

Određivanje položaja broda opažanjem nebeskih tijela u razmaku vremena

Jankoski, Stefan

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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:187:226583>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-04**



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](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

STEFAN JANKOSKI

**ODREĐIVANJE POLOŽAJA BRODA OPAŽANJEM
NEBESKIH TIJELA U RAZMAKU VREMENA**

ZAVRŠNI RAD

Rijeka, 2020.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

**ODREĐIVANJE POLOŽAJA BRODA OPAŽANJEM
NEBESKIH TIJELA U RAZMAKU VREMENA**

**OBTAINING SHIP'S POSITION BY OBSERVATION OF
CELESTIAL BODIES IN TIME INTERVALS (RUNNING FIX)**

ZAVRŠNI RAD

Kolegij: Astronomska navigacija

Mentor: Doc. dr. sc. Đani Šabalja

Student: Stefan Jankoski

Studijski smjer: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112072876

Rijeka, rujan 2020

Student: Stefan Jankoski

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112072876

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom ODREĐIVANJE POLOŽAJA BRODA OPAŽANJEM NEBESKIH TIJELA U RAZMAKU VREMENA izradio samostalno pod mentorstvom doc. dr. sc. Đanija Šabalje

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 povezao s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Suglasan sam s trajnom pohranom završnog rada u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci te Nacionalnom repozitoriju Nacionalne i sveučilišne knjižnice.

Za navedeni rad dozvoljavam sljedeće pravo i razinu pristupa mrežnog objavljivanja:

- a) rad u otvorenom pristupu
- b) pristup svim korisnicima sustava znanosti i visokog obrazovanja RH
- c) pristup korisnicima matične ustanove
- d) rad nije dostupan

Student

Stefan Jankoski

SAŽETAK

Određivanje pozicije broda pomoću opažanje nebeskih tijela u razmaku vremena predstavlja jedna metoda odnosno način kako bi se dobio točan položaj broda u astronomskoj navigaciji.

U ovom radu obrađena je metoda opažanja Sunca u razmaku vremena i određivanja točne pozicije broda, te njena točnost i upotrebljivost danas. U prvom dijelu govori se općenito o astronomskoj navigaciji, objašnjen je pojam stajnice i osnove metode koje se koriste za određivanje pozicije. Drugi dio se osvrće na glavnu temu ovog rada, odnosno postupak određivanja položaja broda u razmaku vremena, te moguće greške ove metode. U trećem dijelu napravljena je usporedba između ove metode i ostale metode u astronomskoj navigaciji kao što su direktna i visinska metoda, odnosno prednosti i nedostaci.

Ključne riječi: astronomska navigacija, stajnica, određivanje pozicija broda, *Running fix*

SUMMARY

Obtaining a ship's position (*fix*) by observation of celestial bodies in time intervals, or commonly referred to as *running fix*, is one of the methods used in celestial navigation to determine one's position at sea.

In this thesis the main topic is a *running fix* method using the Sun as a celestial object for observation and determining the ship's position as well as the accuracy and its use today. The first part talks about celestial navigation in general, explaining the term line of position (LOP) and the main methods of position fixing today. The second part is the main topic and explains the *running fix* method including possible errors. The third part is actually a comparison between the *running fix* and other methods such as the direct and the intercept method including their advantages and disadvantages.

Keywords: celestial navigation, line of position, obtaining ship's position, *Running fix*

SADRŽAJ

SAŽETAK	I
SUMMARY	I
SADRŽAJ	II
1. UVOD.....	1
2. ODREĐIVANJE POLOŽAJA BRODA ASTRONOMSKIM PUTEM... 2	
2.1. POZICIJA ODREĐENA ISTODOBNIM OPAŽANJEM.....	5
2.2. POZICIJA ODREĐENA U RAZMAKU VREMENA.....	8
3. ODREĐIVANJE POLOŽAJA BRODA OPAŽANJEM NEBESKIH TIJELA U RAZMAKU VREMENA	9
3.1. POSTUPAK ODREĐIVANJA POZICIJE SA DVA OPAŽANJA SUNCA U RAZMAKU VREMENA.....	11
3.2. GREŠKE POZICIJE DOBIVENE OPAŽANJEM JEDNOG NEBESKOG TIJELA U RAZMAKU VREMENA.....	17
3.3. PRIMJER PRAKTIČNOG ZADATKA	21
4. USPOREDBA METODE ODREĐIVANJA POLOŽAJA U RAZMAKU VREMENA S OSTALIM METODAMA	26
4.1. POZICIJA ODREĐENA DIREKTNOM METODOM.....	26
4.2. POZICIJA ODREĐENA VISINSKOM METODOM.....	29
4.2.1. <i>Pozicija broda s tri ili četiri stajnice</i>	31
5. ZAKLJUČAK.....	36
LITERATURA	37
POPIS SLIKA	38

1. UVOD

Povijest pomorstva započinje hipotezom da je još prije tisuće godina primitivni čovjek koristio trupac kako bi prešao rijeku. Kasnije je ponovio prošlo iskustvo ali je koristio dugački štap kako bi upravljao trupcem. Budući da trupac nije bio stabilan, čovjek se sjetio povezati više trupaca zajedno i tako napravio prvi splav. Ubrzo ljudi su počeli prelaziti puno veće vodene površine nego što su rijeke, pa se tako rodilo pomorstvo, a samim time i navigacija.

Navigacija predstavlja osnovni zadatak pomorske plovidbe još od samih početaka. Naravno, u obalnoj plovidbi ljudi su koristili markantne objekte na obali, kao što su vrhovi, 'rtovi, svjetionici, kako bi odredili svoj položaj i nastavili plovidbu sa sigurnošću. Kada je riječ o otvorenom moru, onda su se služili Suncem i Sjevernom zvijezdom i tako određivali svoju geografsku širinu i orijentirali se u prostoru.

Promatranje nebeskih tijela su započeli drevni narodi još prije tisuće godina, a služili su se samo svojim očima. Stari Egipćani, Babilonci, a i drevni Grci, su oduvijek pratili kretanje nebeskih tijela, te izračunavali njihove orbite. Arapi su bili među prvima koji su usavršili mjerne instrumente poput astrolaba, kvadranta i slično. Tako su ljudi počeli primjenjivati i astronomiju kako bi odredili svoj položaj na Zemlji u odnosu na nebeska tijela. To su bili počeci astronomske navigacije. Kasnije, u Zlatnom dobu navigacije kada su pomorci otkrivali nove i nepoznate kontinente, astronomija se usavršila kao znanost, a talijanski i portugalski moreplovci su to vješto primjenjivali u praksi.

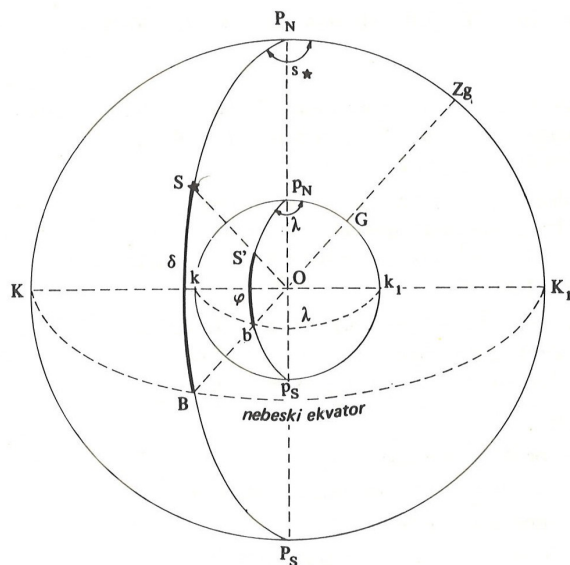
Kontinuirani razvoj ove grane donio je nove instrumente kao što su sekstant i kronometar, a i pouzdane metode za rješavanje osnovnog problema određivanja pozicije broda. Astronomska navigacija kao takva zadržala se skoro do kraja XX stoljeća kao osnovni način koji omogućuje pomorcima da dobiju svoj položaj u prostoru. Iako danas je aktualno dobivanje ovih podataka elektroničkim uređajima pomoću globalnih sustava za pozicioniranje, astronomska navigacija i dalje pruža jedan neovisan i dovoljno pouzdan način koji bi navigatoru ulio sigurnost u slučaju kvara elektronike. Stoga svaki dobar pomorac i navigator treba biti upoznat s metodama astronomske navigacije, te dobro vladati njima.

U ovom radu bit će obrađen jedan osnovni način određivanja položaja broda astronomskim putem koji se koristio još od davna vremena, a sada je usavršen kombinacijom ostalih metoda.

2. ODREĐIVANJE POLOŽAJA BRODA ASTRONOMSKIM PUTEM

Kako bi plovidba bila uspješna, navigator mora poznavati položaj svog broda na Zemlji. Što se tiče korištenje astronomske navigacije u svrhu određivanja položaja broda, navigator najprije mora poznavati sve bitne elemente tog cjelokupnog sustava. U nastavku su objašnjeni osnovni pojmovi i odnosi zemljinih i nebeskih elemenata odnosno koordinata, a sve u glavnu svrhu određivanja geometrijskog mjesta opažača.

Poznato je da postoji uska veza između mjesno ekvatorskih koordinata nebeskih tijela (mjesni satni kut i deklinacija) i koordinata na zemljinoj površini (geografska širina i dužina). Stoga lako se može izvršiti projekcija nebeskog tijela na zemljinoj površini. Kao što je prikazano na slici, prilikom ove projekcije, deklinacija nebeskog tijela S je izražena lukom BS na nebeskoj sferi, a njemu sukladno odgovara luk bS' na Zemlji iz čega se vidi da deklinacija odgovara geografskoj širini ($\varphi = \delta$). Analogno tome, luk K_1B na nebeskoj sferi odgovara luku k_1b na zemljinoj kugli, te Grinički satni kut nebeskog tijela odgovara geografskoj dužini ($\lambda = S$). Ova točka projekcije nebeskog tijela na zemljinoj površini naziva se subastralna točka (S').¹



Slika 1 Prikaz projekcije nebeskog tijela na površini Zemlje

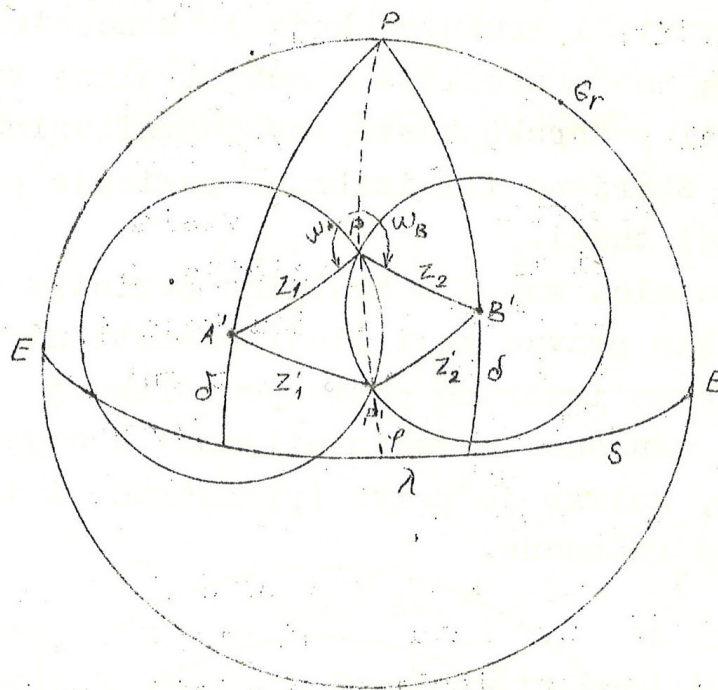
Izvor: Lipovac M. Š.: Astronomska navigacija, Udžbenik za mornaričke i pomorske škole, 2. Izdanje, Hidrografski institut Jugoslavenske ratne mornarice, Split, 1981, str. 284.

¹ Lipovac M. Š.: Astronomska navigacija, Udžbenik za mornaričke i pomorske škole, 2. Izdanje, Hidrografski institut Jugoslavenske ratne mornarice, Split, 1981, str. 284.

Geometrijsko mjesto opažača, odnosno broda, može biti definirano kružnicom, pravcem, hiperbolom, elipsom i raznih drugih matematičkih krivulja.² Sve ove crte koje zadovoljavaju određeni uvjet da se položaj broda nalazi na bilo kojoj točki te crte se nazivaju stajnice.³ Budući da za potrebe astronomske navigacije Zemlja je aproksimirana kuglom odnosno sferom, tako i stajnice su u biti kružnice.

Kružnica koja ispunjava uvjet stajnice se zove kružnica položaja i za nju je karakteristična činjenica što svi opažači koji se nalaze negdje na luku te kružnice, izmjerit će istu visinu nebeskog tijela. Sukladno tome, projekcija ove kružnice na nebeskoj sferi zove se kružnica jednakih visina. Radijus ove kružnice je zenitna udaljenost (komplement visine), a njeno središte se nalazi u samom nebeskom tijelu.

Da bi se odredila pozicija broda potrebne su najmanje dvije stajnice, te u njihovom presjecištu se nalazi brod. U astronomskoj navigaciji koriste se nebeska tijela, odnosno mjeri se njihova visina, a ponekad i azimut, kako bi se odredila stajnica.



Slika 2 Prikaz dviju kružnica položaja i njihova sjecišta

Izvor: Medanić, V.: Praktična navigacija II, Viša pomorska škola – Rijeka, Rijeka, 1966, str. 49.

² Čumbelić, P.: Astronomska navigacija II, Pomorski fakultet Dubrovnik Sveučilište u Splitu, Dubrovnik, 1990, str. 111.

