu. Zahvaljujući tome, velika Gornja jezera (Prošćansko

jezero i jezero Kozijak) koja leže na dolomitnoj podlozi ne gube vodu, ali već nakon početka toka rijeke Korane voda se gubi u podzemlje, jer ispod Sastavaka prestaju procesi sedrenja.

Znanstvena su istraživanja dokazala, da povećane količine otopljenе organske tvari (zagađenje) zaustavljaju procese sedrenja na Plitvičkim jezerima. Sve više se povećava proces eutrofikacije ili proces "starenja jezera", što je inače prirodni proces koji traje stotinama godina, ali ga čovjek svojim djelatnostima (poljoprivreda, stočarstvo, turizam, otpadne vode naselja i hoteli) može znatno ubrzati. Eutrofikacija je proces obogaćivanja voda hranjivim tvarima koje pospješuju rast vodenih biljaka kao što su: planktonske alge i alge dna, te više vodene biljke, trska, ljutak i slično. Plitvička su jezera danas obrasla močvarnom vegetacijom, dno jezerca i jezera prekriveno je podvodnim livadama. Na sedrenim barijerama sve su deblja stabla koja ugrožavaju svojom težinom njihovu statiku prijeteci urušavanjima slapova.

Kako bi se uskoro, a možda djelomično i spriječio današnji tijek eutrofikacije više se ne dopušta obnova naselja uz Bijelu rijeku, stočarstvo i poljoprivreda mora se udaljiti iz slivnog područja Plitvičkih jezera, u potpunosti se mora riješiti odvodnja otpadnih voda postojećih hotelskih kompleksa.

9. DIGITALNI TRODIMENZIONALNI MODEL DIJELA DNA PROŠĆANSKOG JEZERA

Suvremenim metodama mjerena danas se mogu izvoditi i najzahtjevniji i najrazličitiji geodetski poslovi. Tako kombinacijom GPS-a i ultrazvučnog dubinomjera dobivamo podatke koji će nam poslužiti za izradu trodimenzionalnog modela dna Prošćanskog jezera.

9.1. Mjerenje dubina na Prošćanskom jezeru

Prije izmjere pristupilo se prikupljanju postojećih geodetskih podloga koje obuhvaćaju područje Prošćanskog jezera, podatka o homogenoj mreži stalnih geodetskih točaka koje su već prije uspostavljene za područje NP Plitvičkih jezera i rakognosciranju terena. Nakon toga pristupilo se planiranju samih mjerenja i izradi potrebne opreme za instalaciju cijelog mjernog sustava na brod.

Podaci mjerenja dobiveni su kombinacijom satelitske metode pozicioniranja i dvofrekventne batimetije.

Satelitska GPS mjerenja izvedena su GPS prijamnikom Trimble 4800. Korištena satelitska metoda pozicioniranja je RTK (real time kinematic) metoda koja u realnom vremenu daje poziciju pri čemu su dva prijamnika međusobno povezana radio vezom.

Prilikom mjerenja dubina korišten je visoko precizni ultrazvučni dubinomjer ATLAS DESO 14. Kombinacijom ova dva uređaja dobiven je jedinstven sustav za mjerenje. S obzirom na metodu dvofrekventne batimetrije, a i jednofrekventni ultrazvučni dubinomjer, jezero je trebalo snimiti dva puta. Jedno snimanje je obavljeno s nisko frekventnom sondom, a drugo s visoko frekventnom sondom.

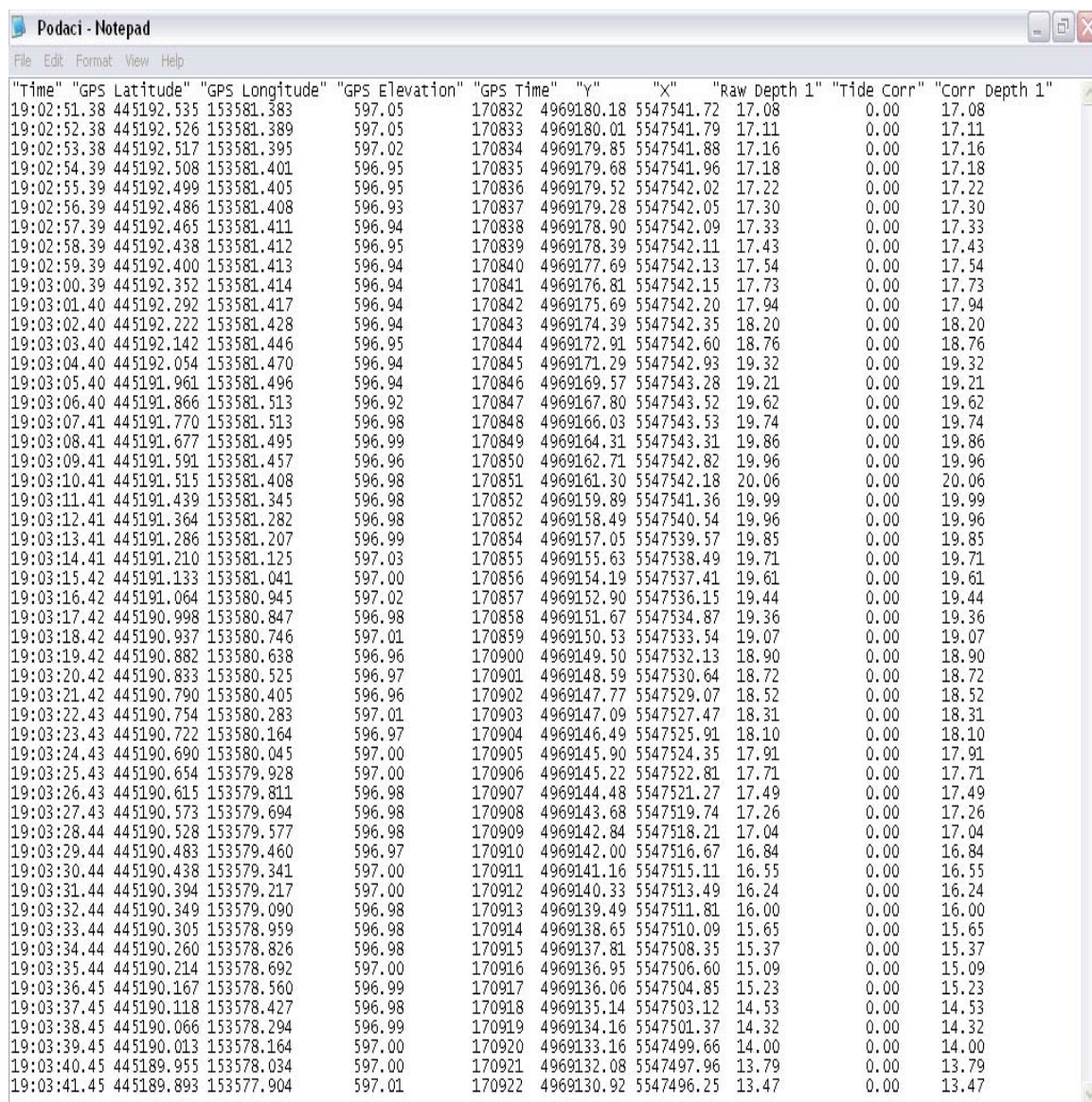
Na čamcu je montiran opisani mjerni sustav na slijedeći način. Na bočnu stranu čamca postavljen je nosač (vertikalna željezna cijev) koji je svojim donjim dijelom bio uronjen u vodu, te na kojem je bila montirana sonda. Na istom nosaču, ali s gornje strane postavljena je GPS antena povezana s prijamnikom i RTK modulom koji je omogućio vezu GPS prijamnika na čamcu s drugim GPS prijamnikom koji se nalazio na referentnoj GPS točki. Oba uređaja, GPS prijamnik i ultrazvučni dubinomjer bili su povezani sa prijenosnim računalom.

