

# Astronomska navigacija sa i bez sekstanta

---

Carić, Juraj

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:164:081535>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-14**

Repository / Repozitorij:

[Repository - Faculty of Maritime Studies - Split -  
Repository - Faculty of Maritime Studies Split for  
permanent storage and preservation of digital  
resources of the institution](#)



**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
POMORSKI FAKULTET**

**JURAJ CARIĆ**

**ASTRONOMSKA NAVIGACIJA SA I BEZ  
SEKSTANTA**

**ZAVRŠNI RAD**

**SPLIT, 2017.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
POMORSKI FAKULTET**

**POMORSKA NAUTIKA**

**ASTRONOMSKA NAVIGACIJA SA I BEZ  
SEKSTANTA**

**ZAVRŠNI RAD**

**MENTOR:**

**Izv. prof. dr. sc. Zvonimir Lušić**

**STUDENT:**

**Juraj Carić (6104017)**

**SPLIT, 2017.**

## **SAŽETAK**

Suvremena elektronička oprema neizostavni je dio moderne navigacije. Međutim, metode astronomske navigacije ne smiju postati dio povijesti jer je to jedini neovisan sustav u oceanskoj polvidbi. U ovom radu opisan je rad instrumenta kojim se služimo u rješavanju zadataka astronomske navigacije. Opisane su suvremene metode određivanja pozicije na osnovi promatranja nebeskih tijela, koje se najčešće provode u praksi, kao i one alternativne metode koje se mogu primjeniti. Svrha ovog rada je ukazati na važnost znanja i vještina potrebnih za uspješno vođenje broda metodama astronomske navigacije, kao i na potrebu za primjenom tih metoda u svakodnevnoj navigaciji.

**Ključne riječi:** navigacija, nebeska tijela, sekstant, astronomska stajnica, pozicija

## **ABSTRACT**

Modern electronic equipment is an indispensable part of modern navigation. However, methods of astronomical navigation should not become part of history because it is the only independent system in the ocean navigation. Principle of operation of the instrument which we use in astronomical tasks is described in this final work. Modern methods of determining position based on the observation of celestial bodies that are commonly implemented in practice are described, like those alternative methods that can be used. The purpose of this article is to highlight the importance of knowledge and skills necessary for the successful navigation of the ship using methods of astronomical navigation, and the need for the use of these methods in everyday navigation.

**Key words:** navigation, celestial bodies, sextant, an astronomical line of position, position

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ASTRONOMSKA NAVIGACIJA KROZ POVIJEST.....</b>	<b>2</b>
<b>3. SEKSTANT.....</b>	<b>4</b>
3.1. GLAVNI DIJELOVI SEKSTANTA.....	4
3.2. NAČELO RADA SEKSTANTA.....	5
3.3. MJERENJE I ISPRAVLJANJE VISINA NEBESKIH TIJELA.....	7
3.4. GREŠKE SEKSTANTA.....	8
<b>4. STAJNICE U ASTRONOMSKOJ NAVIGACIJI.....</b>	<b>9</b>
4.1. KRUŽNICA POZICIJE.....	9
4.2. LUK I PRAVAC POZICIJE.....	10
4.3. PRAVAC POLOŽAJA PO METODI SEKANTE.....	12
4.4. PRAVAC POLOŽAJA PO METODI TANGENTE.....	12
<b>5. ODREĐIVANJE POZICIJE BRODA UZ UPOTREBU SEKSTANTA.....</b>	<b>16</b>
5.1. IZRAVNE METODE.....	16
5.2. NEIZRAVNE METODE.....	17
5.2.1. Određivanje pozicije istovremenim motrnjem tri nebeska tijela.....	18
5.2.2. Određivanje pozicije motrenjem Sunca u razmaku vremena.....	22
5.3. ODREĐIVANJE ZEMLJOPISNE ŠIRINE.....	26
5.4. GREŠKE U ASTRONOMSKOJ NAVIGACIJI.....	28
<b>6. ASTRONOMSKA NAVIGACIJA BEZ UPOTREBE SEKSTANTA.....</b>	<b>29</b>
6.1. OSTALE VRSTE SEKSTANTA.....	29
6.2. ASTRONOMSKA STAJNICA BEZ SEKSTANTA.....	30
6.3. POZICIJA BRODA KOJA SE DOBIJE POMOĆU DVA AZIMUTA.....	31
<b>7. RAČUNALNI PROGRAMI ( APLIKACIJE ).....</b>	<b>33</b>
<b>8. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>36</b>
<b>LITERATURA.....</b>	<b>37</b>
<b>POPIS ILUSTRACIJA.....</b>	<b>38</b>

## 1. UVOD

Svrha i cilj ovog rada je pokazati koje se metode u astronomskoj navigaciji koriste pri određivanju pozicije broda na osnovi promatranja nebeskih tijela. Spomenuti će se i metode koje su se koristile u povijesti. Međutim, naglasak će se staviti na metode koje su našle svoju primjenu u modernoj navigaciji i koje se najviše koriste danas u plovidbenoj praksi.

Rad je podjeljen u šest poglavlja, koja se dalje rasčlanjuju na potpoglavlja, a potpoglavlja na odjeljke. Prvi dio rada posvećen je sekstantu i mjerenju visina. Drugi dio odnosi se na konstrukciju astronomske stajnice. Glavni dio rada odnosi se na praktičnu primjenu znanja u astronomskoj navigaciji, temeljeno na opažanju različitih nebeskih tijela: Sunce, Mjesec, planete (Venera, Mars, Jupiter Saturn), i zvijezde. Posljednji dio rada odnosi se na alternativne metode određivanja stajnice koje se mogu primjeniti u navigaciji, uključujući i upotrebu računalnih programa u astronomskoj navigaciji.

Današnji suvremeni brodovi u oceanskoj plovidbi koriste više elektroničkih navigacijskih sustava koji mogu brzo, lako i precizno odrediti koordinate pozicije. Međutim, to ih ne oslobađa od zakonske obaveze da posjeduju instrumente, publikacije i sva potrebna sredstva za vođenje astronomske navigacije.

## 2. ASTRONOMSKA NAVIGACIJA KROZ POVIJEST

Još od davnina ljudi su se divili pojavama koje su se odigravale na nebeskom svodu. Tragove spoznavanja svemira mogu se pronaći već u špiljskom slikarstvu paleolitika. Pronađene su slike zvijezda Velikog medvjeda, Kasiopeje i neka zvijezda pojasa zodijaka. Sve to govori da se astronomija nametnula čovjeku još u samom rađanju civilizacije. Zbog toga se o astronomiji može govoriti kao o najstarijoj znanstvenoj grani. [7]

Na temelju starih književnih djela, mitova i legenda može se zaključiti da su ljudi svih civilizacija plovili. Drevni su se pomorci orijentirali prema zvijezdanom nebu noću i prema suncu, a ponekad i mjesecu, danju. Neke civilizacije su jako dobro razvili tu vještinu. Prema grčkom povijesničaru Herodotu Feničani su 610. g Pr.Kr oplovili Afriku iz Crvenog mora preko rta dobre nade i ušli u Mediteran.

Osim Feničana u pomorskim pothvatima istaknuli su se i Grci, Vikinzi, Arapi, Babilonci, Egipćani, Kinezi te Portugalci u Novom vijeku (Vasco da Gama, Diaz, Magellan).

U tim drevnim vremenima tijekom plovidbe bilo je moguće održavati kurs prema položaju nebeskih tijela. Međutim, osim kursa bilo je važno i odrediti poziciju na osnovi opažanja nebeskih tijela. Tako se razvila potreba za navigacijskim instrumentima (za mjerenje kutova).

Jedan od prvih astronomskih instrumenata naziva se gnomon. S njim se mogla odrediti visina sunca, nagib ekliptike i zemljopisna širina.

Astrolab su donijeli u Europu Arapi u osmom stoljeću. Njime se mjerila zenitna udaljenost Sunca i nekih zvijezda. Osim toga služio je i kao identifikator zvijezda

Prvi instrument kojim se mjerila visina nebeskog tijela, i to od morskog horizonta bio je Jakobov štap. Često se taj instrument upotrebljavao komplementarno s astrolabom ili kvadrantom. Za manje visine služio je Jakobov štap, a za veće Astrolab.

Kamal je instrument koji su upotrebljavali Arapi, a u Europu ga je prenio Vasco de Gama koji je za njega saznao na putovanju prema Indiji. [1]

Početakom 18. stoljeća poznati fizičar, matematičar, i astronom Sir Isaak Newton opisao je prvi instrument s dvostrukim reflektirajućim zrcalima (isti princip se koristi pri izradi suvremenog sekstanta). Godine 1730. američki optičar Thomas Godfrey konstruirao je kvadrant (četvrti dio kruga) na Newtonovom principu dvostruke refleksije. Godinu dana kasnije John Hadley konstruirao je oktant (osmi dio kruga) na istom principu. Ti se instrumenti mogu smatrati pretečama današnjeg sekstanta. [1]



### 3. SEKSTANT

Osnovi instrument za mjerenje visina koji se koristi u astronomskoj navigaciji naziva se sekstant. Svi časnici palube na brodovima trebali bi znati pravilno rukovati njime. To je instrument kojim se mogu mjeriti vertikalni, kosi i horizontalni kutovi. U terestričkoj navigaciji sekstantom se mjere horizontalni i vertikalni kutovi. Ipak, može se reći da se sekstant najviše upotrebljava kada se mjeri visina nebeskih tijela.

Prvi sekstant izradio je J. Bird 1757. godine. Tijelo tog sekstanta bilo je napravljeno od mahagonija a skala od slonovače. Danas se izrađuju od metala ili plastike. Razvitkom preciznije stupanjske skale povećala se točnost mjerenja. Uređaj postaje sve manji i jednostavniji za rukovanje. Sekstant se nastavlja razvijati i poboljšavati sve do sredine 19. stoljeća.

S obzirom na konstrukciju sekstanti se dijele na obične sekstante i sekstante s umjetnim horizontom. Od ostalih vrsta sekstanta postoje: sekstanti na libelu, sekstanti s giroskopom, periskopski sekstanti, radiosekstanti i fotoelektrični sekstant. [1]

#### 3.1. GLAVNI DJELOVI SEKSTANTA

Glavni dijelovi sekstanta su: veliko zrcalo, malo zrcalo, alhidada, tijelo sekstanta, limb, mikrometarski vijak, bubnjić, zatamnjena stakla i dalekozor. Ovi dijelovi su označeni na slici (slika 1).

Veliko zrcalo je pomično zrcalo. Učvršćeno je na alhidadu, pa se pomicanjem alhidade mijenja i položaj ravnine velikog zrcala.

Malo zrcalo je nepomično u odnosu na tijelo sekstanta.

Alhidada je pokretna poluga koja se okreće oko osovine. Na učvršćenom djelu alhidade nalazi se veliko zrcalo, a na pokretnom djelu bubnjić za mjerenje visina.

