

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo

Janova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si



26202864

Kandidat:

Tin Kohlenbrand

Hidrografske meritve in analiza različnih metod meritev rečnih profilov na bazenu HE Vuzenica

Diplomska naloga št.: 331

Mentor:

izr. prof. dr. Dušan Kogoj

Somentor:

Iztok Slatinšek

Ljubljana, 2010

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Na mesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisan **TIN KOHLENBRAND** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom
**»HIDROGRAFSKE MERITVE IN ANALIZA RAZLIČNIH METOD MERITEV
REČNIH PROFILOV NA BAZENU HE VUZENICA«.**

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske
separatoteke FGG.

Rogatec, 11.02.2011

(podpis)

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali učitelji inženirske smeri:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 528.47(043.2)

Avtor: Tin Kohlenbrand

Mentor: izr. prof. dr. Dušan Kogoj

Naslov: Hidrografske meritve in analiza različnih metod meritev rečnih
profilov na bazenu HE Vuzenica

Obseg in oprema: 74 str., 43 sl., 8 pregl., 7 graf., 6 en., 5 pril.

Ključne besede: hidrografske meritve, globinomer, merjenje globin

POVZETEK

V diplomski nalogi je predstavljena zgodovina hidrografskih meritev ter razvoj le-teh skozi čas. Opisane so različne metode meritev globine na bazenu HE Vuzenica, ki so v splošnem zelo pomembne pri analizah zaprodenja pred hidroelektrarnami in pri različnih poseganjih na vodah (postavitve nove hidroelektrarne). Podrobno sta opisana tudi dva primera. Prvi opisani primer je iz leta 2009, ki je potekal na Mandraču v Kopru, drugi primer pa sem izvedel sam s pomočjo izposojenega instrumentarija na klasičen način leta 2010. Izvedena je bila tudi analiza petih različnih metod meritev. Prva izmera je bila opravljena leta 2004, druga pa leta 2010 – (obe na klasičen način). Leta 2004 in 2008 sta bili z metodo GNSS opravljeni še tretja in četrta meritev. Peta, zadnja meritev pa je bila opravljena leta 2005 s pomočjo sweep sistema.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

- UDC:** 528.47(043.2)
- Author:** Tin Kohlenbrand
- Supervisor:** Assoc. Ph. D. Dušan Kogoj
- Title:** Hydrographic measurements and analysis of different methods of measuring river profiles at the pool HE Vuzenica
- Notes:** 74 p., 43 fig., 8 tab., 7 graph., 6 eq., 5 ann.
- Key words:** hidrographic survey, echo sounder, measure depths

ABSTRACT

In this thesis, the history of hydrographic surveys and their development through time is presented. The thesis describes various methods of depth measurement carried out at the Vuzenica hydroelectric power plant. These methods are generally very important when performing the analysis of bottom imagery and establishing the effects caused by various kinds of interventions into the water environment (building a hydroelectric power plant). Two such cases were also thoroughly described in this thesis. The first case took place in the Port of Koper in 2009 and I carried out the second one myself in 2010. The latter one was carried out in the classical way using borrowed equipment. The analysis of five various measurement methods was performed. The first measurement were carried out in 2004, whereas the second one took place in 2010 (both were performed in the classical way). In 2004 and 2008 the third and fourth measurement were carried out using the GNSS technique. The fifth and thus the last measurement was performed in 2005 using the hydrographic echo sounder sweep system.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju izr. prof. dr. Dušanu Kogoju za strokovno pomoč pri izdelavi diplomske naloge, za številne nasvete ter kritike.

Posebej se zahvaljujem gospodu Iztoku Slatinšku, ki mi je omogočil izvedbo praktičnega dela diplomske naloge.

Pri praktičnem delu so mi pomagali tudi gospod Kuki, gospod Josip in Marko. Najlepša vam hvala.

Iz srca se zahvaljujem mami Bibi, ki mi je stala ob strani tekom študija. Hvala ti za vse evre in tolarje.

Najlepša hvala tudi puncu Aniti, ki me je spodbujala in bodrila v težkih trenutkih.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD.....	1
2	ZGODOVINA HIDROGRAFSKIH MERITEV.....	3
2.1	Zgodovina hidrografske meritve pri nas.....	5
3	DOLOČANJE POLOŽAJA NA VODI.....	7
3.1	Nekoč.....	7
3.1.1	Astronomska navigacija.....	7
3.1.2	Grafične metode.....	8
3.1.3	Računske metode.....	9
3.1.4	Radijska navigacija.....	10
3.2	Danes.....	11
3.2.1	Motorizirani tahimetri.....	11
3.2.2	GPS.....	13
4	GEOMETRIJA IN GIBANJE PLOVILA.....	17
5	DOLOČITEV GLOBINE.....	21
5.1	METODE.....	21
5.1.1	DIREKTNE METODE.....	21
5.1.1.1	Ročni globinomeri.....	21
5.1.1.1.1	Palica za merjenje globine (sounding pole).....	21
5.1.1.1.2	Ročni globinomer - grezilo, svinčnica.....	23
5.1.1.2	Mehanski globinomer.....	24
5.1.2	INDIREKTNE METODE.....	26
5.1.2.1	Thomsonov mehanski globinomer.....	26
5.1.2.2	Ultrazvočni globinomer.....	27
5.2	NAPRAVE.....	31
5.2.1	GLOBINOMERI.....	31
5.2.1.1	Enosnopni globinomeri (angl. singlebeam).....	31
5.2.1.1.1	Resolucija globinomera (ločljivost, razločljivost).....	32
5.2.1.1.2	Širina merskega snopa.....	34
5.2.1.2	Večsnopni globinomeri ali multibeam sistem.....	36

5.2.1.2.1	Swath sistem.....	36
5.2.1.2.2	Sweep sistem.....	38
5.2.2	SONAR	39
5.2.2.1	Bočni sonar	39
5.2.2.2	Skenirni sonar	42
5.2.3	LASERSKE METODE MERJENJA GLOBIN	44
5.2.3.1	ALB sistem	44
6	OPIS PRIMERA IZMERE V KOPRU	47
6.1	Opis	47
6.2	Podatki hidrografske izmere	47
6.2.1	Specifikacije zahtev meritev	47
6.2.2	Območje izmere	48
6.3	Planiranje meritev	48
6.3.1	Uporabljena strojna in programska oprema	49
6.4	Izvedba izmere	49
6.4.1	Merilni sistem na čolnu	49
6.4.2	Klasična izmera pasu ob pomolih in ob obali	51
6.4.3	Koordinatni sistem	51
6.4.4	Kalibracija merilne opreme.....	51
6.4.4.1	Določitev časovne zakasnitve.....	51
6.4.4.2	Kontrola delovanja globinomera	51
6.4.4.3	Kontrola delovanja GNSS sprejemnika	52
6.4.5	Vremenski podatki v času izmere	52
6.5	Obdelava meritev.....	52
6.6	Natančnost in kakovost meritev	52
6.6.1	Zahtevana natančnost meritev	52
6.7	Rezultati meritev.....	53
6.8	Ekipa.....	53
7	IZVEDBA MERITEV NA BAZENU HE VUZENICA	54
7.1	Faze geodetskih del.....	54
7.1.1	Priprava in načrtovanje	54
7.1.2	Pridobitev dovoljenja	55

7.2	Meritve	55
8	OBDELAVA IN REZULTATI MERITEV	59
8.1	Obdelava podatkov	59
8.2	Izračun koordinat in ugotavljanje grobih pogreškov	60
8.3	Kartiranje izmerjenih profilov	62
8.4	Analiza rezultatov	63
8.4.1	Površine ločene glede na leto meritev – zaprodenje	64
8.4.2	Površine ločene glede na metodo meritev	67
8.4.3	Površine glede na višino gladine vode	68
9	ZAKLJUČEK.....	72
	VIRI.....	74

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Sistem označevanja po angleških pravilih	25
Preglednica 2: Površine ločene po letih – ista metoda.....	64
Preglednica 3: Površine ločene po letih – ista metoda (GNSS).....	65
Preglednica 4: Površine ločene po metodah – isto leto.....	67
Preglednica 5: Primerjava površin različnih metod meritev – gladina 330,36 m	68
Preglednica 6: Primerjava površin različnih metod meritev – gladina 330,04 m	69
Preglednica 7: Primerjava površin različnih metod meritev – gladina 329,36 m	69

KAZALO SLIK

Slika 1: Sekstant iz sredine 19. Stoletja.....	8
Slika 2: Merjenje kotov iz obale proti ladiji	9
Slika 3: Trilateracija	10
Slika 4: Sistem Leica TCRP 1203 z daljinskim upravljavcem RX 1220 in 360°	12
Slika 5: Pomoč GPS tehnologije pri merjenju rečnih profilov	13
Slika 6: GPS satelit.....	14
Slika 7: Tirnice GPS satelitov	15
Slika 8: Povezava na omrežje stalno delujočih postaj	15
Slika 9: Prikaz osi na plovilu.....	17
Slika 10: Nagibanje čolna Pitch	18
Slika 11: Nagibanje čolna Roll.....	18
Slika 12: Prikaz gibanja plovila.....	19
Slika 13: Ilustracija različnih premikov sonde (nestabilnost)	20
Slika 14: Merjenje s palico za sondiranje	22
Slika 15: Merjenje globine s svinčnico	24
Slika 16: Prikaz odstopanja pri merjenju globine	26
Slika 17: Primer globinomera Hydrotrac	28
Slika 18: Shema glavnih komponent ultrazvočnega globinomera.....	29
Slika 19: Prikaz pokritosti območja z enosnopnim globinomerom.....	32
Slika 20: Horizontalna in vertikalna resolucija	32
Slika 21: Prikaz meritev in rezultatov pri merjenju razgibanega dna	33
Slika 22: Vertikalno razločevanje globinomera	34
Slika 23: Efekt nevertikalnih signalov pri različnih širinah snopa	35
Slika 24: Široko in ozko snopni globinomer	35
Slika 25: Prikaz pokritosti območja s Swath sistemom.....	37
Slika 26: Prikaz pokritosti območja s Sweep sistemom.....	39
Slika 27: Bočni sonar	41
Slika 28: Prikaz potopljene ladje na dnu morja.....	42
Slika 29: Letalsko snemanje morskega dna.....	44

Slika 30: Območje izmere	48
Slika 31: Shematski prikaz namestitve opreme pri nastavitvi sonde na boku čolna	50
Slika 32: Shematski prikaz namestitve opreme pri nastavitvi sonde na premcu čolna ...	50
Slika 33: Situacija opazovanega oziroma delovnega območja	56
Slika 34: Glavni meni v simulatorju GPS upravljalnika	57
Slika 35: Potek meritev s pomočjo trasirke.....	58
Slika 36: Vodja izmere – meritev z utežjo in ročnim merskim trakom	58
Slika 37: Uvoz surove (raw) datoteke v program Leica GeoOffice	59
Slika 38: Odvečne točke v programu Leica Geo Office	60
Slika 39: Popravek koordinat in orientacijskega kota v programu LGO.....	61
Slika 40: Izris urejenih meritev v programu LGO.....	61
Slika 41: Izvoz Ascii datoteke iz programa LGO	62
Slika 42: Točke premaknjene v linijo v programu Geos7	62
Slika 43: Izris profila v programu AutoCAD	63

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Površine ločene po letih – ista metoda (klasično).....	64
Grafikon 2: Površine ločene po letih – ista metoda (GNSS)	65
Grafikon 3: Površine ločene po metodah – isto leto.....	67
Grafikon 4: Primerjava površin različnih metod meritev – gladina 330,36 m	68
Grafikon 5: Primerjava površin različnih metod meritev – gladina 330,04 m	69
Grafikon 6: Primerjava površin različnih metod meritev – gladina 329,36 m	70

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

IHO	International Hydrographic Organization
HE	hidroelektrarna
USCS	United States Coast Survey
RAR	Radio Acoustic Ranging
LORAN	LONg RANge Navigation
LIDAR	Laser Airborne Depth Sounder
WGS 84	World Geodetic System 1984
ENC	Electronic Navigation Chart
EMV	elektro-magnetno valovanje
GPS	Global Positioning System
APT	avtomatsko prepoznavanje tarče
AVT	avtomatsko viziranje tarče
AST	avtomatsko sledenje tarče
AIT	avtomatsko iskanje tarče
ATR	Automatic Target Recognition
RTK	Real Time Kinematic
ALB	Airborne Laser Bathymetry
INS	Inertial Navigation Sistem
IR	infrardeč
DEM	Dravske elektrarne Maribor
LGO	Leica Geo Office
MP	Ministrstvo za promet
MOP	Ministrstvo za okolje in prostor
ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
ROV	Remotely operated vehicle
GURS	Geodetska uprava Republike Slovenije
DGPS	Differential Global Positioning System
GNSS	Globalni navigacijski satelitski sistem
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989

D96/TM Pravokotni ravninski koordinatni sistem

1 UVOD

Geodezija je ena izmed najstarejših ljudskih dejavnosti in hkrati tudi veda o merjenju, dimenziji in določitvi oblike Zemlje kot celote ali njenega dela. Njena osnovna naloga je izmera zemeljskega površja in pravilen prikaz le-tega na geodetskih načrtih in kartah. Ena izmed vej geodezije je hidrografija, ki se ukvarja z geodetsko izmero, obdelavo in vizualizacijo podatkov, vezanih na dele Zemljine površine, pokrite z vodo. To so na primer oceani, morja, reke in jezera (Pribičević, 2005).

Hidrografija je znanstvena veda, ki zajema meritve in opis objektov v priobalnem pasu ter na vodah samih (Krajnc, 2006). Namen takšnih meritev je navigacija ter drugi navtični nameni in aktivnosti, vključno z obalnimi aktivnostmi, raziskavami, varovanjem okolja in ostalimi dejavnostmi za spremljanje dogajanja na morju, rekah ali jezerih. Hidrografija je področje, ki je glede na obstoječe predpise in standarde zelo natančno definirano. Za definicije standardov in predpisov skrbi mednarodna hidrografska organizacija IHO (International Hydrographic Organization). Ta teži k čim večji standardizaciji navtičnih produktov, izobraževanj in hidrografskih meritev (Kolenc, 2005).

Hidrografijo delimo na oceanografijo, ki se ukvarja z merjenji oceanov ter morij, in limnografijo, ki se ukvarja z merjenji rek in jezer. Hidrografska meritev predstavlja sočasno določitev globine vode in hkrati položaj določene točke, pri tem pa ne smemo zanemariti plimovanja, valovanja in drugih vplivov na meritev (Lekkerkerk, Velden, Roders, Haycock, Vries, Jansen, Beemster, 2006).

Merjenja vključujejo tudi merjenja dna, s katerimi dobimo geološka znamenja, ki vključujejo stene, pečine, grebene itd. Ta znamenja predstavljajo veliko tveganje za plovbo, zato so nam merjenja v pomoč, da določimo plovno pot ladjam. Glede na zahteve meritev izberemo tudi instrumentarij in metodo meritev (Kolenc, 2005). Zaradi tega so se skozi obdobja razvijale različne metode merjenja. Kljub sodobni tehnologiji, ki omogoča hiter zajem podatkov, ter sodobni programske opreme, ki nam omogoča enostavnejše združevanje in obdelavo vseh podatkov, so hidrografske meritve – če želimo doseči ustrezno oziroma zahtevano natančnost – še vedno ene najzahtevnejših meritev. Merjenja na kopnem lahko ob slabih rezultatih še vedno ponovimo, kar pa ne velja za meritve na vodi, saj je veliko različnih dejavnikov, ki

vplivajo na natančnosti meritev (valovanje, vetrovi, nagibi plovila in sonde,...) (Kolenc, 2005).

Namen diplomske naloge je predstavitev klasične meritve rečnega profila reke Drave na bazenu hidroelektrarne (v nadaljevanju HE) Vuzenica in tudi ves uporabljen instrumentarij.

2 ZGODOVINA HIDROGRAFSKIH MERITEV

Zgodovinski muzeji pomorske geodezije v svojih začetkih hranijo rokopisne pomorske karte, ki so se začele pojavljati v 13. stoletju pod imenom portulani. Njihov pojav je vezan na pojav in uporabo kompasa v pomorstvu. Na teh kartah so poleg morja in obalnega področja prikazani tudi nasveti za plovbo, posebne tablice za računanje položaja ladje, podatki o lukah in obalah, včasih pa tudi astronomski koledar (Slukan, 1998).

V 14. in 15. stoletju je nastalo okoli 130 rokopisnih portulantskih kart Sredozemlja in sosednjih morij. Najbolj znani centri za izdelavo portulanov so se nahajali na Balearih in v Valencii, kjer so jih izdelovali vse do konca 16. stoletja, ko so jih zamenjale pomorske karte v Mercatorjevi projekciji (Slukan-Altić, 2003). Velika pomanjkljivost portulantskih kart je, da so izmerjene dolžine, ki so se uporabljale za dejansko dolžino, zelo variirale glede na obdobje in podnebje.

Leta 1660 se je začela prva hidrografska izmera, ki je zajemala obalo Francije, Španije in Italije, za osnovno izmero pa se je uporabljala triangulacijska izmera. V začetku 18. stoletja so se začela prva merjenja oceanov in izdelave tematskih kart oceanov. To obdobje še vedno pripada francoskim in britanskim hidrografom, ki so najbolj napredni v teh merjenjih. V Franciji so leta 1720 ustanovili prvi državni hidrografski servis. Leta 1785 je njegovo vodenje prevzel Charles Beautemps-Beaupré, ki velja za očeta znanstveno utemeljene hidrografije. Uvedel je nove metode pomorske izmere, sestavljeno izmero morskega akvatorija, kot tudi reševanje določitve geografskega položaja (Pribičević, 2005).

Zgodovina razvoja instrumentarija in merjenja na področju hidrografije so vezana tudi na prva oceanografska merjenja, ki so se začela v začetku 19. stoletja in se navezujejo na Združene Države Amerike. Leta 1807 se je ustanovila USCS (United States Coast Survey). Konstruirane so bile prve oceanografske ladje in izvedena so bila prva globokomorska merjenja, da bi raziskali možnosti življenja v globinah. Zaradi teh raziskovanj smo pridobili tudi prvi Sigsbeeov merilni stroj za merjenja globin, ki kot prvi uporablja železno vrv (jeklenico), katera izboljša natančnosti meritev. Prva moderna in natančna batimetrijska karta izvira iz leta 1875 in prikazuje Mehiški zaliv. Batimetrija je tehnika merjenja globin in ima

značilno vlogo v zgodovini razvoja pomorske geodezije glede na hidrografijo. V tem času je bila prav tako izdelana tridimenzionalna slika oceanskega področja. Na področju Jadrana so se večji premiki začeli v letih od 1822 do 1824, ko so člani Avstro-Ogrske mornarice izvedli natančnejše izmere. Prva sestavljena izmera Jadrana se je začela leta 1866 in temelji na geodetski osnovi, ki jo je postavil Vojno-geografski inštitut iz Dunaja. Izmera je trajala polna 4 leta in je zajela celotno slovensko, hrvaško, črnogorsko in albansko obalo.

Prelomnica v razvoju metod meritev pomorske geodezije predstavlja leto 1919, ko so začeli uporabljati tako prve zvočne globinomere kot tudi nove metode meritev. Ta vrsta globinomerov predstavlja začetke elektronizacije hidrografije. Istočasno z razvojem globinomerov se je razvil tudi Radio Acoustic Ranging (RAR), prvi navigacijski sistem, ki se lahko uporablja v katerih koli vremenskih in dnevnih pogojih (Pribičević, 2005).

Oceanografija in pomorska znanost sta zaradi bitk na morju zelo napredovali tudi v času druge svetovne vojne. Takrat so se razvili novi instrumenti in tehnike za določanje položaja kot so: radarski sonarji, zvočni merilni sistemi, podvodne fotografske kamere, ki so se uporabljale za poizvedovanje in odkrivanje nasprotnikovih ladij. Po drugi svetovni vojni so se ponovno začeli razvijati globinomeri in nov sistem navigacije, imenovan shoran, bočno merjeni sistemi ter večsnopni sistemi, ki se je začel uporabljati v letu 1963. Trenutno razvijajo sisteme, ki pokrivajo vedno večje površine Zemlje. Eden izmed takšnih sistemov se imenuje LORAN (LONG RANGE Navigation), ki je globalni sistem za pozicioniranje GPS (Global Positioning System). Strokovnjaki na tem področju razvijajo tudi nove inštrumente za uporabo v hidrografske geodeziji, kot so na primer: ultrazvočni globinomer, bočni globinomer (Side Scan Sonar), širokokotni večsnopni globinomer (Multibeam Echo sounder), laserski zračni globinomer (LIDAR – Laser Airborne Depth Sounder), GPS, inicialni sistemi,... (Pribičević, 2005).

Omeniti je potrebno tudi organizacijo, ki v zgodovini meritev povezuje vsa merjenja - mednarodno hidrografske organizacijo (International Hydrographic Organization – IHO), ustanovljeno leto 1921. IHO skbi za koordiniranje in standardizacijo hidrografskih meritev ter izdelavo pomorskih navigacijskih kart. Njena glavna naloga je koordinacija aktivnosti nacionalnih (državnih) hidrografskih institucij zaradi izenačevanja metod hidrografskih meritev in izdelav pomorskih navigacijskih kart (Pribičević, 2005).

2.1 Zgodovina hidrografskih meritev pri nas

Hidrografske dejavnosti v Sloveniji so se začele pred več kot 100-timi leti. Leta 1963 so že opravili meritve na reki Dravi, Muri in Savi (ustni vir). V samostojni republiki Sloveniji pa ti začetki segajo v leto 1997. To leto so na Ministrstvu za promet (MP) ustanovili Direktorat za pomorstvo, ki je začel aktivno sodelovati z Geodetskim inštitutom. Rezultati tega sodelovanja so privedli do resnejših dogovorov za prvo hidrografsko meritev na Slovenskem. Meritev se je začela leta 1998, leto dni kasneje pa smo dobili tudi prvo sodobno karto koprskega zaliva, ki je bila izdelana na elipsoidu WGS 84 (World Geodetic System 1984). Slovenski strokovnjaki hidrografije so prav takrat izdelali kartografski ključ znakov ter krajšav, ki so služile za označevanje slovenskih pomorskih kart (Škulj, 2010).

Leto 2002 je predstavljalo pomembno prelomnico za hidrografske meritve v Sloveniji, saj smo v tem letu postali člani mednarodne hidrografske organizacije IHO in že naslednje leto pridobili prvo elektronsko navigacijsko karto (ENC – Electronic Navigation Chart) koprskega zaliva. Leto 2005 je zaznamovala pridobitev digitalnega batimetričnega modela morskega dna. ENC je karta, izdelana iz baze podatkov, ki jo določa standard za vsebino, strukturo in format zapisa. Vsi podatki, ki so nujno potrebni za navigacijo, so zajeti iz analogne karte, prav tako pa lahko vključuje tudi podatke drugih publikacij, za katere menimo, da so pri navigaciji potrebni. Karte se izdelujejo za navigacijske namene. Pri elektronskih kartah gre za najsodobnejšo obliko digitalnih navigacijskih kart, katerih namen je, da poskrbijo za varnost plovbe ter lažjo navigacijo (Kete, 2002). Uporaba elektronskih kart, ki so danes dostopne že vsakomur (tako velikim ladjam kot tudi majhnim jadrnicam), je neizogibna, saj ima veliko prednosti v primerjavi s klasično navigacijo (Škulj, 2010).

3 DOLOČANJE POLOŽAJA NA VODI

Klasične metode določanja položaja se izvajajo na fizični površini Zemlje v nekem lokalnem ali globalnem koordinatnem sistemu. Merjenja se izvajajo glede na določeno začetno ali izhodiščno vrednost. Klasična geodetska merjenja višinskih razlik, kotov, dolžin in azimutov nam dajo podatke, ki so zelo natančni ter nam pogosto služijo kot kontrole meritev. Pomanjkljivosti klasičnih metod meritev v primerjavi z današnjimi satelitskimi in elektromagnetnimi metodami pa so počasnost in neekonomičnost (Pribičević, 2005).