Mjerenja su provedena tako da se brodom plovi po prethodno definiranim linijama snimanja, te se uz fiksiranu horizontalnu poziciju dobivenu GPS-RTK metodom, mjeri i dubina jezera ultrazvučnim dubinomjerom koja se pridodaje danoj fiksnoj poziciji. Na taj se način za svaku izmjerenu točku dobiju tri vrijednosti: položajne koordinate (y,x) i dubina jezera (d) koje se potom automatski prenose iz WGS 84 sustava u Gauss-Krügerov koordinatni sustav, tako da je izlazni podatak za poziciju dan u Gauss-Krügerovoj projekciji (y,x). Dakle, sustav omogućuje dobivanje prostornih podataka o poziciji GPS metodom kojima se za svaki trenutak opažanja pridružuje dubina dobivena ultrazvučnim dubinomjerom za taj isti trenutak mjerenja.

9.2. Obrada podataka

Obavljenim mjerenjima određene su točke dna jezera s definiranim horizontalnim položajem u Gauss-Krügerovoj projekciji te dubinom jezera. Aplikacije koje su se koristile prilikom obrade mjerenih podataka su:

- Notepad - nakon obavljene analize i obrade podataka dobivenih direktno s terena svi su podaci eksportirani u obliku "txt" datoteka, koja će nam kasnije poslužiti za izradu 3D modela dna jezera (Slika 40).



"Time"	"GPS Latitude"	"GPS Longitude"	"GPS Elevation"	"GPS Time"	"Y"	"X"	"Raw Depth 1"	"Tide Corr"	"Corr Depth 1"
19:02:51.38	445192.535	153581.383	597.05	170832	4969180.18	5547541.72	17.08	0.00	17.08
19:02:52.38	445192.526	153581.389	597.05	170833	4969180.01	5547541.79	17.11	0.00	17.11
19:02:53.38	445192.517	153581.395	597.02	170834	4969179.85	5547541.88	17.16	0.00	17.16
19:02:54.39	445192.508	153581.401	596.95	170835	4969179.68	5547541.96	17.18	0.00	17.18
19:02:55.39	445192.499	153581.405	596.95	170836	4969179.52	5547542.02	17.22	0.00	17.22
19:02:56.39	445192.486	153581.408	596.93	170837	4969179.28	5547542.05	17.30	0.00	17.30
19:02:57.39	445192.465	153581.411	596.94	170838	4969178.90	5547542.09	17.33	0.00	17.33
19:02:58.39	445192.438	153581.412	596.95	170839	4969178.39	5547542.11	17.43	0.00	17.43
19:02:59.39	445192.400	153581.413	596.94	170840	4969177.69	5547542.13	17.54	0.00	17.54
19:03:00.39	445192.352	153581.414	596.94	170841	4969176.81	5547542.15	17.73	0.00	17.73
19:03:01.40	445192.292	153581.417	596.94	170842	4969175.69	5547542.20	17.94	0.00	17.94
19:03:02.40	445192.222	153581.428	596.94	170843	4969174.39	5547542.35	18.20	0.00	18.20
19:03:03.40	445192.142	153581.446	596.95	170844	4969172.91	5547542.60	18.76	0.00	18.76
19:03:04.40	445192.054	153581.470	596.94	170845	4969171.29	5547542.93	19.32	0.00	19.32
19:03:05.40	445191.961	153581.496	596.94	170846	4969169.57	5547543.28	19.21	0.00	19.21
19:03:06.40	445191.866	153581.513	596.92	170847	4969167.80	5547543.52	19.62	0.00	19.62
19:03:07.41	445191.770	153581.513	596.98	170848	4969166.03	5547543.53	19.74	0.00	19.74
19:03:08.41	445191.677	153581.495	596.99	170849	4969164.31	5547543.31	19.86	0.00	19.86
19:03:09.41	445191.591	153581.457	596.96	170850	4969162.71	5547542.82	19.96	0.00	19.96
19:03:10.41	445191.515	153581.408	596.98	170851	4969161.30	5547542.18	20.06	0.00	20.06
19:03:11.41	445191.439	153581.345	596.98	170852	4969159.89	5547541.36	19.99	0.00	19.99
19:03:12.41	445191.364	153581.282	596.98	170852	4969158.49	5547540.54	19.96	0.00	19.96
19:03:13.41	445191.286	153581.207	596.99	170854	4969157.05	5547539.57	19.85	0.00	19.85
19:03:14.41	445191.210	153581.125	597.03	170855	4969155.63	5547538.49	19.71	0.00	19.71
19:03:15.42	445191.133	153581.041	597.00	170856	4969154.19	5547537.41	19.61	0.00	19.61
19:03:16.42	445191.064	153580.945	597.02	170857	4969152.90	5547536.15	19.44	0.00	19.44
19:03:17.42	445190.998	153580.847	596.98	170858	4969151.67	5547534.87	19.36	0.00	19.36
19:03:18.42	445190.937	153580.746	597.01	170859	4969150.53	5547533.54	19.07	0.00	19.07
19:03:19.42	445190.882	153580.638	596.96	170900	4969149.50	5547532.13	18.90	0.00	18.90
19:03:20.42	445190.833	153580.525	596.97	170901	4969148.59	5547530.64	18.72	0.00	18.72
19:03:21.42	445190.790	153580.405	596.96	170902	4969147.77	5547529.07	18.52	0.00	18.52
19:03:22.43	445190.754	153580.283	597.01	170903	4969147.09	5547527.47	18.31	0.00	18.31
19:03:23.43	445190.722	153580.164	596.97	170904	4969146.49	5547525.91	18.10	0.00	18.10
19:03:24.43	445190.690	153580.045	597.00	170905	4969145.90	5547524.35	17.91	0.00	17.91
19:03:25.43	445190.654	153579.928	597.00	170906	4969145.22	5547522.81	17.71	0.00	17.71
19:03:26.43	445190.615	153579.811	596.98	170907	4969144.48	5547521.27	17.49	0.00	17.49
19:03:27.43	445190.573	153579.694	596.98	170908	4969143.68	5547519.74	17.26	0.00	17.26
19:03:28.44	445190.528	153579.577	596.98	170909	4969142.84	5547518.21	17.04	0.00	17.04
19:03:29.44	445190.483	153579.460	596.97	170910	4969142.00	5547516.67	16.84	0.00	16.84
19:03:30.44	445190.438	153579.341	597.00	170911	4969141.16	5547515.11	16.55	0.00	16.55
19:03:31.44	445190.394	153579.217	597.00	170912	4969140.33	5547513.49	16.24	0.00	16.24
19:03:32.44	445190.349	153579.090	596.98	170913	4969139.49	5547511.81	16.00	0.00	16.00
19:03:33.44	445190.305	153578.959	596.98	170914	4969138.65	5547510.09	15.65	0.00	15.65
19:03:34.44	445190.260	153578.826	596.98	170915	4969137.81	5547508.35	15.37	0.00	15.37
19:03:35.44	445190.214	153578.692	597.00	170916	4969136.95	5547506.60	15.09	0.00	15.09
19:03:36.45	445190.167	153578.560	596.99	170917	4969136.06	5547504.85	15.23	0.00	15.23
19:03:37.45	445190.118	153578.427	596.98	170918	4969135.14	5547503.12	14.53	0.00	14.53
19:03:38.45	445190.066	153578.294	596.99	170919	4969134.16	5547501.37	14.32	0.00	14.32
19:03:39.45	445190.013	153578.164	597.00	170920	4969133.16	5547499.66	14.00	0.00	14.00
19:03:40.45	445189.955	153578.034	597.00	170921	4969132.08	5547497.96	13.79	0.00	13.79
19:03:41.45	445189.893	153577.904	597.01	170922	4969130.92	5547496.25	13.47	0.00	13.47

