

Dubinomjer

Babić, Matej

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies, Rijeka / Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:921749>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-01**



Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



uniri DIGITALNA
KNJIŽNICA



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

MATEJ BABIĆ

DUBINOMJER

ZAVRŠNI RAD

Rijeka, 2024.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

**DUBINOMJER
ECHO SOUNDER**

**ZAVRŠNI RAD
BACHELOR THESIS**

Kolegij: Brodsko automatsko upravljanje

Mentor: doc. dr. sc. Robert Baždarić

Student: Matej Babić

Studijski smjer: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112060595

Rijeka, rujan 2024.

Student: Matej Babić

Studijski program: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112060595

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom

Dubinomjer

(naslov završnog rada)

izradio samostalno pod mentorstvom

doc. dr. sc. Roberta Baždarića

U radu sam primijenio metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristio literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo u završnom radu na uobičajen, standardan način citirao sam i povezo s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student



Matej Babić

Student: Matej Babić
Studijski program: Brodostrojarstvo
JMBAG: 0112060595

IZJAVA STUDENTA – AUTORA
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor završnog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa završnim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog završnog rada kao autorskog djela pod uvjetima *Creative Commons* licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na <http://creativecommons.org/licenses/>

Student

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Matej Babić', written in a cursive style.

Matej Babić

SAŽETAK

Ovaj rad ima za cilj rasvijetliti fizikalne zakonitosti senzora i tehnološke aspekte ultrazvučnih dubinomjera koje su bitne pri usavršavanju dobivenih rezultata ali i u konačnici automatizacije koje je moguća na osnovi sofisticiranih ultrazvučnih senzora ili sonara u pomorstvu. Proučava se primjer dubinomjera FURUNO FE-800, koji koristi dvostruke frekvencije (50 kHz i 200 kHz) za precizno mjerenje. Iako uređaj nudi napredne automatske funkcije, rad ističe da potpuna automatizacija nije uvijek moguća, te da je aktivno sudjelovanje operatera ključno za pravilnu parametrizaciju. Naglašava se važnost razumijevanja fizikalnih i tehnoloških aspekata za osiguranje točnosti i pouzdanosti u hidrografskim uvjetima, uz potrebu za stalnim prilagodbama i održavanjem senzora.

Ključne riječi: *ultrazvučni dubinomjeri; senzori dubinomjera; automatska kompenzacija; FURUNO FE-800.*

SUMMARY

The aim of this article is to explain the physical principles and technological aspects of ultrasonic depth sounders, which are crucial for improving measurement accuracy and ultimately for automation based on sophisticated ultrasonic sensors or sonars in maritime applications. The FURUNO FE-800 echo sounder, which uses two frequencies (50 kHz and 200 kHz) for precise measurements, will be examined. Although the device has advanced automatic features, the paper emphasizes that full automation is not always possible and that active operator involvement is essential for proper calibration. It emphasizes the importance of understanding the physical and technological aspects to ensure accuracy and reliability in hydrographic conditions, as well as the need for continuous adjustment and maintenance of the sensors.

Keywords: *ultrasonic depth sounders; depth sounder sensors; automatic compensation; FURUNO FE-800.*

SADRŽAJ

SAŽETAK.....	I
SUMMARY.....	I
SADRŽAJ	II
1. UVOD	1
2. ZNAČAJ DUBINOMJERA U OCEANOGRAFIJI I RIBARSTVU	2
2.1. Mjerenje dubine priručnim sredstvima.....	3
2.2. Značaj mjerenja dubine mora	3
3. KARAKTERISTIKE I NAČINI MJERENJA DUBINE MORA ULTRAZVUČNIM DUBINOMJEROM.....	8
3.1. Korištenje ultrazvuka u mjerenju dubine mora	11
3.2. Sustav ultrazvučnog dubinomjera	12
3.3. Vrste pretvornika	13
3.3.1. <i>Magnetrostriktivni pretvornici</i>	<i>16</i>
3.3.2. <i>Piezoelektrični pretvornici.....</i>	<i>16</i>
3.3.3. <i>Elektrostriktivni pretvornici.....</i>	<i>16</i>
3.4. Problemi mjerenja ultrazvučnim senzorima	17
3.5. Vrste ultrazvučnih dubinomjera	18
3.5.1. <i>Jednosnopni dubinomjeri.....</i>	<i>20</i>
3.5.2. <i>Višesnopni dubinomjeri</i>	<i>21</i>
3.6. Parametri dubinomjera	21
3.7. Pogreške ultrazvučnih dubinomjera	28
3.7.1. <i>Problem izmjerene dubine zbog promjene brzine zvuka kroz vodu.....</i>	<i>29</i>
3.7.2. <i>Pogreška izmjerene dubine zbog promjene brzine kretanja broda.....</i>	<i>31</i>
3.7.3. <i>Pogreška izmjerene dubine zbog nagiba i vrste morskog dna.....</i>	<i>32</i>
3.7.4. <i>Pogreške pri valjanju i posrtanju broda.....</i>	<i>33</i>

3.7.5. Problem rezolucije u pohrani podataka i pretvorbi informacija.....	34
3.8. Integracija dubinomjera s GPS-om.....	34
4. PRIMJER KOMERCIJALNE IZVEDBE DUBINOMJERA FURUNO FE-800.....	36
4.1. Klasifikacija i tehničke karakteristike pretvornika	36
4.2. Osjetljivost instalacije vezana za fizikalne zakonitosti pretvornika	38
4.3. Procedura postavljanja osnovnih radnih parametara	39
5. ZAKLJUČAK.....	42
LITERATURA	44
POPIS ILUSTRACIJA	46

1. UVOD

Akustične metode istraživanja morskih dubina koriste se već više od stoljeća no njihova primjena znatno je napredovala posljednjih desetljeća. Dubinomjeri su povijesno ključni sustavi za precizno određivanje dubine i imaju potencijal značajno doprinijeti razumijevanju fizike oceana, biološke raznolikosti i ekoloških procesa. Implementacija novih i inovativnih tehnika zahtijeva daljnje istraživanje kako bi se bolje razumjele mogućnosti i ograničenja ovih sustava. Dubinomjeri igraju ključnu ulogu u istraživanju oceana i mjerenju dubine morskog dna, pružajući temeljne informacije o topografiji morskog dna. Njihova sposobnost preciznog detektiranja i lociranja morskih dubina od izuzetne je važnosti za navigaciju, sigurnost plovidbe, otkrivanje prirodnih resursa, radova na morskome dnu i znanstvena istraživanja morskog okoliša. S razvojem tehnologije, moderni dubinomjeri poput višesnopnih dubinomjera pružaju nove mogućnosti za brzo i detaljno skeniranje morskog dna.

Naime, pored pozitivnih strana dubinomjera korištenje istih za mjerenje dubine sa sobom donosi i određene nedostatke koji se ogledaju u pogreškama prilikom ultrazvučnog mjerenja dubine. Stoga je cilj ovog rada dati uvid u nuspojave pri ultrazvučnim instrumentima mjerenja dubine te načinu na koji se one tehnološki kompenziraju. Nadalje, rad daje uvid u fizikalnu podlogu transformacije senzorskog signala u informaciju o dubini, no isto tako prikazuje način montaže i prilagođavanja sustava na primjeru dubinomjera modela FE-800.

Pored uvoda i zaključka rad sadrži tri povezana poglavlja. Nakon uvoda odnosno drugim poglavljem prikazuje se značaj dubinomjera u oceanografiji i ribarstvu pri čemu se opisuje mjerenje dubine priručnim sredstvima te značaj mjerenja dubine mora. Trećim se poglavljem rada daje uvid u karakteristike i načini mjerenja dubine mora ultrazvučnim dubinomjerom. Značajan dio predstavlja opis ultrazvučnih dubinomjera te značaja pretvornika za rad dubinomjera. Ovaj dio rada fokusira se na prikaz pogrešaka ultrazvučnih dubinomjera te je također pojašnjena i GPS integracija. Četvrto poglavlje orijentirano je na pregled funkcija i prikaz navigacijskog dubinomjera model FE-800 gdje se daje uvid u montažu i prikaz sustava te prilagođavanje sustava.

2. ZNAČAJ DUBINOMJERA U OCEANOGRFIJI I RIBARSTVU

Ideja o korištenju zvuka za određivanje udaljenosti pojavila se prije otprilike dva stoljeća. Ipak primjenu je prvih praktičnih metoda mjerenja dubine mora korištenjem elektroakustične teorije pokrenula implementacija preciznih teorija francuskog fizičara Jean-Francoisa Aragoa početkom 19. stoljeća i američkog pomorca i meteorologa Matthewa Fontainea Maurya sredinom istog stoljeća. Najstarija metoda mjerenja dubine mora poznata je kao sondiranje olovnim utezima pri kojoj se težak olovni uteg spuštao na dno mora s pomoću užeta ili konopa s oznakama, te tako omogućio pomorcima određivanje dubine na temelju duljine spuštenog užeta. Pri tome se koristio ručni dubinomjer kojim se mjerila dubina kada brod stoji zbog toga što uzica ne može biti vertikalno postavljena ako se brod kreće, jer isto rezultira netočnim mjerenjem dubine. Značajna poboljšanja u implementaciji došla su na početku 20. stoljeća kada je britanski fizičar Lord Kelvin razvio uređaj nazvan Thomsonov dubinomjer koji je koristio cijev spuštenu na dno koja bi bilježila tlak te se tako izračunala dubina. Iako je ovaj uređaj omogućio mjerenje dubine s broda pri punoj brzini do oko 200 metara njegova primjena bila je relativno skupa [1].

Razvoj svjetske trgovine i plovidbe morem izazvao je veliku potrebu za točnim i sigurnim pomorskim kartama zbog čega se osnivaju hidrografske službe svih pomorskih država čija je funkcija izrada novih i sigurnih pomorskih karata. Uloga pomoraca također je od velike važnosti te su dužni obavještavati hidrografske institute o nepravilnostima i odstupanjima na kartama. Razvojem hidrografije paralelno se razvijaju i sprave za mjerenje dubina sve od ručnih dubinomjera do mehaničkih sprava za mjerenje dubina pa onda i najmodernijih ultrazvučnih dubinomjera [2]. Mjerenje dubine mora ima svoju primjenu u oceanografiji, ribarstvu i odobalnoj industriji dok je nešto manje zastupljena primjena dubinomjera u pomorstvu, odnosno u rekreativnim i turističkim aktivnostima. Međutim, u tim sektorima postoji potreba za preciznim mjerenjem dubine kako bi se osigurala sigurnost plovidbe i očuvanje morskih resursa. Korištenje priručnih sredstava za mjerenje dubine bio je prvi korak u razvoju i unapređenju sofisticiranijih tehnoloških rješenja.

2.1. Mjerenje dubine priručnim sredstvima

Najstarije metode mjerenja dubine mora jesu priručna sredstva. Prema definiciji Hrvatskog pomorskog nazivlja čaklja (engl. *boathook*) je štap s kukom na vrhu koji služi kao priručno pomagalo za pomoć pri privlačenju brodice na obalu ili pak odguravanje brodice od obale. U žargonu se koristi i riječ „mezomariner“. Također, čaklja može biti ili drvena ili metalna i od velike je pomoći kod hvatanja konopa ili plutače u moru [3]. Čaklja je usađena na motku dugačku 5 m na kojoj su decimetri obilježeni naizmjenice bijelom i crvenom bojom pri čemu je na svakome metru, decimetar obojen u crveno. Koristeći čaklju moguće je mjeriti dubinu mora s brodice, splavi ili niže platforme u vertikalnom smjeru čaklje [4].

Pored čaklje među priručna sredstva za mjerenje dubine mora uvrštava se i olovnica koja se još naziva ručnim dubinomjerom a predstavlja komad olova koji je uvijen oko užeta na donjem obrubu mreže i ima funkciju utega. Olovni uteg približno je težak oko 3 kg a uzica olovnice dugačka je 50 m. Naime, uteg ovojnice na dnu ima udubljenje u koje se utiskuje loj s pomoću kojeg je moguće izvaditi uzorak taloga morskog dna. S druge strane, uzica dubinomjera nakon svakog metra označena je komadićem kože dok se komadićima platna (ili čvorovima) označuje svakih 5 m olovnice. Pored navedenog značajno je da se manjim komadom crvene zastavne tkanine označuje dvadeset peti metar olovnice dok je njen kraj (50 m) označen komadićem žute zastavne tkanine. Olovnicom se može izmjeriti gaz broda u moru, kao i dubina vode s obale [4].

Čaklja i olovnica dva su najrasprostranjenija i najstarija priručna sredstva za mjerenje dubine mora koja su se koristila kroz povijest i koja se još uvijek povremeno primjenjuju na manjim brodovima, posebno onima koji služe za komercijalne svrhe. S obzirom na karakteristike morskog dna i stalne promjene koje se odvijaju važno je kontinuirano mjeriti dubinu mora kako bi se osigurala sigurnost plovidbe i preciznost navigacijskih karata.

2.2. Značaj mjerenja dubine mora

Morsko dno podvrgnuto je stalnim promjenama, naročito u predjelima velikih struja, u blizini ušća rijeka, podmorskih vrela i sl. gdje navedena strujanja sa sobom nose pijesak, mulj i razne druge materijale te ih talože na raznim mjestima. Stoga dubine unesene u pomorskim kartama mogu znatno odstupati od stvarnih dubina. Pri tome pomorske karte nakon kratkog vremena mogu postati netočne i nesigurne. Posljedično iz toga proizlazi da

je važno praćenje i ažuriranje pomorskih karata uz korištenje dubinomjera za određivanje dubine [\[2\]](#).

Informacije koje su također važne i moraju biti uključene u nautičke karte su karakteristike sedimenta morskog dna. Karakteristike sedimenta morskog dna ključne su za sigurnost brodova kao i za građevinske radove (postavljanje plinovoda i naftovoda, polaganje kabela za struju, optiku i telekomunikacije te strukture platformi) te okoliš. Nadalje, intenziviranje ljudske eksploatacije oceana dovelo je do povećane potražnje za točnim kartama morskog dna odnosno informacijama potrebnim za topografiju morskog dna i raspodjelu sastava morskog dna. Problem je nedostupnost nautičkih karata koje sadrže potrebne i cjelovite informacije o sedimentima morskog dna ili karte sedimenta morskog dna koje su potpune i točne [\[5\]](#).

Danas se u oceanografiji pri istraživanju najčešće koriste akustični uređaji koji koriste pretvornike u različite svrhe. Te svrhe uključuju akustičku tomografiju, praćenje podvodnih plutajućih plovaka, mreže za daljinsko mjerenje seizmičkih aktivnosti i detekciju ribe. Isto tako koriste se višesnopni dubinomjeri i bočno skenirajući sonari. Oceanografi za istraživanje oceana koriste cijeli akustični frekvencijski spektar. Biolozi, fizičari, geolozi, geofizičari i drugi koriste raznu akustičku opremu. Oprema se kreće od frekvencijskog raspona ispod 200 kHz. Više frekvencije koriste se pri vrlo specifičnim primjenama kao što su visokorezolucijski sonari ili ultrazvučni mjerači struja.

