

## NOVI ASPEKTI GEODETSKIH SNIMANJA PODVODNOG RELJEFA

Momčilo ĐORĐEVIĆ — Beograd\*

Problem geodetskog snimanja podvodnog reljefa, bilo na okeanima, morima, jezerima ili rekama, bio je dugogodišnji problem, naročito za potrebe koje su zahtevale precizne podatke. Tek otkrivanjem mogućnosti da se za ova snimanja uspešno može koristiti pojava odbijanja emitovane zvučne energije od dna, dovela je do novih saznanja. Istina je da se za pojavu širenja zvuka pod vodom odavno znalo ali je tek 1804 godine, od strane francuskog fizičara Dominique Francois Jean Arago-a, predloženo da se ta pojava i iskoristi za snimanje podvodnog reljefa odnosno merenje dubina. Od tada je bilo mnogo pokušaja za realizovanje ove ideje ali je prvi put, tek početkom ovog stoleća, konstruisan instrumenat za merenje dubina primenom odbijanja emitovane zvučne energije od dna koji je nazvan »eholot«. Međutim sve do 1930 godine ovi instrumenti su ipak imali ograničenu mogućnost primene. Dubine ispod 20 m., mogli su da mere, uz velike teškoće, samo specijalno obučeni stručnjaci i pri tome su najveće moguće dubine, koje su se mogle izmeriti, iznosile oko 500 m. Pri tome, najvažniji deo za oznaku prijema eha odbijenog od dna, bila je mala neonska cevčica koja se palila crvenom svetlošću u momentu prijema samog eha.

Pre drugog Svetskog rata bilo je uređaja koji su omogućavali stalnu registraciju eha pomoću specijalnog pisača. Ali tek posle rata uveden je način da se električnim putem sagoreva tanki sloj nanet na crni papir i time je bio tačno registrovan momenat prijema eha. Važan momenat bio je i prelaz na ultrazvuk, što je uglavnom ostvareno u periodu od 1930 do 1940 godine. Tek na taj način bilo je moguće usmeravanje uzanog snopa zvučne energije vertikalno prema dnu, što je omogućavalo dobijanje mnogo tačnijih podataka o dubinama koje se mere. Pored toga u poslednje vreme primenjuje se i samo jedan zvučni oscilator koji se koristi i za emitovanje zvučnog impulsa a i za prijem odbijenog impulsa u vidu eha.

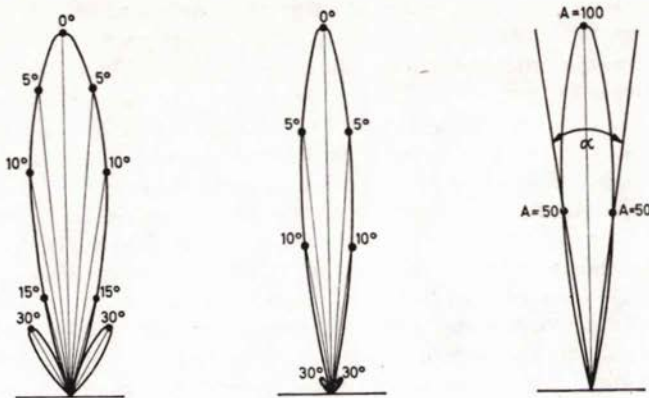
Kod svih ovih instrumenata, nazvanih opštim imenom »eholot« primenjuje se najčešće frekvencija od 30 kHz sa talasnom dužinom u vodi koja iznosi 5 cm. Naravno da se takvim instrumentima postavljaju različiti zahtevi, pre svega u dometu a u zavisnosti od dubina koje treba meriti. Tako na primer instrumenti koji koriste frekvenciju od 30 kHz, što spada u oblast srednje visokih frekvencija, mogu da ostvare merenja i do 6000 m. Zbog toga se i kod instrumenata, namenjenih za merenja na okeanima i morima, ređe koriste niže