Slika 40: Podaci u notepadu

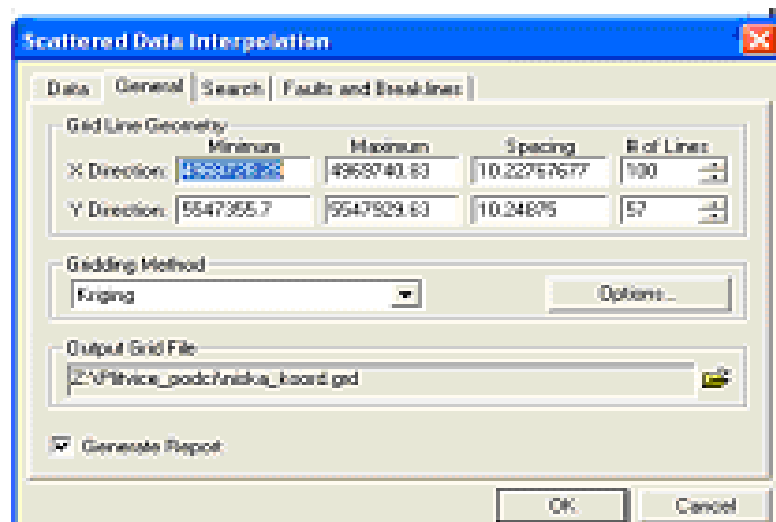
- Microsoft Excel - podaci su prebačeni iz notepada i dodatno obrađeni. Izračunata je visina dna jezera, tako da je od GPS visine oduzeta dubina jezera. Treba naglasiti da se tako izračunata visina dna jezera odnosi na WGS 84 elipsoid. Stvorena je "xls" datoteka koja sadržava podatke mjerenja

(Gauss- Krügerove Y i X koordinate i elipsoidne visine dna jezera Z) (Slika 41). Takva “xls” datoteka služi nam kao ulazna datoteka za software Golden Surfer 7. Stvorene su dvije “xls” datoteke. Jedna za podatke niskofrekventne, a druga za podatke visokofrekventne sonde.

	Y	X	Z
1	4999180	5547542	579,97
2	4999180	5547542	579,94
3	4999180	5547542	579,88
4	4999180	5547542	579,77
5	4999180	5547542	579,73
6	4999179	5547542	579,63
7	4999179	5547542	579,61
8	4999179	5547542	579,52
9	4999178	5547542	579,4
10	4999177	5547542	579,21
11	4999176	5547542	579
12	4999174	5547542	578,74
13	4999173	5547542	578,19
14	4999171	5547543	577,62
15	4999170	5547543	577,73
16	4999169	5547544	577,3
17	4999166	5547544	577,24
18	4999164	5547543	577,13
19	4999163	5547543	577
20	4999161	5547542	576,92
21	4999160	5547541	576,88
22	4999160	5547541	577,02
23	4999157	5547540	577,14
24	4999156	5547538	577,32
25	4999154	5547537	577,38
26	4999153	5547536	577,58
27	4999152	5547535	577,62
28	4999151	5547534	577,94
29	4999150	5547532	576,08
30	4999149	5547531	576,24
31	4999148	5547529	576,44
32	4999147	5547527	576,7
33	4999146	5547526	576,62
34	4999145	5547524	576,09
35	4999145	5547523	576,29
36	4999144	5547521	576,49
37	4999144	5547520	576,72
38	4999143	5547518	576,94
39	4999142	5547517	580,13
40	4999141	5547515	580,45
41	4999140	5547513	580,76
42	4999139	5547512	580,98

Slika 41: “xls” datoteka

- Golden Surfer 7 – prethodna “xls” datoteka nam služi za stvaranje grida (prostorne mreže) (Slika 42). Definirani su stupci na način da je u stupac A postavljena Y koordinata (Gauss- Krügerova), u stupac B X koordinata (Gauss- Krügerova), a u stupac C elipsoidna visina dna jezera (označena sa Z).

