

Azimut u astronomskoj navigaciji

Žunić, Nikola

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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:164:847006>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-01**

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

NIKOLA ŽUNIĆ

AZIMUT U ASTRONOMSKOJ NAVIGACIJI

DIPLOMSKI RAD

SPLIT, 2019.

Split, 28.11.2018.

Zavod/studij: Zavod za nautiku / Studij pomorske nautike

Predmet: Upravljanje navigacijskim i nadzornim sustavima

DIPLOMSKI ZADATAK

Student/ca: Nikola Žunić

Matični broj: 0171261338

Zavod/studij: Zavod za nautiku / Studij pomorske nautike

ZADATAK: Azimut u astronomskoj navigaciji

OPIS ZADATKA: Utvrđiti mogućnosti određivanja stajnice uz pomoć nebeskih tijela, analizirati mogućnosti upotrebe isključivo azimuta nebeskog tijela kako bi se došlo do stajnice, intepretirati važnost izoazimuta i upotrebljivost ECDIS sustava za rješavanje problema pozicioniranja u astronomskoj navigaciji.

CILJ: Analizirati upotrebljivost azimuta nebeskog tijela u svrhu dobivanja stajnice, odnosno pozicije broda.

ZADATAK URUČEN STUDENTU/CI: Nikola Žunić

POTPIS STUDENTA/CE: _____

MENTOR: _____

SVEUČILIŠTE U SPLITU
POMORSKI FAKULTET

STUDIJ: POMORSKA NAUTIKA

AZIMUT U ASTRONOMSKOJ NAVIGACIJI

DIPLOMSKI RAD

MENTOR:

STUDENT:

dr.sc. Zvonimir Lušić, izv.prof.

Nikola Žunić (MB:0171261338)

SPLIT, 2019.

SAŽETAK

Jedan od najstarijih predmeta ljudskog proučavanja planeta Zemlje jest njegovo nebo. Neki od najranijih ljudskih rituala su se zasnivali na nebeskim pojavama poput pomrčine Sunca, gradnja hramova se vršila na temelju određivanja istaknutih točaka na nebu, kao što su izlaz, zalaz, kulminacija Sunca, položaj zvijezda. Kroz povijest jača ljudsko zanimanje za proučavanje nebeskih tijela, želja za spoznajom o zakonitostima gibanja nebeskih tijela, što dovodi do pojave praktične astronomije. Jedna od takvih praktičnih primjena astronomije jest astronomska navigacija, koja je ljudima omogućila plovidbu na veće udaljenosti od obale, orijentaciju u prostoru, a samim time i istraživanje Zemlje kao planeta. Korištenje metoda astronomske navigacije polako izlaze iz prakse. Jedan od načina očuvanja korištenja ovih metoda jest njihova implementacija u moderne ECDIS sustave.

Ključne riječi: *zvijezde, astronomija, astronomska navigacija, azimut, nebesko tijelo, ECDIS.*

SUMMARY

One of the oldest objects of human study of the planet Earth is its sky. Some of the earliest human rituals were based on celestial phenomena such as the solar eclipse, temple construction was based on the designation of prominent points in the sky, such as the exit, the sunset, the culmination of the Sun, the position of the constellation. Throughout history, strong human interest in the study of celestial bodies, the desire for knowledge about the laws of behavior of celestial bodies, which leads to the emergence of practical astronomy. One such practical application of astronomy is astronomical navigation, which has enabled people to navigate at greater distances from the coast, orientation in space, and thus exploration of the planet. The use of astronomical navigation methods is slowly coming out of practice. One way to preserve the use of these methods is to implement them in modern ECDIS systems.

Keywords: *star constellation, astronomy, celestial navigation, azimuth, a celestial body, ECDIS.*

SADRŽAJ:

| | |
|--|-----------|
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. ASTRONOMIJA U NAVIGACIJI..... | 3 |
| 2.1. KOORDINATNI SUSTAVI U ASTRONOMIJI..... | 5 |
| 2.2. NEBESKA TIJELA I PRIVDNA KRETANJA..... | 8 |
| 2.3. OSNOVE MJERENJA VREMENA..... | 13 |
| 2.4. ISPRAVAK IZMJERENIH VISINA..... | 15 |
| 2.5. NAUTIČKI GODIŠNJAK I IDENTIFIKACIJA ZVIJEZDA..... | 16 |
| 2.6. STAJNICA U ASTRONOMSKOJ NAVIGACIJI..... | 17 |
| 3. TEORIJA IZRAČUNA ASTRONOMSKE POZICIJE BRODA BEZ OPAŽANJA VISINE NEBESKOG TIJELA..... | 20 |
| 3.1. TEORIJSKE OSNOVE..... | 23 |
| 3.2. IZRAČUN ZEMLJOPISNE DUŽINE ZA ODABRANU ŠIRINU..... | 22 |
| 3.3. IZRAČUN ZEMLJOPISNE ŠIRINE ZA ODABRANU DUŽINU..... | 24 |
| 4. PRIMJER DOBIVANJA POZICIJE BRODA POZNAVANJEM SAMO AZIMUTA NEBESKOG TIJELA..... | 26 |
| 5. UPOTREBA ECDISA U ASTONOMSKOJ NAVIGACIJI..... | 30 |
| 5.1. RUČNO ODREĐENA POZICIJA U ECDIS SUSTAVU..... | 30 |
| 5.2. PRIMJENA DOSTUPNIH ALATA ZA RUČNO UCRTAVANJE..... | 31 |
| 5.3. STAJNICA ASTRONOMSKE NAVIGACIJE U ECDIS SUSTAVU..... | 33 |
| 5.3.1. Primjena funkcije „Manually fixed position“..... | 34 |
| 5.3.2. Uporaba ECDIS funkcija „Maps“ ili „Manual Correction“..... | 37 |
| 5.4. PRIMJENA AZIMUTA I IZOAZIMUTA U POZICIONIRANJU..... | 40 |
| 5.4.1. Izoazimuti..... | 40 |
| 5.4.2. Izravno crtanje azimuta..... | 42 |
| 6. ZAKLJUČAK..... | 45 |
| LITERATURA..... | 46 |
| POPIS SLIKA..... | 47 |
| POPIS TABLICA..... | 49 |

1. UVOD

Astronomija kao znanstvena disciplina, proučava nebeska tijela, predviđa buduće položaje i kretanja nebeskih tijela, nastoji razumjeti ta kretanja te objasniti njihova fizička svojstva. Za navigatora najvažnija grana astronomije jest navigacijska astronomija, koja se uglavnom bavi nebeskim koordinatama, vremenom i prividnim kretanjima nebeskih tijela kako bi se mogla odrediti pozicija broda. Sunce, najvidljiviji nebeski objekt na nebu, središnje je tijelo Sunčevog sustava. S njim su povezane planete, tisuće asteroida, kometa, meteora. Gravitacijska sila Sunca drži zajedno cijeli Sunčev sustav, dok se sam sustav vrti oko središta galaksije Mliječnog puta. Galaksija Mliječni put se giba u odnosu na susjedne galaksije. U astronomiji se razlikuju dva gibanja nebeskih tijela: rotacijsko i revolucijsko. Rotacija je gibanje tijela oko svoje osi, dok je revolucijsko gibanje tijela, gibanje oko drugog tijela veće gravitacijske sile. Kao posljedica gravitacije, nebeska tijela se međusobno privlače razmjerno svojim masama te inverznom kvadratu udaljenosti između njih. Ova sila uzrokuje da se planeti rotiraju oko Sunca u gotovo kružnim, eliptičnim orbitama. [2]

Poziciju broda određuju najmanje dvije stajnice, koje se sijeku pod povoljnim kutom i koje su svedene na isti trenutak i mjesto. Klasične metode određivanja pozicije u astronomskoj navigaciji oslanjaju se na određivanje visine nebeskog tijela, te potom crtanje kružnica jednakih visina, najčešće njihovih dijelova za određivanje pozicije. Opaženi azimut nebeskog tijela načelno se u tim metodama ne koristi. Astronomski azimut je kut mjerjen na točki opažanja između ravnine referentnog meridijana i vertikalne ravnine koja prolazi kroz nebesko tijelo. Jako ga je teško precizno izmjeriti, međutim to ne znači da se s njim ne može doći do pozicije, kao alternativan postojećim metodama temeljenim na mjerenju visine nebeskih tijela.

Ovaj diplomski rad sastoji se od 6 poglavlja.

U prvom poglavlju prikazat će se kratki opis sadržaja pojedinačnih poglavlja ovog diplomskog rada.

U drugom poglavlju će se opisati opći pojmovi vezani za primjenu astronomije kao znanstvene discipline u navigaciji, kroz potpoglavlja dodatno će se razrađivati osnovni pojmovi astronomske navigacije.

U trećem poglavlju pojašnjava se teorijski princip izračuna astronomske pozicije broda bez opažanja visine nebeskog tijela.

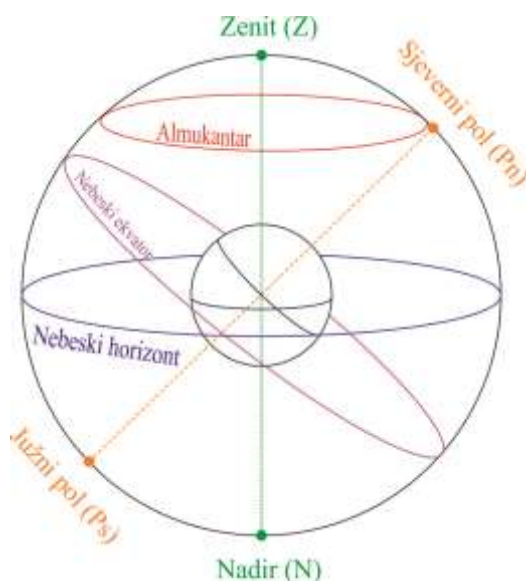
U četvrtom poglavlju će se prikazati način dobivanja pozicije broda poznavanjem samo azimuta nebeskog tijela.

Peto poglavlje sastoji se od četiri cjeline u kojima se opisuje mogućnost primjene astronomske navigacije u ECDIS sustavima.

U šestom, posljednjem poglavlju, dakle zaključku, bit će objedinjeni ključni dijelovi teme ovog diplomskog rada.

