

Mr Milovan Unković,
dipl. inž.
Tehnički opitni centar – poligon Luštica,
Tivat

DOPLEROVI BRODSKI NAVIGACIONI BRZINOMJERI

UDC: 531.767 : 52-67] : 623.82

Rezime:

Doplerovi navigacioni brodski brzinomjeri rade na principu Doplerovog efekta. Doplerov predajni projektor emituje snop ultrazvučnih vibracija u vodi, a drugi (ili isti) projektor prima odbijeni signal od dna ili od sloja vode. U ovom radu opisana je teorija Doplerovog efekta, primjena te teorije na brodskim brzinomjerima, konstrukcija i karakteristike savremenih Doplerovih brzinomjera.

Ključne reči: Doplerov efekat, brodski navigacioni uređaj, Doplerov brzinomjer.

MARITIME NAVIGATIONAL DOPPLER LOGS

Summary:

The Doppler maritime navigational logs are based on measurement of the Doppler effect. A Doppler log transmitting transducer emits beam of sound vibration in the water, and a second (or the same) transducer receives the echo from the sea bed or water layer. In this article describes theory of Doppler effect, using this theory in maritime logs, construction and performance of modern Doppler logs.

Key words: Doppler effect, maritime navigational equipments, Doppler log.

Uvod

Brzinomjeri su obavezni navigacioni uređaji na brodovima. Minimalne vrijednosti karakteristika brodskih brzinomjera date su u IMO rezoluciji A.224 (VII) i propisane standardom IEC 1023 [1]. U sklop brzinomjera obavezno je uključen i mjerač pređenog puta. Ranije su se koristili mehanički i hidrodinamički brzinomjeri, a danas se, uglavnom, koriste elektromagnetni i Doplerovi brzinomjeri. U ovom radu razmatra se princip rada, karakteristike i tehničke izvedbe Doplerovih brzinomjera.

Doplerov efekat

Iz akustike i optike poznato je da ako se izvor ili posmatrač oscilacija kre-

ću jedan u odnosu na drugog dolazi do promjene u frekvenciji signala [2].

Navedena pojava važi i za sve izvore elektromagnetnog zračenja. Godine 1842. Dopler je primjetio da zvijezde koje se relativno kreću prema posmatraču imaju različitu boju od onih koje se udaljavaju. Balot je 1943. eksperimentalno dokazao da zvuk ima veću frekvenciju kada se izvor kreće prema posmatraču (prijemniku). Da bi se lakše shvatila suština navedenog efekta, koji je nazvan Doplerov efekat [3], razmotriće se dva specijalna slučaja: slučaj kada se izvor kreće u odnosu na posmatrača koji miruje, i slučaj kada izvor miruje, a posmatrač se u odnosu na njega kreće. Iz ova dva slučaja izvodi se opšti slučaj kada se predajnik i prijemnik kreću jedan u odnosu na drugog.

Kretanje izvora u odnosu na posmatrača

Pretpostaviće se da je frekvencija signala izvora f_s , brzina kretanja talasa c , a komponenta vektora brzine kretanja izvora koja se poklapa sa pravcem koji spaja izvor sa posmatračem (prijemnikom) v_s (slika 1). Usled kretanja izvora, odnosno njegovog premještanja za dužinu d , dolazi do skraćanja talasa pri čemu je $d = \lambda - \lambda'$. Ako je T vrijeme trajanja jednog ciklusa i $T = 1/f_s$, tada je $d = v_s T = v_s/f_s$. Odavde slijedi izraz (1):

$$\lambda' = \lambda - d = \lambda - \frac{v_s}{f_s} \quad (1)$$

Frekvencija primljenog signala f_p data je izrazom (2):

$$f_p = \frac{c}{\lambda'} = \frac{c}{\lambda - \frac{v_s}{f_s}} = \frac{c \cdot f_s}{\lambda \cdot f_s - v_s} \quad (2)$$

Pošto je: $\lambda = c/f_s$, odnosno $\lambda f_s = c$, to je:

$$f_p = \frac{c \cdot f_s}{\lambda \cdot f_s - v_s} = \frac{c \cdot f_s}{c - v_s} = f_s \cdot \frac{c}{c - v_s} \quad (3)$$

Pri kretanju izvora ka prijemniku $f_p > f_s$, jer se talasi koji dolaze od izvora skraćuju. U trenutku kada izvor prolazi mimo posmatrača (prijemnika) $v_s = 0$ i $f_p = f_s$.

