

Zdravko Seidel, dipl. ing.

Rajka Stipe 32
52440 Poreč

Stručni članak

UDK:528.283

656.61.052(091)

Primljeno: 12. ožujka 2007.

Odobreno: 28. ožujka 2007.

DVOSTRUKI ZRCALNI GONIOGRAF

Dvostruki zrcalni goniograf je navigacijski instrument za istovremeno mjerenje dvaju horizontalnih kutova. Konstruiran je pri Odjelu za nautičke instrumente Hidrografskog zavoda u Puli 1877. godine. Namjena mu je bila da navigatorima omogući određivanje pozicije broda neovisno o brodskom magnetskom kompasu u obalnoj navigaciji, a časnicima Carske i kraljevske mornarice koji su ga najviše koristili, pružao je najveću brzinu i točnost u određivanju pozicije broda među raspoloživim sredstvima i metodama krajem 19. i početkom 20. stoljeća.

Zahvaljujući optičkom principu dvostruke refleksije zrake svjetlosti i sustavu spojenih ravnala i zrcala, horizontalni kutovi se dobiju kada se dvije zrcalne slike smjernih poznatih objekata dovedu u zajedničku vertikalnu s izravno smjerenim objektom, pri čemu se optički pravci koji prolaze kroz smjerane objekte i pripadna tri ruba ravnala, sijeku u točki unutar instrumenta koja predstavlja opaženu i pravu poziciju broda. Zbog konstrukcije nalik dvokutomjeru, instrument se po završetku snimanja mogao položiti na navigacijsku kartu tako da rubovi ravnala tangiraju opažene objekte, a presjecište ravnala daje poziciju broda.

Zbog svoje praktičnosti i točnosti u mjerenju, instrument je bio rado korišten ne samo u navigaciji već i u geodetskim izmjerama.

U radu su prikazani opis i upotreba instrumenta, optički princip rada te ispravci pogrešaka instrumenta.

Ključne riječi: *mjerenje horizontalnih kutova, određivanje pozicije broda, Pothentov problem, povijest pomorske navigacije*

1. UVOD

U navigaciji 19. stoljeća pozicija broda određivala se astronomskim i terestričkim metodama, a potonjim vrlo često mjerenjem dvaju ili triju azimuta istodobno. Izaberu se dva markantna i na karti ucrtana objekta, a presjecište njihovih dviju azimutnih crta, kojima kad god to prilike omogućuju treba pridružiti treću kontrolnu azimutnu crtu, daje opaženu poziciju broda. Budući da se ucrtavaju na navigacijsku kartu, izmjereni kompasni azimuti ispravljaju se u prave. Ovaj danas rutinski postupak navigatorima do kraja 19. stoljeća i nije bio toliko jednostavan.

Naime, premda su teorijske osnove o poremećajima u magnetskom polju Zemlje i utjecaju feromagnetske opreme broda na magnetski kompas bile poznate navigatorima 19. stoljeća, njihove točne vrijednosti nisu bile poznate, a mogućnost njihove kontrole bila je nepotpuna. Tek su godine 1889. i 1890. izvršene magnetske izmjere na području Istre i Dalmacije, a rezultate ovih istraživanja objavio je Hidrografski zavod Carske i kraljevske mornarice u knjizi predstojnika pulske Zvezdarnice Franza Laschobera i kontraadmirala Wilhelma Kesslitz: *Magnetska promatranja na obalama Jadrana*, koja je objavljena u Puli 1892. Pet godina ranije zastavnik bojnog broda Heinrich Florian objavio je također u Puli djelo *Teorija i praksa devijacije i kompenzacije kompasa*. Ova dva datuma predstavljaju prekretnicu u praktičnoj navigaciji na Jadranu, te je od tada moguće odrediti točne vrijednosti varijacije i devijacije.

Do toga datuma vrijednosti zemaljskog i brodskog magnetskog polja bile su tek približno poznate, zahvaljujući dugogodišnjem eksperimentalnom promatranju tih pojava [1]. Tako se mjerenje azimuta na neki objekt u najboljem slučaju svodilo na procjenu njegove približne vrijednosti, zahvaljujući vještini i uvježbanosti navigatora i ukoliko su to dozvoljavale povoljne vremenske prilike i mirno more. Upečatljiva je i semantička opreznost koja se odnosi na nepovoljne magnetske utjecaje na brodski magnetski kompas: Constantin Pott, konstruktork dvostrukog zrcalnog goniografa u brošuri *Der doppelte Spiegel-goniograph* [5] umjesto devijacije koristi isključivo pojam *pogreška kompasa* (njem. Missweisung des Compass) i to najvjerojatnije zbog nepoznavanja njezinih točnih koeficijenata, budući da se ovaj konkretni izraz pojavljuje u izdanjima Hidrografskog zavoda otkada mu se mogu pridružiti određene brojčane vrijednosti.