\* Adresa autora: Momčilo Đorđević, dipl. inž. — Ustanova za plovne puteve — Beograd, Francuska 9

frekvencije, na primer 10 ili 15 kHz, pri čemu su uobičajeni efekti odašiljača 1—5 kW. Pored toga, za tačna merenja dubina, neophodno je tačno poznavanje brzine prostiranja zvuka u vodi. Na internacionalnom nivou je postignut dogovor da se za instrumente tipa »eholot« usvoji brzina zvuka od 1500 m/sec. Potrebna korekcija usvojene brzine može se izvršiti koristeći tačnu vrednost brzine prostiranja zvuka, koja se može odrediti pri svakom merenju ili pak korišćenjem internacionalnih tablica ili grafikona iz kojih se može odrediti verovatna brzina zvuka u određenom vremenu i određenoj oblasti. Primenom tablica i grafikona ne mogu se očekivati vrlo tačni podaci za stvarnu brzinu zvuka ali je takođe teško i merenje brzine zvuka u cilju dobijanja zadovoljavajuće tačnosti. Istina da je raspored vrednosti brzine zvuka duž vertikale, od broda do dna, poznata, ali time se još nezna tačno koju srednju vrednost treba usvojiti. Zbog toga se smatra da su rezultati i pri najbrižljivijem merenju, netačni za oko  $\pm 1\%$ . Međutim ova netačnost je zanemarljiva uzimajući u obzir celokupna merenja. Tako na primer smatra se da nema smisla isterivati apsolutne tačnosti pojedinih merenja kada se zna da između pojedinih snimljenih profila postoje praznine. Sa druge strane od velike praktične vrednosti, u pogledu tačnosti, neophodan je konstantan rad pogonskih delova instrumenta, naročito brzine kretanja igle za registraciju. Pored toga neophodno je potreban i zvučni oscilator velike osetljivosti a na to se odmah nadovezuje i potreba stabilizacije oštine usmerenosti zvučnog snopa u pravcu vertikalno prema dnu. Ovu oštrinu usmerenosti svakako da je lakše ostvariti primenom visokih frekvencija nego niskih jer na primer za oštrinu od  $1^\circ$  prečnik kružne površine zvučnog snopa treba da bude oko 20 talasnih dužina upotrebljene zvučne frekvencije. To kod frekvencije od 200 kHz iznosi oko 15 cm, kod frekvencije od 30 kHz iznosi oko 1 m a kod frekvencije od 10 kHz oko 3 m. Treba napomenuti i to, da se u slučaju zahteva za potpunom vertikalnošću zvučnog snopa, zvučni oscilator mora kardanski obesiti ili pak da bude prinudno stabilizovan.

Za merenja na rekama možda i ne treba voditi toliko računa o svim elementima s obzirom da se radi o manjim dubinama i da razmak između profila može da bude znatno manji. U svakom slučaju pre početka radova, koristeći kontrolnu metalnu ploču, treba podesiti instrumenat u zavisnosti od brzine prostiranja zvuka koja se opet odnosi na područje u kome se obavljaju merenja. U tom cilju se praktikuje zaustavljanje broda na sredini područja gde se obavljaju merenja i tada u vodu, ispod broda, treba spustiti metalnu ploču koju pomoću što tanjih graduisanih užeta treba držati horizontalno. Ovu ploču treba spustiti na određenu poznatu dubinu pa je zatim stepenasto izvlačiti smanjujući dubinu. Pri tome na ehogramu treba da se pojave stepenaste razlike u dubinama izražene u metrima. Ako je broj obrtaja elektro motora tačno podešen, na ehogramu će tragovi eha biti označeni tačno na linijama koje označavaju cele metre na ehogramu. U protivnom treba prilagoditi brzinu rada elektromotora tako da se gornji uslov zadovolji.