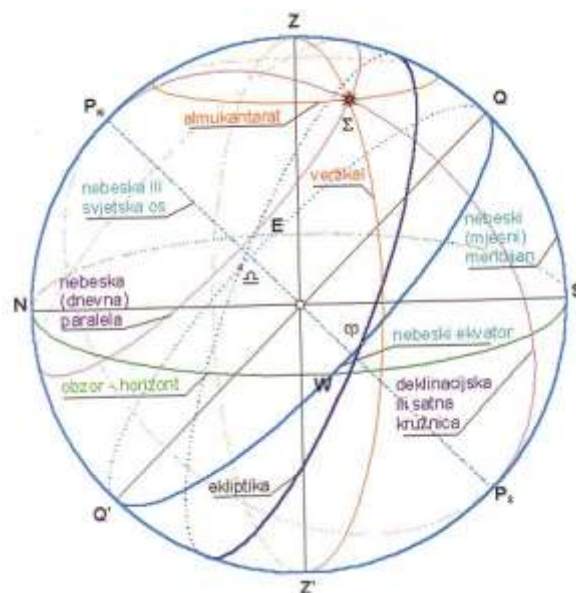
2. ASTRONOMIJA U NAVIGACIJI

Općenito govoreći, astronomija jest znanost o nebeskim tijelima. Ona proučava njihova gibanja, položaj, fizikalna svojstva itd. Kao znanstvena disciplina, astronomija se može podijeliti na više grana, kao što su: sferna astronomija, praktična astronomija, nebeska mehanika, astrofizika. Položajna astronomija je dio astronomije koji se ograničava na proučavanje i mjerenje glede određivanja položaja opažača na Zemlji. Astronomska navigacija u pomorstvu je grana navigacije koja se bavi metodama korištenja nebeskih tijela u svrhu određivanja i kontrole položaja broda na otvorenom moru. Kako bi se mogle shvatiti metode astronomske navigacije, potrebno je poznavanje dijelova opće i sferne astronomije. Sva nebeska tijela se mogu projicirati na kuglastu plohu koja se naziva nebeskom sferom. Takvo poimanje položaja nebeskih tijela uvelike olakšava proučavanje njihova kretanja. Polumjer nebeske sfere je neodređen, a za njegovo središte se mogu uzeti: topocentar (položaj opažača), geocentar (središte Zemlje), heliocentar (središte Sunca). Slika 1. prikazuje nebesku sferu sa sastavnim dijelovima cjeline koji su ovisni o položaju opažača na Zemlji. Točka koja se nalazi iznad opažačeve glave naziva se zenit (Z), te se nalazi u središtu vidljivog dijela sfere. Točka koja se nalazi u središtu nevidljivog dijela sfere, a koja se nalazi ispod opažača, predstavlja suprotnost zenitu te se naziva nadir (Na). Krugovi koji prolaze kroz te dvije točke se nazivaju vertikalnim krugovima te su okomiti na horizont. [1]



Slika 1. Nebeska sfera [1]

Vertikalna kružnica koja prolazi kroz pol i zenit naziva se mjesnim meridijanom. Male kružnice koje su paralelne s ravninom horizonta nazivaju se visinskim kružnicama ili almukantarima. Točka koja se nalazi iznad sjevernog Zemaljskog pola jest sjeverni nebeski pol (PN), dok se iznad južnog zemaljskog pola nalazi južni nebeski pol (PS). Projekcijom Zemljinog ekvatora na sferu dobiva se nebeski ekvator, a projekcijom zemaljskog horizonta dobiva se nebeski horizont. Visina nebeskog tijela se definira kao luk vertikalne kružnice od nebeskog horizonta do središta nebeskog tijela ili kut u središtu sfere između nebeskog horizonta i središta nebeskog tijela. Azimut nebeskog tijela se definira kao luk horizonta od sjeverne (ili južne) njegove točke do vertikalne kružnice na kojoj se nalazi nebesko tijelo, ili kut u središtu sfere između točke sjevera (juga) i točke presjeka vertikalne kružnice na horizontu. Ravnina u kojoj se Zemlja giba oko Sunca naziva se ravnina ekliptike, a ona presijeca nebesku sferu po velikoj kružnici koja se zove ekliptika (Slika 2). Satna kružnica je velika kružnica koja prolazi kroz nebeske polove i točku, odnosno nebesko tijelo na nebeskoj sferi. Položaj tijela na satnom krugu određuje kutna udaljenost tijela od nebeskog ekvatora. Ta udaljenost se naziva deklinacijom. Put nebeskog tijela tijekom dnevne revolucije oko Zemlje naziva se dnevnim krugom. Točku na nebeskoj sferi može se odrediti na mjestu sjecišta paralele deklinacije i satnog kruga. [1]



Slika 2. Glavni pravci i točke na nebeskoj sferi [1]

2.1. KOORDINATNI SUSTAVI U ASTRONOMIJI

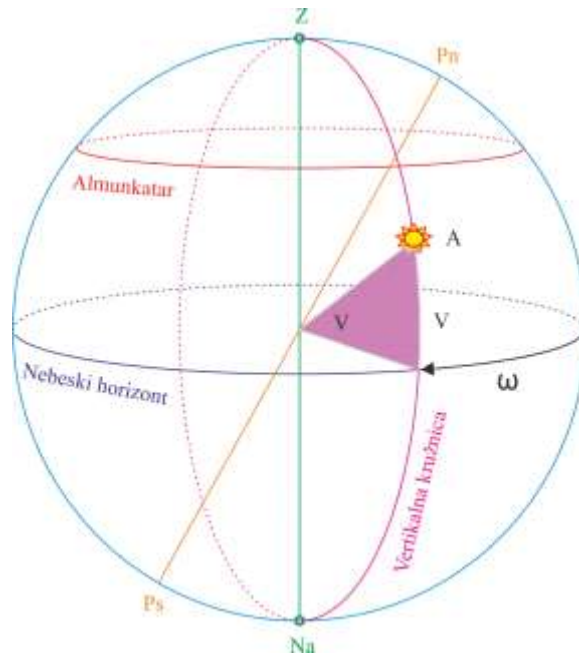
Udaljenosti do zvijezda su vrlo velike, te se mogu smatrati jednakima. To znači da se nebeska sfera može razumijevati kao jedinična sfera, gdje su položaji zvijezda definirani samo smjerom. Jedna krivolinijska koordinata se računa iz primarne referentne ravnine, te se mjeri okomito na nju, dok se druga krivolinijska koordinata računa iz druge referentne ravnine, a mjeri se u primarnoj referentnoj ravnini. [5]

Pod izrazom koordinatni sustavi u astronomskoj navigaciji razumijevaju se dvije vrste koordinatnih sustava: mjesni koordinatni sustavi, koji ovise o položaju opažača i nebeski koordinatni sustavi, koji nisu ovisni o opažačevom položaju. [8]

Svi navedeni koordinatni sustavi su analogni jedni drugima i terestričkom koordinatnom sustavu. Razlikuju se u smjerovima, jedinicama te granicama mjerenja. [2]

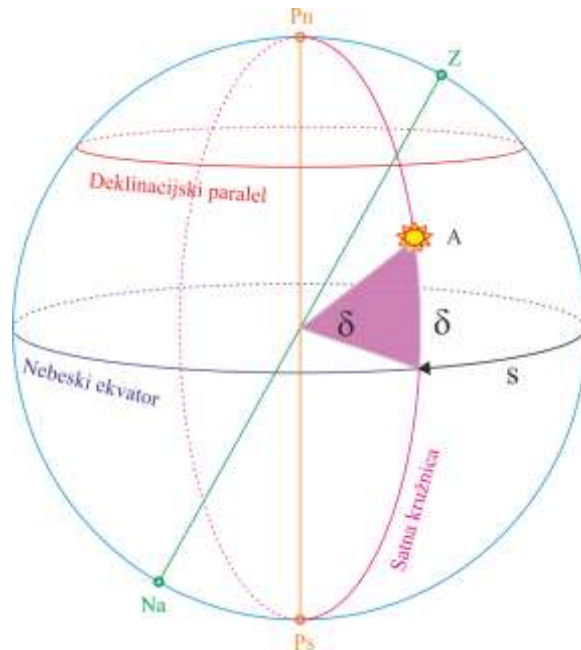
Koordinatni sustav horizonta te mjesni koordinatni sustav ekvatora spadaju u kategoriju mjesnih koordinatnih sustava dok nebeski koordinatni sustav ekvatora i koordinatni sustav ekliptike spadaju u nebeske koordinatne sustave. [8]

Kako je prikazano na slici 3., osnovne kružnice horizontskog koordinatnog sustava su nebeski horizont, nebeski meridijan i vertikalne kružnice. Osnovne koordinate ovog sustava su visina (V) i azimut (ω). Nebesko tijelo ne može imati visinu veću od 90° , dok nebesko tijelo ispod horizonta ima negativnu visinu. Komplement visine ($90^\circ - V$) predstavlja sfernu udaljenost nebeskog tijela od zenita te se naziva zenitnom udaljenošću. Azimut nebeskog tijela mjeri se od sjeverne strane meridijana, u smjeru kazaljke na satu (retrogradno) do vrijednosti od 360° . Azimut se također može mjeriti u polukružnoj skali, od 0 do 180° preko istoka ili zapada, u kvadratnoj skali (od 0 do 90°), ili brojem i oznakom vjetra. [1]



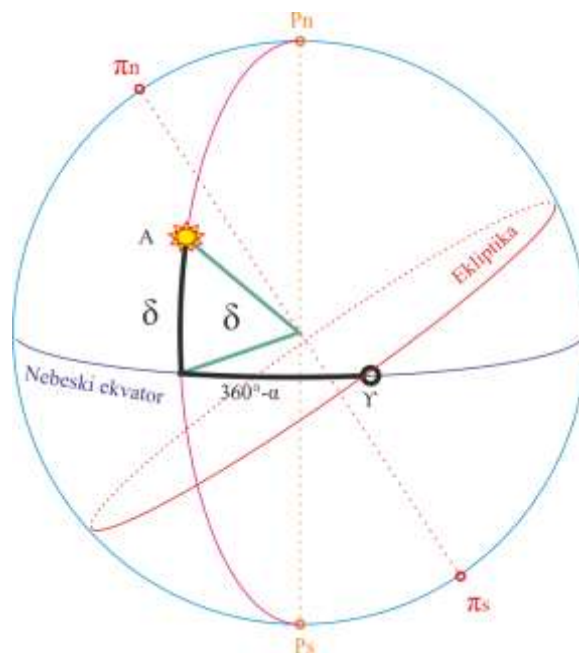
Slika 3. Horizontski koordinatni sustav [1]

Slika 4. prikazuje mjesno-ekvatorski koordinatni sustav gdje je osnovna ravnina sustava ravnina nebeskog ekvatora. Glavne kružnice ovog sustava su nebeski ekvator i nebeski meridijani (satne kružnice). Osnovne koordinate ovog sustava su deklinacija (δ) i mjesni satni kut (s). Deklinacija nebeskog tijela je pozitivna ako se nebesko tijelo nalazi sjeverno od ekvatora (oznaka N), dok je negativna ako se nebesko tijelo nalazi južno od ekvatora (oznaka S). Deklinacija ne može biti veća od 90° . Komplement deklinacije ($90^\circ - \delta$) predstavlja sfernu udaljenost nebeskog tijela od pola, naziva se polarnom udaljenošću. Satni kut nebeskog tijela mjeri se u kutnoj mjeri od 0° do 360° preko zapada, ili od 0° do 180° na istok i zapad. Prolaskom nebeskog tijela kroz gornji meridijan mjesni satni kut iznosi 0° , a prolaskom nebeskog tijela kroz donji meridijan mjesni satni kut iznosi 180° . Dakle, prolaskom nebeskog tijela kroz meridijan satni kut i azimut se razlikuju za 180° . [1]



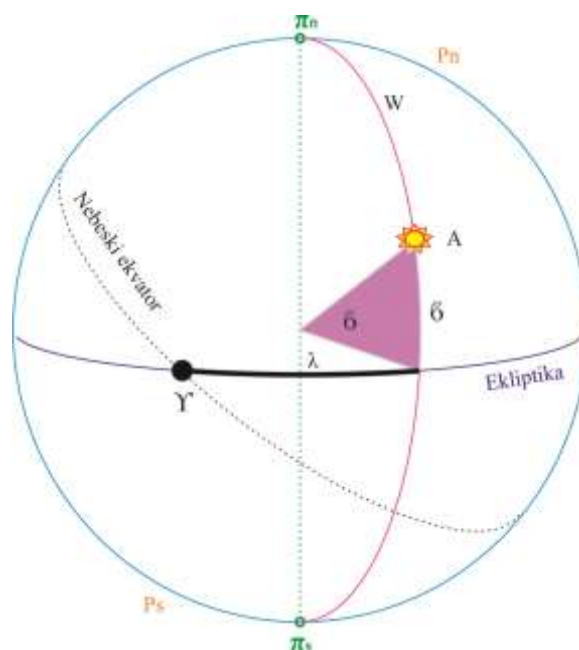
Slika 4. Mjesno-ekvatorski koordinatni sustav [1]

