

HIDROGRAFSKE MERITVE

HYDROGRAPHIC SURVEYS

Regina Kolenc

UDK: 528.48:556.911.2

POVZETEK

Hidrografske meritve so potrebne pri širokem spektru posegov v vodni prostor in pri spremljanju sprememb na morskem ali rečnem dnu. Izvajajo se pri izgradnji vodnih objektov (jezovi, hidroelektrarne ipd.), za potrebe varne plovbe, spremljanje sprememb zaradi toka in pri topografski izmeri močvirnih predelov. V hidrografiji so se zaradi tega skozi obdobja razvile različne metode merjenja, kljub nenehnemu razvoju tehnologije in programske opreme pa je to področje še vedno eno zahtevnejših.

KLJUČNE BESEDE

hidrografija, ultrazvočni globinomer, položaj, globina, morsko dno

Klasifikacija prispevka po COBISS-u: 1.04

ABSTRACT

Hydrographic surveys are required for a wide range of civil works engineering and construction activities. They support construction of hydrotechnical objects (dams, hydro-powerplants etc.), safe navigation, flood control missions and topographic survey of wetlands. All this caused development of various surveying methods through years but despite continuous improvements of technology and software, the hydrographic field of work is still one of great pretension.

KEY WORDS

hydrography, echosounder, position, depth, sea floor

1 UVOD

Hidrografija je veda, ki zajema meritve in opis objektov na morjih in v priobalnem pasu za primarne potrebe navigacije ter druge navtične namene in aktivnosti, vključno z obobalnimi aktivnostmi, raziskavami, varovanjem okolja in ostalimi dejavnostmi za spremljanje dogajanja na morju. Hidrografija je področje, ki je eno izmed najboljše definiranih glede predpisov in standardov. Mednarodna hidrografska organizacija IHO (International Hydrographic Organization) že več kot 80 let nenehno teži k čim večji standardizaciji navtičnih produktov, izobraževanja in hidrografskih meritev.

Hidrografske meritve predstavljata določitev globine vode v neki točki in hkrati določitev položaja te točke. Pri tem pa ne smemo zanemariti plimovanja, valovanja in drugih vplivov na meritve.

Zaradi tega so se skozi obdobja razvile različne metode merjenja. Kljub današnji tehnologiji, ki omogoča hitrejšo izmero, ter kompleksni programski opremi, ki omogoča enostavnejše združevanje in obdelavo vseh podatkov, so hidrografske meritve, če želimo doseči ustrezno natančnost, še vedno ene najzahtevnejših.

2 DOLOČITEV GLOBINE

Merjenje globin vode se izvaja z direktnimi in indirektnimi metodami. Direktne metode so se uporabljale v preteklosti, danes pa se zaradi razvoja tehnologije uporabljajo večinoma le indirektno metode (ultrazvočni globinomeri).

2.1 Direktne metode

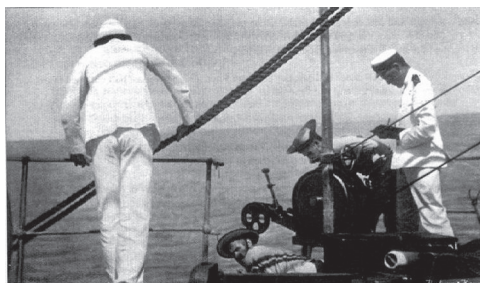
Pri direktnih metodah se je globina merila neposredno s spuščanjem uteži, obešenimi na vrvi ali žico, s čolna do morskega dna. V ta namen so se uporabljali posebni ročni in mehanski globinomeri.

2.1.1 Ročni globinomer

Ročni globinomeri so se največ uporabljali za globine do 20 m, to je za merjenje neposredno ob obalah in v pristaniščih. Vrv ali žica ročnega globinomera je bila označena s posebnimi oznakami, in sicer od dna uteži do 10 m vsake 0,1 m, od 10 m dalje pa vsake 0,2 m. Z ročnim globinomerom so se merile globine iz čolna, ki se je premikal zelo počasi. Utež na vrvi so spustili v vodo v smeri vožnje, globino pa so odmerili, ko je bil čoln nad utežjo. Med čitanjem globine se je izmeril tudi trenutni položaj. Ko je bila globina odčitana, so globinomer dvignili in ponovno vrgli v vodo pred čolnom v smeri vožnje (Jovanović, 1978).