U današnje vreme svi »eholot« instrumenti rade koristeći samo jedan oscilator i kao odašiljač i kao prijemnik zvuka. Za merenje dubina to ima veliku prednost jer se primenom dva oscilatora, zbog njihovog razmaka, javljaju razlike u dubinama koje su izražajnije naročito kod manjih dubina. Treba imati na umu da oscilatori, koji se primenjuju kod »eholot« instrumenata, emituju u stvari jedan snop zvučne energije prema dnu i to oblika konusa, pri čemu je moguće izborom površine, od koje se vrši emitovanje, uticati i na



Slika 1.

veličinu otvora ugla tog konusa. Što je veća površina koja emituje i veća frekvencija to je i manja veličina otvora konusa. Na sl. 1 su prikazani dijagrami uobičajenih kružnih površina od kojih se vrši emitovanje. Levo jri prikazana karakteristika jednog jedinog oscilatora a ako se isti oscilator koristi i za emitovanje i za prijem onda njegova karakteristika mora da bude oštrija, kao što je to prikazano na srednjem dijagramu slike 1.

Uočljivo je da su na tom dijagramu tzv. maksimumi sa strane skoro beznačajni u poređenju sa prvim dijagramom. Uobičajeno je da se otvor konusa zvučnog snopa označava podacima ugla samog konusa i to u prijemnoj amplitudi uzimajući u obzir i emitovanje i prijem kao što je to prikazano na desnom dijagramu slike 1. Međutim ovaj princip nije primenjen kod svih »eholot« instrumenata pa je zato neophodna opreznost pri korišćenju eventualno navedenih podataka o samom konusu. Oštrina usmerenosti zvučnog snopa naročito je važna pri potrebama za preciznim merenjima kao i pri merenjima dubina ako su obale strme. Pri takvim merenjima dubine se ne mogu tačno registrovati do samog dna već se registrira prvi dodir dela kružne površine emitovanog zvučnog konusa sa strmom obalom. Greške koje mogu da se pojave pri ovakvim merenjima utoliko su manje ukoliko je manja i veličina otvora ugla konusa. Zbog toga je i neophodno da se oštrini usmerenosti zvučnog snopa pokloni posebna pažnja. Tako na primer ako treba meriti dubine do 200 m preporučljivo je da se koristi zvučna frekvencija od oko 200 kHz koja omogućuje da se ostvari oštrina usmerenosti od oko 1°.

Na rekama se uglavnom snimaju uzdužni ili poprečni profili koji se kasnije obrađuju u biroima. Snimanje dugačkih uzdužnih profila svakako da povećava efikasnost rada ali zato snimanje poprečnih profila obezbeđuje veću tačnost. Naravno da se pri snimanju čine napori da se i uzdužni a i poprečni profili postave što je moguće bliže jedan drugom a u cilju dobijanja što boljeg pregleda rečnog korita odnosno prikazivanja reljefa rečnog dna. Na deonicama gde se očekuju veće promene rečnog dna profili se snimaju na što manjim razmacima dok ti razmaci mogu biti i veći na delovima reke gde je rečno dno i korito stabilno.

Pri obradi ovako snimljenih profila teži se tome da se stvori povezana slika rečnog dna, bez praznina, pri čemu se praznine koje nastaju između pojedinih profila popunjavaju interpolacijom. Naravno da interpolacija, naročito između profila koji su snimljeni na većim međusobnim razmacima utiču na tačnost. Zato se i teži da praznine između profila budu što manje a to povlači za sobom povećanje broja profila. Razumljivo da se time povećavaju i zahtevi za većom angažovanošću plovnog objekta sa kojim se vrše snimanja a isto tako i osoblja u birou koje obrađuje terenske podatke. Zbog toga se traži optimalan broj profila odnosno snošljiva granica koja je u stvari još uvek daleko od cilja odnosno povezanosti snimljenih profila. Neizbežne praznine između profila su ustvari velika slabost pri snimanjima a naročito kada se vrše kontrolna snimanja stanja plovnih puteva što još više dolazi do izražaja pri zahtevima za povećanje gabarita a naročito gaza brodova koji se nalaze u eksploataciji. Neophodne dubine koje moraju biti zagarantovane u plovnom putu uvek su imperativni zahtev rečnog saobraćaja tako da je i potreba za što besprekornijom kontrolom stanja plovnog puta sve veća.