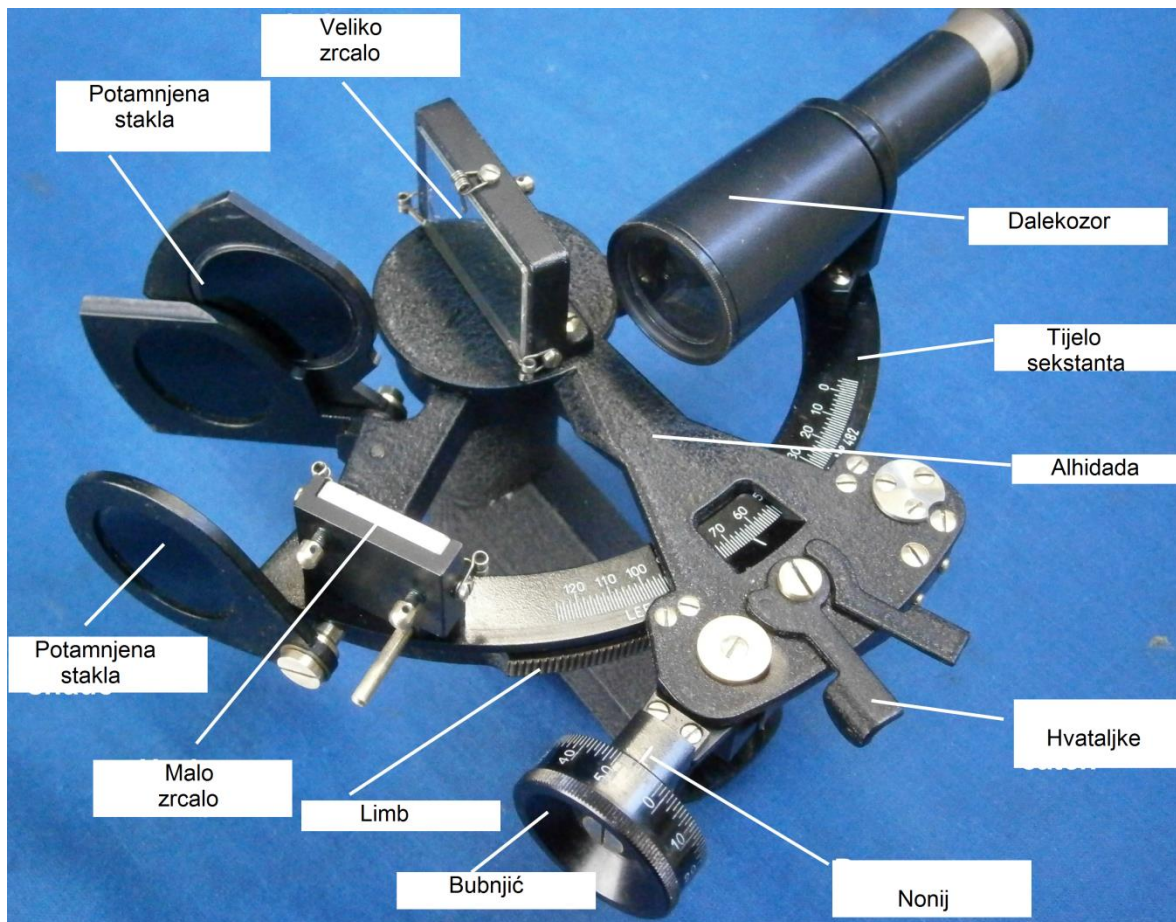
Tijelo sekstanta je metalni okvir na kojemu se nalaze svi dijelovi sekstanta.

Kružni dio sekstanta na kojemu se nalazi skala za očitavanje u stupnjevima naziva se limb. Stupanjska podjela pokazuje visine do  $120^\circ$  u pozitivnom i  $5^\circ$  u negativnom smjeru.

Pri preciznom mjerenju alhidada se pomiće uzduž limba uz pomoć mikrometarskog vijka. Na kraju tog vijka nalazi se bubnjić (za očitavanje desetine minute).

Pri mjerenju visine Sunca za neutralizaciju blještavila od Sunca koriste se zatamnjena stakla. Oni se nalaze ispred velikog i malog zrcala.

Dalekozor služi za bolje uočavanje horizonta ili nebeskog tijela. [5]

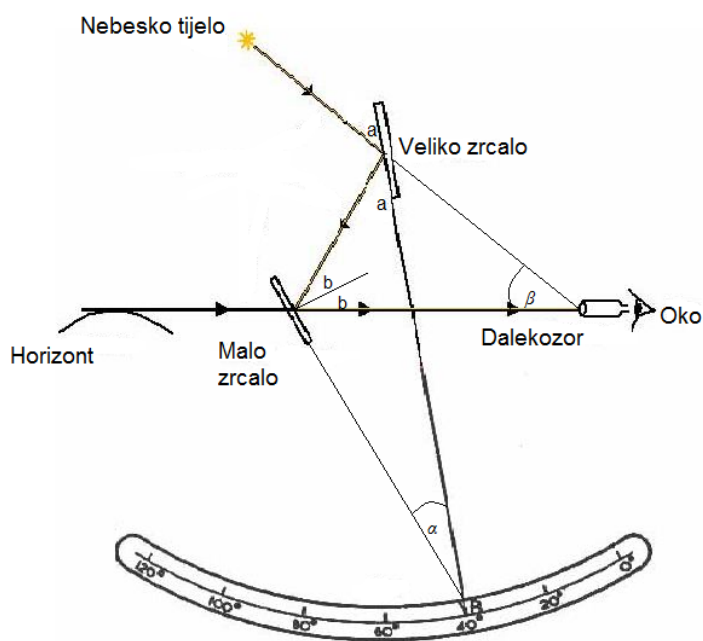


**Slika 1. Moderni sekstant i glavni djelovi [10]**

### 3.2. NAČELO RADA SEKSTANTA

Sekstantom se mjere visine nebeskih tijela na način da se izravna slika nebeskog tijela dvostrukom refleksijom dovede u ravninu s horizontom. Načelo rada ovakvog instrumenta s dvostrukim reflektirajućim zrcalima temelji se na zakonima optike.

Na nebu se vidi nebesko tijelo kojem se želi izmjeriti visina. Kako je vidljivo iz skice (slika 2) zraka svjetlosti iz nebeskog tijela širi se pravocrtno, pada na površinu velikog zrcala pod kutom  $a$  i odbija se pod istim kutom prema malom zrcalu. Iz zakona optike poznato je da je kut pod kojim se zraka svjetlosti odbije od ravne površine jednak upadnom kutu. Ukoliko se glatka površina velikog zrcala zakrene za određeni kut odbijena zraka zakrene se za dvostruko veći kut.



Slika 2. Načelo rada sekstanta [10]

Ta odbijena zraka širi se prema malom zrcalu, upada pod kutom  $b$  i odbija se pod jednakim kutem prema oku opažača. Malo zrcalo konstruirano je na način da se u njemu u isto vrijeme može viditi morski horizont i odražena slika nebeskog tijela.

Veliko zrcalo je konstruirano tako da se može zakretati za određeni kut pomicanjem alhidade. Taj kut (kut između velikog i malog zrcala) neka se označi sa  $\alpha$ , a kut između nebeskog tijela i horizonta (visina) neka bude  $\beta$ .

Rješavanjem dva trokuta s vrhovima u velikom zrcalu, malom zrcalu i oku odnosno s vrhovima u malom zrcalu, velikom zrcalu i na položaju alhidade na limbu dolazi se do međusobnih odnosa tih kutova. Rješavanjem matematičkog izraza dolazi se do jednakosti:

$$\beta = 2\alpha \quad (1)$$

Dakle, ako se svjetlosna zraka odbija dva puta u istoj ravnini od dva ravna zrcala, kut skretanja zraka jednak je dvostrukom kutu među zrcalima. [5]

### 3.3. MJERENJE I ISPRAVLJANJE VISINA NEBESKIH TIJELA

Visine nebeskih tijela mjere se sekstantom za vrijeme sumraka ili svitanja (kada su vidljive zvijezde i morski horizont u istom trenutku). Mjerenja visine Sunca se vrše po danu i potrebno je koristiti zatamnjena stakla zbog bliještavila Sunca. Načini mjerenja ovise o nebeskim tijelima koja se opažaju, ali princip je isti.

Odražena slika nebeskog tijela dovodi se do ravnine horizonta i u tom trenutku se zabilježava vrijeme i očitava stupanjaska skala.

Sekstant se drži u desnoj ruci postavljen okomito na morski horizont. Važno je napomenuti da alhidada i bubnjić moraju biti postavljeni na  $0^\circ$  prije početka mjerenja. Dok se lijevom rukom pomiče alhidada, odražena slika nebeskog tijela se spušta ispod stvarne slike dok ne dođe u blizinu linije horizonta. U tom trenutku se napravi nekoliko blagih vertikalnih njihanja, pri čemu se odražena slika približava ili udaljava od linije horizonta. Pomoću bubnjića odražena slika se precizno dovodi na samu liniju horizonta. U tom trenutku očitava se točno vrijeme na kronometru i očitava se izmjerena visina sa sekstanta.

Kod očitavanja visine prvo se očitava broj stupnjeva koje pokazuje kazaljka alhidade na luku limba. Zatim se čita broj minuta s obzirom na položaj bubnjića i nule na noniju. Desetine minute određuju se tako da se utvrdi crtica na noniju koja se najbolje podudara s crticom na bubnjiću.

Kod mjerenja visine Sunca odražena slika se spušta na liniju horizonta do donjeg ruba (gornji rub se koristi kada donji rub iz nekog razloga nije vidljiv). Neki iskusniji opažači dovode donji rub Sunca neposredno ispod linije horizonta kad visina raste, odnosno poviše

obzora kad visina Sunca pada. Tada čekaju da Sunce svojim vlastitim gibanjem dodirne horizont. Okomitost se provjerava blagim njihanjem sekstanta.

Kod mjerenja visine Mjeseca koristi se uvijek vidljivi rub.

Visina koju je opažatelj izmjerio sekstantom naziva se visina izmjerena. U računima astronomske navigacije koristi se visina prava. Da bi se dobila visina prava potrebno je visinu izmjerenu ispraviti za grešku indeksa, grešku ekscentriciteta, i za ukupni popravak. Takvih popravaka ima više od deset. Međutim, u praksi se provode samo korekture za refrakciju, depresiju, paralaksu (paralaksa samo za: Sunce, Mjesec i planete) te prividni polumjer (Sunce i Mjesec). Ostali popravci se zanemaruju. [1]

### **3.4. GREŠKE SEKSTANTA**

Sekstant je kompleksan instrument i prilikom njegove izrade mogu se dogoditi tvorničke pogreške. Važno je razlikovati one greške na koje se može utjecati i one na koje se ne može utjecati.

Greške poput paralelnosti između zrcala, neokomitosti zrcala prema ravnini limba i neparalelnost osi dalekozora prema ravnini sekstanta mogu se ispitati. Njih se može ispraviti na mehanički način.

Greška indeksa (paralelnosti između zrcala) utvrđuje se svaki put kad se sekstantom mjere visine nebeskih tijela (ova greška ispravlja se posljednja). Jedan od načina za utvrditi ovu grešku je opažanje linije morskog horizonta. Ako je linija prekinuta, a sve je postavljeno na nulu, tada je greška prisutna. Greška se ispravlja zakretanjem vijka na poleđini zrcala, ili se uzima kao jedna od korektura ( $k_i$ ).

Prizmatička greška dalekozora, greška podjele limba i nonija i greška ekscentriciteta su greške sekstanta na koje nemamo utjecaj [5]

## 4. STAJNICA U ASTRONOMSKOJ NAVIGACIJI

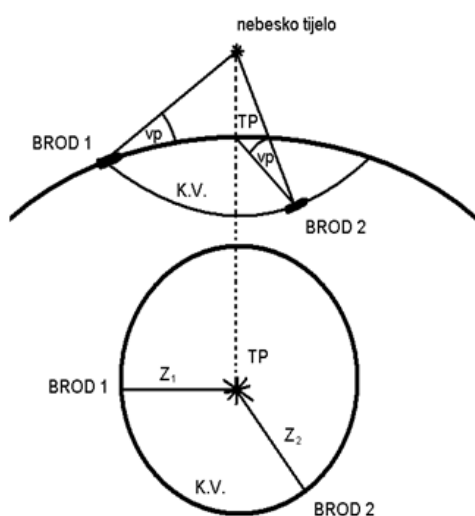
Stajnica u navigaciji može se definirati kao geometrijsko mjesto položaja broda. Geometrijsko mjesto položaja broda može biti: pravac, kružnica, elipsa, hiperbola i razne druge krivulje.