3.1 Nekoč

3.1.1 Astronomska navigacija

Astronomska navigacija, ki so jo nekoč precej uporabljali, je veda, s pomočjo katere je mogoče določiti položaj plovila z opazovanjem nebesnih teles, kot so: Sonce, Luna, planeti ter zvezde. Največji pomen ima ta veda v oceanski navigaciji (Kastelic, Urbas, 2009). Za določitev položaja izmerjenih globin je bilo potrebno določiti in signalizirati primerno število geodetskih točk na obali. Navigacijsko pot so določili od izhodišča do cilja (neke točke). Kadar nimamo na vidiku znanih točk na obali oziroma kopnem, se položaj določi s pomočjo položaja zvezd in sonca. V začetkih navigacije na morju so položaj zvezd še precej raziskovali. Od 15. stoletja, ko so pomorščaki začeli s plutjem preko oceanov, so se začela vedno natančnejša merjenja položaja. Določitev zemljepisne širine ni bila težavna, saj je bilo potrebno izmeriti le višinski kot, ki so ga lahko izmerili z različnimi napravami, kot so astrolab ali kotomer, kasneje pa z natančnejšo napravo – sekstantom (Pribičević, 2005). Določitev zemljepisne dolžine pa je bila težavnejša naloga, saj je bilo v takratnem času z opazovanjem zvezd mogoče določiti le lokalni čas (na ladji), potrebno pa je bilo vedeti tudi čas v domačem pristanišču. Vse do leta 1760, ko je angleški urar John Harrison izdelal dovolj natančno uro (kronometer H4), je bila to nerešljiva uganka pomorščakov. Zanimivo je, da je leta 1762 ta kronometer v dvomesečni plovbi do Jamajke zaostal le 5 sekund (Kastelic, Urbas, 2009).

Astronomska navigacija se je uporabljala v čezoceanskih plovbah vse do leta 1970. Danes je ta navigacija izgubila svojo dominantno vlogo, vendar je še zmeraj prisotna zaradi nekaterih

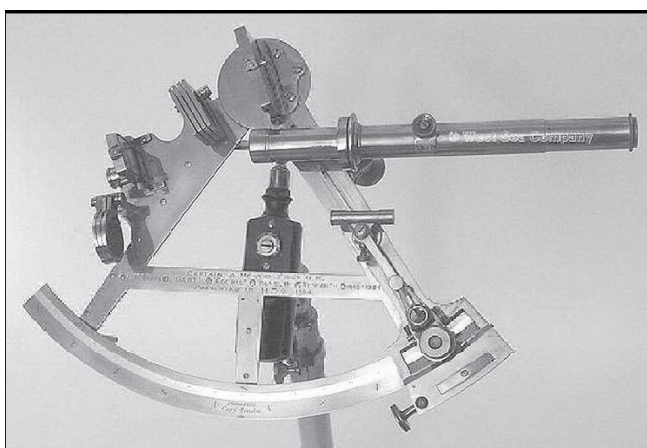
prednosti – vloga neodvisne kontrole, ki povečuje varnost in celovitost ter nepogrešljiva vloga v navigacijskih sistemih z več sensorji. (Pribičević, 2005).

3.1.2 Grafične metode

Pri grafičnih metodah poteka navigacija (varna plovba) v obalnem in priobalnem pasu s pomočjo bližnjih obalnih objektov. Objekti, med katere spadajo svetilniki, večji dimniki, zvoniki, vrhovi izrazitih oblik ter kakšni drugi objekti, ki so vrisani v pomorsko karto, morajo biti vidni na daljavo. Položaj ladje so določili s pomočjo osnovnih navigacijskih pripomočkov, kot so: navigacijski pribor, navigacijski instrumenti ter ostala tehnična sredstva (navtične karte in priročniki, sekstant, kompas, kronometer - naprava za merjenje časa, ...). S pomočjo objektov ter navigacijskih pripomočkov so pridobili podatke, ki so služili za določitev položaja plovila (Košir, 2006).

Grafične metode, ki so se večinoma uporabljale za določitev položaja izmerjene globine, so bile:

- s sekstantom (Slika 1) iz čolna merjena dva horizontalna kota med tremi točkami na obali,
- s sekstantom iz čolna izmerjen horizontalni kot med dvema točkama in s presekom na grafični mizici,
- z dvema presekom na grafični mizici (Jovanović, 1978).



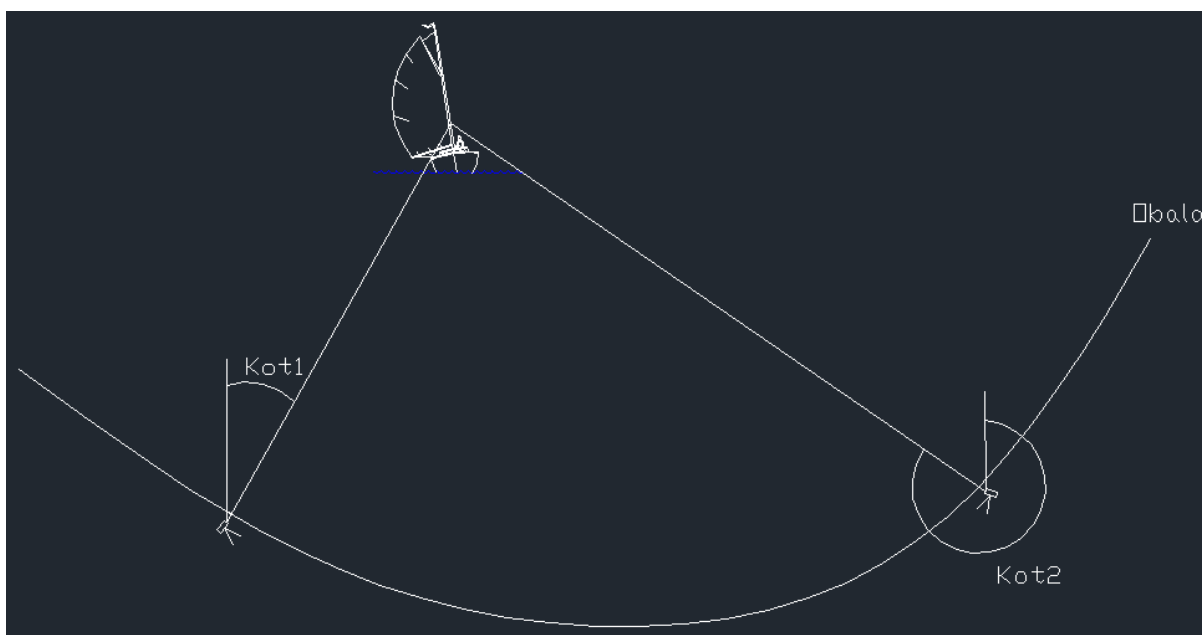
Slika 1: Sekstant iz sredine 19. Stoletja (www.westsea.com)

3.1.3 Računske metode

Preden so se uveljavili elektronski razdaljemerji, so si pri merjenju razdalj ob obali ali na rekah pomagali s sondno žico. Žica je bila dolga od 50 do 200 m, z oznakami na 0,5 in 1 m. En konec žice so pritrdili na močan kol, na levi breg reke, drugi konec pa ovili okoli kola, na desnem bregu ali obratno. Na morju so vpeli en konec žice na obali, drugi konec pa je bil v zasidranem čolnu. Žico je bilo potrebno napeti, da je potekala horizontalno nad gladino vode. V primeru daljših razdalj je prišlo do povešanja žice, kar se je odpravilo tako, da so na enem bregu reke, žico napenjali kar z vitlom. Razdaljo se je tako določilo na podlagi odčitka na žici. Za določanje položajev izmerjenih globin na odprtem morju so uporabljali sekstante na ladjah, kjer so položaj določali predvsem z opazovanjem nebesnih teles, bližje kopnega pa z opazovanjem signaliziranih točk na kopnem (Novak, 1957).

Računske metode so prav tako uporabljali v bližini kopnega. Uporabljene računske metode so bile (Jovanović, 1978):

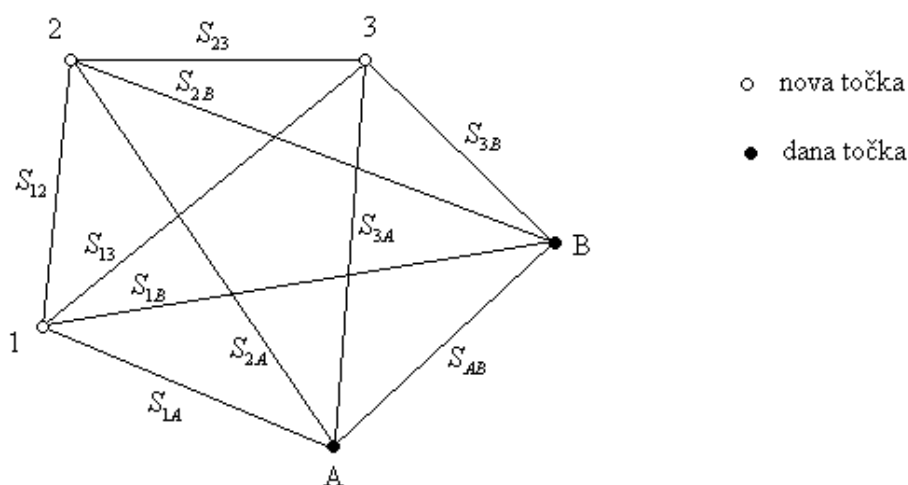
- določitev smeri in oddaljenosti s pomočjo razdaljemera ter hidrografske žice s polarno in ortogonalno metodo,
- določitev horizontalnih kotov z dvema teodolitoma hkrati z dveh geodetskih točk na kopnem (Slika 2).



Slika 2: Merjenje kotov iz obale proti ladji (AutoCad)

3.1.4 Radijska navigacija

Radijska navigacija se je prvič pojavila v dvajsetih letih prejšnjega stoletja. Pred razvojem elektronskih razdaljemerov, so dolžine merili z ročnimi merskimi trakovi ter invar žicami. Po prvi svetovni vojni so razvili radar, ki je deloval na podlagi impulznega načina merjenja. Dolžino so določili na osnovi merjenja porabljenega časa za potovanje elektromagnetnega valovanja (v nadaljevanju EMV). Leto 1930 je zaznamoval razvoj elektronskih razdaljemerov, ki so služili za potrebe geodezije. Položaj na morju so določali s pomočjo EMV-ja, ki je časovno in krajevno ponavljanje nihaja, ki se širi v določeni smeri. Ta metoda je zagotavljala večjo natančnost določanja položaja plovila, kot so jo dosegali z uporabo sekstanta. Ta napredek v tehnologiji je prinesel instrumente z različnimi frekvencami, tako da se je določitev položaja izvajala na kratkih, srednjih ter velikih oddaljenostih. To je vplivalo na podražitev hidrografske opreme na odprtem morju, saj je bilo potrebno vzpostaviti mrežo oddajnikov na kopnem in opremiti plovila s posebnimi sprejemniki. Razdaljo določijo tako, da merijo fazne razlike radijskega signala, ki je bil oddan istočasno ali z minimalnim časovnim zamikom s postaj na kopnem. Položaj plovila dobijo tako, da sta znani razdalji vsaj dveh oddajnikov in ju vstavimo v geometrično formulo. S tem postopkom pridobimo dve rešitvi, ampak eno točko največkrat izločimo, saj leži na kopnem in je posledično nepomembna. V primeru izračuna s treh postaj dobimo nedvoumno rešitev. Kadar pa pri izračunu uporabimo več kot tri razdalje iz postaj, je potrebno zaradi nadštevilnih opazovanj narediti izravnavo (Kolenc, 2005).



Slika 3: Trilateracija (predavanja geodezija 2)

3.2 Danes

Določanje položaja je postalo enostavneje s hitrim napredkom razvoja elektrooptičnih razdaljemerov, motoriziranih tahimetrov ter GPS tehnologijo. Brez GPS tehnologije si danes meritev skorajda ne moremo več predstavljati, kajti enostavna uporaba in velika natančnost izpodrinjata radijsko navigacijo in običajne tahimetre. Motorizirani tahimetri so kljub uvedbi GPS sistema ostali v uporabi pri hidrografskih meritvah, saj GPS-navigacijo uspešno nadomeščajo pri zajemanju rečnih podatkov, kjer zaraščene brežine ne dopuščajo neprekinjeno delovanje GPS-a in tudi pri meritvah v bližini visokih objektov, kot so na primer jezovi, hidroelektrarne, velike tovarne ladje v pristaniščih, ipd. (Kolenc, 2005).

3.2.1 Motorizirani tahimetri

V današnjem času se za izvajanje meritev uporabljajo sodobni merski instrumenti. Napredek v razvoju elektronskih tahimetrov predstavlja vgradnja servomotorjev (mehanizem za krmiljenje), ki zagotavljajo samodejno vrtenje zgornjega dela instrumenta. Takšnemu instrumentu pravimo motorizirani elektronski tahimeter in s časoma bodo ti servomotorji popolnoma avtomatizirali in poenostavili delovanje tahimetrov. V kolikor motorizirani tahimeter opremimo z ustrezno programsko in strojno opremo, pridemo do zadnje razvojne stopnje oziroma do avtomatskih elektronskih tahimetrov.

Popolno avtomatizacijo elektronskih tahimetrov lahko razdelimo v dve razvojni stopnji. Prva stopnja predstavlja sistem za avtomatsko prepoznavanje tarče (v nadaljevanju APT), ki nadomesti ročno fino viziranje tarče, ko se ta že nahaja v vidnem polju daljnogleda. Brez ustrezne podpore ne omogoča popolne avtomatizacije merjenja ter še vedno zahteva prisotnost operaterja. Kadar tarča ni v vidnem polju sistema APT, je instrument ni zmožen sam poiskati in v takšnem primeru mora operater sam grobo navizirati instrument na ciljno točko. APT tehnologija je sestavljena iz dveh podsistemov – sistema za avtomatsko viziranje tarče (v nadaljevanju AVT) ter avtomatsko sledenje tarče (v nadaljevanju AST). AVT sistem je temelj sistema APT, saj je za njegovo realizacijo potrebna večina programske in strojne opreme, ki jo uporablja sistem AST. Sistem AST je programska nadgradnja sistema AVT, ki zagotavlja sledenje, hitro ali počasi premikajoče se tarče, ki jo je predhodno prepoznal s sistemom AVT. AST tehnologijo uporabljamo tudi pri reševanju specifičnih geodetskih

nalog, med katere spadajo dinamične meritve in pri katerih je zelo pomembno, da je AST naslednja razvojna stopnja v avtomatizaciji polarne izmere. Pri AST se pojavi problem izgube tarče iz vidnega polja zaradi objektov in prahu ter nepozornosti operaterja pri premikanju tarče iz ene točke na drugo. Če se hoče operater tem problemom izogniti, mora paziti, da s tarčo ne izvaja nepredvidljivih gibov in da je reflektor tarče stalno usmerjen proti tahimetru. Druga razvojna stopnja služi nadgradnji sistema APT s tehnologijo avtomatskega iskanja tarče (AIT), ki deluje tako, da z vizurno osjo tahimetra grobo naviziramo proti tarči, ki se nahaja v okolici inštrumenta in zato sistem ne zahteva več prisotnosti operaterja. S tehnologijo AIT posredujemo osnovne operacije, pregledujemo rezultate s posebno kontrolno enoto na tarči, ki je z instrumentom povezana preko telematične povezave, saj nam ta služi za pošiljanje podatkov izmerjenih vrednosti. Zaslona kontrolnih enot tako v instrumentu kot tudi ob tarči delujeta sinhronizirano. Ker zaslon na kontrolni enoti ob tarči prikazuje podatke v realnem času, daljinsko vodenje uporabljajo tudi pri standardnih elektronskih tahimetrih. Vodji izmere omogoča vpogled opazovanj, kljub temu da se ta ne nahaja ob tahimetru. Delo si tako olajšamo, saj ima operater vse podatke, ki je prej videl samo na instrumentu, pri roki in to je glavni razlog, da ni več potrebe po stalni komunikaciji med operaterjem in prenašalcem tarče oziroma figurantom (Škulj, 2010).



Slika 4: Sistem Leica TCRP 1203 z daljinskim upravljavcem RX 1220 in 360° (Kolenc, 2005)

3.2.2 GPS

GPS je zaradi praktične natančnosti (od nekaj metrov do nekaj centimetrov ali celo milimetrov), dostopnosti, pokritosti in enostavnosti hitro postal standardno orodje za določitev položaja in navigacijo ter popolnoma izpodrinil radijsko navigacijo.

V hidrografiji se danes praviloma uporablja le realno časovna metoda izmere (DGPS, RTK), ki z določitvijo položaja v realnem času (Slika 5) omogoča neposredno pošiljanje podatkov o položaju programski opremi.



Slika 5: Pomoč GPS tehnologije pri merjenju rečnih profilov

(<http://www.polkcountylandsurveying.com/Work.php>)

Za začetek satelitske geodezije štejemo dejanski začetek razvoja vesoljske tehnike, torej izstrelitev prvega umetnega Zemeljskega satelita Sputnik 1, ki je bil izstreljen 4. oktobra 1957. Sledil mu je Sputnik 2 (3. november 1957). Oba satelita sta bila satelita Sovjetske zveze, nato pa je bil izstreljen še prvi ameriški satelit Explorer 1 (31. 1. 1958). Leta 1960 so ZDA izstrelile prvi navigacijski satelit TRANSIT, ki so ga leta 1967 pričeli uporabljati tudi za civilne namene. Ameriška vojska je s projektom NAVSTAR vzpostavila 24 satelitov, ki obkrožajo Zemljo, pozneje znan pod imenom GPS. Prvi satelit je bil izstreljen leta 1978, zadnji pa leta 1994. GPS je sistem za določanje položaja objektov in pojavov na Zemlji ter v njeni bližini, ki temelji na uporabi vesoljske radijske navigacije. Kmalu zatem leta 1988 se jim je pridružil še ruski sistem GLONAS (24 satelitov). Po novem naj bi leta 2014 začel

delovati evropski satelitski sistem GALILEO (30 satelitov), ki bo namenjen civilnim potrebam, medtem ko je kitajski BeiDou še v fazi izgradnje, saj bo imel 35 satelitov in te naj bi izstrelili do leta 2020. Vse države, ki si želijo vzpostavitev svojega satelitskega sistema, delajo neodvisno od ameriškega sistema.

GPS sestavljajo trije segmenti: vesoljski, kontrolni ter uporabniški.

- Vesoljski segment (ponavadi) sestavljajo umetni sateliti. Od tega jih je 21 delujočih, ostali 3 sateliti pa so v rezervi. Nahajajo se na višini 20.200 km in Zemljo obkrožijo v 12 urah. Sateliti na Zemljo pošiljajo signale, podatke o svojem položaju, ki so pomembni za izvajanje meritev.
- Kontrolni segment obsega tri vrste postaj: glavno kontrolno postajo, 4 opazovalne ter 3 povezovalne postaje. Kontrolne postaje nadzorujejo satelite z merjenjem razdalje in te podatke pošiljajo v glavno kontrolno postajo, v kateri se odločajo, ali je potrebno spremeniti določitev položaja satelita. Glavna postaja pošlje podatke povezovalnim postajam, te pa jih pošljejo nazaj satelitom, ki prejete podatke o svojem trenutnem položaju in stanju atomske ure (izredno natančne naprave za merjenje časa) oddajajo naprej uporabnikom.
- Uporabniški segment sestavljajo uporabniški sprejemniki GPS sistema. Ti na osnovi opazovanega ter sprejetega signala določajo svoj položaj, hitrost gibanja ter pridobijo podatek o času. Sistem zagotavlja istočasno spremljanje satelitskih signalov neomejenemu številu uporabnikov (Kisovec, 2007).

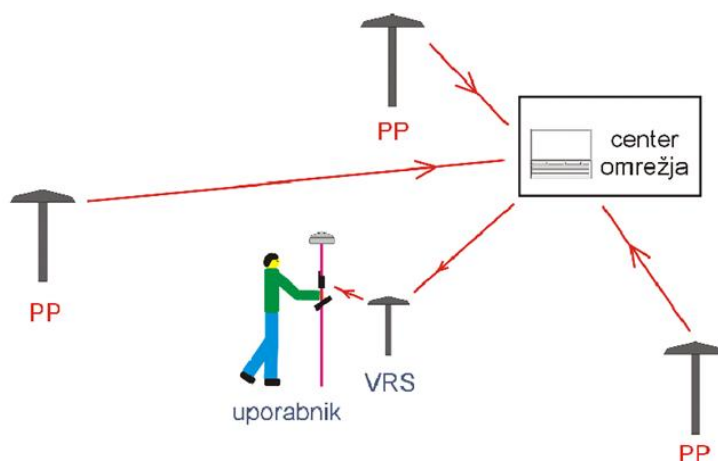


Slika 6: GPS satelit (<http://www.uporabnastran.si/vesolje/gpsgalileo.htm>)



Slika 7: Tirnice GPS satelitov (<http://www.uporabnastran.si/vesolje/gpsgalileo.htm>)

S pomočjo vseh treh segmentov lahko izračunamo položaj določene točke, ki ga dobimo s pomočjo razdalje ter položaja satelitov. Za določitev položaja točke na Zemlji so potrebne minimalno 4 razdalje med satelitom in sprejemnikom, ki so pridobljene na osnovi časa potovanja signala. Čas potovanja, ki ga pomnožimo s svetlobno hitrostjo, nam da razdaljo med sprejemnikom ter satelitom, ki jo lahko uporabimo kot kodni ali fazni način opazovanj, pri čemer je fazni natančnejši od kodnega. Pri določitvi položaja z GPS sistemom si lahko pomagamo z absolutno ali relativno metodo določitve, ki sta s strani izvajanja meritev lahko statična ali kinematična metoda izmere (Škulj, 2010).



Slika 8: Povezava na omrežje stalno delujočih postaj (Kozmus, Stopar, 2003)

V hidrografiji se izvaja največkrat RTK (Real Time Kinematic) metoda izmere, ki poteka v realnem času, prav tako v realnem času ta metoda omogoča določitev ter pošiljanje podatkov

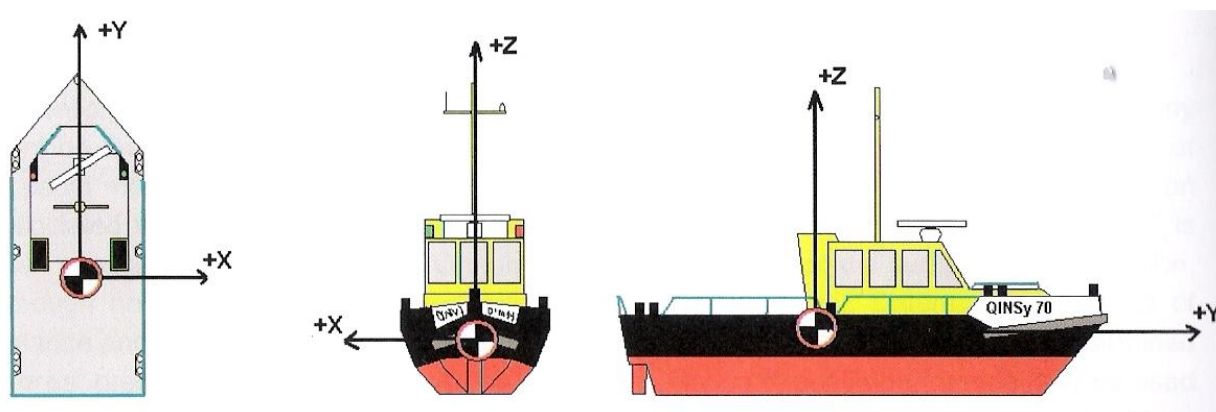
o položaju v programsko opremo. Za izvedbo meritve sta potrebna vsaj dva sprejemnika z vzpostavljeno povezavo, prvi sprejemnik, t. i. referenčni sprejemnik, ima znan položaj, drugi, premični sprejemnik, pa omogoča določanje položaja novim točkam. Določanje položaja temelji na določitvi baznega vektorja med referenčnim in baznim sprejemnikom. Podatke dobimo s skupno obdelavo tako kodnih kot tudi faznih opazovanj obeh sprejemnikov in zato je pri meritvah pomembna določitev števila celih valov, ki se opravi v postopku inicializacije na samem začetku izmere (Kozmus, Stopar, 2003).

Pri inicializaciji potrebujemo minimalno 5 satelitov, med izvedbo meritev pa nam zadostujejo že štirje. V kolikor je med sprejemnikoma vzpostavljena stalna povezava, ta omogoča pridobitev rezultatov v realnem času izmere in tudi razdalja med sprejemnikoma naj ne bi bila daljša od 10 do 20 km, saj oddaljenost vpliva na natančnost. V primeru doseganja visokih natančnosti je potrebno uporabiti natančne dvofrekvenčne sprejemnike, saj ti omogočajo neomejeno uporabo. V praksi je potrebna zadostna odprtost nad horizontom sprejemnikov izmere, kar omogoča sprejemanje zadostnega števila signalov s satelitov. Prednost te metode je v tem, da med samo izmero pridobimo informacijo o količini in kakovosti opravljenega dela (Krajnc, 2006).

Pridobljene podatke uporabljamo za navigacijo pri vnaprej določenem načrtu plovbe. Natančnost določitve položaja sonde je odvisna predvsem od fizičnih danosti območja, v katerem se meritve izvajajo, jakosti ter pokritosti signala. Za uspešno izvedbo meritev je potrebna neprekinjena povezava med referenčnim sprejemnikom ter sprejemnikom na plovilu. Natančnost pa je odvisna od števila in razporeditve satelitov ter stanja atmosfere (Škulj, 2010).