Kada se izvor udaljava od posmatrača svaki talas λ' će biti duži, što je prikazano izrazom (4):

$$\lambda' = \lambda + \frac{v_s}{f_s} \quad (4)$$

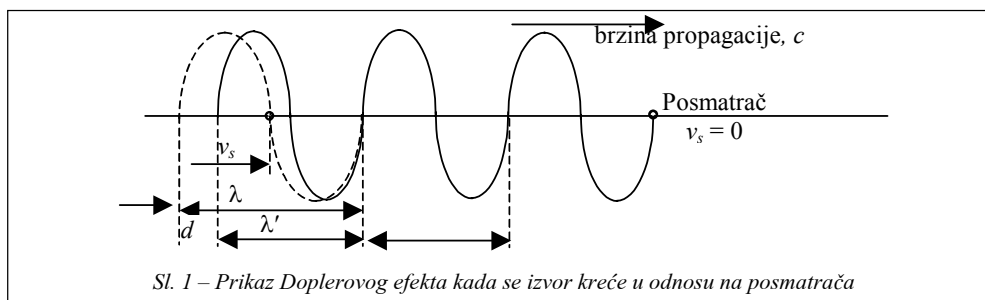
Tada je:

$$f_p = \frac{c}{\lambda'} = \frac{c}{\lambda + \frac{v_s}{f_s}} = f_s \cdot \frac{c}{c + v_s} \quad (5)$$

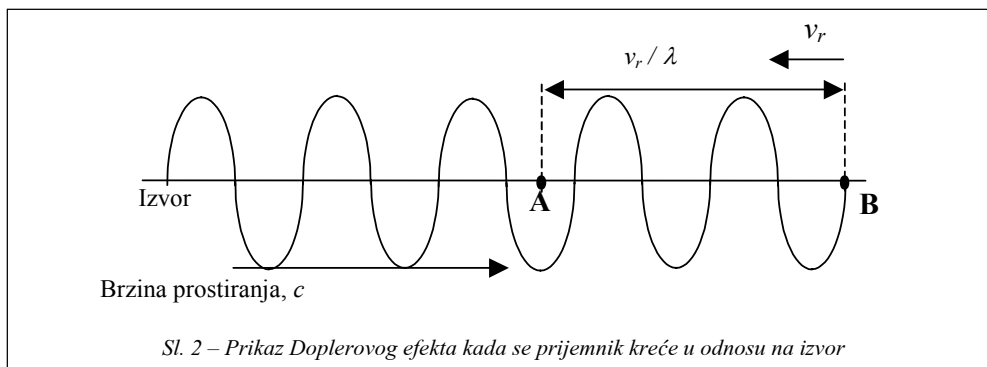
Kretanje prijemnika u odnosu na izvor

U slučaju kada se posmatrač kreće ka izvoru, registruje se brzina v_r . Ako se prijemnik kreće u nekom drugom smjeru brzinom v , a izvoru se približava relativnom brzinom v_r , tada je $v_r = v \cos \alpha$, gdje je α ugao između vektora v i v_r .

Posmatrač koji se kreće prema izvoru signala prima broj perioda talasa proizveden od izvora (u sekundi) plus broj perioda talasa duž distance AB koju posmatrač prelazi u sekundi.



Sl. 1 – Prikaz Doplerovog efekta kada se izvor kreće u odnosu na posmatrača



Broj talasa duž AB je v_r/λ . Prema tome, frekvencija primljenog signala f_r prikazana je izrazom (6):

$$f_r = f_s + \frac{v_r}{\lambda} \quad (6)$$

Pošto je $1/\lambda = f_s/c$, to je:

$$f_r = f_s + \frac{v_r \cdot f_s}{c} = f_s \cdot \left(1 + \frac{v_r}{c}\right) = f_s \cdot \frac{c + v_r}{c} \quad (7)$$

Kada prijemnik (posmatrač) prođe izvor, v_r postaje negativna, odnosno važi izraz (8):

$$f_r = f_s \cdot \frac{c - v_r}{c} \quad (8)$$

Doplerov pomjeraj (šift)

Ako se izvor i prijemnik kreću jedan u odnosu na drugi, tada se frekvencija f_s u izrazu (7) prividno mijenja u odnosu na prijemnik i iznosi f_p kao što je prikazano izrazom (9):

$$f_r = f_p \cdot \frac{c + v_r}{c} \quad (9)$$

Zamjenom f_p izrazom (3) dobija se da je:

$$f_r = f_s \cdot \frac{c}{c - v_s} \cdot \frac{c + v_r}{c} \quad (10)$$

Poslije skraćivanja izraza (10) dobija se ukupna promjena frekvencije signala na prijemniku, kao posljedica kretanja izvora i prijemnika, što je dato izrazom (11):

$$f_r = f_s \cdot \frac{c + v_r}{c - v_s} \quad (11)$$

Doplerov frekvencijski pomjeraj (šift) jeste razlika između frekvencije primljenog signala f_r koja se može mjeriti, i frekvencije odaslanog signala f_s koja je poznata. Prema tome, Doplerov pomjeraj je: $f_r - f_s$, odnosno $f_s - f_r$.