³ Medanić, V.: Praktična navigacija II, Viša pomorska škola – Rijeka, Rijeka, 1966, str. 47,48.

U astronomskoj navigaciji metode koje se koriste za određivanje pozicije broda mogu se bazično podijeliti u dvije skupine:

- Izravne (direktne) metode,
- Neizravne metode⁴

Kod izravne metode pozicija broda je određena sjecištem dviju kružnice položaja. Kružnice se sijeku u dvije točke, ali kao točna pozicija se uzima ona koja približno odgovara zbrojenoj odnosno pretpostavljenoj poziciji. Ovaj zadatak bi se najlakše riješio grafički, crtanjem tih dviju kružnica položaja na globusu, međutim to na brodu nikako nije izvedivo zbog praktičnih razloga (za preciznost prikaza od $1M = 1mm$, globus bi trebao imati promjer od skoro 7 m). Stoga ovaj zadatak se rješava računskim putem, korištenjem jednadžbi izlučene iz astronomsko-nautičkih sfernih trokuta. Današnje doba u sklopu ove metode koristi se račun koji je predložio Charles T. Dozier⁵ polovicom prošlog stoljeća.

Kod neizravnih metoda, do koordinate pozicije broda dolazi se indirektno odnosno posredno, korištenjem pomoćnih parametara, a do rješenja se može doći grafički ili računski. Danas se skoro uvijek koristi visinska metoda (Marcq de Saint-Hilaireova⁶ metoda) koja se sastoji od određivanja dvaju pravaca kao stajnice, te u njihovom sjecištu se nalazi pozicija broda. Kut sjecišta (razlika azimuta nebeskih tijela) treba biti što bliže 90° , a nipošto manji od 30° kako bi se dobio točan položaj. Kod upotrebe ove metode najčešće se uzima više pravaca (tri ili četiri) da bi se poboljšala točnost. Upotreba više stajnica daje mogućnost za procjenu veličine sistemskih i slučajnih grešaka nastalih prilikom opažanja nebeskih tijela.⁷

Kada se kao stajnice koriste pravci, kao i u obalnoj navigaciji, astronomskim putem se pozicija broda može odrediti u „jednom trenutku” ili u razmaku vremena.

⁴ Čumbelić, P.: *Astronomska navigacija II*, Pomorski fakultet Dubrovnik Sveučilište u Splitu, Dubrovnik, 1990, str. 209.

⁵ Charles Thomasson Dozier (1879 - 1960), viši inženjer u Convair-Astronautics Division of General Dynamics Corporation, San Diego, California.

⁶ Adolphe – Laurent – Anatole de Blonde de Saint Hilaire (1832 - 1889), časnik francuske ratne mornarice, kasnije unaprjeđen u čin admirala zbog zasluga u navigaciji.

⁷ Medanić, V.: *Astronomska navigacija II*, Viša pomorska škola – Rijeka, Rijeka, 1968, str. 324.

2.1. POZICIJA ODREĐENA ISTODOBNIM OPAŽANJEM

Kada se govori o istodobnim opažanjem, valja naglasiti da dva nebeska tijela se ne mogu opaziti u istom trenutku od strane jedne osobe. To je moguće ukoliko opažanje izvršavaju dvije osobe, a treća osoba njih koordinira, odnosno očitava vrijeme s brodskog kronometra. Ovaj način je izvediv na brodovima gdje ima više časnika u straži (npr. putnički ili ratni brodovi), ali prilikom te situacije svaki od opažača sudjeluje s posebnom greškom u završnom računu iz razloga što niti sistemske, niti slučajne greške neće biti jednake. Ovo se događa jer se koriste dva sekstanta, a i greške navigatora (slučajne greške) će biti različite. Radi ovih razloga opažanje najčešće izvodi jedan časnik s istim sekstantom, pa stoga možemo reći da stvarna istodobna opažanja ne postoje u praksi.⁸ Međutim, ukoliko opažanje svih nebeskih tijela je odrađeno u razmaku vremena do dvije minute, te brod ima takvu brzinu da nije prevalio put veći od 1M, to se može smatrati istodobnim opažanjem. U ovom slučaju nema potrebe za prijenos stajnice.

U slučaju da brod između prvog i zadnjeg opažanja prevali put veći od 1M ili iz bilo kojeg razloga navigator je spriječen izvršiti opažanje u vremenskom razmaku od dvije minute, onda to se i dalje smatra istodobnim opažanjem međutim bit će potrebno svesti (prenijeti) stajnice za vrijeme zadnjeg opažanja. Prijenos se odvija na način da se prve stajnice paralelno pomiču u smjeru kursa za udaljenost prevaljenog puta između pojedinih opažanja. Ovaj vid zadataka se najčešće rješava grafički (na bijeloj ili Mercatorovoj karti), ali može se i računskim putem doći do prave pozicije broda (prilikom opažanja dva nebeska tijela) rješavanjem obrazaca iz loksodromskog trokuta koji se zatvara između stajnica i pravac azimuta druge stajnice tako što se odrede relativne koordinate ($\Delta\varphi$, $\Delta\lambda$).

Nadalje slijedi postupak, te primjer određivanja pozicije broda s dva istodobna opažanja nebeskih tijela.

1. Pomoću nebeske karte ili računski odabiru se nebeska tijela pogodna za opažanje s obzirom na poziciju, te s obzirom na to da li se opažanje odvija u jutarnjem ili u večernjem sumraku,

⁸ Medanić, V.: *Astronomska navigacija II*, Viša pomorska škola – Rijeka, Rijeka, 1968, str. 326.

2. U nautičkom sumraku pronalaze se odabrana nebeska tijela i mjeri se njihova visina. Dobra praksa nalaže da se u jutarnjem sumraku najprije opažaju zvijezde slabijeg sjaja, a zatim sjajnije, dok u večernjem vrijedi obrnuto,
3. Zapisuje se vrijeme zadnjeg opažanja i određuje se zbrojena pozicija koja odgovara tom vremenu,
4. Izračunaju se visine i azimuti oba nebeska tijela koristeći u poučku koordinate zbrojene pozicije,
5. Izmjerene visine se ispravljaju za određene korekcije (depresija horizonta, tlak, temperatura, greške sekstanta) i odredi se razlika ispravljene visine i računane visine (ΔV),
6. Obe stajnice se zatim ucrtavaju i ako je potrebno svode se na isto vrijeme opažanja (najčešće prva stajnica se svodi na vrijeme druge),
7. Određuje se prava pozicija broda grafički ili računski.⁹

Kao što je bilo spomenuto prije u ovom radu, računski se mogu pronaći relativne koordinate po formulama, a zatim se iz zbrojene pozicije nalaze koordinate pravog položaja.

$$d\varphi = \frac{dV_1 \sin \omega_2 - dV_2 \sin \omega_1}{\sin(\omega_2 - \omega_1)}$$

$$d\lambda = \frac{dV_2 \cos \omega_1 - dV_1 \cos \omega_2}{\cos \varphi \sin(\omega_2 - \omega_1)}$$

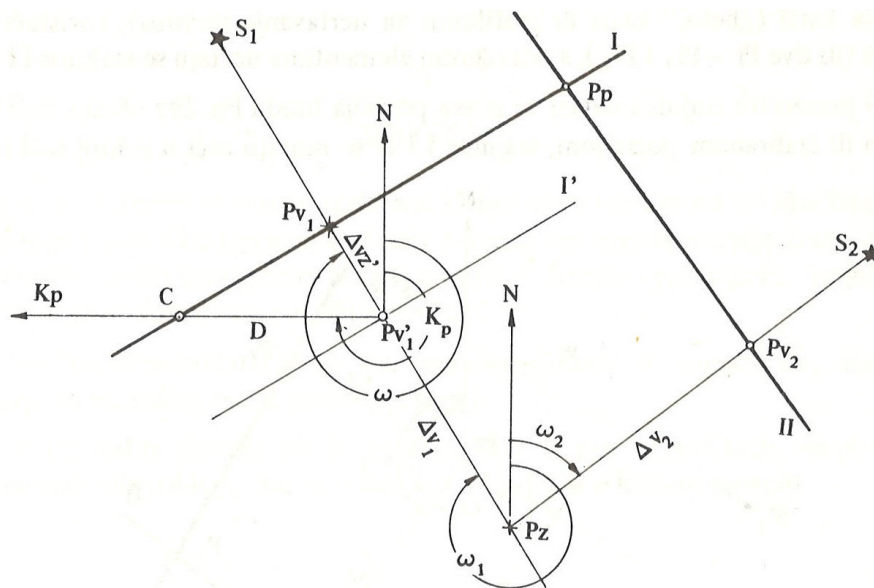
U ovim formulama relativne koordinate su označene malim slovom d umjesto s grčkim slovom Δ iz razloga što ove formule su izvedene diferenciranjem, pa ujedno i vrijednosti su diferencijali. Zbog toga u praksi ovi odnosi se mogu koristiti ukoliko spomenute veličine nisu veće od 1° .¹⁰

Grafička metoda je prikazana na slici. Na karti se ucrtava zbrojena pozicija (Pz), te od nje se ucrtavaju stajnice prema izračunatim elementima ($\Delta V_{1,2}$ i $\omega_{1,2}$). Budući da je brod

⁹ Medanić, V.: Astronomska navigacija II, Viša pomorska škola – Rijeka, Rijeka, 1968, str. 327, 328.

¹⁰ Čumbelić, P.: Astronomska navigacija II, Pomorski fakultet Dubrovnik Sveučilište u Splitu, Dubrovnik, 1990, str. 216, 217.

prevalio određeni put (D) za vremensku razliku između prvog i drugog opažanja ($T_1 - T_2$), iz prve rektifikacijske točke (Pv_1) ucrtava se pravi kurs broda (Kp) i na njemu se nanosi prevaljeni put (D), te pritom se dobiva druga rektifikacijska točka (C). Zatim se prva stajnica (I') paralelno prenosi u točku C i obilježava se kao I , te u presjecištu obje stajnice (I i II) nalazi se prava pozicija broda (Pp).



Slika 3 Grafički prikaz određivanja pozicije broda s dvije stajnice

Izvor: Lipovac M. Š.: Astronomska navigacija, Udžbenik za mornaričke i pomorske škole, 2. Izdanje, Hidrografski institut Jugoslavenske ratne mornarice, Split, 1981, str. 335.

Za ovu radnju moguće je koristiti kombinaciju zvijezde i planete ukoliko se radi u nautičkom sumraku, a danju se mogu koristiti Sunce i Mjesec, s time da je najbolje Mjesec opažati u blizini prve ili zadnje četvrti jer tada je i kut između azimuta dovoljno velik, a i rubovi dobro ocrtni.¹¹

¹¹ Medanić, V.: Astronomska navigacija II, Viša pomorska škola – Rijeka, Rijeka, 1968, str. 327.

2.2. POZICIJA ODREĐENA U RAZMAKU VREMENA

Kada se govori o poziciji koja je određena u razmaku vremena, podrazumijeva se da je između mjerenja prve i druge stajnice prošao veći vremenski period. Kao i u terestričkoj navigaciji, astronomskim putem se ovaj postupak može odraditi mjerenjem jednog ili dva različita objekta (nebeska tijela). Ovaj način se primjenjuje u praksi kada na horizontu nema dva objekta koja su vidljiva istovremeno ili njihova razlika azimuta nije dovoljno velika da bi se dobio točan položaj. Često to može biti slučaj smanjene vidljivosti, prisutnost naoblake koja sakriva određena nebeska tijela, te plovidba kada se s otvorenog mora brod približava obali. Pozicija određena na ovaj način naziva se zbrojeno-opažena pozicija ili često se koristi engleski termin “*Running fix*“.¹²

Kada je na horizontu vidljiv samo jedan objekt, odnosno samo jedno nebesko tijelo, moguće je odrediti jednu stajnicu. Postupak se nastavlja tako što se nakon određenog vremena opet mjeri i određuje nova stajnica tog istog nebeskog tijela, a zatim se prva stajnica paralelno prenosi kako bi se dobilo sjecište s novom stajnicom. U astronomskoj navigaciji Sunce je često jedino nebesko tijelo koje koristimo za rješavanja ovog problema, a postupak i načini biti će detaljno objašnjeni u sljedećem poglavlju.

Također ovaj način određivanja položaja je izvediv i mjerenjem dvaju nebeskih tijela. Procedura je ista kao kad se opaža jedno tijelo, samo što u ovom slučaju svaka od dvije stajnice pripada različitom nebeskom tijelu, a opet kako bi se dobilo njihovo sjecište (pozicija broda), prva stajnica se prenosi paralelno za vrijeme prevaljenog puta. Ako se koriste dva nebeska tijela vrijedi isto pravilo da se njihovi azimuti trebaju razlikovati za najmanje 30°.¹³

Ovakav pristup rješavanja osnovnog navigacijskog zadatka, a to je određivanje položaja broda u nekom trenutku, nije pouzdan u tu mjeru kao u slučaju kada navigator ima više dostupnih objekata, međutim daleko je bolje koristiti ga, nego li oslanjati se samo na zbrojenu navigaciju. Prilikom primjenjivanja ovog načina u praksi, krucijalnu ulogu u točnosti pozicije igraju kurs i brzina broda, stoga je potrebno da navigator njih konstantno prati i osigurati da njihova promjena bude koliko je moguće minimalna.

¹² Krstulović L. Stajnica u navigaciji, završni rad, Pomorski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split, 2016

<https://zir.nsk.hr/islandora/object/pfst%3A50/datastream/PDF/view>

¹³ Medanić, V.: Praktična navigacija II, Viša pomorska škola – Rijeka, Rijeka, 1966, str. 58.