Položaj nebeskog tijela na nebeskoj sferi može se definirati uz pomoć koordinata, deklinacije ( $\delta$ ) i satnog kuta ( $s$ ). Ukoliko se želi taj položaj projicirati na zemlju potrebno je znati da su odgovarajuće koordinate u terestričkoj projekciji, zemljopisna širina ( $\varphi$ ) i zemljopisna dužina ( $\lambda$ ). Zaključuje se da je terestrička projekcija nebeskog tijela točka na površini zemlje kroz koju prolazi spojnica središta zemlje i središta nebeskog tijela.

Utvrđivanje položaja broda metodama astronomske navigacije u biti se svodi na uspostavu funkcionalnih veza između koordinata nebeskog tijela i koordinata položaja broda. [5]

### 4.1. KRUŽNICA POZICIJE

Za dva opažača, koja su u istom trenutku opazili isto nebesko tijelo i izmjerili jednake visine može se pretpostaviti da se nalaze na istoj sfernoj kružnici, pa se zato ta kružnica i zove kružnica jednakih visina ili kružnica položaja.



Slika 3. Kružnica jednakih visina [9]

Ova kružnica definira se kako na nebeskoj sferi tako i na površini zemlje. Negdje na kružnici se nalazi položaj opažača, dakle ona je stajnica.

Kao što se vidi sa slike (slika 3) središte kružnice je terestrička projekcija, a polumjer je jednak zenitnoj udaljenosti.

Ako se izmjeri visina dva različita nebeska tijela, mjesto gdje bi se sijekle kružnice bila bi prava pozicija broda, tj sjecište koje je bliže zbrojenoj poziciji. Ovakva kružnica prenesena na Mercatorovu kartu može imati različite oblike. To najviše ovisi o položaju opažača i nebeskog tijela. Ukoliko se kružnica nalazi između ekvatora i jednog od polova, stajnica će imati oblik elipse izdužene u smjeru meridijana. Ova krivulja se zove krivulja pozicija prve vrste. Krivulja pozicije druge vrste ima oblik kosinusoide. Ovakva krivulja obuhvaća dvije polutke, a između je zemljin pol. Kružnica pozicije 3. vrste dodiruje pol. Budući da se pol na Mercatorovoj karti ne može prikazati, krivulja će poprimiti oblik slova U ili oblik parabole.

U okolnostima kada su visine veoma velike, krivulje položaja mogu se crtati na Mercatorovoj karti kao kružnice. Crtanje kružnica pozicije na Mercatorovoj karti ili na globusu nije praktično i ne provodi se u praksi. [1]

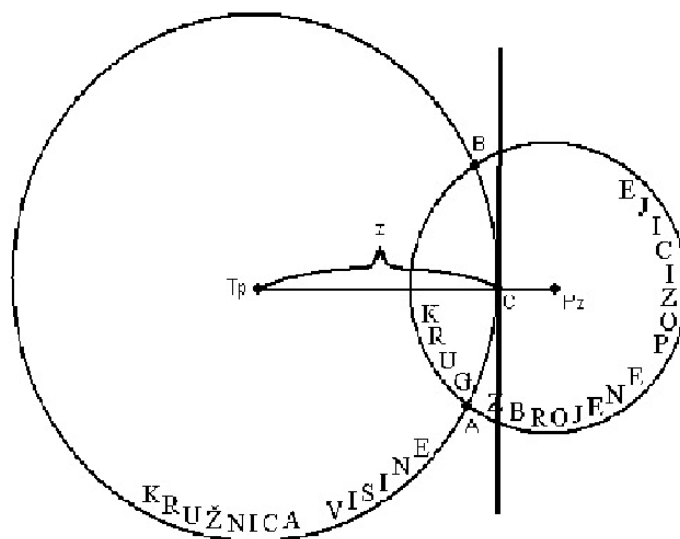
## 4.2. LUK I PRAVAC POZICIJE

Kada bi osoba s naših zemljopisnih širina opazala zvijezdu Sjevernjaču, izmjerila bi visinu od oko  $45^\circ$ . Tako bi za tu visinu polumjer kružnice položaja bio  $r = Z = 90^\circ - v = 90^\circ - 45^\circ = 45^\circ = 2700 \text{ NM}$ . S obzirom da se mjere visine nebeskih tijela i do  $70^\circ$ , ovakav način nije praktičan, jer takve kružnice pozicije imaju jako veliki promjer.

Umjesto kružnice pozicije može se koristiti luk pozicije (manji dio te kružnice), koji zamjenjuje pravac pozicije. Luk odnosno pravac dobije se iz kružnice pozicije i kruga zbrojene pozicije.

U plovidbenoj praksi uvijek je poznata zbrojena pozicija. Oko točke zbrojene pozicije može se opisati krug u kojem bi se trebao nalaziti brod sa velikom vjerojatnošću. Greške zbrojene pozicije ovise o prevaljenom putu, stanju mora, vjetrova i morskih struja. Za

polumjer se uzima jedna šesnaestina prevaljenog puta od zadnje provjerene pozicije po lijepom vremenu, odnosno jedna osmina u plovidbi po lošim vremenskim uvjetima.



**Slika 4. Kružnica visine i kružnica zbrojene pozicije [9]**

Kao što se vidi sa slike 4 kružnica pozicije (kružnica visine) je višestruko veća od kruga zbrojene pozicije. Polumjer kružnice i luka je zenitna udaljenost ( $Z$ ).

Luk AB vidljiv sa slike naziva se luk pozicije. To je manji dio kružnice pozicije koji se nalazi unutar kruga zbrojene pozicije. Što je manji krug zbrojene pozicije to će biti kraći luk i točnija pozicija, a to se postiže, ako se što češće kontrolira  $P_z$  jer je tada i polumjer kruga manji.

Ukoliko se crta tangenta na kružnicu pozicije unutar kruga zbrojene pozicije dobiti će se pravac koji se zove pravac pozicije. Na Mercatorovoj karti pravac pozicije dio je loksodrome. Pravac pozicije jest astronomska stajnica. [1]



### 4.3. PRAVAC POLOŽAJA PO METODI SEKANTE

Pravac kao astronomsku stajnicu, prvi je definirao i u praksi primjenio američki kapetan na trgovačkom brodu Thomas Sumner.

1837. godine isplovio je iz Charlestonea na putu za Greenock. Jedrilo se u smjeru ENE. Oko 10 sati kapetan je izmjerio visinu Sunca i zabilježio vrijeme na kronometru. Računom zbrojene navigacije odredila se pozicija koja je bila podložna pogreškama. Nakon nekog vremena bila je određena druga pozicija. Ova je pozicija bila udaljena 27 NM u smjeru ENE od prve pozicije. Treća pozicija je od druge bila udaljena 27 NM u smjeru ENE. Kada je unio tri pozicije koje je odredio na kartu utvrdio je da leže na istom pravcu u smjeru ENE. Iz toga je zaključio da je u istom trenutku visina bila jednaka za sve tri pozicije.

Nastavio je u istom kursu (ENE) očekujući da će ugledati svijetionik *Small*. To se i dogodilo i tako je kapetan dokazao da se brod nalazi na geometrijskom mjestu položaja - astronomskoj stajnici.

Geometrijski gledano pravac (stajnica) je određen s dvije točke ili jednom točkom i smjerom, a pravac koji spaja dvije točke na kružnici zove se sekanta. Zbog toga se ova metoda naziva metoda sekante.

Točke na kružnici određuju se na dva načina: zemljopsna dužina se računa kao funkcija zemljopisne širine i zemljopisna širina se računa kao funkcija zemljopisne dužine. Kada jedan način daje loše rezultate drugi daje dobre i obrnuto. [5]

### 4.4. PRAVAC POLOŽAJA PO METODI TANGENTE

Iz matematike je poznato da je tangenta pravac koji je okomit na polumjer u svakoj točki kružnice. U ovom slučaju misli se na luk te velike kružnice.

Kada se za astronomsku stajnicu uzme tangenta na kružnicu u nekoj točki, tada ona mora biti okomita na smjer azimuta. Smjer azimuta nebeskog tijela određuje smjer vertikalne kružnice iz položaja broda prema terestričkoj projekciji tog tijela.

Da bi uspješno odredili stajnicu po metodi tangente potrebno je ustanoviti koordinate neke točke na kružnici položaja te izračunati azimut za tu točku. [5]

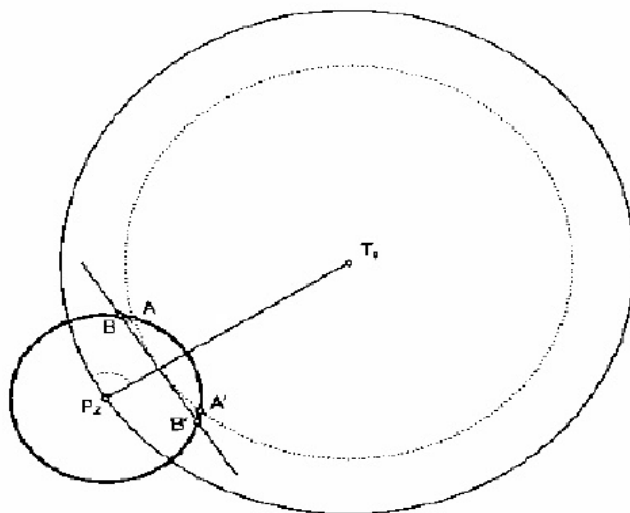
Ima više načina za odrediti koordinate točke na kružnici položaja. Postoje sljedeće metode: širinska (Bordina) metoda, duljinska (Johnsonova) metoda i visinska metoda.

Kod širinske i duljinske metode jedna koordinata se procijenjuje iz zbrojene pozicije (kod širinske metode procijenjuje se zemljopisna dužina, a kod duljinske zemljopisna širina), a druga se računa za tu procijenjenu koordinatu, kao i pripadajući azimut. Stajnica prolazi kroz dobivenu točku i okomita je na azimut.

S obzirom da se u plovidbenoj praksi upotrebljava samo visinska metoda, dok širinska i duljinska metoda danas pripadaju povijesti astronomske navigacije, analizirati će se samo ta metoda.

Za otkrivanje visinske metode zaslužan je francuski pomorac Marcq de Saint Hilaire. Ova metoda postala je dominantna početkom dvadesetog stoljeća. Za njeno otkriće dobio je čin admirala.

Visinska metoda se temelji na ispravljanju koordinata zbrojene pozicije, za vrijednost razlike između visine prave ( $v_p$ ) i visine računate ( $v_r$ ), nebeskog tijela u pravcu azimuta. Elementi koji određuju Hilarieov pravac položaja su azimut i razlika visina ( $\Delta V$ ). [5]



**Slika 5. Shema visinske metode [5]**

Točka  $P_z$  predstavlja poziciju zbrojenu, a točka  $T_p$  terestričku projekciju nebeskog tijela. Pravac koji spaja te dvije točke predstavlja azimut kojeg siječe pravac položaja u rektificiranoj točki (točka u kojoj se sijeku pravac azimuta i pravac pozicije). S koordinatama zbrojene pozicije opažatelj će izračunati zenitnu udaljenost  $z_r = 90^\circ - v_r$ .