Za ranije navedeni slučaj, kada se prijemnik i izvor kreću jedan u odnosu na drugi, imamo da je:

$$f_r - f_s = f_s \cdot \frac{c + v_r}{c - v_s} - f_s = f_s \cdot \left(\frac{c + v_r}{c - v_s} - \frac{c - v_s}{c - v_s}\right) = f_s \cdot \frac{v_r - v_s}{c - v_s} \quad (12)$$

Iako se Doplerov efekat javlja i kod elektromagnetnih talasa (svjetlosnih, radio) i ima važnu ulogu u nekim radio-navigacionim i radarskim sistemima, prethodni izrazi se ne mogu generalno primijeniti na sva kretanja talasa u prostoru, ili na talase primljene od satelita, gdje se uzimaju u obzir i drugi faktori.

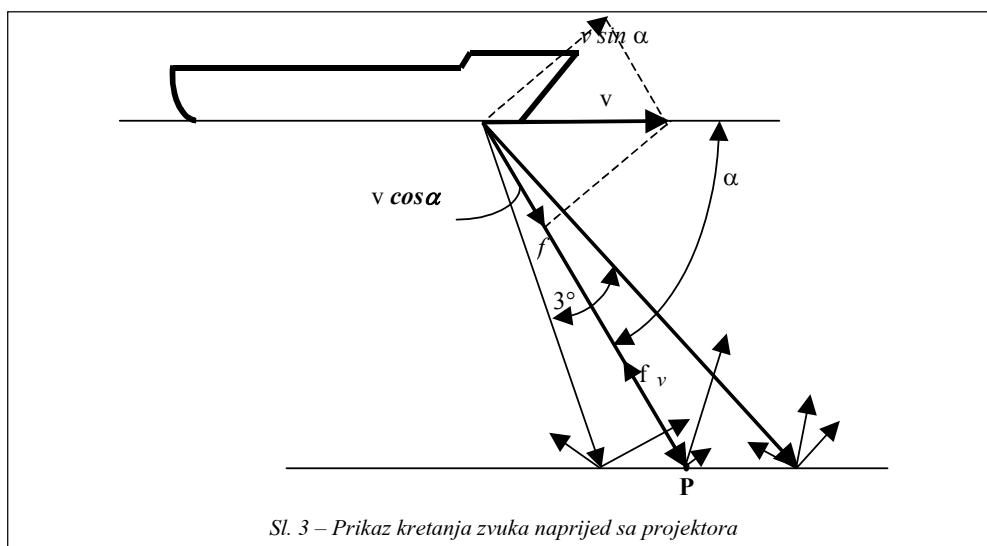
Međutim, izraz (11) može se primijeniti kod brodskih navigacionih Doplerovih brzinomjera, pri čemu su predajni i prijemni projektor (antena) smješteni na dnu broda. Vibracije u moru proizvodi predajni projektor, a njih odbijene od dna, prihvata prijemni projektor.

Primjena Doplerovog efekta kod brodskih brzinomjera (hidroakustički brzinomjer)

Doplerov efekat primijenjen je u konstrukciji brodskih brzinomjera. Suvremeni brodski navigacioni brzinomjeri drugih tipova mjere brzinu broda na osnovu razlike dinamičkog i statičkog pritiska (hidrodinamički brzinomjeri) ili

na osnovu brzine strujanja vode u magnetskom polju sonde (elektromagnetni brzinomjeri). Ovi brzinomjeri nisu dovoljno tačni, jer mjere brzinu broda u odnosu na okolnu vodu koja se, takođe, kreće uslijed strujanja. Kako su vektori brzine broda i morske struje različiti po intenzitetu i smjeru, to su greške u pokazivanju stvarne brzine i pređenog puta značajne i vremenom se sabiraju. Doplerov brzinomjer mjeri stvarnu brzinu broda u odnosu na dno ili u odnosu na granične slojeve morske vode i zato je mnogo precizniji. Osim mjerenja brzine broda, Doplerov efekat se koristi i za mjerenje bočnog zanošenja.

Predajni projektor brzinomjera montiran je na kobilici broda koji se kreće brzinom v . Predajni projektor emituje snop zvučnih vibracija u vodu pod uglom α (uobičajeno pod uglom od 60° u odnosu na kobilicu u smjeru – naprijed). Pri emitovanju signala sa broda u pokretu imamo slučaj izvora koji se kreće, pa se frekvencija zvuka mijenja po izrazu (3). Morsko



dno predstavlja reflektor od koga se signal odbija i vraća prema brodu. Brod predstavlja prijemnik koji se kreće, te opet dolazi do promjene frekvencije signala, kao što je već pokazano izrazom (11).