3. ODREĐIVANJE POLOŽAJA BRODA OPAŽANJEM NEBESKIH TIJELA U RAZMAKU VREMENA

U prijašnjem poglavlju se razmatrala osnovna problematika određivanja položaja broda u razmaku vremena. Zaključak je da se u praksi definitivno najviše koristi Sunce kao nebesko tijelo pomoću kojeg rješavamo ovaj zadatak. Razlog tome je što po danu jedino Sunce je dostupno za opažanje. Iako ima dana kada Mjesec je isto tako dobro vidljiv, ne koristi se tako često u navigaciji jer rad s Mjesecom je dosta specifičan (kada je linija koja dvoji tamnu od svjetlu stranu približno okomita na horizont, rubovi često nisu dobro ocrtani, te može doći do velike pogreške prilikom mjerenja visine, a sukladno tome i prilikom računanja položaja). S druge strane, kada je vidljiv veći broj nebeskih tijela (nakon zalaska ili prije izlaska Sunca), ograničavajući faktor je vrijeme trajanja nautičkog sumraka.

Nautički sumrak je razdoblje kada se Sunce nalazi od 6° do 12° ispod horizonta, te u tom periodu je moguće opažanje nebeskih tijela s klasičnim sekstantom (vidljivi su i horizont i nebeska tijela). Trajanje ovog perioda ovisi o godišnjem dobu i o geografskoj širini opažača, međutim, to je ipak kratak period da bi se dogodila značajna promjena azimuta zvijezde ili planeta koja je uvjet za točnost položaja. Moguće su i kombinacije na način da se u zoru opažaju zvijezde, a kasnije Sunce ili Sunce prije zalaska, pa onda zvijezde u sumraku, pa bi to bio slučaj opažanja dva različita nebeska tijela u razmaku vremena.

Kada se opaža Sunce u razmaku vremena, pojavljuju se dva zahtjeva koja su zapravo kontradiktorna:

1. Vremenski razmak između prvog i drugog opažanja treba biti što kraći kako bi se minimizirala greška koja se javlja prilikom prijenosa stajnica.
2. Vremenski razmak treba biti dovoljno velik kako bi se postigla veća razlika azimuta. Razlika azimuta bi trebala biti barem 30° , u suprotnom greška položaja bi bila velika.¹⁴

Budući da se ova dva zahtjeva ne mogu zadovoljiti u potpunosti, treba se odabrati optimalno rješenje, odnosno opažati Sunce u periodu kada ono najbrže mijenja azimut.

¹⁴ Čumbelić, P.: Astronomska navigacija II, Pomorski fakultet Dubrovnik Sveučilište u Splitu, Dubrovnik, 1990, str. 218.

Da bi se postigla ta veća razlika azimuta u što kraćem vremenu, najbolje je prvo opažanje Sunca izvršiti malo prije prolaska kroz meridijan, a drugo malo kasnije.¹⁵

Preciznije, to bi bilo nekih 30° prije prolaska Sunca kroz meridijan i 30° nakon prolaska kroz meridijan. Do ovaj zaključak da će promjena azimuta biti najveća baš u blizini meridijana može se doći preko formule:

$$d\omega = ds \tan \omega \cot s$$

Do ove formule se dolazi diferenciranjem glavnu formulu za azimut (izlučenu iz prvog astronomsko-nautičkog sfernog trokuta) po svim varijablama. Iz ove relacije vrijedi da, što je satni kut (s) manji, to je $\cot s$ veći. Za prolaz kroz meridijan ($s = 0^\circ$), $\cot s = \pm\infty$, što ukazuje na to da u tom trenutku mijenja se predznak azimuta (prelazi s istoka na zapad). Ovdje se mora uvesti jedna aproksimacija zato što je gornji izraz neodređen jer kada je $s = 0^\circ$, tada je i $\omega = 0^\circ$ (ili $\omega = 180^\circ$). Aproksimiramo da je, za male kutove, funkcija tangens približno jednaka funkciji sinus ($\tan \omega \approx \sin \omega$). Nadalje, za tijelo u trenutku prolaska kroz meridijan vrijedi odnos: $V = 90^\circ - (\varphi - \delta)$, pa se gore navedena formula može zapisati u sljedećem obliku:

$$d\omega = ds \frac{\cos \delta \cos s}{\sin(\varphi - \delta)}$$

Kada se u ovom izrazu ubace vrijednosti geografske širine (φ) i deklinacije (δ), izraz ima maksimum za $s = 0^\circ$.¹⁶

Ranije, prije nego što se počela upotrebljavati St. Hilaireova metoda, Sunce se obično opažalo u prvom vertikalalu, pa se tako računala dužina i azimut. Drugo opažanje bi bilo u prolasku Sunca kroz gornji meridijan, pa se tako računala geografska širina. Nakon uvođenja St. Hilaireove metode pojavila se mogućnost da se Sunce može opažati u bilo kojem trenutku ali se treba paziti da gore naveden uvjet što se tiče razliku azimuta od 30° bude ispunjen.¹⁷ Sunce se može opažati u prvom vertikalalu, najvećoj digresiji ili u trenutku prolaska kroz meridijan. Može se opažati nakon izlaza čim mu visina bude veća od 10°, a zatim opet u meridijanu. Ovo se može raditi i prije zalaska Sunca, također kada mu visina nije ispod 10°, a onda u sumraku se može opažati neka zvijezda ili planet u povoljnom azimutu kao druga

¹⁵ Lipovac M. Š.: Astronomska navigacija, Udžbenik za mornaričke i pomorske škole, 2. Izdanje, Hidrografski institut Jugoslavenske ratne mornarice, Split, 1981, str. 344.

¹⁶ Čumbelić, P.: Astronomska navigacija II, Pomorski fakultet Dubrovnik Sveučilište u Splitu, Dubrovnik, 1990, str. 218.

¹⁷ Medanić, V.: Astronomska navigacija II, Viša pomorska škola – Rijeka, Rijeka, 1968, str. 324, 325.

stajnica. Budući da postoji više kombinacija, odluka navigatora je koji redosljed opažanja će primijeniti u praksi u ovisnosti o položaju, te o vremenskim uvjetima.

3.1. POSTUPAK ODREĐIVANJA POZICIJE SA DVA OPAŽANJA SUNCA U RAZMAKU VREMENA

Nadalje, bit će navedeno od čega se sastoji dobar dnevni rad navigatora što se tiče određivanja pozicije broda u astronomskoj navigaciji, međutim, bez razlike koju kombinaciju je on izabrao, postupak opažanja Sunca se uvijek svodi na izvođenje sljedećih koraka:

1. Navigator treba pripremiti sekstant i provjeriti korekciju indeksa,
2. Kronometar također treba biti pripremljen, te njegovo stanje poznato,
3. Izvršiti opažanje Sunca (jedno do tri opažanja), uobičajeno donjeg ruba, te evidentirati vrijeme kronometra za trenutak opažanja,
4. Provjerava se stanje brzinomjera i određuje se zbrojena pozicija broda,
5. Izračunati visinu i azimut pomoću koordinata zbrojene ili izabrane pozicije,
6. Ispraviti opaženu visinu za različite korekcije i naći razliku između ispravljene i izračunate visine (ΔV),
7. Računski ili grafički odrediti koordinate rektificirane točke,
8. Nakon određenog vremena, odnosno kada je Sunce promijenilo azimut za najmanje 30° , izvršiti ponovno opažanje Sunca ponavljanjem postupka koji je opisan u točki 3,
9. Paralelno prenijeti prvu stajnicu na trenutak drugog opažanja u smjeru kursa i za udaljenost koju je brod prevalio između oba opažanja,
10. Izračunati visinu i azimut pomoću koordinata pomaknute rektifikacijske točke ili s izabranom pozicijom,
11. Ispraviti opaženu visinu za određene korekcije, te naći razliku između ispravljene i izračunate visine (ΔV),
12. Grafički ili računski odrediti koordinate pravog položaja broda.¹⁸

Ovaj zadatak je moguće riješiti grafički ili računskim putem, a oba načina bit će prikazana na konkretnom primjeru praktičnog zadatka. U praksi se najčešće rješava grafički

¹⁸ Medanić, V.: Astronomska navigacija II, Viša pomorska škola – Rijeka, Rijeka, 1968, str. 325.

na bijeloj ili Mercatorovoj karti, dok se računski samo određuju elementi kako bi se mogle nacrtati stajnice.¹⁹

Dnevni rad navigatora koji koristi astronomsku navigaciju za određivanja pozicije broda, svodi se na sljedećem rasporedu: određivanje prve stajnice prilikom prijepodnevnog opažanja Sunca i prijenos najpovoljnije stajnice jutarnjeg opažanja (razlika azimuta treba biti od 30° do 120°), nakon toga opaža se Sunce prilikom prolaska kroz gornji meridijan i određuje se geografska širina, te na nju se prenosi stajnica prijepodnevnog opažanja. U poslijepodnevnim satima se ponovo opaža Sunce i na tu stajnicu se prenosi stajnica dobivena u meridijanu, a ako iz nekog razloga nije moguće istodobno određivanje položaja u večernjem sumraku, onda se opaža jedno nebesko tijelo i prenosi se stajnica poslijepodnevnog opažanja.²⁰

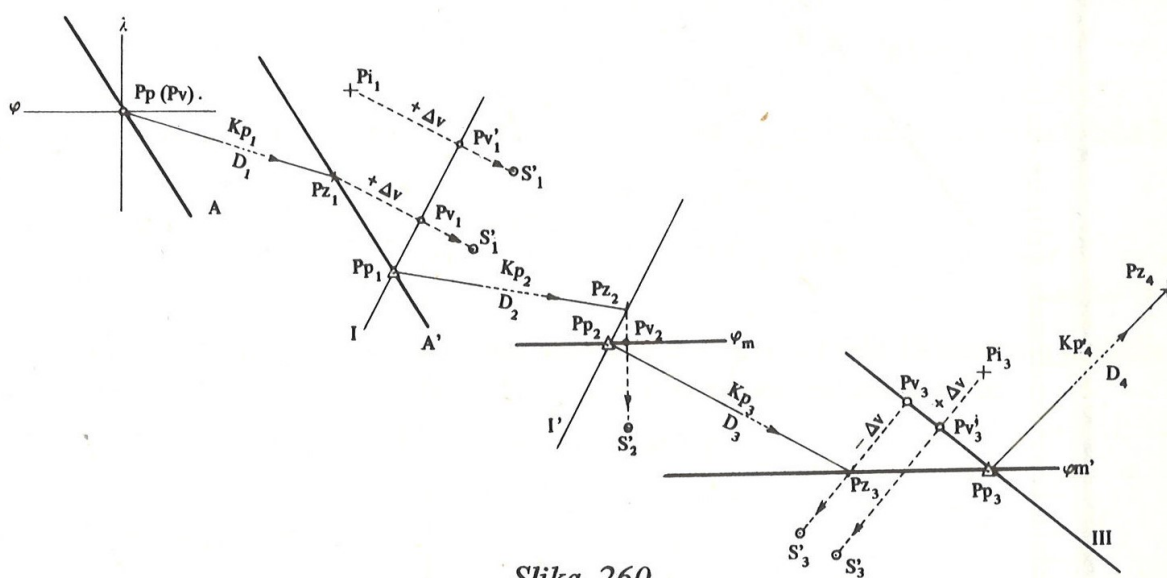
Koraci dobrog dnevnog rada:

1. Na karti se od zadnje pozicije (P_p) ucrtava pravi kurs (K_{p_1}) i nanosi se prevaljeni put (D_1) koji je brod prevalio od te pozicije do trenutka prijepodnevnog opažanja Sunca,
2. Određuje se zbrojena pozicija, odnosno rektifikacijska točka (P_{z_1}) i određuju se elementi za crtanje prve stajnice (I). Iz P_{z_1} nanose se elementi prve stajnice i ista se ucrtava na karti, a ukoliko postoji povoljna stajnica jutarnjeg opažanja (A), ona se prenosi paralelno u rektifikacijsku točku P_{z_1} i u sjecištu dviju stajnica dobiva se prava pozicija broda (P_{p_1}),
3. Od dobivene prave pozicije (P_{p_1}) ucrtava se kurs (K_{p_2}) i udaljenost (D_2), koju brod prevali do sljedećeg opažanja Sunca pri prolasku kroz gornji meridijan. U novoj rektifikacijskoj točki (P_{z_2}) prenosi se prva stajnica (I),
4. Pomoću visine Sunca izmjerene u trenutku prolaska kroz gornji meridijan određuje se geografska širina (φ_m). Na karti se ucrtava paralela geografske širine (φ_m) i u sjecištu s prenesenom stajnicom (I) dobiva se podnevna pozicija broda (P_{p_2}),

¹⁹ Lipovac M. Š.: Astronomska navigacija, Udžbenik za mornaričke i pomorske škole, 2. Izdanje, Hidrografski institut Jugoslavenske ratne mornarice, Split, 1981, str. 345.

²⁰ Lipovac M. Š.: Astronomska navigacija, Udžbenik za mornaričke i pomorske škole, 2. Izdanje, Hidrografski institut Jugoslavenske ratne mornarice, Split, 1981, str. 344.