Osim toga, vrlo često se događalo da u nedostatku prikladnog navigacijskog pomagala (npr. prijenosne smjerne ploče), dijelovi brodske konstrukcije (jarbol, čamci) onemogućuju smjerenje jednog ili više objekata, te bi jedino promjena kursa omogućila neometano smjerenje.

Kako bi se učinkovito izbjegle sve prije spomenute pogreške, a pozicija broda odredila brže i pouzdanije, te neovisno od brodskog magnetskog kompasa, poručnik bojnog broda Carske i kraljevske mornarice Constantin Pott konstruirao je pri Odjelu za nautičke instrumente Hidrografskog zavoda u Puli 1877. godine instrument, po principu sličan sekstantu, koji omogućuje istovremeno mjerenje dvaju horizontalnih kutova. Instrument se po završetku snimanja mogao položiti na navigacijsku kartu, a navigatori su ovim jednostavnim postupkom mogli s lakoćom odrediti četvrtu točku Pothenotovog problema – poziciju broda.

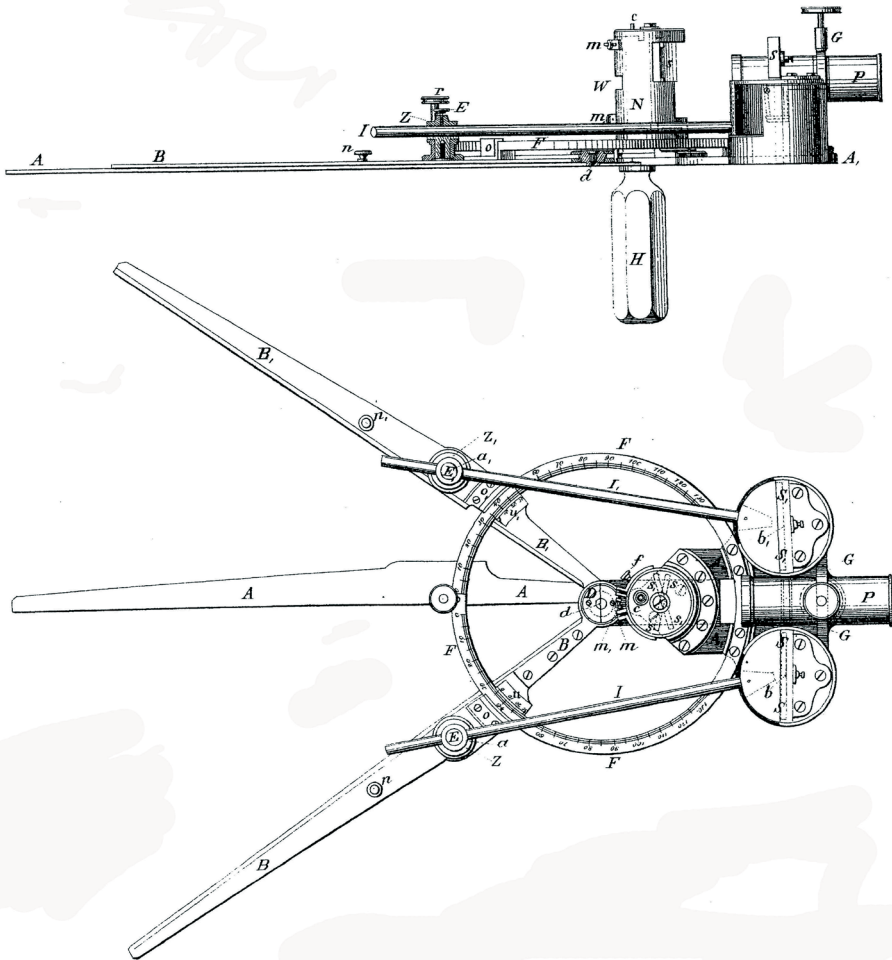
Dvostruki zrcalni goniograf dio je bogate, pet desetljeća duge znanstveno-tehničke djelatnosti Hidrografskog zavoda u Puli, a kao izum nagrađen je 1881. godine na izložbi Međunarodnog geografskog kongresa u Veneciji.

2. OPIS INSTRUMENTA

Ravnalo A (Slika 1), središnje nepomično ravnalo instrumenta, nalazi se između dva okretna ravnala B i B_1 , povezanih prstenom D , u čijem središtu se nalazi provrt d , zajedničko presjecište ravnog lijevog ruba središnjeg ravnala i unutarnjih ravnih rubova okretnih ravnala. Lijevo okretno ravnalo B i desno okretno ravnalo B_1 , klizeći po gornjoj plohi središnjeg

ravnala *A*, mogu mjeriti horizontalne kutove od 0° , što označava ravni rub središnjeg ravnala i unutarnji rubovi okretnih ravnala kada se pokrivaju, do 130° . Osim toga, svako okretno ravnalo može se pomaknuti malo preko ravnog ruba središnjeg ravnala kako bi se izmjerio negativan kut, pri čemu drugo okretno ravnalo mora biti otvoreno.