2.1.2 Mehanski globinomer

Mehanski globinomer sestavlja boben, na katerega je navita žica, ter utež. Sestavni del naprave je tudi merilec odvite žice. Sama izvedba meritve je bila podobna kot pri uporabi ročnih globinomerov, vendar so se s takšnimi globinomeri merile le večje globine (slika 1). Morski tok je odnašal žico, plovilo se je premikalo zaradi morskega toka in vetra, zaradi česar je bilo težko odčitati globino pri popolnoma vertikalni žici. Zaradi tega metoda merjenja globine z mehanskim globinomerom ni bila najbolj natančna (Jovanović, 1978).



Slika 1: Merjenje globokih vod z mehanskim globinomerom Lucas na ladji HMS Egeria leta 1897 (Ritchie, 2000).

2.2 Indirektne metode

Pri indirektnih metodah se globina vode določi s pomočjo drugih količin, ki so v funkcijski povezavi z globino. Te količine so lahko tlak v vodi, čas, v katerem se potopi izbrano telo do morskega dna, ali pa čas, v katerem prepotuje ultrazvok pot od oddajnika do morskega dna in nazaj.

2.2.1 Thomsonov mehanski globinomer

Thomsonov mehanski globinomer sestavlja kompaktna vrvi, ki je opremljena s posebno napravo za merjenje globine s pomočjo vrednosti tlaka na morskem dnu. Poleg uteži je na vrvi pritrjeno jekleno ogrodje s stekleno cevko. Cevka je na zgornji strani zaprta, s spodnje strani pa odprta. Na morski gladini je tlak v cevki 1 bar. Ko se cevka spusti na dno, vanjo prodre voda, zrak pa se stisne (Boyle-Mairiottov zakon). Pri dvigovanju voda izteče iz cevke. Da se ugotovi, kako daleč v cevko je prodrla voda na morskem dnu, je notranji del cevke premazan s srebrom kromatom (Ag_2CrO_4). Srebrov kromat je rdeče barve, pri stiku z morsko vodo pa se obarva temno rumeno. Zaradi različnih vplivov na višino vodnega stolpca v cevki na dnu morja se dobljena globina popravi za vpliv zračnega tlaka, srednje specifične teže vodnega stolpca od gladine do morskega dna in dolžine cevke. S Thomsonovim mehanskim globinomerom se je odpravil vpliv nevertikalnosti žice pri mehanskem globinomeru (Jovanović, 1978).

2.2.2 Ultrazvočni globinomer

Dejstvo, da se zvok širi tudi pod vodo, je poznano 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 uresničil takoj. 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. Ravno katastrofa Titanika aprila 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 pa do danes tehnologija ultrazvočnih globinomerov nenehno izpopolnjuje.



Slika 2: Primeri singlebeam globinomerov proizvajalca Odom: Echotrac CV, Echotrac MKIII, Hydrotrac (www.odomhydrographic.com).

Ultrazvočni sistemi za merjenje globine temeljijo na merjenju časa, v katerem ultrazvočni signal prepotuje razdaljo od oddajnika skozi vodo do dna in nazaj. Čas potovanja je odvisen od hitrosti širjenja tega valovanja skozi vodo.

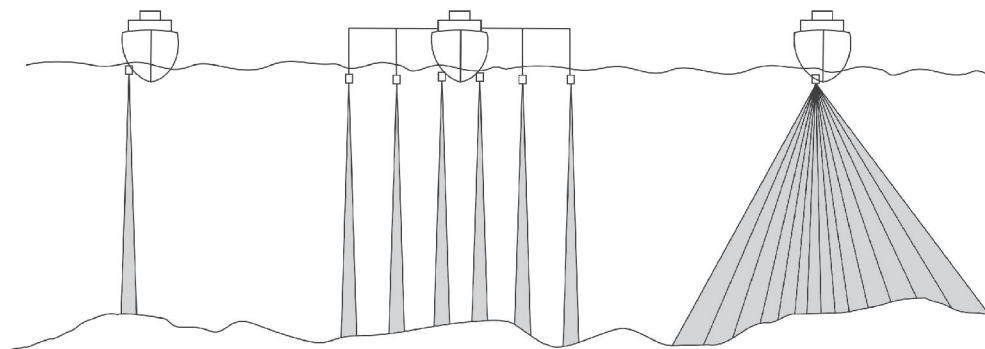
Skozi čas so se razvile različne izvedbe ultrazvočnih globinomerov. Prvi in še danes predvsem na rekah in v pristaniščih največkrat uporabljen sistem je sistem z eno sondo (angl. singlebeam). Sonda pošilja ultrazvočne impulze v ozkem snopu navpično proti morskemu dnu, globina pa se določi na osnovi časa potovanja impulza od oddajnika do dna in nazaj. Rezultat izmere s sistemom singlebeam so točke v liniji.