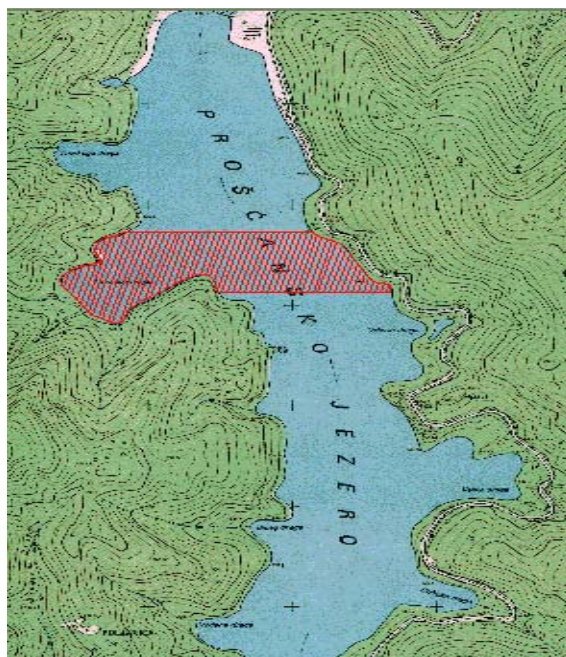


Slika 42: Stvaranje grida

Interpolacija je obavljena *kriging* metodom u programskom paketu Surfer 7. Kriging je geostatistička metoda interpolacije koja omogućuje dobivanje vizualno dopadljive karte iz nepravilno raspoređenih ulaznih podataka (koordinata). Kriging kao metoda interpolacije zadržava trendove koji su izraženi u ulaznim podacima tj. zadržava i ne mijenja njihove vrijednosti kod postupka interpolacije već ih uzima kao fiksne. Ova metoda zapravo predstavlja idealan izbor za interpolaciju ulaznih podataka koji su korišteni za tvorbu ovog trodimenzionalnog modela dijela dna Prošćanskog jezera.

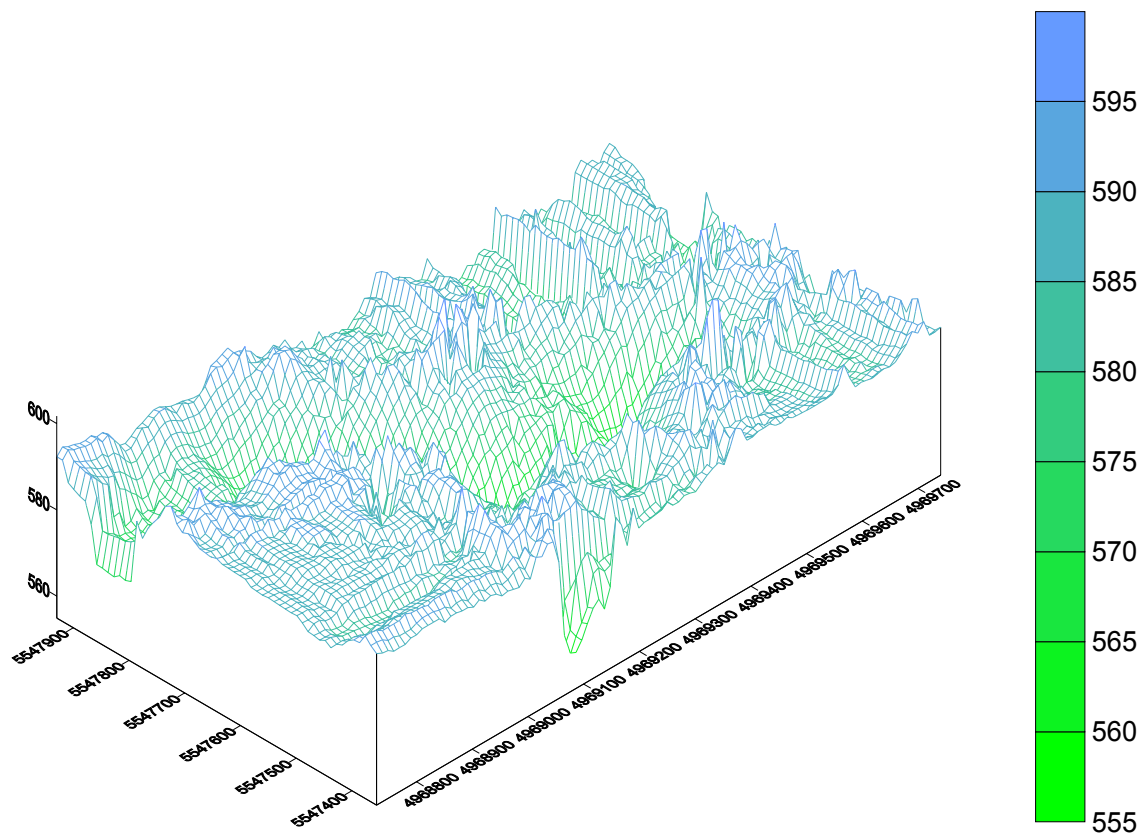
9.3. 3D model Prošćanskog jezera

Na slici 43 označen je dio korištenog dijela podataka od cjelokupne izmjere Prošćanskog jezera.