Nakon završenog snimanja dvaju horizontalnih kutova, instrument se položi na navigacijsku kartu tako da ravni rubovi triju ravnala tangiraju poznate smjerane objekte, te kroz prvrst prstena *d* olovkom označi opažena pozicija broda.



Slika 1. Dvostruki zrcalni goniograf
Izvor: [1, prilog 6]

Središnje ravnalo i kružnica sa stupanjskom podjelom F čvrsto su povezani, a središte kružnice je ujedno i središte prstena d . Okretna ravnala B i B_1 , opremljena su vodilicama O i O_1 unutar kojih klizi vanjska strana stupanjске podjele, dok se s unutarnje strane stupanjске podjele na oba okretna ravnala nalaze noniji u i u_1 za očitavanje minuta.

Središnje ravnalo svojim se drugim dijelom nastavlja iza prstena, prošireno je i pojačano s lijeve i desne strane (A_1) i predstavlja konstrukcijsku kralježnicu instrumenta. Na tom stražnjem produžetku u uzdužnici instrumenta nalazi se nosač durbina G , koji omogućava da se prema potrebi pričvrsti durbin P .

S obje bočne strane durbina nalaze se zrcala S i S_1 u položaju okomitom na ravninu instrumenta, jednakih visina i okretna oko svojih središnjih vertikalnih osi b i b_1 koje se nalaze na jednakoj udaljenosti od središta prstena – provrta d . ($bd=b_1d$)

Na gornjoj površini oba okretna ravnala, otprilike na njihovoj sredini, nalaze se rukavci Z i Z_1 , koji su okretni oko svojih osi a i a_1 , okomitih na ravninu instrumenta. Udaljenost osi rukavaca a i a_1 od središta prstena d jednaka je udaljenosti okretnih osi b i b_1 prethodno spomenutih zrcala od središta prstena d . ($ad=bd=b_1d=a_1d$)

Oba rukavca Z i Z_1 imaju na odgovarajućoj visini provrt paralelan s ravninom instrumenta, kroz koji klizi cilindrična vodeća motka I i I_1 koja je svaka sa svoje strane instrumenta učvršćena za postolje na kojem se nalazi okretno zrcalo S i S_1 . Vodeća motka posreduje u sinkroniziranom okretanju zrcala S ili S_1 s pomakom odnosno ravnala.

Između nosača durbina G i prstena D nalaze se u kućištu N , u središnjici instrumenta, dva manja fiksna zrcala s i s_1 , postavljena jedno iznad drugoga, na takav način da svako prima zrcalnu sliku svog pripadnog okretnog zrcala S ili S_1 i reflektira ju u smjeru paralelnom središnjici instrumenta prema promatraču. Razmak između zrcala s i s_1 iznosi 6 milimetara.

S prednje strane kućišta N nalazi se jedan isječak W koji odgovara razmaku između zrcala s i s_1 , namijenjen izravnom smjeranju središnjeg objekta. Os durbina P nalazi se na visini jednakoj središtu isječka W iznad ravnine instrumenta, ali se prilikom snimanja objekata durbinom može promatrati dio gornjeg i donjeg zrcala s i s_1 . Ukoliko se umjesto durbina koristio dvogled, tada se gornjim okularom promatrala zrcalna slika lijevog objekta, a donjim okularom desnog objekta.

Kada se okretna ravnala nalaze na nuli stupanjске podjele, odnosno kada su njihovi ravni rubovi u pokriću s ravnim rubom središnjeg ravnala, oba velika okretna zrcala paralelna su sa svojim pripadnim malim fiksnim zrcalima. Pri uporabi instrumenta, moguća su tokom vremena odstupanja od paralelnosti, te je potrebno izvršiti ispravak na sličan način kako se vrši kod sekstanta. U tu svrhu se na prednjem dijelu kućišta N nalaze dva korekcijska vijka m i m_1 koji se pomoću prikladnog ključa mogu fino zarotirati, pri čemu se malo zrcalo dovodi u paralelni položaj s velikim zrcalom, koje nije moguće korigirati.

Osim toga, površ kućišta N nalazi se korekcijski vijak c za ispravak okomitosti gornjeg malog zrcala, dok se s donje strane instrumenta nalazi identični vijak za ispravak okomitosti donjeg malog zrcala, također uz pomoć odgovarajućeg ključa.

Na nosaču dalekozora G smještena je mala hvataljka u obliku dugmeta, te ista takva na spojnici stupanjске podjele sa središnjim ravnalom r . Obje hvataljke služe kako bi se instrumentom rukovalo pažljivo i sigurno prilikom vađenja i stavljanja u kutiju ili polaganja na navigacijsku kartu.