4 GEOMETRIJA IN GIBANJE PLOVILA

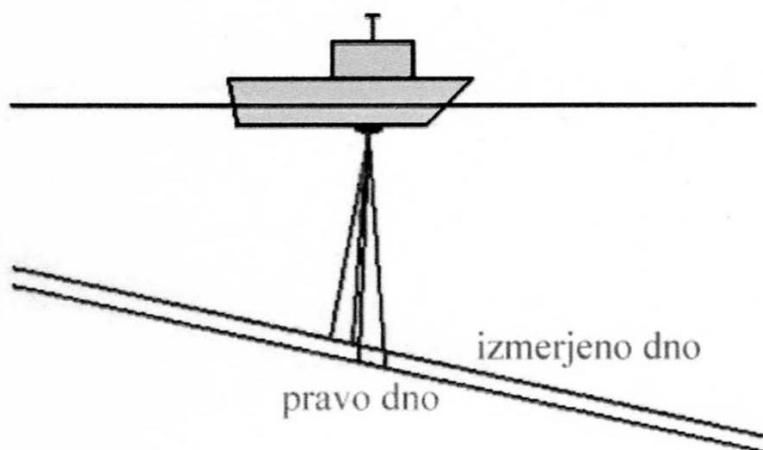
Plovila, s katerimi opravljamo hidrografske meritve, so izpostavljena različnim gibanjem, čemur se ni mogoče izogniti in zato so opremljena z različnimi senzorji. Moč gibanja in stabilnost plovila je odvisna od tega, kje se meritve opravljajo (na morju, jezeru, reki, ...). Na morju je gibanje večje, saj je tudi več zunanjih vplivov kot na kakšnem jezeru ali reki (veter, valovanje, plimovanje, ...). Senzorji gibanja in globine se uporabljajo za merjenje linearnih in rotacijskih gibanj plovila. Sistem plovila ima tri osi (X, Y, Z), okoli katerih se lahko giblje in tako dobimo 6 stopenj prostega gibanja (3 linearni in 3 rotacijski premiki). Dobljene vrednosti je potrebno tudi upoštevati pozneje pri izračunu, saj se položaj vodnega dna spreminja z globino. V primeru, da pri izračunu ne upoštevamo nagibov plovila, je položaj točke vodnega dna enak ne glede na izmerjeno globino. Vsi premiki so relativni glede na osi plovila (slika 9) oziroma okvir (Kolenc, 2005).



Slika 9: Prikaz osi na plovilu (Lekkerkerk, Velden, Roders, Haycock, Vries, Jansen, Beemster, 2006)

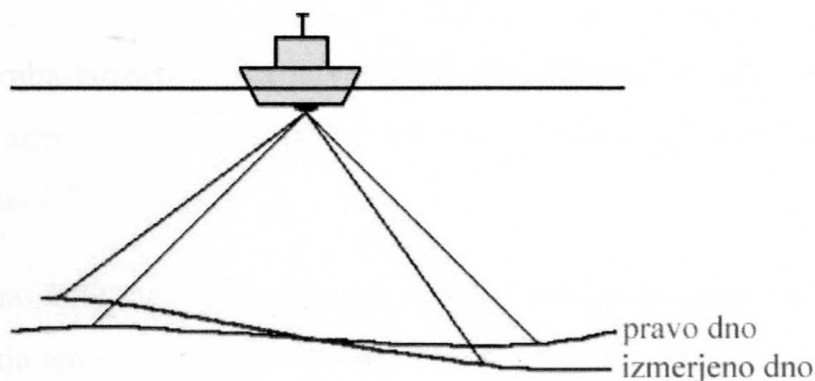
Med izvedbo meritev naš čoln ni ves čas v mirujočem položaju, kar pomeni, da se ziblje, nagiba in rotira. V takšnem primeru je potrebno odstraniti naslednje:

- Nagibanje čolna naprej in nazaj (angl. Pitch) je nestabilnost, ki jo povzroča izmenično dvigovanje premca in krme okoli X-osi (Slika 10).



Slika 10: Nagibanje čolna Pitch (Krajnc, 2006)

- Nagibanje čolna levo – desno (angl. Roll) opisuje ritmično gibanje čolna okoli vzdolžne (longitudinalne) osi (Slika 11).

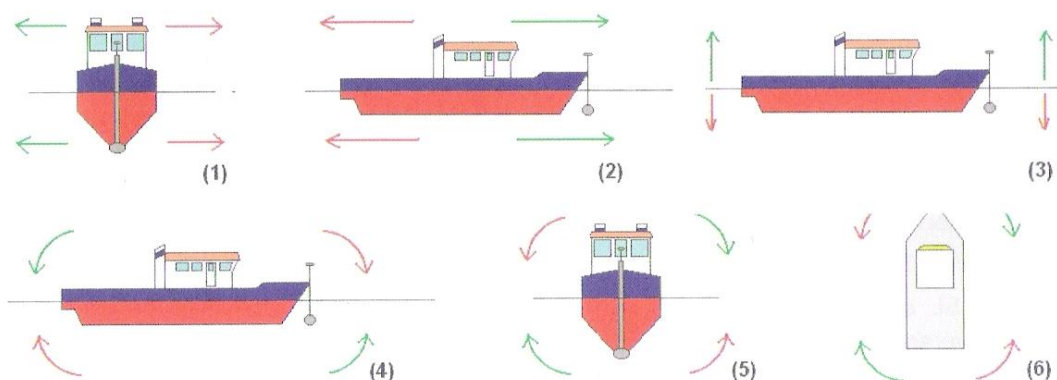


Slika 11: Nagibanje čolna Roll (Krajnc, 2006)

- Zasuk okoli vertikalne osi (angl. Heading) je opisan z rotiranjem okoli Z-osi in se najpogosteje pojavi pri nizki hitrosti vožnje ali pri deročih rekah. V takšnem primeru je čoln vedno obrnjen gorvodno, čeprav bo naredil ravno linijo in ne poševne.
- Dvigovanje (angl. Heave) je opisano kot ritmično dviganje in spuščanje površine čolna in zaradi tega so podatki nepovezani in nazobčani. Dvigovanje je najpogosteje prisotno pri divji in razburkani vodi ter je glavni vzrok za nezanesljive in slabe podatke. V kolikor pa so meritve opravljene na mirni reki, je ta vpliv minimalen (Krajnc, 2006).

Ločimo 6 načinov gibanja plovila (Slika 12):

- zibanje (gibanje) (1),
- valovanje (gibanje) (2),
- dvigovanje (gibanje) (3),
- dviganje (vrtenje) (4),
- pozibavanje (vrtenje) (5),
- vijuganje (vrtenje) (6))Škulj, 2010).

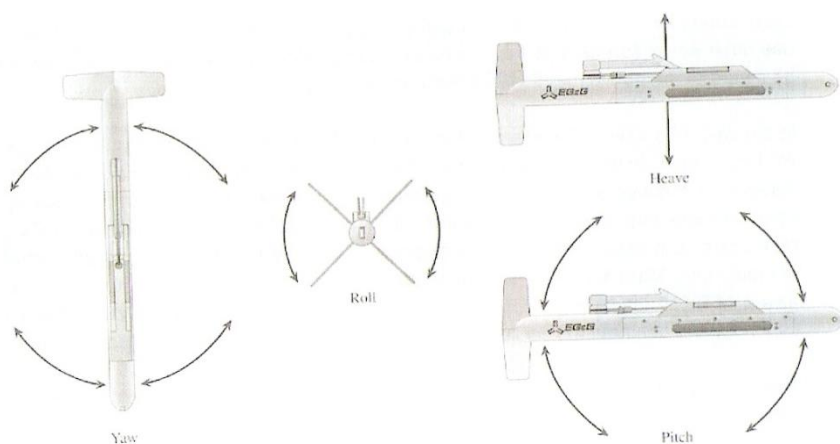


Slika 12: Prikaz gibanja plovila (Lekkerkerk, Velden, Roders, Haycock, Vries, Jansen, Beemster, 2006)

Velikost vplivov je odvisna od tega, kje meritve izvajamo. Vplive lahko ob uporabi dobro oblikovanega čolna zmanjšamo na minimum. Večja kot so plovila, bolj so v splošnem varna in učinkovita. Pri merjenju na rekah so tudi vplivi manjši kot pa pri meritvah na morju. Izvajalci meritev (geodeti ali hidrografi) se pogosto odločajo za plovilo, pri katerem je večji vpliv zibanja plovila levo in desno, kar zmanjša gibanje plovila naprej in nazaj ter dvigovanja plovila. Naprave, ki na plovilu izvajajo meritve, izmerjene podatke posredujejo računalniku. Pri opazovanjih je prisoten tudi časovni parameter, ki nam zagotavlja, da so vsi podatki pridobljeni v istem trenutku.

Največja razlika med določanjem položaja na kopnem in na vodi je, da sta voda in plovilo nenehno v premikajočem stanju (valovanje), kar nam onemogoča popolno vertikalnost GPS-antene ali prizme in seveda tudi globinmera v času meritev. Zato se geometrija plovil uporablja za računanje položaja vseh sestavnih delov meritev. Najpomembnejši deli opreme so antena pozicijskega sistema, pretvornik merilca in referenčna točka za programsko opremo za pridobivanje in procesiranje podatkov ter tudi senzor globine. Za zaznavanje vseh nagibov,

so razvili posebne sisteme za spremljanje nagibov. Senzorji premikanja (ang. motion sensors) sproti pošiljajo podatke o nagibih v programsko opremo, ki nato izmerjene vrednosti za globino in položaj ustrezno popravi. Geometrija plovil je razmerje med senzorji in njihovo predstavitvijo v lokalni koordinatni mreži. Načeloma je vsak koordinatni sistem ustrezen, toda ponavadi izberemo mrežo, ki jo lahko reduciramo na realno situacijo in jo povežemo z zahtevami uporabljene programske opreme (Krajnc, 2006).



Slika 13: Ilustracija različnih premikov sonde (nestabilnost) (Lekkerkerk, Velden, Roders, Haycock, Vries, Jansen, Beemster, 2006)

5 DOLOČITEV GLOBINE

Poznavanje rečnih strug in globine morja je eden najpomembnejših podatkov varne plovbe in poznavanja rečnih profilov. Predvsem v bližini obale, plitvih voda, rečnih ustij in ob slabi vidljivosti nam podatek o pravi globini omogoča varnejšo plovbo ter krmiljenje ladje.

Z merjenjem globine rek in morja se določa vertikalna oddaljenost trenutne višine vode. Z izvajanjem merjenja globine na istem mestu v različnem času se opazijo spremembe v njenih vrednostih. Do spremembe teh vrednosti pride zaradi nanašanja in prinašanja prsti in drugih snovi po rekah, plimovanja morja, zato je potrebno izvesti korekcijsko merjenje (Pribičević, 2005). Pri izmeri globin moramo upoštevati tudi plimovanje morja in oceanov ter spreminjanje višine gladine vode med izmero na rekah in jezerih. Na morju in večjih rekah je to rešeno z mareografi, ki neprestano spremljajo spreminjanje višine gladine. Na manjših rekah in jezerih, ki niso opremljeni z mareografi, pa je treba višino gladine vode med izmero spremljati in beležiti. To se opravi z neposrednim merjenjem gladine vode s tahimetrom, nivelirjem, GPS-om ali pa se uporabijo odčitki na vodomerskih postajah (Pribičević, 2005).

Ločimo dva načina merjenja globin, direktno in indirektno. Direktne metode so se uporabljale v preteklosti, danes pa se zaradi razvoja tehnologije uporabljajo večinoma le indirektno metode, kot so na primer ultrazvočni globinomeri (Kolenc, 2005).

5.1 METODE

5.1.1 DIREKTNE METODE

Pri direktnih metodah se globina meri s pomočjo merske palice ali pa neposredno s spuščanjem uteži, obešeno na vrv ali žico, s čolna do morskega ali rečnega dna. Danes se te metode še pojavljajo v kakšni raziskavi blizu obale. V ta namen uporabljamo posebne ročne ter mehanske globinomere (Kolenc, 2005).

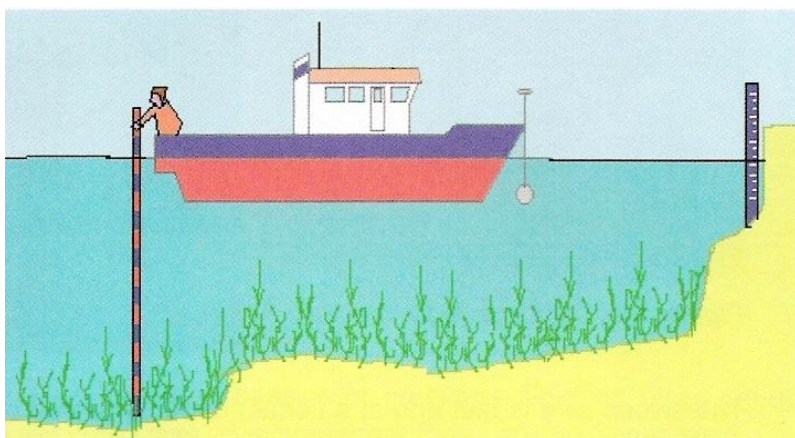
5.1.1.1 Ročni globinomeri

5.1.1.1.1 Palica za merjenje globine (sounding pole)

Palica za merjenje globine je v osnovi ravna palica, ki uporablja površino vode kot vertikalno referenčno vrednost namesto izravnalnih inštrumentov. Standardne izravnalne palice se lahko uporabljajo za merjenje globine, toda še bolje je uporabljati palice, ki so posebej oblikovane za merjenje globine (Lekkerkerk, Velden, Roders, Haycock, Vries, Jansen, Beemster, 2006).

Palice za sondiranje se uporabljajo za manjše raziskave, v zelo plitvih vodah ali v vodah, kjer je echo sounder nepraktičen ali nenatančen. V območjih z gosto vegetacijo na dnu lahko le-ta povzroči napačne odmeve zvoka (Lekkerkerk, Velden, Roders, Haycock, Vries, Jansen, Beemster, 2006).

Palice za sondiranje so dolge 5 metrov in široke 4-6 cm, medtem ko so palice, daljše od 5 metrov, zelo nerodne za upravljanje. Težko jih je obdržati v vertikalnem položaju, zato se jih je najbolje izogibati. Palice so običajno izdelane iz lesa ali aluminija in označene na 0.1 metra, z uporabo izmenjujočih se barv (lahko je belo-rdeča ali modro-rdeča...). Na spodnjem delu palice je pritrjena utež, ki ji omogoča, da stoji vertikalno in obenem preprečuje pogrezanje v dno (Pribičević, 2005). Princip merjenja s palico za sondiranje (Slika 14).



Slika 14: Merjenje s palico za sondiranje (Lekkerkerk, Velden, Roders, Haycock, Vries, Jansen, Beemster, 2006)

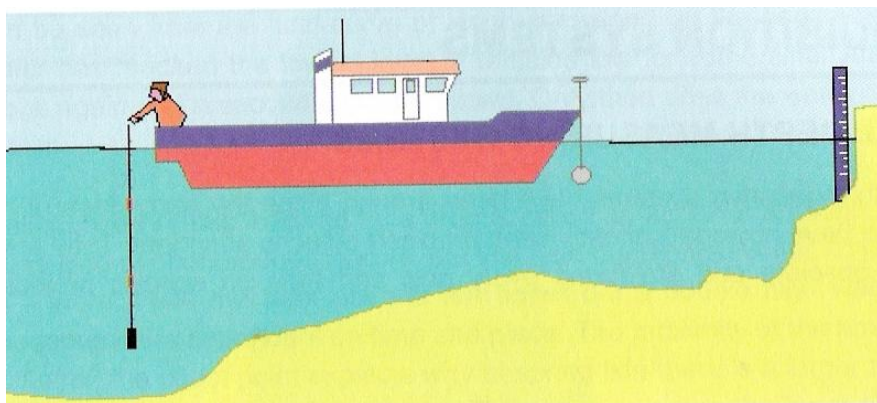
Najsodobnejše palice za sondiranje je možno nadgraditi z GPS sistemom, kjer je potrebno anteno namestiti na vrh palice. Z merjenjem vrha palice in apliciranjem dolžine palice lahko hkrati pridobimo podatke o globini in položaju. Ta metoda se večkrat uporablja za izdelovanje zemljevidov na območjih plitve vode, močvirjih in območjih plimovanja (Lekkerkerk, Velden, Roders, Haycock, Vries, Jansen, Beemster, 2006).

5.1.1.1.2 Ročni globinomer - grezilo, svinčnica

Meritve z grezilom so izredno koristne, kadar merimo podvodne konstrukcije, saj v tem primeru bolj natančno določijo globino iz nekega položaja kot merilec globine z uporabo odmeva zvoka (echo sounder). V teh pogojih bi kot merilec globine z uporabo odmeva zvoka lahko imel napačne rezultate zaradi zavitega kota, lahko pa bi ga ovirali tudi stranski odmevi. Grezilo se običajno ne uporablja pri globinah nad 10 metrov (Lekkerkerk, Velden, Roders, Haycock, Vries, Jansen, Beemster, 2006).

Grezilo je sestavljeno iz vrvi ter svinčnice. Svinčena utež je težka 3-10 kg, namenjena za merjenje globine 5-10 m. Da se vrv v vodi ne bi preveč raztegovala, se moramo izogibati prepletenim materialom in uporabljati vrv, v katero je vpletena tanka pocinkana žica. Debelina vrvi zato znaša od 18-20 mm (Pribečević, 2005). Označena naj bo vsakih 0,5 metra, ali pa še gosteje. Najboljše odčitavanje dosežemo z barvnim označevanjem za 0,5, 1 ali 5 metrov.

Vrv mora biti označena na najmanj 0,5 m, če je potrebno pa tudi bolj pogosto. Svinčnica je zelo uporabna v vodah, kjer sta na dnu mulj ali ilovica, saj prodre zgornjo plast in se usede na trdna tla ter tako izmeri globino. Običajno ima svinčnica majhno luknjico na dnu, ki je polnjena z mazivom. Ko se svinčnica dotakne dna, se usedlina prilepi na to mazivo, kar hkrati z merjenjem morske globine oblikuje vzorec morske postelje – sestave morskega ali rečnega dna. Po vsakem merjenju pa je potrebno svinčnico očistiti, da lahko pri ponovnem merjenju razberemo sestavo dna (Škulj, 2010). Dandanes se je oblika modernih svinčnic spremenila, pogosto je v obliki diska, ki je velik približno 15 cm in ima 4 luknje velikosti 2,5 cm, ki zmanjšujejo upor med spuščanjem diska (Lekkerkerk, Velden, Roders, Haycock, Vries, Jansen, Beemster, 2006).



Slika 15: Merjenje globine s svinčnico (Lekkerkerk, Velden, Roders, Haycock, Vries, Jansen, Beemster, 2006)

Merjenje s svinčnico opravimo iz čolna in je zelo preprosto, saj je potrebno vrv s svinčcem spustiti v prosti pad, dokler nenadna popustitev napetosti ne označi pristanka na dnu. Medtem ko odčitavamo globino, mora biti vrv kolikor je mogoče vertikalna in čoln nad utežjo, saj bo vsak odklon zaradi toka ali valov povzročil nepravilnosti pri odčitavanju globine. Kadar sondiramo mehko dno, moramo globino odčitati zelo hitro po tem, ko začutimo trdno dno (5 do 10 sekund). Po opravljeni meritvi vnesemo podatke v zapisnik, v katerega vpisujemo globino, vrsto usedline zemeljskega dna, čas in datum merjenja, številko skice ter oznako profila opravljene meritve (Lekkerkerk, Velden, Roders, Haycock, Vries, Jansen, Beemster, 2006). Definitivne globine dobimo tako, da izmerjeni globini dodamo korekcije globine v času merjenja ter korekcije pri spremembi globine globinomera. Podatke, ki nam služijo pri izračunu, dobimo iz najbližjega mareografa ali hidroelektrarne. Razdelba na vrvi se mora redno preverjati, pomembno je, da so označbe na pravih mestih. Tovrstno preverjanje izvedejo na komparatorju pred in po opravljeni meritvi, pri kateri mora biti linija napeta. Ročni globinomer je še zmeraj uporaben za merjenje v plitvinah, ob obali ali v lukah (Pribičević, 2005).

5.1.1.2 Mehanski globinomer

Mehanski sistemi za merjenje globine so obstajali že od začetkov navigacije in raziskovanja. Danes so jih večinoma nadomestili merilci globine z uporabo odmeva zvoka (echo sounder). Mehanski sistemi pa kljub temu še niso povsem zastareli in se še vedno uporabljajo za specifične projekte. Mehanski globinomer sestavlja boben, na katerega je navita precizno pletena jeklene žica ter utež. Sestavni del naprave je tudi merilec odvite žice. Jeklena žica je

debela 8-9 mm ter dolga 50 m – lahko tudi več – odvisno od globine, ki jo bi radi izmerili (Kolenc, 2005). Za lažje odčitavanje globin je žica označena z oznakami za določanje globin po angleških pravilih.

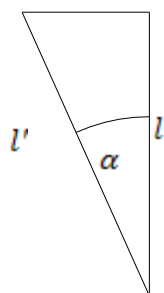
1 fathom = 1,8288 m

Preglednica 1: Sistem označevanja po angleških pravilih (Škulj, 2010)

Fathom	Oznaka
2	2 usnjena trakova
3	3 usnjeni trakovi
5	bel bombažni trak
7	rdeč flanelasti trak
10	kos usnja z luknjo v sredini
13	3 usnjeni trakovi
15	bel bombažni trak
17	rdeč flanelasti trak
20	2 vozla v vrvi
25	1 vozla v vrvi
30	3 vozli
35	1 vozla

Sama izvedba meritve je bila podobna kot pri uporabi ročnih globinomerov, vendar so se s takšnimi globinomeri merile le večje globine. Pri premikanju ladje lahko izvajamo meritve do hitrosti plovila 10 vozlov (1 vozla = 1,852 km/h). V času mirovanja ladje mora biti merilna žica vertikalna, nanjo pa vpliva samo vodni tok ter zibanje plovila. V času gibanja ladje, merilna žica ni v vertikalni legi, to pa povzroči odstopanje od vertikale za določen kot. Ta kot je posledica hitrosti plovbe ali pa hitrosti reke. Kadar je kot odmika od vertikale 10° , so izmerjene vrednosti prevelike za 2 %, pri kotu 20° pa celo za 5-6 % (enačba 1). Paziti moramo, da vržemo utež v smeri plovbe ladje ali čolna, tako da ima utež dovolj časa, da se dotakne morskega ali rečnega dna do trenutka, ko je mesto opazovalca navpično nad mestom merjenja globine. S takšnim postopkom odpravimo napako odklonskega kota merilne vrvi in glede na to, da je utež težka 8 kg, lahko predpostavimo, da se bo potopila s hitrostjo približno 3 m/s. Meritve se lahko izvajajo v dnevnem ali nočnem času. Podnevi odčitamo merjeno globino pri gladini vode (če je možno), ponoči pa tam, kjer merilno vrv držimo, pri tem pa moramo upoštevati še razliko med roko ter vodno gladino. Takšna metoda merjenja nam daje relativno natančne rezultate in kljub temu da jo vse bolj izpodrivajo sodobnejše metode, je na ladjah še vedno nepogrešljiva (Škulj, 2010).

$$\Delta l = l' - l = l * \left(\frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right) \quad (1)$$



lprava globina

l'merjena globina

αkot odstopanja

Δlizračunano odstopanje

Slika 16: Prikaz odstopanja pri merjenju globine (Škulj, 2010)

5.1.2 INDIREKTNE METODE

Za indirektne metode je značilno, da se globina vode določi s pomočjo drugih količin kot pri direktnih metodah. Te količine so lahko tlak v vodi, čas, v katerem se potopi neko telo do morskega dna, ali pa čas, v katerem prepotuje ultrazvok pot od oddajnika do morskega dna, se odbije ter vrne nazaj (Kolenc, 2005).