Uzdužni i poprečni profili snimaju se različitim instrumentima koji se ugrađuju na odgovarajuće plovne objekte. Pri tim snimanjima, ako je reč o poprečnim profilima, plovni objekat se kreće od jedne prema drugoj obali pri čemu brodovođa ima zadatak da se drži definisanog pravca samog profila. Pravac profila se obično ostvaruje sa po dva signala postavljena na svakoj obali (signali za pokriveni pravac) a njihov položaj, radi kasnije obrade, treba da bude definisan u horizontalnom i vertikalnom smislu. Najčešće a i najpoželjnije je da krajnje tačke profila budu uključene u odgovarajuću geodetsku mrežu tako da se pri tome ne postavlja problem određivanja koordinata i kota.

Što se tiče samog snimanja profila, odnosno registrovanja dubina, za to se može koristiti i običan »ehograf«. Kod njih se zvučni impulsi stvaraju preko specijalnih kontakta u jednom indikatorskom uređaju, koji opet preko kondenzatora dolaze do zvučnog predajnika — oscilatora. Preko njega se emituju kratki zvučni impulsi koji se vertikalno, u obliku konusa, prostiru kroz vodu prema dnu. Jedan deo te emitovane zvučne energije odbija se od dna i kao eho dolazi do zvučnog prijemnika gde se pretvara u električni napon. Posle odgovarajućeg pojačanja napon dolazi do metalne igle — pisaljke, koja na specijalnom papiru registriira momente prijelaza eha kratkim vertikalnim crticama. Crtice se ređaju jedna do druge obrazujući na taj način liniju koja predstavlja dno preko koga je prešao plovni objekat na kome je montiran »ehograf«.

Međutim za instrumente ove vrste postavlja se pitanje tačnog položaja snimljenih dubina u odnosu na obale a isto tako i razmere snimanja pošto se registracija vrši na papiru koji se kreće nezavisno od brzine kretanja plovnog objekta. Znatno poboljšanje u odnosu na obične »ehograf«-e ostvareno je primenom instrumenta nazivanog »eholog« koji je sastavljen od dva instrumenta — »ehograf«-a za merenje dubina i »radiolog«-a za merenje odstojanja. Princip merenja dubina je isti kao što je to već opisano ali se pri tome i meri odstojanje od obala i to elektromagnetskim postupkom koji se zasniva na neprekidnom upoređenju faza. U te svrhe se koriste elektromagnetski talasi iz područja radio talasa visoke frekvencije koja iznosi 34,3 MHz.

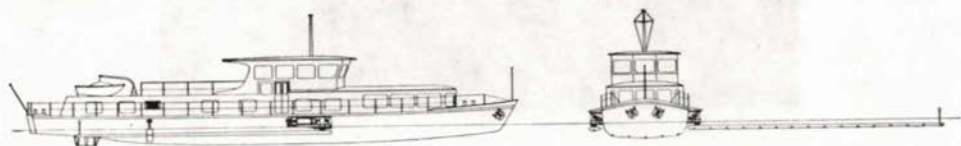
Specijalno razrađenom i primenjenom metodom preko odgovarajućeg servomotora transportira se papir za registrovanje i to brzinom koja je zavisna od brzine kretanja plovnog objekta duž profila koji se snima. Veličina odstojanja od obale, pored toga što se digitalno može očitati na brojčaniku, automatski se registruje i grafički prikazuje na papiru na kome se registrira i dubina i to u vidu vertikalnih linija automatski izvučenih na svakih 10 metara. Maksimalni domet instrumenta za merenje odstojanja pri neophodnoj optičkoj vidljivosti iznosi 6 km.