Nadgradnja tega sistema je sistem z več sondami (angl. sweep system), ki so enakomerno nameščene na liniji, pravokotni na smer gibanja. Način določevanja globine na posamezni sondi je enak kot pri sistemu singlebeam. Sistem sweep omogoča v primerjavi s sistemom singlebeam 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.

Želja po še bolj detajlni izmeri, ki bi nudila gostejšo pokritost pri zajemu morskega dna, je botrovala razvoju sistema multibeam. Že na začetku 60. let ga je ameriška vojska razvila za merjenje globokih vod, za plitveje vode pa se uporablja šele od leta 1990.

Pri sistemih multibeam se uporabljata dva principa. Prvi princip uporablja elektronsko ali pa fizično oblikovanje ozkega in usmerjenega snopa, ki ga sistem pod velikim številom kotov pošlje proti morskemu dnu. Razdalja se določi glede na čas potovanja in jakost povratnega signala. Pri tem se dobijo poševne dolžine, te pa se glede na znane kote oddaje impulzov preračunajo v vertikalne razdalje (globine).

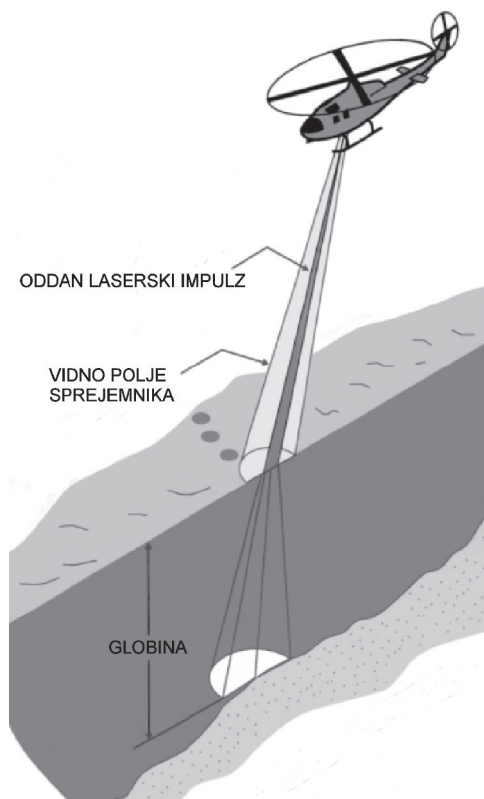
Drugi princip uporablja interferometrijo. Za to izvedbo sistema multibeam se uporablja poseben izraz – swath. Sistemi swath oddajajo ultrazvočno valovanje razpršeno. Poševna razdalja se določi na osnovi časa potovanja signala, smer povratnega žarka pa se določi šele na osnovi merjenja fazne razlike povratnega signala med različnimi elementi na sprejemniku.



Slika 3: Grafični prikaz pokritosti pri izmeri s sistemi singlebeam, sweep in multibeam.

2.2.3 ALB-sistem

Senzorji ALB (Airborne Lidar Bathymetry) uporabljajo za merjenje globin vode tehnologijo LIDAR. Laserski oddajnik/sprejemnik, ki je pritrjen na letalo, oddaja laserske impulze 400-krat na sekundo navpično proti vodi. Del energije laserskega impulza se odbije na vodni površini (odboj z gladine) in potuje do sprejemnika (slika 4). Preostanek energije potuje skozi vodo in se odbije na morskem ali rečnem dnu (odboj z dna). Globina vode se določi neposredno iz časovne razlike med vrnitvijo obeh signalov do sprejemnika. Vsako globino je možno dodatno popraviti glede na plimovanje s pomočjo podatkov z bližnjih mareografov. Položaj vsake izmerjene globine se določi z GPS-sistemom na letalu. V splošnem velja, da je od vseh metod merjenja globine uporaba sistema ALB najslabše natančnosti.



Slika 4: Pri uporabi ALB-sistema se globina računa iz časovne razlike med signalom, odbitim na gladini, in signalom, odbitim na dnu.

2.2.4 Side-scan sonar

Side-scan sonar je praktična metoda za pridobitev detajlne akustične slike morskega dna, ki se imenuje sonogram in je lahko v analogni ali digitalni obliki. Te metrične "fotografije" ne dajejo absolutnih višin objektov, ampak relativne višine in višinske razlike med objekti na morskem dnu.