Zvuk se kreće ka dnu (od dna) brzinom $v \cos \alpha$, što uslovljava Doplerov efekt, kako je prikazano na slici 3. Analiza se može uprostiti pretpostavkom da su zvuk iz predajnog projektora i zvuk koji dolazi na prijemni projektor suprotnog smjera u odnosu na tačku P, a imaju istu brzinu $v \cos \alpha$. Ako u izrazu (11) umjesto f_s uvrstimo f a umjesto f_r , f_v , dobija se izraz (13):

$$f_v = f \cdot \frac{c + v \cdot \cos \alpha}{c - v \cdot \cos \alpha} = f \cdot \frac{1 + \frac{v}{c} \cdot \cos \alpha}{1 - \frac{v}{c} \cdot \cos \alpha} \quad (13)$$

Za vrijednosti $x \ll 1$, važi izraz (14):

$$\frac{1}{1-x} = 1 + x + x^2 + x^3 + \dots \quad (14)$$

Kombinujući izraze (13) i (14), dobijamo izraz (15):

$$\begin{aligned} f_v &= f \cdot \frac{1 + \frac{v}{c} \cdot \cos \alpha}{1 - \frac{v}{c} \cdot \cos \alpha} = f \cdot \left(1 + \frac{v}{c} \cdot \cos \alpha\right) \cdot \\ &\frac{1}{1 - \frac{v}{c} \cdot \cos \alpha} = f \cdot \left(1 + \frac{v}{c} \cdot \cos \alpha\right) \cdot \\ &\cdot \left(1 + \frac{v}{c} \cdot \cos \alpha + \frac{v^2}{c^2} \cdot \cos^2 \alpha + \dots\right) = \\ &= f \cdot \left(1 + \frac{2v}{c} \cdot \cos \alpha + \frac{2v^2}{c^2} + \dots\right) \end{aligned} \quad (15)$$

Pošto su svi članovi poslije $(2v^2/c^2) \cos^2 \alpha$ zanemarivi u odnosu na 1, to je frekvencija primljenog zvuka konačno:

$$f_v = f \cdot \left(1 + \frac{2v}{c} \cdot \cos \alpha + \frac{2v^2}{c^2} \cdot \cos^2 \alpha\right) \quad (16)$$

Izraz sličan izrazu (16), ali izveden na drugi način nalazi se u literaturi [4] (str. 262).

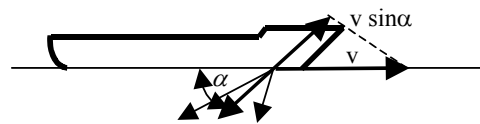
Ako su poznati f , c i α , i ako se mjeri f_v , može se odrediti brzina broda u odnosu na morsko dno. Podatak o brzini predaje se na integrator koji, množeći v i t , daje put koji je prešao brod.

Drugi predajni projektor usmjerava snop talasa unazad (slika 4) i drugi prijemni projektor prima odbijeni talas od dna. Ako drugi projektor snop talasa usmjerava unazad, vektor $v \cos \alpha$ je za taj snop negativan, jer se projektor kreće udaljavajući se od reflektovane površine umjesto da se njoj približava. Tada važi izraz (17):

$$f_a = f \cdot \left(1 - \frac{2v}{c} \cdot \cos \alpha + \frac{2v^2}{c^2} \cdot \cos^2 \alpha\right) \quad (17)$$

gdje je f_a frekvencija odbijenog signala koji ide unazad.

Razlika $f_v - f_a$ lako se mjeri mješajući ove dvije frekvencije i detektujući proizvod mješanja.



Sl. 4 – Prikaz kretanja zvuka nazad u odnosu na brod

Tako se dobijaju izrazi (18):

$$f_v - f_a = \frac{4 \cdot f \cdot v}{c} \cdot \cos \alpha$$

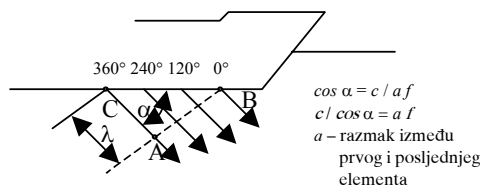
$$v = \frac{c}{4 \cdot f \cdot \cos \alpha} \cdot (f_v - f_a)$$
(18)