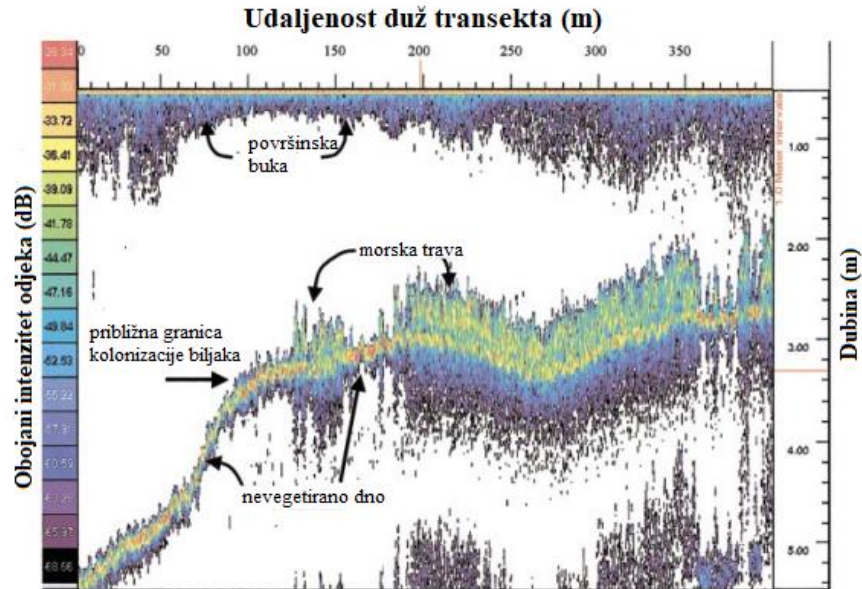
Oceanska akustična tomografija je metoda promatranja unutrašnjosti oceanskog volumena prijenosom akustične energije kroz njega s njegovih rubova, bez potrebe za sondiranjem unutar njega. Odgovarajuće matematičke tehnike koriste se za transformiranje podataka o varijaciji vremena putovanja, mjerenih u različitim vertikalnim ravninama definiranim nizom izvora i prijemnika, u trodimenzionalnu sliku polja brzine zvuka. Akustična tomografija je sinoptički alat i daje izravnu mjeru brzine zvuka i struja na velikim udaljenostima. U nekim okolnostima mogu se izvesti i druga polja (temperatura, gustoća, vrtložna strujanja) [\[6\]](#).

Batimetrija predstavlja mjerenje dubine vodene površine dok batimetrijska istraživanja kojima se mapira morsko dno služe mnogim svrhama u različitim industrijama i istraživačkim područjima. Na primjer, dubinska mjerenja koriste se za izradu navigacijskih karata, identifikaciju prepreka na morskome dnu koje bi mogle oštetiti ribarsku opremu, istraživanje podvodnih arheoloških lokaliteta te istraživanje morskih

geoloških fenomena poput podvodnih grebena i hidrotermalnih izvora. Poboljšanje pokrivenosti i rezolucije ovih istraživanja ključno je za pomorsku industriju te za napredovanje znanstvenog razumijevanja mnogih procesa na Zemlji. Batimetrijska mjerenja s brodova provode se s pomoću dubinske sonde. Izum piezoelektričnog pretvornika 1917. godine omogućio je brodovima mjerenja dubine sonarima, koja predstavljaju dubinska mjerenja dobivena slanjem zvučnog impulsa kroz vodeni stupac i snimanjem odraza koji se reflektira od morskog dna [7].

Osim u oceanografiji dubinomjeri se dakako koriste i u ribarstvu. Akustična metoda za otkrivanje ribe prvi put je korištena od 1929. godine. Ova tehnika je dobila na važnosti nakon izuma papirnog zapisa dubinomjera od strane Wooda i suradnika 1935. godine. Primjena dubinomjera u ribolovu započela je nakon Drugog svjetskog rata, a također su isti korišteni i za procjenu biomase ribe. Komercijalni ribarski brodovi počeli su koristiti akustične instrumente tek početkom 1950-ih. Dubinomjeri su se koristili za mjerenje dubine vode i pronalaženje ribe ispod plovila. Kada se dubinomjer koristi na ribarskim plovilima, naziva se i „fishfinder“. U ribarstvu se pojam vertikalno sondiranje obično odnosi na zvuk koji se šalje s plovila i okomit je na morsko dno te plovilo u idealnim uvjetima mora [8].

Hidroakustični dubinomjer obuhvaćaju uporabu horizontalno usmjerenih bočnih sonara i vertikalno usmjerenih sonara. Bočni sonari omogućuju potpunu pokrivenost morskog dna i generiraju slike slične fotografijama. Horizontalna orijentacija akustičnog snopa rezultira većim akustičkim presjekom a tehnike bočnog skeniranja dokazale su se učinkovitima u određivanju granica livada morske trave. Slika 1. prikazuje signal intenziteta odjeka unutar područja prekrivenog vegetacijom.



Slika 1. [9] Prikaz signala intenziteta odjeka unutar područja prekrivenog vegetacijom

Na prikazu skeniranja morskog dna horizontalna os predstavlja udaljenost duž transektu dok vertikalna os predstavlja dubinu. Intenzitet odjeka u decibelima je prikazan s pomoću trake s bojama. Transekcije se odabiru okomito na izobate (ako su poznate) ili na obalu te su otprilike paralelne jedna s drugom na fiksnim razmacima [9].

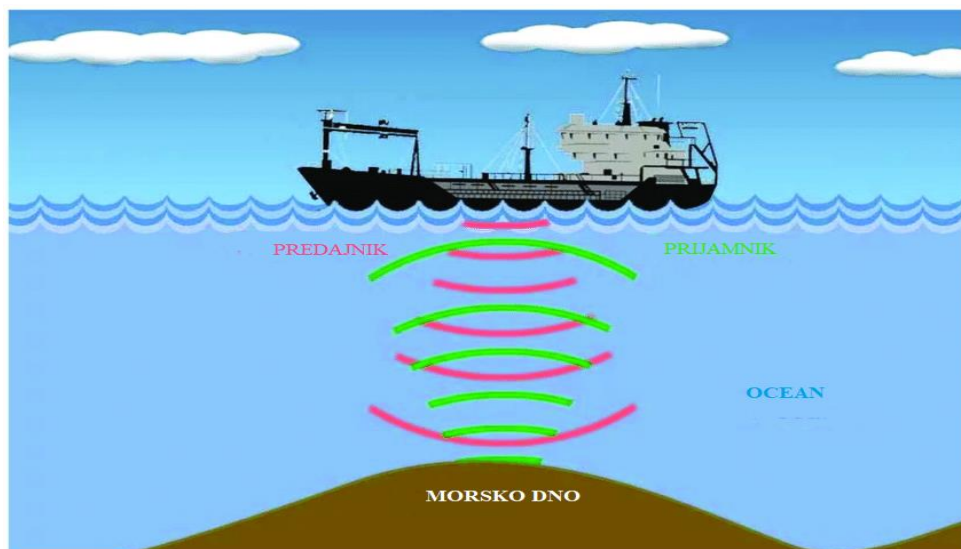
Analogni dubinomjeri imaju pretvornik usmjeren vertikalno prema moru te prelaze trasu generirajući analogni trakasti grafikon gdje horizontalna os predstavlja udaljenost duž transektu (putanje odnosno linije kojom se brod kreće tijekom mjerenja), vertikalna os dubinu, a intenzitet odjeka prikazan je u nijansama sive boje. Duljina duž transektu je horizontalna os grafikona koja predstavlja udaljenost koju brod prelazi tijekom mjerenja. Dakle dok se brod kreće po određenoj liniji (transektu), mjerenja dubine se bilježe kontinuirano, stvarajući trakasti grafikon gdje se svaki točkasti podatak odnosi na određenu točku na trasi. Ovi grafikoni se vizualno interpretiraju kako bi se identificirale značajke koje ukazuju na prisutnost vegetacije, koja se obično pojavljuje kao slab uzorak iznad visoko reflektirajućeg dna [9].

Mjerenje dubine mora i batimetrijska istraživanja igraju ključnu ulogu u razumijevanju morskog okoliša te su od velikog značaja za različite industrije, uključujući pomorstvo, ribarstvo i oceanografiju. Važnost mjerenja morskog dna u povijesti i danas ogleđa se u razvoju sve modernijih i sofisticiranijih načina mjerenja dubina. Fokus ovog

rada je prikazati s tehničkog stajališta što je dubinomjer kao fizikalni pretvornik, kako vrednovati dobivenu informaciju, kako se sa senzorom ophoditi, kako usavršavati i integrirati u različite upotrebne svrhe. Ultrazvučni dubinomjeri predstavljaju suvremenu tehnologiju koja je revolucionirala način mjerenja dubine mora a njene karakteristike i način rada prikazani su sljedećim poglavljem.

3. KARAKTERISTIKE I NAČINI MJERENJA DUBINE MORA ULTRAZVUČNIM DUBINOMJEROM

Navigacijski dubinomjer (engl. *navigational echo sounder*) koristi se za prijenos i refleksiju impulsa akustične energije u svojem radnom principu. Kada akustični val naiđe na drugi medij djelomično se reflektira ili raspršuje unatrag a udaljenost se određuje prema vremenskom razmaku koji nastaje. Među prvim fazama razvoja dubinomjera korišteni su zvučni no danas ih zamjenjuju ultrazvučni dubinomjeri. Naime, zvučne valove bilo je teško precizno usmjeriti, pa se jeka često dobivala od najbliže zapreke umjesto od morskog dna. Iako su mogli generirati snažan zvuk, što je bila njihova prednost, ta nepreciznost zvučnih dubinomjera bila je njihov značajan nedostatak. S razvojem tehnologije, zvučne dubinomjere postupno su zamijenili ultrazvučni dubinomjeri. Ovi moderni uređaji koriste ultrazvučne valove koji omogućuju puno preciznije usmjeravanje signala i bolju razlučivost prilikom mjerenja dubine. Ultrazvučni dubinomjeri su tako postali standard u navigaciji, pružajući pouzdanije i preciznije rezultate u odnosu na svoje prethodnike [10]. Slika 2. prikazuje mjerenje dubine ultrazvučnim dubinomjerom.



Slika 2. [11] Prikaz mjerenja dubine mora ultrazvučnim dubinomjerom

Ultrazvučni impuls koji se emitira s nekog mjesta na dnu broda putuje u svim smjerovima pa tako i prema dnu. Kada stigne do dna reflektira se i vraća se do broda. Ako je na nekom drugome mjestu na brodu prijemnik ultrazvuka, dubina mora pod brodom

može se dobiti kao vrijeme koje je potrebno da ultrazvučni impuls stigne do dna mora i vrati se nazad. Budući da je brzina ultrazvuka puno veća od brzine broda, put koji brod u međuvremenu prevali (od slanja do povratka impulsa) zanemaruje se. Ne uzima se u obzir ni razmak odašiljača i prijemnika na brodu, koji su zanemarivi u odnosu na dubinu. Međutim, pri preciznom mjerenju dubina, osobito manjih, taj razmak treba uzeti u obzir [4]. Za mjerenje dubine mora koristi se sljedeća formula (1):

$$d = c * \left(\frac{t}{2}\right) \quad (1)$$

gdje je:

c - brzina zvuka u mediju propagacije,

t - vrijeme putovanja zvučnog vala

Jačina primljenog signala u jednadžbi dubinomjera za proces zvučnog ispitivanja izražava se formulom (2):

$$RL = SL - 2TL + TS \quad (2)$$

pri čemu je:

SL - razina zvučnog izvora,

TL – prigušenje zvuka,

TS - intenzitet mete i

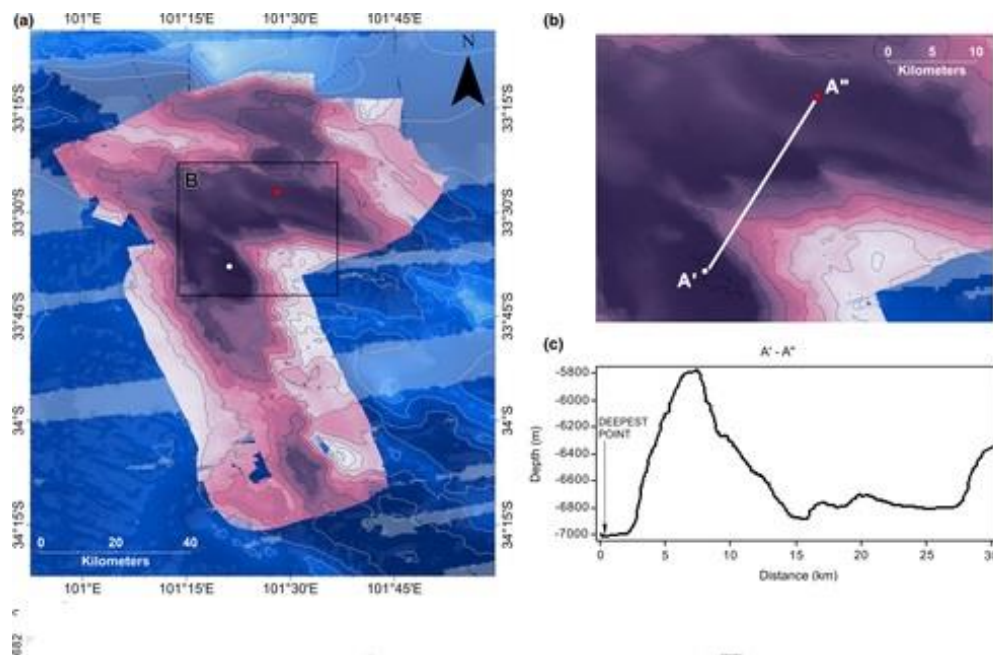
NL - razina buke morskog okoliša.

Omjer signal-šum (engl. *signal to noise ratio*) primljenog signala u jednadžbi sonara za proces zvučnog ispitivanja izražava se formulom (3):

$$SNR = RL - NL \quad (3)$$

Brzina zvuka, vrijeme putovanja zvuka i prigušenje zvuka (uključujući prigušenje kroz morsku vodu i gubitke refleksije s morskog dna) tri su važna faktora u procesu mjerenja dubinomjerom [4].

Korištenjem dubinomjera, moguće je u stvarnom vremenu odrediti oblik, prirodu i dubinu morskog dna ispred plovila. Ovaj napredni sonar s višestrukim snopovima usmjerenim prema morskome dnu omogućuje efikasan nadzor pod vodom, slično kao što radar pruža nadzor iznad vode. Slika sonara koristi se kao provjera podataka o dubini morskog dna na kartama, čime se pridonosi dodatnoj dimenziji razumijevanja stvarnog stanja. Navigacijsko osoblje informirano je o stvarnom stanju morskog dna ispred plovila. Otkrivanje nepoznatih plićaka, grebena i drugih opasnosti za navigaciju omogućuje poduzimanje preventivnih mjera kako bi se potpuno izbjegli incidenti ili umanjile njihove posljedice. Podaci prikupljeni putem sonara imaju potencijal postati neovisan izvor visokokvalitetnih podataka o dubini morskog dna, što nakon potvrde njihove točnosti, može značajno poboljšati dostupne informacije o batimetriji [12]. Slika 3. prikazuje batimetrijske podatke sonara.



Slika 3. [13] Prikaz slike i batimetrijskih podataka sonara

Iz Slike 3.a) koja prikazuje sliku sonara vidljivi su batimetrijski podaci promatrane zone koji su prikazani preko opće batimetrijske karte oceana (engl. *General Bathymetric Chart of the Ocean – GEBCO*). Bijeli krug označava najdublju točku u moru dok crvena točka označava najdublju točku prema batimetrijskoj općoj karti oceana. Najdublja točka u

promatranom području prikazana je slikom 3.b) dok je slikom 3.c) prikazan batimetrijski presjek $A^I - A^{II}$ preko najdublje točke [13].