Ostvarenom sinhronizacijom rada instrumenta za merenje dubina i za merenje odstojanja dobija se potpuno automatski grafička pretstava stvarnih dubina duž profila tzv »ehogram« i to u odgovarajućoj razmeri, tako da se istog momenta može koristiti za dalju obradu.

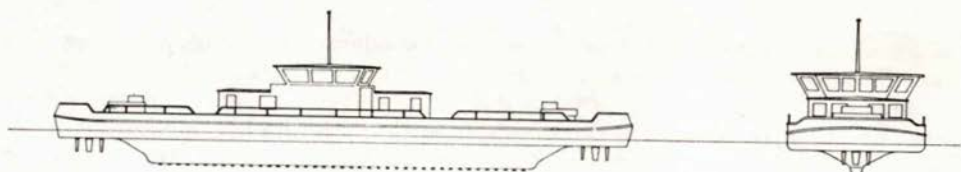
Međutim pri ovakvim snimanjima dolazi do izražaja napred navedeni nedostatak izražen prazninama između profila i neophodnom interpolacijom da bi se dobila celina koja ne mora uvek i da odgovara stvarnom stanju rečnog dna. Ovo naročito dolazi do izražaja ako se još i interpolira između tačaka susednih profila čime se zanemaruje stvarno stanje rečnog dna između snimljenog profila. Kao očigledan primer treba navesti peščane oblike na rečnom dnu (slične pustinjskim dinama) koje su usled uticaja rečne struje premeštaju duž pravca strujanja vode, a koji se često ne mogu registrovati snimanjem pojedinih poprečnih profila. Isto tako može se opravdano pretpostaviti i da između snimljenih profila postoji stenoviti greben ili usamljena stena čiji se položaj neće registrovati jer su poprečni profili snimljeni iznad i ispod pomenutog podvodnog objekta.

Navedeni problem uspešno je rešen primenom specijalnog instrumenta koji je nazvan uređaj za iscertavanje rečnog dna. To je šematski identičan uređaj kao i »eholog« samo što se mesto jednog oscilatora koriste više oscilatora koji se postavljaju jedan do drugoga. Pri snimanju ti oscilatori treba da se nalaze u pravoj liniji koja je upravna na pravac kretanja plovnog objekta na kome su oni ugrađeni. Ugrađivanje samih oscilatora zavisno je od tipa plovnog objekta pri čemu se razlikuju dva osnovna oblika. Kod manjih plovnih objekta oscilatori se ugrađuju u specijalne poluge (Sl. 2) koje se u sklopljenom stanju nalaze uz objekat i to paralelno sa simetralom broda. Pri snimanju, te poluge najčešće pneumatskim putem, ispravljaju se, uvlače ili izvlače i postavljaju upravno na simetralu broda i to tako da se nalaze na dubini 30—40 cm ispod površine vode.

Kod drugog oblika oscilatori se postavljaju duž samog broda tj. paralelno sa simetralom broda (slika 3) i u tom slučaju plovni objekat pri snimanju mora da se kreće poprečno u odnosu na simetriju broda, odnosno mora da se kreće transverzalno. Pri takvom načinu ugrađivanja oscilatora treba da bude primenjena naročita vrsta pogona plovnog objekta — najčešće primenom Voith-Schneider propelera.