Slika 5. predstavlja glavne kružnice nebesko-ekvatorskog koordinatnog sustava, a to su: nebeski ekvator i nebeski meridijan (satni krug) nebeskog tijela. Koordinate nebeskog tijela u ovom koordinatnom sustavu su deklinacija (δ) i surektascenzija ($360^\circ - \alpha$). Surektascenzija ($360^\circ - \alpha$) je definirana kao luk nebeskog ekvatora od proljetne točke do meridijana koji prolazi kroz nebesko tijelo (kut u polu između nebeskih meridijana koji prolaze kroz proljetnu točku i nebesko tijelo), a mjeri se od 0° do 360° ili od 0000 HRS do 2400 HRS u pravcu kazaljke na satu (retrogradno). [1]



Slika 5. Nebesko-ekvatorski koordinatni sustav [1]

Prema slici 6. polovi ekliptičkog koordinatnog sustava su sjeverni i južni pol ekliptike. Osnovne kružnice ovog koordinatnog sustava su ekliptika i meridijani ekliptike. Osnovne koordinate ovog sustava su latituda ili ekliptična širina (β) i longituda ili ekliptična dužina (λ). Pod latitudom nebeskog tijela se razumijeva luk meridijana ekliptike od ravnine ekliptike do središta nebeskog tijela ili odgovarajući kut između ravnine ekliptike i smjera nebeskog tijela. Mjeri se od ekliptike do pola ekliptike (od 0° do 90°). Pozitivni predznak je u slučajevima da se nebesko tijelo nalazi na sjevernoj hemisferi koordinatnog sustava ekliptike (s oznakom N), a negativnog predznaka je u slučajevima kada nebesko tijelo nalazi na južnoj hemisferi koordinatnog sustava (s oznakom S). Longituda nebeskog tijela se definira kao luk ekliptike od proljetne točke do ekliptičkog meridijana kroz nebesko tijelo, ili kut u ekliptičkom polu između ekliptičkih meridijana koji prolaze kroz proljetnu točku i nebesko tijelo. Mjeri se od 0° do 360° u progresivnom smjeru (obrnuto od kazaljke na satu). [1]

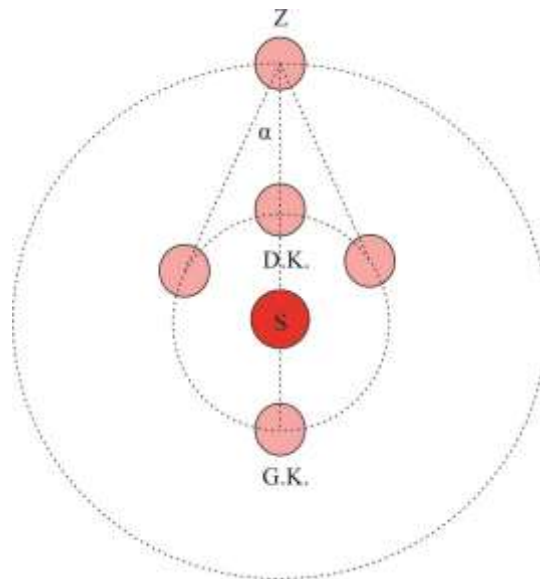


Slika 6. Ekliptički koordinatni sustav [1]

2.2. NEBESKA TIJELA I PRIVIDNA KRETANJA

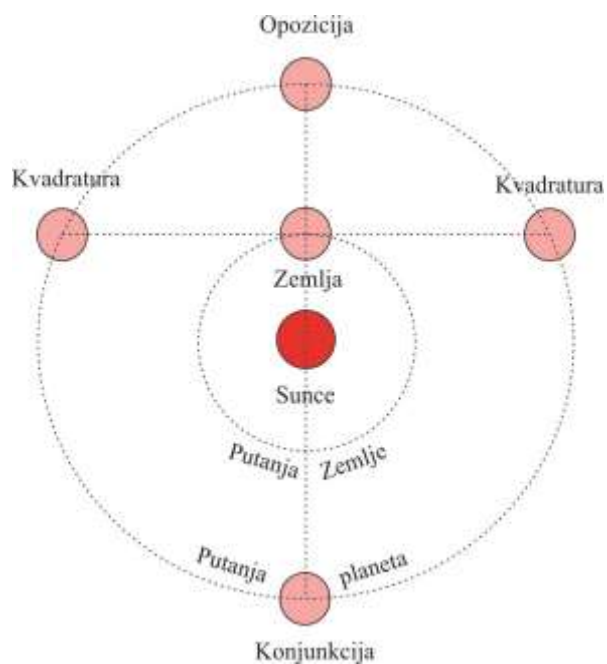
U Sunčevu sustavu nalaze se nebeska tijela koja imaju vlastito kretanje oko Sunca. Sunčev sustav prema veličini nebeskih tijela čine: Sunce (središnje tijelo sustava), veći planeti Jupiter, Saturn, Uran, Neptun, te manji planeti Merkur, Venera, Zemlja, Mars, patuljasti planet Pluton, planetoidi, sateliti, kometi, meteori, meteoriti. [1]

Prema kutu elongacije, odnosno kutu pod kojim opažač sa Zemlje vidi položaj planeta u odnosu prema Suncu, planeti se mogu podijeliti na vanjske ili gornje te unutarnje ili donje (Slika 7). Nebeska tijela koja se nalaze unutar Sunčevog sustava, a koriste se u svrhu astronomske navigacije su: Sunce, Mjesec, Venera, Mars, Jupiter, Saturn. U odnosu na kretanja oko Sunca, planeti dolaze u različite međusobne položaje. Ovisno o veličini kuta elongacije, planeti se mogu nalaziti u položajima konjunkcije (kut elongacije jednak nuli), opozicije (kut elongacije iznosi 180°), kvadrature (kut elongacije iznosi 90° ili 270°). Planet može zauzimati položaj donje konjunkcije kada se nalazi između Zemlje i Sunca (Merkur i Venera). U položaju gornje konjunkcije planet se nalazi na suprotnoj strani svoje putanje u odnosu na Zemlju tako da se Sunce nalazi između Zemlje i planeta (ovakav položaj mogu zauzimati svi planeti), a pri tom su Zemlja i unutarnji planet najudaljeniji. [1]



Slika 7. Položaj unutarnjih planeta u odnosu prema Zemlji i Suncu [1]

Položaj opozicije mogu zauzimati samo vanjski planeti, odnosno oni planeti čije su putanje udaljenije od Sunca nego što je putanja Zemlje. U položaju opozicije Zemlja se nalazi između Sunca i planeta. Položaj kvadrature mogu zauzimati samo planeti koji se nalaze na većoj udaljenosti od Sunca nego Zemlja (Slika 8). [1]



Slika 8. Položaj vanjskih planeta u odnosu prema Zemlji i Suncu [1]

Osim već nabrojanih planeta, u navigacijskoj praksi se upotrebljavaju i zvijezde. Na nebeskoj sferi, u povoljnim noćnim uvjetima, može se vidjeti oko 2000 zvijezda. U svrhu uspješnog vođenja astronomske navigacije potrebno je raspoznati pojedine zvijezde. Identifikacija alignamentima temeljena je na zamišljenim crtama koje spajaju pojedine zvijezde u sklopu zviježđa. [1]

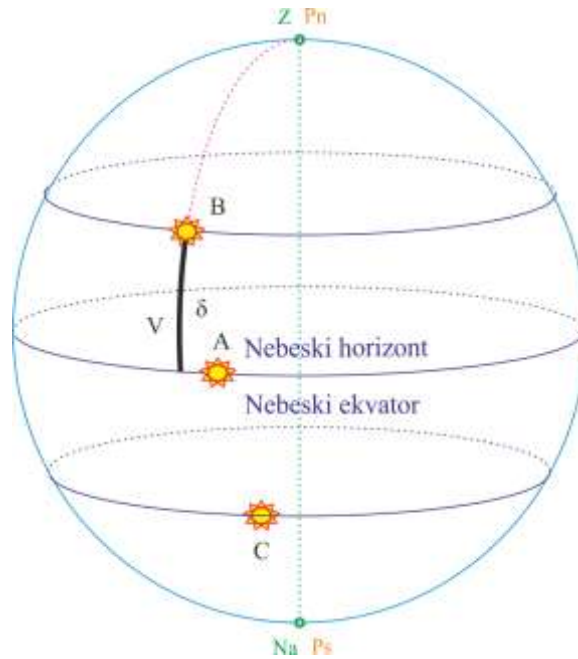
Prema slici 9. zviježđe Ursa Major (Veliki Medvjed ili Velika Kola) se sastoji od sedam najsjajnijih zvijezda te ima oblik kola s rudom, pri čemu rudo nije na sredini nego na strani okrenutoj prema sjevernom nebeskom polu. U kolima su četiri zvijezde koje se jasno ističu. Spojnica dvaju zadnjih kotača Velikih Kola dio je zamišljene crte i predstavlja „osnovnu jedinicu udaljenosti“ u alignamentu Velikog Medvjeda. Pet „osnovnih jedinica udaljenosti“ u lijevo od zvijezde Dubhe (posljednja zvijezda u vrhu Velikih kola prema zviježđu Ursa Minor) u pravcu zamišljene crte vodi do najveće zvijezde zviježđa Ursa Minor (Mali Medvjed), Polarne zvijezde (jasno istaknuta točka na slici 9). Tri osnovne jedinice jugozapadno od Polarne zvijezde se nalazi zvijezda Kochab (druga velika zvijezda zviježđa Mali Medvjed). [9]



Slika 9. Identifikacija alignamentima [1]

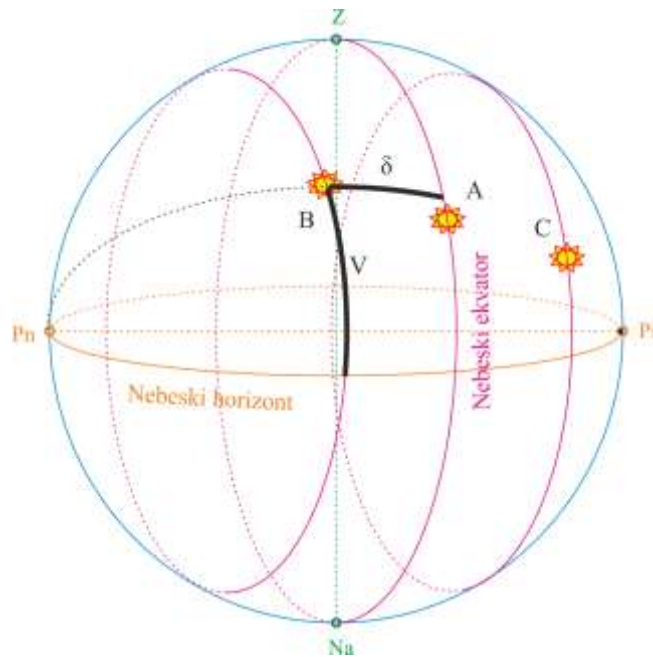
Zvijezde koje su vidljive golim okom prema stupnju sjaja se mogu podijeliti na šest prividnih veličina, stoga, najsjajnije zvijezde imaju prvu prividnu veličinu, a najslabije šestu prividnu veličinu. Kada se govori o prividnoj veličini zvijezda onda se misli na njihov stupanj sjaja, a ne na njihove dimenzije. [1]