Za vrijeme snimanja s instrumentom, isti držimo u ruci za ručicu H . Ručica je utaknuta u četverokutni klin koji se nalazi ispod kućišta N i unutar kojeg se nalazi opruga čiji se vidljivi

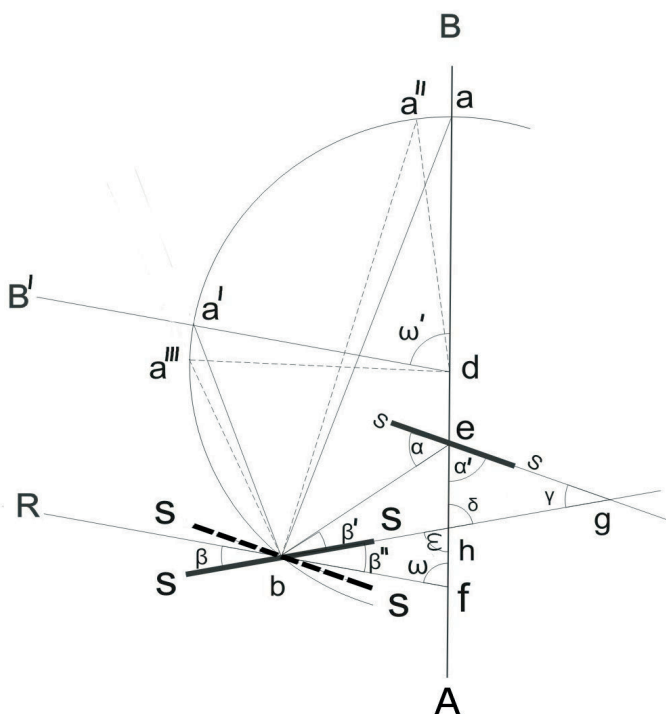
dio na oznaci f može odignuti i na taj način ukloniti ručica.

Kako okretna ravnala nakon završenog snimanja ne bi promijenila svoj kutni položaj, vodeće motke I i I_1 pričvrste se vijcima E i E_1 koji se nalaze na rukavcima Z i Z_1 .

Okretna ravnala pomiču se duž stupanjске podjele pomoću hvataljki n i n_1 koje se nalaze na polovici dužine ravnala.

3. OPTIČKI PRINCIPI INSTRUMENTA

Na slici 2 pravac AB označava simetralu instrumenta. Promatramo lijevu polovicu instrumenta.



Slika 2. Optički princip dvostrukog zrcalnog goniografa - lijeva strana instrumenta
Izvor: [4, str.11]

Puna linija ss označava gornje fiksno zrcalo s u kućištu N , gdje je e središnja vertikala toga zrcala. Isprekidana linija SS , paralelna s gornjim malim fiksnim zrcalom s predstavlja pripadno veliko okretno zrcalo u nultom položaju. (Kada su veliko i malo zrcalo iste strane instrumenta paralelni, ravni rub pripadnog ravnala nalazi se u središnjici instrumenta, odnosno u pokriću je s lijevom rubom središnjeg ravnala.)

Puna linija SS predstavlja onaj položaj velikog zrcala pri kojemu upadna svjetlosna

zraka iz pravca Rb , refleksijom od okretnog i fiksnog zrcala prelazi optički put $RbeA$.

Točka b označava središnju vertikalu i os rotacije okretnog zrcala SS . Točka d označava središte prstena kroz koji prolazi vertikalna os oko koje se okreću okretna ravnala.

Prema Zakonu refleksije, upadni i odbijeni kut svjetlosne zrake na ravnoj površini moraju biti jednaki:

$$\alpha = \alpha' \text{ i } \beta = \beta'.$$

Također je i vršni kut $\beta = \beta''$.

Uzevši u obzir da je zbroj svih kutova u nekom trokutu 180° , tada je u trokutu bge vanjski kut pri e ,

$$\alpha = \gamma + \beta',$$

odnosno

$$\gamma = \alpha - \beta',$$

ili također

$$\gamma = \alpha' - \beta''. \quad (\text{I})$$

Budući da su kutovi δ i ϵ kao vršni kutovi međusobno jednaki, zbroj preostalih kutova u trokutima ehg i fhb mora biti jednak:

$$\gamma + \alpha' = \omega + \beta''. \quad (\text{II})$$

Adicijom α' iz jednadžbe (I) u (II) dobijemo

$$\omega = 2\gamma.$$

Riječima:

Kut između dva zrcala SS i ss , pri čemu se upadna zraka Rb reflektira u eA , jednak je polovici kuta koji ova zraka čini prije prve refleksije sa središnjicom instrumenta. Dakle, dvostruki zrcalni goniograf temelji se, poput suvremenog sekstanta, na optičkom principu dvostruke refleksije zrake svjetlosti.