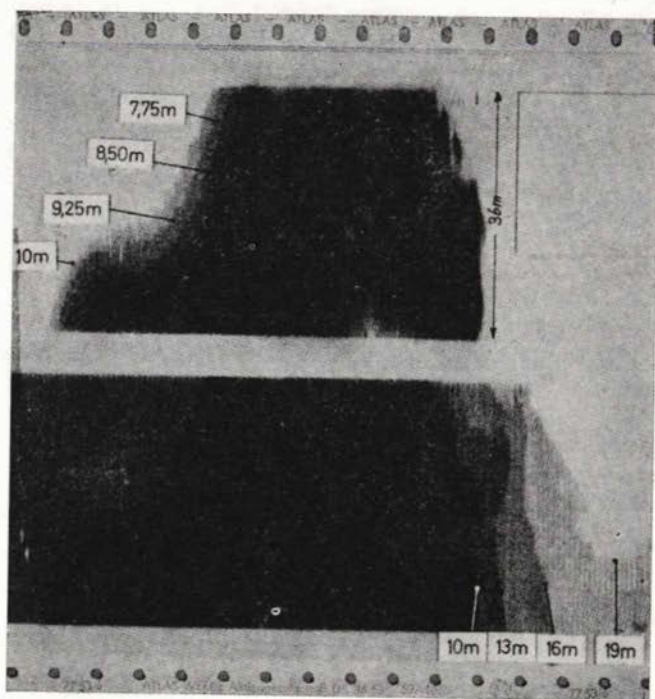


Slika 2.

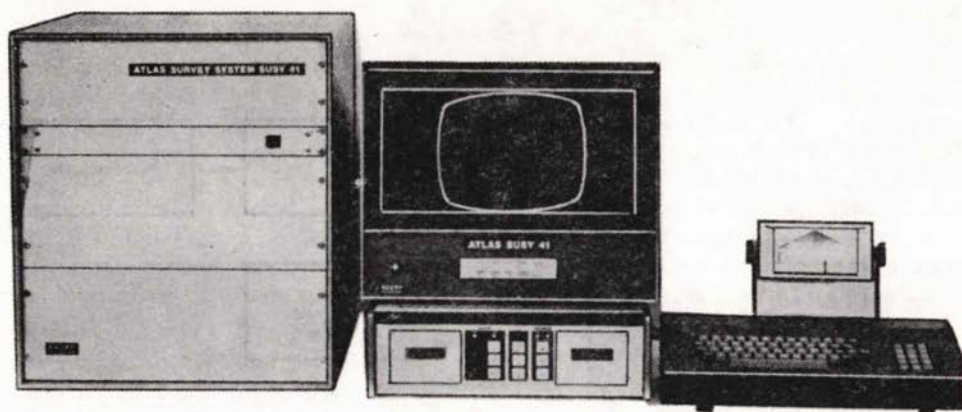


Slika 3.

Pri takvom načinu ugrađivanja oscilatora, za sada je moguće maksimalno ugraditi 41 oscilator, tako ako je njihovo odstojanje 1 m, širina pojasa koji se može odjednom snimiti iznosi 40 metara. Za specijalne potrebe, a naročito ako je neophodna dubina koja je zagarantovana u plovnom putu mala, poželjno je da se oscilatori nalaze na što manjim međusobnim razmacima. Kod ovakvih uređaja dubine se automatski pretvaraju u osenčene površine čiji je intenzitet različit i to tako da su manje dubine osenčene intenzivnije u odnosu na veće dubine koje su svetlije osenčene. Tako nastaje ehogram na kome osenčene površine daju podatke o dubinama i to u pojasu koji je na pr. širok 40 metara. Uopšte uzevši postoje pet stepena intenziteta osenčenosti: crno, tamnograo, srednje grao, svetlo grao i belo pri čemu su granične linije između ovih pet stepena vrlo oštre. Ove granične linije osenčenosti različitog intenziteta sa velikom tačnošću ( $\pm 5$  cm) odgovaraju određenim linijama dubina koje se pre snimanja mogu prema potrebi izabrati u određenim granicama. Tako je na sl. 4 prikazan ehogram snimljen finskim brodom »Särkka« pri čemu je širina pojasa iznosila 36 metara a neophodna dubina koja je bila zagarantovana iznosila je 10 metara.



Slika 4.



Slika 5.