Korištenjem ultrazvučnih impulsa, dubinomjeri omogućuju mjerenje velikih dubina s visokom točnošću. Ništa drukčije od zvučnih dubinomjera, ultrazvučni dubinomjeri koriste visoke frekvencije za precizno emitiranje i primanje akustičnih impulsa omogućujući točno određivanje dubine na temelju vremena koje je potrebno impulsima da putuju do dna i natrag. Akustična frekvencija dubinomjera je parametar koji određuje domet i prodiranje zvuka u sediment. Atenuacija akustičnog signala u vodi proporcionalna je frekvenciji. Što je frekvencija viša, to će biti veća atenuacija i posljedično manji domet i prodiranje u morsko dno. Širina snopa ovisi o akustičnoj valnoj duljini i veličini pretvornika.

Za istu širinu snopa, niža frekvencija će zahtijevati veći pretvornik. Frekvencije batimetrijskih dubinomjera kod voda plićih od 100 metara obično su više od 200 kHz. Kod voda plićih od 1.500 metara frekvencije se kreću od 50 do 200 kHz dok kod voda dubljih od 1.500 metara frekvencije se kreću od 12 do 50 kHz [14]. Ova tehnologija omogućuje detaljno mapiranje morskog dna i praćenje dubinskih varijacija stoga se u ovom radu nadalje razmatraju fizički principi rada ultrazvučnih dubinomjera, njihove prednosti, kao i izazove u očuvanju točnosti mjerenja pri različitim uvjetima mora.

3.1. Korištenje ultrazvuka u mjerenju dubine mora

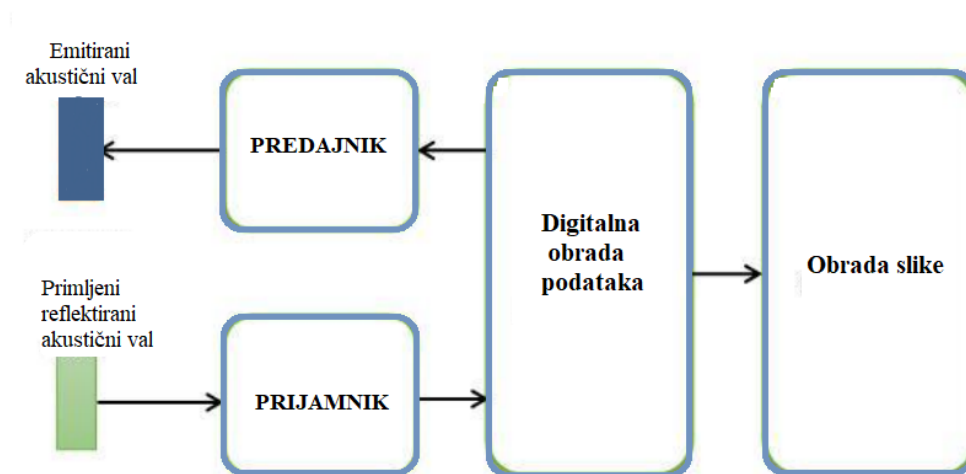
Ultrazvučni senzori mogu detektirati različite materijale bez obzira na oblik, prozirnost ili boju. Jedini zahtjev za ultrazvučno mjerenje je da ciljni materijal bude čvrsta tvar ili tekućina. Navedeno omogućuje beskontaktno otkrivanje metala, plastike, stakla, drva, kamenja, pijeska, ulja, vode i drugih tvrdih materijala koji nisu upijajući. Ovi materijali mogu reflektirati zvuk natrag prema senzoru kroz zrak. Međutim, određeni objekti mogu biti teži za otkrivanje, poput kosih površina koje usmjeravaju jeku dalje od senzora ili propusnih ciljeva poput spužve, pjene i meke odjeće. Također apsorbiraju više reflektirane ultrazvučne energije što otežava njihovo detektiranje [15].

Ultrazvučni senzor je piezoelektrični pretvornik koji je sposoban pretvoriti električni signal u mehaničke vibracije i mehaničke vibracije u električni signal. Stoga, u

monostatičkom pristupu¹, ultrazvučni senzor djeluje kao prijemnik i predajnik koji radi kao zvučnik i mikrofonski na jednoj frekvenciji. Senzor može zabilježiti razliku u vremenu između emitiranog signala i primljenog eha. Važno je napomenuti da brzina zvuka kroz medij varira s temperaturom. Za primjer se može navesti kako pri suhom zraku na 20°C (68°F), brzina zvuka iznosi 343 m/s, ili jedan kilometar za 2,91 sekundu [16]. Za razumijevanje rada ultrazvučnih dubinomjera značajno je prikazati preduvjete te kako ih osigurati da bi senzor davao očekivane rezultate.

3.2. Sustav ultrazvučnog dubinomjera

Sustav ultrazvučnog dubinomjera sastoji se od četiri glavna dijela: predajnik, prijamnik, pretvornik signala i jedinica za prikaz. Slika 4. prikazuje blok dijagram sonara dubinomjera.



Slika 4. [17] Blok shema dubinomjera

Pretvornik koji je smješten na kobilici broda, svojim prijemnikom prima izmjenični impuls generiran od strane predajnika. Nadalje, svojim predajnikom, pretvornik kontrolirano šalje rezultirajuće zvučne valove prema morskom dnu slično kao konvencionalni zvučnik. Ovaj impuls putuje do morskog dna, reflektira se natrag prema pretvorniku, koji tada funkcionira kao mikrofonski i pretvara reflektirani zvučni signal natrag

¹ odnosi se na način rada gdje se isti pretvarač koristi za oba zadatka: emisiju ultrazvučnih impulsa i prijem reflektiranih signala [16]

u elektronički signal. Takva informacija se dalje šalje na elektroničku obradu pa potom na informatičku obradu prije nego se pošalje na zaslon. Vrlo precizan tajmer u prijammniku bilježi koliko dugo treba impulsu da prijeđe prostor i da se odjek primi [\[11\]](#).

Na primjer, kako zvuk putuje brzinom od oko 1.500 metara u sekundi kroz vodu, koristeći tu informaciju i obavljajući brzi izračun, moguće je dobiti opću ideju o dubini vode. Što je dno mora više uzdignuto, to će brže zvučni impulsi stizati natrag do pretvarača s dna. Redovito emitiranje zvučnih impulsa dok brod putuje rezultira linijom koja predstavlja dubinu vode ispod plovila. Kako komercijalni brodovi mjere dubinu vode u pomorskim miljama umjesto u stopama, ultrazvučni dubinomjeri koji se koriste na velikim brodovima ponekad se nazivaju fatometerima (engl. *fathometers*) [\[12\]](#).

3.3. Vrste pretvornika

Odabir pravog tipa pretvornika za dubinomjer može značajno utjecati na točnost i pouzdanost mjerenja dubine. Dok su radna frekvencija i druge tehničke karakteristike ključne za performanse pretvornika jedna od najvažnijih varijabli je kut snopa, koji igra presudnu ulogu u preciznosti mjerenja. Postoji nekoliko vrsta pretvornika, svaki s različitim svojstvima i tehničkim izvedbama koje utječu na kvalitetu mjerenja. Na primjer, različiti tipovi pretvornika koriste različite metode za fokusiranje i usmjeravanje zvučnog snopa. Varijacija u ozvučenom području za različite frekvencije pretvornika prikazana je u Tablici 1.

Tablica 1. [18] Promjer ozvučenog područja snopa za pretvornike različitih kutova snopa i frekvencija

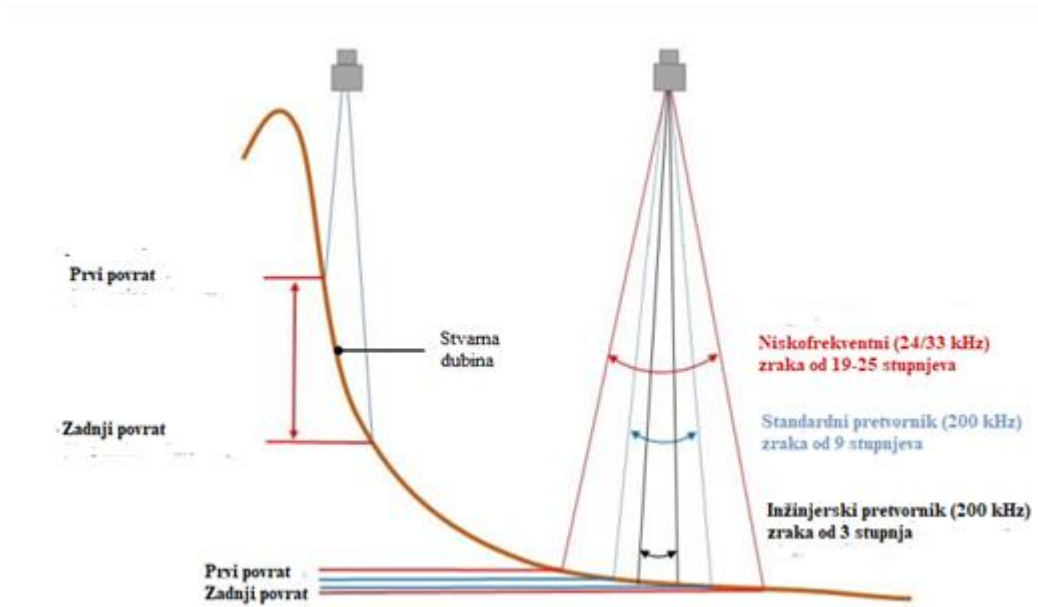
Dubina	3 stupnja (200 kHz)	9 stupnjeva (200 kHz)	19 stupnjeva (33 kHz)	24 stupnja (24 kHz)
1 m	0.05 m	0.16 m	0.33 m	0.42 m
2 m	0.10 m	0.31 m	0.65 m	0.85 m
3 m	0.14 m	0.47 m	0.98 m	1.27 m
4 m	0.19 m	0.63 m	1.30 m	1.69 m
5 m	0.24 m	0.78 m	1.63 m	2.11 m
10 m	0.45 m	1.56 m	3.26 m	4.23 m
20 m	0.96 m	3.13 m	6.51 m	8.45 m
30 m	1.44 m	4.69 m	9.77 m	12.68 m
40 m	1.92 m	6.26 m	13.02 m	16.90 m
50 m	2.40 m	7.82 m	16.28 m	21.13 m
100 m	4.80 m	15.64 m	32.56 m	42.26 m
200 m	9.60 m	31.29 m	65.11 m	84.52 m

Hidrografski pretvornici koriste keramičke elemente za fokusiranje zvučnog snopa kako bi stvorili usmjerene zvučne pulseve. Uski kut snopa je sličan „laserskoj zraci“, dok je široki kut sličan „svjetlosnom snopu“ u kontekstu vidljive svjetlosti. Kako se frekvencija pretvornika smanjuje, fizikalni zakoni zahtijevaju povećanje promjera pretvornika kako bi se zadržao isti kut snopa. Stoga su dvostruki frekventni pretvornici s niskofrekventnim elementom uvijek znatno veći od tipičnih jednokanalnih pretvornika frekvencije 200 kHz. Hidrografski dubinomjeri moraju precizno mjeriti dubinu izravno ispod plovila, tražeći prvi povrat sonarnih impulsa bez obzira na to odakle dolazi impuls unutar snopa. Ako je kut snopa širok, ozvučeno je znatno veće područje dna, što povećava potencijal za pogrešku u prijavljenoj dubini. Navedeno je posebno problematično na strmim padinama ili pri kartiranju potopljenih struktura [18].

Za relativno ravnu površinu morskog dna, reflektirana energija sonara od emitiranog impulsa prvo će biti primljena od nadira snopa²potom nešto kasnije od rubova snopa (zadnji povrat), pri čemu će ti povrati biti vrlo blizu jedan drugome. Dubinomjer uvijek nastoji detektirati prvi povrat kao signal dna. Ako je površina ispod plovila relativno ravna prvi povrat će uvijek biti na nadiru. Prilikom sondiranja na padinama moguće je da prvi povrat više nije na nadiru neposredno ispod plovila, budući da vanjski rub snopa može imati kraću kosu udaljenost do dna. U takvom slučaju, dubina se može podcijeniti s potencijalnom pogreškom koja se povećava s dubinom kako se promjer širine snopa

²točka u kojoj vertikalna na motriteljevu mjestu probada neb. sferu ispod ravnine astronomskog obzora (horizonta); dijametralno je suprotna zenitu [19]

reflektirane površine povećava. Slika 5. prikazuje utjecaj kuta snopa na izmjerenu dubinu [14].



Slika 5. [17] Utjecaj kuta snopa na izmjerenu dubinu

Na lijevoj strani, ekstremna padina rezultira velikom pogreškom u dubini. Na desnoj strani, sonar niske frekvencije (24 kHz ili 33 kHz) može pokazati primjetnu pogrešku, dok sonar visoke frekvencije (200 kHz) možda neće imati značajnu pogrešku. Razlika u kutovima snopa između niskofrekventnih i visokofrekventnih elemenata u dvostrukom frekventnom prijemniku uzrokuje divergenciju u rezultatima dubine kako se nagib povećava, pri čemu niskofrekventni signal postaje sve netočniji [18].

Pretvornici se klasificiraju s obzirom na njihov operativni princip na magnetostruktivne, piezoelektrične i elektrostruktivne pretvornike koji su opisani sljedećim potpoglavljima.

3.3.1. Magnetostruktivni pretvornici

Ovi pretvornici imaju osovinu od željeza s namotajem od nikla. Magnetostruktivni pretvornik zapravo je elektromagnet. Kada kroz namotaj prolazi istosmjerna struja dolazi do mehaničkih deformacija jezgre i smanjenja promjera namotaja. Kada električna struja koja prolazi kroz jezgru lameliranog elektromagneta prestane protjecati, namotaj se vraća u svoju izvornu veličinu. S druge strane, primjena izmjenične struje stvara kontrakcije i proširenja prema karakteristikama primijenjenog signala. Amplituda inducirane vibracije bit će maksimalna ako je frekvencija jednaka ili harmonički povezana s prirodnom frekvencijom ili rezonantnom frekvencijom materijala pretvornika. Međutim, ovaj je tip pretvornika manje učinkovit od pretvornika koji djeluju na principu piezoelektričnog efekta [14].

3.3.2. Piezoelektrični pretvornici

Ova vrsta pretvornika koristi fleksibilna svojstva kristalne pločice. Ako je keramička kristalna pločica montirana na način da može oscilirati na svojoj prirodnoj rezonantnoj frekvenciji mogu se proizvesti akustične oscilacije. Kada je keramička kristalna pločica montirana tako da se njezini rubovi ili rubni dijelovi podržavaju, a vanjska sila uzrokuje da se pločica savija, na krajevima elementa će se razviti mali električni potencijal. Ovaj fenomen se široko koristi u industriji za proizvodnju različitih uređaja uključujući elektronske upaljače za cigarete i osnovne kristalne oscilatorske jedinice za digitalne satove. Međutim, kada se keramička kristalna pločica koristi na ovaj način podložna je istim mehaničkim zakonima koji su ranije opisani. Kako frekvencija oscilacije raste, pločica mora biti tanja, što povećava rizik od loma zbog vanjskih napetosti ili prekomjernog opterećenja. Zbog ovih izazova, piezorezonatori se rijetko koriste u pomorskim aplikacijama [10]. Pored navedenog postoje i elektrostruktivni pretvornici prikazani i opisani sljedećim potpoglavljem rada.