U izrazima (18) f i $\cos \alpha$ su poznate vrijednosti, a $f_v - f_a$ se mjeri. Nakon toga se računa v . S obzirom na to da brzina prostiranja zvuka kroz vodu zavisi od temperature i manje od saliniteta, često se blizu projektora ugrađuje termistor koji daje podatak o temperaturi na osnovu koje se vrši korekcija brzine c . Uočava se da se u jednačinama (18) ne javljaju ni vrijeme propagacije upadnog talasa ni vrijeme njegovog odziva, a ni dubina mora. Neki tipovi Doplerovih brzinomjera izraz $c/\cos \alpha$ drže automatski konstantnim, pa se iz (18) dobija izraz (19):

$$v = \frac{a \cdot f}{4 \cdot f} \cdot (f_v - f_a) =$$

$$= k \cdot (f_v - f_a), \quad k = \frac{a}{4}$$
(19)

Iz ovog izraza slijedi da je v proporcionalno $f_v - f_a$. Na slici 5 dat je prikaz konfiguracije projektora Doplerovog brzinomjera firme Krupp&Thomson CSF. Ugrađeno je 72 piezoelektrična elementa (na slici su prikazana samo četiri). Za ovaj brzinomjer važe izrazi (19).



Sl. 5 – Prikaz ugradnje projektora na brodu

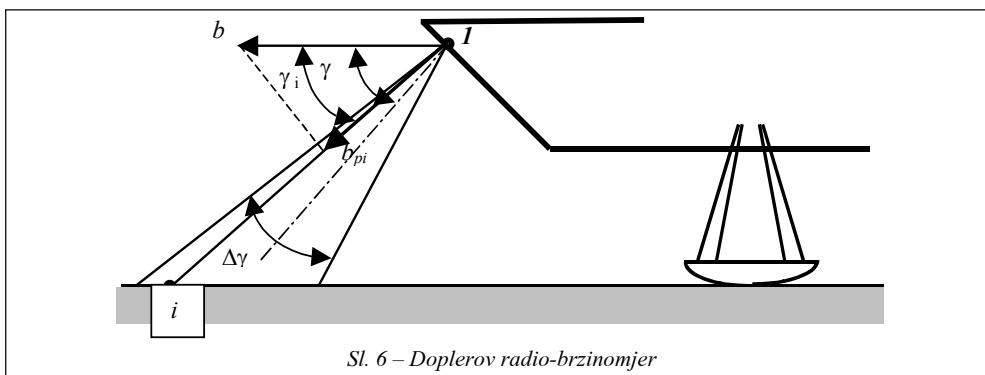
Doplerov brzinomjer koristi više frekvencije signala nego brodski navigacioni dubinomjer, tako da površina reflektora može biti manja. Kraći talasi omogućavaju uže uglove snopa, što znači da je (zbog bolje usmjerenosti) potrebna manja emitovana snaga vibracija.

I dubinomjeri i Doplerovi brzinomjeri rade na principu odbijanja zvučnih talasa od morskog dna; dubinomjeri mjere vrijeme propagacije talasa, a Doplerovi brzinomjeri razliku između frekvencija ($f_v - f_a$).

Refleksije zvuka nastaju i kad se zvučni snop kreće iz jednog sloja vode koji ima jednu strukturu i temperaturu u drugi sloj sa različitim osobinama. Doplerov efekat se javlja, takođe, kada se jedan sloj vode relativno kreće u odnosu na drugi. U tom slučaju Doplerov brzinomjer mjeri algebarsku sumu pomjeraja Doplerove frekvencije zvuka na njegovom putu do dna (ili reflektujućeg sloja vode) i povratka do prijemnika.

Ako zvučni snop nailazi na dno, ukupni frekvencijski pomjeraj je proporcionalan brzini broda u odnosu na dno. Ako zvučni signal ne dolazi do dna, već se refleksija vrši od sloja vode, mjereni Doplerov pomjeraj je proporcionalan brzini broda u odnosu na sloj vode.

Konfiguracija od dva transmitera, od kojih jedan proizvodi snop usmjeren naprijed, a drugi nazad, zove se Janusova konfiguracija. Prednost Janusove konfiguracije jeste što vertikalno kretanje broda izaziva iste promjene Doplerovog pomjeraja, pa razlika $f_v - f_a$ ostaje konstantna. Pri podizanju pramca broda frekvencija se povećava. Istovremeno, krma se spušta, a frekvencija smanjuje. Suprotno se dešava pri spuštanju pramca i izdiza-



Sl. 6 – Doplerov radio-brzinomjer

nju krme. Sabiranjem i dijeljenjem ovih frekvencija dobija se srednja vrijednost, odnosno prava brzina broda. Prema tome, vertikalno kretanje broda ne utiče na Doplerov pomjeraj.

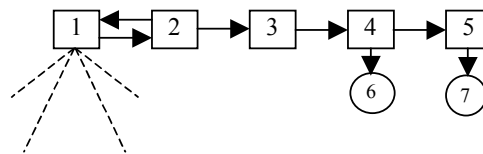
Da bi se mjerila poprečna brzina, slično Janusovoj konfiguraciji, montiraju se projektori koji usmjeravaju snop pod uglom od 90° u odnosu na uzdužne projektore. S obzirom na to da od mosta do pramca velikih tankera može biti rastojanje veće od 150 m, moraju se imati podaci o brzini pramčanog i krmenog dijela pri pristajanju.