Kada je okretno veliko zrcalo SS u nultom položaju (isprekidana linija SS), vodeća motka pripadne strane I , koja je čvrsto povezana sa svojim okretnim zrcalom, nalazi se u položaju ba . Vodeća motka prolazi kroz rukavac na pripadnom ravnalu, koji je okretan oko svoje vertikalne osi a .

Dužina da predstavlja ravni rub središnjeg ravnala, ali i ravne rubove okretnih ravnala kada su u pokriću s njim; drugim riječima, kada je kut između ravnog ruba središnjeg ravnala i ravnog ruba svakog okretnog ravnala jednak nuli.

Dužina dB' , odnosno dužina da' , označava položaj okretnog ravnala, kada on sa središnjim ravnalom zatvara kut ω' . U tom slučaju točka a , os rukavca, premjestila se u a' , pri čemu je vodeća motka promijenila položaj iz ba u ba' .

Prema konstrukcijskom principu instrumenta, udaljenost između osi okretnih zrcala i središta prstena jednaka je udaljenosti između osi rukavca i središta prstena, dakle $bd = ad = b'd' = a'd'$. Kao posljedica toga, može se opisati kružnica polumjera da sa središtem u točki d , koja prolazi i točkom b .

Kut ω' je kut koji odgovara otklonu okretnog ravnala iz nultog položaja, koji pritom opisuje luk aa' . Prilikom tog otklona vodeća motka se proporcionalno pomaknula duž luka aa' , čineći kut aba' . Primjećuje se kako je prvi kut u središnjoj točki instrumenta ω' , odnosno ada' dvostruko veći od obodnog kuta aba' na kružnici.

No, teorija dokazuje kako dolazi do izvjesnog odstupanja s obzirom na prethodnu činjenicu. Razlog tome je što se os rukavca kroz koji prolazi vodeća motka I , odnosno I' , ne nalazi točno na rubu okretnog ravnala, već zbog konstrukcijskih razloga, nešto pokraj ruba,

točnije na sredini ravnala. Posljedica toga jest da će se točka a u nultom položaju okretnog ravnala nalaziti izvan središnjice instrumenta, u točki a'' . Analogno, prilikom otklona okretnog ravnala iz nultog položaja, točka a'' premjestit će se po kružnici sa središtem u točki d na mjesto a''' . Može se primijetiti da su unatoč ovom odstupanju kutovi ada' i $a''da''$, te kutovi aba' i $a''ba''$ jednaki, a da je kut u središnjoj točki instrumenta $a''da''$ opet dvostruko veći od obodnog kuta $a''ba''$.

Ovo odstupanje moglo bi definirati neznatnu indeksnu pogrešku, koja se može ispraviti korekcijom malog zrcala.

Kut otklona ravnala prema smjeranom objektu ω' jednak je kutu ω koji čini upadna zraka istog objekta prije prve refleksije sa središnjicom instrumenta, odnosno $\omega' = \omega$. Zahvaljujući toj činjenici dvostruki zrcalni goniograf može se koristiti kao instrument za mjerenje horizontalnih kutova i kao pribor za određivanje pozicije broda na navigacijskoj karti.

Sve što je opisano za lijevu stranu instrumenta, vrijedi i za desnu stranu.

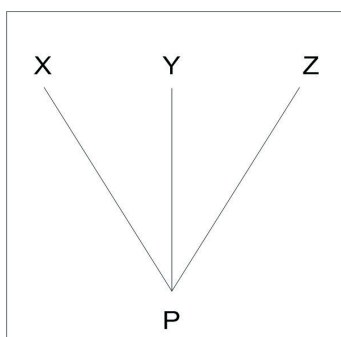
4. PRIMJENA INSTRUMENTA

4.1. Upotreba instrumenta u navigaciji

4.1.1. Određivanje pozicije broda mjerenjem dvaju horizontalnih kutova istodobno

Postupak za određivanje pozicije promatrača (broda) P na temelju poznatih objekata X, Y, Z pomoću dvostrukog zrcalnog goniografa (Slika 3.) može se podijeliti u dva koraka:

- 1.) Mjerenje horizontalnih kutova
- 2.) Određivanje pozicije na navigacijskoj karti



Slika 3. Položaj promatrača P definiran s tri poznata objekta X, Y, Z

Ad. 1.)

Nakon što oslobodi zatezne vijke vodeće motke E i E_1 , navigator se s instrumentom postavi tako da kroz razmak između fiksnih zrcala s i s_1 izravno uoči središnji objekt Y . Tada se izmjeri horizontalni kut YPX tako da se instrument drži u desnoj ruci vodoravno ispred oka, a lijevom rukom se prihvati lijevo ravnalo B za dugme n i okrene toliko dok se zrcalna slika objekta X ne pojavi u malom zrcalu točno iznad izravno smjeranog objekta Y . Tada je potrebno laganim uzdizanjem i spuštanjem instrumenta duž optičkog pravca PY , dovesti izravno opaženi objekt Y u pokriće sa zrcalnom slikom objekta X u malom zrcalu s . Nakon što su objekti dovedeni u pokriće, pričvrsti se zatezni vijak E kako ne bi došlo do pomicanja ravnala i promjene kuta YPX .