3.3.3. Elektrostruktivni pretvornici

Elektrostruktivni pretvornici temelje se na istom principu kao i piezoelektrični pretvornici. Međutim, materijali koji se koriste (obično polikristalne keramike ili određeni sintetički polimeri) nemaju prirodne piezoelektrične karakteristike, stoga ih je tijekom proizvodnog procesa potrebno polarizirati. Danas se elektrostruktivni pretvornici koriste gotovo

isključivo. Ovi pretvornici su lakši, reverzibilni i mogu se postaviti u nizove. Ovi nizovi sa skupom malih elemenata, kada su pravilno raspoređeni, omogućuju slične karakteristike kao jedinstveni pretvornici. Naime, zbog korištenja laganih materijala elektrostriktivni pretvornici su lakši što ih čini lakšim za rukovanje i instalaciju. Isto tako, ovi pretvornici mogu raditi i kao odašiljači i kao prijemnici, čime se povećava njihova svestranost. Korištenje elektrostriktivnih pretvornika u hidrografskim istraživanjima omogućuje precizna i učinkovita mjerenja dubine s visokom rezolucijom, što je ključno za modernu hidrografsku kartografiju [18].

Može se zaključiti da kod hidrografskih istraživanja morskog dna najznačajniju ulogu imaju elektrostriktivni pretvornici kojima se omogućuje točnije mjerenje dubine. Dubinomjeri su složeni uređaji koji ovise o više parametara i uvjeta okoline kako bi pružili točne informacije o dubini morskog dna. Pogreške mogu nastati iz različitih razloga, uključujući tehničke karakteristike uređaja, refleksiju signala od površine ili drugih objekata, atmosferske uvjete kao i geometrijske i topografske osobitosti morskog dna. Stoga je razumijevanje potencijalnih izvora pogrešaka od značajne važnosti za poboljšanje preciznosti i pouzdanosti ultrazvučnih senzora u hidrografskim istraživanjima.

3.4. Problemi mjerenja ultrazvučnim sensorima

Problemi mjerenja ultrazvučnim sensorima ogledaju se u tome što signal senzora može oslabiti ili se raspršiti dok putuje kroz medij. Atenuacija³ može biti pod utjecajem čimbenika kao što su frekvencija ultrazvuka, svojstva medija i prijedeni razmak. Više frekvencije ultrazvučnih valova podložnije su bržoj atenuaciji, što znači da se energija valova brže gubi tijekom širenja kroz medij. Ova pojava nastaje zbog toga što pri višim frekvencijama dolazi do veće interakcije valova s česticama u mediju, što rezultira većim gubicima energije kroz apsorpciju i raspršenje. Posljedično tome ultrazvučni valovi s višim frekvencijama imaju kraći domet i mogu pružiti manje točna mjerenja na većim udaljenostima, budući da se signal brže prigušuje. Također, nepravilnosti u mediju ili površine koje nisu okomite na dolazni val mogu uzrokovati refleksiju ili raspršenje ultrazvučnih valova, što može dovesti do pogrešnih očitavanja ili smanjene točnosti [20].

³atenuacija je pojam koji se koristi za opisivanje smanjenja intenziteta signala dok putuje kroz medij [20]

Osim atenuacije na preciznost mjerenja ultrazvučnim sensorima utječu promjene u kemijskom sastavu morske vode. Varijacije u slanosti i temperaturi vode mogu promijeniti brzinu širenja zvučnih valova kroz medij. Kada se zvučni valovi šire kroz morsku vodu, njihova brzina nije konstantna već ovisi o nekoliko čimbenika, uključujući temperaturu, tlak i salinitet vode. Povećanje temperature ili slanosti obično povećava brzinu zvuka u vodi. Međutim, ove promjene mogu biti nejednake i varirati na različitim dubinama ili geografskim lokacijama što znači da ultrazvučni senzori moraju biti pažljivo kalibrirani kako bi se uzeli u obzir ovi uvjeti. Ako se ove varijacije ne uzmu u obzir tijekom mjerenja, može doći do značajnih pogrešaka u očitavanju dubine ili udaljenosti. Na primjer, senzori mogu pokazivati pogrešne vrijednosti zbog pogrešne procjene brzine zvuka u specifičnim uvjetima što može dovesti do nepravilnih mjerenja dubine morskog dna ili objekata ispod površine vode. Ove pogreške postaju još izraženije na većim dubinama ili u područjima gdje su temperaturne i salinitetne promjene izraženije [\[20\]](#).

3.5. Vrste ultrazvučnih dubinomjera

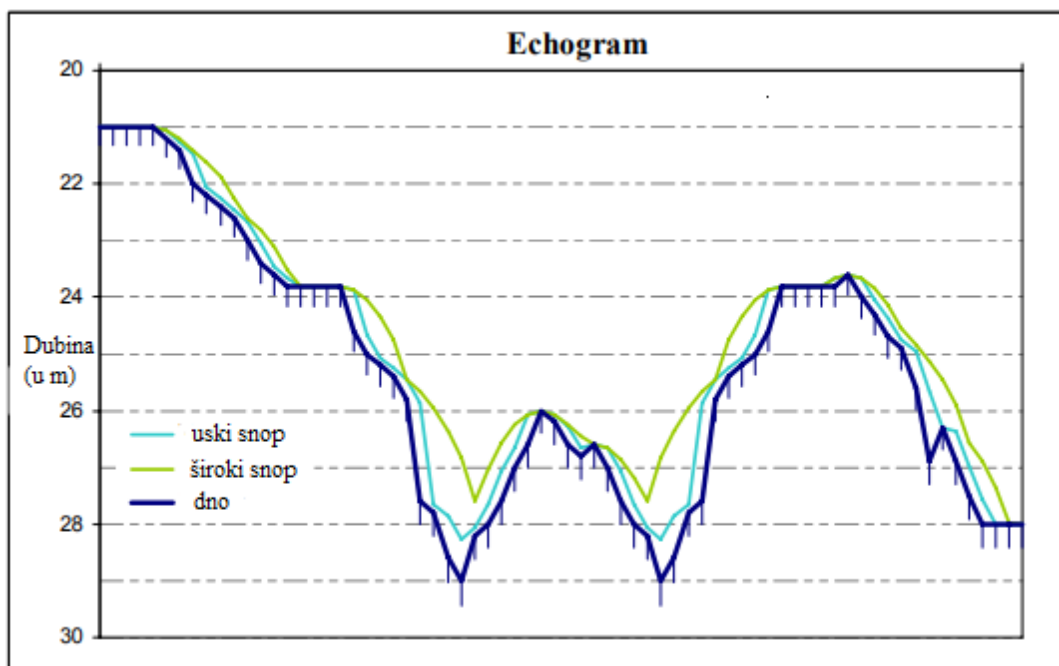
Tijekom posljednjeg desetljeća hidrografsko istraživanje doživjelo je konceptualnu promjenu u tehnologiji i metodologiji mjerenja dubine. Kombinacija mjerenja ultrazvukom putem višesnopnih dubinomjera s brodova uz dodatno mjerenje sustavima zračnog laserskog snimanja (engl. *Airborne Laser Sounding Systems*–ALS)⁴ iz aviona omogućuju gotovo potpunu pokrivenost morskog dna i mjerenje dubine. Visoka gustoća podataka i visoke stope prikupljanja doveli su do velikih skupova batimetrijskih podataka i mnogo pomoćnih podataka. Prema Međunarodnoj hidrografskoj organizaciji (engl. *The International Hydrographic Organization* – IHO) dubinomjeri se mogu podijeliti kao jednosnopni dubinomjeri i višesnopni dubinomjeri [\[14\]](#).

Jednosnopni dubinomjeri postižu točnost mjerenja manju od decimetra u plitkim vodama. Tržište nudi raznovrsnu opremu s različitim frekvencijama, brzinama impulsa itd. i moguće je zadovoljiti većinu korisnika, posebno potrebe hidrografa. Jednosnopni dubinomjeri zahtijevaju samo jedan pretvornik za prijenos i prijem signala, no u nekim slučajevima može se koristiti i niz pretvornika osobito kada je potrebna stabilizacija snopa.

⁴Sustavi zračnog laserskog snimanja (ALS) mogu značajno povećati produktivnost istraživanja u plitkim vodama, mjereći dubine do 50 m ili više pomoću lasera montiranih na zrakoplovima. U kombinaciji s brodom, koji pruža dodatne podatke za kalibraciju, omogućuje se preciznije batimetrijsko mjerenje jer avion pokriva široka područja, dok brod osigurava lokalizirana mjerenja za poboljšanje točnosti. [\[14\]](#)

Za stabilizaciju snopa potrebno je poznavanje kutova nagiba i ljuljanja (engl. *roll i pitch*). Širina snopa ovisi o dimenzijama pretvornika i valnoj duljini akustičnih valova. Što je frekvencija viša i što je pretvornik veći to će snop biti uži. Stoga, za postizanje uskog snopa pri niskim frekvencijama potreban je veći pretvornik. Pretvornik odabran za jednosnopni dubinomjer može imati uski snop kada je potrebna visoka usmjerenost ili široki snop kada usmjerenost nije ključna ali je prioritet otkrivanje minimalnih dubina ili prepreka na morskome dnu.

U tom pogledu široki snopovi imaju sposobnost otkrivanja odjeka unutar velikog prostornog kuta što je korisno za detekciju opasnosti za navigaciju koja zahtijeva daljnje istraživanje. Ovi snopovi obično nisu stabilizirani te u uobičajenim pomorskim uvjetima položaj pretvornika ne utječe na mjerenja. S druge strane uski snopovi, obično u rasponu od 2° do 5° potrebni su za visoko razlučivu mapiranje. Kao takvi, ovi snopovi mogu biti stabilizirani kako bi se mjerila dubina točno ispod pretvornika [14]. Slika 6. prikazuje mjerenje dubine korištenjem jednog uskog i širokog snopa.



Slika 6. [14] Prikaz mjerenja dubine korištenjem jednog uskog i širokog snopa

Prema Slici 6. vidljivo je da široki snopovi mogu detektirati odjeke u velikom prostornom kutu, što je korisno za otkrivanje potencijalnih opasnosti za navigaciju koje treba dodatno istražiti. S druge strane, uski snopovi koriste se za precizno mapiranje.

Višesnopni dubinomjeri se brzo razvijaju i imaju veliki potencijal za precizno i potpuno pretraživanje morskog dna ako se koriste odgovarajućim postupcima i uz uvjet da je rezolucija sustava adekvatna za pravilno otkrivanje navigacijskih opasnosti. Ovi dubinomjeri obično imaju odvojene nizove pretvornika za odašiljanje i prijem. Uparene antene u smislu projektor i hidrofona su orijentirane, prva u smjeru paralelno s kobilicom broda dok druga okomito. Odašiljač para šalje jedan snop signala u obliku ventilatorske lopatice gdje širi dio pokriva dno okomito na putanju plovila dok oštri dio uzdužnu putanju. Pravilnim kodiranjem antena i njihovih signala koje su fizički pomaknute prijemnik dekodira refleksije i u istom hipu određuje točke na morskome dnu u smislu površine. Kako se radi o kompleksnom problemu rekonstrukcije površinskih segmenata podmorja čitatelj se upućuje na izvor [\[14\]](#) koji detaljnije analizira ovaj problem. Značajno je da bočni snopovi budu ispod -20 dB kako bi se osigurala visoka kvaliteta mjerenja [\[14\]](#).

3.5.1. Jednosnopni dubinomjeri

Jednosnopni ili uskosnopni dubinomjer smatra se sustavom za mjerenje dubine mora u kojem širina snopa pretvarača do točaka polovične snage (-3 dB) iznosi 5° ili manje. Ovi dubinomjeri obično koriste pretvarače koji su mehanički ili elektronički stabilizirani pri nagibu i valjanju broda kako bi osigurali da glava senzora pretvornika stoji ravno pri odašiljanju i prijemu [\[21\]](#).

Jednosnopni dubinomjeri pružaju precizno mjerenje dubina neposredno ispod broda čime se izbjegavaju pogreške uzrokovane širokim snopom na nagnutim dnom. Takva mjerenja imaju primjenu u osiguravanju sigurnosti navigacije te u kartiranju morskog dna radi poboljšanja kvalitete podataka u smislu rezolucije i točnosti. Za postizanje uskog snopa, potrebni su veći odašiljači u usporedbi s onima koji se koriste za široki snop [\[22\]](#).

Za rad jednosnopni dubinomjeri zahtijevaju samo pretvornik za prijenos i prijem i mogu koristiti niz pretvornika pri čemu je potrebno poznavati kut valjanja i nagiba za stabilizaciju snopa. Širina snopa ovisi o dimenzijama pretvornika i duljini akustičkog vala. Što je veća frekvencija i veći pretvornik, to će snop biti uži. Odabrani pretvornik može

imati uski snop kada je potrebna visoka preciznost usmjerenja, ili široki snop kada je prioritet detekcija minimalnih dubina ili prepreka na morskom dnu. Obično ovi snopovi nisu stabilizirani, a za uobičajene morske uvjete, položaj pretvornika ne utječe na mjerenja.

3.5.2. Višesnopni dubinomjeri

Višesnopni dubinomjeri koriste se više od četrdeset godina u hidrografskim istraživanjima za morsku kartografiju, sigurnost plovidbe, potporu mornarici te znanstveni razvoj. S poboljšanom razlučivošću i sposobnostima mjerenja ovih sustava, pojavila su se nova područja gdje su višesnopni dubinomjeri nezamjenjiva pomoć koja uključuju istraživanje i eksploataciju prirodnih resursa, ribarstvo, pomorsko inženjerstvo ili podvodnu arheologiju.

Za istraživanje najdubljih dijelova oceana (preko 11.000 m), koriste se dubinomjeri s pretvornicima koji rade na frekvenciji od 12 kHz. Ovi uređaji često uključuju velike i teške pretvornike koji su montirani na specijaliziranim nosačima dugim otprilike 8 metara. Ovi nosači omogućuju pričvršćivanje senzora dubinomjera na istraživačke brodove, a njihova dužina olakšava povlačenje i vađenje senzora iz brodske utrobe. Ako je potrebno pokriti veću površinu ili omogućiti bolje mjerenje, moguće je koristiti konfiguracije s više pretvornika raspoređenih u obliku niza (engl. *array*), što omogućuje dodatnu fleksibilnost i preciznost u radu. Unutar granica kontinentalnog ruba, do dubine od 200 metara, višesnopni dubinomjeri operiraju u opsegu od 70 kHz do 200 kHz. U plitkim i vrlo plitkim vodama (do nekoliko metara dubine), najefikasniji su sustavi koji koriste signale od 300 kHz do 400 kHz. Ovi dubinomjeri manjih dimenzija mogu se instalirati na daljinski upravljane podmornice (engl. *Remotely Operated Vehicle* - ROV) i autonomna podvodna vozila (engl. *Autonomous Underwater Vehicle* - AUV) [23].

3.6. Parametri dubinomjera

Kako bi se postigla visoka točnost i jasan zapis morskog dna, parametri dubinomjera moraju biti pravilno postavljeni. Najvažniji parametri suvremenih jednosnopnih dubinomjera jesu [14]:

- snaga
Operativni domet dubinomjera ovisi o duljini impulsa, frekvenciji i prenesenoj snazi. Za optimizaciju korištenja dubinomjera prenesena snaga treba biti održavana

na najnižim vrijednostima koje omogućuju adekvatno mjerenje. Povećanje snage rezultira visokim razinama jeke, ali i višim razinama reverberacije⁵ što stvara loš zapis. Snaga je ograničena fenomenom kavitacije⁶ i stresom loma materijala korištenog pretvornika.