Hidroakustični sistemi kod kojih projektori stalno proizvode zvučne signale nazivaju se sistemima sa kontinualnim talasima. Oni imaju različite predajne i prijemne projektore koji su jednake konstrukcije. Drugi tip hidroakustičnih sistema su impulsni sistemi. U takvim sistemima projektor generiše impulse i isti projektor prima odbijeni signal u periodu između generisanja impulsa. U kontinualnim sistemima prijem odziva može biti ometan emitovanim vibracijama projektora, što nije slučaj sa impulsnim sistemima. Većina Doplerovih brzinomjera koristi impulsne sisteme.

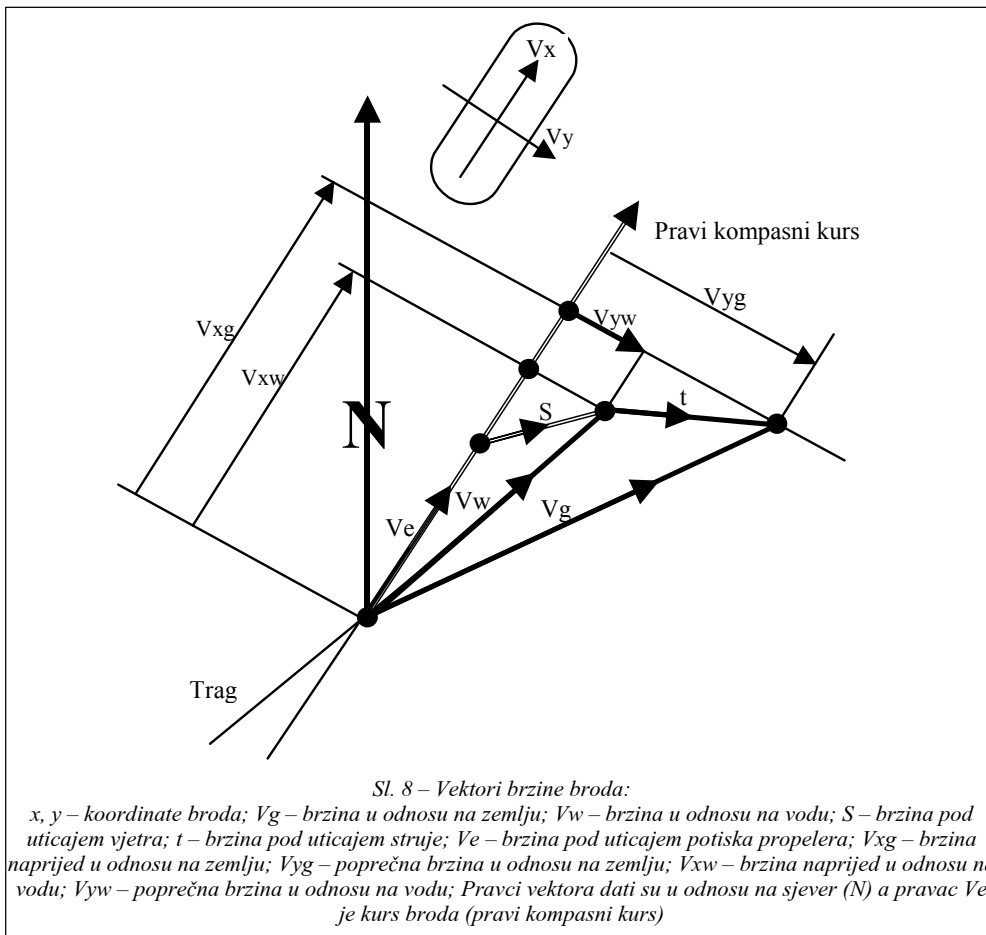
Doplerovi brzinomjeri, u principu, mogu da se koriste do 200 m dubine. Na-

ime, zvučni snop se apsorbuje u sloju vode dubine od 200 m do 400 m. Ako se zvuk reflektuje od ovog sloja, dobija se brzina broda u odnosu na taj sloj vode. Međutim, i granični sloj vode 10 m do 30 m ispod kobilice broda uslovljava refleksiju zvučnog talasa. Tada Doplerov brzinomjer mjeri brzinu broda u odnosu na ovaj granični sloj vode.