Kako nebeska sfera prividno rotira od istoka prema zapadu, ravnina horizonta se mijenja ovisno o položaju opažača, pri tom nebeska tijela imaju svoj izlaz, kulminaciju, zalaz ili neprestano kruže na različitim visinama iznad horizonta. Polarna zvijezda je jedino tijelo koje je prividno nepokretno na sjevernoj hemisferi. Ako se opažač nalazi na nekom od zemaljskih polova, vidi prividnu sliku neba koja se naziva paralelnom nebeskom sferom. To znači da se nebeski pol i zenit nalaze u istoj točki, a ravnina nebeskog ekvatora se poklapa s ravninom nebeskog horizonta. Ovo uzrokuje pojavu polarnog dana tijekom proljeća i ljeta na području polova, te polarne noći za vrijeme jeseni i zime (Slika 10). [1]



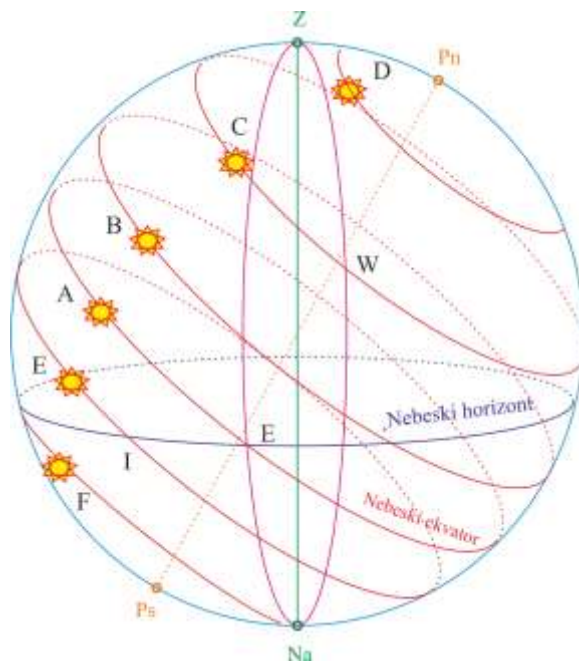
Slika 10. Paralelna nebeska sfera [1]

U slučaju kada se opažač nalazi na ekvatoru, tada vidi prividnu sliku neba koja se naziva okomitom nebeskom sferom. Zenit opažača nalazi se u ravnini nebeskog ekvatora, a polovi se nalaze u nebeskom horizontu, pa stoga sva nebeska tijela bez obzira na deklinaciju izlaze i zalaze okomito na nebeski horizont. Zbog toga, na ekvatoru, dan i noć uvijek jednako traju, a sumraci traju najkraće (Slika 11).



Slika 11. Okomita nebeska sfera [1]

Kada se opažač ne nalazi ni na polovima niti na ekvatoru, već na nekoj zemljopisnoj širini između tih dviju krajnosti, tada opažač vidi prividnu sliku neba koja se naziva kosom nebeskom sferom. U ovom slučaju prividne slike neba i tijela mogu imati svoj izlaz i zalaz, odnosno mogu biti cirkumpolarna. Tijela koja nemaju niti izlaz niti zalaz nazivaju se anticirkumpolarnim tijelima. Ova tijela se nikad ne pojavljuju iznad horizonta te su stalno ispod opažača (Slika 12). [1]



Slika 12. Kosa nebeska sfera [1]

2.3. OSNOVE MJERENJA VREMENA

Vrijeme nije moguće jednoznačno definirati s obzirom na to da ono može biti neki trenutak određenog događaja ili pak razmak vremena između istovjetnih događaja. Protok vremena, slikovito se može zamisliti, kao razdoblje između dviju donjih kulminacija Sunca (vrijeme jednog dana), između dviju uzastopnih konjunkcija Mjeseca (vrijeme jednog mjeseca) ili period između dvaju uzastopnih izlazaka Sunca u istoj točki horizonta (vrijeme jedne godine). Osnovna jedinica za mjerenje vremena jest sekunda, a definirana je kao 9 192 631 770 perioda zračenja, što bi odgovaralo prijelazu između dviju hiperfina razina osnovnog stanja atoma cezija 133 (AT). Minuta je veća jedinica za mjerenje vremena od sekunde te se sastoji od 60 sekundi, dok sat sadrži 60 minuta i time je veća jedinica od prethodnih. [1]

U navigacijskoj praksi, za izračunavanje vremena izlaska ili zalaska Sunca, trajanja sumraka te prolaska Sunca kroz istočni ili zapadni prvi vertikal (Sunce u azimutu 90° , tj. 270°) i najveće digresije (kut u nebeskom tijelu jednak 90°), koriste se pojmovi pravog Sunčevog dana i srednjeg Sunčevog dana, odnosno pravog Sunčevog vremena i srednjeg Sunčevog vremena. Problematika s pravim Sunčevim danom se ogleda u činjenici što Sunce nema ujednačeno prividno godišnje kretanje. Zbog toga se pojavljuju razlike u trajanjima dana. [1]

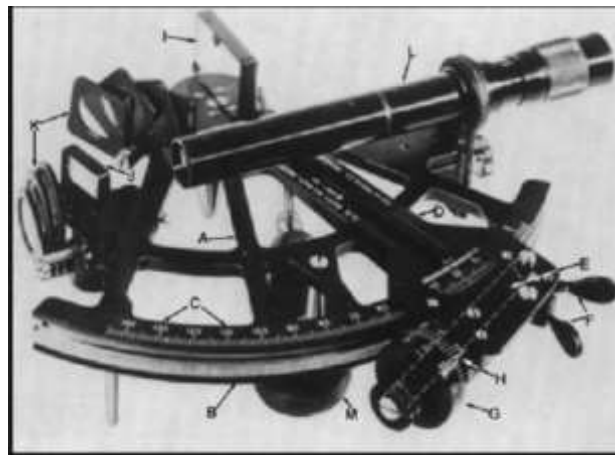
Za građanske potrebe uveden je pojam srednjeg Sunčevog dana. On se definira kao vremenski period između dva prolaska zamišljenog srednjeg Sunca stajališnim meridijanom. Srednji sunčev dan traje 24 sata dok pravi Sunčev dan može biti najviše 30 sekundi dulji ili oko 22 sekunde kraći. U skladu s navedenim se definiraju pojmovi pravog Sunčevog vremena i srednjeg Sunčevog vremena. Pravo Sunčevo vrijeme jest mjera vremena koja se definira s obzirom na nejednoliku brzinu gibanja prividnog pravog Sunca. Srednje Sunčevo vrijeme jest mjera jednolikog toka vremena na temelju gibanja zamišljenog Sunca, uz pretpostavku da je Zemljina rotacija konstantna. Kako se prividno pravo i srednje Sunčevo vrijeme odnose na stajališni meridijan, nazivaju se mjesnim pravim i srednjim vremenima. [10]

Dakle, svako poimanje vremena povezano je s meridijanom mjesta motrenja, odnosno mjesnim vremenom. Samo mjesta na istom meridijanu mogu imati isto mjesno vrijeme. Svaki meridijan na Zemlji ima pravo i srednje vrijeme, što znači da svaki susjedni meridijan ima različito vrijeme. Zbog praktičnih razloga, dogovoreno je da se površina Zemlje podijeli na 24 zone, gdje svaka zona obuhvaća područje od oko 15° zemljopisne dužine. Središnji meridijan u Greenwichu je središte nulte zone te obuhvaća područje od oko -7.5° do 7.5° , dok se ostale zone (središnji meridijani ostalih zona) povećavaju ili smanjuju za 15° od središnje zone. Prema istoku imaju pozitivnu zonsku vrijednost (pomicanje sata 1 sat naprijed za svakih 15°), a prema zapadu negativnu (pomicanje sata 1 sat natrag za svakih 15°). Dvanaestu zonu presijeca datumska granica. Ovaj izraz uveden je kod slučajeva putovanja prema istoku ili zapadu, odnosno kad se stigne do dvanaeste zone, razlika u vremenu iznosi 12 sati više ili manje nego u Greenwichu. Prema tome, na meridijanu 180° vremenska razlika iznosi 24 sata, tj. jedan dan. Iz svega navedenog može se zaključiti da prelaskom datumske granice tijekom putovanja iz istočne u zapadnu polutku treba ponoviti isti datum (isti tekući dan u tjednu), a prijelazom sa zapadne na istočnu stranu potrebno je preskočiti jedan dan. [1]

U navigacijskoj praksi zemljopisna širina se može jednostavno odrediti mjerenjem visine u trenutku prolaska nebeskog tijela kroz gornji ili donji meridijan. S druge strane, kako bi se odredila zemljopisna dužina, potreban je vremenski standard koji funkcionira na brodu. U tu svrhu koristi se kronometar. Svrha kronometra jest precizno mjerenje vremena poznate fiksne lokacije, npr. ranije navedenog središnjeg meridijana u Greenwichu. Poznavanjem vremena na središnjem meridijanu u Greenwichu omogućuje se svođenje Greenwich-kih vrijednosti na mjesne, a time i pretpostavke za određivanje elemenata stajnice u astronomskoj navigaciji. [11]

2.4. ISPRAVAK IZMJERENIH VISINA

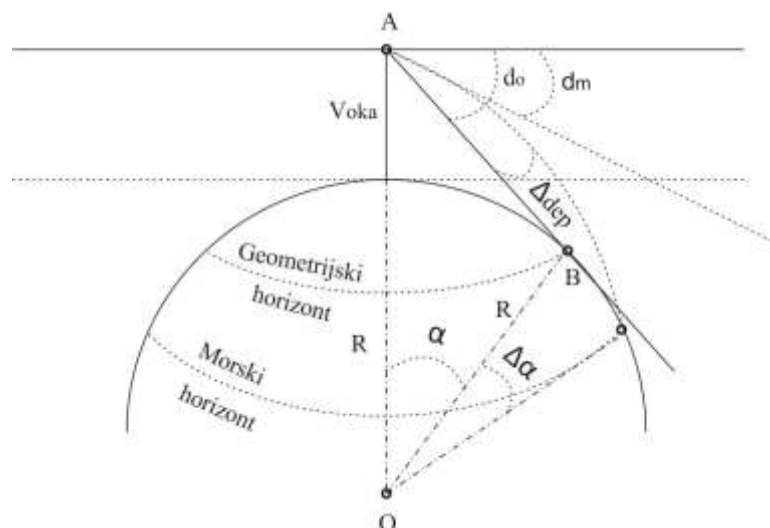
Za mjerenje visina nebeskih tijela iznad vidljivog morskog horizonta koristi se sekstant (Slika 13). Princip mjerenja temelji se na istovremenom promatranju horizonta i nebeskog tijela, pomoću dva zrcala, pri čemu se izravno mjeri kut između zrake koja dolazi od točke na horizontu i zrake nebeskog tijela. [2]



Slika 13. Sekstant [2]

Prilikom mjerenja sa sekstantom pojavljuju se greške koje se dijele na one koje se mogu ispraviti mehanički i na one koje se ne mogu ispravljati, te se moraju uzimati korekture u računu izmjerene visine. Potrebno je izbjegavati mjerenje visina nebeskih tijela nižih od 15 stupnjeva zbog refrakcije, kao što se izbjegava mjerenje nebeskih tijela velikih visina zbog poteškoća pri određivanju položaja vertikalne kružnice. [1]