5. Od podnevne pozicije (Pp_2) ponovo se ucrtava kurs broda (Kp_3) i nanosi udaljenost (D_3) koju brod prevali do sljedećeg opažanja Sunca u poslijepodnevnom satima,
6. S novom rektifikacijskom točkom (Pz_3) određuju se elementi za crtanje treće stajnice (III). U Pz_3 prenosi se meridijanska stajnica (φ_m) i ucrtava se treća stajnica (III). Njihovo sjecište daje pravu poziciju (Pp_3),
7. Od zadnje pozicije (Pp_3) ucrtava se kurs (Kp_4) i prevaljeni put (D_4) do sljedećeg opažanja u sumraku.²¹



Slika 260

Slika 4 Grafički prikaz dnevnog rada prilikom određivanja položaja u razmaku vremena

Izvor: Lipovac M. Š.: Astronomska navigacija, Udžbenik za mornaričke i pomorske škole, 2. Izdanje, Hidrografski institut Jugoslavenske ratne mornarice, Split, 1981, str. 345.

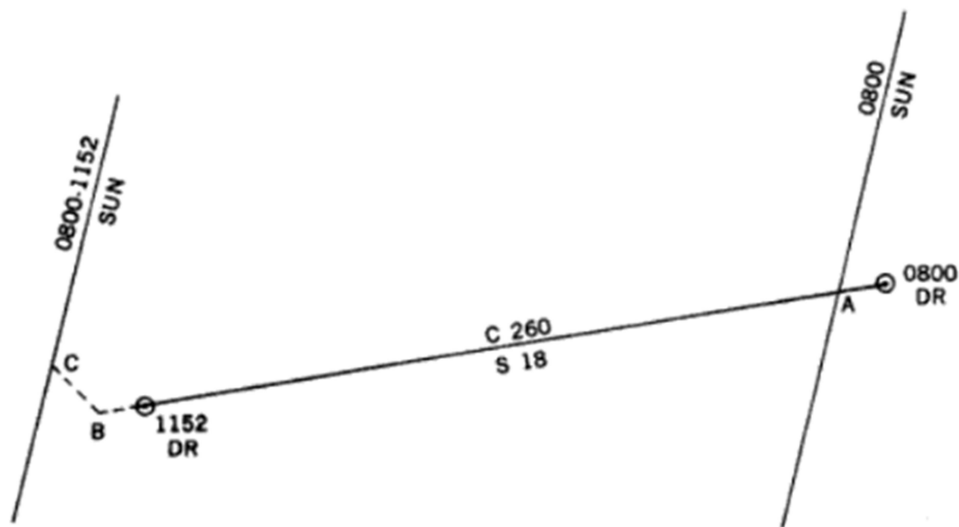
Vremenski uvjeti, kao što je gusta naoblaka, mogu onemogućiti jedno ili više ovih opažanja, ali i s jednom stajnicom može se dobiti vjerojatna pozicija. Današnje doba pozicija broda je uvijek dostupna elektronskim putem, pa kombinacija elektronske pozicije i stajnice dobivene pomoću nebeska tijela dati će točniju poziciju nego zbrojene pozicije. Zato je uvijek

²¹ Lipovac M. Š.: Astronomska navigacija, Udžbenik za mornaričke i pomorske škole, 2. Izdanje, Hidrografski institut Jugoslavenske ratne mornarice, Split, 1981, str. 344, 345.

preporučljivo koristiti sva navigacijska sredstva i uspoređivati dobivene podatke te zabilježiti greške.

Morske struje, odnosno vjetar i valovi također mogu negativno utjecati na točnost položaja. Naime, što je vremenski razmak između dva opažanja veći, to je veća vjerojatnost greške u određivanju druge rektifikacijske točke (zbrojena pozicija u vrijeme drugog opažanja). Dobar navigator bi uvijek trebao uzeti u obzir jačinu i djelovanje morskih struja u ovisnosti o području u kojem se odvija plovidba, te sukladno primijeniti korekcije u računu pozicije.

Kompensacija za djelovanje morske struje, odnosno zanos, prilikom prijenosa stajnice može se odrediti rješavanjem jednostavnog vektorskog dijagrama pomoću kojeg se izračunavaju kurs i brzina broda kroz vodu. Alternativna metoda je izvršiti prijenos stajnice bez korekcija za zanos, a zatim još jednom prenijeti stajnicu u smjeru struje, za udaljenost jednaka umnošku brzine struje i vremena proteklog između dva opažanja. Ovaj način je prikazan na donjoj slici.²²



Slika 5 Prijenos stajnice s kompenzacijom za zanos bez određivanja kursa i brzina broda kroz vodu

Izvor: Bowditch N. American Practical Navigator, An Epitome of Navigation, L.L.D, Defense Mapping Agency Hydrographic/Topographic Center, Washington, 1984, str. 471.

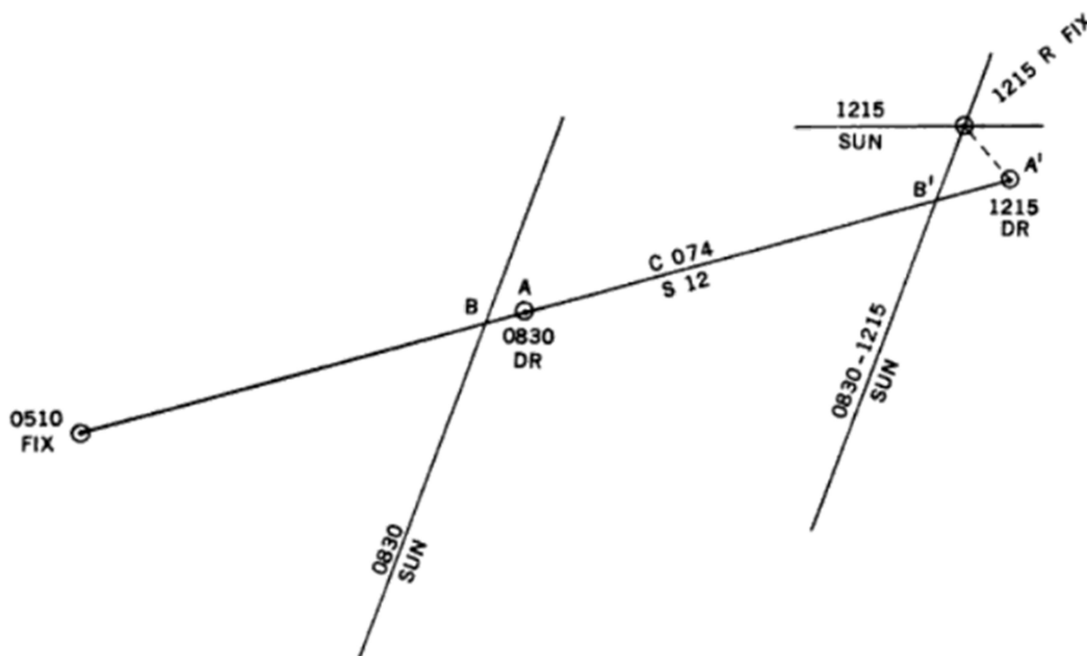
²², Bowditch N. American Practical Navigator, An Epitome of Navigation, L.L.D, Defense Mapping Agency Hydrographic/Topographic Center, Washington, 1984, str. 471.

Udaljenost AB je jednaka prevaljenom putu između opažanja izvršenih u 08:00 i 11:52. Smjer BC je procijenjeni smjer djelovanja morske struje, a duljina BC je udaljenost za koja bi brod bio pomaknut u tom smjeru za vrijeme proteklo između oba opažanja (ovisi o brzini struje).

Postoji i treća metoda koja daje precizne rezultate čak i u slučaju kada nije dostupna pouzdana procjena djelovanja morske struje, ali pod uvjetom da:

1. Nekoliko sata prije opažanja je bila određena dobra (pouzdana) pozicija,
2. Prosječno djelovanje (smjer i brzina) morske struje u vremenu između te pozicije i pozicije prvog opažanja se nastavlja do trenutka kada se treba izvršiti prijenos stajnica.

Ovaj način je prikazan na sljedećoj ilustraciji.



Slika 6 Prijenos stajnica bez prethodnih poznavanja o struji

Izvor: Bowditch N. American Practical Navigator, An Epitome of Navigation, L.L.D, Defense Mapping Agency Hydrographic/Topographic Center, Washington, 1984, str. 472.

Na skici je prikazana pozicija dobivena u jutarnjem sumraku u 05:10. Brod se kreće u kursu 074° , brzinom od 12 čvorova i opaža Sunce dva puta. Prvo opažanje je u 08:30, a drugo u

12:15, te planira se prijenos stajnice prvog opažanja kako bi se u 12:15 dobila pozicija broda određena u razmaku vremena (Running fix). Kako bi se stajnica prvog opažanja prenijela točnije, pretpostavlja se da udaljenost AB raste proporcionalno s vremenskim intervalom od jutarnjeg opažanja. Taj interval do prvog opažanja Sunca iznosi 3^h20^m , a od prvog do drugog opažanja iznosi 7^h05^m . Slijedi:

$$A'B' = AB \frac{7^h05^m}{3^h20^m} = AB \times 2,1$$

Stajnica se paralelno prijenosi iz B u B' , a pozicija broda dobiva se u sjecištu te stajnice i stajnice od 12:15. Smjer struje koja je djelovala u intervalu od 05:10 do 08:30 je smjer od A' do pozicije broda dobivene u 12:15, a brzina struje je jednaka količniku te udaljenosti i vremenu (7^h05^m). Ako bi se povukao pravac od jutarnje pozicije do pozicije broda u 12:15 (na slici taj pravac nije prikazan), taj pravac predstavlja kurs kroz vodu od 05:10 do prvog opažanja u 08:30, a duljina te linije podijeljena s proteklom vremenu (7^h05^m) daje brzinu kroz vodu do 08:30.

U ovom slučaju točke B i B' ne moraju biti na presjecištu stajnica i liniju kursa već na bilo kojoj točki tih stajnica, a linija $A'B'$ se crta paralelno s linijom AB . Promjene kursa i brzine nemaju utjecaj na rješenje problema sve dok su $A'B'$ i AB paralelni.

Moguće su i drukčije varijacije. Prikladno rješenje bi bilo odrediti udaljenost od jutarnje pozicije do točke B , i podijeliti ju s proteklom vremenu kako bi se dobila procijenjena brzina (uzimajući kao pretpostavku da je rektifikacijska točka B položaj broda u vrijeme opažanja), a onda tu brzinu iskoristiti prilikom prijenosa stajnice. Ova solucija se ne treba primjenjivati bez korekcija ukoliko je brod mijenjao kurs i brzinu između prve i druge rektifikacijske točke. Također prilikom upotrebe ove metode treba biti oprezan jer ukoliko postoji greška jutarnje pozicije ili greška prilikom prvog opažanja, te greške se povećavaju proporcionalno s proteklom vremenom. Dakle, ako udaljenost AB ima grešku od 1M, onda $A'B'$ imat će grešku od 2,1M.²³

²³Bowditch N. American Practical Navigator, An Epitome of Navigation, L.L.D, Defense Mapping Agency Hydrographic/Topographic Center, Washington, 1984, str. 471, 472.

3.2. GREŠKE POZICIJE DOBIVENE OPAŽANJEM JEDNOG NEBESKOG TIJELA U RAZMAKU VREMENA

Navigacija se oduvijek smatrala vještinom odnosno sposobnost vođenja broda od točke polaska do toče odredišta. Međutim, s vremenom ona postaje i znanost, pa zahtjeva temeljni pristup i korištenje znanstvenih metoda. Astronomska navigacija podliježe različitim greškama zbog raznih aproksimacija, ali i zbog formula koje se koriste prilikom rješavanja problema. U praktičnoj navigaciji, a pogotovo kada se govori o astronomskoj navigaciji koja služi za orijentiranje na otvorenom moru, možemo reći da se ne zahtijeva ekstremna točnost, ali uvijek je dobro znati koje su greške koje mogu utjecati na dobiveni položaj.

Navigacijske greške se mogu definirati kao odstupanja od standarda pojedinih veličina koje se javljaju kao varijable i parametri u navigacijskim sustavima. Kada se govori o standardu, podrazumijeva se prava ili srednja vrijednost tih veličina i to u uvjetima koji se mijenjaju.²⁴

Glavna podjela grešaka na osnovu njihova karaktera i struktura samih grešaka je u dvije skupine:

- Sistemske greške,
- Slučajne greške.

Sistemske greške su greške koje su određene vremenski i prostorno u zadanom sustavu. Karakterizira ih stalnost i javljaju se kao posljedice nekog uzroka, pa se zato mogu vrlo često točno utvrditi i otkloniti. U ovim greškama spadaju greške mjernih instrumenata koje su najčešće konstantne ili se vrlo lako mogu odrediti odnosno ispraviti, pa se više i ne tretiraju kao greške već kao korekture.

Slučajne greške su posljedica više zasebnih uzroka koji imaju različito djelovanje. Za razliku od sistemskih one su nepredvidive (i po veličini i po predznaku) i imaju karakter slučajne varijable. U ovim greškama spadaju greške navigatora, te atmosferski uvjeti (npr. greške u očitavanju mjernih instrumenata, greške u izmjerenoj visini zbog gibanja broda na valovima i

²⁴ Čumbelić, P.: Astronomska navigacija II, Pomorski fakultet Dubrovnik Sveučilište u Splitu, Dubrovnik, 1990, str. 242.

zbog atmosferskih uvjeta kada je crta horizonta nejasna, greška u depresiji također kod valovitog mora zbog promjene visine oka opažača i slično).²⁵

Kada se govori o greškama prilikom određivanja položaja broda jednim nebeskim tijelom u razmaku vremena valja naglasiti da svaka stajnica sadrži ukupnu grešku koja je zbroj slučajne i sistemske greške, a osim toga javljaju se greške kursa i prevaljenog puta, odnosno zbrojene pozicije.