Prijemnici kod Doplerovih brzinomjera su konstruisani tako da mogu biti operativni neposredno iza impulsa predaje ili nakon nekog kratkog vremena koje slijedi iza impulsa predaje. Ako zvučni talas ima kontakt sa dnom prijemnik će se aktivirati kratko vrijeme poslije predajnog impulsa i dobiće se brzina broda u odnosu na dno. Ako je talas izgubio kontakt sa dnom, dubinomjer se automatski prebacuje na drugi režim rada, odnosno prijemnik



Sl. 7 – Blok šema Doplerovog radio-brzinomjera:
 1 – antenski sistem; 2 – primopredajnik (mješanje primljene i predajne frekvencije i pojačanje);
 3 – sklop za mjerenje Doplerovog pomjeraja;
 4 – računarski dio za proračun brzine;
 5 – integrator za računanje pređenog puta;
 6 i 7 – ponavljači



se aktivira neposredno poslije generisanja predajnog impulsa, tako da prima reflektovani signal od sloja vode koji je 10 m do 30 m ispod kobilice broda. Doplerov brzinomjer tada radi u režimu mjerenja brzine broda u odnosu na vodu.

Ugao snopa za uzdužno mjerenje brzine iznosi oko 3° , a za poprečno mjerenje oko 8° . Radna frekvencija hidroakustičkih Doplerovih brzinomjera iznosi od 100 kHz do 455 kHz. Ovi brzinomjeri mjere brzinu u vožnji naprijed i krmom, a greška brzine iznosi $\pm 0,01$ čvor za brzine ispod 2 čvora, a $\pm 0,1$ čvor za veće brzine.

Pri vožnji krmom propeler stvara veliku količinu vazdušnih mjehurića kroz koje često ne može da prođe zvučni signal brzinomjera, pa može doći do gubitka podataka o brzini ili se dobijaju pogrešni podaci.

Doplerovi radio-brzinomjeri

Ovi brzinomjeri koriste se na brodovima sa podvodnim krilima i brodovima lebdilicama. Radio-signali emitovani sa broda odbijaju se od površine mora i registruje se Doplerov pomjeraj. Formula za računanje primljene frekvencije je:

$$f_{pr} = f_0 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot v \cdot \cos \gamma_i}{c}\right) \quad (20)$$

gdje je:

f_{pr} – primljena frekvencija,

f_0 – emitovana frekvencija,

γ_i – ugao koji radio-snop obrazuje sa površinom vode u elementarnoj čestici i ,

b – brzina lebdilice,

$b_{pi} = b \cos \gamma_i$,

$\Delta\gamma$ – širina snopa radio-signala (slika 6).

Doplerov pomjeraj frekvencije prikazan je izrazom (21):

$$\Delta f = f_{pr} - f_0 = \frac{2 \cdot v}{c} \cdot f_0 \cdot \cos \gamma \quad (21)$$

a brzina broda je:

$$v = \frac{\Delta f \cdot c}{2 \cdot f_0 \cdot \cos \gamma} \quad (22)$$

Antenski sistem emituje signale u 1 do 4 snopa frekvencije 13,3 do 15 GHz. Dijapazon mjerenja brzina je -50 čv (krmom) do +186 čv. Greška mjerenja iznosi 0,1% do 3,0%.

Karakteristike Doplerovih brzinomjera

Minimalne vrijednosti karakteristika savremenih brzinomjera propisane su IMO rezolucijom A.224 (VII) i standardom IEC 1023 [1, 5]. Definisano je da uređaji za mjerenje brzine i pređenog puta moraju dati informaciju o brzini naprijed i pređenom putu u odnosu na sloj vode ili površinu tla ili oboje.

Ako se kod brzinomjera koriste digitalni pokazivači, korak prikazivanja brzine ne smije biti veći od 0,1 čvor, a ako

se koristi analogni pokazivač podjela skale ne smije biti veća od 0,5 čvorova pri čemu svakih najmanje 5 čvorova mora biti označeno brojem. Za mjerenje pređenog puta opseg pokazivača mora biti bar od 0 do 9999,9 nm, pri čemu korak ne smije prelaziti 0,1 nm. Dozvoljena greška pri mjerenju brzine ne smije premašiti 5% brzine broda ili 0,5 čvorova (što je veće), dok greška prikazivanja pređenog puta ne smije preći 5% pređenog puta za 1 sat ili 0,5 nm na svaki sat (što je veće).

Na slici 7 prikazani su vektori brzine broda koji su definisani standardom IEC 1023.

U tabeli 1 prikazane su karakteristike savremenih Doplerovih brzinomjera u skladu sa standardom IEC 1023 [6].