- pojačanje
Podrazumijeva amplifikaciju signala te također pojačava šum, što može poremetiti zapis podataka. Preporučuje se da se pojačanje prilagodi prema vrsti morskog dna i snazi prijenosa.
- intenzitet zapisa
Parametar se koristi u analognim dubinomjerima za podešavanje intenziteta snimanja.
- duljina impulsa
Parametar se obično odabire automatski kao funkcija operativnog dometa. Duljina impulsa je odgovorna za vertikalnu rezoluciju dubinomjera. Za bolju rezoluciju potrebni su kratki impulsi. Kod područja s lošom reflektivnošću ili na strmim padinama potrebno je povećati duljinu impulsa. U plitkim vodama, gdje je rezolucija važnija, moraju se koristiti kratki impulsi kako bi se smanjila vjerojatnost lažnih odjeka zbog jake reverberacije.
- skala
Odgovara skali dubine prozora koje koristi dubinomjer za snimanje. Širina papira za snimanje je fiksna, stoga će na malim skalama vertikalna rezolucija biti niska.
- fazna skala
Čini način na koji se prevladavaju ograničenja rezolucije zapisa nametnuta skalom traga odjeka. Fazna skala se sastoji od snimanja samo jednog prozora dubine koji bi trebao biti promijenjen, bilo ručno ili automatski, kako bi se održalo snimanje morskog dna sa zadovoljavajućom vertikalnom rezolucijom bez obzira na dubinu vode.
- gaz

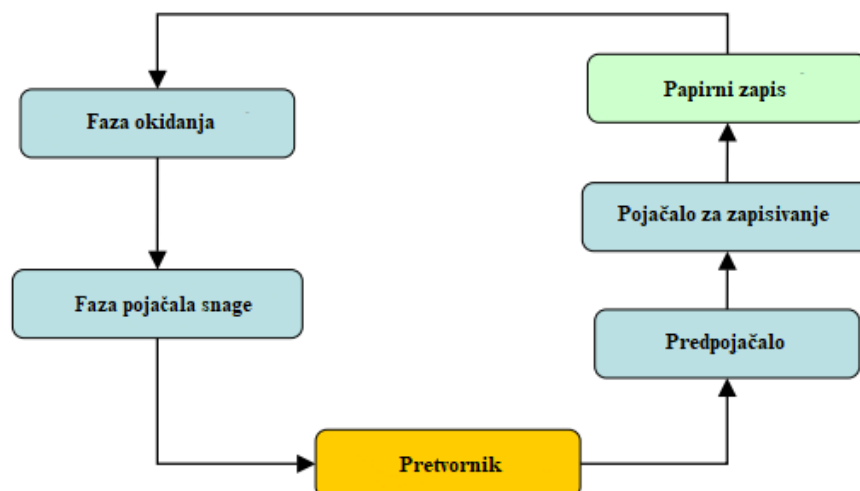
⁵fenomen u kojem se zvučni valovi reflektiraju s površina i objekata u okolini i ponovno vraćaju u senzor. U kontekstu dubinomjera, to su povratni eho signali od objekata na morskom dnu ili površini vode, što može smanjiti točnost mjerenja dubine stvaranjem šuma koji otežava tumačenje pravog signala.

⁶nastaje kada se u tekućini stvore mjehurići plina ili pare zbog naglih promjena tlaka. Kada se ti mjehurići imploDIRAJU, mogu uzrokovati oštećenje materijala i stvaranje šuma. U dubinomjerima, prevelika prenesena snaga može izazvati kavitaciju, što rezultira dodatnim signalima i pogreškama u očitavanju dubine te može oštetiti pretvornik. [[14](#)]

Odgovara korekciji signala pretvornika kako bi se dubina zabilježila s referencom na trenutnu razinu vode. Gaz treba biti postavljen i verificiran prije početka istraživanja i redovito nakon toga.

- brzina papira
posebno važna brzina koja treba biti odabrana kako bi se osigurala dobra horizontalna rezolucija kod mjerenja dubine.
- brzina zvuka
Predstavlja nominalnu vrijednost brzine zvuka koja bi trebala odgovarati prosječnoj brzini zvuka u području koje se mjeri. U klasičnim analognim dubinomjerima, ovaj parametar ne odgovara brzini zvuka već vrijednosti koja kalibrira mehaničke i električne komponente dubinomjera za mjerenje točne dubine.

Navedeni parametri povezani su s radom jednosnopnih analognih dubinomjera. Naime, moguće je razlikovati dva tipa jednosnopnih dubinomjera: digitalne i analogne. Tradicionalni analogni dubinomjer, započinje ciklus generiranjem električnog impulsa i prijenosom pulseva u vodu. Nakon prijema eha i pretvorbe u električnu energiju, signal niskog napona se pojačava i šalje na uređaj za snimanje, kako bi bio zabilježen na ehogramu, što je grafički zapis mjerenja dubine dobivenih dubinomjerom s odgovarajućim vertikalnim i horizontalnim rezolucijama. Nakon završetka faze snimanja, moguće je započeti novi ciklus [14]. Slika 7. prikazuje blok dijagram analognog dubinomjera.

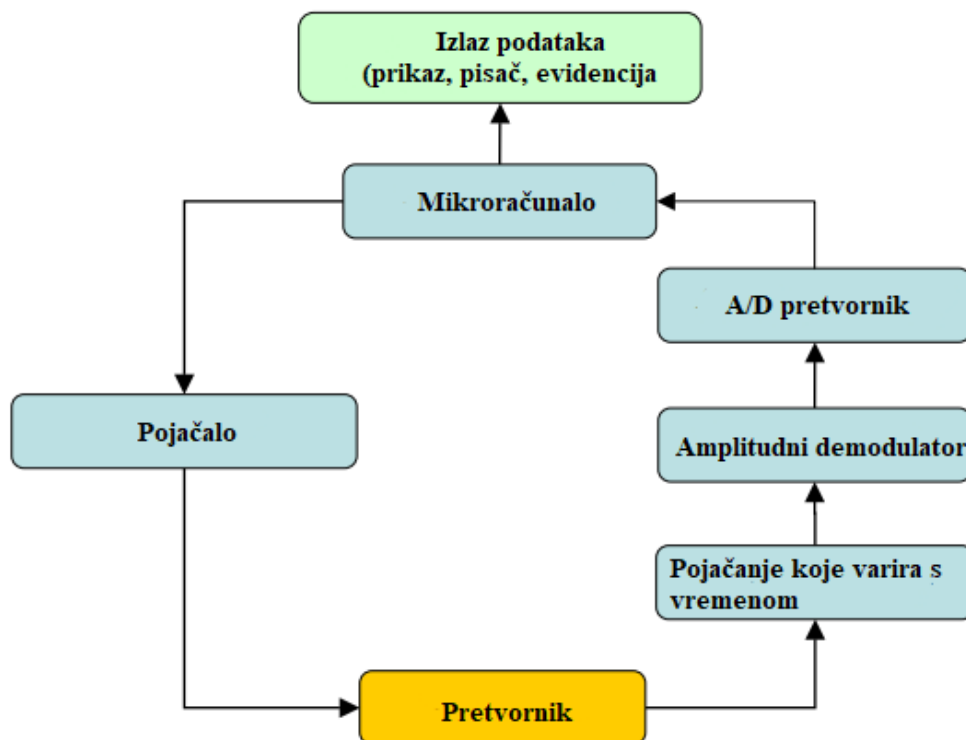


Slika 7. [14] Blok dijagram analognog dubinomjera

Iz Slike 7. vidljiv je rad analognog dubinomjera kroz nekoliko faza. Proces započinje u fazi okidanja, gdje se generira impuls koji pokreće mjerenje dubine. Nakon toga, u fazi pojačala snage sustav dobiva potrebnu energiju kako bi se omogućilo slanje akustičkog signala iz pretvornika prema morskom dnu. Pretvornik emitira signal, koji nakon refleksije od dna ponovno prima i pretvara u električni signal. Taj signal je vrlo slab, pa prolazi kroz pretpojačalo, koje ga pojačava do razine pogodnog za daljnju obradu. Zatim ulazi u pojačalo za zapisivanje, gdje se dodatno pojačava u signal medija za zapis kako bi bio prikladan za prikaz. Na kraju, rezultati mjerenja dubine prikazuju se putem papirnog zapisa, omogućujući korisniku vizualnu interpretaciju podataka.

Hidrografski dubinomjeri za plitke vode obično su izrađeni s dva kanala (niskofrekventni i visokofrekventni). Istodobno snimanje dviju frekvencija omogućava razdvajanje povratnog signala s morskog dna od mekih površinskih sedimenata i donjih stijena zbog njihove različite akustičke impedancije [14].

S druge strane, digitalni dubinomjer radi na sličan način kao analogni dubinomjer pri prijenosu signala. Međutim, tijekom prijema eha, primljeni signal se pojačava funkcijom vremena (varijabilno pojačanje) i prolazi kroz amplitudni demodulator gdje se konačno pretvara u digitalni format, koji se koristi za određivanje dubine što omogućava pohranu i prikaz informacija u nekoliko formata [14]. Slika 8. prikazuje blok dijagram digitalnog dubinomjera.



Slika 8. [14] Blok dijagram digitalnog dubinomjera

Slika 8. prikazuje rad digitalnog dubinomjera kroz nekoliko ključnih koraka. Proces započinje u pretvorniku, koji emitira akustični signal prema morskom dnu, a zatim prima reflektirani signal. Signal potom prolazi kroz sustav za pojačanje kako bi bio dovoljno snažan za daljnju obradu. Sljedeći korak uključuje pojačanje koje varira s vremenom, što omogućava prilagodbu pojačanja na temelju udaljenosti, jer se signal slabije reflektira s većih dubina. Nakon toga, signal ulazi u amplitudni demodulator, gdje se odvaja informacija o amplitudi, koja je ključna za procjenu dubine. Ovaj demodulirani signal zatim prolazi kroz A/D (analogno-digitalni) pretvornik, gdje se analogni signal pretvara u digitalni oblik za daljnju obradu. Digitalni podaci zatim se šalju u mikroračunalo koje obrađuje signal, vrši potrebne kalkulacije i generira informacije o dubini. Konačno, rezultati se prikazuju putem izlaza podataka, koji može uključivati prikaz na ekranu, pislač ili drugi sustav za evidenciju.

Točnost mjerenja dubine kod digitalnog dubinomjera ovisi o nekoliko faktora, uključujući sam dubinomjer i medij. Obično je potrebno izračunati proračun pogreške na temelju sljedećih faktora [14]:

- zbog nagiba dna
- zbog brzine zvuka

Varijacija brzine zvuka je teška za praćenje i uzrokuje pogreške u mjerenju dubine kod dubinomjera s jednim snopom, proporcionalne pogrešci ili varijaciji srednje brzine zvuka i dubini pri čemu magnituda pogreške brzine zvuka varira s točnošću određivanja brzine zvuka, vremenskim varijacijama brzine zvuka i prostornim varijacijama brzine zvuka.

- zbog mjerenja vremena

Dubinomjer učinkovito mjeri vrijeme, pretvarajući mjerenje u dubinu. Pogreška u mjerenju vremena izravno je povezana s pogreškom u dubini. Kod modernih dubinomjera, pogreška u mjerenju vremena obično je mala i konstantna. Ova pogreška također se uzima u obzir tijekom kalibracije.

- zbog valjanja i posrtanja broda

Nagib i uspon doprinose pogrešci u mjerenju dubine kada su veličine tih kutova veće od polovice širine snopa.

- zbog dubine gaza, hidrodinamička greška urona, dinamička greška urona zbog uvijanja plovila i relativne pozicije pretvornika

Točno mjerenje dubine gaza pretvornika ključno je za točnost ukupne dubine. Razlozi za varijaciju dubine gaza uglavnom su povezani sa stanjem mora, vrstom plovila te teretu odnosno masi plovila. Varijacija dubine gaza povećava se smanjenjem površine plovila na morskoj površini.

- hidrodinamička greška urona

Predstavlja opće sniženje razine pokretnog plovila u odnosu na njegovu nepomičnu razinu. Ovaj učinak, osobito u plitkim vodama, povezan je s regionalnom depresijom sile uzgona u vodi u kojoj plovilo plovi.

- čitanje zapisa i rezolucija

Ovisi o radnim načelima dubinomjera. U slučaju analognog snimanja, operator bi trebao odabrati odgovarajuće parametre dubinomjera tijekom istraživanja kako bi se, koliko je moguće, dobio čisti zapis eha i odgovarajuća rezolucija. S druge strane, digitalni zapis više nema takvu ovisnost o operatoru tijekom istraživanja, ali je nadzor potreban tijekom akvizicije podataka.

Interpretacija zapisa eha je odgovornost hidrografa te zahtijeva iskustvo za identifikaciju posebnih oblika, višestrukih eha i lažnih eha. Lažni eho uzrokuju strani

materijali poput algi ili riba u vodenom stupcu, slojeva vode odvojenih naglim promjenama temperature ili saliniteta ili oboje. Lažni eho povremeno bilježe dubinomjeri i mogu se pogrešno interpretirati kao točne dubine. U slučajevima sumnje u valjanost izmjerenih dubina, treba provesti istragu te ponoviti određeni dio linije istraživanja ako je potrebno. Višestruki eho čine signali primljeni nakon prvog zbog mnoštva refleksija naprijed-natrag između morskog dna i površine [14].

Rezolucija je sposobnost razdvajanja povratnih signala od dva ili više objekata koji su blizu jedan drugome. Obično se izražava kao minimalna udaljenost između dvaju objekata koja se može razlikovati. U mjerenju dubine, glavna briga je vertikalna rezolucija dubinomjera koja ovisi o [14]:

- duljini impulsa
Duži impulsi imaju manju rezoluciju. Dva objekta unutar uskog snopa bit će zabilježena kao jedan signalni cilj ako su udaljena manje od polovice duljine impulsa. Bit će razdvojena kao dva odvojena eha ako su udaljena više od polovice duljine impulsa.
- osjetljivosti i rezoluciji medija za snimanje
- širini snopa pri prijenosu.

Za postizanje visoke točnosti i kvalitete mjerenja dubine u hidrološkim istraživanjima, pravilno postavljanje i razumijevanje parametara dubinomjera su od presudne važnosti. Snaga, pojačanje, duljina impulsa i brzina papira ključni su u optimizaciji rada dubinomjera, dok parametri poput skale, fazne skale i gaza direktno utječu na preciznost snimanja i interpretaciju podataka. Nadalje, analogni dubinomjeri zahtijevaju pažljivo podešavanje svih ovih parametara za postizanje jasnog zapisa. Napredniji digitalni dubinomjeri nude dodatne mogućnosti za automatske korekcije i pohranu podataka, što poboljšava točnost i olakšava analizu. Varijacije u brzini zvuka, uzrokovane promjenama u temperaturi, salinitetu i tlaku, mogu značajno utjecati na rezultate mjerenja, stoga je važno koristiti metode korekcije i kalibracije kako bi se minimizirale pogreške. Uz to, razumijevanje i pravilna interpretacija zapisa eha, uzimanje u obzir nagiba dna, valjanja i posrtanja plovila, kao i precizno određivanje brzine zvuka, ključni su za osiguranje pouzdanih i točnih podataka o dubini. Sve ove komponente zajedno omogućuju postizanje visoke razine preciznosti u hidrološkim istraživanjima i pridonosenje točnom kartiranju morskog dna.