Oddajnik odda ultrazvočni impulz v vodo. Povratni signal sprejemnik ojača in ga pošlje kontrolni enoti, ki signal dodatno obdela, digitalizira in za vsak slikovni element izračuna ustrezen položaj.



Slika 5: Primer podatkov, dobljenih s side-scanom. Na sliki je na globini 76 m potopljena ladja, ki se nahaja v zalivu Elliot Bay, Washington (www.innerspaceexploration.com).

3 DOLOČITEV POLOŽAJA

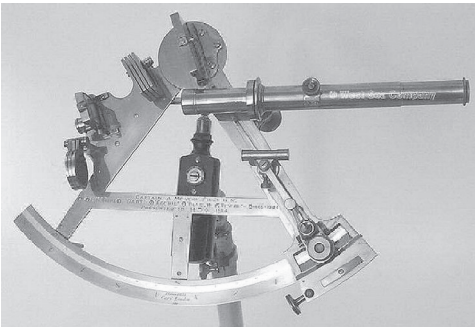
3.1 Nekoč

Za določitev položaja izmerjenih globin je bilo treba določiti in signalizirati primerno število geodetskih točk na obali.

3.1.1 Grafične metode

Grafične metode so se uporabljale v bližini obal. Grafične metode, ki so se večinoma uporabljale za določitev položaja izmerjene globine, so bile (Jovanović, 1978):

- s sekstantom (slika 6) 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.



Slika 6: Sekstanti so se uporabljali za določanje položaja iz plovila. Na sliki je sekstant iz sredine 19. stoletja (www.westsea.com).

3.1.2 Računske metode

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

- določitev smeri in oddaljenosti (razdaljemer, hidrografska žica), polarna metoda in ortogonalna metoda,
- določitev horizontalnih kotov z dvema teodolitoma hkrati z dveh geodetskih točk na kopnem.

Za merjenje razdalj se je pred uveljavitvijo razdaljemerov uporabljala hidrografska žica. To so napeli med obema bregoma reke oziroma na morju med obalo in zasidranim čolnom. Razdaljo se je tako določilo na podlagi odčitka na žici.

Za določanje položajev izmerjenih globin na odprtem morju so se uporabljali sekstanti na ladjah, kjer se je položaj določal predvsem z opazovanjem nebesnih teles, bližje kopnega pa z opazovanjem signaliziranih točk na kopnem.

3.1.3 Radijska navigacija

Po letu 1940 se je v svetu za določevanje položaja na morju začelo uporabljati elektromagnetno valovanje. To je prineslo veliko večjo natančnost določevanja položaja plovila kot merjenje kotov s sekstanti. Z leti se je začelo uporabljati več različnih frekvenčnih območij in metod obdelave signala, kar je omogočalo določevanje položaja na kratkih, srednjih in velikih oddaljenostih. S tem je postala oprema za hidrografijo (predvsem na odprtem morju) precej dražja, saj je bilo treba izgraditi mrežo oddajnikov na kopnem in plovila opremiti s posebnimi sprejemniki.

Razdalja se določi z merjenjem razlike faze radijskega signala, ki je oddan hkrati ali z rahlim časovnim zamikom iz postaj na kopnem. Iz razdalj od vsaj dveh oddajnikov se s pomočjo geometričnih formul določi položaj plovila. Pri tem vedno dobimo dve rešitvi, vendar ena zaradi nesmiselne rešitve (velikokrat je to lega na kopnem) vedno odpade. Pri izračunanih razdaljah s treh postaj postane rešitev nedvoumna, pri razdaljah z več kot treh postaj pa se zaradi nadštevilnosti opazovanj uporabi izravnava.

3.2 Danes

S pojavom elektrooptičnih razdaljemerov se je določitev položaja zelo poenostavila. Še dodatno pa se je poenostavila z razvojem motoriziranih tahimetrov in GPS-tehnologije.

3.2.1 Motorizirani tahimetri

Motorizirani tahimetri so kljub uvedbi GPS-sistema ostali v uporabi pri hidrografskih merjenjih. Razlog za to je večinoma konfiguracija terena pri zajemanju rečnih podatkov, kjer predstavljajo zaraščene brežine oviro za neprekinjeno delovanje GPS-a. GPS-navigacijo uspešno nadomeščajo tudi pri meritvah v bližini visokih objektov (jezovi, hidroelektrarne, velike tovarne ladje v pristaniščih ipd.).