Visine nebeskih tijela izmjerenih sekstantom potrebno je ispraviti za refrakciju, depresiju i paralaksu (samo za bliža nebeska tijela, Sunce, Mjesec i planete). Refrakcija nastaje zbog prolaska svjetlosti kroz slojeve zraka različite gustoće, što je uzrok loma svjetlosti. Zbog utjecaja astronomske refrakcije, zvijezde je moguće vidjeti poviše horizonta, iako su one u stvarnosti ispod njega. Depresija se definira kao kut za koji je ravnina morskog horizonta nagnuta prema ravnini astronomskog horizonta (Slika 14). S obzirom na utjecaj refrakcije, depresija se može podijeliti na pravu i prividnu depresiju. [1]



Slika 14. Depresija [1]

Paralaksa predstavlja prividan pomak nebeskog tijela opaženog iz dvaju različitih smjerova. Paralaksa se može podijeliti na dnevnu i godišnju paralaksu. Dnevna paralaksa je kut pod kojim se s promatranog tijela vidi Zemljin polumjer, a godišnja paralaksa predstavlja kut pod kojim se s promatrane zvijezde vidi polumjer Zemljine staze oko Sunca. [12]

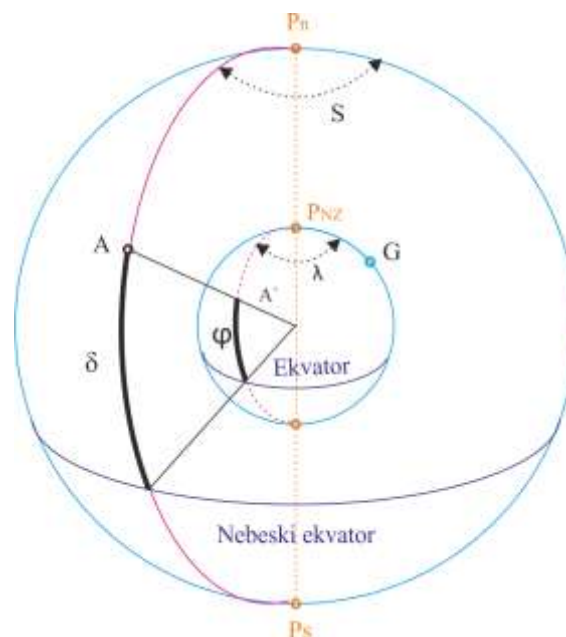
2.5. NAUTIČKI GODIŠNJAK I IDENTIFIKACIJA ZVIJEZDA

Temelj praktične primjene astronomske navigacije u pomorstvu čine nautički godišnjak, sekstant i kronometar. Nautički godišnjak sadrži podatke o satnim kutovima, deklinacijama planeta, Sunca i Mjeseca, satnim kutovima proljetne točke, surektascenziji te deklinacijama zvijezda. Za svaki sat određenog dana u godini, koordinate se daju u funkciji srednjeg Greenwich vremena (UTC). Za sekunde i minute postoje posebne korekcijske tablice. [1]

Zvijezde se identificiraju pretvorbom horizontalnih koordinata, tj. azimuta i visine u mjesno-ekvatorske koordinate odnosno deklinaciju i surektascenziju. Najčešći način identifikacije zvijezda vrši se izračunom deklinacije, ako je u mjerenju azimuta prisutna velika pogreška ili ako postoji više zvijezda s približno jednakim vrijednostima deklinacije, mora se izračunati vrijednost surektascenzije koja se dobije iz vrijednosti mjesnog satnog kuta zvijezde. Zvezdane karte i zvezdani globusi također su sredstva za identifikaciju. Zvezdane karte nalaze se u sastavu Nautičkih godišnjaka. Zvezdani globusi su pomagala koja prikazuju nebesku sferu s ucrtanim zvijezdama prve i druge veličine, te krugovima koji prikazuju nebeski ekvator, nebeski horizont, satne i vertikalne kružnice. Na zvezdanim kartama i globusima su ucrtane samo zvijezde, jer se njihova deklinacija i surektascenzija mijenjaju sporo ili uopće ne mijenjaju. Identifikacija pomoću identifikatora vrši se uspoređivanjem zvijezde u koordinatnom sustavu horizonta s koordinatama zvijezde u prvom koordinatnom sustavu ekvatora. Dakle, koordinate visine i azimuta se mjere, a potom uspoređuju sa efemeridama mjesnog koordinatnog sustava ekvatora, od kojih se deklinacija mijenja dok mjesni satni kut ovisi o rotaciji Zemlje. [1]

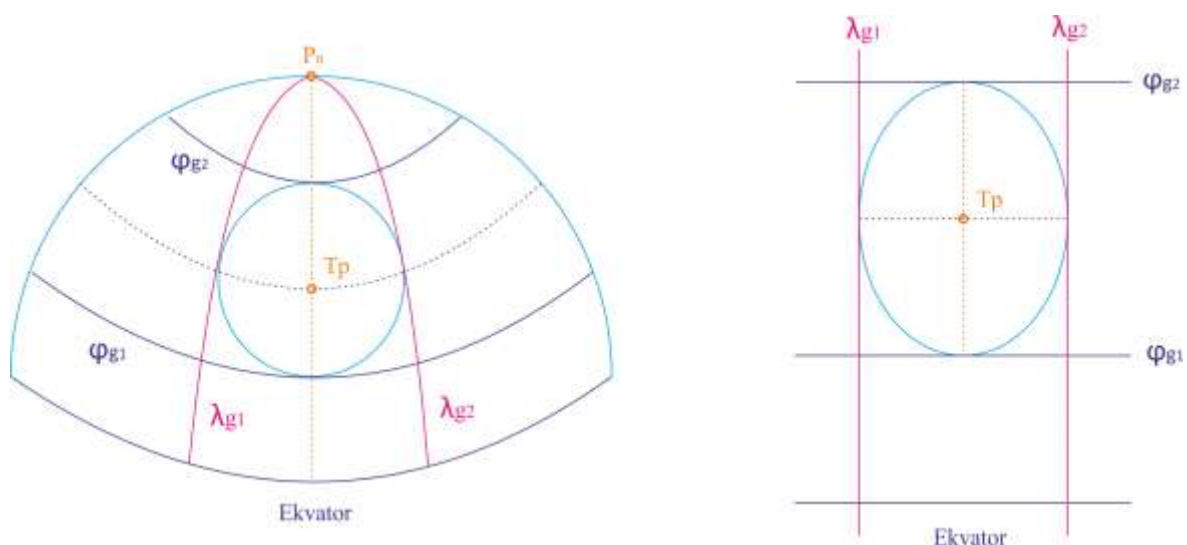
2.6. STAJNICA U ASTRONOMSKOJ NAVIGACIJI

Kada se uspoređuju zemljopisne koordinate i koordinate mjesno-ekvatorskog sustava, vidljivo je da zemljopisna širina (φ) odgovara deklinaciji (δ), a zemljopisna dužina (λ) odgovara satnom kutu Greenwicha (S) (Slika 15).



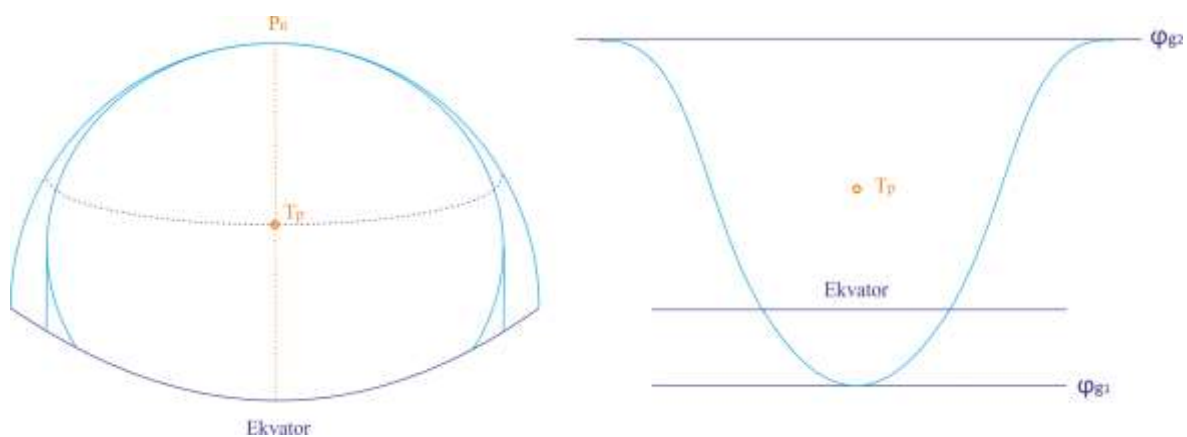
Slika 15. Usporedba koordinata [1]

Terestrička projekcija nebeskog tijela predstavlja točku na površini Zemlje kroz koju prolazi spojnica središta Zemlje i središta nebeskog tijela. Kružnica pozicije (krivulja koja ima oblik kružnice) predstavlja skup točaka preko kojih se mjeri jednaka visina nebeskih tijela, a negdje na toj kružnici nalazi se položaj broda. Iz prethodno navedenog može se zaključiti da se radi o stajnici. Ovisno o položaju opažača i nebeskog tijela na Mercatorovoj karti kružnica pozicija može poprimiti različite oblike, npr. oblik nepravilne elipse s velikim polumjerom u smjeru meridijana ako se kružnica pozicije u cijelosti nalazi između ekvatora i pola. Takva krivulja se naziva krivulja pozicija prve vrste (Slika 16). [1]



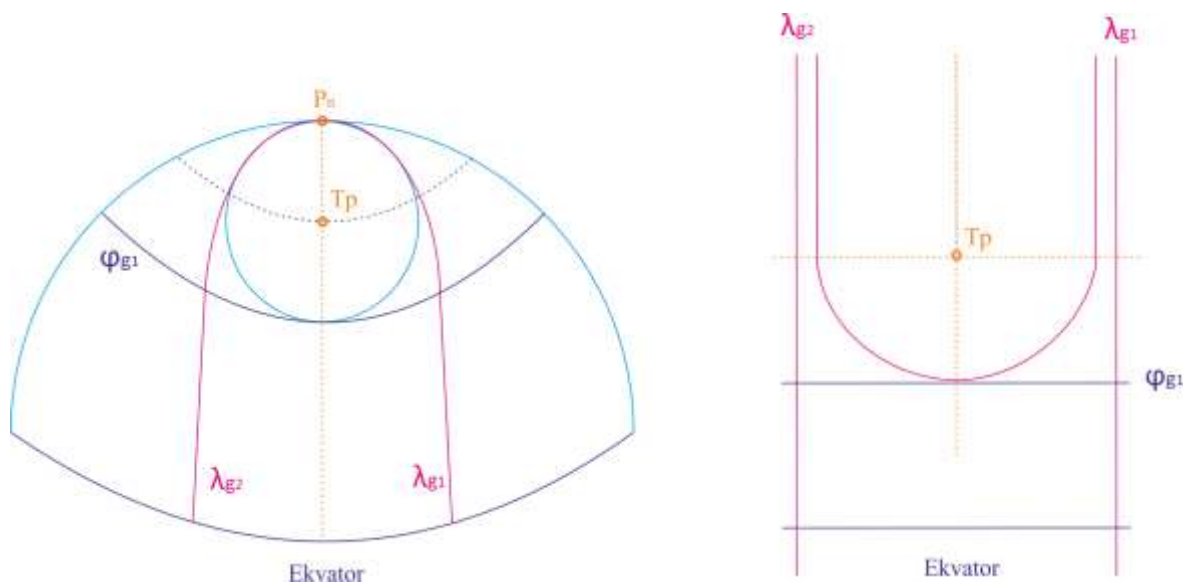
Slika 16. Krivulja pozicija prve vrste [1]

Kada kružnica pozicija obuhvaća dvije polutke i kada se unutar nje nalazi Zemljin pol, tada krivulja ima oblik kosinusoide, te se naziva krivulja pozicije druge vrste (Slika 17).