Zatim, navigator prihvati instrument lijevom rukom, postavi instrument u ravninu oka i na jednak način kako je već opisano, izmjeri desni horizontalni kut YPZ . Potrebno je najprije izravno uočiti središnji objekt Y i potom motriti donje fiksno zrcalo s_1 u kojemu se mora reflektirati desni promatrani objekt Z . Kada se postigne pokriće zrcalne slike objekta Z s izravno opaženim objektom Y u pripadnom malom zrcalu, desno ravnalo pričvrsti se zateznim vijkom E_1 .

Ukoliko se snimanje vrši durbinom, pokriće objekata može se bolje opaziti, a kutovi točnije izmjeriti.

U slučajevima kada se objekti X, Y, Z nalaze na znatno različitim visinama, konstruktor predlaže da se za smjeranje najvišeg objekta navigator posluži olovnicom.

Ad. 2.)

Prije svega, potrebno je ukloniti ručicu instrumenta, a potom se instrument, držeći za hvataljke G i r , pažljivo položi na navigacijsku kartu. Potrebno je postići da ravni rubovi triju ravnala tangiraju tri odnosa objekta na navigacijskoj karti.

Ravni rub središnjeg ravnala postavi se tako da tangira središnji objekt Y , lijevi objekt X ostavi se između središnjeg ravnala A i lijevog ravnala B , a desni objekt Z između ravnala B_1 i A , te se pomiče cijeli instrument po navigacijskoj karti u smjeru središnjeg ravnala kroz točku Y k sebi ili od sebe, dok objekte X i Z istovremeno ne dodirnu ravni rubovi odnosnih ravnala. Olovkom se označi pozicija broda kroz provrt prstena d .

Po uporabi instrumenta, zatvore se oba okretna ravnala i pričvrste zateznim vijcima, ukloni se eventualno korišteni durbin ili dvogled, te se pažljivo držeći za hvataljke G i r , pospremi u kutiju.

4.1.2. Primjena instrumenta u ostalim slučajevima na moru

Ukoliko je poziciju broda bilo moguće odrediti jedino pomoću dva objekta, instrumentom se snimio horizontalni kut između njih, a smjernom pločom kompasni azimut na jedan od objekata. Na navigacijsku kartu instrument se postavi tako da se ravni rub (obično središnjeg) ravnala kojim je smjeran objekt čiji je kompasni azimut snimljen, nalazi nad ucrtanim azimutom, te se pomiče duž njega dok ravni rub susjednog ravnala ne dodirne drugi objekt. Pozicija određena azimutom i horizontalnim kutom pouzdanija je od pozicije određene presjekom dviju azimutnih crta, naročito pri nepovoljnoj razlici azimuta, npr. kada dvije linije azimuta zatvaraju šiljati kut.

Instrument se mogao koristiti i u slučajevima kada Pothenotov problem nema rješenja. Snimanje horizontalnih kutova izvrši se na uobičajen način, te se istovremeno izmjeri i kompasni azimut na jedan od objekata. Slično kao u prethodnom slučaju, instrument se na navigacijsku kartu postavi tako da se ravni rub odgovarajućeg ravnala nalazi iznad linije azimuta onog objekta koji je njime smjeran, a cijeli se pomiče duž te linije dok preostala dva ravnala ne dodirnu *svoje* objekte. Pozicija broda određena na ovaj način pouzdanija je od pozicije dobivene presjekom triju azimutnih crta.

4.2. Upotreba instrumenta u zemaljskim radovima

Časnicima Carske i kraljevske mornarice koji su ga najviše koristili, dvostruki zrcalni goniograf znatno je olakšavao određivanje pozicije broda, a instrument prvobitno konstruiran u navigacijske svrhe našao je svoju široku primjenu također u zemljomjerstvu i geodetskim radovima. Koristio se pri katastarskim izmjerama, trasiranju željezničkih pruga i terenskim izmjerama potrebnim za izradu zemljovida. Značajna ušteda vremena ostvarena je u postupku triangulacije jer je instrumentom bilo moguće snimiti proizvoljan broj međutočaka između glavnih triangulacijskih točaka, bez zamornog postavljanja mjernog stola.

Točnost kutova izmjerenih dobro postavljenim instrumentom kretala se unutar jedne minute, što je značajno povećanje točnosti, budući da prilikom najfinijeg grafičkog rada (grafička triangulacija, grafičko rješenje Pothenotovog problema) točnost kuta iznosi tri minute.