Najsodobnejši motorizirani tahimetri (slika 7) s sistemom za daljinsko upravljanje omogočajo še bolj ekonomično in hitrejšo določitev položaja. Tahimeter s sistemom za samodejno viziranje (Automatic Target Recognition, ATR) sledi reflektorju (običajno je to 360° prizma), ki je nameščen na plovilu. Operater v plovilu ga v celoti upravlja z daljinskim upravljalnikom, prav tako pa so na daljinskem upravljalniku na voljo tudi vsi merski podatki. Programska oprema v

realnem času obdeluje (združuje) podatke globinmera, pozicijskega sistema ter ostalih senzorjev. Motorizirani tahimeter na kopnem deluje popolnoma avtonomno, brez operaterja. Za komunikacijo med tahimetrom in daljinskim upravljalcem se običajno uporablja radijska povezava.



Slika 7: Sistem Leica TCRP 1203 z daljinskim upravljalcem RX 1220 in 360° prizmo že uspešno uporabljamo pri izmeri rečnih profilov na reki Dravi.

3.2.2 GPS

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

V hidrografiji se dandanes praviloma uporablja le realno časovna metoda izmere (DGPS, RTK), ki z določitvijo položaja v realnem času (slika 8) omogoča neposredno pošiljanje podatkov o položaju v programsko opremo.



Slika 8: Uporaba GPS-tehnologije pri merjenju rečnih profilov na akumulacijskem bazenu HE Formin. Uporabljen je par RTK GPS-sprejemnikov Leica GX 1230.

4 OSTALE NAPRAVE IN IZVORI PODATKOV

4.1 Sistem za spremljanje nagibov sonde

Določitev položaja na kopnem je poznana vsem geodetom. Največja razlika med določanjem položaja na kopnem in na vodi pa je, da sta voda in plovilo nenehno v premikajočem stanju

(valovanje), kar onemogoča popolno vertikalnost GPS-antene ali prizme in seveda tudi globinomerov v času meritev. Da se lahko vsi nagibi zaznajo, so bili razviti posebni sistemi 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.

4.2. Sistem za spremljanje plimovanja

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 se uporabijo odčitki na vodometerskih postajah.

4.3 Določitev hitrosti zvoka v vodi

Določitev hitrosti širjenja zvoka v vodi je ključni faktor pri uporabi ultrazvočnih globinomerov. Hitrost zvoka v vodi je odvisna od gostote in razteznosti vode. Te lastnosti so predvsem odvisne od temperature in slanosti vode. Zaradi tega se hitrost zvoka v vodi spreminja med 1400 in 1520 m/s. Hitrost zvoka se lahko določi neposredno z uporabo posebnih merilcev hitrosti zvoka ali posredno s kalibracijo globinomera. V vsakem primeru je treba določiti hitrost zvoka tik pred začetkom meritev in po potrebi tudi med izmero. Večkratna kontrola hitrosti zvoka je še posebej pomembna na območjih, kjer prihaja do mešanja sladke in slane vode.

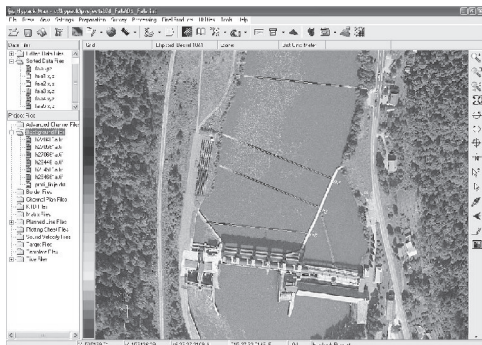
5 OBDELAVA PODATKOV

5.1 Programska oprema

Ustrezna programska oprema je pomemben člen pri hidrografskih meritvah. Danes je na tržišču več različnih paketov programske opreme, ki jo navadno razvijajo sami proizvajalci hidrografske opreme.

Dobra programska oprema mora podpirati vse stopnje in zahteve pri hidrografski izmeri:

- priprava in planiranje meritev,
- kalibracija naprav pred in med izmero,
- sprejem podatkov z različnih inštrumentov v realnem času in združevanje teh podatkov,
- filtriranje in popravljanje meritev,
- vključevanje dodatnih podatkov v obdelavo,
- izdelava 3D-modelov, profilov, izračun površin in volumnov,
- uvoz in izvoz podatkov v standardiziranih formatih ...



Slika 9: Zaslonska slika programskega paketa Hypack 4.3a. Prikazan je del bazena pred HE Fala.