Srednja kvadratna greška prve stajnice (ε_1) ovisit će o ukupne greške te stajnice ($\varepsilon\Delta V_1$) i greške prijenosa zbrojene pozicije (εPz):

$$\varepsilon_1 = \pm\sqrt{\varepsilon^2\Delta V_1 + \varepsilon^2 Pz}$$

Ovo vrijedi i za drugu stajnicu, pa stoga srednja kvadratna greška zbrojeno-opažene pozicije iznosi:

$$\varepsilon Pv = \pm\frac{\sqrt{\varepsilon^2\Delta V_1 + \varepsilon^2\Delta V_2 + \varepsilon^2 Pz}}{\sin \alpha}$$

Gdje je α oštri kut što ga zatvaraju stajnice odnosno razlika azimuta ($\alpha = \omega_2 - \omega_1$).

Srednja kvadratna greška zbrojene pozicije u prijenosu stajnica ovisi o srednje kvadratne greške u prevaljenom putu (εD) i kursu u kojem je brod plovio (εK) i od razlike azimuta prve stajnice i kursa broda. Računa se po sljedećoj formuli:

$$\varepsilon Pz = \pm\sqrt{\varepsilon_D^2 \cdot \cos^2(\omega_1 - Kp) + \varepsilon_K^2 \cdot (\omega_1 - Kp)}$$

Ukoliko se pretpostavi da su greške prve i druge stajnice iste i jednaki su nuli, onda srednja kvadratna greška zbrojeno-opažene pozicije se može zapisati na sljedeći način:

$$\varepsilon Pv = \pm\varepsilon Pz \cdot \frac{1}{\sin \alpha}$$

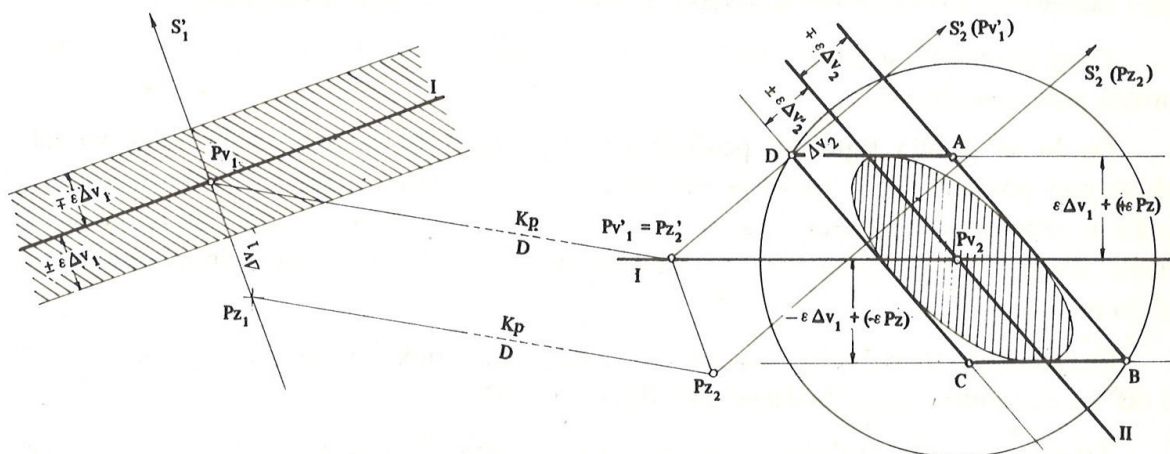
$$\varepsilon Pv = \pm\sqrt{\varepsilon_D^2 \cdot \cos^2(\omega_1 - Kp) + \varepsilon_K^2 \cdot (\omega_1 - Kp)} \cdot \frac{1}{\sin \alpha}$$

²⁵ Čumbelić, P.: Astronomska navigacija II, Pomorski fakultet Dubrovnik Sveučilište u Splitu, Dubrovnik, 1990, str. 244, 245.

Analizom ove formule dolazi se do zaključka da greška pozicije bit će najmanja pri razlici azimuta od 90° .²⁶

Ovom formulom je objašnjen zahtjev o točnosti, da sjecište stajnica treba biti što bliže 90° , međutim to je u praksi teško izvedivo jer da bi se postigla takva razlika azimuta potrebno je puno vremena, a to vrijeme će povećati drugi član ove formule a s time i povećati grešku pozicije. Zato se traži idealan kompromis između ova dva kontradiktorna zahtjeva, a to je da razlika azimuta bude između 35° i 60° , a proteklo vrijeme između oba opažanja bude od 1,5 do 4 sata.²⁷

Ove formule su izvedene iz grafičkog prikaza presjeka dviju stajnica. Na sljedećoj ilustraciji je prikazan postupak određivanja poligona grešaka, odnosno paralelograma neizvjesnosti (površina u kojoj se može nalaziti pravi položaj broda), u slučaju opažanja jednog nebeskog tijela u razmaku vremena.



Slika 7 Grafički prikaz greške položaja opažanjem jednog nebeskog tijela u razmaku vremena

Izvor: Lipovac M. Š.: Astronomska navigacija, Udžbenik za mornaričke i pomorske škole, 2. Izdanje, Hidrografski institut Jugoslavenske ratne mornarice, Split, 1981, str. 361.

Na slici vidimo da prva stajnica (I) daje pojas pozicija zbog slučajnih grešaka ($\epsilon\Delta v_1$). Budući da ove greške se ne mogu odrediti niti po predznaku niti po veličini, pretpostavlja se

²⁶ Lipovac M. Š.: Astronomska navigacija, Udžbenik za mornaričke i pomorske škole, 2. Izdanje, Hidrografski institut Jugoslavenske ratne mornarice, Split, 1981, str. 360, 361.

²⁷ Lipovac M. Š.: Astronomska navigacija, Udžbenik za mornaričke i pomorske škole, 2. Izdanje, Hidrografski institut Jugoslavenske ratne mornarice, Split, 1981, str. 361.

da stajnica, zbog izvjesnu veličinu greške, može biti paralelno pomaknuta po pravcu azimuta u oba smjera.²⁸ Brod plovi određeno vrijeme u kursu (K_p) i prevali neku udaljenost (D). Prijenosom stajnice I u rektifikacijsku točku, odnosno zbrojenu poziciju (Pz_2) pojas pozicija će se proširiti zbog sistemskih grešaka Pz (greške kursa i prevaljenog puta). Drugo opažanje daje drugu stajnicu (II) sa širinom pojasa zbog greške $\epsilon\Delta V_2$. Ova dva pojasa stajnica I' i II ocrtavaju paralelogram grešaka. Unutar ovog paralelograma grešaka (neizvjesnosti) zasigurno se nalazi pozicija broda. Površina raspršenosti pozicija se može preciznije prikazati elipsom grešaka nacrtana unutar paralelograma, a može se prikazati i kružnicom čiji je radijus greška zbrojene pozicije ($r = \epsilon Pz$). Paralelogram grešaka daje vjerojatnost od 46,6%, elipsa daje vjerojatnost od 39,3%, a kružnica grešaka od 63% do 68%.²⁹

Općenito greška zbrojene pozicije je veća od sistemske i od slučajne greške, stoga je pozicija Pv_2 vjerojatnija od pozicije Pz_2 . Ovo naročito vrijedi u slučaju kada su smjer i brzina morske struje nepoznati. Ovdje se može vjerojatna pozicija Pv_1 koristiti kao točka iz koje će se nanositi kurs i prevaljeni put broda do drugog opažanja. Međutim, to se ne treba uvijek prakticirati, osim ako nisu dobiveni identični rezultati od strane dva opažača ili ako nije njena pouzdanost dokazana na neki drugi način.³⁰

Naravno da greške koje se javljaju zbog djelovanja morske struje nisu zanemarive i dobar navigator treba ih uzeti u obzir odnosno kompenzirati za njih. Načini određivanja zanosa prikazani su u prošlom poglavlju.

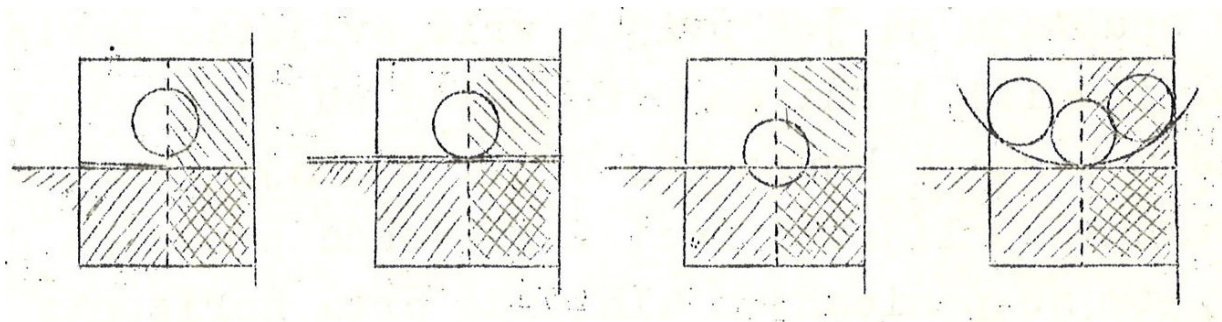
Kao što je bilo spomenuto, greške u visini se mogu javiti radi sekstanta i samog opažača, a i radi atmosferskih uvjeta. Navigator treba primjenjivati korekcije i ispravljati ove greške, a ostalo se svodi na njegovu vještinu odnosno praksu rukovanja sekstantom. Budući da najčešće se snima donji rub Sunca, opažać se može koristiti tehnikom da malo „utopi” Sunce kada njegova visina raste ili može ga podići malo iznad horizonta kada mu visina pada. Ovaj način omogućuje navigatoru da se Sunce namjesti u točku horizonta svojim prividnim kretanjem, dok on lagano njiše sekstant i pažljivo čeka taj trenutak.³¹

²⁸ Medanić, V.: Praktična navigacija II, Viša pomorska škola – Rijeka, Rijeka, 1966, str. 60.

²⁹ Lipovac M. Š.: Astronomska navigacija, Udžbenik za mornaričke i pomorske škole, 2. Izdanje, Hidrografski institut Jugoslavenske ratne mornarice, Split, 1981, str. 362.

³⁰ Lipovac M. Š.: Astronomska navigacija, Udžbenik za mornaričke i pomorske škole, 2. Izdanje, Hidrografski institut Jugoslavenske ratne mornarice, Split, 1981, str. 362.

³¹ Medanić, V.: Praktična navigacija II, Viša pomorska škola – Rijeka, Rijeka, 1966, str. 39.



Slika 8 Tehnika snimanja Sunca sekstantom

Izvor: Medanić, V.: Praktična navigacija II, Viša pomorska škola – Rijeka, Rijeka, 1966, str. 39.

Ostale greške se javljaju zbog aproksimacije luka kružnice pravcem (prikaz ortodrome loksodromom). Greška kada se luk kružnice položaja zamjeni pravcem je značajna samo pri velikim visinama, a zbrojena pozicija je daleko od prave. S druge strane, greška aproksimacije velike kružnice azimuta je također neznatna na malim udaljenostima i kada je zbrojena pozicija blizu prave, pa se ova greška zanemaruje.³²

3.3. PRIMJER PRAKTIČNOG ZADATKA

U nastavku slijedi primjer tipičnog zadatka određivanja pozicija broda opažanjem Sunca u razmaku vremena, tako da je drugo opažanje u kulminacijskoj visini (određivanje geografske širine). Rješavanje se može odvijati računskim ili grafičkim putem, a prikazani će biti oba.

Zadatak:

Dana 21. 06. 2004, brod se nalazi na zbrojenoj poziciji ($\varphi = 41^{\circ} 15,8' S$; $\lambda = 020^{\circ} 36,6' W$). Opaža se donji rub Sunca u tk = 10:20:51 i izmjerena je visina od $12^{\circ} 35,1'$. Brod nastavlja plovidbu u nepromijenjenom od 060° , brzinom od 18,5 čvorova. Nakon određenog vremena, ponovo se opaža donji rub Sunca u trenutku prolaska kroz gornji meridijan i pritom je izmjerena visina od $25^{\circ} 42,5'$. Treba se odrediti pozicija broda u trenutku drugog opažanja, ako je $V_{oka} = 20m$; $ki = +0,5'$; $st = -16 s$.

³² Čumbelić, P.: Astronomska navigacija II, Pomorski fakultet Dubrovnik Sveučilište u Splitu, Dubrovnik, 1990, str. 250.