Mjerenjem visine nebeskog tijela čija se terestrička projekcija nalazi u točki  $T_p$  zenitna udaljenost biti će  $z_p = 90^\circ - v_p$ . Razlika od točke  $P_z$  do točke  $P_p$  iznosi:  $Z_r - Z_p = (90^\circ - V_r) - (90^\circ - V_p)$

$$\Delta V = V_p - V_r \quad (2)$$

Postupak crtanja stajnice je sljedeći:

Prvo se izmjeri visina nebeskog tijela i zabilježi vrijeme na kronometru.

Izmjerena visina ( $V_i$ ) ispravi se za korekturu ukupnu, a vrijeme kronometra za stanje kronometra da bi se dobilo srednje vrijeme u meridijanu Greenwich (UT).

Sa srednjim griničkim vremenom ulazi se u nautički godišnjak i čitaju se mjesne ekvatorske koordinate deklinacija ( $\delta$ ) i grinički satni kut ( $S$ ).

Iz griničkog satnog kuta ( $S$ ) izvede se mjesni satni kut ( $s$ ). S deklinacijom ( $\delta$ ), zemljopisnom širinom zbrojene pozicije ( $\varphi_z$ ) i mjesnim satnim kutom ( $s$ ) izračunava se visina nebeskog tijela ( $V_r$ ) iz izraza:

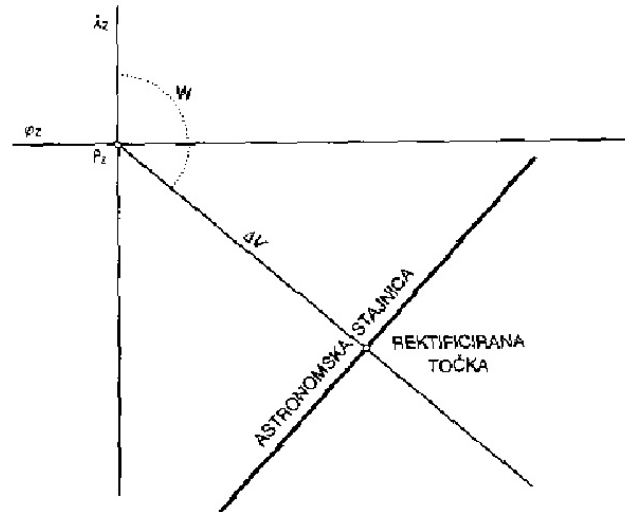
$$\sin V = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos s \quad (3)$$

Razlika ovako izračunate visine i visine prave označuje se  $\Delta V$  ( $\Delta V = V_p - V_r$ )

Vrijednost azimuta ( $\omega$ ) može se dobiti iz izraza:

$$\cos \omega = \frac{\sin \delta - \sin \varphi \cdot \sin V}{\cos \varphi \cdot \cos V} \quad (4)$$

Ako je satni kut veći od  $180^\circ$ , nebesko tijelo nalazi se na istočnoj strani horizonta, pa je izračunata vrijednost stvarna vrijednost azimuta. Ako je satni kut manji od  $180^\circ$ , nebesko tijelo nalazi se na zapadnoj strani horizonta, pa se izračunata vrijednost azimuta mora oduzeti od 360. [5]



**Slika 6. Konstrukcija stajnice na Mercatorovoj karti [5]**

Iz pozicije za koju se izračunala visina i azimut vuče se pravac u smjeru azimuta kad je razlika visina pozitivna, a u suprotnom smjeru kad je ona negativna. Razlika visine mjeri se na skali širine i nanosi na taj pravac. Okomica na azimut u rektificiranoj točki određuje pravac položaja, astronomsku stajnicu (slika 6). [5]

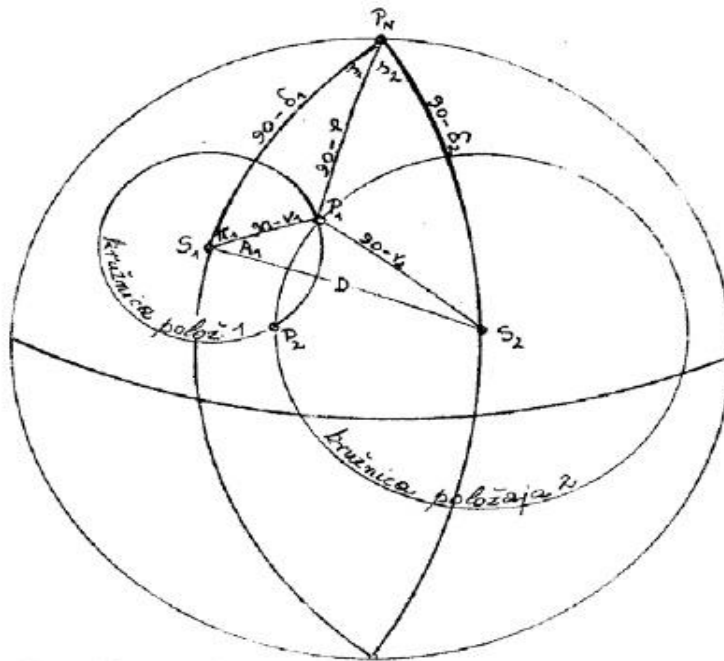
## 5. ODREĐIVANJE POZICIJE BRODA UZ UPOTREBU SEKSTANTA

Poziciju broda može se odrediti mjerenjem visina dvaju ili više nebeskih tijela, istodobno ili u kratkom vremenskom razmaku.

Postoje dvije osnovne metode za odrediti poziciju broda: izravne metode i neizravne metode.

### 5.1. IZRAVNE METODE

Kada bi se na globus promjera 7 metara ucrtale dvije kružnice pozicije (neka je 1 NM = 1 mm) zadatak bi bio rješiv brzo i jednostavno. Jedna od dvije točke gdje se sijeku te dvije kružnice bila bi pozicija broda. S obzirom da ovakav način nije praktičan rješavanju ovakvog zadatka pristupa se računskim putem. [1]



Slika 7. Dozierova metoda [1]

Jedan od načina rješavanja ovog problema dao je Charles T. Dozier (1949. godine)

Točka  $S_1$  označava terestričku projekciju prvog nebeskog tijela, a točka  $S_2$  odnosi se na terestričku projekciju drugog nebeskog tijela.

$$S_\gamma + \lambda + (360 - \alpha_1) - S_\gamma - \lambda - (360 - \alpha_2) = (360 - \alpha_1) - (360 - \alpha_2)$$

$$\Delta S = s_1 - s_2 \quad (5)$$

Iz sfernog trokuta  $P_n S_1 S_2$  (slika 7) po poučku o kosinusu stranice i poučku o sinusima izlazi:

$$\cos D = \sin \delta_1 \cdot \sin \delta_2 + \cos \delta_1 \cdot \cos \delta_2 \cdot \cos \Delta S \quad (6)$$

$$\cos(\pi + A_1) = \frac{\sin \delta_2 - \sin \delta_1 \cdot \cos D}{\cos \delta_1 \cdot \sin D} \quad (7)$$

Iz sfernog trokuta  $S_1 P_1 S_2$  dobiva se:

$$\cos A_1 = \frac{\sin V_2 - \sin V_1 \cdot \cos D}{\cos V_1 \cdot \sin D} \quad (8)$$

$$\pi_1 = (\pi_1 + A_1) - A_1 \quad (9)$$

Iz trokuta  $P_n P_1 S_1$  dobiva se sljedeće:

$$\sin \varphi = \sin \delta_1 \cdot \sin V_1 + \cos \delta_1 \cdot \cos V_1 \cdot \cos \pi_1 \quad (10)$$

$$\cos S_1 = \frac{\sin V_1 - \sin \delta_1 \cdot \sin \varphi}{\cos \delta_1 \cdot \cos \varphi} \quad (11)$$

$$[1] \quad \lambda = s_1 - S_1 \quad (12)$$

## 5.2. NEIZRAVNE METODE

Neizravne metode temelje se na određivanju stajnica od više nebeskih tijela, bilo istovremenim opažanjem ili u razmaku vremena. Stajnice se određuju na način već opisan u prethodnom poglavlju (Hilaireova metoda).

Za svako opažanje izračuna se razlika visina ( $\Delta V$ ) i azimut ( $\omega$ ), a na Mercatorovoj karti ucrtavaju se pravci pozicije. Pozicija broda jest presjecište pravaca pozicija.

Presjecište tri pravca položaja neće biti jedna točka, već će tvoriti trokut. Pozicija broda je u središtu tog trokuta, odnosno u sjecištu simetrala kutova tog trokuta.

Postupak rješavanja vidi se na primjerima koji slijede.

### 5.2.1. Određivanje pozicije istovremenim motrenjem tri nebeska tijela

Dana 14.01.2004. brod „Šubićevac“ u plovidbi Tihim oceanom nalazi se na poziciji zbrojenoj;  $P_z$  ( $\varphi_z = 35^\circ 30,0' N$  i  $\lambda_z = 151^\circ 05,0' W$ ). Mjere se visine dvije zvijezde i planeta. Zadatak je odrediti koordinate pozicije broda.

1. MARS	$V_i = 60^\circ 20,1'$	$t_x = 18^h 15^{\text{min}} 00^s$
2. ALDEBARAN	$V_i = 47^\circ 58,0'$	$t_x = 18^h 16^{\text{min}} 12^s$
3. MARKAB	$V_i = 48^\circ 23,4'$	$t_x = 18^h 17^{\text{min}} 48^s$

Greška indeksa  $K_i = 0,0'$  ; visina oka  $V_{OKA} = 17$  m

Prvi korak u rješavanju je izračun srednjeg vremena (UT):

1.  $UT = t_x - x = 18^h 15^{\text{min}} 00^s - (-10^h) = 28^h 15^{\text{min}} 00^s - 24^h = 04^h 15^{\text{min}} 00^s$  (15.01.2004)
2.  $UT = t_x - x = 18^h 16^{\text{min}} 12^s - (-10^h) = 28^h 16^{\text{min}} 12^s - 24^h = 04^h 16^{\text{min}} 12^s$  (15.01.2004)
3.  $UT = t_x - x = 18^h 17^{\text{min}} 48^s - (-10^h) = 28^h 17^{\text{min}} 48^s - 24^h = 04^h 17^{\text{min}} 48^s$  (15.01.2004)

Sljedeći korak je izračun mjesnog satnog kuta ( $s$ ). S izračunatim srednjim vremenom (UT) ulazi se u nautički godišnjak za datum 15.01.2004. Očitavaju se vrijednosti satnog kuta proljetne točke ( $S_\gamma$ ) i deklinacije ( $\delta$ ). Potrebno je izvršiti popravak za razliku u minutama i sekundama čija se vrijednost očitava iz tablica za popravak satnog kuta i deklinaciju ( $\Delta S$ ). Za planet je potrebno izvaditi vrijednosti za popravak satnog kuta i deklinacije ( $v$  i  $d$ ) koji se nalaze na dnu stupca. S tim podacima se ulazi u tablice za ispravke i izvršava se popravak ( $\Delta S$ ). Predznak popravka za deklinaciju ovisi o porastu ili opadanju deklinacije.