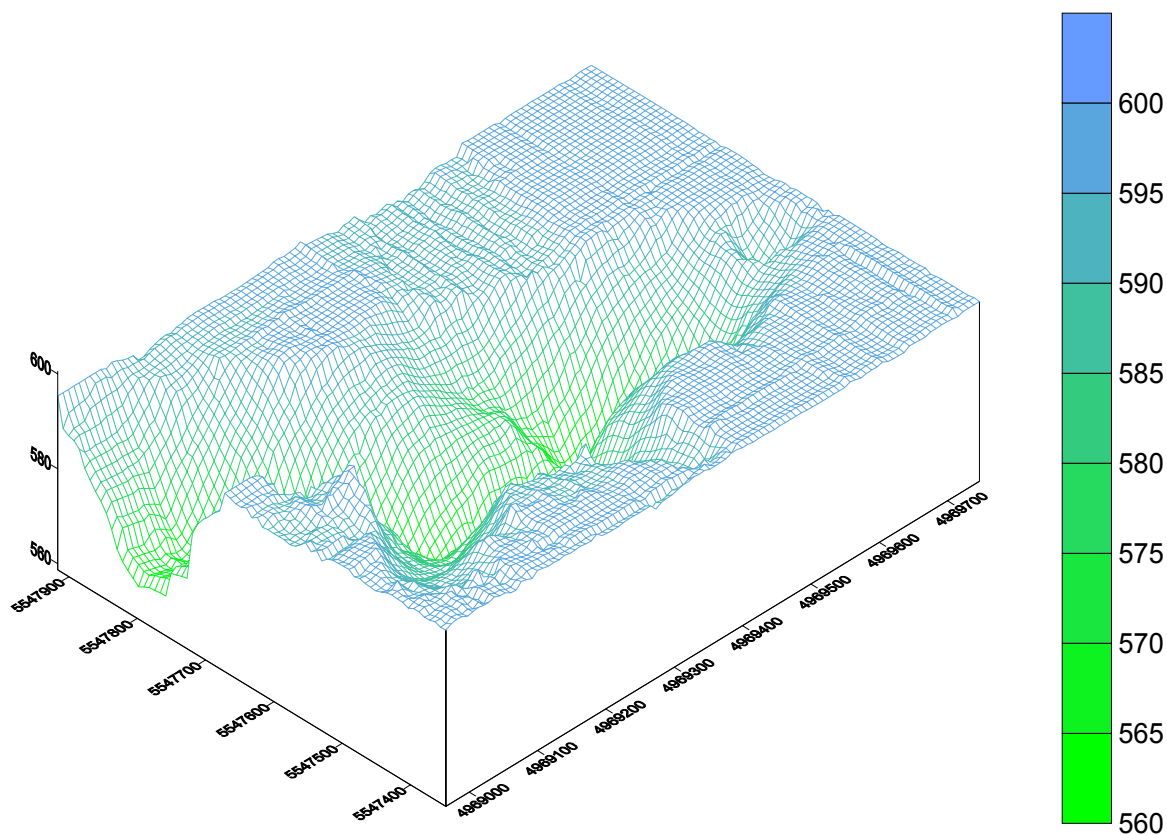


Slika 43: Prikaz korištenog dijela podataka

Pošto je Prošćansko jezero izmjereno s dvije sonde, prvo nisko frekventnom sondom, a potom visoko frekventnom sondom, nastala su i dva potpuno različita trodimenzionalna modela (Slika 44 i Slika 45).