3.7. Pogreške ultrazvučnih dubinomjera

Specifičnost morske vode za sobom donosi i određene karakteristike zbog koje je potrebno uzeti u obzir kod mjerenja dubine mora dubinomjerom. Stoga je važno poznavati fizikalna svojstva morske vode i širenja akustičnih valova. Unatoč tome što elektromagnetski valovi izvrsno putuju kroz vakum i zrak, isti teško prodiru ili se šire kroz tekućine. Međutim, ultrazvučni valovi postižu dobro prodiranje i širenje kroz sve elastične medije koji se mogu potaknuti da vibriraju izloženi varijacijama tlaka. Većina senzora koji se koriste za određivanje dubine koristi akustične valove. Akustični valovi sastoje se od suptilnih varijacija polja tlaka u vodi. Čestice morske vode se longitudinalno pomiču naprijed-natrag u smjeru širenja vala, stvarajući susjedne regije kompresije i ekspanzije. Intenzitet akustičnog vala je količina energije koja prelazi kroz jedinicu površine u jednoj sekundi. Neke od karakteristika morske vode koje će utjecati na pogreške u radu dubinomjera ogledaju se u [\[14\]](#):

- buka
Nastaje iz različitih izvora kao što su: valovi, kiša, seizmička aktivnost, toplinska buka, živi organizmi i ljudski utjecaji. Osim buke, važno je uzeti u obzir i kombinirani utjecaj akustične energije odbijanja stvorene različitim morskim tijelima te uključuje valove na površini, zračne mjehuriće, morski život, materijale u suspenziji, itd.
- temperatura mora putem signala
Varira ovisno o geografskom položaju na Zemlji, godišnjem dobu i vremenu dana. Rasprostranjenost temperaturnog polja je kompleksna i ne može se dovoljno točno predvidjeti za hidrografska istraživanja. Kroz vodeni stupac ponašanje temperature također je vrlo složeno. Takva nepredvidljivost zahtijeva sveobuhvatnu distribuciju profila brzine zvuka, kako vremenski tako i prostorno, kako bi se održala reprezentativna valjanost profila brzine zvuka za istraživačko područje.
- salinitet mora
Mjera je količine otopljenih soli i drugih minerala u morskoj vodi. Normalno je definirana kao ukupna količina otopljenih čvrstih tvari u morskoj vodi izražena u promilima (‰) po težini. U praksi, salinitet se ne određuje izravno, već se izračunava iz kloriniteta, električne vodljivosti, indeksa loma ili neke druge svojstvene karakteristike čiji je odnos prema salinitetu dobro utvrđen. Prosječni

salinitet morske vode iznosi oko 35 ‰. Stopa varijacije brzine zvuka je približno 1.3 m/s za svaku promjenu od 1 ‰ u salinitetu.

- tlak

Također značajno utječe na varijaciju brzine zvuka. Tlak je funkcija dubine, a stopa promjene brzine zvuka je približno 1.6 m/s za svaku promjenu od 10 atmosfera, tj. približno 100 metara dubine vode. Tlak ima glavni utjecaj na brzinu zvuka u dubokim vodama.

- gustoća

Ovisi o prethodnim parametrima, tj. temperaturi, salinitetu i tlaku. Pedeset posto oceanovih voda ima gustoću između 1027.7 i 1027.9 kg/m³. Najveći utjecaj na gustoću ima stlačivost s dubinom. Voda s gustoćom od 1028 kg/m³ na površini imala bi gustoću od 1051 kg/m³ na dubini od 5000 metara.

Neke od karakteristika zvuka u vodi uključuju brzinu zvuka koja varira diljem svijeta ovisno o temperaturi, tlaku i salinitetu. Povećanje bilo kojeg od ovih faktora uzrokovat će povećanje brzine zvuka i obrnuto. Precizno poznavanje brzine zvuka potrebno je za precizno sondiranje dubine, a većina opreme za sondiranje dubine kalibrirana je na 1.500 m/s. Kada se zvuk širi kroz morsku vodu, intenzitet se smanjuje zbog širenja dok stvarni intenzitet odgovara snazi po jedinici površine poprečnog presjeka valnog fronta. Prigušenje odnosno apsorpcija zvuka u morskoj vodi nastaje u procesu kada se akustični val širi kroz morsku vodu, tada se sva njegova energija na kraju pretvara u toplinu zbog viskoznosti i relaksacijskih procesa. Gubitak u morskoj vodi prvenstveno je uzrokovan prisutnošću magnezijevog sulfida i 30 je puta veći nego u čistoj vodi. Prigušenje raste s frekvencijom i dramatično se povećava iznad 100 kHz [10].

3.7.1. Problem izmjerenje dubine zbog promjene brzine zvuka kroz vodu

Određivanje brzine zvuka u vodi ključna je tema u hidrografskim mjerenjima. Funkcioniranje akustičnih uređaja za mjerenje dubine temelji se na putnoj jednadžbi u linearnom kretanju. Udaljenost koju akustični val prelazi u vodi je put između elektroakustičnog pretvornika i dna ili druge prepreke s reflektirajućim svojstvima. Kada je brzina zvuka u vodi poznata, dubina se određuje na temelju izmjerenog vremena putovanja duž te rute. Dugi niz godina, za dubinska mjerenja koja zahtijevaju manju preciznost nego hidrografija, poput navigacijskih potreba, korišteni su grafikoni koji prikazuju konstantne

brzine zvuka u odnosu na temperaturu za zadane vrijednosti slanosti. No, s pojavom višesnopnih dubinomjera i sustava za podvodnu navigaciju, javlja se potreba korištenja vertikalne distribucije brzine zvuka u vodi, koja se mijenja s dubinom. Ovi uređaji koriste pristrano širenje akustičnog vala, što rezultira složenijim određivanjem dubine i koordinata refleksije akustičnog vala od dna.

Utjecaj promjene brzine zvuka u vodi postaje sve značajniji kako dubina raste. Netočnosti između srednje vrijednosti ili procijenjene distribucije i stvarne distribucije brzine zvuka imaju neznatan utjecaj u plitkoj vodi kao i ograničenim vodenim područjima s niskim dubinama.

Mjerenje brzine zvuka je najpreciznija metoda određivanja njezine distribucije. Druga metoda kalibracije dubinomjera uključuje upotrebu kontrolne šipke, koja je ključna za osiguranje točnosti i pouzdanosti mjerenja. Kontrolna šipka može imati oblik metalnog stožca ili ploče a koristi se za direktno mjerenje stvarne dubine u kontroliranim uvjetima. Kontrolna šipka se postavlja u vodu na način da se uranja u svrhu mjerenja vodenog stupca. Kada se kontrolna šipka spušta, dubinomjer na plovilu bilježi dubinu u kojoj se nalazi donji dio šipke. Ova dubina se uspoređuje s stvarnom dubinom šipke, koja se prethodno zna i mjeri izravno. Razlika između stvarne dubine (koja je poznata i točno izmjerena) i dubine zabilježene od strane dubinomjera bilježi se za svaki položaj šipke. Ova razlika predstavlja sistematske pogreške u mjerenju koje mogu biti posljedica raznih faktora kao što su kalibracija opreme ili uvjeti u vodi. Podaci iz tablice korekcije koriste se za prilagodbu mjerenja dubine u budućim istraživanjima. Na taj način, svi budući rezultati mogu se ispraviti prema poznatim odstupanjima, čime se osigurava veća točnost i pouzdanost mjerenja dubine [24].

Pogreška problema izmjerene dubine zbog promjene brzine zvuka kroz vodu može izraziti formulom (4) [4]:

$$\Delta dub = dub \left(\frac{v_m}{v_o} - 1 \right) \quad (4)$$

v_m - stvarna brzina zvuka kroz vodu

v_o - brzina zvuka kroz vodu, koja se koristi za izračun brzine elektromotora koji kontrolira emitiranje impulsa

dub - izmjerena dubina

U fizici se za određivanje brzine zvuka u vodi na temelju njezinih osnovnih parametara koristi osnovna jednadžba koja opisuje brzinu propagacije elastičnih valova, kojoj pripadaju zvučni valovi u sredini (5) [24]:

$$c = \frac{1}{\sqrt{k_{p,Q}\rho_0}} \quad (5)$$

gdje je:

c = brzina zvuka (m/s),

$k_{p,Q}$ = koeficijent kompresibilnosti,

ρ_0 = gustoća.

Ispravno određivanje brzine zvuka u vodi ključno je za precizno mjerenje dubine. Kalkulacija točne dubine može se poboljšati ako se koristi trenutna brzina zvuka u moru zajedno s referentnom brzinom zvuka. Kada su obje brzine zvuka poznate – trenutna (mjerena u uvjetima u kojima se provodi mjerenje) i referentna (proračunata prema standardnim uvjetima) – moguće je prilagoditi izračune kako bi se točno odredila stvarna dubina. Ako je trenutna brzina zvuka veća od referentne brzine, dubinomjer će prikazivati veću dubinu od stvarne, dok će u slučaju da je trenutna brzina manja od referentne, dubinomjer prikazivati manju dubinu od stvarne. Time se omogućava korekcija očitavanja i poboljšanje preciznosti mjerenja dubine [24,14].

3.7.2. Pogreška izmjerene dubine zbog promjene brzine kretanja broda

Kada se mijenja mjesto prijamnog vibratora od trenutka predaje impulsa do prijema jeke nastaje pogreška zbog brzine kretanja broda a izračunava se sljedećom jednadžbom (6) [5]:

$$\Delta dub = \frac{v^2 \cdot t^2}{8 \cdot dub} \quad (6)$$

gdje je:

v = brzina broda izmjerena u m/s

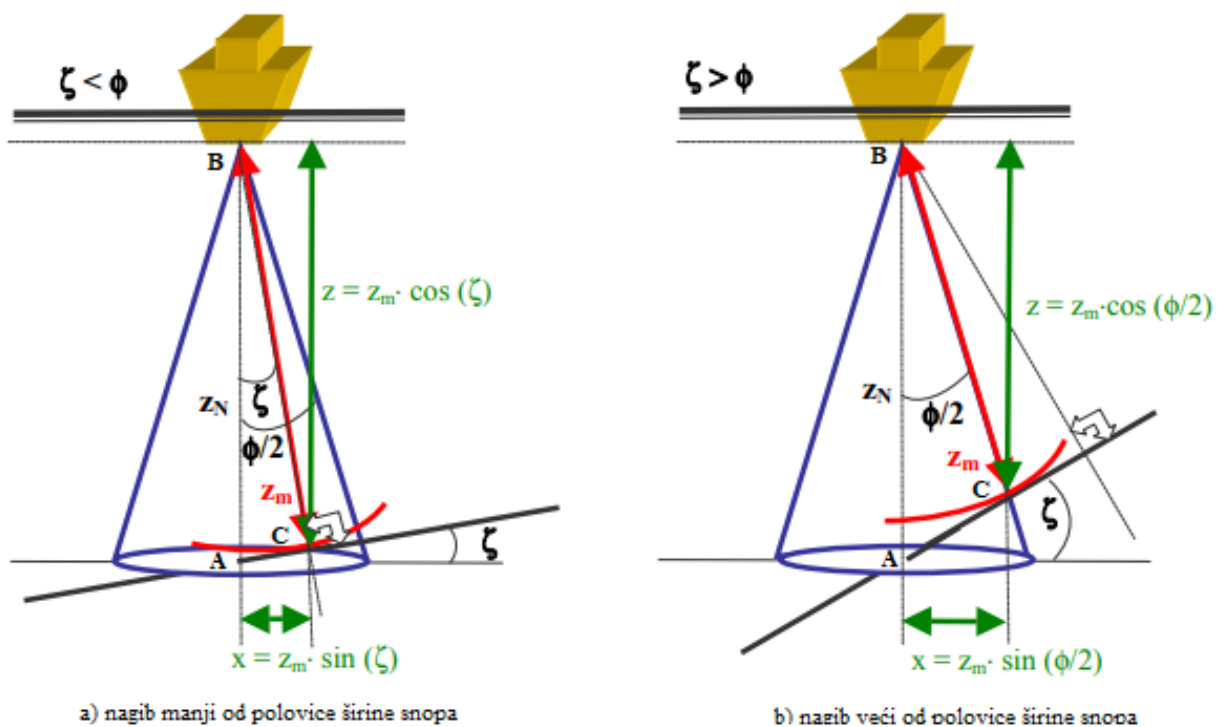
t = vrijeme koje je potrebno kako bi zvuk stigao od predajnog do prijamnog vibratora

Kod starih izvedbi analognih dubinomjera, brzina broda značajno je utjecala na točnost mjerenja, što je danas, uz modernu tehnologiju, zanemarivo. Stoga, ovaj faktor više

nije samo praktičnog značaja, već predstavlja i povijesni kontekst u razumijevanju razvoja tehnologija dubinomjera.

3.7.3. Pogreška izmjerene dubine zbog nagiba i vrste morskog dna

Predajni vibrator (V) emitira ultrazvuk u uskom snopu kutne vrijednosti ϕ . Ako u odnosu na horizontalu, morsko dno ima neki kut nagiba ζ tada će se jeka od točke C registrirati prije od one jeka koja se odbila od točke A, te koja bi trebala predstavljati stvarnu dubinu ispod kobilice broda. Emitirana energija prema točki B ili senzorskoj poziciji isto tako je manja s točke A nego s izbjegavajuće točke C. Linija jeka na ehogramu bit će široka, a njezin početak ne označava stvarnu dubinu [25]. Slika 9. prikazuje utjecaj širine snopa i nagiba morskog dna na mjerenje dubine i pozicioniranje.



Slika 9. [14] Utjecaj širine snopa i nagiba morskog dna na mjerenje dubine i pozicioniranje

Uzimajući u obzir različite nagibe morskog dna, na Slici 9. pogreška u mjerenju dubine (dz), ovisi o širini snopa i nagibu. Ako se ne primijeni nikakva korekcija, pogreška u dubini bit će sljedeća (7) [14]:

$$dz = \begin{cases} z_m (\sec(\zeta) - 1) & \text{if } \zeta < \frac{\phi}{2} \\ z_m \left(\sec\left(\frac{\phi}{2}\right) - 1 \right) & \text{if } \zeta > \frac{\phi}{2} \end{cases} \quad (7)$$

gdje je:

$\frac{\phi}{2}$ = polovina širine snopa,

ζ = nagib morskog dna.

Kamenito dno daje vrlo jaku jeku pa se može dogoditi da se na papiru rekordera pojave dvije ili tri linije jeke, zbog dvostrukog ili trostrukog odbijanja ultrazvuka. Ako je koeficijent odbijanja ultrazvuka s kamenitog dna uvjetno uzeto 1, za pjeskovito je dno 0,02, a za muljevito svega 0,001. Ako je kamenito dno pokriveno muljem, ehogram će pokazivati dvije linije jeke, od kojih je prva znatno slabija od druge [5].

3.7.4. Pogreške pri valjanju i posrtanju broda

Ovakve pogreške najčešće nastaju kao posljedica promjena ravnina membrane vibratora u odnosu na ravninu horizonta te zbog toga što se javlja veća količina zračnih mjehurića na površini mora. Pravilnim izborom mjesta na koje će se montirati vibrator smanjit će se mogućnost pojave ove pogreške. Ako su vibratori montirani blizu propelera tada se, prilikom vožnje krmom javlja jeka kao posljedica pojave zračnih mjehurića ispod kolibice broda. Mjehurići nastaju prilikom rada propelera te strujanja morske vode [4]. Kod prikaza pogrešaka značajno je opisati i problem rezolucije u pohrani podataka i pretvorbi informacija.