1. Opažanje

tk = 10:20:51	$S_{\odot} = 329^{\circ} 32,7'$	$\delta_{\odot} = 23 26,4' (d = 0,0)$
+ st = -00:00:16	+kr. = $5^{\circ} 08,7'$	+kr. = 0,0
Ts = 10:20:35	$S_{\odot} = 334^{\circ} 41,4'$	$\delta_{\odot} = 23 26,4' N$
	+ $\lambda = 020^{\circ} 36,6' W$	
	$s_{\odot} = 314^{\circ} 04,8'$	

$$\begin{aligned}V_{iz\odot} &= 12^{\circ} 35,1' \\+ ki &= +0,5' \\+ I &= +4,0' \\+ II &= -0,3' \\V_{is\odot} &= 12^{\circ} 39,3'\end{aligned}$$

$$\sin V_r = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos s$$

$$\begin{aligned}V_{is\odot} &= 12^{\circ} 39,3' \\- V_r\odot &= 12^{\circ} 33,4' \\ \Delta V &= +05,9'\end{aligned}$$

$$V_r = 12^{\circ} 33,4'$$

$$\cos \omega = \frac{\sin \delta - \sin \varphi \sin V_r}{\cos \varphi \cos V_r}$$

$$\omega = 042,5^{\circ}$$

$$R_1 = \begin{cases} \varphi_z + \Delta\varphi_1 \\ \lambda_z + \Delta\lambda_1 \end{cases}$$

$$\Delta\varphi_1 = \Delta V \cos \omega = +4,3'$$

$$R_1 = \begin{cases} \varphi = 41^\circ 11,5'S \\ \lambda = 020^\circ 31,3'W \end{cases}$$

$$\varphi_s = \varphi_z + \frac{\Delta\varphi_1}{2} = 41^\circ 13,6'S$$

$$\Delta\lambda_1 = \frac{\Delta V \sin \omega}{\cos \varphi_s} = +5,9'$$

$$D_L = \Delta T \cdot V_b$$

$$\Delta T = \Delta s_{\odot}$$

$$\Delta s_{\odot} = s_{2\odot} - s_{1\odot} = 360^\circ - 314^\circ 04,8' = 45^\circ 55,2'$$

$$45^\circ 55,2' / 15^\circ = 03:03:41$$

$$D_L = 03:03:41 \cdot 18,5 = 56,6 \text{ M}$$

$$R_2 = \begin{cases} \varphi_{R1} + \Delta\varphi_2 \\ \lambda_{R1} + \Delta\lambda_2 \end{cases}$$

$$\Delta\varphi_2 = D_L \cdot \cos K = +28,3'$$

$$R_2 = \begin{cases} \varphi = 40^\circ 43,2'S \\ \lambda = 019^\circ 26,4'W \end{cases}$$

$$\varphi_s = \varphi_{R1} + \frac{\Delta\varphi_2}{2} = 40^\circ 57,5'S$$

$$\Delta\lambda_{R2} / 15^\circ = 01:17:46$$

$$\Delta\lambda_2 = \frac{D_L \sin K}{\cos \varphi_s} = +01^\circ 04,9'$$

$$T_m = 12:02:00$$

$$-\lambda_{R2} = 01:17:46 \text{ (W)}$$

$$T_s = 13:19:46$$

2. Opažanje

$$V_{iz\odot} = 25^\circ 42,5'$$

$$Z = 90^\circ - V_{is\odot} = 64^\circ 11,1'$$

$$\delta_{\odot} = 23^\circ 26,4' \text{ (d = 0,0)}$$

$$+ki = +0,5'$$

$$+kr. = 0,0$$

$$+I = +6,2'$$

$$\varphi_m = (\pm Z) + (\pm \delta)$$

$$\delta_{\odot} = 23^\circ 26,4' \text{ N}$$

$$+II = -0,3'$$

$$\varphi_m = 40^\circ 44,7' \text{ S}$$

$$V_{is\odot} = 25^\circ 48,9'$$

$$\sin V_r = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos s$$

$$V_{r2\odot} = 25^\circ 50,4'$$

$$V_{is\odot} = 25^\circ 48,9'$$

$$-V_{r2\odot} = 25^\circ 50,4'$$

$$\Delta V_2 = -1,5'$$

$$\Delta \omega = 360^\circ - 042,5^\circ = 317,5^\circ$$

$$D = \frac{\Delta V_2}{\sin \Delta \omega}$$

$$D = 2,2'$$

$$P_B = \begin{cases} \varphi_{R2} + \Delta \varphi_3 \\ \lambda_{R2} + \Delta \lambda_3 \end{cases}$$

$$\Delta \varphi_3 = D \cos K = +1,5'$$

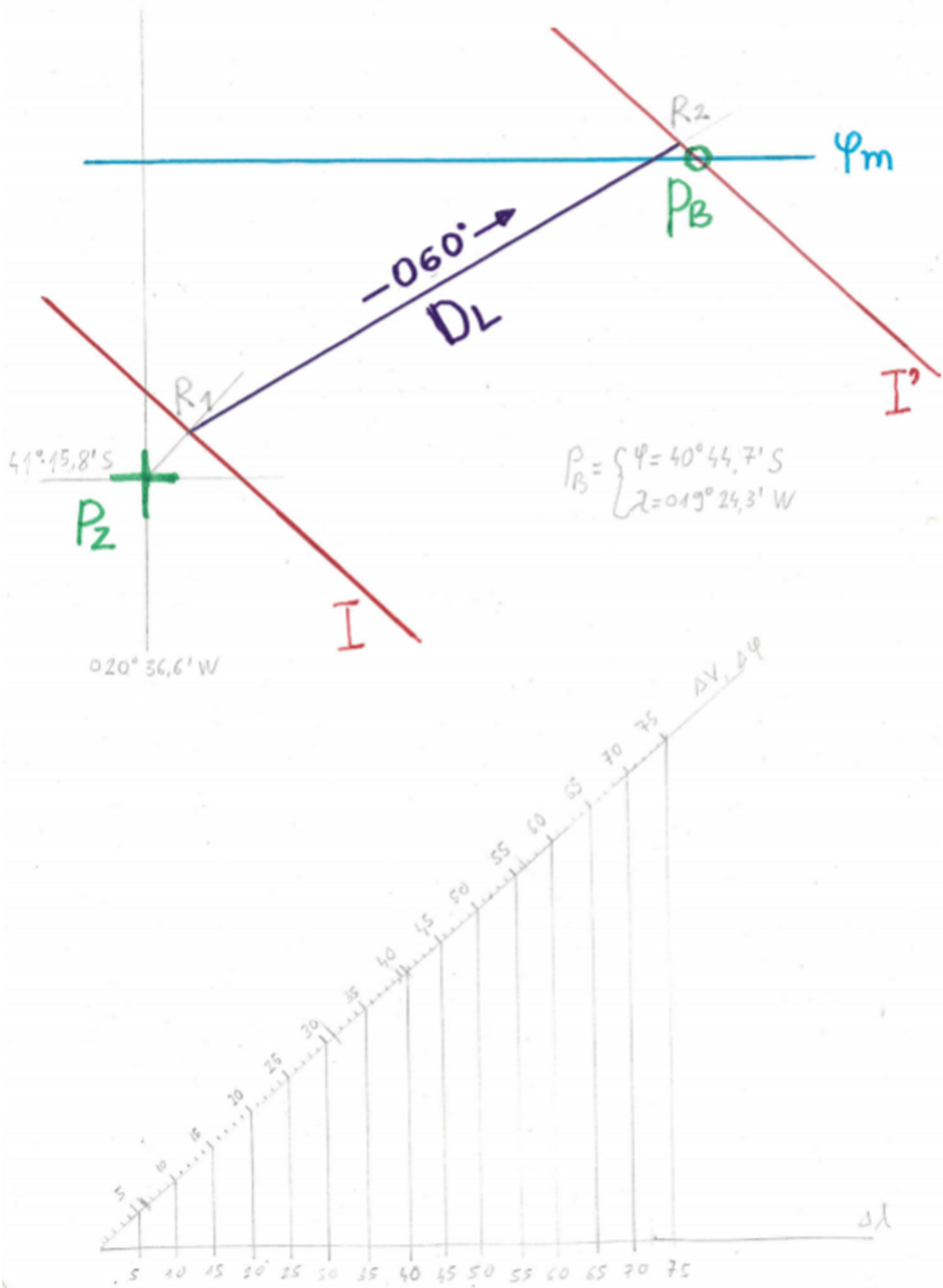
$$\varphi_s = \varphi_{R2} + \frac{\Delta \varphi_3}{2} = 40^\circ 43,9'S$$

$$\Delta \lambda_3 = \frac{D \sin K}{\cos \varphi_s} = +2,1'$$

$$P_B = \begin{cases} \varphi = 40^\circ 41,7' \\ \lambda = 019^\circ 24,3' \end{cases}$$

33

³³ Šabalja Đ. Interna zbirka zadataka iz astronomske navigacije, Pomorski fakultet Rijeka, Rijeka, 2019.



Slika 9 Grafičko rješenje zadatka na bijeloj karti

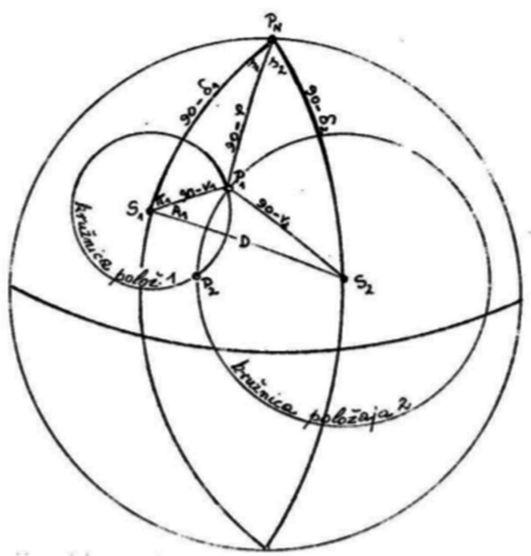
Izvor: Izradio student.

4. USPOREDBA METODE ODREĐIVANJA POLOŽAJA U RAZMAKU VREMENA S OSTALIM METODAMA

Kao što je bilo navedeno na početku ovog rada, postoje više načina odnosno metoda za određivanje položaja broda astronomskim putem. One se međusobno razlikuju po samom pristupu, načinu rješavanja problema i po točnosti. Ovo daje navigatoru više različitih varijanti koje on sam može izabrati sukladno situaciji u kojoj se nalazi, uzimajući u obzir trenutni položaj broda, atmosferske i vremenske uvijete i ostale relevantne čimbenike. Metode koje se danas u praksi najviše koriste su direktna i visinska metoda, te u ovom poglavlju obradit će se njihova opća analiza, odnosno obrazložiti koje su njihove prednosti i nedostaci.

4.1. POZICIJA ODREĐENA DIREKTNOM METODOM

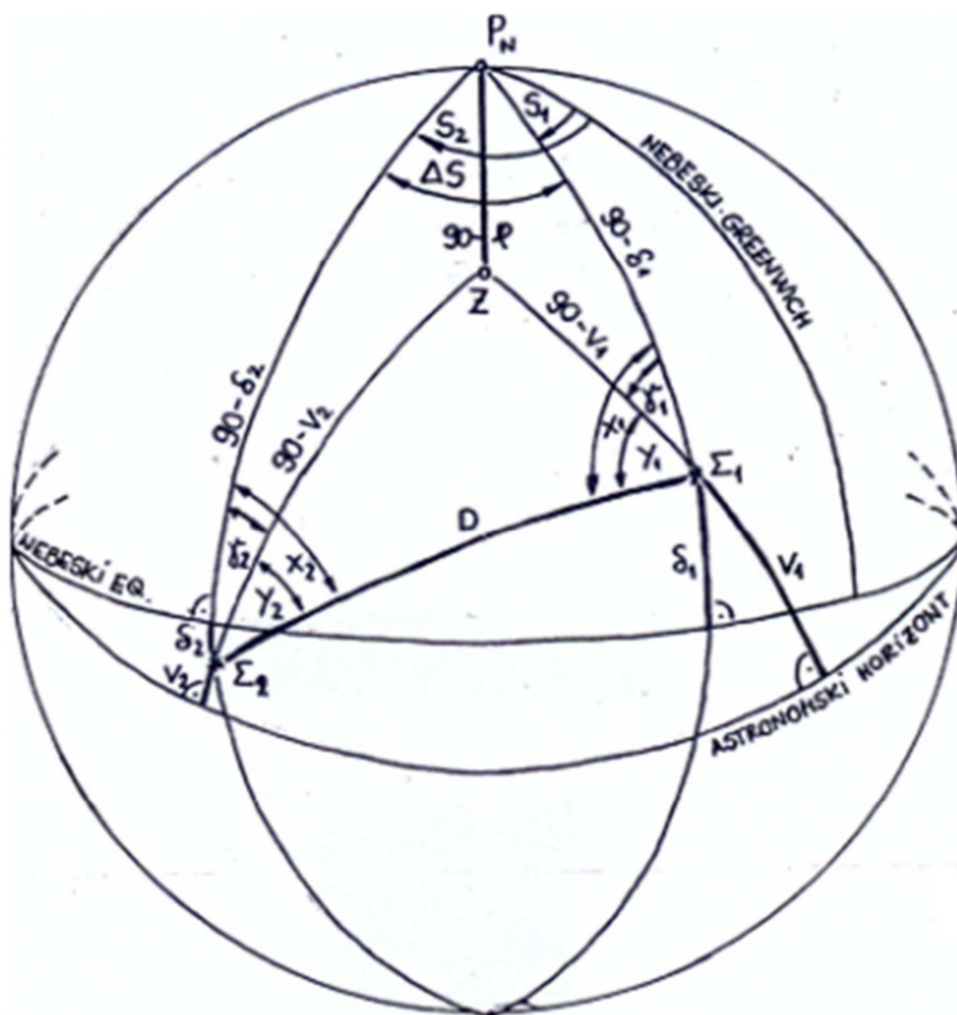
Kao što je bilo spomenuto i prije, rješavanje izravne metode odvija se računskim putem jer praksa ne dozvoljava grafičko rješenje (potreban globus od skoro 7m). Računski model za dobivanje geografskih koordinata položaja broda je predložio Charles T. Dozier još 1949 godine. Ovo ukazuje da je direktna metoda suvremenija budući da se do nje došlo čak u polovici XX stoljeća.



Slika 10 Direktna (Dozierova) metoda

Izvor: Čumbelić, P.: Astronomska navigacija II, Pomorski fakultet Dubrovnik Sveučilište u Splitu, Dubrovnik, 1990, str. 211.