Primenjeni uređaj sa istim programom simultano daje dva crteža sa različitim stepenom odstojanja između linija dubina. Na donjem delu ehograma registrovane su dubine u grubim stepenima dubina koje su veće nego neophodna zagarantovana dubina od 10 metara pri čemu razlika dubina, od linije do linije, iznosi 3 metra tako da prikazane dubine iznosi 10, 13, 16 i 19 metara. Na gornjem delu ehograma dubine su registrovane finim stepenima dubina a koje su manje od neophodne zagarantovane dubine od 10 metara pri čemu razlika dubine od linije do linije iznosi 0,75 metara tako da prikazane dubine iznose 10, 9,25, 8,50 i 7,75 metara.

Na taj način jednim prelaskom broda snimljen je pojas širine 36 metara i prikazane su dubine veće i manje od neophodne zagarantovane dubine, koja u prikazanom slučaju iznosi 10 metara. Razmere ovakvih ehograma su tačne jer brzinom transporta papira za registrovanje upravlja poseban deo instrumenta koji određuje putanju broda u odnosu na dno (ne u odnosu na vodu). Dodatni uređaji omogućuju da se merene dubine automatski pretvaraju u vrednosti koje instrumentat može pamtit. Na taj način je omogućeno da se trake (magnetske ili izbušene) sa registrovanim podacima odmah dostavljaju računskim centrima gde se obrađuju na različite načine u zavisnosti od potreba.

Međutim sa idejom da delatnost ljudi treba zameniti automatikom otišlo se i dalje. Tako je firma Krupp Atlas Elektronik iz Bremena konstruisala sistem, nazvan »Susy« 10 a ove godine i novi automatski sistem nazvan »Susy« 41 (slika 5). To je potpuno automatizovan sistem čijom se primenom uspešno rešavaju mnogi problemi pri specijalnim geodetskim snimanjima u cilju određivanja podvodnog reljefa okeana, mora, jezera ili reka.

Ovaj novi sistem ima ogromne mogućnosti i primenu jer između ostalog ima različite standardne međujedinice, a koristi programski jezik DATRAN (koji je komparisan sa programima jezika BASIC) i za prijem podataka. Sistem »Susy« 41 prilagođen je za prijem podataka, snimanje podataka, navigaciju i naknadnu obradu podataka. Dosadašnji intenzivan razvoj pojedinih senzora za ovaj sistem (na pr. »Deso« — za snimanje dubina, »Dolog« — za merenje odstojanja, »Edig« — za digitalno pokazivanje merenih dubina, »Dira« — za digitalno pokazivanje odstojanja, »Boma« — za kartiranje snim-

ljenih podataka, »Lara« — za lasersko merenje odstojanja i dr.) i njihovo uključivanje u rad sistema »Susy« 41, zajedno sa elektronskim računarom i ostalim uređajima sistema, omogućuje uspešno rešavanje svih geodetskih problema u sklopu hidrografskih zahteva današnjice. Posebna fleksibilnost sistema za prilagođavanje pojedinim sensorima je uspešno rešena primenom međujedinične strukture koja se vrlo lako modifikira. Ovo uključuje komplet standardnih računarskih međujediničnih modula kao i međujediničnih adaptera sa mogućnošću dodatnog kabliranja. Što se tiče prijema podataka senzora ono se obavlja asinhrono tako da su podaci senzora snimljeni čim su i prisutni. Na taj način je ostvareno da sam sistem kontroliše senzore a ne obratno.

Na kraju treba naglasiti da se pri razvoju ovog novog sistema između ostalog vodilo računa i o jednostavnom i lakom rukovanju, kao i mogućnosti eventualnih popravki primenom odgovarajućih test programa za otkrivanje kvarova i grešaka, čak i od strane osoba koje nemaju posebno predznanje iz elektronike i programiranja. U svakom slučaju primena novog sistema »Susy« 41 omogućuje uspešno dobijanje optimalnih rezultata od ljudstva, opreme i kapaciteta plovnog objekta primenjujući najsavremeniju tehnologiju.