5.1.2.1 Thomsonov mehanski globinomer

Prvi globinomer, s katerim so se lahko opravljale meritve morja ne glede na dolžino merilne vrvi in ki je dosegel hitrost merjenja več kot 10 vozlov (1 vozelo = 1,609 km/h), je Thomsonov mehanski globinomer. Globina se meri na osnovi hidrostatičnega tlaka in deluje po principu Boyle-Mariottovega zakona, ki pravi, da je zmnožek pritiska in volumna plina pri enaki temperaturi enak. Globinomer je sestavljen iz bobna, vrvi, ki je iz pocinkanega jekla, ter uteži. Na vrv, ki ima premer približno 1 mm in je navita na boben, je pritrjena utež z maso od 8 do 10 kg, kot tudi jekleno ogrodje, na katerem je steklena cevka. Cevka je narejena tako, da je na zgornji strani zaprta, na spodnji pa odprta. Vrednost zračnega tlaka na morski gladini znaša 1 bar oziroma 1013 mb in vsakih 10 m se vrednost tlaka poveča za 1 bar. S tem ko potopimo cevko na morsko dno, vanjo prodre voda in se tlak v njej stisne. Pri dvigovanju uteži s stekleno cevko voda iz nje odteče in tako lahko določimo, kako globoko je voda prodrla vanjo. Da pa to lažje ugotovimo, je notranjost steklene cevke premazana s srebrovim kromatom (Ag_2CrO_4), ki je sicer rdeče barve, vendar se pri stiku z morskovo vodo obarva temno rumeno. Izmerjeno globino moramo zaradi različnih vplivov na višino vodnega stolpca v cevki na dnu morja popraviti za vpliv zračnega tlaka, srednje specifične teže vodnega

stolpca od gladine do morskega dna in dolžine cevke. Thomsonov globinomer se od mehanskega razlikuje predvsem v tem, da se z njim odpravi vpliv nevertikalnosti žice (Kolenc, 2005).

Kljub novejšim globinomerom, ki delujejo po principu odboja zvoka, je Thomsonov globinomer še vedno predpisan del opreme na ladjah. Namenjen je za merjenje globin do 100 m ter hitrosti plovbe do 15 vozlov. Uporablja se za določanje koeficienta popravka, katerega izračunamo po enačbi (2) (Škulj, 2010);

$$k = \frac{h}{h'} \quad (2)$$

k..... koeficient popravka

h..... merjena globina s Thomsonovim globinomerom

h'.....merjena globina z zvočnim globinomerom

5.1.2.2 Ultrazvočni globinomer

Dejstvo, da se zvok širi tudi pod vodo, je znano že zelo dolgo. Že leta 1804 je francoski fizik Dominique Francois Jean Arago predlagal možnost izgradnje inštrumenta, ki bi meril globine vode na osnovi širjenja zvoka. Njegov predlog se žal ni takoj uresničil. Calladon in Sturm sta leta 1827 na Ženevskem jezeru izmerila horizontalno razdaljo iz časa potovanja zvoka skozi vodo. Do leta 1912 je bilo veliko poskusov izdelave globinomera, ki bi deloval na podlagi širjenja zvoka. Prav katastrofa ladje Titanik aprila leta 1912 je ameriškega profesorja R. A. Fassandena prepričala, da bi izdelal močnejši oddajnik zvoka in napravo za pretvorbo časa potovanja zvoka, kar označujemo kot prelomnico v hidrografiji. Na žalost tudi ta poskus ni bil uresničen. Nekaj let kasneje sta Francoza Lengevin in Chilowsky izdelala napravo za merjenje globin z ultrazvočno frekvenco. To odkritje je bilo zelo pomembno, saj se od takrat naprej tehnologija ultrazvočnih globinomerov nenehno izpopolnjuje (Kolenc, 2005).



Slika 17: Primer globinmera Hydrotrac (www.comm-tec.com/prods/mfgs/Odom_Prods.html)

Pri velikih globinah in širinah uporabljamo globinomere, ki delujejo na principu elektromagnetnega valovanja in njegovega odboja. Za inženirske potrebe se največ uporabljajo ultrazvočni globinomeri, ker so enako uporabni za merjenje nizkih in srednjih globin. Ultrazvočni sistemi (globinomeri) delujejo tako, da za merjenje globine merijo in beležijo čas, ki ga ultrazvočni signal potrebuje, da prepotuje razdaljo od oddajnika skozi vodo do dna, kjer se odbije nazaj do sprejemnika. Potovalni čas je odvisen od hitrosti širjenja zvočnega valovanja skozi vodo, na katero vpliva več dejavnikov, kot so gostota, slanost temperatura in tlak vode. Tlak ima najmanjši vpliv na gostoto vode, zato ga pri merjenju globine lahko izpustimo in upoštevamo samo slanost (če merimo v morju) ter temperaturo vode (Kolenc, 2005). Globino tako izračunamo po enačbi (3):

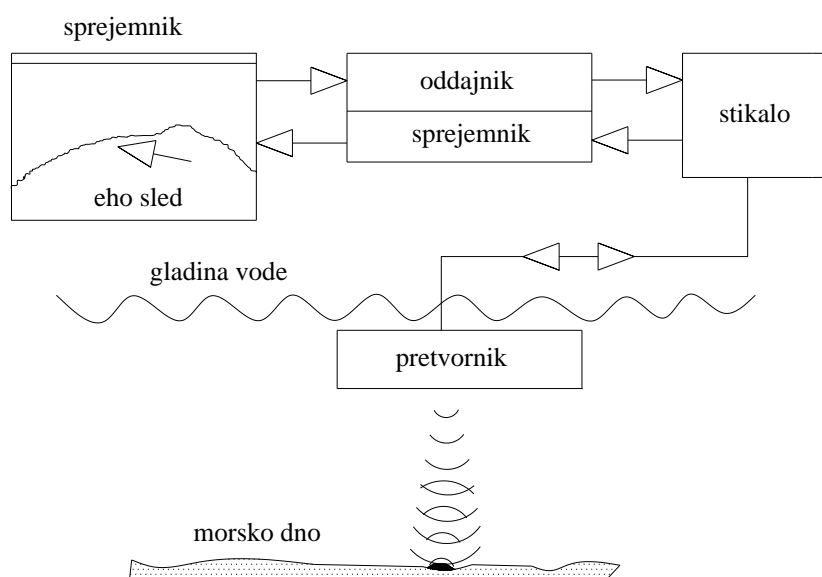
$$\mathbf{globina} = \mathbf{c_z} * \frac{\Delta t}{2} \quad (3)$$

$\mathbf{c_z}$hitrost zvoka v vodi,

Δtčas potovanja impulza,

$\mathbf{2}$ dvakratno potovanje impulza skozi vodo.

Ultrazvočni globinomer je sestavljen iz:



Slika 18: Shema glavnih komponent ultrazvočnega globinomera (Škulj, 2010)

Oddajnik (angl. transmitter) je pulzni generator s kvarčno uro, ki oscilira v mejah 1-10 MHz in generira impulze. Kvarčna ura se uporablja za merjenje intervala med oddanim in prejetim zvočnim signalom. Novejši globinomeri običajno nudijo dve do tri frekvence.

- Nizka frekvenca se uporablja za globoke vode, ker na velikih razdaljah ni velikih izgub signala. Za merjenja so potrebne velike sonde oziroma pretvorniki (angl. transducer).
- Visoka frekvenca se uporablja za krajše razdalje, kjer je domet omejen zaradi večje izgube signala. Za merjenja so potrebne manjše sonde (Škulj, 2010).

T/R stikalo (angl. switch) se uporablja za prekinjanje impulza specifične dolžine. Normalna dolžina impulza se giblje med 0,1-50 ms. V plitvih vodah znaša vrednost kratkega impulza (ta je poslan ter prejet še pred naslednjim poslanim impulzom) 0,2 ms. Za globoke vode se uporabljajo impulzi različnih dolžin (1-40 ms), kar pomaga pri pokrivanju izgub zaradi slabega signala (Pribičević, 2005).

Pretvornik je v stiku z vodo, zato vibriranje diafragme pretvornika povzroča zvočne valove. Nameščen je na trupu plovila, kjer ne ovira njegovega delovanja. Ob obalnih plovbah zahtevajo stransko nameščeno konstrukcijo, ker niso na voljo vratne zapornice. V tem

primeru je zaradi globine potrebno upoštevati vleko pretvornika. V plitvih vodah mora biti pretvornik nameščen na najvišjo točko plovila. Namestitev pretvornika na sprednji del ladje ali ob strani namreč zmanjša normalno delovanje. Ob namestitvi na sprednji del ladje je plovilo nemogoče uporabiti za napornejše naloge, v kolikor je nameščen ob strani, pa je plovilo mogoče zasidrati le z ene strani.

Pogoji za najugodnejšo namestitev pretvornika so:

- optimalna namestitev pretvornika je nekje na tretjini oziroma polovici dolžine plovila,
- nameščen mora biti čim bližje centralni liniji (efekt zibanja je tako minimaliziran),
- ne sme ga ovirati ladijski trup,
- pozicija pretvornika mora biti čim bolj natančno določena,
- nameščen mora biti čim bolj stran od virov hrupa (propeler, motor, zračenje) (Škulj, 2010).

Funkcije takšnega pretvornika so:

- pretvarjanje električne energije v zvočno,
- pošiljanje zvočnega signala v vodo,
- prejemanje odbitega signala,
- pretvarjanje zvočnega signala v električnega.

Električni impulzi, ki prihajajo iz oddajnika, povzročajo vibriranje membrane pretvornika, ki pri stiku z vodo ustvarja zvočne valove. Ko pa signal sprejema, pride do obrnjenega procesa in vibrirajoča diafragma ustvarja električno energijo, ki se pošlje sprejemniku. Poznamo tri vrste oddajnikov (Pribičević, 2005):

- oddajnik iz magnetnega materiala – deluje na principu magnetnega polja, na podlagi katerega menja dolžino. Oblika snopa zvočnega signala se oblikuje z vrsto elementov določenih modelov,
- piezoelektrični oddajnik – deluje na principu piezoelektričnega efekta, za katerega so značilni kristali (silicijev oksid, barijev titanat,...). Kristal je vstavljen med dve kovinski ploščici. Zaradi zunanjih pritiskov ima na eni strani pozitivno, na drugi strani pa negativno napetost. Ko na kristal privedemo izmenično napetost, začne spreminjati svojo dimenzijo v ritmu frekvence dovedene napetosti,

- električni oddajnik – deluje tako, da keramika menja dolžino takrat, ko se vzpostavi električno polje. Oblika keramike ni določena in se jo da oblikovati (Škulj, 2010).

Sprejemnik ojača povratni signal in ga pošlje naprej kontrolni postaji. Snop sprejemnika mora biti dovolj širok, da prilagodi oziroma izgladi Dopplerjev efekt, če pretvornik ni vertikalni (Pribičević, 2005).

5.2 NAPRAVE

5.2.1 GLOBINOMERI

5.2.1.1 Enosnopni globinomeri (angl. singlebeam)

Skozi čas so se razvile različne izvedbe ultrazvočnih globinomerov. Prvi in še danes predvsem na rekah in v pristaniščih največkrat uporabljen sistem je sistem z eno sondo (angl. singlebeam). Sistem merjenja z enosnopnim ultrazvočnim globinomerom deluje tako, da za merjenje globine meri čas, ki ga ultrazvočni signal potrebuje, da prepotuje razdaljo od oddajnika skozi vodo do dna, kjer se odbije nazaj do sprejemnika. Rezultat izmere s sistemom singlebeam so točke v liniji (Kolenc, 2005). Vrednost širine enosnopnega globinomera znaša 30° . Do sredine 80-ih let so uporabljali ozkosnopne globinomere, ki so zahtevali elektronsko stabilizacijo oddajnika zaradi redukcije zibanja ladje. Uporaba ozkosnopnih globinomerov je namenjena za:

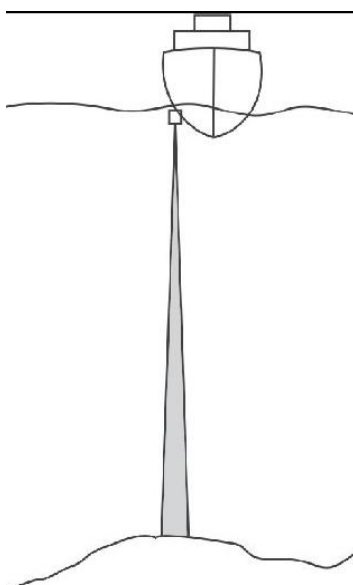
- navpično merjenje globine izpod ladje,
- povečanje kakovosti podatkov o točnosti in resoluciji.

Pri izvedbi meritev ozkega snopa potrebujemo večje oddajnike kot pri širokem snopu. Rezultati s takšnimi globinomeri pa nam ne dajo podatkov o topografiji s strani ladje, ampak samo o topografiji izpod ladje. Sama oprema takšnih oddajnikov je zelo draga (Škulj, 2010).

Dva primera značilnih enosnopnih globinomerov:

- Frekvenca od 12 KHz, valovna dolžina $\lambda = 0,125$ m, širina snopa $\beta = 2\theta = 2^\circ$,
- Frekvenca od 120 KHz, valovna dolžina $\lambda = 0,0125$ m, širina snopa $\beta = 2\theta = 2^\circ$.

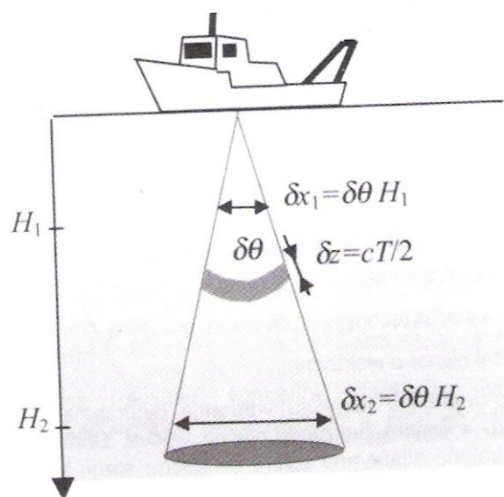
V globini do 100 m lahko doseže natančnost 0,1 m (Pribičević, 2005).



Slika 19: Prikaz pokritosti območja z enosnopnim globinomerom (Lekkerkerk, Velden, Rodgers, Haycock, Vries, Jansen, Beemster, 2006)

5.2.1.1.1 Resolucija globinomera (ločljivost, razločljivost)

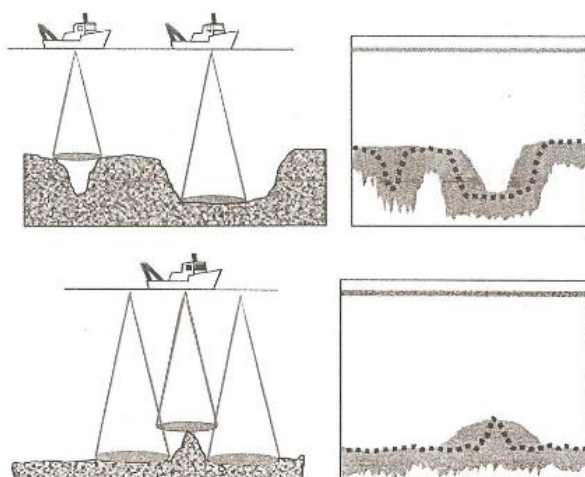
Resolucija globinomera je njegova zmožnost razločevanja med dvema bližnjima objektoma na dnu. Ločimo horizontalno in vertikalno resolucijo (Slika 20).



Slika 20: Horizontalna in vertikalna resolucija (Pribičević, 2005)

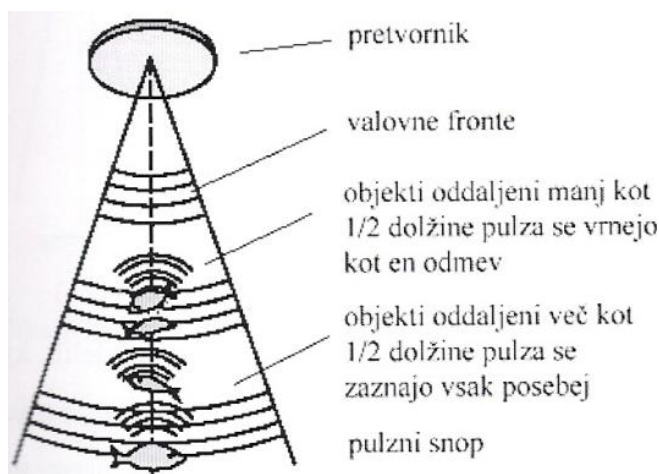
Horizontalna resolucija je neposredno povezana s širino oddanega impulza oziroma kotom snopa. Da globinomer lažje razloči točki na morskem dnu, mora biti razdalja med njima večja od najmanjše možne širine snopa na določeni globini. Večja kot je globina, slabša je resolucija, tako da v primeru, kadar nista dve točki dovolj narazen, pride do napak pri

merjenju rečnega ali morskega dna (slika 21). Globinomer pri merjenju zajame točki, ki sta preblizu skupaj, tako da med njima naredi oziroma poveže linijo, morskega dna pa tako ne izmeri pravilno. Kadar je dno širše od širine snopa, nam globinomer ne daje točnih podatkov, saj zaradi širine ne more zajeti robov, tako da jih določi kar po svoje. Kadar se na morskem dnu pojavi izboklina, se snop odbije od najvišje točke morskega dna ne glede na njeno obliko, kar nam prikaže kot napačno obliko dna (Pribičević, 2005).



Slika 21: Prikaz meritev in rezultatov pri merjenju razgibanega dna (Pribičević, 2005)

Vertikalna resolucija je povezana s trajanjem pulza, katerega razločevanje je omejeno, saj je nemogoče, da bi globinomer oddajal zelo kratke valove. Minimalno razločevanje globinomera predstavlja vrednost polovice dolžine oddanega pulza. V primeru, da sta dve točki med seboj oddaljeni manj kot polovico dolžine oddanega pulza, ju bo globinomer zaznal kot eno točko, v kolikor pa bosta točki oddaljeni za več kot pol dolžine, bo posnel dve ločeni točki (Slika 22) (Krajnc, 2006).



Slika 22: Vertikalno razločevanje globinomera (Krajnc, 2006)

Vertikalna resolucija je določena s trajanjem pulza in se računa po enačbi (4):

$$\delta z = \frac{c_z \cdot T}{2} \quad (4)$$

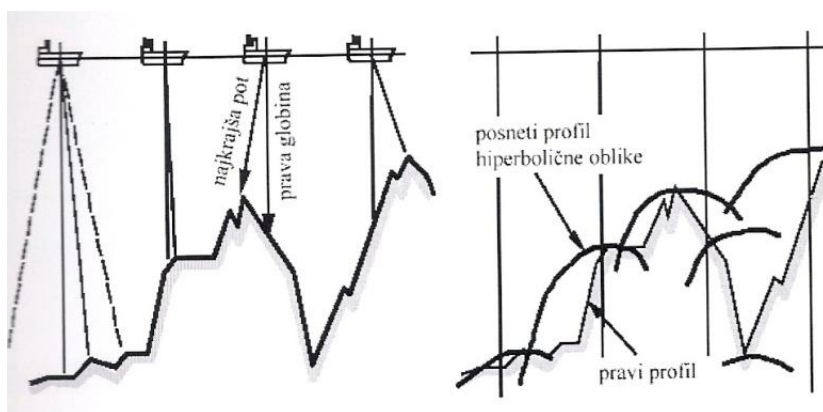
c_zhitrost zvoka v vodi,

T temperatura.

Enosnopni globinomer zaradi svoje specifikne ne pokaže natančne slike morskega dna. Natančnost je odvisna od širine snopa (večja kot je frekvenca, ožja je širina snopa), globine vode in kota nagiba. To lahko povzroči zmanjšano resolucijo, kjer je efektivna globina povečana in pogreške v izmerjeni globini (kar se lahko popravi, če poznamo kot nagiba) (Škulj, 2010).

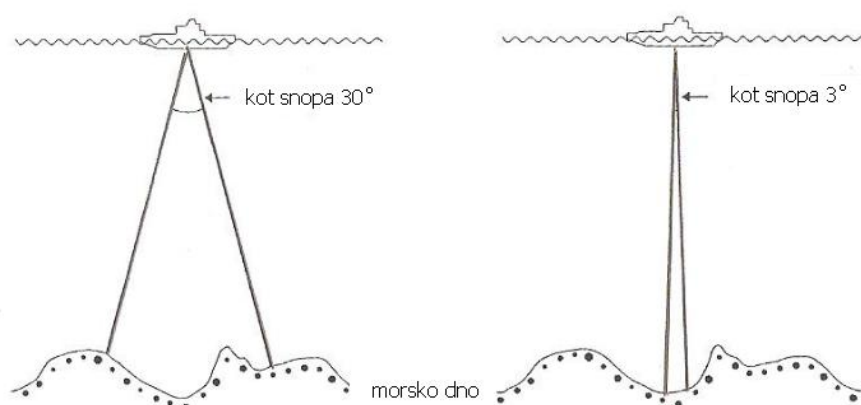
5.2.1.1.2 Širina merskega snopa

Naloga globinomera je, da registrira signal, ki se odbije od dna ter najhitreje vrne nazaj do pretvornika (signal je prepotoval najkrajšo pot). Vsak globinomer ima specifično širino snopa. Najhitreje vrnjeni signali pa niso nujno vertikalno izmerjene razdalje. Koliko to dejstvo vpliva na meritve, je odvisno od širine snopa (ima vpliv na pokritost dna), globine in nagiba dna (Slika 23). Posneto dno bo izkrivljeno in bo imelo hiperbolično obliko (Krajnc, 2006).



Slika 23: Efekt nevertikalnih signalov pri različnih širinah snopa (Krajnc, 2006)

Ločimo ozko-snopne in široko-snopne globinomere (Slika 24). Ozko-snopni so namenjeni predvsem merjenju globin pod čolnom, pri čemer ni vpliva napake zaradi nagnjenosti merjenega dna. Takšni globinomeri nam zagotavljajo podatke višje resolucije in zanje je značilno, da so bolj točni od široko-snopnih globinomerov. Pri tovrstnih meritvah je potrebna redukcija nagiba čolna, ki jo opravimo z uporabo senzorjev za zaznavanje nagibov. Slabosti takšnih globinomerov pa so, da morajo imeti večje oddajnike, kar nam metodo zelo podraži, opravljene meritve pa zajemajo zelo ozka območja (Krajnc, 2006).



Slika 24: Široko in ozko snopni globinomer (Krajnc, 2006)

Pri snemanju je pulz usmerjen proti objektu, kar poveča moč in vzpostavi točno razdaljo do objekta na merjenem dnu. Struktura snopa, poslanega s sonde, mora zagotavljati vrnjen odgovor, ki ga imenujemo signal. Nadzor strukture je zelo pomemben zaradi koncentracije energije v določeno smer, oviranju povratnih signalov ter redukciji šuma (Pribičević, 2005).

Točkasti izvor pošilja energijo na vse smeri. Pri sondah, ki se uporabljajo v hidrografiji, se energija osredotoči vzdolž osi, navpično na merjeno površino. Te sonde so oblikovane tako, da proizvajajo snope akustične energije v različnih oblikah. Te so odvisne od velikosti ter oblike sond (Pribičević, 2005).

5.2.1.2 Večsnopni globinomeri ali multibeam sistem

Uporaba večsnopnih globinomerov je namenjena boljšemu pokritju dna in s tem povečanju produktivnosti. Resolucija vsakega ozkosnopnega senzorja je enaka enosnopenemu globinomeru. Natančnost merjenja je enaka enosnopnim globinomerom, katerim se natančnost zmanjša s povečanjem vpadnega kota.

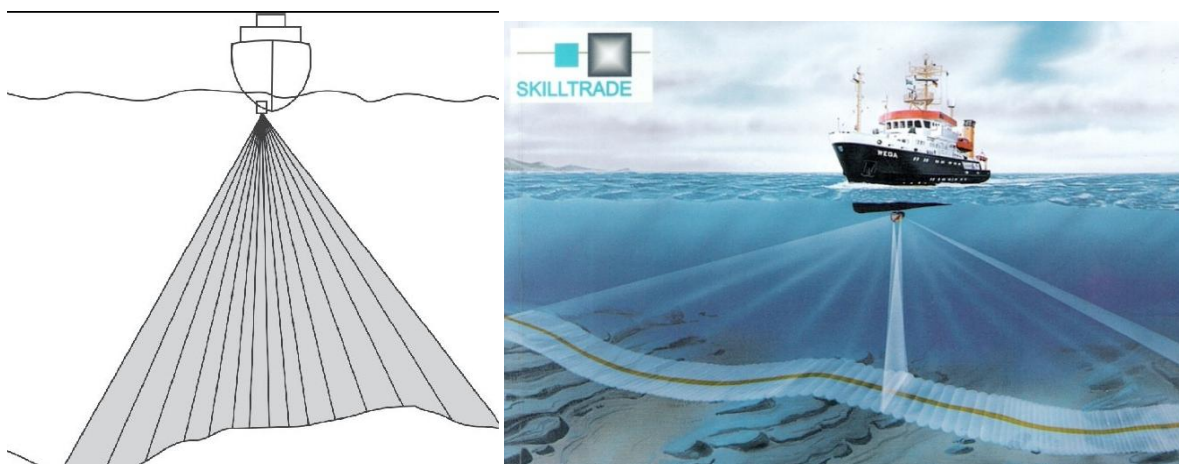
Večsnopne globinomere delimo na:

- Swath sistem,
- Sweep sistem.

5.2.1.2.1 Swath sistem

Razvoj globokomorskih swath sistemov se je začel v 70-ih letih prejšnjega stoletja. Swath sistem nam daje možnost bolj podrobne izmere in nudi najboljšo pokritost zajema morskega dna. Ti sistemi služijo točnemu merjenju določenega območja v globokih vodah, kot so geološka kartiranja, razna znanstvena raziskovanja in meritve pri postavljanju kablov.