1. MARS	2. ALDEBARAN	3. MARKAB
$S = 157^\circ 36,6'$	$S_\gamma = 173^\circ 57,5'$	$S_\gamma = 173^\circ 57,5'$
$+ \Delta S = 3^\circ 45,0'$	$+ \Delta S_\gamma = 4^\circ 03,7'$	$+ \Delta S_\gamma = 4^\circ 27,7'$
$+ v(1,0) = 0,3'$	$S_\gamma = 178^\circ 1,2'$	$S_\gamma = 178^\circ 25,2'$
$S = 161^\circ 21,9'$	$+ \lambda_z = 151^\circ 05,0' W$	$+ \lambda_z = 151^\circ 05,0' W$

<u>+ <math>\lambda_z = 151^{\circ}05,0'W</math></u>	$s_\gamma = 26^{\circ}56,2'$	$s_\gamma = 27^{\circ}20,2'$
$s = 10^{\circ}16,9'W$	<u>+ (360° - <math>\alpha</math>) = 290°57,7'</u>	<u>+ (360° - <math>\alpha</math>) = 13°46,0'</u>
	$s = 317^{\circ}53,9'$	$s = 41^{\circ}06,2'$
	$s = 360^{\circ} - s$	$s = 41^{\circ}06,2' W$
$\delta = 07^{\circ}20,7'N$	$s = 42^{\circ}06,1'E$	
<u>+ <math>\Delta\delta (0,6) = +0,2'</math></u>		
$\delta = 07^{\circ}20,9'N$	$\delta = 16^{\circ}31,1'N$	$\delta = 15^{\circ}13,5'N$

Sljedeći korak je računanje visine prave ( $V_p$ ). Visinu izmjerenu potrebno je popraviti za korekturu ukupnu.

1. MARS	2. ALDEBARAN	3. MARKAB
$V_i = 60^{\circ}20,1'$	$V_i = 47^{\circ}58,0'$	$V_i = 48^{\circ}23,4'$
+ $K_i = 0,0'$	+ $K_i = 0,0'$	+ $K_i = 0,0'$
<u>+ <math>K_u = -7,9'</math></u>	<u>+ <math>K_u = -8,2'</math></u>	<u>+ <math>K_u = -8,2'</math></u>
$V_p = 60^{\circ}12,2'$	$V_p = 47^{\circ}49,8'$	$V_p = 48^{\circ}15,2'$

Nakon što je izračunata vrijednost visine prave ( $V_p$ ), računa se vrijednost visine računate ( $V_r$ ) i to po izrazu:

1. MARS	2. ALDEBARAN
$\sin V_r = \sin \varphi_z \sin \delta + \cos \varphi_z \cos \delta \cos s$	$\sin V_r = \sin \varphi_z \sin \delta + \cos \varphi_z \cos \delta \cos s$
$\sin V_r = 0.8687362359$	$\sin V_r = 0.7442154952$
$V_r = 60^{\circ}18,7'$	$V_r = 48^{\circ}05,5'$



### 3. MARKAB

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

$$\sin V_r = 0,7444239509 \quad V_r = 48^\circ 06,6'$$

Izračun azimuta ( $\omega$ ) :

#### 1. MARS

$$\cos \omega_r = \frac{\sin \delta - \sin \varphi_z \sin V_r}{\cos \varphi_z \cos V_r}$$

$$\cos \omega_r = -0,9339252702$$

$$\omega_r = 159,1^\circ \quad \omega_p = 360^\circ - \omega_r$$

$$\omega_p = 200,9^\circ$$

#### 2. ALDEBARAN

$$\cos \omega_r = \frac{\sin \delta - \sin \varphi_z \sin V_r}{\cos \varphi_z \cos V_r}$$

$$\cos \omega_r = -0,2718840523$$

$$\omega_r = 105,8^\circ \quad \omega_p = \omega_r$$

$$\omega_p = 105,8^\circ$$

### 3. MARKAB

$$\cos \omega_r = \frac{\sin \delta - \sin \varphi_z \sin V_r}{\cos \varphi_z \cos V_r}$$

$$\cos \omega_r = -0,312151225$$

$$\omega_r = 108,2^\circ \quad \omega_p = 360^\circ - \omega_r \quad \omega_p = 251,8^\circ$$

Izračun razlike visina ( $\Delta V$ ) :

#### 1. MARS

$$V_p = 60^\circ 12,2'$$

$$\underline{- V_r = 60^\circ 18,7'}$$

$$\Delta V = - 6,5'$$

#### 2. ALDEBARAN

$$V_p = 47^\circ 49,8'$$

$$\underline{- V_r = 48^\circ 05,5'}$$

$$\Delta V = - 15,7'$$

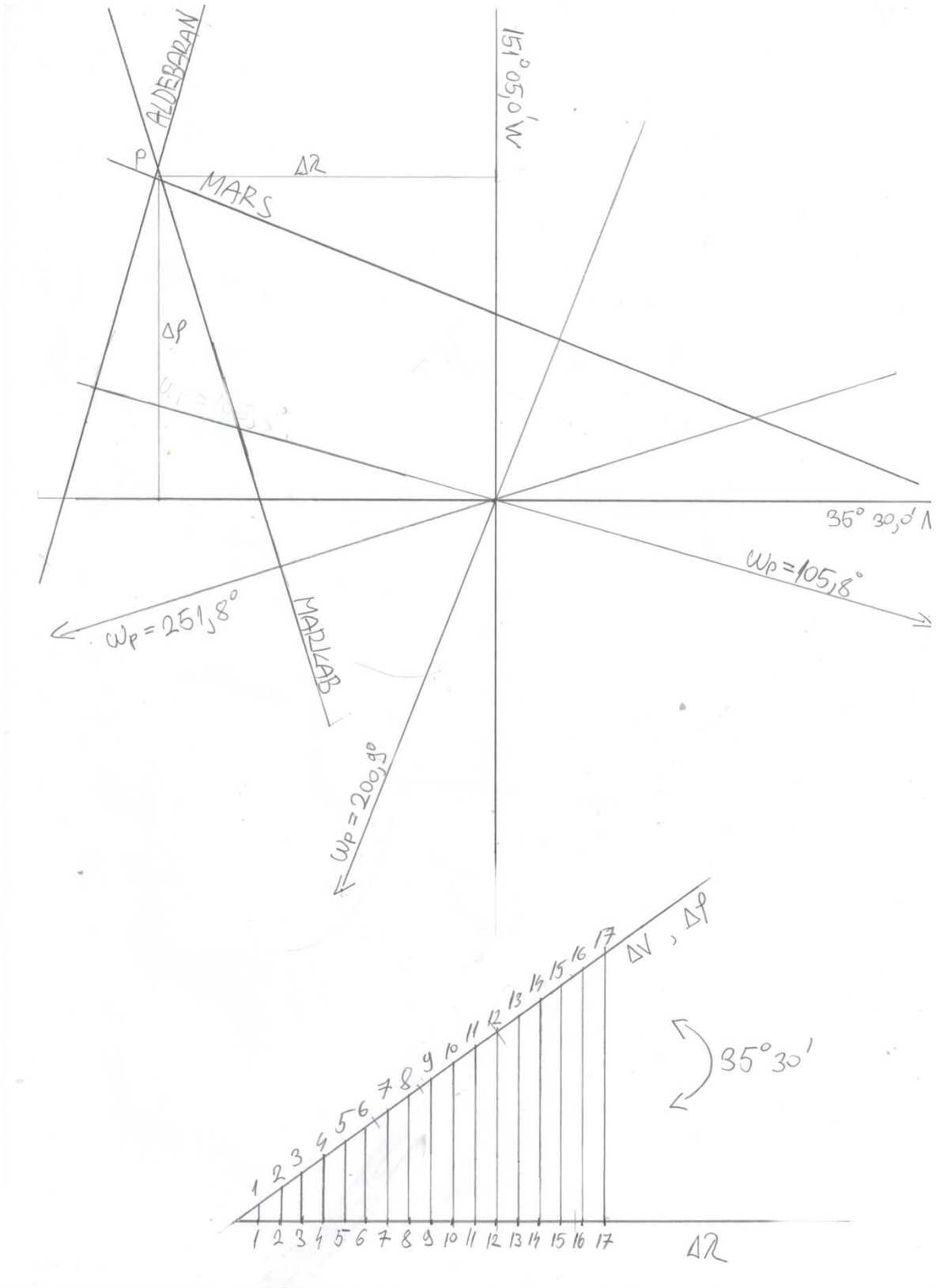
#### 3. MARKAB

$$V_p = 48^\circ 15,2'$$

$$\underline{- V_r = 48^\circ 06,6'}$$

$$\Delta V = + 8,6'$$

Kada su izračunati podatci aimuta pravog i razlike visine može se na Mercatorovoj ili bijeloj karti ucrtati stajnice na način opisan u prethodnom poglavlju i izračunati koordinate pozicije.



**Slika 8. Pozicija broda nastala opažanjem tri nebeska tijela**

Izračun koordinata pozicije broda ( $\varphi_p$  i  $\lambda_p$ ) :

$$\begin{array}{rcl} \varphi_z & = & 35^\circ 30,0' \text{ N} \\ +\Delta\varphi & = & \underline{11,9' \text{ N}} \\ \varphi_p & = & \mathbf{35^\circ 41,9' \text{ N}} \end{array} \qquad \begin{array}{rcl} \lambda_z & = & 151^\circ 05,0' \text{ W} \\ +\Delta\lambda & = & \underline{15,8' \text{ W}} \\ \lambda_p & = & \mathbf{151^\circ 20,8' \text{ W}} \end{array}$$

### 5.2.2. Određivanje pozicije broda motrenjem Sunca u razmaku vremena

Dana 05.08.2004. brod „Šibenik“ u plovidbi Sredozemnim morem nalazi se na poziciji zbrojenoj;  $P_z$  ( $\varphi_z = 32^\circ 15,0' \text{ N}$  i  $\lambda_z = 030^\circ 06,0' \text{ E}$ ), mjeri se visina Sunca (donji rub).

$$V_i = 57^\circ 39,0' \qquad t_x = 10^{\text{h}} 00^{\text{min}} 00^{\text{s}}$$

Brod nastavlja plovidbu u  $K_p = 081,0^\circ$ ; brzinom  $V_b = 10$  čvorova; te se ponovno mjeri visina Sunca (donji rub):

$$V_i = 72^\circ 36,0' \qquad t_x = 11^{\text{h}} 30^{\text{min}} 00^{\text{s}}$$

Greška indeksa  $K_i = -1,2'$ ; visina oka  $V_{\text{oka}} = 12 \text{ m}$

Zadatak je odrediti koordinate pozicije broda u trenutku drugog motrenja.

Izračun srednjeg vremena (UT):

1. MOTRENJE  $UT = t_x - x = 10^{\text{h}} 00^{\text{min}} 00^{\text{s}} - 02^{\text{h}} = UT = 08^{\text{h}} 00^{\text{min}} 00^{\text{s}}$
2. MOTRENJE  $UT = t_x - x = 11^{\text{h}} 30^{\text{min}} 00^{\text{s}} - 02^{\text{h}} = UT = 09^{\text{h}} 30^{\text{min}} 00^{\text{s}}$

Izračun mjesnog satnog kuta (s)

U nautički godišnjak ulazi se s ovako dobivenim srednjim vremenom (UT) i vade se podatci za satni kut (S) i deklinaciju ( $\delta$ ). Kada se radi o Suncu potrebno je s iste stranice sa dna stupca za Sunce uzeti vrijednost za popravak deklinacije (d). Također, potrebno je izvršiti popravak za razliku u minutama i sekundama čija se vrijednost očitava iz tablica za popravak satnog kuta i deklinaciju ( $\Delta S$ ). Na istoj stranici s prethodno uzetom vrijednosti (d) u stupcu (v-d kor) očitavaju se vrijednosti. Predznak popravka za deklinaciju ovisi o porastu ili opadanju deklinacije. Isti postupak vrijedi i za drugo motrenje.