5.2 Potek meritev

Pred odhodom na teren je treba izdelati plan meritev. V ta namen se izdelajo navigacijske linije, po katerih se bodo opravljale meritve. Gostota teh linij je odvisna od namena uporabe meritev (izdelava profilov, izdelava 3D-modelov ...) in od globine vode (npr. pri globoki vodi je pokritost zajetega dna s sistemom multibeam večja kot v plitvejši) in uporabljenega inštrumentarija (npr. s sistemom sweep dobimo več linij podatkov z eno vožnjo, pri uporabi sistema singlebeam pa samo eno linijo).

Na terenu je pred izmero in po potrebi tudi med njo treba ustrezno kalibrirati uporabljen inštrumentarij (predvsem kalibracija sonde glede na hitrost širjenja zvoka v vodi in kalibracija sistema za spremljanje nagibov sonde).

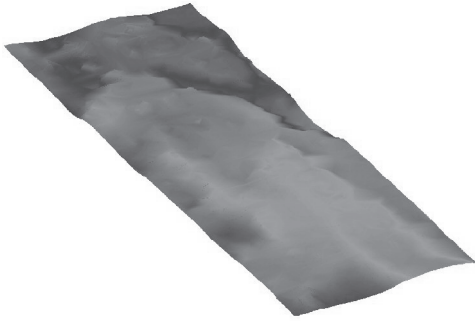
Glede na projektirane linije se izvede meritve. Programski paket med izmero nenehno združuje podatke globinmera, GPS-a ali TPS-a, sistema za nagibe sonde itd.

5.3 Obdelava meritev

V meritve se vključijo vplivi plimovanja in valovanja, lahko pa se meritve popravijo tudi za nadmorsko višino terena (pri rekah in jezerih).

Ker pri digitalizaciji podatkov sonde lahko pride tudi do napak, je treba vse meritve pregledati in ročno ali z uporabo filtrov ustrezno popraviti.

Popravljenе meritve lahko poljubno obdelamo: izdelamo profile, 3D-modele (slika 10), izračunamo poljubne površine, volumne ipd. Hidrografske meritve se uporabijo tudi za izdelavo hidrografskih kart.



Slika 10: 3D-model dela Forminskega bazena. Model je izdelan s programskim paketom Hypack 4.3a.

6 ZAKLJUČEK

Predstavljeni so le nekateri vidiki, ki so pomembni za hidrografske meritve. Zmotno je prepričanje, da le-te zajemajo le določitev globine, dobljene z ultrazvočnim globinomerom, in položaja, dobljenega z GPS-om ali TPS-om. Nujno potrebno je upoštevati množico spremljevalnih dejavnikov, ki odločilno vplivajo na kvaliteto rezultata – od hitrosti širjenja zvoka v vodi, nagiba sonde, plimovanja do ustrezne sinhronizacije med vsem uporabljenim inštrumentarijem.

V svetu so hidrografske meritve na zelo visokem nivoju, kar je tudi posledica zahtevnih IHO-standardov, ki to področje strogo opredeljujejo.

Literatura in viri:

Irish, Jeniffer L. (2001). An introduction to coastal zone mapping with airborne lidar: the SHOALS system. Mobile, Alabama: US Army Engineer Research and Development Center. Pridobljeno 3. 01. 2005 s spletne strani: <http://shoals.sam.usace.army.mil>

Jovanović, B. (1978). Izučavanje metoda merjenja dubina mora, unapređenje obrade dubina i definiranja obalne linije sa hidrografskog, geodetskog i pomorskog gledišta. Doktorska dizertacija. Geodetski fakultet sveučilišta u Zagrebu.

Engineering and Design Hydrographic Surveying. Manual No. 1110-2-1003. Washington DC, Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineers. Pridobljeno 3. 01. 2005 s spletne strani: <http://www.usace.army.mil/inet/usace-docs/eng-manuals/em1110-2-1003/toc.htm>

Ritchie, Steve (2000). A brief history of 19th century deep sea sounding. The International Hydrographic Review (julij 2000). Vol. 1 No. 1. Lemmer.

<http://www.innerspaceexploration.com>

<http://www.leica-geosystems.com>

<http://www.iho.shom.fr>

<http://www.odomhydrographic.com>

<http://www.westsea.com>

Regina Kolenc, univ. dipl. inž. geod.

Geodetski biro Iztok Slatinšek s.p.

Grajska ulica 7, 2000 Maribor

E-pošta: regina.kolenc@triera.net

Prispelo v objavo: 14. februar 2005

Sprejeto: 6. marec 2005