Večpasovni globinomeri za plitve vode so se razvili v 90-ih letih prejšnjega stoletja. Uporabljajo se na območjih, ki zahtevajo 100-odstotno pokritost, kot so luke, kanali, rečne struge, bazeni pred hidroelektrarnami. Z letom 1998, so se pojavili strogo določeni IHO standardi in takrat se je število meritev z več snopnimi globinomeri povečalo. Meritve so se izvajale v plitvih vodah (Pribičević, 2005).



Slika 25: Prikaz pokritosti območja s Swath sistemom (Lekkerkerk, Velden, Roders, Haycock, Vries, Jansen, Beemster, 2006)

Swath sistem ima širok snop, ki se lahko uporablja tudi kot bočni (angl. sidescan) sonar. Večsnopne globinomere uporabljajo za merjenje različnih globin. Značilnosti teh globinomerov so naslednje:

- frekvenca se običajno razteza od 12 so 500 kHz,
- širina snopa znaša 90° – 180° (natančnost se z večjo širino zmanjša),
- širina žarka je $0,5^{\circ}$ – 3° ,
- resolucija je odvisna od globine, najboljša pa je med 1 in 15 cm (Škulj, 2010).

Večsnopni globinomeri se običajno uporabljajo za ustvarjanje digitalnih modelov z zelo visoko natančnostjo. Da se doseže natančnost, navedena s strani proizvajalca, je potrebno izpolniti več pogojev:

- globinomer mora biti natančno nameščen s horizontalno in vertikalno osjo merilne platforme,
- nameščen mora biti čim dlje od predmeta, ki povzroča hrup (motor),
- imeti mora čim bolj prosto vidno polje in ne sme biti oviran s strani ladijskega trupa ali merilne platforme,
- položaj globinomera mora biti definiran čim bolj natančno,
- čeprav je namestitev običajno odvisna od tipa raziskave, je potrebno upoštevati, da mora biti globinomer v primeru delovanja v plitkih vodah nameščen ali na najvišjo točko plovila ali pa mora imeti možnost, da se ga potegne na najvišjo točko plovila.

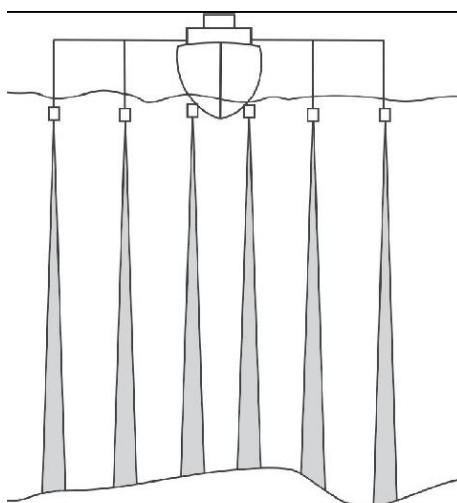
Ti globinomeri se lahko postavljajo na več načinov, kot so kobilica, s strani plovila ali pa na podvodna vozila, ki imajo možnost daljinskega upravljanja. Postavljeni so lahko trajno ali začasno in ko je oprema kalibrirana, je pri prestavitvi na drugo plovilo ni potrebno ponovno kalibrirati. Plovilo mora biti tako veliko, da lahko drži oddajnike, ki so za globoke vode veliki tudi do 5 m. Pri merjenju v plitvih vodah so oddajniki manjši, tako da jih lahko postavimo tudi na manjše čolne. Swath večpasovni globinomer deluje tako, da pošlje zvočni impulz do morskega dna, od koder se odbije, oddajnik pa sprejme in ojača povratni signal. Vsak snop ima dvojni čas potovanja, merjene poševne razdalje in merjeni kot. Razdaljo določimo glede na čas potovanja ter jakosti povratnega signala in rezultat teh meritev so široki posnetki. Oddajnik deli širok posnetek na več manjših. Širina posnetka pa se giblje od 1° do n° , odvisna pa je tudi od sestave. S tem načinom merjenja dobimo veliko število merjenih globin, saj za vsak odposlan impulz dobimo podatek. Velika prednost te metode je predvsem v tem, da dosežemo 100-odstotno pokritost območja snemanja, kar je še kako pomembno pri izvajanju meritev v kanalih in lukah. Od globine vode pa je odvisna pokritost v globokih vodah, saj je ta širina še večja in s tem slabša resolucija. Ne smemo pozabiti tudi na napako, ki pri takšni izmerjeni globini z velikim Swath kotom nastane, saj je veliko večja kakor pri majhnem kotu. Napaka nastane zaradi zavijanja plovila ter refrakcije, katera pa se pojavi zaradi odnašanja plovila iz določene smeri in valovanja zvočnih valov skozi vodo. Da bi zmanjšali napake pri merjenju globin, s povečanjem globine avtomatsko reducirajo kot Swath meritev. Parametri, kot so odnašanje plovila, zibanje, vzpenjanje in vertikalno gibanje morajo biti znani v realnem času. Za sisteme z visokimi tehničnimi karakteristikami morajo biti parametri zibanja od 0.05° , vzpenjanja 3', pri parametru vertikalnega gibanja plovila pa zahtevana natančnost znaša 5–10 cm. Tako nam GPS sistem daje komponente zibanja in vzpenjanja za določeno natančnost (Pribičević, 2005).

V primerjavi s Sweep sistemom je bolj kompakten, zagotavlja zelo dobro pokritost v plitkih vodah.

5.2.1.2.2 Sweep sistem

Nadgradnja enosnopnega sistem je sistem z več sondami (angl. Sweep system), ki so enakomerno nameščene na liniji, pravokotni na smer gibanja. Največje število sond v tem sistemu je 32, v kolikor pa je mogoče, je ena ali več sond vgrajenih v dno čolna. Način

določevanja globine na posamezni sondi je enak kot pri sistemu singlebeam. Sistem sweep pa nam v primerjavi s sistemom singlebeam omogoča večjo pokritost dna in hitrejši zajem podatkov na terenu, saj hkrati zajame podatke na več linijah. V obeh primerih gre za nepretrgano beleženje globine na analognem ali digitalnem mediju in hkratno pošiljanje digitaliziranih podatkov v programsko opremo. Sistem je posebej izdelan za uporabo v kanalih, rekah in drugih plitvih vodah. Dosega 100-odstotno pokritje posnetega dna, ki je odvisna od medsebojnega razmaka sond ter same globine vode. Za ta sistem je značilno tudi to, da ustreza IHO standardom, ki zahtevajo 100-odstotno pokritost, točnost ter visoko resolucijo (Kolenc, 2005).



Slika 26: Prikaz pokritosti območja s Sweep sistemom (Lekkerkerk, Velden, Roders, Haycock, Vries, Jansen, Beemster, 2006)

Ta metoda se uporablja za:

- odkrivanje naplavin ter drugih nevarnosti za plovbo v pristaniščih, rekah in kanalih,
- spremljanje varne globine plovnih poti,
- spremljanje izkopavanja ali podvodnih dejavnosti (gradbeništvo).

5.2.2 SONAR

5.2.2.1 Bočni sonar

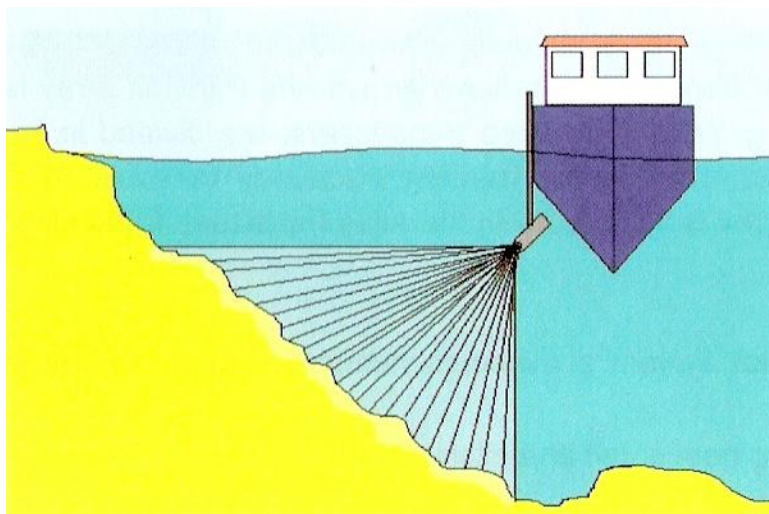
Sonar je naprava, s katero pridobimo akustične slike rečnega ali morskega dna, t. i. sonograme. Te slike nam dajo relativne višine ter višinske razlike med objekti, ki se nahajajo na morskem dnu, ne dajo pa nam absolutnih višin objektov. Bočni sonar uporablja oddajnik,

ki je postavljen poševno glede na os plovila. Uporablja se za raziskovanje morskega dna v nevarnih plitvih vodah, snemanje dna luk ter kanalov, s katerimi odkrivajo ovire med merilnimi linijami. Meritev opravimo tako, da plovilo ostane v dovolj globoki vodi, snemanje pa se opravi pod poševnim kotom območja morskega dna. V kolikor je na morskem dnu pesek, je energija kontrasta zelo majhna, pri kamnitem dnu pa je ravno nasprotno. Slike bočnega sonarja nam prikazujejo tudi majhne podrobnosti posnetega morskega dna (Pribičević, 2005).

Poznamo dva različna bočna sonarja, in sicer enojni ter dvojni bočni sonar. Enojni ima na trupu plovila z ene strani postavljen en oddajnik, dvojni pa dva oddajnika, ki sta zaradi boljšega horizontalnega pokritja postavljena 10° pod horizontom. Snop žarka je pravokotne oblike, pri katerem je širina snopa 30° v vertikalni ravnini, ki je pravokotna na plovilo in $1-2^\circ$ v horizontalni ravnini. Za te sonarje je značilno, da pri pokrivanju velikih področij odkrivajo nepravilnosti v topografiji dna in ta širina pokritja je odvisna od:

- širine snopa v vertikalni ravnini,
- nagiba osi snopa,
- višine oddajnika iznad morskega dna,
- jakosti zvočnega oddajanja (Pribičević, 2005).

Pri merjenju globine se pojavljajo napake zaradi dviganja, zibanja ter vertikalnega gibanja plovila. Velik problem na področju snemanja je tudi zvočna refleksija signalov, ki se zaradi širokega zvočnega snopa odbijajo od plovil ter drugih naravnih ali umetnih struktur. V takih primerih bočne sonarje zamenja Swath sistem.



Slika 27: Bočni sonar (Škulj, 2010)

Resolucija bočnega sonarja je nekaj desetink cm, zaradi česar akustična slika prikaže zelo natančne geološke zgradbe, kot so stene, razpoke, grebeni. V kolikor opravljamo meritev z naj sodobnejšim sonarjem, je kakovost sonarnih slik podobna fotografiji (Škulj, 2010).

Prednost bočnih sonarjev je, da so lahki, enostavni za transport in namenjeni za snemanje v plitvih vodah z dosegom do približno 100 m. Enostavna uporaba in kakovost podatkov pa sta pripomogli k temu, da so zelo zaželeni v mnogih raziskovanjih. Pri merjenju v globokih vodah, ko je sonar blizu morskega dna, je potrebna visoka frekvenca, saj nam ta daje zelo dobre rezultate. Zaradi pritiska, ki se pojavi v globokih vodah, morajo biti sonarji narejeni iz odpornih materialov. Imajo električne kable, ki služijo za vleko, ki so dolgi tudi do nekaj km. Nekateri izdelovalci danes izdelujejo sonarje, ki so opremljeni za določanje položaja. Možno pa je tudi koriščenje nizkih frekvenc, s tem da bočni sonarji niso potopljeni v globoki vodi (Pribičević, 2005).

Eden značilnejših sonarjev je britanska GLORIA. Ta deluje na frekvenci 6,5 kHz. V ekstremnih primerih zajema območje širine 30–60 km ter dosega resolucijo okoli 60 m. Bočni sonarji, ki so konstruirani za odslikavanje, temeljijo na interferometrijskih meritvah med dvema postavljenima antenama. Interferometrijski bočni sonar določa smer signala opažene oddaljenosti iz časa potovanja (Pribičević, 2005).



Slika 28: Prikaz potopljene ladje na dnu morja (<http://marinesonic.us>)

5.2.2.2 Skenirni sonar

Skenirni sonar delimo v dve glavni skupini, glede na postavljanje:

- horizontalno postavljanje (skenirni sonar),
- vertikalno postavljanje (skenirni prečni prerezovalc).

Horizontalno postavljanje skenirnega sonarja se uporablja za odkrivanje ter izogibanje oviram, prikazovanje pristanišč, odlagališč skal, čistosti dna ter odkrivanje predmetov, razbitin in naplavin, ki so nevarne za plovbo. Daljinsko upravljanje vozil (angl. Remotely Operated Vehicle - ROV) daje dodatno možnost, da dobijo sliko okolice še posebej tam, kjer je vidljivost slaba in plovba nemogoča. Sistem se lahko primerja z radarskim, le da se namesto radijskih uporabljajo zvočni valovi. Skenirni sonar je sestavljen s treh stvari:

- sonarne glave s spreminjevalcem za signal,
- procesne enote,
- prikazovalnika (zaslon oziroma monitor).

Sonarna glava je sestavljena iz spreminjevalca, motorja na električni pogon in kontrole pozicije glave. Glava je nameščena na navigacijo ROV. Spreminjevalec ima enako pozicijo kot stranski sonarni spreminjevalec s sledečimi značilnostmi:

- frekvenca znaša 100 kHz–3 MHz,
- horizontalna širina znaša 1–4°,
- vertikalna širina 10–60°,
- obseg 100–200 m.

Stopenjski motor ima mehansko resolucijo od 0,2 do 0,6° in v 10-30" skenira kot 360°. Večjo kot imamo hitrost skeniranja, slabša resolucija posnetka dobimo. Kljub temu da so vse sonarne glave mehanske, imajo nekateri modeli elektronsko skenirno glavo. Slabost počasnega skeniranja se z elektronsko skenirno glavo ne reši (Škulj, 2010).

Procesna enota nadzoruje povratne podatke v sliko, ki se kaže na prikazovalniku. Od uporabe je odvisno, ali sonar postavimo horizontalno ali vertikalno. V primeru merjenja globine je bolje izbrati horizontalno namestitev sonarja. Ob vertikalni namestitvi moramo paziti na smer pogleda. Sonarna glava mora imeti prosto vidno polje, zato moramo upoštevati vse možne ovire na poti skeniranja. Zaradi relativno velike širine snopa mora biti spreminjevalec dovolj daleč pod trupom plovila. Če to ni možno, je nemogoče izmeriti odseka. Sonarna glava mora biti čim bolj poravnana z osmi plovila, saj v nasprotnem primeru pride do zamikov in posledično do nenatančnih podatkov (Škulj, 2010).

Vertikalno postavljanje ali skenirni prečni prerezovalci pogosto uporabljajo pri načrtovanju cevovodov ter kablov, še posebej, če so položeni v jarkih. Namestitev je identična skenirnemu sonarju, saj je pri uporabi prečnega prerezovalca potrebno poznavanje sledečih nastavitvev:

- jačanje: slika se lahko izboljša s spreminjanem jakosti,
- niz: nastavi razdaljo, ki jo bo sonar raziskal,
- hitrost skeniranja: vpliva na stopnjo rotacije sonarne glave,
- velikost odseka: določi kot, ki ga sonar pokriva,
- smer plovbe: določi smer, v katero sonar gleda, z izborom stranskega skeniranja se določi natančna smer, kamor sonar gleda,
- zaslonski način: se uporabi za izbor delovanja skenirnega prečnega prerezovalca.

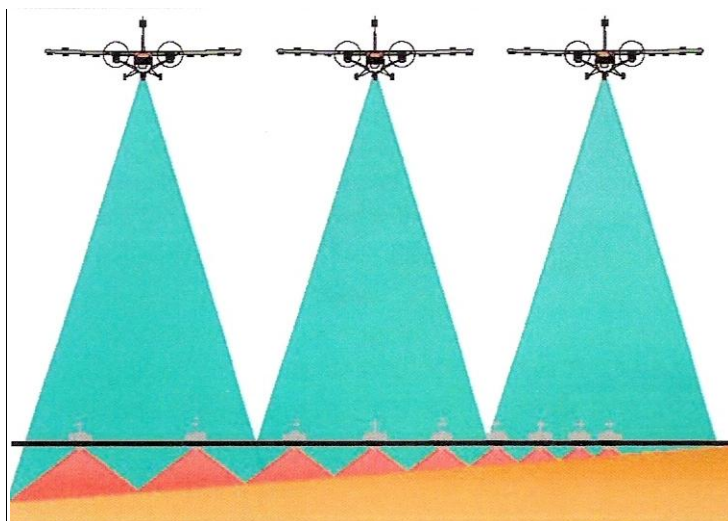
Možno je videti cel krog ali odsek le-tega. Večina prečnih prerezovalcev ima opcijo Side Scan, ki zaklene sonarno glavo v določeno smer kar pomeni, da se glava se ne vrti več (Škulj, 2010).

Natančnost merjenja je odvisna od:

- hitrosti zvoka,
- resolucije: npr. $0,9^\circ$, $1,8^\circ$, $3,6^\circ$. pri $0,9^\circ$ je resolucija 400 pixlov na 360° skeniranja,
- velikosti odseka: max. je 360° , največkrat uporabljen odsek je ($<180^\circ$). Manjši kot je odsek, višja je natančnost,
- nastavitve niza: daljši kot je niz, dlje signal potuje, da doseže glavo, glava se mora počasneje obračati,
- smeri skeniranja: z leve proti desni ali obratno (Lekkerkerk, Velden, Rodgers, Haycock, Vries, Jansen, Beemster, 2006).

5.2.3 LASERSKE METODE MERJENJA GLOBIN

5.2.3.1 ALB sistem



Slika 29: Letalsko snemanje morskega dna (Kolenc, 2005)

Na svetu je veliko plitvih in globokih območij voda, ki so med seboj pomešane in jih ni mogoče izmeriti s pomočjo čolnov, ladij. Eden takih primerov je Veliki koralni greben v Avstraliji. Takšno področje lahko na karti označimo samo s pomočjo sonarjev, vodenih z manjših čolnov, pri čemer je za obdelavo potrebno več let. V takšnih primerih si pomagamo s sistemom ALB (angl. Airborne Laser Bathymetry), ki za merjenje globin uporablja tehnologijo LIDAR (angl. Laser Airborne Depth Sounder). Ta tehnologija je ena najbolj obetavnih in omogoča razpoložljivost oziroma merjenje podatkov z višine. Za LIDAR je značilno, da uporabi svetlobo (laserska svetloba, ki odda 400 impulzov na sekundo) namesto

zvoka, namesto spreminjevalca pa se vrti ogledalo (Kolenc, 2005). LIDAR senzorji so lahko nameščeni na letalo ali helikopter, na katere je namestitev lažja in omogoča večjo natančnost. Namestitev na letalo nam omogoča daljši raziskovalni čas in poveča raziskovalno učinkovitost. Oddajnik, ki je pritrjen na helikopter, oddaja laserske impulze navpično proti vodi. Omejitev predstavlja globina vode, do katere deluje LIDAR, ta pa je odvisna od prosojnosti vode. V zelo bistrih vodah maksimalna globina lahko doseže do 50 m. Natančnost pri merjenju višin je približno 15 cm, natančnost pri merjenju globine pa okrog 30 cm, kar je še vedno znotraj IHO natančnosti, vendar ne dovolj natančno za konstruktivno delo. Osnovni komponenti LIDAR sistema sta laserski skener in hladilni sistem ter GPS in Inertial Navigation Sistem (INS). Laserski skener je nameščen na letalo in oddaja infrardeče žarke na visoki frekvenci. Skener posname razliko med časom izžarevanja laserskih impulzov ter sprejemanjem odbitih signalov. Ogledalo, ki je nameščeno pred laser, se vrti in povzroča, da se laserski impulzi rahlo odbijejo pod kotom nazaj. Laserski impulz oddaja dva snopa, eden je infrardeč (IR), drugi pa modrozelen. Infrardeč snop predstavlja odboj od vodne površine, valovna dolžina znaša 1064 nm. Modrozeleni snop pa potuje skozi vodo vse do morskega ali rečnega dna in ima valovno dolžino 532 nm (Škulj, 2010). Globino vode dobimo iz časovne razlike povratnih signalov, tako površine vode kot morskega dna. Vsako globino je mogoče še dodatno popraviti glede na plimovanje s pomočjo podatkov bližnjega mareografa. Položaj in orientacija letala sta določena z uporabo faznega diferencialnega kinematičnega GPS-a. GPS je nameščen na letalo ali helikopter, katerega orientacija leta se kontrolira in določa z INS (Kolenc, 2005). Dvosmerni potovalni čas laserskih impulzov z letala do tal je merjen in posnet skupaj s položajem in orientacijo leta v času prenosa vsakega impulza. Po letu so vektorji z letala na tla kombinirani s položajem letala v času vsake meritve in izračunajo se tridimenzionalne koordinate vsake točke. Sistem lahko funkcionira pri različnih frekvencah in različnih globinah glede na natančnost merjenja. Z natančnim časovnim usklajevanjem časa dvosmernega potovanja svetlobnih pulzov je možno določiti razdaljo z laserja do tal z natančnostjo 10–25 cm. Podatek dopuščanja hitrosti letenja se giblje od 75 do 250 km/h, višine letenja od 100 do 5000 m, raziskovalni kot do 20°, vrednosti pulzov pa od 2000 do 25000 pulzov na sekundo. S hitrim skeniranjem tal od leve proti desni in nazaj vzdolž planirane steze leta se zbere vzorec s pikčastim dviganjem. Laser mora biti dovolj hitro skeniran, da se preprečijo reže vzdolž zunanjih robov letalne steze. Razmik med točkami se giblje med 0,5 in 2,5 m (Škulj, 2010).

Obdelava podatkov po letu kombinira natančne poti letala in informacije o zibanju, guganju in smeri letenja letala. Povezovanje teh podatkov ustvari natančen položaj in vertikalno dviganje za vsak laserski impulz. Vsak impulz je natančno merjen in pozneje razvrščen glede na to, ali gre za tla, vegetacijo, zgradbo, električni vod in drugo. Laser včasih zadene več kot en predmet na svoji poti do zemeljske podlage in zato lahko gre skozi vegetacijsko zaveso, se dotakne listov ali vej, preden najde pot do tal. Od sistema je odvisno, ali meri prve, zadnje ali vse podatke. Prvi podatek nam da vrh vegetacije, zadnji pa zemeljsko podlago pod njo. Možnost obeh podatkov dovoljuje uporabniku pogled na področje z ali pa brez obstoječe vegetacije in tako ni potrebno dvakrat preleteti območja snemanja (Škulj, 2010).

Področja, na katerih se ta tehnologija najbolj razvija:

- hitro izvajanje meritev, s čimer so zagotovljeni nižji stroški,
- izvajanje meritev na težko dostopnih oziroma nedostopnih območjih,
- merjenje plaž in obalnih konstrukcij,
- hitro merjenje na območjih, kjer druge geodetske metode ne pridejo v poštev zaradi varnosti (led),
- hitra ocena škode pri nastanku vremenskih ujm (Lekkerkerk, Velden, Roders, Haycock, Vries, Jansen, Beemster, 2006).

Danes se uporabljajo štiri tipi laserskih sistemov: LADS MKII, Larsen 500, SHOALS in Hawk Eye. Vsak ima svojo posebnost, način pridobivanja globine pa je enak. Vsi navedeni sistemi uporabljajo tehnologijo LIDAR (Škulj, 2010). V splošnem velja, da od vseh metod merjenja globine prav z uporabo ALB sistema dobimo najslabše natančnosti (Kolenc, 2005).

6 OPIS PRIMERA IZMERE V KOPRU

V tem poglavju bom predstavil praktični primer iz leta 2009, ko je podjetje Geodetski biro Iztok Slatinšek s.p. izvedlo hidrografsko izmero Mandrača v Kopru. Meritev je potekala po metodi z enim globinomerom (angl. Singlebeam).

6.1 Opis

Izmera Mandrača v Kopru se je izvajala leta 2009. Razlog za izvedbo teh meritev je bila sprememba stanja območja zaradi obnove starega in izgradnje novega pomola s štirimi plavajočimi pomoli. Uprava Republike Slovenije za pomorstvo je glede hidrografske izmere izdala naslednje zahteve:

- meritve mora opravljati strokovno usposobljen certificiran hidrograf,
- meritve morajo zadoščati standardu IHO S-44,
- uporabljena mora biti profesionalna oprema za hidrografske meritve,
- predani morajo biti dejavniki oziroma zapisniki o poteku meritev.