Direktna metoda koristi jednadžbe koje se izvlače iz astronomsko-nautičkih sfernih trokuta pomoću Napierova pravila kako bi se na kraju došlo do koordinata pozicije broda. Za realizaciju ove metode potrebno je opažati dva nebeska tijela, a zatim odrediti točan položaj broda izborom jednog sjecišta kružnica položaja. Postupak u radu je takav da se najprije moraju izmjeriti visine nebeskih tijela i zapisati vrijeme kronometra. Izmjerene visine se zatim ispravljaju za određene korekcije. Poželjno je izmjeriti i azimute jer to kasnije olakšava izbor prave pozicije. Na donjoj slici prikazan je međusoban odnos relevantnih parametara za izračunavanje ovog problema, te lako se može shvatiti na koji način su dobivene formule.



Slika 11 Prikaz relevantnih parametara direktne metode na nebeskoj sferi

Izvor: Šabalja Đ. Autorizirana predavanja iz astronomske navigacije, Pomorski fakultet Rijeka, Rijeka, 2019.

Iz sfernog trokuta $P_N \Sigma_1 \Sigma_2$ po poučku kosinusa može se izračunati sferna udaljenost između nebeska tijela (D):

$$\cos D = \sin \delta_1 \sin \delta_2 + \cos \delta_1 \cos \delta_2 \cos \Delta S$$

gdje je ΔS razlika griničkih satnih kutova: $\Delta S = |S_2 - S_1|$

Nadalje je moguće nastaviti račun pomoću prvog ili pomoću drugog nebeskog tijela.

Ukoliko se računa preko prvog (Σ_1):

Iz trokuta $P_N \Sigma_1 \Sigma_2$ izračunava se pomoćni kut X_1 po formuli:

$$\cos X_1 = \frac{\sin \delta_2 - (\cos D \sin \delta_1)}{\sin D \cos \delta_1}$$

Iz trokuta $Z \Sigma_1 \Sigma_2$ izračunava se pomoćni kut Y_1 po formuli:

$$\cos Y_1 = \frac{\sin V_{is\ 2} - (\cos D \sin V_{is\ 1})}{\sin D \cos V_{is\ 1}}$$

Nakon toga izračunava se pomoćni kut γ_1 (paralaktički kut) na sljedeći način:

ukoliko je $(X_1 + Y_1) > 180^\circ$ onda je $\gamma_1 = 360^\circ - (X_1 + Y_1)$

ako je $(X_1 + Y_1) < 180^\circ$ onda je $\gamma_1 = (X_1 \pm Y_1)$

Ako je u pitanju drugi slučaj, da li će se koristiti “+” ili “-” u formuli, može se odrediti vrlo jednostavno ako se nacrtala mala skica koristeći subastralne koordinate. U suprotno, kada se računa geografska širina mora se dva puta ponoviti postupak i to jedanput koristeći zbroj a drugi put razliku kutova.

Iz sfernog trokuta $P_N Z \Sigma_1$ izvlači se poučak za računanje geografske širine:

$$\sin \varphi = \sin \delta_1 \sin V_{is\ 1} + \cos \delta_1 \cos V_{is\ 2} \cos \gamma_1$$

Ako je navigatoru poznata zbrojena pozicija, onda odmah se može utvrditi da li je dobivena širina točna, međutim ukoliko nema pouzdane zbrojene pozicije, onda se koristi formula za računanje azimuta kako bi se potvrdila točna širina.

$$\cos \omega_1 = \frac{\sin \delta_1 - \sin \varphi \sin V_{is\ 1}}{\cos \varphi \cos V_{is\ 1}}$$

Ukoliko je dobivena geografska širina točna, računati i izmjereni azimut biti će isti.

Geografska dužina se računa korištenjem mjesnog satnog kuta koji se dobiva iz trokuta $P_N Z \Sigma_1$:

$$\cos s_1 = \frac{\sin V_{is\ 1} - \sin \varphi \sin \delta_1}{\cos \varphi \cos \delta_1}$$

Dobiveni mjesni satni kut trebalo bi uskladiti s izmjerenim azimutom.

Geografska dužina je razlika mjesnog i griničkog satnog kuta: $\lambda = s_1 - S_1$ ³⁴

Račun se može odraditi i koristeći parametre drugog nebeskog tijela, a analogija ostaje ista.

Kada se uspoređi direktna metoda s metodom određivanja položaja u razmaku vremena može se zaključiti da obje metode koriste dvije stajnice za dobivanje točnog položaja, međutim one su vrlo različite (prvenstveno jer *Running fix* je neizravna metoda). Direktna metoda je dosta praktična jer omogućuje dobivanje točnog položaja broda, samo preko elemenata jednog nebeskog tijela, dok koristeći drugo nebesko tijelo se može provjeriti postupak, a pri svemu tome zbrojena pozicija ne mora biti poznata.

4.2. POZICIJA ODREĐENA VISINSKOM METODOM

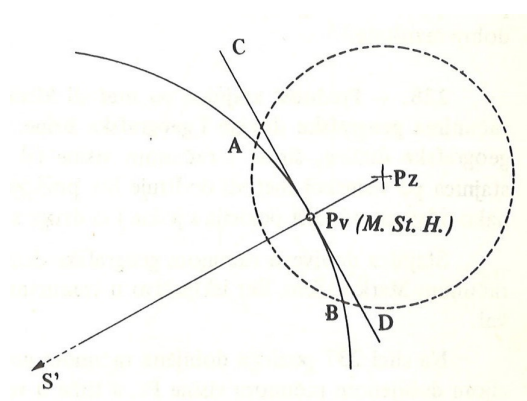
Visinska metoda (*engl. Intercept method*) spada u neizravne metode određivanja položaja, što znači da koristi pomoćne parametre prilikom rješavanja problema određivanja pozicije broda. Do ovog načina određivanja položaja došao je časnik francuske ratne mornarice St. Hilaire još 1875 godine. Ovo dostignuće u oblasti astronomske navigacije donijelo mu je čin admirala, a u njegovu čast ova metoda se još zove Marcq de Saint Hilaireova metoda. Početkom XX stoljeća je masovno prihvaćena i do dan danas je ostala glavna metoda za rješavanje zadataka u astronomskoj navigaciji budući da je pokazala određene prednosti u usporedbi sa starijim metodama.

Ova metoda se sastoji u tome da pomoću zbrojene pozicije, mjesno ekvatorskih koordinata, visine i azimuta odredi se najbliža točka luka pozicije.³⁵ Ova točka leži na pravcu azimuta, a njen položaj se odredi iz razlike opažene i računate visine (ΔV). Ukoliko se brod

³⁴ Šabalja Đ. Autorizirana predavanja iz astronomske navigacije, Pomorski fakultet Rijeka, Rijeka, 2019.

³⁵ Lipovac M. Š.: Astronomska navigacija, Udžbenik za mornaričke i pomorske škole, 2. Izdanje, Hidrografski institut Jugoslavenske ratne mornarice, Split, 1981, str. 311, 312.

nalazi na poziciji s koordinatama koje se koriste za izračun visine, razlika visina bila bi jednaka nuli. U slučaju da je ΔV pozitivna vrijednost, to znači da je prava kružnica položaja manjeg promjera od one na koju leži zbrojena pozicija, što znači da pravac položaja treba pomaknuti u smjeru azimuta. Ako je ΔV negativan, onda je prava kružnica položaja većeg promjere i stajnicu treba pomaknuti u suprotnom smjeru od azimuta. Ta točka na kružnicu položaja u kojoj se crta stajnica okomito na azimut se zove rektificirana točka jer u biti rektificira (ispravlja) geometrijsko mjesto pozicije broda. Ova metoda ima prednost u usporedbi s ostalima jer daje dosta realna rješenja i elementi za crtanje stajnica (ΔV i ω) se uvijek mogu odrediti.³⁶



Slika 12 Prikaz visinske metode (Marcq de St. Hilaire)

Izvor: Lipovac M. Š.: *Astronomska navigacija*, Udžbenik za mornaričke i pomorske škole, 2. Izdanje, Hidrografski institut Jugoslavenske ratne mornarice, Split, 1981, str. 311.

Postupak u praksi se sastoji od mjerenje visina odabranih nebeskih tijela i evidentiranje vrijeme kronometra. S tim vremenom, izvlače se relevantni podaci iz nautičkog godišnjaka i pomoću njih se računa mjesni satni kut (s). Nadalje je potrebno ispraviti izmjerenu visinu za određene korekcije (depresija horizonta, korekcija indeksa, ...). Iz prvog astronomsko-nautičkog sfernog trokuta, preko Napierove analogije su izlučene formule za visinu i azimut:

$$\sin V_r = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos s$$

$$\cos \omega = \frac{\sin \delta - \sin \varphi \sin V_r}{\cos \varphi \cos V_r}$$

³⁶ Medanić, V.: *Astronomska navigacija II*, Viša pomorska škola – Rijeka, Rijeka, 1968, str. 259, 260, 261.

Nakon što se izračunaju visina i azimut pomoću koordinate zbrojene pozicije, potrebno je odrediti razliku izmjerene i računate visine ($\Delta V = V_{is} - V_r$), a azimut uskladiti s mjesnim satnim kutom. Sljedeća faza je grafički odrediti položaj broda, crtanjem stajnica na bijeloj karti ili direktno na navigacijskoj karti.

Visinska metoda se koristi i pri računu za određivanje položaja broda u razmaku vremena i to je zapravo visinska metoda s dvije stajnice. Kako bi se napravila objektivna usporedba, ova metoda će se nadalje razgledavati u slučaju istodobnog opažanja više nebeskih tijela.

4.2.1. Pozicija broda s tri ili četiri stajnice

Kao što je do sad već bilo objašnjeno, pozicija broda se nalazi u presjecištu dviju stajnica. To bi zaista bilo tako ukoliko te stajnice ne bi imale grešaka. Svako opažanje nebeskih tijela je praćeno sistemskim i slučajnim greškama, a postoje i druge greške koje su bile već spomenute a utječu na točnost stajnice (zamjena luk ortodrome loksodromom i slično).³⁷

Stoga pozicija dobivena sjecištem dviju stajnica ne može se smatrati pravom pozicijom broda. Kako bi se u praksi dobila zadovoljavajuća točna pozicija, uobičajeno se opažaju tri ili četiri nebeska tijela. Ovakav način ne samo da određuje sigurniju poziciju broda, već uz pretpostavku da nema slučajnih grešaka, mogle bi se točno odrediti sistemske greške i njihov predznak. Međutim slučajne greške su uvijek prisutne, barem u jedno opažanje. Kako bi se smanjio utjecaj greški, opet glavnu ulogu igra razlika azimuta nebeskih tijela. Naime, ukoliko se opažaju tri nebeska tijela, onda je idealno da razlika azimuta bude 120° , a ako se opažaju četiri, onda razlika treba biti 90° . Opažanje više od četiri nebeska tijela nije potrebno jer svaka naredna stajnica donosi zabunu u određivanju vrijednosti pozicija, kao i u ocjenu grešaka.³⁸

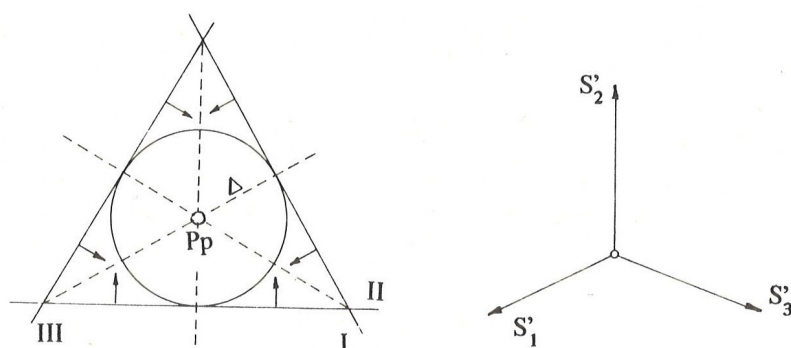
Kada se opažaju tri nebeska tijela istodobno, ako greške nisu postojale, sve tri stajnice bi se presijecale u jednoj točki. Međutim, kako greške su uvijek prisutne, dobiva se trokut

³⁷ Lipovac M. Š.: *Astronomska navigacija*, Udžbenik za mornaričke i pomorske škole, 2. Izdanje, Hidrografski institut Jugoslavenske ratne mornarice, Split, 1981, str. 362.

³⁸ Medanić, V.: *Astronomska navigacija II*, Viša pomorska škola – Rijeka, Rijeka, 1968, str. 340, 341, 345.

pozicije. Ovaj trokut nastaje ne samo zbog slučajnih i sistemskih grešaka, već i zbog razlike vremena između opažanja. Ukoliko je to vrijeme bilo zaista kratko, onda može se smatrati istodobnim opažanjem i nema potrebe od pomicanja stajnica. Ako je prošao veći period, to zahtjeva reduciranje trokuta na način da se dvije stajnice pomaknu u smjeru kursa broda, za put koji je brod prevalio između opažanja. Uobičajeno sve se svodi na vrijeme zadnjeg opažanja.³⁹

Pri odabiru zvijezde, odnosno nebeska tijela, treba ciljati da se oni nalaze na različitim stranama horizonta, te da njihova razlika azimuta bude što bliže 120° . Ovako se dobiva jednakostranični trokut, a pozicija broda se nalazi u sjecištu simetrala unutrašnjih kutova.