Slika 17. Krivulja pozicija druge vrste [1]

Kada kružnica pozicija dodiruje Zemljin pol, ona poprima oblik sličan paraboli te se naziva krivulja pozicije treće vrste (Slika 18). [1]



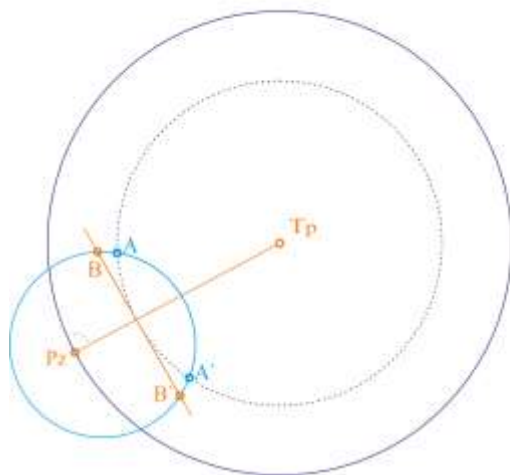
Slika 18. Krivulja pozicija treće vrste [1]

Krivulja pozicija, odnosno, astronomska stajnica jedino se može zamijeniti s kružnicom u slučaju kada su zenitne udaljenosti nebeskih tijela vrlo male, kod mjerenja nebeskih tijela velikih visina i vrlo malih deklinacija. [1]

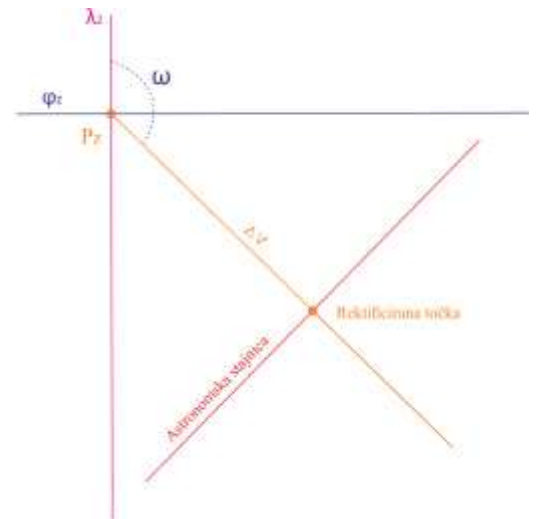
3. TEORIJA IZRAČUNA ASTRONOMSKE POZICIJE BRODA BEZ OPAŽANJA VISINE NEBESKOG TIJELA

Kako su klasične astronomske metode dobivanja pozicije broda na putu zastarijevanja, tako je sve rjeđi i časnički kadar na brodu koji se praktično zna služiti nautičkim godišnjakom i sekstantom. STCW konvencija zahtijeva od časnika znanje određivanja visine nebeskih tijela, stajnice, pozicije broda ali istovremeno dopušta upotrebu odgovarajućeg softvera za astronomsku navigaciju i nautičke godišnjake u elektroničkom obliku. To znači da će obveza posjedovanja sekstanta na brodu, vjerojatno u skoroj budućnosti prestati. Ova pretpostavka ima korijen u predviđanju da bi GPS sustav u budućnosti mogao imati praktičniji pomoćni (rezervni) sustav pozicioniranja. Postojanjem takvog sustava izgubila bi se potreba za korištenjem sekstanta, te klasičnih astronomskih metoda određivanja pozicije broda. U slučaju da taj sustav ipak ne zaživi, za pretpostaviti je da bi tradicionalne metode astronomskog određivanja pozicije broda ostale i dalje u upotrebi kao rezervna opcija. Tada bi se u slučajevima hitnosti mogla koristiti i metoda određivanja pozicije broda poznavanjem samo azimuta nebeskog tijela. Glavni problem korištenja ove metode leži u činjenici nemogućnosti dobivanja preciznog azimuta putem kompasa. To se događa zato što kompas obično mjeri lukove (azimute) samo u stupnjevima. [3]

Kako bi se razumjele metode određivanja pozicije broda poznavanjem samo azimuta nebeskog tijela treba razumjeti i klasične metode određivanja astronomske pozicije broda. Jedna od tih metoda je Marq St.Hilaire metoda, odnosno visinska metoda (Slika 19). Ona se temelji na ispravljanju koordinata zbrojene pozicije za vrijednost razlike između izmjerene visine i izračunate visine nebeskog tijela u pravcu azimuta. Do pozicije broda se dolazi matematičkim i grafičkim putem. Pravac pozicije se dobije kao razlika izmjerene visine i izračunate visine pomoću koordinata zbrojene pozicije, a u pravcu azimuta. Točka u kojoj se sijeku pravac pozicije i pravac azimuta zove se rektificirana točka. Stajnica se dobije kad se kroz tu točku povuče pravac okomit na pravac azimuta (Slika 20). [1]

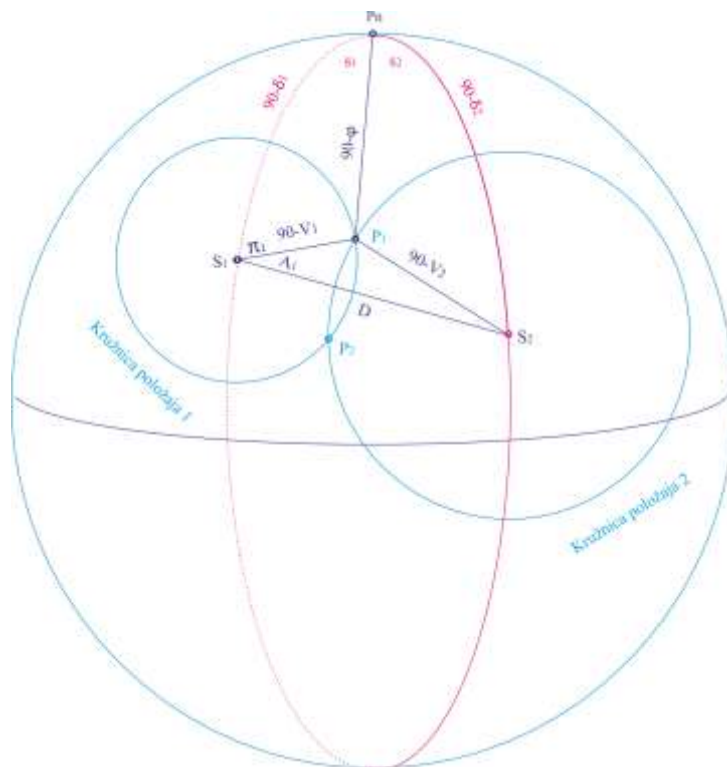


Slika 19. Visinska metoda [1]



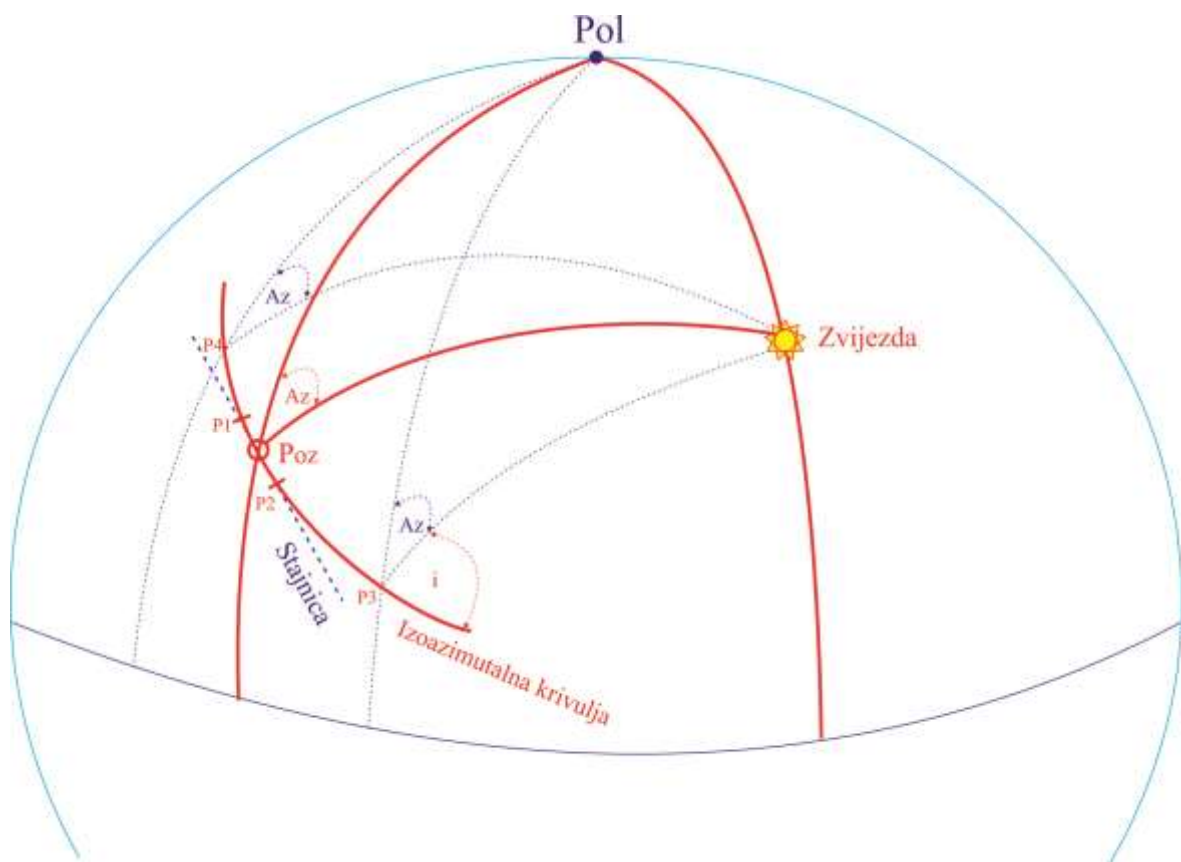
Slika 20. Konstrukcija astronomske stajnice [1]

Druga metoda koju treba razumjeti jest izravna metoda, odnosno Dozierova metoda. Naziva se izravnom metodom zbog toga što se do pozicije dolazi matematičkim putem bez grafičkog prikaza. Način pomoću kojeg se dolazi do pozicije broda jest da se ucrtaju dvije kružnice položaja, te se tako nađe pozicija broda u jednom od dva sjecišta tih kružnica (Slika 21). [1]



Slika 21. Dozierova metoda [1]