Glede na zahteve in posvetovanje z Geodetskim inštitutom Slovenije se je določilo območje izmere in zahteve za izvedbo teh meritev ter končna oblika rezultatov.

6.2 Podatki hidrografske izmere

6.2.1 Specifikacije zahtev meritev

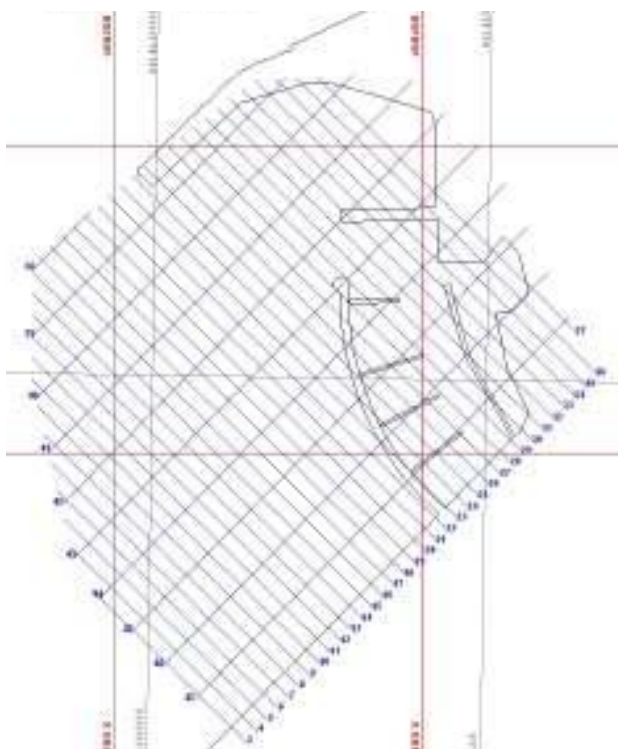
Izmero so izvajali po IHO S-44 standardu (special order), ki predpisuje minimalne zahteve za opravljanje meritev. Zahteve so bile naslednje:

- največji dovoljeni položajni pogrešek (pri stopnji zanesljivosti 95%): ± 2 m,
- največji dovoljeni vertikalni pogrešek (pri stopnji zanesljivosti 95%): ± 0.25 m pri globini 6 m,
- zahtevana polna pokritost pregleda oziroma izmere območja (angl. full sea floor search),
- lociranje vseh podvodnih ovir, večjih od 1 m^3 .

6.2.2 Območje izmere

14. maja 2009 je bilo določeno območje in koordinate robnih točk v GRS80/D96.

»Območje izmere obsega območje, omejeno z linijo, vzporedno z robom novega pomola, v razdalji 200 m od zunanega (zahodnega) roba pomola ter linijo, ki seka prejšnjo v podaljšku zunanega roba severnega pomola Koprškega mandrača (Slika 30).«



Slika 30: Območje izmere (Slatinšek, 2009)

6.3 Planiranje meritev

Po predhodnem pregledu, je bilo ugotovljeno, da je območje izmere precej plitvo, saj je bila pričakovana največja globina 5-6 m v bližini carinskega pomola. V delu mandrača, kjer so bili izvedeni gradbeni posegi z obnovo in izgradnjo novih pomolov, je bila pričakovana globina 3 m, v območju starega mandrača pa do 2 m. Zahteva o izmeri po standardu IHO S-44 Special Order o 'full sea floor search' zaradi oteženih razmer na terenu (plitvina, poln navtični promet, privezana plovila ob pomolih, manevrsko zelo omejeno območje...) ne bo izvedljiva, ker je uporaba multibeam sistema in side-scana onemogočena.

6.3.1 Uporabljena strojna in programska oprema

Strojna oprema:

- ultrazvočni globinomer Odom Hydrotrac,
- 2 x GNSS sprejemnik Leica sistem 1200 (GX 1230 + GNSS),
- merilec hitrosti zvoka Valeport mini SVS,
- gumijast čoln Zodiac (Cadte Solid 340 S) s pripadajočo opremo,
- prenosni računalnik,
- ostali pribor.

Programska oprema:

- Hypack 2009,
- AutoCAD Map 3D 2008,
- Leica GeoOffice 2007,
- HyperTerminal.

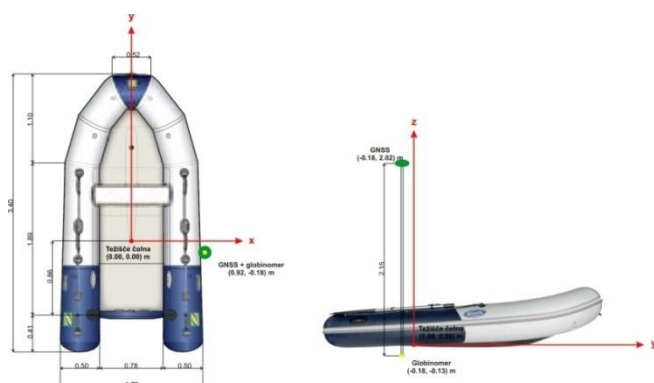
6.4 Izvedba izmere

Hidrografska izmera s čolnom in »ročno« se je izvajala 1. julija 2009. Samo »ročna« pa se je izvajala tudi naslednji dan, to je 2. julija 2009.

6.4.1 Merilni sistem na čolnu

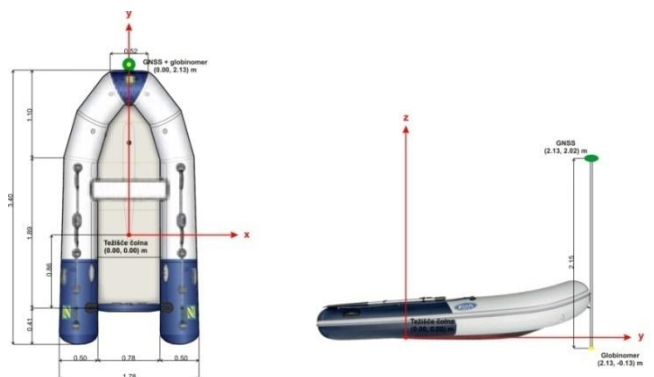
Izmero so kot načrtovano izvajali z gumijastim čolnom, pri čemer sta bili na togem vertikalnem nosilcu nameščeni sonda globinomera in antena GNSS sprejemnika. V merilni sistem ni bil vključen sistem za nagibe sonde, saj so bili nagibi plovila v času izmere zanemarljivi. Uporabili so dve namestitvi togega nosilca s sondo in GNSS anteno:

- Namestitev sonde in GNSS sprejemnika na boku čolna, ki se je uporabljala na »odprtem« delu območja izmere (Slika 31).



Slika 31: Shematski prikaz namestitve opreme pri nastavitvi sonde na boku čolna (Slatinšek, 2009)

- Namestitev sonde in GNSS sprejemnika na premcu čolna, ki so jo uporabljali pri izmeri med privezanimi plovili (Slika 32).



Slika 32: Shematski prikaz namestitve opreme pri nastavitvi sonde na premcu čolna (Slatinšek, 2009)

- Za določitev globine so uporabljali ultrazvočni globinomer Odom Hydrotrac. Njegovi podatki so se v realnem času pošiljali v programski paket Hypack, ki je ves čas beležil tudi analogni zapis meritev.
- Za določitev položaja so uporabljali GNSS sprejemnik Leica GX1230+, ki je v realnem času (RTK) prejemal podatke o opazovanjih z referenčne postaje GURS Koper.
- Za določitev plimovanja so uporabili podatke z GNSS sprejemnika, ki so bili beleženi z minutnim intervalom.
- Za navigacijo po načrtovanih linijah izmere so uporabljali programski paket Hypack, v katerem so se združevali podatki globinomera in GNSS sprejemnika. Kadar razmere

na terenu (navtični promet, plovila privezana na pomole, ...) niso omogočale vožnje po projektiranih linijah, so meritve na teh mestih izvajali glede na pogoje same.

- Za določitev hitrosti zvoka v vodi so uporabljali merilec Valeport mini SVS, za komunikacijo med napravo in računalnikom pa program HyperTerminal. Hitrost zvoka so izmerili na začetku in na koncu meritev.

6.4.2 Klasična izmera pasu ob pomolih in ob obali

Za klasično izmero pasu ob obali in ob pomolih so uporabljali GNSS sprejemnik Leica GX1230+, nameščen na raztegljivem togem grezilu dolžine 4,6 m. Zaradi omejene dolžine togega grezila so bile klasično izmerjene samo globine do pribl. 3,5 m v času meritev.

6.4.3 Koordinatni sistem

Vse meritve z GNSS sprejemnikom so bile izvedene v ETRS89 sistemu, v programskem paketu Hypack pa je bil uporabljen koordinatni sistem D96/TM. Tako so bili podatki iz sprejemnika transformirani iz ETRS89 v D96/TM, hkrati pa je program dodatno zapisoval vse surove podatke.

6.4.4 Kalibracija merilne opreme

6.4.4.1 Določitev časovne zakasnitve

Pri določitvi parametra časovne zakasnitve gre za določitev časovnega zamika med podatki različnih senzorjev, ki pošiljajo podatke v programski paket. V konkretnem primeru je šlo za časovno zakasnitev podatkov GNSS sprejemnika glede na podatke globinomera, ki je znašala 0,2 s. Parameter je pri uporabi identične opreme vedno konstanten.

6.4.4.2 Kontrola delovanja globinomera

Kontrolo delovanja globinomera so izvedli pred in med meritvami s pomočjo raztegljive aluminijaste nivelmanske late. Primerjali so odčitek na globinomeru in odčitek na lati. Razhajanje je znašalo tudi do 40 cm, razlog za to pa je bila morska trava. Kjer pa morske trave ni bilo, je bila razlika v globini največ 1 cm.

6.4.4.3 Kontrola delovanja GNSS sprejemnika

Kontrolo delovanja GNSS sprejemnika so izvedli na zemeljskem centru referenčne postaje GURS Koper, kjer so ugotovili, da sprejemnik ustrezno deluje.

6.4.5 Vremenski podatki v času izmere

Vremenski podatki merilnih postaj Koper – Luka in Koper – Markovci so pridobili z Ministrstva za okolje in prostor (MOP) – Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO).

6.5 Obdelava meritev

- Podatke o plimovanju so obdelali s programskim paketom Leica GeoOffice, za izračun ortometričnih višin sonde pa so uporabili podatke geoida AGSI00.
- Za obdelavo podatkov hidrografske izmere so uporabili programski paket Hypack, v katerega so vključili podatke plimovanja in hitrosti zvoka v vodi. Vsa grobo pogrešena opazovanja so izločili. Zaradi poraščenosti z morsko travo bi lahko bila ogrožena plovba, saj so med njo lahko skrite ovire, ki jih globinomer ne zazna.
- Obdelavo podatkov klasične izmere pasu ob obali in ob pomolih so izvedli s pomočjo programskega paketa Leica GeoOffice.
- Vse meritve so najprej obdelali glede na geodetsko ničlo (srednji nivo morja). Globine so pretvorili na hidrografsko ničlo oziroma srednji nivo nižjih nizkih vod živih morskih men. Razlika med obema nivojema je znašala 0,63 m (podatek za Koper). Vse globine so ustrezno popravili za to razliko v programu Microsoft Office Excel.

6.6 Natančnost in kakovost meritev

6.6.1 Zahtevana natančnost meritev

Največji dovoljeni položajni pogrešek (pri stopnji zanesljivosti 95%) znaša ± 2 m. Skupni največji dovoljeni vertikalni pogrešek (pri stopnji zanesljivosti 95%) pa dobimo kot:

$$\pm\sqrt{a^2 + (b \cdot d)^2} = \pm 0.25 \text{ m} \quad (5)$$

kjer je:

- a - vrednost dovoljene vertikalne napake, ki ni odvisna od globine (0,25 m)

- b - koeficient, ki predstavlja del dovoljene vertikalne napake, ki je odvisen od globine (0,0075)
- d - največja izmerjena globina (6 m)

Pri največji izmerjeni globini znaša skupni največji dovoljeni vertikalni pogrešek $\pm 0,25$ m.

6.7 Rezultati meritev

Rezultati meritev so bili podani v digitalni in analogni obliki. Nanašajo se na ETRS89 oziroma na D96/TM (ETRS89/TM). Ti so ustrezno prikazani pri imenu digitalne datoteke ali pa pri analognem izrisu. Vse globine so se nanašale na hidrografske ničlo. Kot rezultat meritev so izdelali seznam vseh izmerjenih točk ter točk, reduciranih na 2 in 5 m. Izdelali so tudi izobate z ekvidistanco 1 m. Ovir na morskem dnu, večjih od 1 m³, niso našli.

6.8 Ekipa

Meritve je izvedla posadka treh ljudi 1. in 2. julija 2009. Izmero je vodila Regina Kolenc (uni. dipl. ing. geodezije), Peter Kolenc (uni. dipl. ing. strojništva) in Josip Visinski, ki je upravljal čoln.

7 IZVEDBA MERITEV NA BAZENU HE VUZENICA

Naloga obravnava zajem koordinat struge reke Drave na bazenu HE Vuzenica. Delo je potekalo tako, da smo najprej izbrali najprimernejša profila, ki sta bila sprva načrtovana v Dravogradu. Področje se je kasneje spremenilo zaradi prevelikega pretoka in ovir (star, podrt most) v smeri profila ter uničene točke. Novo območje je bilo v bližini Vuzenice oziroma Trbonj.

7.1 Faze geodetskih del

Faze geodetskih del lahko v grobem razdelimo na tri dele: pred izmero, izmera in obdelava po izmeri:

- Priprava (pred izmero);
v prvi fazi pripravimo vse potrebne podatke, naredimo načrt izmere in po potrebi rekognosciramo teren. Načrtovanje je osnovnega pomena, saj je drugače proces meritve otežen ali pa sploh nemogoč.
- Meritve;
v tej fazi zajemamo podatke in če je bilo načrtovanje pravilno izvedeno, poteka ta proces počasi in nemoteno.
- Obdelava (po izmeri);
Po končanih prejšnjih fazah je potrebno podatke obdelati in spremeniti v željeno obliko. Pregledati je potrebno, če so podatki smiselni, jih popraviti ter mogoče tudi razredčiti.

7.1.1 Priprava in načrtovanje

Na vsakem bazenu (struga reke med dvema HE) opravljajo redne meritve za namen kontrole zaprodenja ali drugih del. Opisan primer se je izvajal na bazenu HE Vuzenica, ki poteka od Dravograda do Vuzenice.

Delo izvedbe projekta se začne pri načrtovanju:

- Najprej smo izbrali oziroma pridobili podloge in koordinate profilnih kamnov, ki so bili potrebni za meritve.

- Nato smo si ogledali teren in določili metode meritev.

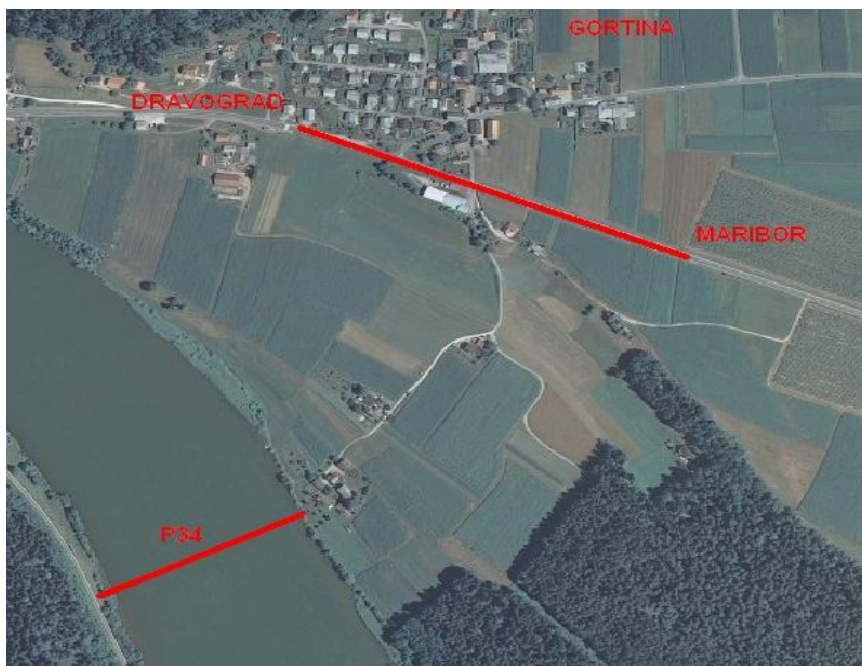
Pred začetkom izmere je bilo priporočljivo izvesti rekognosciranje terena, saj smo tako lahko določili področje in metodo izmere. Meritve so se izvajale na klasičen način z motoriziranim tahimetrom (Leica 1201). V pomoč nam je bil tudi GPS, s katerim smo uspeli najti in določiti profilne kamne, saj so bili mnogi izmed njih uničeni. Koordinate profilnih kamnov smo pridobili od Dravskih elektrarn Maribor (DEM).

7.1.2 Pridobitev dovoljenja

Pred začetkom meritev smo potrebovali še formalno dovoljenje za opravljanje meritev na reki, ki so ga izdale DEM. Seznaniti se je bilo potrebno tudi z ukrepi v primeru nesreč, varno plovbo (nošenje rešilnih jopičev). Ves čas smo morali biti dosegljivi preko mobilnega telefona.

7.2 Meritve

Po končanem načrtovanju in pridobljenem dovoljenju je sledila faza zajemanja podatkov oziroma meritev. Pred začetkom meritev poiščemo primerno mesto za splavitev čolna. Izmera zahteva ustrezen geodetski instrumentarij, kot je: GPS, tahimeter, utež, ročni merski trak, trasirka, navadna in 360°-ska prizma. Ta instrumentarij naložimo v zasidran čoln. Ekipa na terenu je štela 3 člane, upravljalec čolna, figurant in geodet za inštrumentom. Sam sem si izbral rečna profila P34 (situacija je prikazana na sliki 40) in P40. S profilom P34 nismo imeli težav, saj smo na obeh straneh našli profilne kamne. Pri profilu P40 pa smo naleteli na težavo, saj desnega profilnega kamna nismo imeli. Zato smo na levi strani postavili še dodatno orientacijsko točko. Pozneje smo ta profil izločili iz nadaljnje obdelave. Izvedli smo meritve, ki so potekale po klasičnem načinu, tako kot so to počeli pred leti, ko še podjetja niso imela sonarjev in sweep sistemov.



Slika 33: Situacija opazovanega oziroma delovnega območja

(http://www.geopedia.si/#T105_x510730_y161114.25_s15_b2_vT, 2010)

Izvajanje meritev se je začelo z GPS izmero in pridobitvijo ETRS koordinat vsakega profilnega kamna ter dodatne točke (1001) na profilu P40, ki smo jo imeli oziroma uporabili kot orientacijsko točko. Najprej smo v glavnem meniju (Slika 34) izbrali upravljanje (angl. manage), določili delovno datoteko (angl. job) in v zavihku koordinatni sistemi (angl. coordinate system) nastavili transformacijske parametre za naše področje. Vse skupaj smo potrdili in shranili (angl. store) ter kliknili na ikono za meritve (angl. survey). Nato smo nastavili »job«, višino antene in začeli z merjenji (angl. Occupy). Vsako točko smo z nastavljenimi parametri opazovanega območja opazovali štirikrat po 20 sekund. Po končani GPS izmeri smo zamenjali spominsko kartico in jo vstavili v tahimeter, ki smo ga pred tem horizontirali in centriralni. Pred začetkom smo v glavnem meniju ponovno izbrali upravljanje (manage) in nato delovno datoteko (job). Ko smo ponovno začeli z meritvami, smo morali nastaviti orientacijo, višino instrumenta, ime in višino orientacijske točke ter nadaljevali s polarnim snemanjem detajlnih točk.



Slika 34: Glavni meni v simulatorju GPS upravljalnika

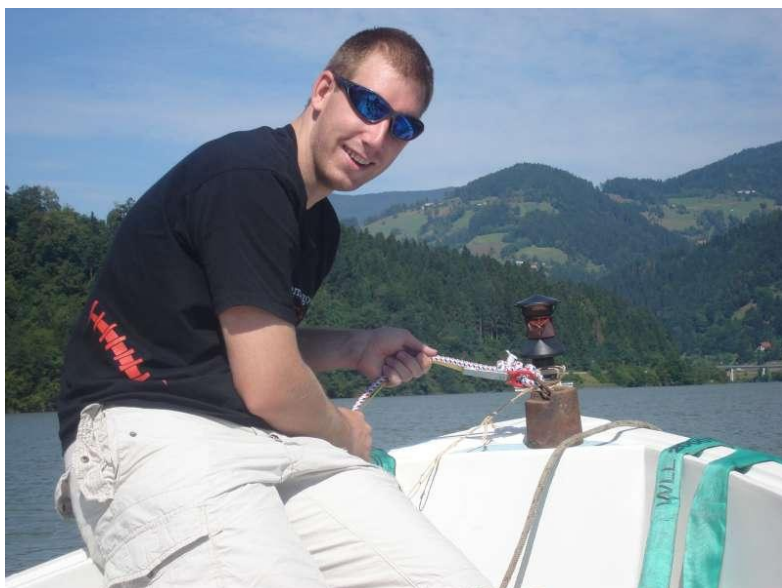
Meritve smo najlažje opravljali prečno po reki s čolnom, usmerjenim in obrnjenim proti toku reke oziroma gorvodno. Merjenje globine, ki je bila manjša od 4-ih metrov, je potekalo normalno, tako kot merimo detajlne točke na kopnem. Za določitev položaja novih točk smo uporabili instrument Leica TPS 1201 in 360°-sko prizmo, ki je bila pritrjena na 5-metrsko trasirko. To prizmo smo uporabili, ker smo sprva mislili, da bomo lahko uporabljali funkcijo avtomatičnega sledenja prizme (angl. Automatic Target Recognition – ATR). Na terenu se je izkazalo, da je ta funkcija v našem primeru neuporabna, saj pri klasični metodi meritev privzdigujemo trasirko s prizmo in tako instrument izgublja signal. Težava te metode pa je tudi v tem, da je tok reke odnašal čoln, ki ni bil privezan na jeklenico. Funkcija ATR se lahko uporablja samo takrat, kadar merimo globine z globinomerom (sonarjem) in je prizma fiksno pritrjena na plovilo, tako da instrument ne izgublja signala.

V času meritev je bilo potrebno usmerjati voznika čolna in figuranta na navidezno linijo med profilnima kamnoma, da ne bi prišlo do prevelikih odmikov od profila. Odmiki od profila bi naj bili čim manjši. Merjenja so morala potekati zelo hitro, saj se je zaradi pretoka vode, vetra, valovanja, ipd. čoln ves čas premikal. Če bi merili rečni profil samo s trasirko, bi dobili na vsakem profilu med 10 in 20 točk, saj se globina reke hitro spusti in je večja od 5 metrov, tako da je bila trasirka prekratka za takšne meritve. V našem primeru smo globine merili s trasirko do globine štirih metrov, saj je bilo trasirko zaradi močnega toka in premikanja čolna zelo težko držati v vertikalnem položaju.



Slika 35: Potek meritev s pomočjo trasirke

Ko smo naleteli na večje globine, smo si pri merjenju globine pomagali s pet kilogramov težko utežjo in ročnim merskim trakom. Zaradi lažjega in hitrejšega padanja uteži smo na utež privezali vrv in ročni merski trak, ki je bil razvit po čolnu. Utež smo metali približno 2 metra pred čoln, ker jo je odnašal tok. Odčitek na merskem traku smo izvedli, ko je čoln prispel vertikalno nad napet merski trak tik ob prizmi. Prizmo smo pritrdili na premec čolna, tako da smo lahko izmerili kot in dolžino istočasno z odčitkom na ročnem merskem traku. Kadar je prišlo do prevelikega odmika od profila in prevelike oddaljenosti med merjenimi točkami, se je bilo potrebno vrniti nazaj proti zadnji točki in ponoviti meritev.