3.7.5. Problem rezolucije u pohrani podataka i pretvorbi informacija

Čitanje zapisa i rezolucija kod mjerenja dubine ovise o principima rada dubinomjera. U slučaju analognog snimanja operater treba odabrati odgovarajuće parametre tijekom istraživanja kako bi se postigao čist trag zvuka i odgovarajuća rezolucija. S druge strane, digitalni zapis više nije toliko ovisan o operateru tijekom istraživanja no nadzor je potreban tijekom akvizicije podataka. Kada se podaci snimaju na papir potrebno je odabrati pojačanje i intenzitet za čitljiv zapis. Također je nužno imati vertikalnu skalu s dovoljno diskriminacije zbog čega se uobičajeno koriste parametri dubinomjera. Trag zvuka treba pripremiti za čitanje a taj zadatak uključuje identifikaciju točaka na morskom dnu koje će biti odabrane za očitavanje dubine. Navedeno se obično izvodi uz pomoć grafičkih prikaza. Također, pogreška povezana s čitanjem zapisa ovisi o iskustvu i pažnji hidrografa [14].

Interpretacija traga zvuka odgovornost je hidrografa i zahtjeva iskustvo za prepoznavanje specifičnih oblika, višestrukih odjeka i lažnih odjeka. Lažni odjeci uzrokovani su stranim tvarima kao što su ribe u vodenom stupcu ili slojevima vode koje razdvajaju iznenadne promjene temperature ili saliniteta ili oboje. Lažni odjeci ponekad se bilježe s pomoću dubinomjera i mogu biti pogrešno interpretirani kao točne dubine. U slučajevima sumnje u valjanost izmjerenih dubina treba ponoviti mjerenje. Višestruki odjeci primljeni nakon prvog zbog mnoštva refleksija između morskog dna i površine jesu refleksije koje se često bilježe kao višestruki odjeci prvotne dubine. Oscilatorno podizanje i spuštanje plovila uzrokovano cijelim trupom koji se podiže djelovanjem morske sile može se kompenzirati tijekom akvizicije s pomoću senzora ili se može filtrirati ručno nakon toga [14].

3.8. Integracija dubinomjera s GPS-om

Danas su razvijeni novi digitalni hidroakustički sustavi za detekciju i kartiranje vegetacije koji potpuno automatiziraju procese detekcije i pozicioniranja. Visokofrekventni i visoke rezolucije digitalni dubinomjeri integrirani su s GPS-om u stvarnom vremenu s diferencijalnom korekcijom, koristeći komercijalno dostupne komponente što omogućuje geo-referenciranje i digitalno pohranjivanje signala intenziteta eha. Navedeni se podaci zatim obrađuju u gotovo stvarnom vremenu s pomoću specijaliziranog algoritma za digitalnu obradu signala koji analizira prostornu distribuciju intenziteta eha iznad dna. Izlazi su pozicija, dubina, visina vegetacije i učestalost pojavljivanja vegetacije [9].

Integracija ova dva sustava omogućuje stvaranje detaljnih trodimenzionalnih karti morskog dna u stvarnom vremenu. GPS pruža geografske koordinate, dok dubinomjeri prate varijacije u dubini morskog dna. Kombinacija ove dvije vrste podataka omogućuje izradu preciznih kartografskih prikaza podvodnog terena, što je ključno za sigurnu navigaciju, istraživanje podvodnih ekosustava te različite industrijske primjene poput postavljanja podvodnih kabela, naftnih platformi ili istraživanja resursa. Integracija GPS-a i dubinomjera također pruža korisne informacije za razumijevanje dinamičkih promjena u morskom okolišu, kao što su promjene razine mora ili kretanje morskih struja.

4. PRIMJER KOMERCIJALNE IZVEDBE DUBINOMJERA FURUNO FE-800

Dubinomjer Furuno FE 800 prikazuje udaljenost ispod broda u dvostrukoj frekvenciji kada je povezan s dva pretvornika. Ovaj dubinomjer rezultat je višedesetljetnog iskustva Furuna u razvoju dubinomjera, sonara i opreme i sustava za podvodne primjene. Kao takav predstavlja napredak u odnosu na ostale konvencionalne papirnate dubinomjere jer nema potrošnih materijala. Svrha dubinomjera je osigurati sigurnu navigaciju detektiranjem udaljenosti ispod broda (posebno u plitkim vodama), kao što je propisano SOLAS konvencijom prema novim IMO standardima. Osnovni sustav sastoji se od jedinice za prikaz i razvodne kutije i samog senzora koji uključuje pretvornik. Nadalje, 8,4-inčni LCD zaslon u boji visoke svjetline omogućuje lako čitljivo prikazivanje dubine u raznim načinima rada, omogućujući optimalnu reprezentaciju s obzirom na okoliš [\[26\]](#).

4.1. Klasifikacija i tehničke karakteristike pretvornika

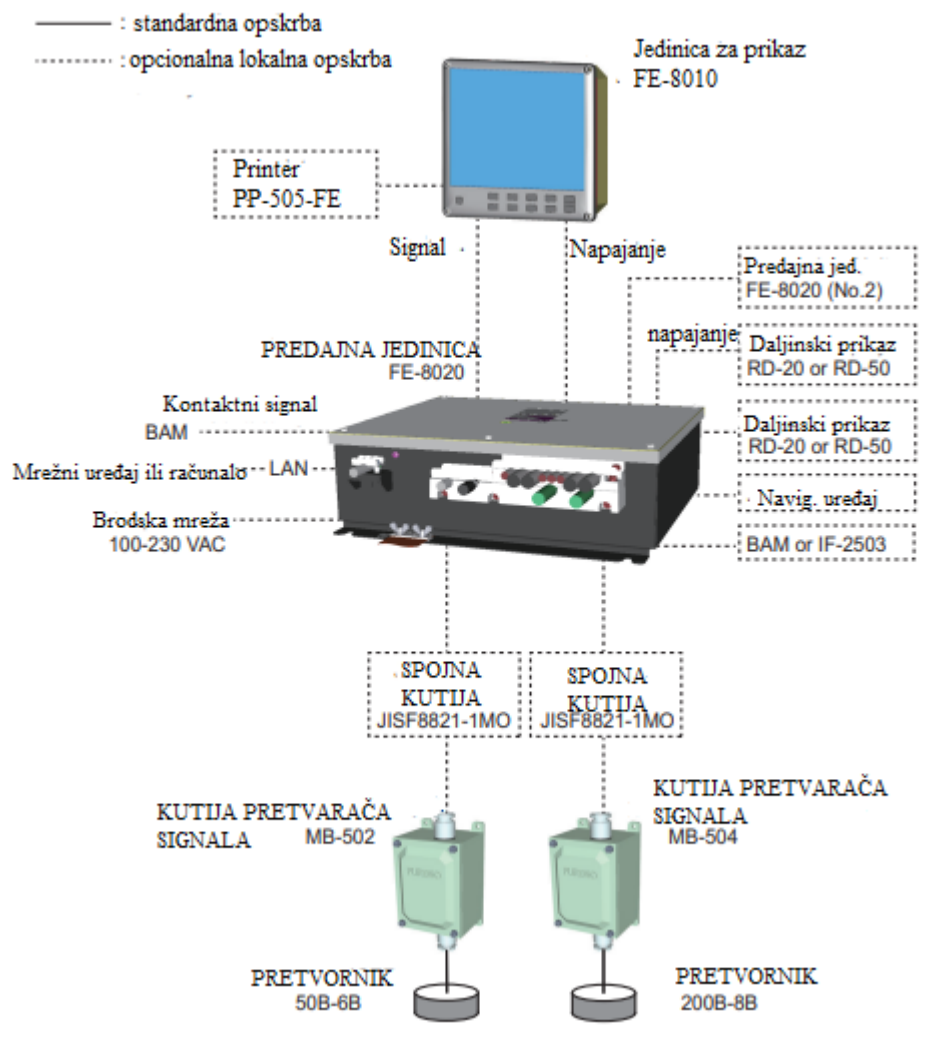
Furuno FE 800 spada u kategoriju dvosnopnih dubinomjera jer može raditi s dvije frekvencije kada je povezan s dva pretvornika. Tablica 2. prikazuje tehničke karakteristike pretvornika promatranog dubinomjera.

Tablica 2. [\[27\]](#) Tehničke karakteristike pretvornika dubinomjera Furuno FE-800

Model Pretvornika:	Furuno FE 800
Frekvencija rada:	50 kHz i 200 kHz
Raspon mjerenja:	0-200 metara
Točnost:	±0.5%
Osjetljivost:	Automatska kontrola osjetljivosti s mogućnošću ručnog podešavanja osjetljivosti senzora.
Vizualna i zvučna upozorenja:	Generira upozorenja kada je dubina vode ispod pretvornika manja od unaprijed postavljene dubine.
Prikaz:	8.4" LCD zaslon u boji visoke svjetline.
Spremanje podataka:	Pohrana podataka o dubini za posljednja 24 sata.

Furuno FE 800 dubinomjer je dizajniran za osiguranje sigurne navigacije otkrivanjem dubine ispod broda posebno u plitkim vodama. Svojim naprednim mogućnostima prikaza i upozorenja ovaj dubinomjer značajno smanjuje rizik od

nasukavanja i omogućava sigurnu plovidbu. Slika 10. prikazuje blokove osnovnih komponenti za konfiguraciju dubinomjera FURUNO FE-800.



Slika 10. [27] Prikaz blokova osnovnih komponenti za konfiguraciju dubinomjera FURUNO FE-800

Monitor dubinomjera Furuno FE-800 pruža vizualizaciju podataka o dubini i drugim važnim informacijama. Opremljen je 8-inčnim LCD ekranom visoke razlučivosti što omogućuje jasno i precizno prikazivanje dubinskih profila i drugih podataka u stvarnom vremenu. Ovaj monitor nudi visoku razlučivost koja osigurava detaljan prikaz svih informacija uključujući maksimalnu i minimalnu dubinu, stanje senzora te postavke alarma i kalibracije. Korisničko sučelje monitora je prilagodljivo s jasno označenim izbornicima i kontrolama koje omogućuju jednostavno upravljanje i konfiguraciju uređaja.

Monitor je dizajniran za dobru vidljivost u različitim svjetlosnim uvjetima primjerice pri izravnoj sunčevoj svjetlosti te ima prilagodljive postavke boje i kontrasta. Također, konstrukcija monitora osigurava izdržljivost i otpornost na vlagu i vibracije [27].

Dubinomjer Furuno FE-800 predstavlja napredan uređaj dizajniran za precizno mjerenje dubine u različitim uvjetima. U mogućnosti je raditi na dvije frekvencije uključujući frekvencije od 50 kHz i 200 kHz, raspon mjerenja do 200 metara te visoku točnost od ± 0.5 %. Monitor s 8.4-inčnim LCD ekranom u boji omogućuje jasnu vizualizaciju podataka, dok automatska kontrola osjetljivosti i vizualna/zvučna upozorenja dodatno doprinose preciznosti i sigurnosti. S obzirom na ove značajke Furuno FE-800 je iznimno koristan alat za plovidbu posebno u plitkim vodama gdje je preciznost ključna za izbjegavanje opasnosti poput nasukavanja. Unatoč naprednim značajkama i prednostima koje nudi Furuno FE-800, pravilna instalacija i usklađivanje s fizikalnim zakonitostima pretvornika su ključni za optimalnu izvedbu uređaja.

4.2. Osjetljivost instalacije vezana za fizikalne zakonitosti pretvornika

Kod instalacije pretvornika najznačajnije je odabrati dobro mjesto odnosno lokaciju gdje će se nalaziti. Prilikom odluke važno je u obzir uzeti nekoliko stavki. Položaj bi trebao biti slobodan od moguće aeracije ispod trupa, a isto tako ne bi trebao biti pod utjecajem buke motora i propelera. Poznato je da se zračne mjehuričaste struje počinju stvarati otprilike četvrtinu duljine broda od pramca i šire se preko dna trupa otprilike do tri četvrtine. Zračne mjehuričaste struje variraju u obliku i intenzitetu ovisno o brzini broda, gazu, kobilici broda, obliku pramca i trupa kao i stanju mora. Treba izbjegavati postavljanje blizu prepreka poput prednjeg propelera, pramčanog porivnog stroja, usisnih ili ispusnih cijevi te brzinomjera. Dakle značajno je odabrati mjesto koje pruža minimalne mehaničke vibracije. Nije sigurno polagati kabel pretvornika blizu ili paralelno s drugim električnim kablovima.

Kod instalacije je potrebno izbjegavati postavljanje monitora u blizini opreme koja generira elektromagnetska polja kao što su motor ili generator. Elektromagnetske smetnje mogu dolaziti iz različitih izvora na plovilu uključujući druge elektroničke uređaje i radare. Kako bi se smanjio utjecaj ovih smetnji pretvornik i svi povezani kabeli trebaju biti pravilno oklopljeno opletom i udaljeni od potencijalnih izvora elektromagnetskih polja. Kablovi trebaju biti instalirani tako da izbjegavaju kontakt s drugim električnim vodovima i uređajima koji mogu generirati elektromagnetske smetnje. Monitor dubinomjera također

treba biti zaštićen od elektromagnetskih smetnji. Na primjer, monitor treba biti udaljen od velikih elektromagnetskih izvora i trebaju se koristiti odgovarajući filteri za smanjenje mogućih smetnji. Kablovi i konektori trebaju biti zaštićeni od elektromagnetskih smetnji i pravilno zaštićeni. Korištenje kvalitetnih, opletenih kablova može značajno smanjiti rizik od interferencija koje bi mogle negativno utjecati na performanse uređaja. Također, pravilna instalacija konektora koji moraju uključivati siguran prijenos signalnog referentnog vodiča te zaštitnog dijela kabela, te osigurati da svi spojevi budu čvrsto i pravilno povezani, pomaže u očuvanju signalne čistoće i minimiziranju smetnji [\[27\]](#).

Dubinomjer Furuno FE-800 ima nekoliko mana koje treba uzeti u obzir pri njegovom korištenju. Jedan od glavnih nedostataka je ograničenje frekvencijskog raspona. Iako uređaj nudi dvije frekvencije (50 kHz i 200 kHz) što omogućuje mjerenje u različitim rasponima dubina, niže frekvencije mogu biti manje precizne u detekciji manjih objekata ili u plitkim vodama. S druge strane, više frekvencije mogu imati manji raspon dubina što može ograničiti preciznost u određenim uvjetima. Točnost uređaja može varirati u ekstremnim uvjetima kao što su vrlo plitke ili duboke vode ili u prisutnosti snažnih morskih struja. U takvim uvjetima dubinomjer može imati poteškoća u održavanju visoke točnosti mjerenja. Elektromagnetske smetnje također mogu predstavljati problem ako uređaj nije pravilno zaštićen i instaliran. Interferencije iz drugih elektroničkih uređaja na plovilu mogu utjecati na kvalitetu i preciznost prikaza podataka.

Osjetljivost uređaja na kvalitetu instalacije dodatno naglašava potrebu za pravilnim postavljanjem pretvornika i monitora. Loša instalacija može smanjiti učinkovitost uređaja te uzrokovati pogrešne prikaze i smanjenu pouzdanost. Također, u usporedbi s naprednijim modelima FE-800 može imati ograničene funkcionalnosti. Napredniji modeli mogu imati dodatne funkcije poput integracije s drugim sustavima ili naprednih alata za analizu podataka koje ovaj uređaj ne pruža.

4.3. Procedura postavljanja osnovnih radnih parametara

Kod postavljanja osnovnih radnih parametara dubinomjera Furuno FE-800 značajno je slijediti nekoliko ključnih koraka. Ovi koraci prikazani su Tablicom 3.