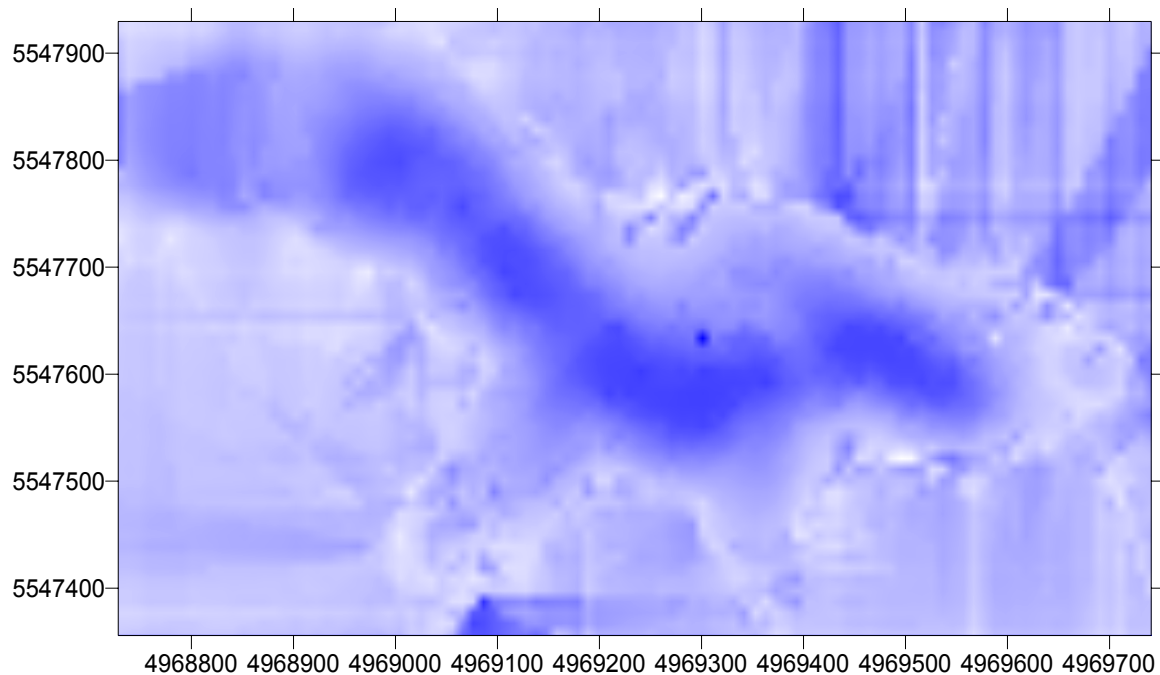


Slika 44: Žičani 3D model dna jezera – niskofrekventna (33 kHz) sonda

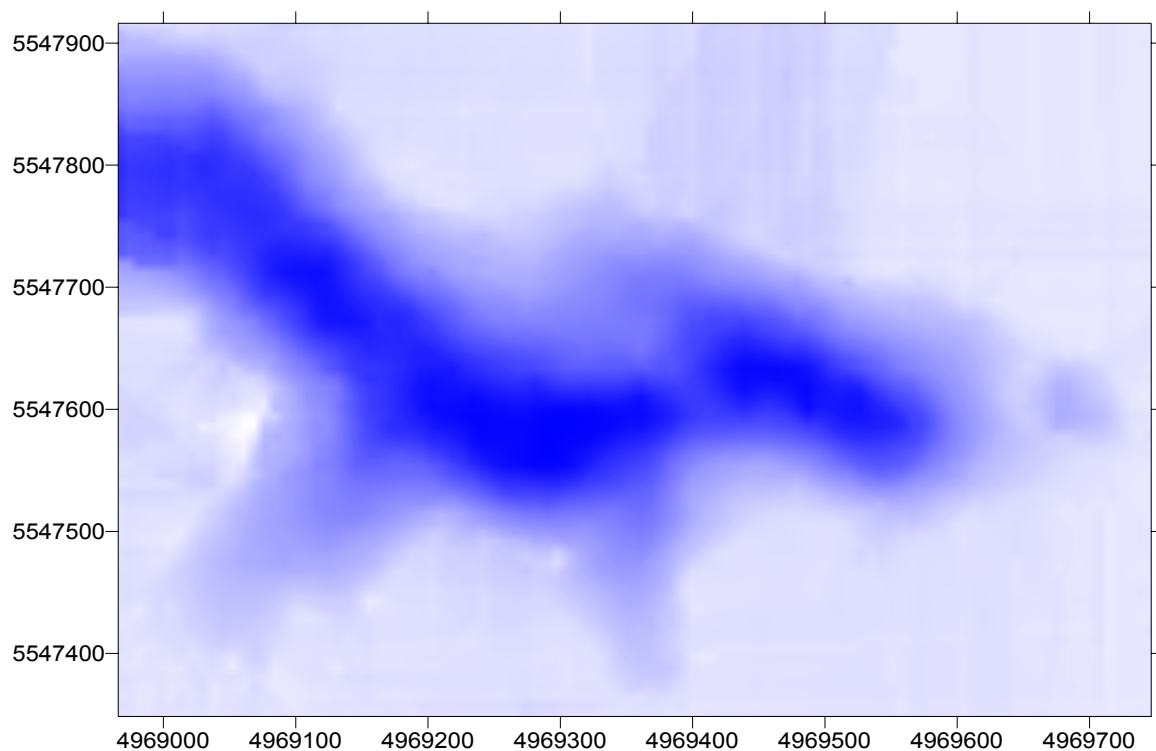


Slika 45: Žičani 3D model dna jezera – visokofrekventna (210 kHz) sonda

Sa visokofrekventnom sondom možemo odrediti oblik dna i dubinu jezera, jer se njezin signal odbija od prve prepreke na koju naiđe, bez obzira bio to kamen ili mulj. Glavna primjena nisko frekventne sonde je snimanje sedimentnih i sedrenih naslaga, zbog toga što ona zbog jačine svoje frekvencije može prodrijeti duboko dok ne naiđe na tvrdi prepreku (stijenu). Na taj način moguće je odrediti debljinu nataložene sedre u jezeru. Saznanjem o debljini sedre moguće je praćenje ciklusa osedavanja jezera. Iz gore navedenih modela vidi se da je niskofrekventna sonda na mjestima prodrla i do nekoliko metara dublje od visokofrekventne sonde. Na temelju tog saznanja može se zaključiti da u ovom obrađeno dijelu Prošćanskog jezera ima debelih naslaga sedre, što nije nikakva novost jer se zna da su upravo sedrene barijere glavni fenomen plitvičkih jezera.



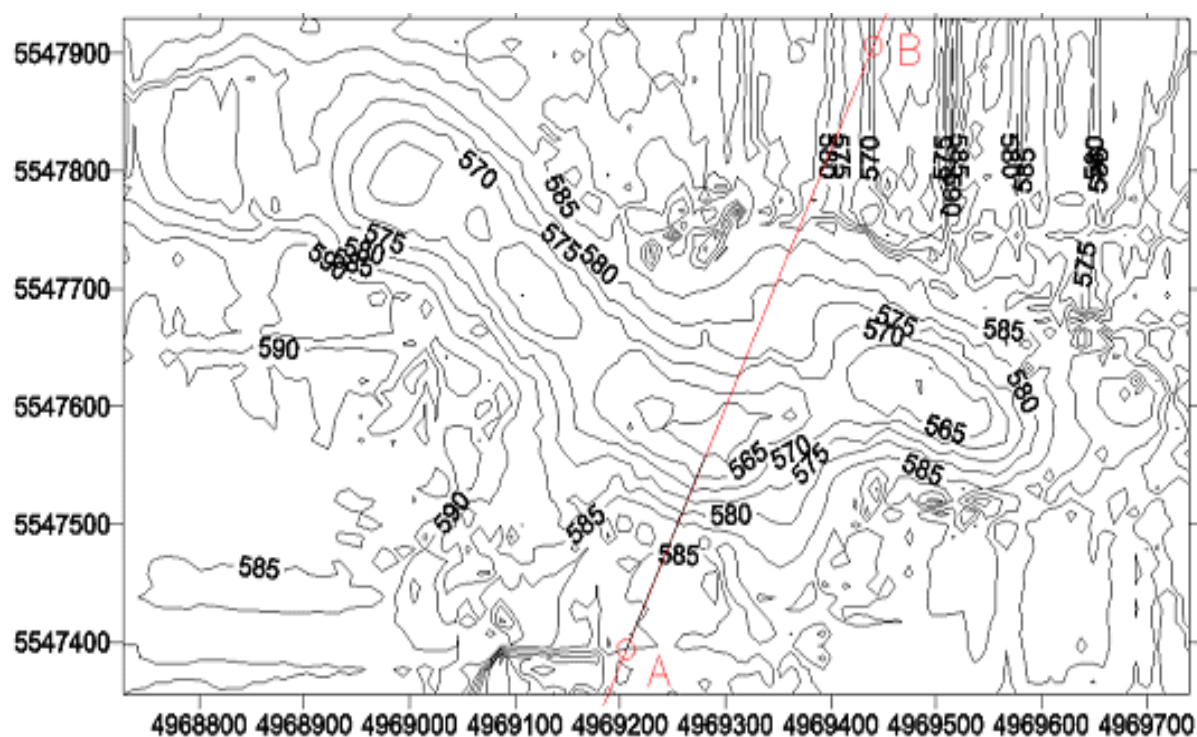
Slika 46: Prikaz image – niskofrekventna (33 kHz) sonda