## 1. MOTRENJE

$$S = 298^{\circ}30,8' \quad \delta = 16^{\circ}50,9' \text{ N}$$

$$+ \Delta S = 00^{\circ}00,0' \quad - \Delta \delta (0,7) = 0,0'$$

$$S = 298^{\circ}30,8' \quad \delta = 16^{\circ}50,9' \text{ N}$$

$$+ \lambda_z = 030^{\circ}06,0' \text{ E}$$

$$s = 328^{\circ}36,8'$$

$$s = 360^{\circ} - s$$

$$s = 31^{\circ}23,2' \text{ E}$$

## 2. MOTRENJE

$$S = 313^{\circ}30,9' \quad \delta = 16^{\circ}50,2' \text{ N}$$

$$+ \Delta S = 07^{\circ}30,0' \quad - \Delta \delta (0,7) = 0,4'$$

$$S = 321^{\circ}0,9' \quad \delta = 16^{\circ}49,8' \text{ N}$$

$$+ \lambda_z = 030^{\circ}06,0' \text{ E}$$

$$s = 351^{\circ}06,9'$$

$$s = 360^{\circ} - s$$

$$s = 08^{\circ}53,1' \text{ E}$$

Izračun visine prave ( $V_p$ ):

$$1. \text{ MOTRENJE } V_p = V_i + K_i + K_u = 57^{\circ}39,0' - 1,2' + 9,5' = V_p = 57^{\circ}47,3'$$

$$2. \text{ MOTRENJE } V_p = V_i + K_i + K_u = 72^{\circ}36,0' - 1,2' + 9,7' = V_p = 72^{\circ}44,5'$$

Izračun visine računate ( $V_r$ ) i azimuta ( $\omega_p$ ):

## 1. MOTRENJE

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

$$\sin V_r = 0,8456461177$$

$$V_r = 57^{\circ}44,5'$$

$$\cos \omega_r = \frac{\sin \delta - \sin \varphi_z \sin V_r}{\cos \varphi_z \cos V_r}$$

$$\cos \omega_r = -0,3575834054$$

$$\omega_r = 110,9^{\circ} \quad \omega_p = \omega_r$$

$$\omega_p = 110,9^{\circ}$$

## 2. MOTRENJE

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

$$\sin V_r = 0,9542888765$$

$$V_r = 72^{\circ}36,6'$$

$$\cos \omega_r = \frac{\sin \delta - \sin \varphi_z \sin V_r}{\cos \varphi_z \cos V_r}$$

$$\cos \omega_r = -0,8691481385$$

$$\omega_r = 150,4^{\circ} \quad \omega_p = \omega_r$$

$$\omega_p = 150,4^{\circ}$$

izračun razlike visine ( $\Delta V$ ) i prevaljenog puta (D):

$$1. \text{ MOTRENJE } \Delta V = V_p - V_r = 57^\circ 47,3' - 57^\circ 44,5' = \Delta V = + 2,8'$$

$$2. \text{ MOTRENJE } \Delta V = V_p - V_r = 72^\circ 44,5' - 72^\circ 36,6' = \Delta V = + 7,9'$$

---

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 11^{\text{h}}30^{\text{min}}00^{\text{s}} - 10^{\text{h}}00^{\text{min}}00^{\text{s}} = \Delta t = 90^{\text{min}}$$

$$D = \frac{v_b}{60} \times \Delta t$$

$$D = 15 \text{ NM}$$

---

Iz sjecišta prvog pravca položaja Sunca i kursa broda (točka A) na kurs se nanosi prevaljeni put (D), te se tako dobije točka B. Do točke B se paralelno prenese pravac položaja 1. motrenja. Sjecište prenesenog pravca položaja 1. motrenja i pravca položaja 2. motrenja je pozicija broda. (vidi sliku 9)

Izračun koordinata pozicije broda ( $\varphi_p$ ) i ( $\lambda_z$ ):

$$\varphi_z = 32^\circ 15,0' \text{ N}$$

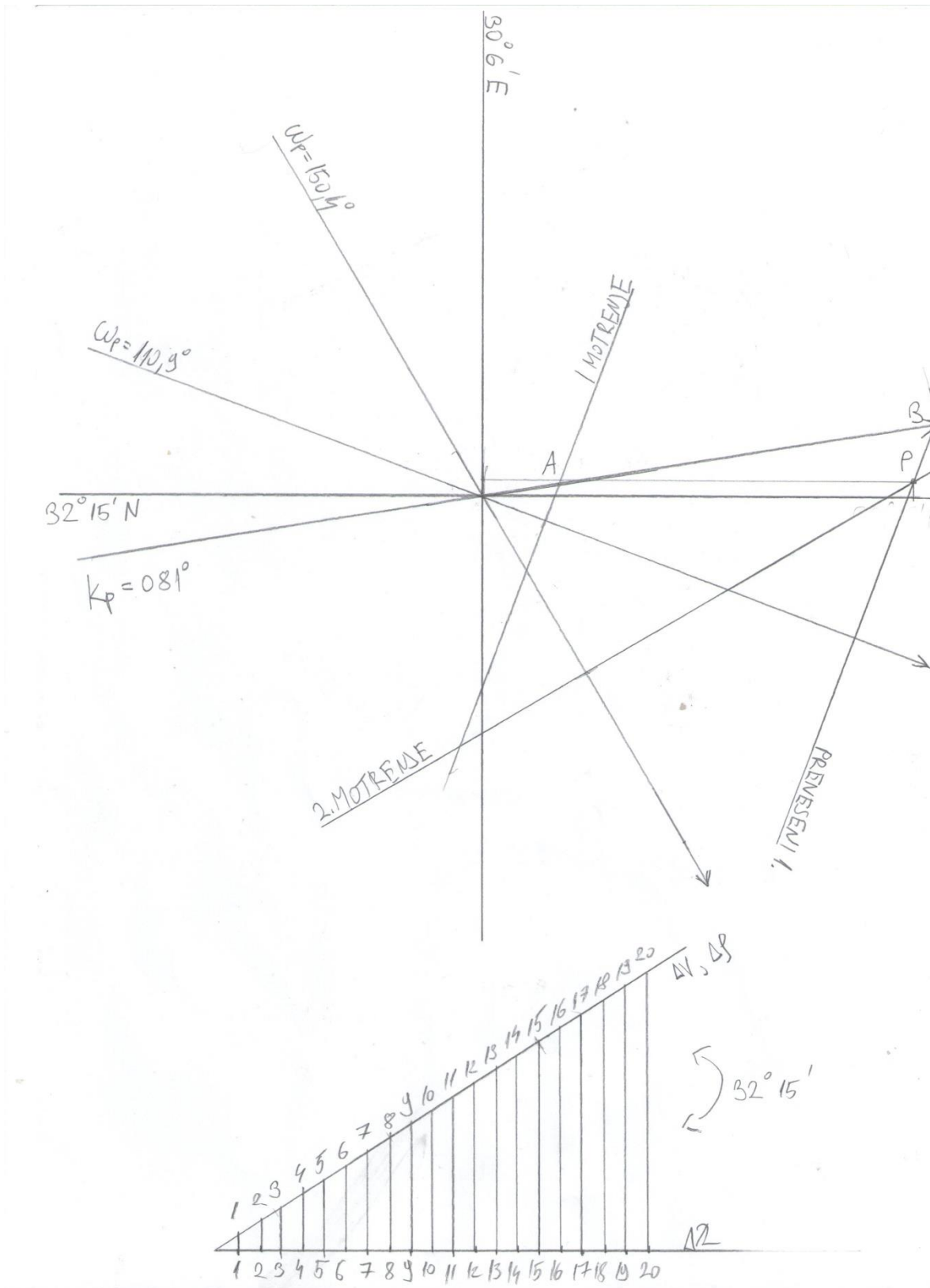
$$\lambda_z = 030^\circ 06,0' \text{ E}$$

$$+ \Delta\varphi = \underline{0,8' \text{ N}}$$

$$+ \Delta\lambda = \underline{20,0' \text{ E}}$$

$$\varphi_p = \mathbf{32^\circ 15,8' \text{ N}}$$

$$\lambda_p = \mathbf{030^\circ 26,0' \text{ E}}$$



Slika 9. Pozicija u razmaku vremena

### 5.3. ODREĐIVANJE ZEMLJOPISNE ŠIRINE

Zemljopisnu širinu ( $\varphi$ ) može se dobiti mjerenjem visine nebeskog tijela u trenutku prolaska kroz gornji meridijan. To je jedna od najstarijih metoda izračuna astronomske stajnice.

Ako se nebesko tijelo nalazi u meridijanu, azimut ( $\omega$ ) mu iznosi  $0^\circ$  ili  $180^\circ$  (na sjevernoj hemisferi je  $180^\circ$ , a na južnoj  $0^\circ$ ). Njegov mjesni satni kut ( $s$ ) je nula pa se iz formula za visinu može izvesti da je  $\varphi = 90^\circ - V + \delta$ .

Komplement visine ( $z = 90^\circ - V$ ) je luk meridijana od središta nebeskog tijela do zenita. Zemljopisna širina se može izračunati iz izraza:

$$\varphi_m = z + \delta \quad (\delta \text{ i } \varphi \text{ su istoimeni})$$

Dakle može se reći da je zemljopisna širina algebarski zbroj zenitne udaljenosti i deklinacije pa je opći oblik za računanje:

$$\varphi_m = (\pm Z) + (\pm \delta) . \quad (17)$$

Valja paziti da ako je u trenutku mjerenja visine nebeskog tijela u meridijanu opažatelj bio okrenut prema jugu (leđima prema sjeveru) tada zenitna udaljenost ima pozitivan predznak, a ako je bio okrenut prema sjeveru zenitna udaljenost ima negativan predznak.

U trenutku maksimalne vrijednosti visine nebeskog tijela u blizini meridijana sekstantom se izmjeri visina. Ta visina se ispravi za depresiju, refrakciju i paralaksu. Ta visina je visina nebeskog tijela u meridijanu ( $V_m$ ).

Deklinaciju nebeskog tijela izvadi se iz nautičkog godišnjaka za srednje griničko vrijeme (UT). (UT) se očita na kronometru.

Sada su poznati svi potrebni elementi za izračun zemljopisne širine: meridijanska visina ( $V_m$ ) i deklinacija ( $\delta$ ).

U trenutku prolaza nebeskog tijela kroz gornji meridijan mjesni satni kut nebeskog tijela je  $0^\circ$ , odnosno zemljopisna dužina izjednačava se s griničkim satnim kutom. Dakle, prolaskom tijela kroz gornji meridijan moguće je odrediti i zemljopisnu dužinu. Kod određivanja zemljopisne dužine uz pomoć tijela koje prolazi kroz gornji (donji) meridijan

potrebno je točno odrediti vrijeme prolaska kroz meridijan. To vrijeme ne mora biti identično vremenu najveće (kulminacijske) visine. Postupak određivanja prolaska nebeskog tijela kroz meridijan može se izvesti grafički i računski. Postupak je relativno kompliciran i dugotrojan, zato se na brodovima rijetko izvodi. [5]

Određivanje zemljopisne širine mjerenjem Polare moguće je samo na sjevernoj hemisferi, na širinama većim od  $15^\circ$ .

Zvijezda polara najsjajnija je zvijezda u zviježđu Mali medvjed. Nalazi se u neposrednoj blizini sjevernog zemaljskog pola. Zato se može reći da je visina polarne zvijezde približno jednaka zemljopisnoj širini.