Tablica 3. [27] Procedura postavljanja osnovnih parametara za dubinomjer FURUNO FE-800

Korak	Radnja	Opis
1. PRIPREMA UREĐAJA		
1.	Provjera instalacije	Provjera je li uređaj pravilno postavljen prema uputama proizvođača.
2.	Provjera kablova	Osiguravanje da su svi kabeli ispravno spojeni.
3.	Provjera napajanja	Osiguravanje stabilnog izvora napajanja za uređaj.
4.	Provjera opreme	Provjera stanja svih senzora i dodataka, te pretvornika na oštećenja.
2. POSTAVLJANJE OSNOVNIH RADNIH PARAMETARA		
1.	Uključivanje uređaja	Pritisak na glavni prekidač za uključivanje.
2.	Inicijalizacija	Čekanje da uređaj završi inicijalizaciju i samoprovjeru.
3.	Postavljanje frekvencije	Unošenje željene radne frekvencije (12 kHz, 50 kHz...).
4.	Kalibracija	Provođenje kalibracije prema uputama u priručniku.
5.	Unos dubinskih parametara	Unošenje specifičnih parametara dubine prema zahtjevima.
6.	Postavljanje alarma	Postavljanje alarma za određene dubine ako je potrebno.
7.	Spremanje postavki	Spremanje svih postavki i provjera da su ispravno pohranjene.
3. PRVI START I TEST ISPRAVNOSTI		
1.	Pokretanje mjerenja	Pokretanje prvog ciklusa mjerenja dubine.
2.	Provjera podataka	Provjera prikazanih podataka i usporedba s očekivanim vrijednostima.

Prvi korak kod postavljanja osnovnih radnih parametara je provjera instalacije uređaja odnosno provjera je li uređaj pravilno postavljen prema uputama proizvođača i jesu li svi kablovi ispravno spojeni. Pri provjeri instalacije značajno je osigurati da je uređaj napajan stabilnim izvorom napajanja. Zatim je potrebno provjeriti stanje svih senzora i dodatne opreme te je li ista pravilno priključena i funkcionalna. Posebnu pažnju treba posvetiti pretvorniku te provjeriti ima li pretvornik fizičkih oštećenja. Nakon pripreme uređaja slijedi postupak postavljanja osnovnih radnih parametara. Prvo se uključi uređaj pritiskom na glavni prekidač nakon čega se čeka da uređaj završi proces inicijalizacije i samoprovjere. Kada je uređaj spreman za rad postavlja se željena radna frekvenciju prema uvjetima mjerenja, ovisno o specifičnostima aplikacije. Zatim slijedi provjera kalibracije uređaja prema uputama u priručniku za korisnike. Potrebno je unijeti specifične parametre dubine koji odgovaraju mjernim potrebama te se postavljaju alarmi za određene dubine ako je potrebno. Na kraju se spremaju sve postavke i provjerava se da su iste pravilno pohranjene. Nakon što su osnovni radni parametri postavljeni vrijeme je za prvi start i test ispravnosti uređaja. Potrebno je pokrenuti prvi ciklus mjerenja dubine i pratiti prikazane podatke na zaslonu. Ove podatke zatim se uspoređuje s očekivanim vrijednostima kako bi se provjerila točnost i funkcionalnost uređaja. Ovaj postupak pomoći će u potvrđivanju da

su svi parametri ispravno postavljeni i da uređaj ispravno funkcionira prije nego što se koristi za rutinska mjerenja.

Ključni parametri kod startnih postavki uređaja uključuju nekoliko važnih aspekata. Frekvencija određuje raspon dubina i rezoluciju mjerenja čime se prilagođava uređaj različitim uvjetima i zahtjevima. Kalibracija se postavlja na temelju referentnih točaka što je ključno za osiguranje preciznosti mjerenja i točnih rezultata. Dubinski parametri uključuju maksimalnu i minimalnu dubinu i definiraju raspon mjerenja te omogućuju pravilnu detekciju. Alarmi ili postavljanje granica za dubinske alarme omogućuju uređaju upozorenja na specifične dubinske uvjete i potencijalne opasnosti. Spremanje postavki omogućuje pohranjivanje konfiguracije, održava postavke i osigurava dosljednost u mjerenju.

Furuno FE-800 dubinomjer nudi brojne prednosti koje ga čine izuzetno korisnim za različite primjene. Ovaj uređaj omogućuje prikaz u dvostrukoj frekvenciji (50/200 kHz) kada je povezan s dva pretvornika, što omogućuje istovremeno praćenje dubine na pramčanim i krmenim pozicijama. Različiti načini prikaza uključujući NAV, OS DATA i HISTORY omogućuju prilagodbu vizualizacije podataka prema potrebama korisnika. LCD ekran visokog kontrasta od 8,4 inča osigurava jasnu i čitku sliku u svim uvjetima. Kada se poveže s FURUNO daljinskim prikazom RD-20/50, informacije o dubini mogu se pratiti i na udaljenoj lokaciji. Opcionalno sučelje za pisac omogućuje ispis ehograma, dok opcionalni softver za snimanje podataka omogućava operateru spremanje, sastavljanje i ispis prošlih podataka ehograma putem računala. FE-800 je također spreman za Bridge Alert Management (BAM), što dodatno povećava njegovu funkcionalnost. Podaci o dubini za posljednja 24 sata mogu se pohraniti, a vizualna i zvučna upozorenja obavještavaju korisnika kada je dubina vode ispod unaprijed postavljene razine ili kada se morsko dno izgubi zbog smanjenog napajanja ili van dosega skale [27]. Ovaj model ne koristi potrošne materijale, što smanjuje operativne troškove i doprinosi dugoročnoj ekonomičnosti. FE-800 je stoga pouzdano i učinkovito rješenje za precizno mjerenje dubine.

5. ZAKLJUČAK

Ultrazvučni dubinomjeri značajni su u mjerenju dubine mora prilikom oceanografskih istraživanja te zauzimaju važnu ulogu u određivanju dubine te praćenju morskog dna i pri tome osiguravanju potrebnih informacija korisnih za različite primjene. Pregled pogrešaka pri ultrazvučnom mjerenju dubine ukazuje na činjenicu da su takve greške rezultat kompleksnih interakcija između akustičnih valova i svojstava morske vode. Pri tome, razumijevanje ovih pogrešaka ključno je za optimizaciju preciznosti i pouzdanosti dubinomjera u različitim hidrografskim uvjetima. Varijacije u temperaturi, salinitetu, tlaku i gustoći morske vode značajno utječu na brzinu zvuka. Promjene u brzini zvuka direktno utječu na točnost izračuna dubine, jer se temelje na vremenu putovanja akustičnog signala. Ove promjene zahtijevaju pažljivo kalibriranje i korekciju kako bi se minimizirao njihov utjecaj. Pomicanje prijamnog pretvornika tijekom prijema signala može dovesti do pogrešaka u mjerenju dubine, posebno u situacijama kada je brzina broda visoka. Kut nagiba morskog dna i vrsta podloge također mogu značajno utjecati na refleksiju akustičnih valova. Neravno dno može rezultirati multipleksiranim odrazima, što otežava precizno određivanje stvarne dubine. Stoga je potrebna tehnologija koja može kompenzirati ove refleksije i pravilno interpretirati eho signala za točne dubinske podatke. Promjene orijentacije i ponašanja broda, uključujući i stvaranje zračnih mjehurića u tragovima propelera, mogu stvoriti dodatne pogreške u mjerenju dubine. Postavljanje senzora na optimalna mjesta na brodu ključno je za smanjenje ovih utjecaja.

Iako se u radu potencira poznavanje fizikalnih svojstava upotrebe ultrazvučnih senzora, u eksploataciji se njihova primjena može pojednostaviti samo za točkasto mjerenje dubine. Pri navigaciji, tako je dan primjer FURUNO FE-800, jednog komercijalnog dubinomjera. Dubinomjer FURUNO FE-800 je posebno prilagođen sigurnoj navigaciji u plitkim vodama. Njegova sposobnost rada na dvostrukoj frekvenciji (50 kHz i 200 kHz) omogućuje precizno mjerenje u različitim uvjetima. Međutim, kako bi se osigurao optimalan rad, ključna je pravilna instalacija i usklađivanje s fizikalnim zakonitostima pretvornika.

No ukazujući kroz rad na osnovne probleme pri ultrazvučnim mjerenjima, bez dodatnih tehničkih objašnjenja proizvođači unapređuju uređaje automatiziranim kompenzacijama i kalibracijama. Tako je i FE-800 naveden kao primjer modernog dubinomjera koji kompenzira negativne konotacije mjerne metode. Montaža i prilagodba ovakvih sustava od iznimne su važnosti za osiguranje njihove pouzdanosti i točnosti u

različitim hidrografskim uvjetima. Uz napredak tehnologije i kontinuirano istraživanje, očekuje se da će se ove pogreške sve više smanjivati, čime će ultrazvučni dubinomjeri postati još pouzdaniji alati za hidrografska istraživanja, navigaciju i druge aplikacije u morskom okruženju. Zadatak korisnika je pratiti tehnološki razvoj te konstantno preispitivati točnost instalirane opreme usprkos izvanrednim performansama zagantiranim samo proizvođačevim opisima.

LITERATURA

- [1] Collinder, P. (1933). Methods of echosounding and the principal results obtained. Svensk Geografisk Arsbok, Hydrographic Review, p. 63-69.
- [2] Valand, R.: Korist od provjeravanja dubina ultrazvučnim dubinomjerom u plovidbi, Naše more: znanstveni časopis za more i pomorstvo, Vol. 3., No. 3., 1956., p. 178-180.
- [3] Institut za hrvatski jezik i jezikoslovlje: Hrvatsko pomorsko nazivlje, 2015., Zagreb.
- [4] Kos, S.; Zorović, D. i Vranić, D.: Terestrička i elektronička navigacija, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet u Rijeci, 2010.
- [5] Khomsin, K. et.al. The Development of Seabed Sediment Mapping Methods: The Opportunity Application in the Coastal Waters, Geomatics International Conference, IOPConf. Series: EarthandEnvironmental Science, 2020., p. 1-2
- [6] Person, R.: Transducer Needs for Oceanography, U: Hamonic, B. F. i dr.: Power Transducers for Sonics and Ultrasonics, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991., p. 14-15
- [7] Levine, R., Seroy, S., Grünbaum, D.: SoundandtheSeafloor – Determining Bathymetry Using Student-Built Acoustic Sensors, Oceanography, 2020., p. 71-72
- [8] Navigation and Seamanship: Introduction to Echosounder, dostupno na: <http://ecoursesonline.iasri.res.in/mod/page/view.php?id=48208> (12.06.2024)
- [9] Sabol, B.M. i dr.: Evaluationof a Digital EchoSounder System for Detection of Submersed Aquatic Vegetation, Estuaries Vol. 25, No. 1., 2002., p. 133-141.
- [10] Abedinia, H.: Navigational EchoSounder, dostupno na: [https://www.researchgate.net/publication/301222818_Navigational_Echo_Sounder\(12.06.2024\)](https://www.researchgate.net/publication/301222818_Navigational_Echo_Sounder(12.06.2024))
- [11] Akbarkhonovich Kamolov, A., Park, S.: Prediction of Depth of Seawater UsingFuzzy C- Means Clustering Algorithm of Crowdsourced SONAR Data, Sustainability, Vol. 13., 2021., p. 1-19.
- [12] Russel, I., Wright, R.G.: Navigation Sonar: More Than Underwater Radar: Realizing the full potential of navigation and obstacle avoidance sonar, International Hydrographic Review, 2017., p. 41-60.

- [13] Bongiovanni, C.; Stewart, H.A.; Jamieson, A.J. (2021) High-resolution multibeam sonar bathymetry of the deepest place in each ocean. *Geoscience Data Journal*, Vol. 9., Iss. 1., p. 108-123.
- [14] IHO: Depth determination, Chapter 3, dostupno na: https://iho.int/uploads/user/pubs/cb/c-13/english/C_13_Chapter_3_December2010.pdf (13.06.2024)
- [15] Chen, C. i dr.: Detection Method for Single-Beam EchoSounder Based on Equivalent Measurement, *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1739., 2021., str. 1-8
- [16] Texas Instruments: Application Note Ultrasonic Sensing Basics, 2021., p. 1-2
- [17] Bhushan, A.P., Manoj, G. & Gopal, G.V. (2018) Study on High Frequency Pulser Based Power Amplifier for Underwater Imaging Sonar Application. 2018 International Conference on Control, Power, Communication and Computing Technologies. p. 96-99.
- [18] CCE Hydro Systems: Understanding the Effect of Transducer Beam Angles, dostupno na: <https://www.ccehydrosystems.com/wp-content/uploads/2020/12/Survey-Notes-Understanding-Transducer-Beam-Angles-and-Data-Artifacts.pdf> (19.06.2024)
- [19] Pomorski leksikon (1990), mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, dostupno na: <https://pomorski.lzmk.hr/clanak/nadir> (07.09.2024)
- [20] Yusupov, A. A., Sabirov, U. K., Begijonov, M. Sh., & Valiyev, D. H. (2023). Analysis of common errors and methods of calibration of ultrasonic level meter. *E3S Web of Conferences*, p. 1-6
- [21] Phee, S. B.: Developments In Narrow Beam Echo Sounders, *International Hydrographie Review*, Monaco, Vol., 53., No.1., 1976., p. 43-52.
- [22] Gradišer, L., et al. (2016). Hibridni sustavi pozicioniranja u kombinaciji s dubinomjerom. *Zbornik radova Međimurskog veleučilišta u Čakovcu*, Vol. 7. No. 2, p. 29-37.
- [23] Grządziel, A., & Wąż, M. (2018). The invention and developing of multibeam echosounder technology. *Polish Hyperbaric Research*, Vol. 1, No. 62, pp. 33-41.
- [24] Makar, A. (2022). Simplified method of determination of the sound speed in water on the basis of temperature measurements and salinity prediction for shallow water bathymetry. *Remote Sensing*, 14(636), 1-20.
- [25] Trzcinska, K., et al. (2021). Measurement of sea floor acoustic back scatter angular dependence at 150 Kh using a multibeam echosounder. *Remote Sensing*, 13(23), 1-22.
- [26] Radio Holland. Furuno FE 800 echosounder. dostupno na: <https://www.radioholland.com/product/furuno-fe-800-echosounder/> (12.07.2024)

POPIS ILUSTRACIJA

POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz signala intenziteta odjeka unutar područja prekrivenog vegetacijom	6
Slika 2. Prikaz mjerenja dubine mora ultrazvučnim dubinomjerom	8
Slika 3. Prikaz slike i batimetrijskih podataka sonara	10
Slika 4. Blok shema dubinomjera	12
Slika 5. Utjecaj kuta snopa na izmjerenu dubinu	15
Slika 6. Prikaz mjerenja dubine korištenjem jednog uskog i širokog snopa	19
Slika 7. Blok dijagram analognog dubinomjera	23
Slika 8. Blok dijagram digitalnog dubinomjera	25
Slika 9. Utjecaj širine snopa i nagiba morskog dna na mjerenje dubine i pozicioniranje	32
Slika 10. Prikaz blokova osnovnih komponenti za konfiguraciju dubinomjera FURUNO FE-800	37

POPIS TABLICA

Tablica 1. Promjer ozvučenog područja snopa za pretvornike različitih kutova snopa i frekvencija	14
Tablica 2. Tehničke karakteristike pretvornika dubinomjera Furuno FE-800	36
Tablica 3. Procedura postavljanja osnovnih parametara za dubinomjer FURUNO FE-800....	40