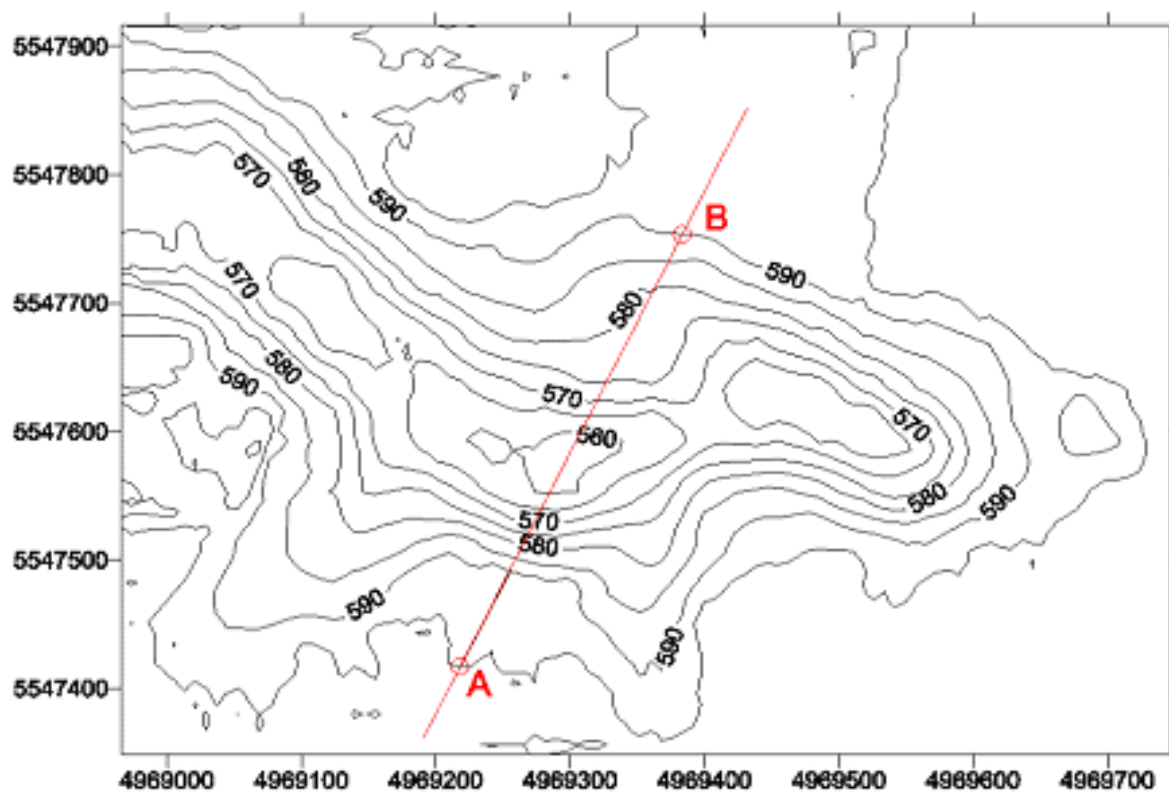
Slika 47: Prikaz image – visokofrekventna (210 kHz) sonda

Na slikama 46 i 47 prikazan je model jezera kao slika. Mjesta sa većom dubinom su tamnija, dok se svjetlija boja odnosi na plića područja. Na slikama se jasno vidi na kojim mjestima niskofrekventna sonda prodire dublje od visokofrekventne.

9.4. Slojni prikaz dna jezera



Slika 48: Slojni prikaz dna jezera – niskofrekventna (33 kHz) sonda

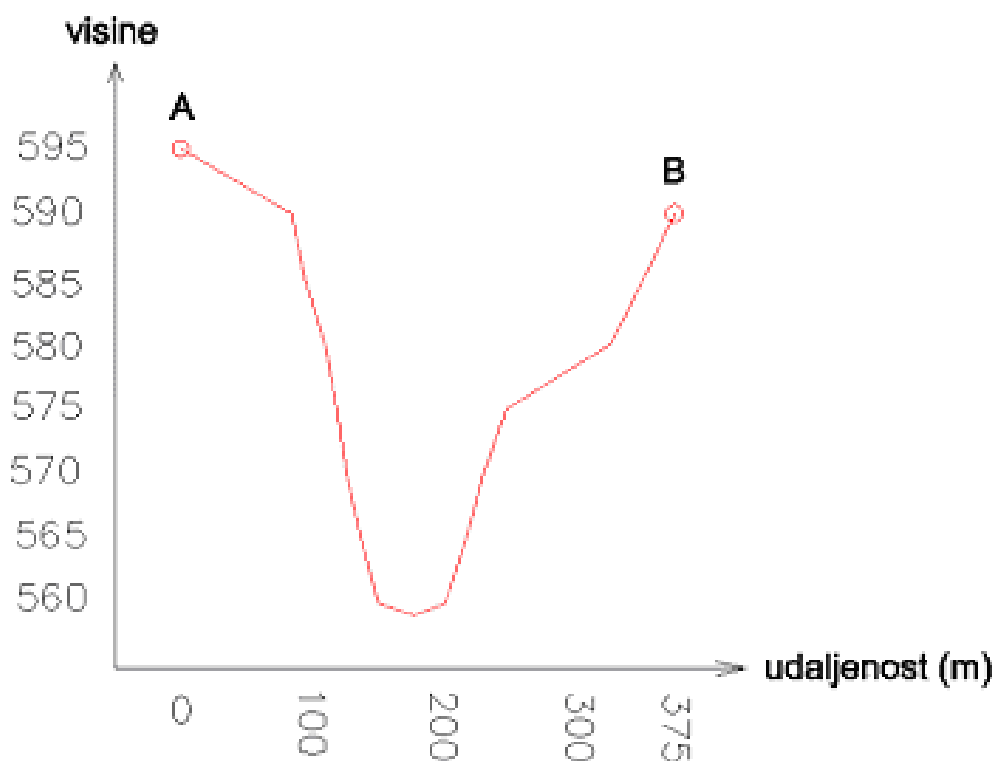


Slika 49: Slojni prikaz dna jezera – visokofrekventna (210 kHz) sonda

Na oba slojna prikaza na istom mjestu povučeni su profili (crvena crta od A do B) uz pomoć kojih su napravljene grafovi za obe sonde (Slika 50 i Slika 51). Na temelju ova dva grafa može se zaključiti na kojim mjestima niskofrekventna sonda prodire dublje od visokofrekventne.



Slika 50: Graf- niskofrekventna (33 kHz) sonda



Slika 51: Graf – visokofrekventna (210 kHz) sonda

10. SADRŽAJ PRILOŽENOG MEDIJA (CD-a)

Na priloženom mediju pohranjeni su podaci korišteni pri izradi diplomskog rada i svi postignuti rezultati. Logički su organizirani prema smislu (Tablica 3).