5. POGREŠKE INSTRUMENTA

Dokaz da je izmjereni kut dotičnim ravnalom zaista jednak kutu između promatrana dva objekta i promatrača ($\omega'=\omega$), odnosno da se pravac od promatrača na smjerani objekt podudara s pravcem koji prolazi ravnim rubom odnosnog ravnala kada opažać ugleda reflektiranu zrcalnu sliku istog smjeranog objekta u malom zrcalu, ispravan je samo pod pretpostavkom da je:

1. udaljenost vertikalnih osi rukavaca i vertikalnih osi okretnih zrcala do središta prstena okretnih ravnala jednaka ($ad=bd=b_1d=a_1d$)
2. sjecište ravnih rubova svih triju ravnala u središtu prstena
3. svaki par fiksnih i okretnih zrcala međusobno paralelan u nultom položaju ravnala.

Što se prve dvije točke tiče, moguće su neispravljive greške u sustavu instrumenta uslijed nesavršene konstrukcije, no za dobro konstruiran instrument one su zanemarive. Ukoliko zrcalni parovi nisu u paralelnom položaju prema uvjetu iz treće točke, zadatak je navigatora da ispravi eventualne greške.

Na okomitost velikih zrcala S i S_1 na ravninu instrumenta ne može se utjecati, ona je definirana pri konstrukciji instrumenta, no općenito nikakva daljnja korekcija nije niti potrebna. Najčešća i najznačajnija korekcija koja se vrši jest ona zbog odstupanja od paralelnosti odnosnih parova velikih i malih zrcala, te se ona vrši isključivo korekcijom malih zrcala. Ova korekcija sastoji se od dva dijela s obzirom na ispravljanje položaja malog zrcala u

odnosu na njegovu horizontalnu ili vertikalnu os.

Odstupanje malog zrcala u odnosu na njegovu horizontalnu os, dakle pogreška okomitosti položaja malog zrcala utječe na točnost izmjerenog kuta samo u neznatnoj mjeri. Ova je korekcija ipak potrebna u slučajevima kada navigator primijeti kako reflektirana zrcalna slika promatranog objekta nije u ravnini sa svojim izravno promatranim objektom. Ako se neko okretno ravnalo nalazi u nultom položaju, dakle njegov zrcalni par je u paralelnosti, tada se izravno promatrana horizontalna ravnina (morski horizont) mora točno podudarati sa svojom zrcalnom slikom, ili se barem nalaziti jedna u produžetku druge, što je slučaj kod indeksne greške ukoliko ona postoji. Nalaze li se te dvije horizontale ipak jedna iznad druge, tada se malim okretom korekcijskog vijka c , odnosno c_1 , ovisno radi li se o korekciji gornjeg ili donjeg malog zrcala, pomoću prikladnog ključa, zrcalna slika malog zrcala s ili s_1 dovede u ispravan položaj. Kako bi se navigator uvjerio u ispravnost okomitosti malog zrcala, bilo je dovoljno promatrati morski horizont, ili na obali dobro obilježen horizontalni rub.

Od velike je, pak, važnosti ispravak položaja malog zrcala oko njegove vertikalne osi. Naime, u tom pogledu umjesto paralelnosti velikog i malog zrcala u nultom položaju ravnala, postoji određeni kut među njima – indeksna greška. Ova greška može se vrlo lako i pouzdano ispraviti: postavi se ravnalo onog zrcalnog para koje se ispravlja točno na nulu stupanjske podjele, pri čemu se izravno promatrani objekt sa svojom zrcalnom slikom mora podudarati, ili se eventualno nalaziti točno u okomici jedan iznad drugoga, što je slučaj kada je vertikala malog zrcala malo otklonjena iz okomice na ravninu instrumenta. Ukoliko to nije slučaj, tada se vijčanim ključem izvrši korekcija gornjeg zrcala s pomoću vijka m , odnosno donjeg zrcala s_1 pomoću vijka m_1 tako da se primjerenim okretom zrcalna slika objekta dovede u pokriće sa svojom izravno promatranom slikom, ili eventualno u međusobno okomit ispravan položaj. Na moru ovaj se ispravak može najbolje izvršiti pomoću morskog horizonta pri čemu je potrebno instrument postaviti vertikalno, poput sekstanta.

Kada se ovi ispravci jednom izvrše, rijetko je potrebno njihovo ponavljanje budući da su mala zrcala zaštićena u svom kućištu.

6. ZAKLJUČAK

Povećanjem pomorskog prometa na istočnoj obali Jadrana u drugoj polovici 19. stoljeća nametnula se potreba za uspostavljanjem veće sigurnosti plovidbe. Vodeću ulogu u tom procesu imao je Hidrografski zavod Carske i kraljevske mornarice u Puli, koji je u pet desetljeća postojanja sve do 1918. godine, razmjenjivao iskustva s najznačajnijim svjetskim znanstvenim ustanovama, prateći i primjenjujući suvremena saznanja iz nautike, hidrografije, meteorologije, oceanografije, brodskog strojarstva, vojne tehnike i ostalih područja srodnih pomorstvu, ali i obogatio hrvatsko (tada austro-ugarsko) pomorstvo vlastitom znanstvenoistraživačkom i tehničkom djelatnošću. Dvostruki zrcalni goniograf dio je u nizu vrhunskih rezultata ostvarenih u doprinosu tom razvoju. Ovaj jedinstveni instrument u povijesti pomorske navigacije s obzirom na svoju dvostruku funkciju, čak i danas, 130 godina od patentiranja plijeni pažnju svojom originalnošću, jednostavnošću i preciznošću. Od mjerenja do definiranja prave pozicije na navigacijskoj karti, navigatorima je osiguravao brzinu, jednostavnost i točnost u postupku određivanja pozicije broda.