Tabela 1

Model Karakter.	DS-50 Furuno	SRD 500 Sperry	EM 200 Plath	SRD 331 Sperry	DS 70 Furuno	DS 30 Furuno
Uzdužna brzina (čvor)	-10,0 do 40,0	-20,0 do 50	-5 do +25 do -5 do +80	0-50,0	0-30,0	-10,0 do 40,0
Poprečna brzina (čvor)	-9,9 do 9,9	-10 do +10	/	0-50,0	0-10,0	-9,99 do 9,99
Ukupni pređeni put (nm)	0 do 99999,99	/	0 do 1999,99 ili 0 do 999999,9	0 do 9999,9	0 do 99999,9	/
Dozvoljena greška brzine	±1% ili ±0,1 čvor	±0,1 čvor max.	±0,1 čvor	±0,1 čvor ili ±1%	±0,1 čvor ili ±1%	±1% ili 0,1 čvor
Dozvoljena greška pređenog puta	±1% ili ±0,1 nm	0,5%	±1%	±1%	±1%	/

Na slici 9 prikazan je Doplerov brzinomjer SAL R1 švedske firme Consilium.



Sl. 9 – Sastavne jedinice Doplerovog brzinomjera SAL RI

Radi potpunosti izlaganja prikazane su osnovne karakteristike savremenog Doplerovog brzinomjera SRD 500, američke firme Sperry. Brzina broda u odnosu na vodu (relativna brzina) mjeri se na najmanje tri metra ispod projektora, brzina u odnosu na dno (apsolutna brzina) na dubini 1,2 m do 200 m ispod projektora, uzdužna brzina u opsegu -20 do $+50$ čvorova, poprečna brzina u opsegu ± 10 čvorova, a frekvencija ultrazvuka je 307 kHz. Greška mjerenja brzine 1σ (jedan sigma) iznosi $\pm 1\%$ ili $\pm 0,1$ čvor, greška mjerenja pređenog puta $\pm 1\%$, a greška mjerenja dubine $\pm 2\%$. Brzinomjer posjeduje sljedeće izlaze za podatke: pet relejnih izlaza, serijski format RS 232 ili 422, NMEA 0183, analogni izlaz 1mA za punu skalu ili 0,1 V/čv, sinhro izlaz 60 ili 400 Hz. Doplerov brzinomjer SRD 500 koristi se i kao dubinomjer.

Napajanje uređaja je 100/115/230 VAC ($\pm 10\%$), 100 VA, 50/60 Hz. U tabeli (2) prikazani su podaci za dimenzije i težine pojedinih jedinica dubinomjera.

Tabela 2

Jedinica	Dimenzije (mm)	Masa (kg)
Osnovni displej	365×273×216	6,8
Pomoćni displej	365×273×216	6,8
Elektronika	425×356×152	7
Projektor	Prečnik: 203	27

Zaključak

Brzinomjeri su obavezni navigacioni uređaji na ratnim i trgovačkim brodovima. U današnje vrijeme na brodovima se uglavnom koriste Doplerovi navigacioni brzinomjeri. Bez obzira na ekspanziju savremenih uređaja za navigaciju kao što su GPS prijemnici, korištenje brzinomjera (kao i žirokompasa) nezamjenljivo je. Međunarodna organizacija za pomorstvo – IMO je u svojim rezolucijama propisala karakteristike brzinomjera koje treba da zadovolje svi Doplerovi brzinomjeri koji su u upotrebi. Po potrošnji električne energije i gabaritima Doplerovim brzinomjerima mogu konkurisati samo elektromagnetni brzinomjeri. Međutim, dok elektromagnetni brzinomjeri mjere samo relativnu brzinu, odnosno brzinu u odnosu na vodu, Doplerovi brzinomjeri mogu mjeriti i apsolutnu i relativnu brzinu. Doplerovi brzinomjeri se sa proširenom kontrolnom jedinicom, a sa istim projektorima, mogu koristiti i kao dubinomjeri (primjer: SPERRY SRD 500), što je dodatna prednost u odnosu na ostale brodske navigacione brzinomjere. Doplerovi brzinomjeri, takođe, mjere brzinu zanošenja broda, što nije slučaj sa drugim brzinomjerima.

Literatura:

- [1] IEC 1023: Marine speed and distance measuring equipment, International Electrotechnical Commission, Geneva, 1990.
- [2] Skolnik, I. M.: Introduction to Radar Systems, Second edition, 4th Printing, McGraw Hill Inc., New York, 1981.
- [3] Sonnenberg, J. G.: Radar and Electronic Navigation, Sixth Edition, Butterwords, London, 1988.
- [4] Lazarević, Ž.: Tehnička hidroakustika, SSNO, RM-1710, Split, 1987.
- [5] Unković, M.: Brodski navigacioni brzinomjeri, Pomorstvo, Kotor, God. X, Br.18, Mart 2003., str. 46–48.
- [6] Prospektni podaci za brodske brzinomjere firmi FURUNO, SAGEM, SPERRY, PLATH, KRUPP-ATLAS, CONSILIUM.