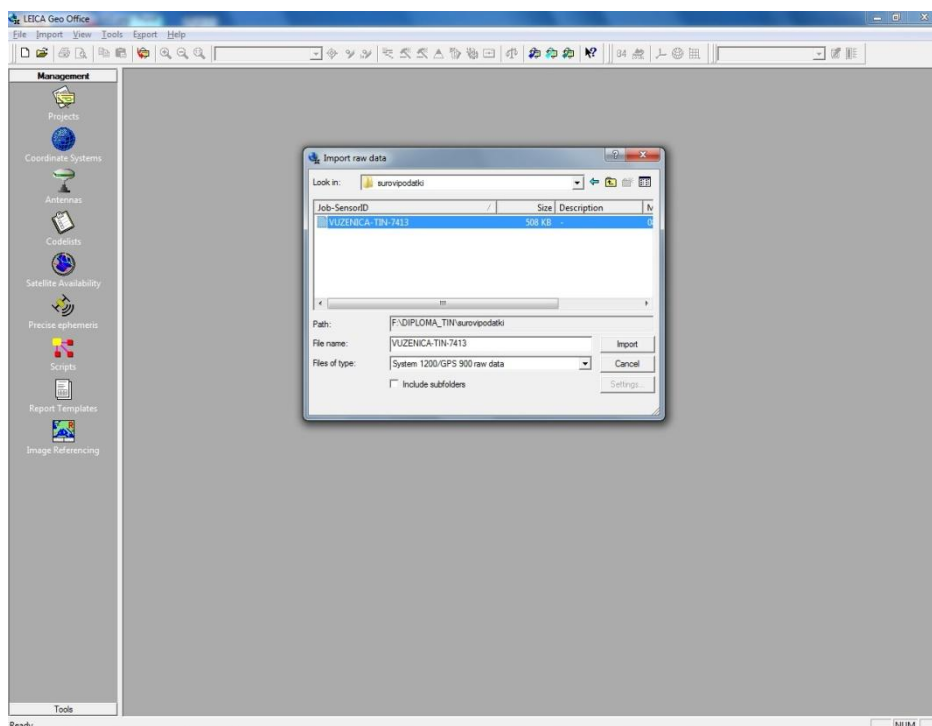
Slika 36: Vodja izmere – meritev z utežjo in ročnim merskim trakom

8 OBDELAVA IN REZULTATI MERITEV

Po meritvah je bilo potrebno izvesti še obdelavo podatkov, ki je potekala v več korakih. V prvem koraku sem podatke prenesel iz kartice na računalnik in jih obdelal. V drugem koraku sem preračunal koordinate detajlnih točk, v tretjem sem podatke pregledal in odstranil grobe napake. V zadnjem koraku pa sem izrisal profile s pomočjo programa AutoCad.

8.1 Obdelava podatkov

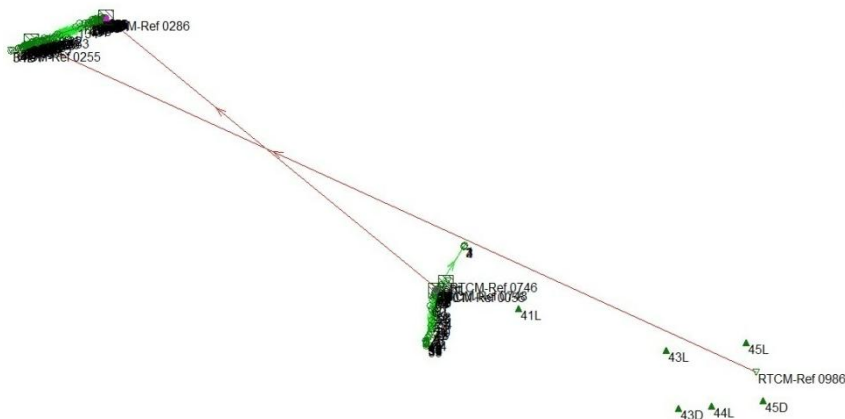
V prvem koraku sem prenesel podatke na računalnik in jih nato obdelal s programom Leica GeoOffice (v nadaljevanju LGO). Surove podatke (raw datoteka) sem uvozil (angl. import) v program (Slika 37). Obdelava je zahtevala veliko več časa, kot je bilo pričakovano, saj programa LGO še nisem poznal.



Slika 37: Uvoz surove (raw) datoteke v program Leica GeoOffice

Izbrisati sem moral nekaj detajlnih točk, ki sem jih predhodno vnesel v GPS ali pa jih je instrument sam uvozil oziroma »potegnili« med meritve. Te odvečne točke so predhodno vnešene koordinate profilnih kamnov (41L, 43L, 44L, 45L, ...). Potrebna je bila velika

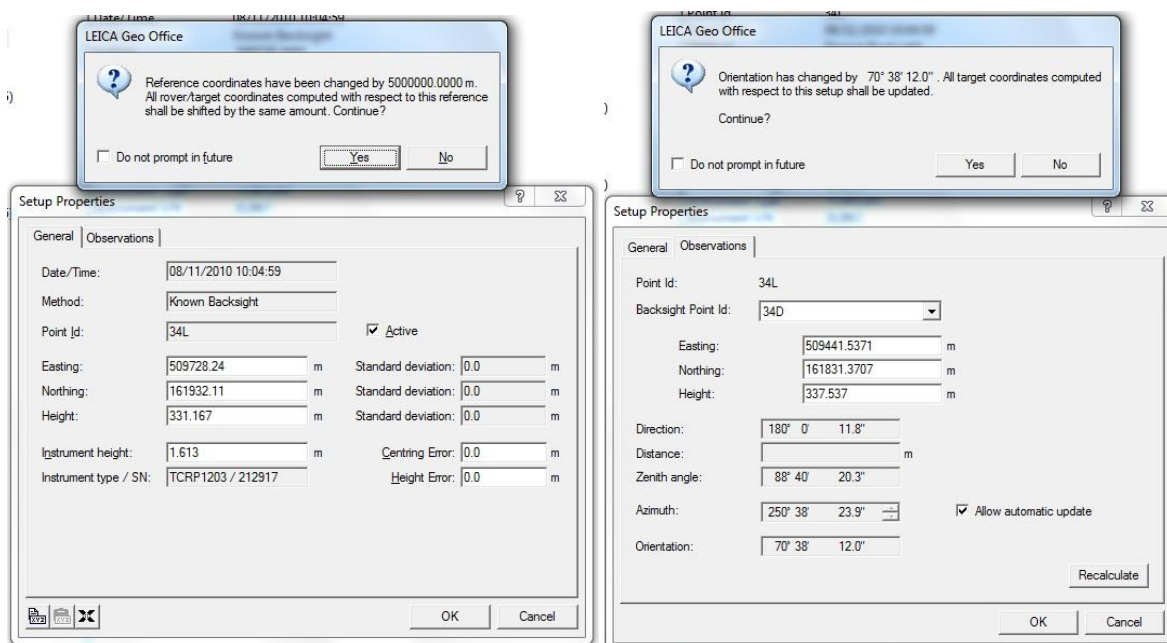
pozornost, saj bi med ročnim pregledovanjem lahko po nesreči izbrisal kakšen podatek, ki ni bil pogrešek.



Slika 38: Odvečne točke v programu Leica Geo Office

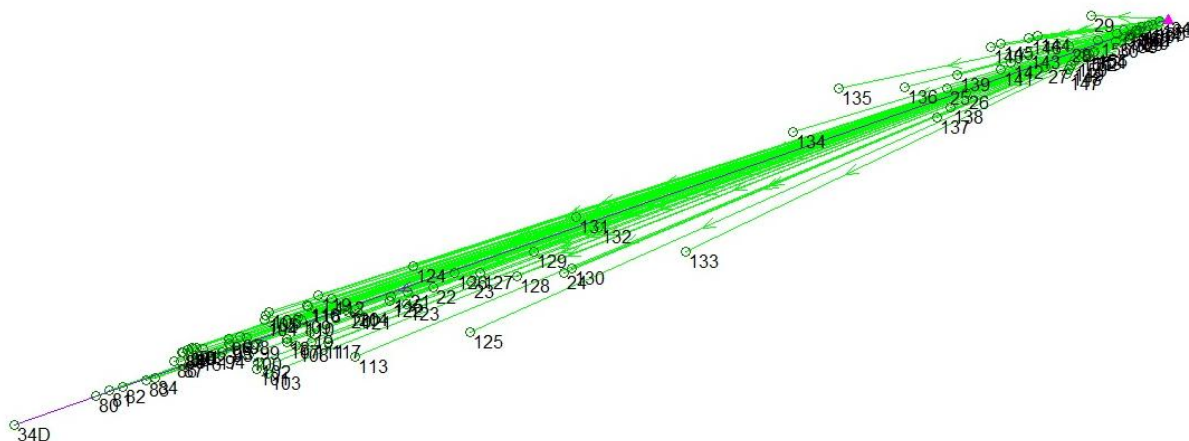
8.2 Izračun koordinat in ugotavljanje grobih pogrškov

Po izbrisu neuporabnih točk sem se lotil preračuna koordinat detajlnih točk. Kadar je v instrumentu vse pravilno nastavljeno, nam program z uvozom datoteke sam preračuna koordinate detajlnih točk. Naknadno sem ugotovil, da je med vnašanjem koordinate y, stojiščne točke 34L (levi profilni kamen) prišlo do grobe napake. K sreči je koordinato možno popraviti naknadno v programu samem, tako da sem jo popravil za 5.000.000 m. Orientacijski kot se je popravil za približno 71° (Slika 39) in ta popravek se je prenesel na vse ostale merjene točke.



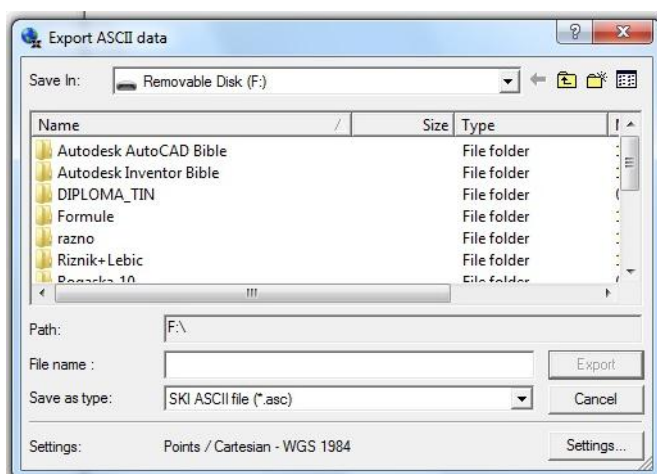
Slika 39: Popravek koordinat in orientacijskega kota v programu LGO

Iz popravljenih koordinat smo dobili naslednji rezultat (Slika 40). Iz slike je razvidno, da bližje kot smo sredini profila, manjša je gostota točk. Vzrok tega je bil močan tok in vetrovne razmere v času izmere.



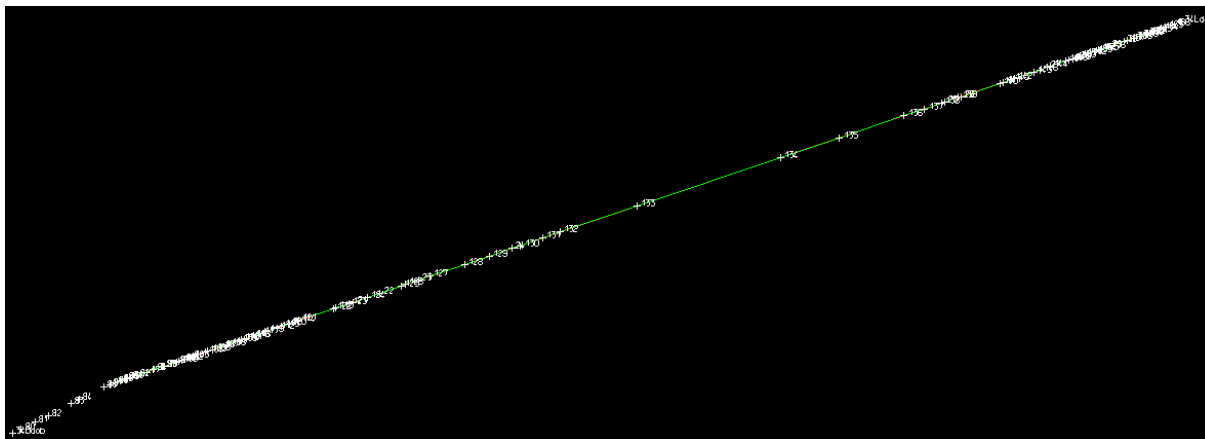
Slika 40: Izris urejenih meritev v programu LGO

Koordinate točk sem izvozil (angl. export) v ASCII datoteko (Slika 41), ki jo prepoznata programa Geos7 in AutoCad.



Slika 41: Izvoz Ascii datoteke iz programa LGO

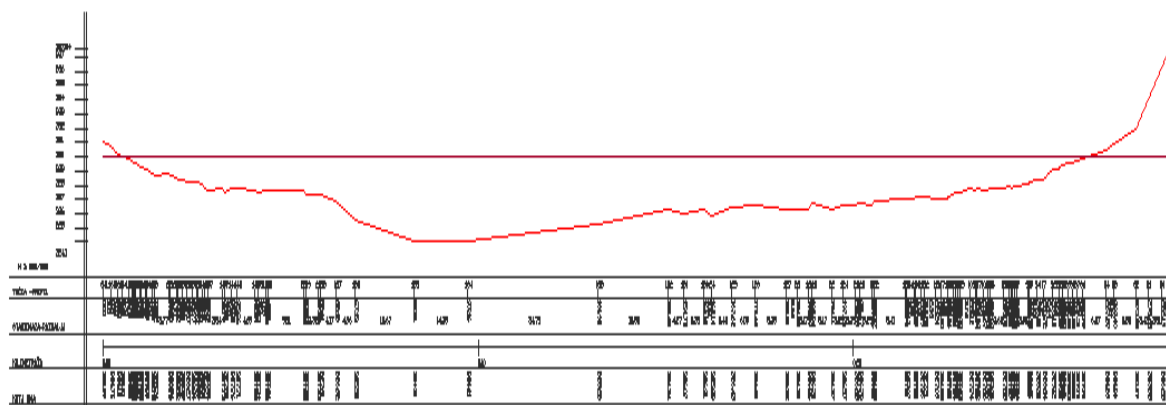
V program Geos7 sem uvozil ASCII datoteko koordinat, ki sem jo še dodatno obdelal. Vsem točkam, katerih globino smo izmerili s pomočjo uteži in merskega traku, je bilo potrebno popraviti višine za izmerjeno globino. Trasirka je bila v takšnih primerih prekratka, da bi lahko izmerili globino. Vse obdelane točke sem kasneje prestavil na navidezno linijo profila (Slika 42).



Slika 42: Točke premaknjene v linijo v programu Geos7

8.3 Kartiranje izmerjenih profilov

Za kartiranje profilov sem si pomagal s programom AutoCad, v katerega sem uvozil obdelano ASCII datoteko iz programa Geos7. Urejene detajlne točke meritev med sabo povežemo s polilinijo oziroma nepretrgano daljico in nato izrišemo v posamezni profil (Slika 43).



Slika 43: Izris profila v programu AutoCAD

Površino profila dobimo s pomočjo programa AutoCad, v katerem določimo presečišče med izrisanim profilom in gladino vode. Program izračuna površine profila 34 po enačbi 6, te pa nato primerjamo in analiziramo. Kasneje prestavimo vse izrisane profile na isto izhodiščno točko oziroma višino, da lahko opazujemo razlike.

$$P = \frac{1}{2} [(x_1 - x_2) \cdot (y_1 + y_2) + (x_2 - x_3) \cdot (y_2 + y_3) + (x_n - x_1) \cdot (y_n + y_1)] \quad (6)$$

8.4 Analiza rezultatov

Za samo analizo sem poleg svojega primera iz podjetja Geodetski biro Slatinšek dobil še štiri dodatne podatke o štirih predhodnih meritvah globin istega profila. Prvi podatek je bil iz leta 2004, ko je izmera potekala na klasičen in GNSS način, drugi iz leta 2005 s pomočjo sweep sistema in tretji iz leta 2008 z GNSS načinom merjenih globin. Tem meritvam sem dodal še svoje podatke merjenih globin iz leta 2010 s pomočjo klasičnega načina. Za samo analizo rezultatov sem uporabil program Excel, v katerem je najlažje podatke prikazati v tabelah in jih izrisati v grafikonih. Primerjava je potekala na dva načina:

- po letih ločeno (ista metoda),
- po metodah ločeno (isto leto).

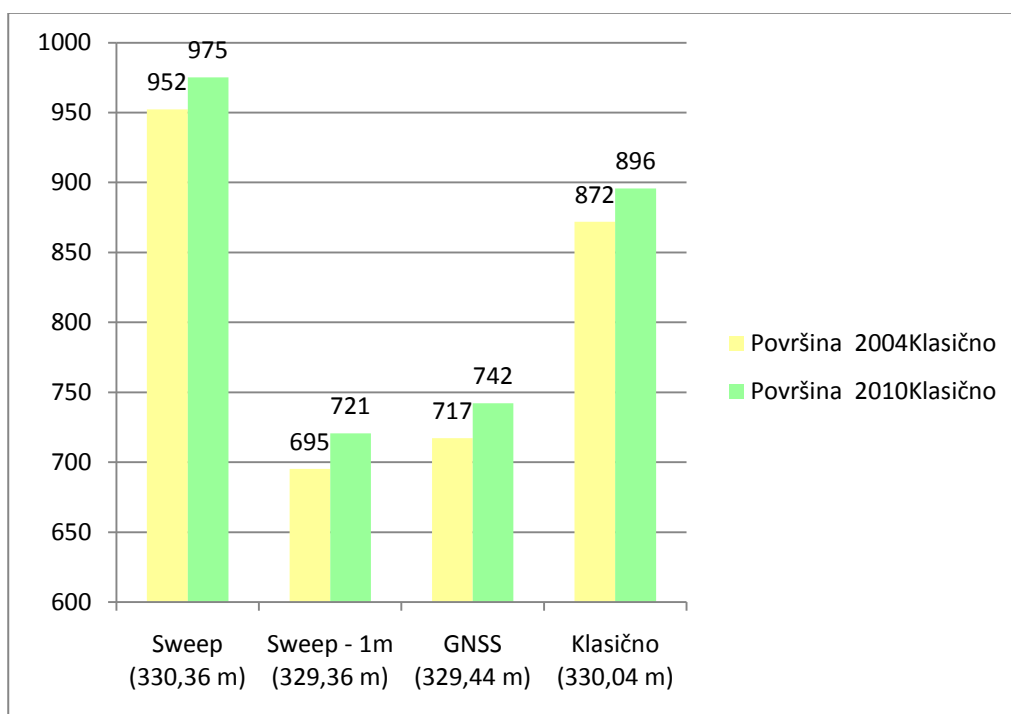
Podatke bom primerjal tudi glede na gladino vode v času meritev in prikazal dejansko razliko med posameznimi metodami. Ob tem je potrebno upoštevati, da so se pri vseh metodah gladine vode v času meritev razlikovale. Vzrok za različne gladine vode v času meritev je bila

sprememba nivoja vode na zapornici, saj reka nima ves čas istega pretoka in tudi meritve so bile izvedene v različnih časovnih obdobjih (ura, dan, mesec, leto).

8.4.1 Površine ločene glede na leto meritev – zaprodenje

Preglednica 2: Površine ločene po letih – ista metoda (klasično)

Gladina \Metoda	Površina 2004 Klasično	Površina 2010 Klasično	ΔP 2004 in 2010 Klasično
Sweep (330,36 m)	952 m ²	975 m ²	23,0 m ²
Sweep - 1m (329,36 m)	695 m ²	721 m ²	25,2 m ²
GNSS (329,44 m)	717 m ²	742 m ²	25,1 m ²
Klasično (330,04 m)	872 m ²	896 m ²	23,8 m ²



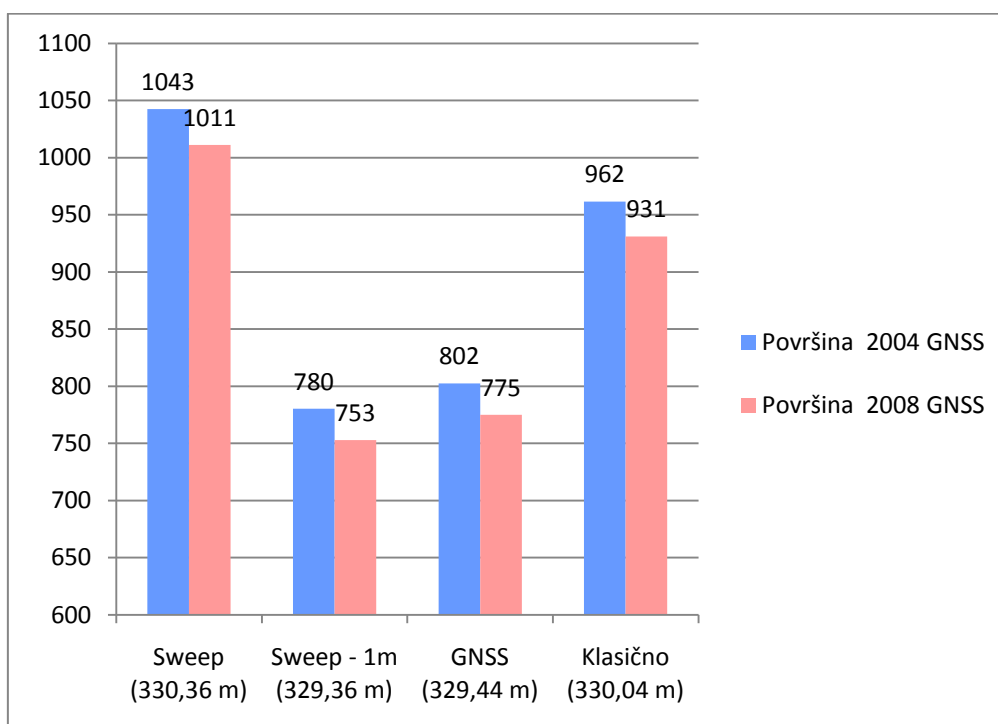
Grafikon 1: Površine ločene po letih – ista metoda (klasično)

Komentar: Zgornja preglednica in grafikon prikazujeta podatke meritev dveh klasičnih metod, ki sta bili opravljene v različnih letih, in sicer štiri različne globine merjene s sweep, GNSS in klasično. V prvem grafikonu tako primerjamo metodo iz leta 2004 in 2010, pri čemer sta bili izvedeni s klasičnim načinom merjenja globin. Ti dve meritvi prikazujeta podatke o zaprodenju med letoma 2004 in 2010. V prvem stolpcu imamo primerjavo izračunanih površin glede na najvišjo gladino, katero so izmerili leta 2005 s sweep metodo. Zaradi najvišje gladine vode imamo v tem stolpcu največje površine profila. V drugem

stolpcu smo najnižjo gladino dobili tako, da smo najvišji gladini odšteli 1 meter. Na ta način podajajo gladino vode pri sweep metodi v podjetju Geodetski biro Iztok Slatinšek s.p. Pri različnih gladinah vode v času meritev dobimo dokaj enako razliko v površini profila. Pri teh dveh klasičnih metodah izmere smo dobili razliko v površini med 23,0 in 25,2 m², kar je 2,4% oziroma 3,5% celotne površine profila. Ta podatek govori o zaprodenju med obravnavanima letoma.

Preglednica 3: Površine ločene po letih – ista metoda (GNSS)

Gladine\Površine	Površina 2004 GNSS	Površina 2008 GNSS	ΔP 2004 in 2008 GNSS
Sweep (330,36 m)	1043 m ²	1011 m ²	- 31,4 m ²
Sweep - 1m (329,36 m)	780 m ²	753 m ²	- 27,4 m ²
GNSS (329,44 m)	802 m ²	775 m ²	- 27,5 m ²
Klasično (330,04 m)	962 m ²	931 m ²	- 30,7 m ²



Grafikon 2: Površine ločene po letih – ista metoda (GNSS)

Komentar: V tej preglednici in na grafikonu so prikazane izračunane površine meritev v m², ki so bile izvedene z isto metodo v letih 2004 in 2008. Za izmero površin so tedaj uporabili GNSS metodo, pri kateri merjene višine pridobimo iz satelitov. Pri takšni izmeri višin posameznih točk pride do velikih razlik. Ponovno govorimo o primerjavi različnih gladin vode v času meritev. Razlika med izračunano površino na različnih gladinah iz leta 2004 in

leta 2008 je znašala 27,4 in 31,4 m². Ta razlika predstavlja 3,0% oziroma 3,5% celotne površine profila, kar ponovno kaže na zaprodenje.