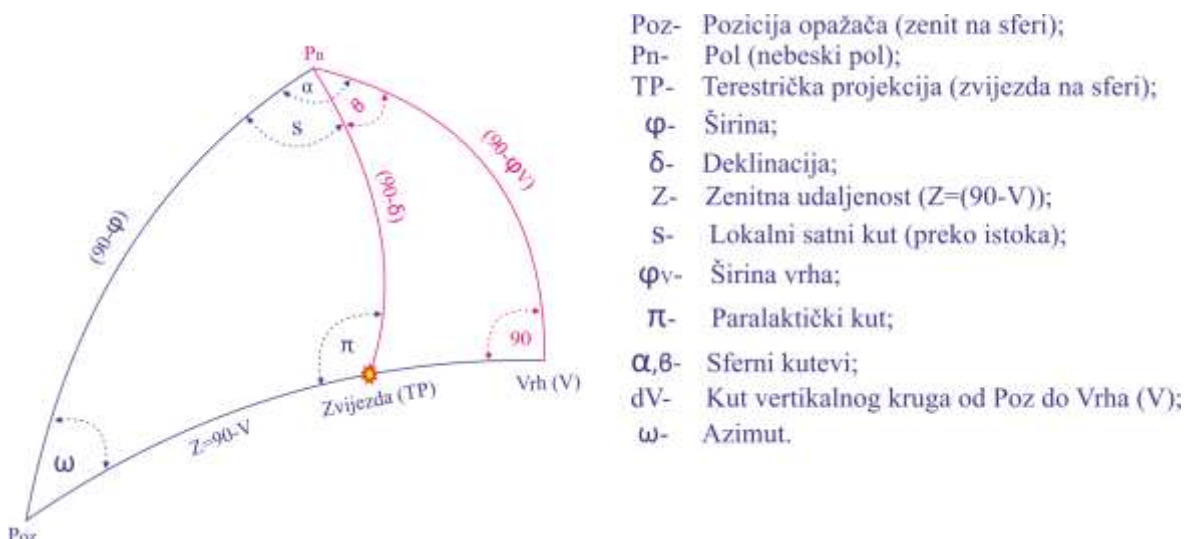
Metoda određivanja pozicije broda poznavanjem samo azimuta nebeskog tijela temelji se na upotrebi izoazimuta nebeskog tijela, a izoazimut je krivulja za koju vrijedi da svaka njezina točka zatvara isti ortodromski azimut na opaženo tijelo. Konstrukcija ove krivulje vrlo je složena, međutim može se približno odrediti tj. zamijeniti pravcem, ako se odrede dvije pozicije na izoazimutalnoj krivulji, koje leže relativno blizu jedna drugoj i blizu zbrojene (pretpostavljene) pozicije. Određivanje te dvije pozicije koje definiraju stajnicu se temelji na odabiru dviju zemljopisnih širina u blizini zbrojene pozicije te izračunu odgovarajućih zemljopisnih dužina ili na temelju odabira dvije zemljopisne dužine i izračunu odgovarajućih zemljopisnih širina (Slika 22). [3]



Slika 22. Izoazimutalna krivulja [3]

3.1. TEORIJSKE OSNOVE

U astronomskoj navigaciji osnovni navigacijski trokut čine tri luka i tri kuta. To su: luk lokalnog nebeskog meridijana, luk satne kružnice te luk vertikalne kružnice. U glavne kutove navigacijskog trokuta uključeni su azimut, mjesni satni kut te kut nebeskog tijela (trokut Poz, ZP, Pn-Slika 23).



Slika 23. Osnovni navigacijski trokut [3]

Glavne točke predstavljaju zenit, nebeski pol i zvijezda. Navedene točke sadržavaju poziciju opažača, Zemaljski pol te zemljopisnu poziciju u svrhu projekcije navigacijskog trokuta na Zemlju. Velika kružnica koja prolazi kroz zenit i zvijezdu, zajedno sa mjesnim meridijanom i velikom kružnicom koja prolazi kroz pol i vrh (V) tvori pravokutni trokut. Na ovaj trokut moguća je primjena Napierovih pravila. Uz pomoć ovih pravila, ali i ostalih pravila sferne trigonometrije, može se riješiti problem u dobivanja dužine pozicije na izoazimutalnoj krivulji za odabranu širinu ili obrnuto, kada poznati elementi uključuju azimut nebeskog tijela, deklinaciju te Greenwich satni kut nebeskog tijela. [3]

3.2. IZRAČUN ZEMLJOPISNE DUŽINE ZA ODABRANU ŠIRINU

Sukladno Napierovim pravilima vrijedi (Slika 23):

$$\cos \varphi_v = \sin \omega \times \sin (90-\varphi) \quad (1)$$

$$\cos \varphi_v = \sin \omega \times \cos \varphi \quad (2)$$

$$\cos(90-\varphi) = \cot \omega \times \cot \alpha \quad (3)$$

$$\cot \alpha = \sin \varphi \times \operatorname{tg} \omega \quad (4)$$

$$\cos \beta = \cot(90-\delta) \times \cot \varphi \quad (5)$$

$$\cos \beta = \frac{\operatorname{tg} \delta}{\varphi \nu} \quad (6)$$

Iz kosokutnog navigacijskog trokuta slijedi (Slika 23):

$$s = \alpha - \beta \quad (7)$$

Iz svega navedenog zemljopisna dužina za odabranu širinu glasi [3]:

$$\lambda. = \lambda_{TP-S} \quad (8)$$

3.3. IZRAČUN ZEMLJOPISENE ŠIRINE ZA ODABRANU DUŽINU

Iz kosokutnog navigacijskog trokuta Pos, V, Pn (Slika 23):

$$s = \lambda_{TP} - \lambda. \quad (9)$$

Temeljem pravila za sinus, iz kosokutnog navigacijskog trokuta Pos, GP, Pn (Slika23) slijedi:

$$\sin \omega \div \sin s = \sin(90 - \delta) \div \sin Z \quad (10)$$

$$\sin Z = \frac{\sin s \times \cos \delta}{\sin \omega} \quad (11)$$

Sukladno Napierovom pravilu za $\operatorname{tg} \left(\frac{a+b}{2} \right)$ [3] :

$$\operatorname{tg} \left(\frac{(90 - \delta) + Z}{2} \right) = \frac{\cos \left(\frac{\omega - s}{2} \right)}{\cos \left(\frac{\omega + s}{2} \right)} \times \operatorname{tg} \left(\frac{90 - \varphi}{2} \right) \quad (12)$$

Ako se $\operatorname{tg}\left(\frac{90 - \varphi}{2}\right)$ zamijeni s varijablom X:

$$X = \frac{\operatorname{tg}\left(\frac{(90 - \delta) + Z}{2}\right) \times \cos\left(\frac{\omega + s}{2}\right)}{\cos\left(\frac{\omega - s}{2}\right)} \quad (13)$$

Širina opažača za izabranu dužinu glasi [3]:

$$\left(\frac{90 - \varphi}{2}\right) = \operatorname{arctg}(X) \quad (14)$$

$$\varphi = 90 - 2 \times \operatorname{arctg}(X) \quad (15)$$

U svrhu praktične uporabe gore navedenih jednadžbi kut azimuta ω nebeskog tijela bi trebao biti ispod 180° . Podrazumijeva se da ako je taj kut veći od 180° isti se treba smanjiti za 180° . Jednadžba (7), $s = \alpha - \beta$, vrijedi za slučajeve kada se promatrano nebesko tijelo nalazi u prvom i trećem kvadrantu. U suprotnom slučaju, dakle, kada se promatrano nebesko tijelo nalazi u drugom i četvrtom kvadrantu, vrijedi jednadžba, $s = \alpha + \beta$. Kada se vrh nalazi između opažača (Poz) i zvijezde (TP) onda vrijede jednadžbe $s = \alpha + \beta$ kada se promatrano nebesko tijelo nalazi u prvom i trećem kvadrantu, a $s = \alpha - \beta$ kada se promatrano nebesko tijelo nalazi u drugom i četvrtom kvadrantu. Zemljopisna dužina vrha je određena kutevima α ili β . Nadalje, moguće je odrediti kut između meridijana na odabranoj poziciji i izoazimutalne krivulje. Taj kut je jednak sumi azimuta (ω) i kuta „i“. Kut „i“ se određuje iz sfernog trokuta zvijezda (TP), pol te jedne izabrane pozicije:

$$\operatorname{tg} i = \operatorname{tg} s \times \sin \varphi \quad (16)$$

Pomoću kuta ($\omega + i$) je moguće odrediti stajnicu na samo jednoj odabranoj poziciji. Jedini uvjet za to jest, da odabrana pozicija bude što bliža stvarnoj poziciji. To se radi zbog toga, da bi se izbjeglo značajno odstupanje ravne linije (stajnice) od izoazimutalne krivulje. [3]

4. PRIMJER DOBIVANJA POZICIJE BRODA POZNAVANJEM SAMO AZIMUTA NEBESKOG TIJELA

Dana 13. kolovoza 2019.godine; UT=20:47:00; na koordinatama zemljopisne širine $\varphi = 43^{\circ}44,6'N$, te zemljopisne dužine $\lambda = 15^{\circ}53,2'E$ opažaju se nebeska tijela (Tablica 1). Kroz ovaj primjer će se prikazati način dobivanja pozicije broda poznavajući samo azimut nebeskog tijela. Pretpostavlja se, da opažatelj mjeri azimute unutar točnosti od $\pm 0.1^{\circ}$.

Tablica 1. Rezultati iz aplikacije za nautičare Nautical Almanac [7]

| Opažena nebeska tijela | | |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Deneb | Hamal | Altair |
| $S_G = 323^{\circ}12,87'$ | $S_G = 241^{\circ}40,6'$ | $S_G = 335^{\circ}48,53'$ |
| $\delta = 45^{\circ}21,14'N$ | $\delta = 23^{\circ}33,12'N$ | $\delta = 08^{\circ}55,39'N$ |
| Vr | Vr | Vr |
| $75,1^{\circ}$ | $7,7^{\circ}$ | $54,4^{\circ}$ |
| ω | ω | ω |
| $76,5^{\circ}$ | $64,6^{\circ}$ | $165,8^{\circ}$ |

Za samo jedno nebesko tijelo, u ovom slučaju Deneb, bit će prikazan računski način dobivanja podataka potrebnih za određivanje stajnice, a za ostala tijela samo konačni tablični podatci (Tablica 2).

Deneb

Izabrana zemljopisna dužina $\lambda = 15^{\circ}47,2'E$.

1° U prvom koraku se računa mjesni satni kut.

$$s = S_G + \lambda = 323^{\circ}12,87' + 15^{\circ}47,2' = 339^{\circ}0'4,2''$$

$$s = 360^{\circ} - 339^{\circ}0'4,2''$$

$$s = 20^{\circ}59'55,8''$$

2° Drugi korak predstavlja izračun zenitne udaljenosti.

$$\sin Z = \frac{\sin s \times \cos \delta}{\sin \omega} = \frac{\sin(20^{\circ}59'55,8'') \times \cos(45^{\circ}21,4')}{\sin(76,5^{\circ})}$$

$$\sin Z = \frac{0,3583489397 \times 0,7027451731}{0,9723699204}$$

$$\sin Z = 0,2589837287$$

$$Z = 15^{\circ}0,6'$$

3° U trećem koraku se računa varijabla X.

$$X = \frac{\operatorname{tg}\left(\frac{((90-\delta)+Z)}{2}\right) \times \cos\left(\frac{\omega+s}{2}\right)}{\cos\left(\frac{\omega-s}{2}\right)}$$

$$X = \frac{\operatorname{tg}\left(\frac{((90^{\circ}-45^{\circ}21,14') + 15^{\circ}0,6')}{2}\right) \times \cos\left(\frac{76,5^{\circ} + 20^{\circ}59'55,8''}{2}\right)}{\cos\left(\frac{76,5^{\circ} - 20^{\circ}59'55,8''}{2}\right)}$$

$$X = \frac{\operatorname{tg}(29^{\circ}49'43,8'') \times \cos(48^{\circ}44'57,9'')}{\cos(27^{\circ}45'2,1'')} = \frac{0,5733738866 \times 0,6593534696}{0,884982897}$$

$$X = 0,427190246$$

$$X = 0^{\circ}25'37,88''$$

4° Izračun zemljopisne širine za odabranu zemljopisnu dužinu se vrši u četvrtom koraku.

$$\varphi = 90^{\circ} - 2\arctg(X) = 90^{\circ} - 2\arctg(0,427190246) = 90^{\circ} - 46^{\circ}15'48,25''$$

$$\varphi \approx 43^{\circ}44,2'$$

Izabrana zemljopisna dužina $\lambda = 15^{\circ}59,2'E$.