Zbog precesije ona se ne nalazi točno u točki pola. Zbog toga za izračun zemljopisne širine je potrebno visinu polarne zvijezde ispraviti za veličinu odstupanja njezinog položaja od nebeskog pola. Ta korektura se algebarski pridoda pravoj visini i tako se dobije zemljopisna širina. Postupak je slijedeći:

- Izmjeri se visina Polare i očita vrijeme na kronometru.
- Ispravi se visinu i vrijeme na kronometru i dobije srednje griničko vrijeme (UT). S tim vremenom se ulazi u nautički godišnjak i očitava satni kut proljetne točke ( $S\gamma$ ).
- Toj vrijednosti pribroji se zemljopisna dužina zbrojene pozicije, i tako se dobije mjesni satni kut proljetne točke ( $s$ ).
- S mjesnim satnim kutom ulazi se u tablice za ispravak visine Polare i iz prve tablice dobiva se ispravak K1.
- Sa mjesnim satnim kutom i zemljopisnom dužinom zbrojene pozicije iz druge tablice dobiva se ispravak K2.
- Sa mjesnim satnim kutom i datumom iz treće tablice očitava se vrijednost ispravka K3.
- Ispravljenoj visini Polare pribroji se vrijednost ukupne korekcije ( $K1 + K2 + K3$ ) i dobiva se vrijednost zemljopisne širine. (kod nekih nautičkih godišnjaka potrebno je oduzeti  $1^\circ$ ).

Na istoj stranici gdje se čitaju korekcije K1, K2 i K3, nalazi se i podatak o pravom azimutu zvijezde Polare, u funkciji mjesnog satnog kuta proljetne točke. [5]



## 5.4. GREŠKE U ASTRONOMSKOJ NAVIGACIJI

Navigacijske greške u astronomskoj navigaciji mogu se podijeliti na greške pravca položaja (stajnice) i greške položaja broda. S obzirom da poziciju broda određuje sjecište dvije ili više stajnica, može se zaključiti da su greške položaja broda nastale kao posljedica greške pravca položaja. .

Elementi bitni da bi se našao pravac položaja po visinskoj metodi su azimut ( $\omega$ ) i razlika visina ( $\Delta V$ ). Azimut i računata visina dobivaju se po formulama, a izmjerena visina mjeri se sekstantom. Kada bi svi elementi bili točni brod bi se nalazio na pravcu položaja. Međutim svaki od parametara i varijabli može sadržavati grešku.

Greške pravca položaja mogu nastati zbog: greške izmjerene visine; greške računate visine; greške prijenosa pravca položaja; greške zamjene luka položaja lukom loksodromne; greške zamjene ortodromskog loksodromskim azimutom.

Greške položaja broda mogu nastati kao posljedica: sustavne i slučajne greške pravca položaja; greške zbog prijenosa pravca položaja; greške zbog zamjene kružnice položaja lukom loksodrome; greške zbog zamjene ortodromskog loksodromskim smjerom.

Kada se opažaju nebeska tijela u kraćem vremenskom razmaku, dopustivo je zanemariti greške zbog prijenosa pravca položaja. Kad visine nisu prevelike ( $V < 75^\circ$ ) i kada udaljenost prave od zbrojene pozicije nije značajna ( $D < 30$  NM), mogu se zanemariti greške zbog zamjene kružnice položaja lukom loksodrome i greške zbog zamjene ortodromskog loksodromskim smjerom. Sustavne i slučajne greške pravca položaja nisu nikad zanemarive, i potrebno ih je uvijek uzeti u obzir.

Važno je razlikovati sustavne greške od onih slučajnih. Sustavne greške zadržavaju predznak i veličinu u nizu mjerenja (primjer je indeksna greška sekstanta), dok slučajne greške nemaju stalnu veličinu niti predznak.

U astronomskoj navigaciji postoje i takozvane previdne greške. To su greške posade nastale zbog neznanja, nemara, nepažnje i slično [5]

## 6. ASTRONOMSKA NAVIGACIJA BEZ UPOTREBE SEKSTANTA

Ako nije moguće koristiti se klasičnim sekstantom, može se mjeriti visina nebeskih tijela uz pomoć ostalih vrsta sekstanta. To mogu biti: sekstanti s umjetnim horizontom (sekstant na libelu i sekstant sa žiroskopom), radiosekstant, periskopski sekstanti, fotoelektrični sekstanti.

### 6.1. OSTALE VRSTE SEKSTANTA

Fotoelektrični sekstant može se koristiti u pomorskom i zračnom prometu. Način rada ovoga sekstanta svodi se na projekciju slike neba u navigacijskoj kabini. Fotoelektrični sekstant prati visine Sunca i Mjeseca danju, a planeta i zvijezda noću. Takva projicirana slika se uspoređuje s koordinatama zbrojene pozicije. Na taj način se određuje pozicija broda ili zrakoplova.

Periskopski sekstanti koristili su se u zrakoplovima. Moguće je bilo odrediti poziciju s točnošću od 2' do 5'. Ovakvi sekstanti mjere više visina istog nebeskog tijela tijekom dvije minute, a ugrađeni računski sustav izračunava srednju visinu. Periskopski sekstanti konstruirani su tako da se visine nebeskih tijela mjere sustavom prelamanja svjetlosnih zraka koji omogućuje identifikaciju nebeskih tijela.

Radiosekstant funkcionira kao mali teleskop. Malo se upotrebljava na brodovima zbog skupoće i činjenice da je taj instrument i dalje u fazi istraživanja. Omogućuje mjerenja u mikrovalnom spektru pa mu je prednost što može mjeriti visine Sunca i Mjeseca i onda kada se ne vide (pri oblačnom vremenu ili magli). Visine mjere s preciznošću od 1', a u sustav je ugrađen i računalni stroj koji automatski izračunava astronomsku stajnicu.

Kada morski horizont nije vidljiv (kod mjerenja noću, zbog nevremena, magle i slično) moguće je pravi horizont zamijeniti umjetnim horizontom. Na tom principu rade sekstanti s umjetnim horizontom. Koriste se različita tehnička rješenja kojima se identificira ravnina horizonta. Ovi sekstanti se ne primjenjuju mnogo na brodovima iz razloga što se umjetni horizonti ne mogu upotrebljavati pri valjanju ili posrtanju broda (što je čest slučaj) jer tada

su pogreške prevelike. Ima više tipova sekstanta s umjetnim horizontom. To su: s libelom, na njihalo ili sa žiroskopom.

Sekstanti na libelu su bili popularni u zračnoj navigaciji gdje zbog visine leta i velike pogreške u depresiji nije bilo moguće se koristiti vidljivim horizontom. Sekstant na libelu koristi isto načelo kao i obični sekstant, samo je vidljiv horizont zamijenjen libelom. To je zračni mjehurić u koji se prilikom mjerenja dovodi odbijena slika nebeskog tijela. Ovim sekstantom mjeri se kut između zrcala, umjesto kuta između pravaca u prostoru.

Visine nebeskih tijela sekstantom na libelu mjere se dovođenjem tri točke u koincidenciju u vidnom polju okulara: centar nebeskog tijela, centar mjehurića leće i centar vidnog polja. [5]

## 6.2. ASTRONOMSKA STAJNICA BEZ SEKSTANTA

Visinu nebeskog tijela može se definirati kao kut u središtu sfere između horizonta i nebeskog tijela. Ako se nebesko tijelo nalazi na liniji horizonta (trenutak izlaska ili zalaska), tada se zna da mu je visina jednaka nuli pa nije potreban sekstant.

Ova metoda se temelji na osmatranju vidljivog izlaska (zalaska) Sunca (mjeri se gornji rub Sunca na horizontu). Iz nautičkog godišnjaka može se očitati vrijednost srednjeg mjesnog vremena izlaska (zalaska) Sunca ( $t_s$ ). Ako se sa poznatom zemljopisnom širinom odredi srednje mjesno vrijeme izlaska (zalaska) Sunca ( $t_s$ ) i u trenutku izlaska (zalaska) odredi kronometrom srednje griničko vrijeme (UT) onda se iz razlike srednjeg mjesnog vremena izlaska (zalaska) i srednjeg griničkog vremena može izračunati zemljopisna dužina.

$$\lambda = t_s - UT \quad (18)$$

Nebesko tijelo koje se nalazi na horizontu ima visinu  $0^\circ$ , a tijelo koje se nalazi u zenitu (iznad glave opažača) ima visinu  $90^\circ$ . Kada je tijelo u zenitu deklinacija tog tijela odgovara zemljopisnoj širini opažača, a Greenwich satni kut zemljopisnoj dužini opažača ( $S = -\lambda$ ).

[4]

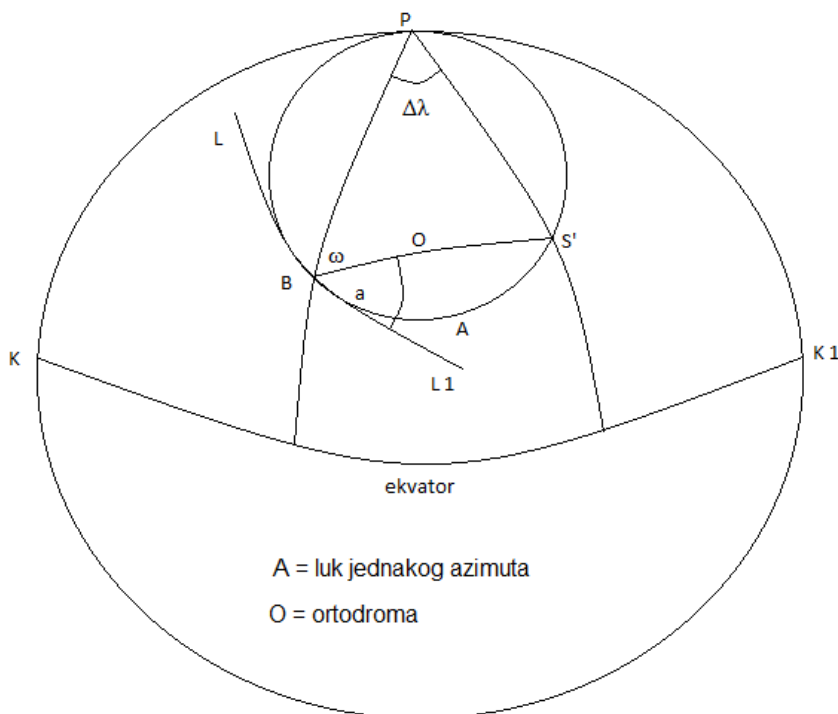
### 6.3. POZICIJA BRODA KOJA SE DOBIJE POMOĆU DVA AZIMUTA

Azimutna metoda određivanja stajnice je povoljna kada se mjere nebeska tijela vrlo velikih visina (zenitna udaljenost manja od 400 NM).

Poznato je da se mjerenjem visine nebeskog tijela može doći do stajnice. Tako se i mjerenjem azimuta nebeskog tijela može doći do linije azimuta (stajnice).

Kod radio – goniometarskih opažanja terestričkih objekata može se pretpostaviti da će se zbog relativno male udaljenosti luk krivulje azimuta podudarati sa lukom glavnog kruga (ortodromom), a ova sa loksodromom uslijed malih udaljenosti. Međutim, kada se opažaju velike udaljenosti (nebeska tijela) tada se javljaju odstupanja od loksodrome i potrebno je izvršiti popravak.