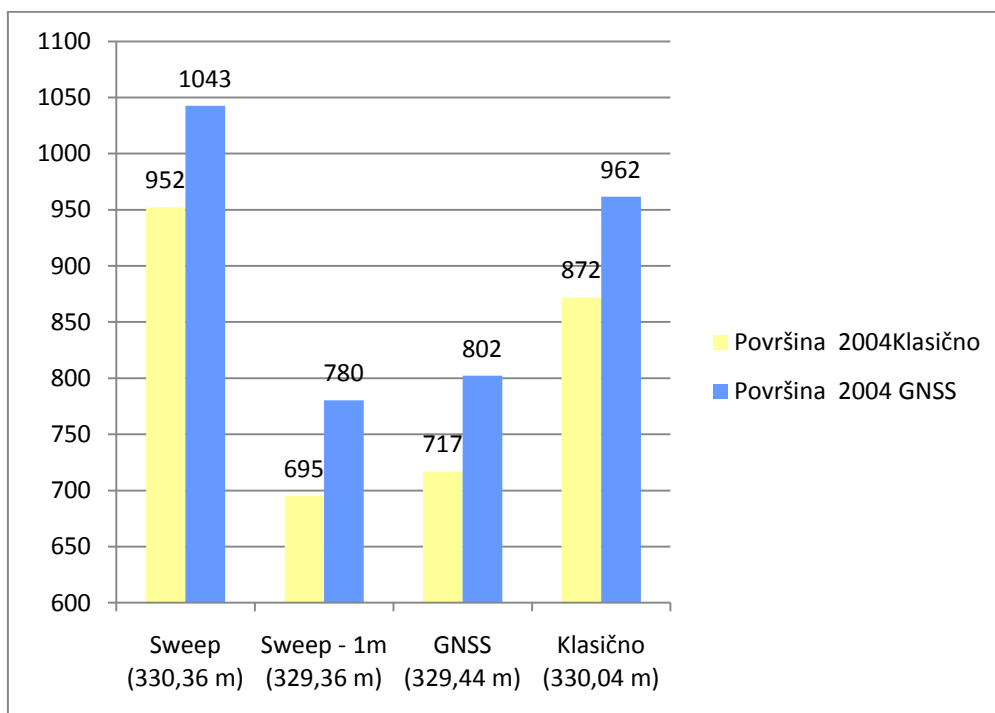
Pri zgornjih preglednicah (Preglednica 2 in Preglednica 3) oziroma grafikonih (Grafikon 1 in Grafikon 2) lahko opazimo veliko razliko v izračunanih površinah med najvišjo in najnižjo gladino. Ta ugotovitev nas pripelje do spoznanja, da lažje in natančneje merimo globine ob straneh rečnega bazena pri klasičnem načinu meritev. Pri GNSS metodi izmere pa natančneje merimo globine na sredini rečnega profila (večji kot za sprejemanje podatkov s satelitov). Ugotovimo tudi, da se skoraj $\frac{1}{3}$ celotne površine skriva v tem metru razlike med najvišjo in najnižjo gladino vode.

Preglednici (Preglednica 2 in Preglednica 3), prikazujeta razlike v izmerjenih površinah med leti 2004, 2008 in 2010, ki so bile opravljene na isti način. Te razlike nakazujejo na dejansko zaprodenje med leti 2004, 2008 in 2010 na posameznem profilu. Med letoma 2004 in 2008, ko so uporabili GNSS metodo izmere, dobimo razliko med -27,4 in -31,4 m². Ta rezultat pove, da se je med temi leti dejansko zgodilo zaprodenje, saj je površina zaradi zaprodenja leta 2008 manjša kot leta 2004. Med letoma 2004 in 2010, ko so potekale meritve na klasičen način, smo dobili razliko v površini med 23,0 in 25,2 m². Ta rezultat je odličen, ker je razlika med površinami pozitivna in precej majhna. Torej leta 2010 dobimo večjo izmerjeno površino kot pa leta 2004 in tako lahko rečemo, da je med temi leti najverjetneje prišlo do poglobljanja profila oziroma je reka odnesla material po reki navzdol do naslednjih profilov.

8.4.2 Površine ločene glede na metodo meritev

Preglednica 4: Površine ločene po metodah – isto leto

Gladine\Površine	Površina 2004 Klasično	Površina 2004 GNSS	ΔP 2004Klas. in 2008GNSS
Sweep (330,36 m)	952 m ²	1043 m ²	90,2 m ²
Sweep - 1m (329,36 m)	695 m ²	780 m ²	84,9 m ²
GNSS (329,44 m)	717 m ²	802 m ²	85,2 m ²
Klasično (330,04 m)	872 m ²	962 m ²	89,8 m ²



Grafikon 3: Površine ločene po metodah – isto leto

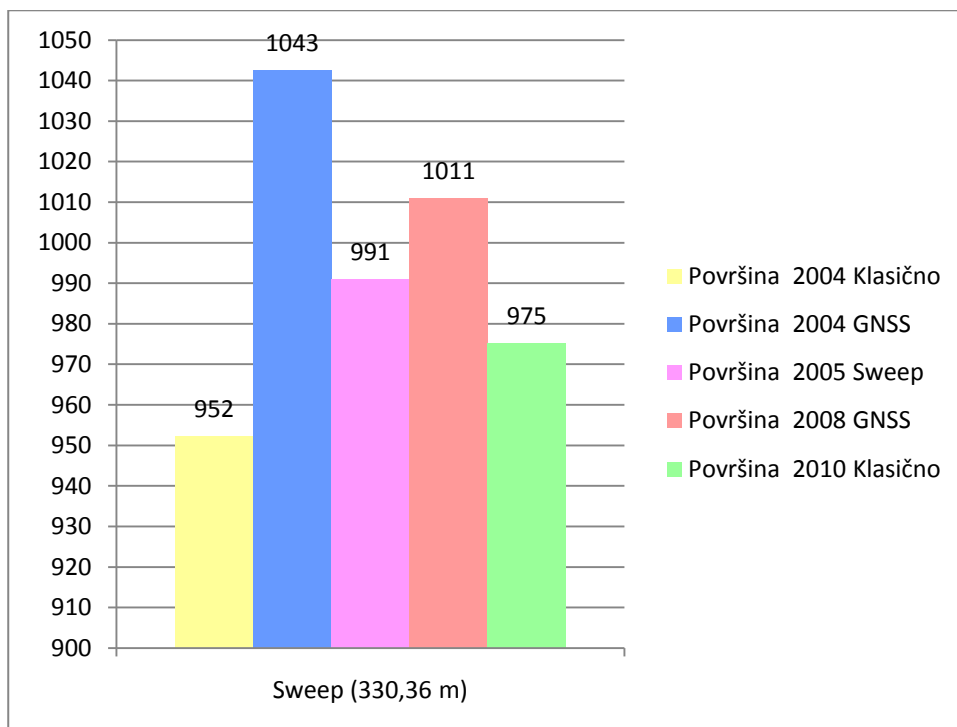
Komentar: Naslednja primerjava, ki smo jo opravili, je bila primerjava meritev, izvedenih v istem letu z različnimi metodami. Dobljeni oziroma preračunani rezultati so prikazani tudi v Grafikonu 3. Ti dve meritvi sta bili izvedeni leta 2004 z GNSS metodo izmere in na klasičen način izmere višin točk v profilu. Ko primerjamo površine, ki so bile narejene po klasični metodi (prvi stolpec), ugotovimo, da so višine točk ob robovih reke natančneje izmerjene kot točke na sredini reke. Pri GNSS metodi (drugi stolpec) meritev višin pa je ravno obratno. Večja natančnost izmerjenih višin in posledično površin profila je pri nižji gladini, saj se točke, izmerjene ob robovih rečnega profila odstranijo (manj natančne meritve). Večja natančnost izmerjenih višin točk z GNSS metodo je na odprtem oziroma sredini rečnega

profila, ker na tem delu instrument lahko sprejme signale z večih satelitov. S tem se poveča natančnost izmerjenih višin posameznih točk profila. Tako se največja razlika med metodama pojavi pri najvišji gladini ($90,2 \text{ m}^2$). Razlika pri najnižji gladini vode znaša $84,9 \text{ m}^2$. Ta razlika med tema dvema metodama znaša kar 9,5% oziroma 12,2% celotne površine profila. Prav tako smo ugotovili, da gre pri teh dveh meritvah samo za vzporedni premik točk po višini (34 cm). Smiselnost uporabe teh podatkov (GNSS) je za nadaljnjo uporabo vprašljiva. S pomočjo te ugotovitve lahko trdimo, da nam zaprodenje dejansko ne vpliva na razliko površine v tolikšni meri kot pa uporaba različne metode meritev. Najnatančnejše rezultate dobimo, kadar uporabimo več različnih metod meritev hkrati.

8.4.3 Površine glede na višino gladine vode

Preglednica 5: Primerjava površin različnih metod meritev – gladina 330,36 m

Gladina \ Površina	Površina 2004 Klasično	Površina 2004 GNSS	Površina 2005 Sweep	Površina 2008 GNSS	Površina 2010 Klasično
Sweep (330,36 m)	952 m ²	1043 m ²	991 m ²	1011 m ²	975 m ²



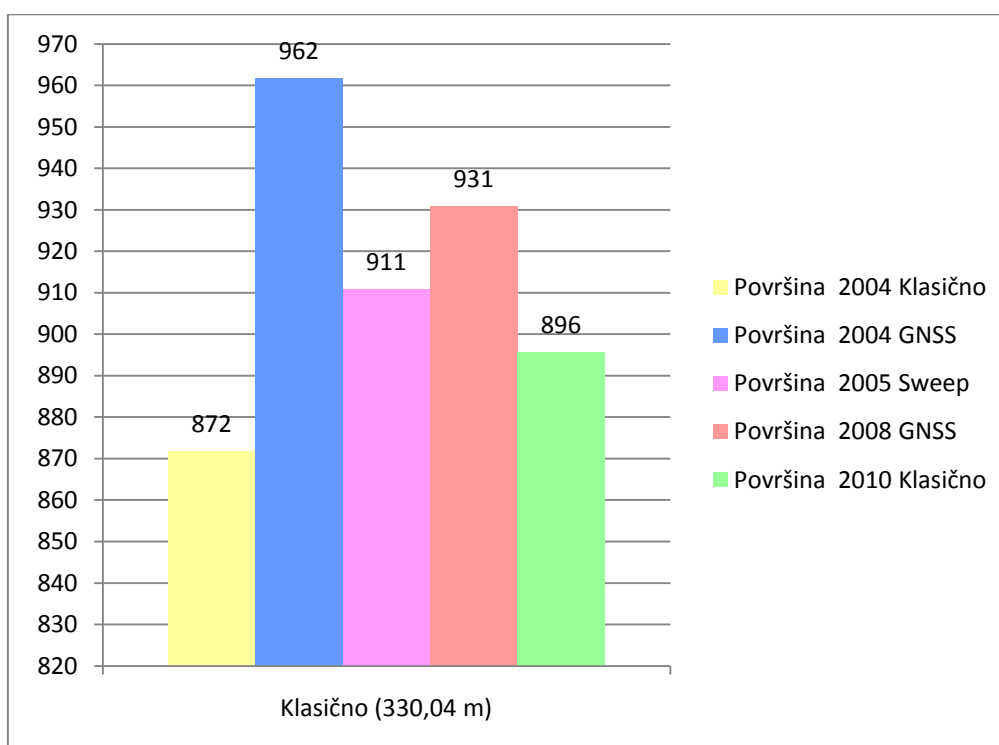
Grafikon 4: Primerjava površin različnih metod meritev – gladina 330,36 m

Komentar: Naredimo še pregled vseh obravnavanih metod meritev na različnih gladinah vode. Za prvi primer v tem sklopu analiz smo izbrali primer z najvišjo gladino vode v času

meritev. Kot smo že ugotovili v prejšnjih analizah v preglednici 5, imamo največjo razliko v izračunani površini prav med podatki, ki prikazujejo izmero iz leta 2004 (GNSS in klasična metoda meritev). Podatki pri ostalih metodah meritev (Sweep 2005, GNSS 2008 in klasično 2010) se razlikujejo za 36 m², kar dejansko predstavlja 3% celotne površine. Če v primerjavo vključimo največjo razliko med meritvami, ki je 91 m², pomeni to 9,5% celotne površine.

Preglednica 6: Primerjava površin različnih metod meritev – gladina 330,04 m

Gladina \ Površina	Površina 2004 Klasično	Površina 2004 GNSS	Površina 2005 Sweep	Površina 2008 GNSS	Površina 2010 Klasično
Klasično (330,04 m)	872 m ²	962 m ²	911 m ²	931 m ²	896 m ²

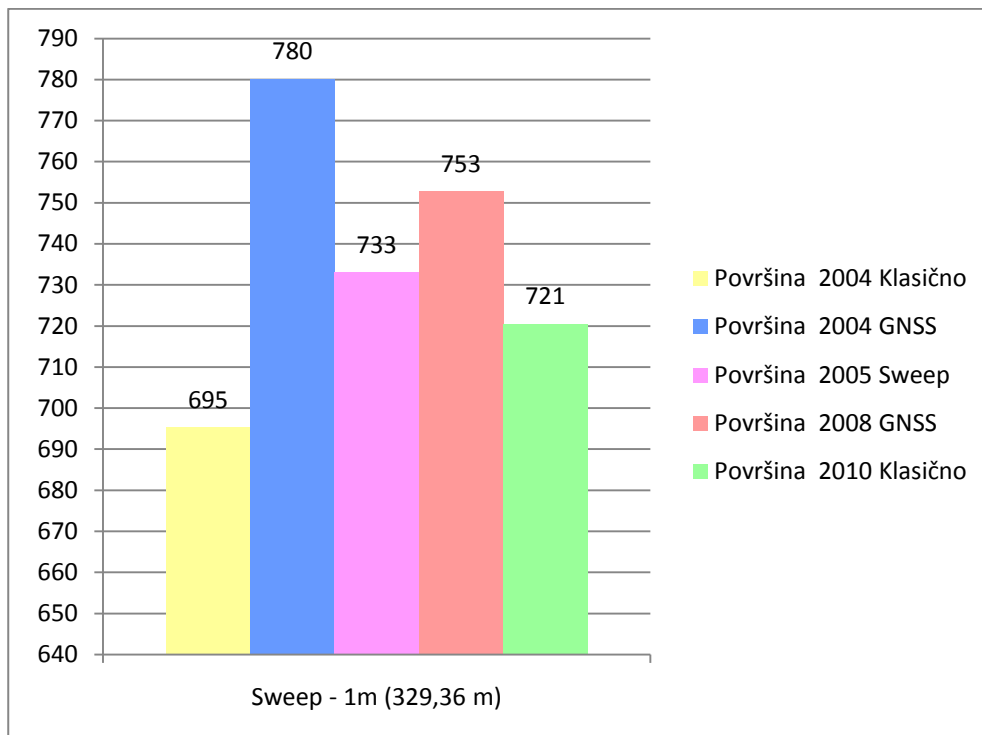


Grafikon 5: Primerjava površin različnih metod meritev – gladina 330,04 m

Komentar: Gladina vode pri obravnavanem primeru znaša 330,04 m. To gladino smo izmerili oziroma dobili leta 2010, ko smo opravljali meritve na klasičen način. Gladino smo izmerili najprej na desnem in nato še na levem bregu, izračunana aritmetična sredina pa podaja gladino. Razlika med največjo in najmanjšo površino je 90 m², kar predstavlja skoraj 10% celotne površine. Če odstranimo podatke iz leta 2004 (prvi in drugi stolpec), se vse preostale površine razlikujejo za manj kot 4% površine rečnega profila.

Preglednica 7: Primerjava površin različnih metod meritev – gladina 329,36 m

Gladina \ Površina	Površina 2004 Klasično	Površina 2004 GNSS	Površina 2005 Sweep	Površina 2008 GNSS	Površina 2010 Klasično
Sweep – 1m (329,36 m)	695 m ²	780 m ²	733 m ²	753 m ²	721 m ²



Grafikon 6: Primerjava površin različnih metod meritev – gladina 329,36 m

Komentar: Najnižja gladina vode posledično pokaže najmanjše razlike med posameznimi metodami. Najmanjša razlika je med izmero, ki je potekala leta 2005 (sweep) in med meritvijo iz leta 2010 (klasično). Razlika med tema meritvama je 12 m², kar predstavlja 1,7% celotne površine profila. Pri primerjavi med metodama sweep in klasično, ki sta potekali istega leta (2004), znaša ta razlika kar 85 m², kar je skoraj 12,5% celotne površine.

Vse te analize pripeljejo do spoznanja, da je najnatančnejša metoda izmere kombinacija vsaj dveh skupnih metod meritev, kajti GNSS metoda je zelo nenatančna ob robovih rečnih profilov. Zaradi meritev s pomočjo satelitov je vprašljiva tudi natančnost izmerjenih višin (nepravilno razporejeni sateliti, nezadostno število satelitov, ...). Najnatančnejša metoda izmere globin je sweep metoda, saj razdaljo med merjenimi točkami lahko nastavimo na približno 0,5 m. S čolnom se lahko ves čas vozimo enakomerno in tako ni potrebno ustavljati in hiteti z odčitavanjem, kot je to potrebno pri klasičnem načinu meritev. Pomanjkljivost sweep metode je ta, da meri globino s pomočjo zvočnih signalov, ki se od proda odbijejo

nazaj do sonarja, pri čemer se signali ne odbijajo od dejanskega površja rečnega profila. Klasičen način meritev je zelo natančen pri nižjih globinah (do 4 m), saj lahko te globine izmerimo s pomočjo trasirke, katero lahko zapičimo skozi mulj ter izmerimo dejansko površje. Pomanjkljivost te metode je, da je zelo zamudna, saj moramo zaradi odnašanja čolna iz smeri, nevertikalne trasirke, prepočasnega operaterja, ipd. večkrat ponoviti merjenja.

Hidrografske meritve ne more opravljati ena sama oseba, pa tudi dve osebi težje opravljata meritve na vodi. Zato so takšne meritve zelo kompleksne in zahtevne, saj potrebujemo ponavadi vsaj tri ljudi, ki se morajo popolnoma uskladiti. Natančnost meritev je odvisna prav od uskladitve celotne ekipe in tudi zunanjih dejavnikov.

9 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi sem spoznal klasično metodo hidrografskih meritev, ki sem jo sam izvedel. Razvidno je, da so natančnosti končnih rezultatov zelo odvisne od števila in gostote izmerjenih točk, vremenskih razmer, hitrosti operaterja in jakosti pretoka reke. Tovrstne meritve spadajo med ene izmed najzahtevnejših, saj je potrebno upoštevati vse naštetе dejavniki hkrati. Zahtevnost je še toliko večja, ker se morajo pri meritvah uskladiti vsaj 3 osebe (voznik čolna, figurant in operater).

Med samim potekom dela si nisem predstavljal, da bo izmera tako zahtevna. Razlika med klasično izmerjenimi globinami (leta 2010) in s sonarjem (sweep) izmerjenimi globinami se je gibala med 1 in 25 cm.

Prišli smo tudi do ugotovitve, da s pomočjo motoriziranega tahimetra, ki ima funkcijo Automatic Target Recognition (ATR), ne moremo opravljati meritev na klasičen način. Problem se pojavi pri premikanju (dvigovanju in spuščanju) trasirke. Ti premiki se večkrat prehitro izvršijo za instrument, ki izgubi signal, kar pa je zelo zamudno. S tem se podaljša čas dela. Velik problem lahko povzroča tudi veter, ki skupaj s tokom odnaša čoln iz željene oziroma navidezne smeri merjenega profila. Potrebno se je vsakič znova s čolnom zapeljati nekaj metrov nad merjen profil, kajti v parih sekundah nas odnese tudi do 10 metrov vzdolž struge.

Veliko vlogo pri natančnosti ima tudi globina rečnega profila, saj lahko uporabo trasirke opustimo že pri globinah, večjih od štirih metrov. Močan tok na globinah nam odnaša trasirko z navpične lege in tako dobimo poševno razdaljo in posledično preveliko globino. Pri večjih globinah si pomagamo z uporabo uteži, ki potrebuje 2 sekundi, da doseže dno. Tukaj ponovno nastane težava zaradi odnašanja čolna.

Opravljanje meritev s klasičnim načinom je zelo počasno in zamudno, ampak dokaj natančno v primerjavi z novejšo sweep metodo. V teh časih se klasični način izmere globin večkrat uporablja pri rekah manjših globin in tudi v soteskah, kjer je uporaba GPS sistema zaradi slabega sprejema signalov nemogoča.

Najnatančnejše rezultate izmerjenih globin dobimo s pomočjo kombinacije dveh ali več različnih metod meritev. Kadar imamo manjšo globino (do 3 m), je bolje uporabljati klasični način izmere, saj lahko to globino izmerimo s pomočjo trasirke. Na tej globini še brez težav držimo trasirko v ravnovesni legi. Pri globinah večjih od 3 metre bi lahko uporabili utež. Ta način pa je prepočasen za samo izmero. S sweep metodo izmere je bolje in hitreje meriti večje globine. Najboljša metoda meritev je kombinacija klasične in sweep metode.

VIRI

Beemster, C., Haycock, T., Jansen, P., Lekkerkerk, H., Roders, J., Velden, R., Vries, R. 2006. Handbook of Offshore Surveying – Book One. London, Research services limited: 316 str.

Beemster, C., Haycock, T., Jansen, P., Lekkerkerk, H., Roders, J., Velden, R., Vries, R. 2006. Handbook of Offshore Surveying – Book Two. London, Research services limited: 313 str.

Berk, S. 2008. Stari in novi državni horizontalni koordinatni sistem ter stara in nova državna kartografska projekcija.

http://www.gu.gov.si/fileadmin/gu.gov.si/pageuploads/ogs/Nova_drz_karto_projekcija.doc
(10.9.2010)

Communication technology – echosounder

http://www.comm-tec.com/prods/mfsgs/Odom_Prods.html (14.8.2010)

Geopedia – Interaktivni spletni atlas in zemljevid Slovenije

http://www.geopedia.si/#T105_x510730_y161114.25_s15_b2_vT (15.10.2010)

Harpha sea d.o.o.

<http://www.harphasea.si> (19.8.2010)

Hribar, M. 1984. Geodetske izmere in obdelave za vzpostavitev baze podatkov v Luki Koper. Magistrska naloga. Ljubljana, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, VTOZD Gradbeništvo in geodezija: 137 str.

Juran, M. 2003. Primjena satelitske altimetrije za određivanje ubrzanja sile teže na Jadranskom moru. Diplomaska naloga. Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet: 63 str.

Kastelic, M. Urbas, A. 2009. Osnove astronomske navigacije na ladjah.
www.fgg.uni-lj.si/~mkuhar/Pouk/Astro/Seminarske/Astronomska%20navigacija.ppt
(15.8.2010)

Kolenc, R. 2005. Hidrografske meritve. Geodetski vestnik 49, 1: 18–28.

Kolenc, R. 2004. Terestrično 3D lasersko skeniranje. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo, Geodetska smer: 93 str.

Kongs Berg – Echosounder sweep system
<http://www.zework.co.uk/easweep.htm> (15.10.2010)

Koordinatni sistemi
http://www.fgg.uni-lj.si/~mkuhar/Pouk/Geod/gradivo/Koordinatni_sistemi.pdf (15.10.2010)

Koordinatni sistemi v geodeziji
<http://gradbenik.files.wordpress.com/2010/01/03-koordinatni-sistemi-v-geodeziji.pdf>
(10.9.2010)

Kozmus, K., Stopar. B. 2003. Način določanja položaja s satelitskimi tehnikami. Geodetski vestnik 47, 4: 404–413.

Krajnc, U. 2006. Hidrografske meritve in 3D modeliranje rečnega korita s programsko opremo Hypack. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 84 str.

Möser, M. u. a. 2000. Handbuch Ingenieurgeodäsie. Germany: str. 105-130.

Novak, L. 1957. Praktična geodezija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo: 410 str.

O koordinatnih sistemih

<http://www.volontar.net/javno/clanki/O%20koordinatnih%20sistemih.pdf> (10.9.2010)

Pribičević, B. 2005. Pomorska geodezija. Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, 257 str.

Scribd – Predavanja geodezija 2

<http://www.scribd.com/doc/30888171/Untitled> (15.10.2010)

Referenčni sistemi in sestavi

http://www.fgg.uni-lj.si/~mkuhar/Pouk/Vg/Ref_sistemi.pdf (15.10.2010)

Slatinšek, I. 1981. Tehnologija merjenja rečnih profilov pri DEM za območje bazena HE Zlatoličje. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza Edvarka Kardelja v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: 79 str.

Slatinšek, I. 2009. Hidrografska izmera Mandrača v Koprju. Komunala Koper d.o.o.: 29 f.

Slukan, M. 1998. Portulani i izolari. Geodetski list 2, 171-172.

Slukan, M. 1998. Pojava i razvoj portulana s posebnim osvrtom na potrulanski atlas Diega Homena. Geodetski list 2, 99-107.

Slukan-Altić, M. 2003. Povjestna kartografija. Samobor, Biblioteka Geographia Croatica: knj. 18, Meridijani

Splošno o koordinatnih sistemih.

<http://www.navigator.si/Napotki/Splosno-o-koordinatnih-sistemih> (5.8.2010).

Škulj, T. 2010. Hidrografske meritve in geodezija. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo, Geodezija v inženirstvu: 87 str.

Valh, MM., Marjetič, A., Ježovnik, V., Kogoj, D. 2008. Avtomatski elektronski tahimetri ali kam vodi razvoj TPS sistemov. Geodetski vestnik 52, 3: 487-499

Verbovšek, T., Vilfan, I. 2010. Uporaba GPS v Sloveniji.
<http://www.f1.ijs.si/~vilfan/GPS/GPS.html> (5.8.2010)

World class – Simrad

<http://www.simrad.com/www/01/nokbg0240.nsf/AllWeb/96CD4279D3997892C125719A003A3862?OpenDocument> (15.10.2010)