Najvažnije prednosti dvostrukog zrcalnog goniografa bile su:

- a) Pouzdanost u određivanju pozicije broda jer
 - prava pozicija broda u obalnoj navigaciji se dobija mjerenjem dvaju horizontalnih kutova između tri objekta
 - neovisno o varijaciji i devijaciji čije točne vrijednosti nisu bile poznate još petnaest godina od početka korištenja instrumenta.
- b) Brzina snimanja i određivanja pozicije na navigacijskoj karti jer
 - dva horizontalna kuta bilo je moguće snimiti gotovo istodobno, što je posebice bilo važno časnicima brzih brodova koji nisu trebali smanjivati brzinu kako bi se zanemarila pogreška zbog vremenskog razmaka i
 - pozicija broda određivala se jednostavnim polaganjem instrumenta na navigacijsku kartu.
- c) Praktičnost instrumenta se ogledala u
 - dvojakoj naravi instrumenta u obliku navigacijskog instrumenta za opažanje i pribora za unošenje pozicije na navigacijsku kartu
 - prenosivosti u slučajevima kada su dijelovi brodske konstrukcije onemogućavali neometano snimanje.

Također, navigator je bio oslobođen iscrpnog grafičkog, odnosno trigonometrijskog rješavanja Pothenotovog problema.

Isto tako, mogućnost određivanja pozicije broda pomoću dva objekta, na temelju horizontalnog kuta i jednog azimuta, te mogućnost korištenja instrumenta u slučajevima kada Pothenotov problem nema rješenja.

Područja primjene instrumenta je bila osim u navigaciji i u zemljomjerstvu.

LITERATURA

- [1] Deviations-Coëfficienten der Schiffe S.M. Kriegs-Marine. Berechnet aus den vom Jahre 1857 bis 1875 angestellten Beobachtungen, Hydrographischer Amt, Pola, 1875.
- [2] Der Doppelte Spiegel-goniograph, Mittheilungen aus dem Gebiete des Seewesens, Vol. V. 1877., No. III u. IV. Pola : Herausgegeben vom K.K.Hydrographischen Amte, Marine-Bibliothek, 1877., str. 195-203.
- [3] Dobrić, B., Znanstveno-tehnička i umjetnička djelatnost austrougarske mornarice u Puli u drugoj polovini 19. i početkom 20. stoljeća, Pula 3000 Pola – prilozi za povijesnu sintezu, Pula, C.A.S.H., 2004., str. 23-41.
- [4] Laschober, F., E. Gelcich, Handbuch der Navigation, Pola, Hydrographischer Amt, 1890.
- [5] Pott, C., Der Doppelte Spiegel-goniograph, Triest, Österr.-Ungar, Lloyd, 1877.

THE DUAL MIRROR GONIOGRAPH

SUMMARY

The dual mirror goniograph is a nautical instrument for the simultaneous taking of two bearings between three objects or marks. The instrument was constructed in 1877 at the Hydrographic Institute, Pula at the Department for Nautical Instruments.

It was used to enable navigators to determine the position of a ship when in sight of land, independently from the magnetic compass. The instrument was mostly used by the officers of the Austro – Hungarian Navy providing them with the means to efficiently and accurately determine the position of a ship. Of all the means available at the time, it was the preferred instrument at the end of the 19th and the beginning of the 20th century.

The dual reflection of a beam of light and a system of connected rulers and mirrors, create bearings when the two mirror images of the observed known objects become vertical together with directly observed object. It is then, that the optical straight lines which are running through the observed objects and the three edge rulers, intersect at the point inside the instrument revealing the position of the ship. Due to its shape (resembling a station- pointer), the instrument is placed on the navigation chart after the bearings are taken, so the edges of the ruler adjoin the observed objects. The point of the intersection of the edge rulers provides a ship's position.

The instrument was used not only in navigation but also in land surveying, due to its practical and accurate measuring abilities.

The description and the usage of the instrument, its optical principle and the rectification of the instrument's inaccuracies are all included in this work.

Key words: *taking bearings of objects, obtaining a ship's position, Pothenot's problem, history of navigation*

Zdravko Seidel, B.Sc.

Rajka Stipe 32

52440 Poreč

Croatia