U nautičkim tablicama (NT 23) mogu se pronaći vrijednosti popravaka (polukonvergencije meridijana) za pretvaranje ortodromskih radio–azimuta u loksodromske i podatke za ucrtavanje ortodrome na pomorsku kartu u Mercatorovoj projekciji u slučaju velikih udaljenosti. [4]



Slika 10. Određivanje stajnice uz pomoć azimuta [4]

U trenutku mjerenja azimuta ( $\omega$ ) nebeskog tijela S' brod B se nalazi negdje na krivulji jednakog azimuta (slika 10). Luk O predstavlja ortodromu, dok luk A predstavlja luk jednakog azimuta. Luk jednakog azimuta može se zamijeniti s linijom azimuta (L,L1). To je geometrijsko mjesto iz kojeg bi svi promatrači u istom trenutku izmjerili isti azimut za jedno nebesko tijelo. Linija azimuta i ortodroma zatvaraju međusobno kut koji se može dobiti iz izraza:

$$\tan \alpha = \tan \Delta\lambda \cdot \sin \varphi \quad (19)$$

gdje je  $\Delta\lambda$  razlika zemljopisne dužine pozicije broda i točke projekcije S', a  $\varphi$  predstavlja zemljopisnu širinu pozicije broda. Zemljopisna dužina i širina nisu poznati, ali se mogu uzeti iz zbrojene pozicije ili jedna od njih procijeniti (ili dobiti nekom od alternativnih metoda), a druga izračunati. Ponavljanjem postupka za drugo nebesko tijelo dolazi se do druge stajnice, odnosno pozicije broda.

Ako je jedna koordinata poznata, do druge se može doći računom zemljopisne širine, računom zemljopisne dužine ili računom Marcq de Saint Hilaire. Uzimajući na primjer poznatu zemljopisnu dužinu, zemljopisna širina može se odrediti prema sljedećim formulama:

$$\tan x = \cot \delta \cdot \cos s \quad (20)$$

$$\cos(\varphi + x) = \cos \omega \cdot \tan x \cdot \sin x \quad (21)$$

Ako je poznata zemljopisna širina, a traži se dužina mogu se koristiti formule (11) i (12).

Mora se napomenuti da je bitno izmjeriti točnu vrijednost azimuta jer i mala greška u azimutu može puno utjecati na koordinate dobivene pozicije. [4]

## 7. RAČUNALNI PROGRAMI (APLIKACIJE)

Aplikacija (engl. Application software) se može definirati kao računalni program koji je primjenjiv i dizajniran za pomoć korisnicima da bi izvršavali jedan ili više određenih zadataka.

Na internetu postoji mnogo aplikacija koje su primjenjive za astronomske navigacije i koje se mogu preuzeti. Ima ih svakakvih: besplatnih, jeftinih, skupih, praktičnih, nepraktičnih, jednostavnih, kompliciranih, lijepo dizajniranih i onih nespretnih. Prednost ovakvih programa je raspoloživost i jednostavnost uporabe. Spomenuti će se samo one aplikacije koje se mogu primijeniti na praktični dio astronomske navigacije.

Interactive Computer Almanac 0,51 (ICE) je računalni program proizveden od strane američke agencije „United States Naval Observatory“ koja se bavi pozicioniranjem i navigacijom za potrebe američke mornarice i ministarstva obrane. Danas je prenamjenjen za civilnu upotrebu. Ovaj program ima mogućnost izračuna griničkog satnog kuta i deklinacije za Sunce, Mjesec, planete i određene navigacijske zvijezde s jednakom točnošću kao i klasični (papirnat) nautički godišnjak. Prednost mu je što daje podatke za vremensko razdoblje od skoro 250 godina (od 1801. do 2049.). Tu se mogu naći i podatci o azimutu nebeskih tijela, o visini računatoj za zbrojenu poziciju, o vremenu izlaska i zalaska nebeskih tijela, o vremenu sumraka, o popravcima visina. Moglo bi se reći da je ovaj program digitalna verzija klasičnog (papirnatog) nautičkog godišnjaka. [6]

ICE je stariji program proizveden u kasnim 80 – tim godinama. Novija verzija ovakvog programa zove se MICA (Multi-year Interactive Computer Almanac). Za razliku od ICE programa MICA nije besplatan. [6]

Postoji i računalni programi namjenjeni računanju podataka za konstrukciju astronomske stajnice na karti (visinska metoda). Takvi programi većinom su pisani u programskom jeziku *javascript*. Podaci koji se računaju su azimut ( $\omega$ ) i razlika visina ( $\Delta V$ ). Neki od programa koji to mogu su: Starpilot, Sightred, Sunsight (sadrži u sebi efemeride samo za Sunce), Palm pilot, Celestial, Skymate. [6]

Ovakvi programi su zamišljeni na način da izvedu proračune za određivanje elemenata astronomske stajnice (vidi potpoglavlje „visinska metoda“).

<b>Geographic position of body:</b>		<b>Assumed position:</b>	
Greenwich hour angle	<input type="text"/> ° <input type="text"/> '	Longitude	<input type="text"/> ° <input type="text"/> ' <input checked="" type="radio"/> E <input type="radio"/> W
Declination	<input type="text"/> ° <input type="text"/> ' <input checked="" type="radio"/> N <input type="radio"/> S	Latitude	<input type="text"/> ° <input type="text"/> ' <input checked="" type="radio"/> N <input type="radio"/> S
<b>Instrument reading:</b> <input type="text"/> ° <input type="text"/> '		Sea horizon	Upper limb
<b>Altitude correction parameters:</b>		<b>Results:</b>	
Index error *	<input type="text"/> '	Observed altitude	<input type="text"/> ° <input type="text"/> '
Height of eye	<input type="text"/> <input checked="" type="radio"/> m <input type="radio"/> ft	Computed altitude	<input type="text"/> ° <input type="text"/> '
Air temperature	<input type="text"/> <input checked="" type="radio"/> C <input type="radio"/> F	Azimuth	<input type="text"/> ° <input type="text"/> '
Atm. pressure	<input type="text"/> mbar	Intercept	<input type="text"/> nm
Horizontal parallax	<input type="text"/> '		<input type="text"/> km
Semidiameter	<input type="text"/> '	<input type="button" value="Reset"/>	<input type="button" value="Reduce sight"/>

Slika 11. Računalni program Sightred [6]

Ulazni parametri su grinički satni kut i deklinacija nebeskog tijela koje se promatra (ti podaci se mogu dobiti iz nautičkog godišnjaka ili iz programa Interactive Computer Almanac 0,51 (ICE)), koordinate zbrojene pozicije, i visina izmjerena. Potrebno je unijeti i parametre za ispravke visina. Ako nisu unesene vrijednosti za temperaturu zraka i tlak zraka program će koristiti standarne vrijednosti (10° C; 1100 mbar). Ako nije unesena neka druga vrijednost program će računati s nulom. Kada su uneseni svi potrebni parametri, dovoljno je pritisnuti tipku „reduce sight“ u donjem desnom kutu i program će obaviti izračun. Uz ovakav program, potreban je još samo sekstant i onda je moguće odrediti poziciju vrlo jednostavno. [6]

Računalni programi poput skymap, skysafari, star chart, star walk i slični programi popularni su na internetu. To su virtualne karte neba, iz kojih se mogu identificirati nebeska tijela i saznati razni podatci o tom tijelu (uz mnoštvo slika).

Naprimjer, program Skymap dostupan je na internetu i jednostavan je za uporabu. Uz pomoć ovog programa dovoljno je samo usmjeriti uređaj (pametni telefon) prema određenoj točki na nebeskoj sferi i mogu se saznati detaljni podatci o nebeskim tijelima u tom području. Dostupni su podatci od preko 1000 nebeskih tijela, uključujući sve planete Sunčevog sustava, mnoge zvijezde i zvijezda. [8]

Aplikacije mogu biti od velike pomoći zbog jednostavnosti i lakoće rukovanja. Međutim, bilo bi loše se osloniti samo na aplikacije i zaboraviti klasični način rješavanja zadataka jer aplikacije nisu neovisne (rade na struju) i mogu biti nepouzdana (loša kvaliteta). Ovakve aplikacije mogu biti neupotrebljive bez sekstanta, jer bez poznate visine ne može se doći do stajnice.



## 8. ZAKLJUČAK

Danas su brodovi opremljeni suvremenom elektroničkom opremom. Služe se naprednim satelitskim sustavima pozicioniranja, i tako mogu vrlo lako, brzo i jednostavno odrediti koordinate pozicije broda u određenom trenutku.

Međutim, unatoč tim suvremenim dostignućima, ne smanjuje se potreba za izučavanjem astronomske navigacije u pomorskom obrazovanju. Astronomija je stara znanost. Razvila se iz praktičnih potreba i zadržala je i dalje taj svoj praktični značaj. Razlog tomu je što se u praksi nikada ne zna hoće li zakazati neki uređaj ili cijeli sustav, dok terestrički i nebeski objekti ostaju na raspolaganju neovisno o elektroničkim sustavima. Astronomska navigacija jedini je autonomni navigacijski sustav u oceanskoj plovidbi. Ne ovisi o tehničkoj ispravnosti uređaja na brodu ili kopnu, pa ni o volji pojedinih država koje kontroliraju te uređaje na kopnu.

Sekstant i nautičke publikacije namijenjene za rješavanje zadataka astronomske navigacije nalaze se na brodovima kao sastavni dio obavezne opreme, tako da časnici palube, po potrebi mogu odrediti poziciju na temelju opažanja nebeskih tijela.

## LITERATURA

- [1] Čumbelić, P: *Astronomska navigacija 2*, Pomorski fakultet Dubrovnik, Dubrovnik 1990.
- [2] Franušić, B: *Astronomska navigacija 1*, Pomorski fakultet Dubrovnik, Dubrovnik 1989.
- [3] Kondić, N; Palčić, J: *Zbirka primjera iz astronomske i oceanske navigacije s riješenjima*, Hrvatski hidrografski institut, Split, 2007.
- [4] Lipovac, M: *Astronomska navigacija*, Hidrografski institut jugoslavenske ratne mornarice, Split, 1981.
- [5] Lušić, Z; Baljak, K: *Astronomska navigacija*, Pomorski fakultet Split, Split, 2007.
- [6] URL: <http://www.celnav.de/>, (02.03.2017.)
- [7] URL: [https://hr.wikipedia.org/wiki/Povijest\\_astronomije](https://hr.wikipedia.org/wiki/Povijest_astronomije) (25.02.2017.)
- [8] URL: [https://play.google.com/store/apps/details?id=com.simulationcurriculum.sky\\_safari4&hl=hr](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.simulationcurriculum.sky_safari4&hl=hr) (03.03.2017.)
- [9] URL: <http://www.ss-aharacica-malilosinj.com.hr/> (28.02.2017.)
- [10] URL: <https://sextantbook.com/2014/06/> (05.09.2017.)

## POPIS ILUSTRACIJA

Slika 1. Moderni sekstant i glavni djelovi .....	5
Slika 2. Načelo rada sekstanta .....	6
Slika 3. Kružnica jednakih visina .....	9
Slika 4. Kružnica visine i kružnica zbrojene pozicije .....	11
Slika 5. Shema visinske metode .....	13
Slika 6. Konstrukcija stajnice na Mercatorovoj karti .....	14
Slika 7. Dozierova metoda .....	16
Slika 8. Pozicija broda nastala istovremenim mjerenjem visina .....	21
Slika 9. Pozicija u razmaku vremena .....	25
Slika 10. Određivanje stajnice uz pomoć azimuta.....	33
Slika 11. Računalni program Sightred .....	36