Tablica 3: Sadržaj priloženog medija

RB.	Mapa/ Datoteka	Sadržaj
1.	Diplomski.doc	Tekst diplomskog rada
2.	Model.srf	Trodimenzijski model dna jezera
3.	Podaci.txt	Podaci u notepadu
4.	Podaci.xls	Podaci u Microsoft Excelu
5.	Podaci.grd	Grid datoteka za modeliranje u Surferu
6.	Plitvice-32.tif	Skaniрани list HOK-a
7.	Slojnice.dxf	Slojnice u AutoCad uz pomoć kojih su napravljeni profili

11. Zaključak

Prilikom izmjere Proščanskog jezera koristila se najmodernija geodetska tehnologija, a to su integrirani sustavi. U ovom slučaju integrirani sustavi obuhvaćaju kombinaciju GPS/RTK metode mjerenja s mjerenjima ultrazvučnog dubinomjera, pri čemu na računalu možemo automatski pregledavati izmjereno područje. Ovom metodom izmjere se u kratkom vremenskom roku dobivaju kvalitetni i precizni podaci. Kasnijom i detaljnijom obradom izmjerenih podataka mogu se dobiti razni dvodimenzionalni i trodimenzionalni modeli dna jezera. Takvi trodimenzionalni geodetski modeli dna jezera, nakon niza uzastopnih mjerenja u različitim vremenskim razmacima, omogućuju nam uvid u eventualne položajne i visinske promjene dna jezera. Tako na Plitvičkim jezerima korištenjem ovih tehnika mjerenja možemo pratiti promjene u naslagama na dnu jezera, tj. možemo pratiti proces taloženja sedre.

Za izradu ovog diplomskog rada korišten je samo dio podataka od cjelokupne izmjere Proščanskog jezera. Kako je jezero snimano metodom dvofrekventne batimetrije za to područje jezera moguće je na osnovi mjerenja nisko frekventne sonde odrediti debljinu sedre i sedimenta, a na osnovi mjerenja visoko frekventne sonde oblik dna tog područja jezera i njegovu pravu dubinu. Dubina jezera iznosi od 0 do 39, dok je njegova prosječna dubina 20 – 30 m. Na temelju podataka dobivenih niskofrekventnom sondom dolazimo do zaključka da u ovom obrađenom dijelu Proščanskog jezera ima naslaga sedre, debelih i do nekoliko metara.

Podaci dobiveni ovim geodetskim mjerenjima mogu poslužiti kao baza za analizu i polazište svim ostalim zainteresiranim znanstvenim disciplinama.

Literatura:

- Pribičević, B. (2005): *Pomorska geodezija*, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Zagreb
- Bačić, Ž., Bačić, T. (1999): *Satelitska geodezija II.*, Interna skripta, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Zagreb
- Božičević, S. (1998): *Plitvička jezera – prirodoslovni turistički vodič*, Turistička naknada, Zagreb
- Mastelić - Ivić, S. (2003): *Geodetski radovi u hidrotehnici*, Interna skripta, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Zagreb
- Milošević N. (2004): *Trodimenzijski model dijela dna Prošćanskog jezera*, Diplomski rad, Zagreb
- Wiley, J. & sons (1975): *Sea surveying*, Ingham, Department of Land Surveying, North East London, Polytechnic

POPIS URL-ova:

- URL 1. Hidrografija, http://www.hazu.hr/Dog/Tr24_03.html
- URL 2. Hidrografska izmjera, <http://chatrmaker.ncd.noaa.gov/hsd/hydrog.htm>
- URL 3. Transducer, <http://www.reson.com/TablesTxHy1.html>
- URL 4. NP Plitvička jezera, <http://www.np-plitvicka-jezera.hr>
- URL 5. NP Plitvička jezera, [http://www.croatia.net/0/nparkovi/nparkovi\(6\).asp](http://www.croatia.net/0/nparkovi/nparkovi(6).asp)
- URL 6. Sedra, <http://www.geocities.com/SoHo/Veranda/4801/sedreni.htm>
- URL 7. Trimble 4800, <http://www.trimble.com/PRODUCTS/PDF/4800.pdf>
- URL 8. Golden Surfer, <http://www.goldensoftware.com>



ŽIVOTOPIS

EUROPEAN CURRICULUM VITAE FORMAT



OSOBNE OBAVIJESTI

Ime	JAKŠA BELIĆ
Adresa	ŽRNOVO 704, 20275 ŽRNOVO, O. KORČULA, HRVATSKA
Telefon	020/721282
Faks	
E-pošta	jbelic@geof.hr
Državljanstvo	Hrvatsko
Datum rođenja	14.09.1980.

RADNO ISKUSTVO

- Datum (od – do)
- Naziv i sjedište tvrtke zaposlenja
 - Vrsta posla ili područje
- Zanimanje i položaj koji obnaša
- Osnovne aktivnosti i odgovornosti

ŠKOLOVANJE I IZOBRAZBA

- | | |
|--|---|
| • Datum (od – do) | 1995.-1999. |
| • Naziv i vrsta obrazovne ustanove | Opća gimnazija, Korčula |
| • Osnovni predmet /zanimanje | |
| • Naslov postignut obrazovanjem | |
| • Stupanj nacionalne kvalifikacije (ako postoji) | SSS |
| • Datum (od – do) | 1987.-1995. |
| • Naziv i vrsta obrazovne ustanove | Osnovna škola Petra Kanavelića, Korčula |
| • Osnovni predmet /zanimanje | |
| • Naslov postignut obrazovanjem | |
| • Stupanj nacionalne kvalifikacije (ako postoji) | |

OSOBNOSTNE VJEŠTINE I SPOSOBNOSTI

*Stecene radom/životom, karijerom, a
koje nisu potkrijepljene potvrdoma i
diplomama.*

MATERINSKI JEZIK

HRVATSKI

DRUGI JEZICI

ENGLESKI

- sposobnost čitanja
- sposobnost pisanja
- sposobnost usmenog izražavanja

DOBRO

DOBRO

DOBRO

NJEMAČKI

- sposobnost čitanja
- sposobnost pisanja
- sposobnost usmenog izražavanja

OSNOVNO

OSNOVNO

OSNOVNO

SOCIJALNE VJEŠTINE I SPOSOBNOSTI

*Življenje i rad s drugim ljudima u
višekulturnim okolinama gdje je značajna
komunikacija, gdje je timski rad osnova
(npr. u kulturnim ili sportskim
aktivnostima).*

ORGANIZACIJSKE VJEŠTINE I SPOSOBNOSTI

*Npr. koordinacija i upravljanje osobljem,
projektima, financijama; na poslu, u
dragovoljnom radu (npr. u kulturi i
športu) i kod kuće, itd.*

TEHNIČKE VJEŠTINE I SPOSOBNOSTI

*S računalima, posebnim vrstama
opreme, strojeva, itd.*

Upravljanje računalom, rad u Microsoft Office programima, te CAD programima

UMJETNIČKE VJEŠTINE I SPOSOBNOSTI

Glazba, pisanje, dizajn, itd.

DRUGE VJEŠTINE I SPOSOBNOSTI

Sposobnosti koje nisu gore navedene.

VOZAČKA DOZVOLA

"A i B" kategorija

DODATNE OBAVIJESTI



DODATCI