Slika 13 Trokut pozicije prilikom razliku azimuta od 120°

Izvor: Lipovac M. Š.: *Astronomska navigacija*, Udžbenik za mornaričke i pomorske škole, 2. Izdanje, Hidrografski institut Jugoslavenske ratne mornarice, Split, 1981, str. 364.

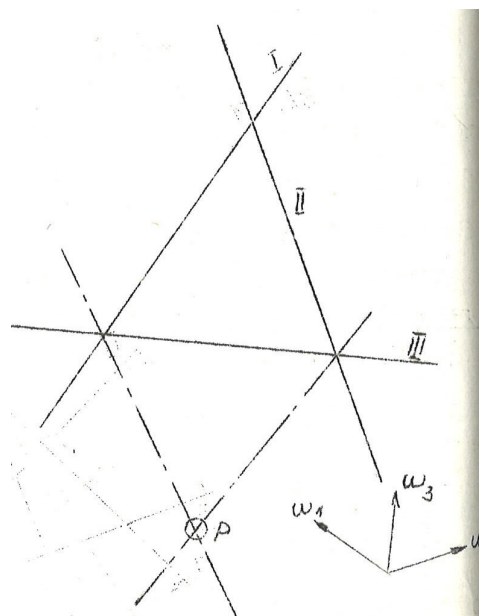
Ako je ova opcija nemoguća, onda se mogu opažati i zvijezde s razlikom azimuta od 60° . I u ovom slučaju se dobiva jednakostranični trokut, međutim pozicija broda je izvan trokuta zbog utjecaja sistemске greške, pa zbog toga se ne preporučuje.

U svakom slučaju, bez obzira na veličinu i formu trokuta, pozicija broda može biti unutar trokuta (ako je razlika azimuta između svakog tijela veća od 90°) ili izvan trokuta ukoliko se tijela nalaze na istoj strani horizonta (razlika azimuta za svaki par manja od 90°).⁴⁰

³⁹ Lipovac M. Š.: *Astronomska navigacija*, Udžbenik za mornaričke i pomorske škole, 2. Izdanje, Hidrografski institut Jugoslavenske ratne mornarice, Split, 1981, str. 362, 363.

⁴⁰ Lipovac M. Š.: *Astronomska navigacija*, Udžbenik za mornaričke i pomorske škole, 2. Izdanje, Hidrografski institut Jugoslavenske ratne mornarice, Split, 1981, str. 364.

Kako bi se simetrale ispravno nacrtale, treba znati koji se kut treba prepoloviti. To je određeno malim strelicama na stajnicama koje su uvijek u smjeru azimuta nebeskog tijela, a simetrala se crta u kutu gdje obje strelice su uperene vrhovima jedna prema drugoj.⁴¹



Slika 14 Trokut pozicija prilikom lošeg odabira zvijezda

Izvor: Medanić, V.: Praktična navigacija II, Viša pomorska škola – Rijeka, Rijeka, 1966, str. 66.

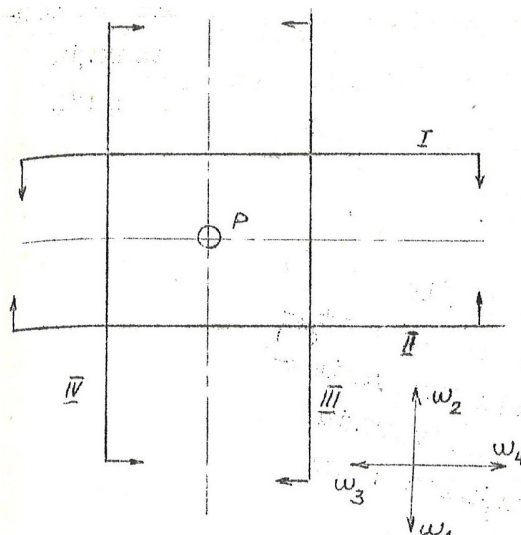
Ovako dobivena pozicija zadovoljava potrebe oceanske navigacije, međutim, ukoliko se želi dobiti još sigurnija pozicija, treba opažati četiri nebeska tijela, te naći sjecište dvije najbolje simetrale stajnica.

Pozicija dobivena opažanjem četiri nebeska tijela bi bila idealna ukoliko je njihova razlika azimuta 90° . Ovo je često dosta teško postići u praksi, prvo zbog rasporeda nebeskih tijela, a zatim i zbog samog kretanja broda, tako da će se uvijek stvoriti neki mali kut koji će odstupati od 90° . Ako taj kut odstupa do 20° od idealnog slučaja, onda se smatra pogodna situacija. U tom slučaju dobio bi se oblik romboida ili deltoida.⁴² Pod pojmom najbolje simetrale podrazumijeva se simetrala stajnica kojima je razlika azimuta 180° . Ova simetrala je oslobođena sistemskih grešaka, a slučajne greške su svedene na minimum. To znači da položaj dobiven s četiri stajnice, od kojih su po dvije međusobno paralelne, a okomite na

⁴¹ Medanić, V.: Astronomska navigacija II, Viša pomorska škola – Rijeka, Rijeka, 1968, str. 342.

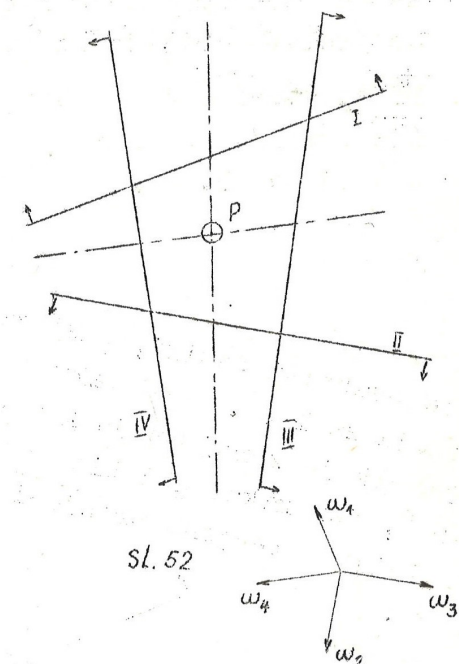
⁴² Medanić, V.: Praktična navigacija II, Viša pomorska škola – Rijeka, Rijeka, 1966, str. 64, 65.

druge dvije, je bolji od onog koji je određen sa samo dvije ili tri stajnice, a također ovaj način pruža mogućnost procjene sistemske i srednje slučajne greške.⁴³



Slika 15 Položaj s idealnim rasporedom stajnica četiri nebeska tijela

Izvor: Medanić, V.: Praktična navigacija II, Viša pomorska škola – Rijeka, Rijeka, 1966, str. 65.



Slika 16 Pozicija s malim odstupanjem razlike azimuta od 90°

Izvor: Medanić, V.: Praktična navigacija II, Viša pomorska škola – Rijeka, Rijeka, 1966, str. 65.

⁴³ Medanić, V.: Astronomska navigacija II, Viša pomorska škola – Rijeka, Rijeka, 1968, str. 344.

Svaki navigator, nakon što je proveo dosta vremena koristeći metode astronomske navigacije, može dobiti vrlo jasnu predstavu o svojoj sistemskoj greški.⁴⁴

Na kraju, može se zaključiti da pozicija dobivena u razmaku vremena ni u kom slučaju ne može biti točna kao pozicija dobivena istodobnim opažanjem. Tu igraju ulogu brojni čimbenici, kao što su zanos broda, promjena atmosferskih uvjeta, različne slučajne i sistemske greške itd. Međutim *Running fix* metoda pruža navigatoru mogućnost određivanja položaja broda tijekom dnevnog svjetla i bez razlike koliko je taj položaj neprecizan, i dalje je bolji nego vođenje čisto zbrojene navigacije od svitka do sumraka što bi bilo apsurdno.

⁴⁴ Medanić, V.: *Astronomska navigacija II*, Viša pomorska škola – Rijeka, Rijeka, 1968, str. 345.

5. ZAKLJUČAK

Kako bi se priča privela kraju važno je naglasiti da danas živimo u XXI. stoljeću i da tehnologija nikada nije bila na većoj razini i da je automatika preuzela mnoge djelatnosti za kojih je nekad bila potrebna vješta ruka čovjeka. Danas u pomorstvu je elektronička navigacija dominantna, te najveći zadatak navigacije, a to je odrediti točan položaj broda u datom trenutku, biva riješen gotovo u svako doba i u intervalima od par sekundi dobiva se položaj broda s greškom koja se može izraziti nekad i u centimetrima. Međutim, kada se pogleda šira slika pomorstva, može se zaključiti da se promijenila samo tehnologija, dok je princip navigacije i obavljanje pomorske djelatnosti ostao isti. Stoga, svaki dobar pomorac treba poznavati tradicionalne metode navigacije, uključujući i astronomsku. Elektronika koju je stvorio čovjek nije savršena i uvijek postoji taj postotak nesigurnosti. Odlika dobrog pomorca i navigatora je sposobnost i znanje da može kombinirati sve metode i usporediti ih, te na taj način potvrditi položaj i odrediti manjkavosti različitih sustava.

Astronomska navigacija iako je već skoro pa napuštena praksa, još uvijek predstavlja neovisan način dobivanja pozicije broda sa zadovoljavajućom točnošću. Može biti vrlo korisna pri kvaru današnjih elektroničkih uređaja, a uvijek bi se trebala koristiti za kontrolu istih.

Metoda određivanja položaja broda opažanjem nebeskih tijela u razmaku vremena je, kao što je i objašnjeno u ovom radu, danas itekako usavršena. Tehnologija je i tu pustila svoje grane, pa danas je moguće koristeći računalne programe preskočiti stari način ručnog računanja i ucrtavanja na bijeloj karti. Može se reći da je ova metoda idealna za provjeru položaja tijekom oceanske plovidbe budući da je Sunce prisutno više vremena i nema ograničavajućih faktora poput nautičkog sumraka, osim ako nisu u pitanju znatno pogoršani meteorološki uvjeti. Vrlo je dobro da mladi časnici i vježbenici primjenjuju ovaj način i savladavaju tehniku rukovanja sekstantom kako to ne bi nikad predstavljalo problem. Na kraju krajeva, bez razlike na razvoj tehnologije i opreme, čovjek je još nezamjenjiv faktor u obavljanju pomorske plovidbe i stoga njegovo vladanje tradicionalnim metodama koji pružaju neovisno vođenje navigacije ostaje krucijalno.

LITERATURA

- Lipovac, M. Š., Astronomska navigacija, Udžbenik za mornaričke i pomorske škole, 2. Izdanje, Hidrografski institut Jugoslavenske ratne mornarice, Split, 1981.
- Medanić, V., Astronomska navigacija II, Viša pomorska škola – Rijeka, Rijeka, 1968.
- Medanić, V., Praktična navigacija II, Viša pomorska škola – Rijeka, Rijeka, 1966.
- Čumbelić, P., Astronomska navigacija II, Pomorski fakultet Dubrovnik Sveučilište u Splitu, Dubrovnik, 1990.
- Bowditch, N., American Practical Navigator, An Epitome of Navigation, L.L.D, Defense Mapping Agency Hydrographic/Topographic Center, Washington, 1984.
- Umland, H., A Short Guide to Celestial Navigation, Copyright 1997-2019.
- Šabalja Đ. Autorizirana predavanja iz astronomske navigacije, Pomorski fakultet Rijeka, Rijeka, 2019.
- Lušić, Z., Baljak, K., Astronomska navigacija, Pomorski fakultet u Splitu, Split, 2007.
- Krstulović, L. Stajnica u navigaciji, završni rad, Pomorski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split, 2016 <https://zir.nsk.hr/islandora/object/pfst%3A50/datastream/PDF/view>
- Marijon, D. Visinska metoda određivanje pozicije broda u astronomskoj navigaciji, Pomorski fakultet Rijeka, <https://repository.pfri.uniri.hr/islandora/object/pfri%3A753/datastream/PDF/view>, Rijeka, 2017.
- Rukonić, R. Određivanje pozicije broda u pomorskoj navigaciji, Pomorski fakultet Rijeka, <https://repository.pfri.uniri.hr/islandora/object/pfri%3A575/datastream/PDF/view>, Rijeka, 2017.
- <https://www.marinapomorac.com/astronomska-navigacija>

POPIS SLIKA

- Slika 1 Prikaz projekcije nebeskog tijela na površini Zemlje2
- Slika 2 Prikaz dviju kružnica položaja i njihova sjecišta.....3
- Slika 3 Grafički prikaz određivanja pozicije broda s dvije stajnice7
- Slika 4 Grafički prikaz dnevnog rada prilikom određivanje položaja u razmaku vremena13
- Slika 5 Prijenos stajnice s kompenzacijom za zanos bez određivanja kursa i brzina broda kroz vodu14
- Slika 6 Prijenos stajnica bez prethodnih poznavanja o struji15
- Slika 7 Grafički prikaz greške položaja opažanjem jednog nebeskog tijela u razmaku vremena19
- Slika 8 Tehnika snimanja Sunca sekstantom21
- Slika 9 Grafičko rješenje zadatka na bijeloj karti.....25
- Slika 10 Direktna (Dozierova) metoda26
- Slika 11 Prikaz relevantnih parametara direktne metode na nebeskoj sferi.....27
- Slika 12 Prikaz visinske metode (Marcq de St. Hilaire).....30
- Slika 13 Trokut pozicije prilikom razliku azimuta od 120° 32
- Slika 14 Trokut pozicija prilikom lošeg odabira zvijezda33
- Slika 15 Položaj s idealnim rasporedom stajnica četiri nebeska tijela34
- Slika 16 Pozicija s malim odstupanjem razlike azimuta od 90° 34