1° U prvom koraku se računa mjesni satni kut.

$$s = S_G + \lambda = 323^{\circ}12,87' + 15^{\circ}59,2' = 339^{\circ}12'4,2''$$

$$s = 360^{\circ} - 339^{\circ}6'40,2''$$

$$s = 20^{\circ}47'55,8''$$

2° Drugi korak predstavlja izračun zenitne udaljenosti.

$$\sin Z = \frac{\sin s \times \cos \delta}{\sin \omega} = \frac{\sin(20^{\circ}47'55,8'') \times \cos(45^{\circ}21,4')}{\sin(76,5^{\circ})}$$

$$\sin Z = \frac{0,3550879273 \times 0,7027451731}{0,9723699204}$$

$$\sin Z = 0,25662695$$

$$Z \approx 14^{\circ}52,2'$$

3° U trećem koraku se računa varijabla X.

$$X = \frac{\operatorname{tg}\left(\frac{(90-\delta)+Z}{2}\right) \times \cos\left(\frac{\omega+s}{2}\right)}{\cos\left(\frac{\omega-s}{2}\right)}$$

$$X = \frac{\operatorname{tg}\left(\frac{((90^\circ - 45^\circ 21,14') + 14^\circ 52,2')}{2}\right) \times \cos\left(\frac{76,5^\circ + 20^\circ 47' 55,8''}{2}\right)}{\cos\left(\frac{76,5^\circ - 20^\circ 47' 55,8''}{2}\right)}$$

$$X = \frac{\operatorname{tg}(29^\circ 45' 31,8'') \times \cos(48^\circ 38' 57,9'')}{\cos(27^\circ 51' 2,1'')} = \frac{0,5717516385 \times 0,660664661}{0,8841688831}$$

$$X = 0,4272216651$$

$$X = 0^\circ 25' 38''$$

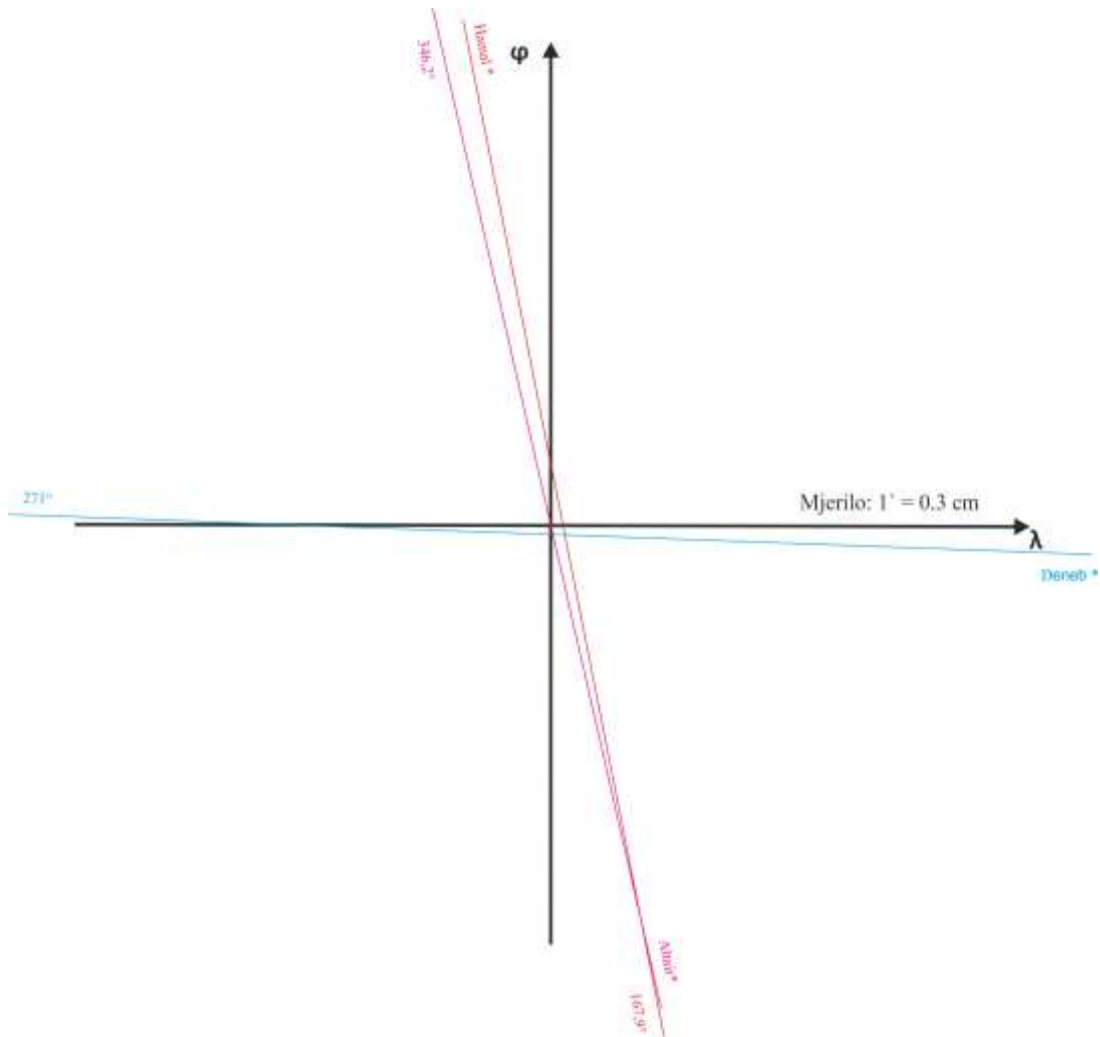
4° Izračun zemljopisne širine za odabranu zemljopisnu dužinu se vrši u četvrtom koraku.

$$\varphi = 90^\circ - 2\operatorname{arctg}(X) = 90^\circ - 2\operatorname{arctg}(0,4272216651) = 90^\circ - 46^\circ 15' 59,21''$$

$$\varphi \approx 43^\circ 44,1'$$

Tablica 2. Izračun stajnice-stvarna pozicija u centru izabrane pozicije [7]

| Izračun širine za odabranu dužinu | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Deneb | Hamal | Altair |
| $S_G = 323^\circ 12,87'$ | $S_G = 241^\circ 40,6'$ | $S_G = 335^\circ 48,53'$ |
| $\delta = 45^\circ 21,14' \text{ N}$ | $\delta = 23^\circ 33,12' \text{ N}$ | $\delta = 08^\circ 55,39' \text{ N}$ |
| $\omega = 76,5^\circ$ | $\omega = 64,6^\circ$ | $\omega = 165,8^\circ$ |
| Izabrana dužina 1: | 15°47,2` E | |
| Širina 1 | Širina 2 | Širina 3 |
| 43°44,2` E | 44°19,2` E | 44°14,2` E |
| Izabrana dužina 2: | 15°59,2` E | |
| Širina 1 | Širina 2 | Širina 3 |
| 43°44,1` E | 43°15`20`` E | 43°17,6` E |
| Stajnica kroz pozicije 1 i 2 | | |
| 271° | 167,9° | 342,2° |



Slika 23a. Grafički prikaz rezultata iz tablice 2 [3]

Slika 23a. prikazuje rezultate iz tablice 2. Centar grafa predstavlja zbrojenu poziciju, odnosno stvarnu poziciju opažača ($\varphi = 43^{\circ}44,6'N$; $\lambda = 15^{\circ}53,2'E$). Pozicije su definirane izabranom zemljopisnom dužinom te izračunatim širinama (npr. P1; $\varphi_1 = 43^{\circ}44,2'N$, $\lambda_1 = 15^{\circ}47,2'E$ - Tablica 2). Pozicije P1 i P2 predstavljaju točke na izoazimutalnoj krivulji (Slika 22) kroz koje prolazi stajnica. Dakle, svaka od stajnica je definirana jednom od referentnih pozicija iz tablice 2, (P1) te odgovarajućom ravnom linijom koja prolazi kroz obje referentne pozicije.

5. UPOTREBA ECDISA U ASTONOMSKOJ NAVIGACIJI

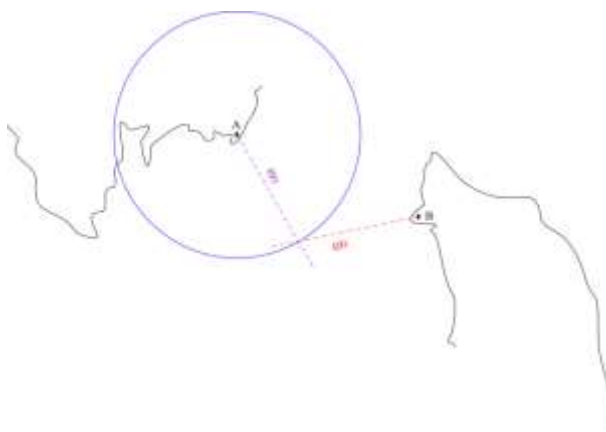
Electronic Chart Display and Information System ili ECDIS, je informacijski navigacijski alat bez kojeg je nezamisliva moderna pomorska navigacija. On služi za prikazivanje odabranih podataka iz System Electronic Navigational Chart-a (SENC). Nadalje, on služi za prikazivanje informacija o poziciji na temelju podataka iz navigacijskih senzora. Opcionalno, može prikazivati navigacijske podatke koji služe pomorcima u planiranju ruta, nadzoru rute. Isto tako, ECDIS omogućuje kontinuirano pravovremeno ucrtavanje pozicije broda na prikladan način. Glavna svrha ECDIS-a se očituje u osiguravanju sigurnosti plovidbe kao i u pojednostavljivanju navigacije.

ECDIS je sustav koji je sposoban zadovoljiti brojne statutarne, tehničke, te funkcionalne zahtjeve. Usprkos tome, prostora za poboljšanja još uvijek ima. Jedan od primjera poboljšanja se ogleda kroz navigaciju bez pomoći satelitskih sustava za pozicioniranje, te kroz primjenu astronomske navigacije. U smislu astronomske navigacije, većina ECDIS sustava, ne omogućuje izravno ucrtavanje astronomske stajnice.

U nastavku će biti pojašnjen način crtanja astronomske stajnice koristeći se Trans Navi-Sailor 4000, ECDIS sustavom, primjenom metode presretanja, te metode crtanja ortodromskog azimuta i izoazimuta. [4]

5.1. RUČNO ODREĐENA POZICIJA U ECDIS SUSTAVU

Moderni ECDIS sustavi omogućuju ručni unos pozicije. To se radi tako da se ručno unese azimut ili udaljenost (Slika 24), premještajući stajnicu na referentni objekt. Ista radnja se obavlja i za drugi objekt, te se tako određuje pozicija (Slika 25). [4]



Slika 24. Pozicija određena s dva zaimuta i jednom udaljenošću [4]



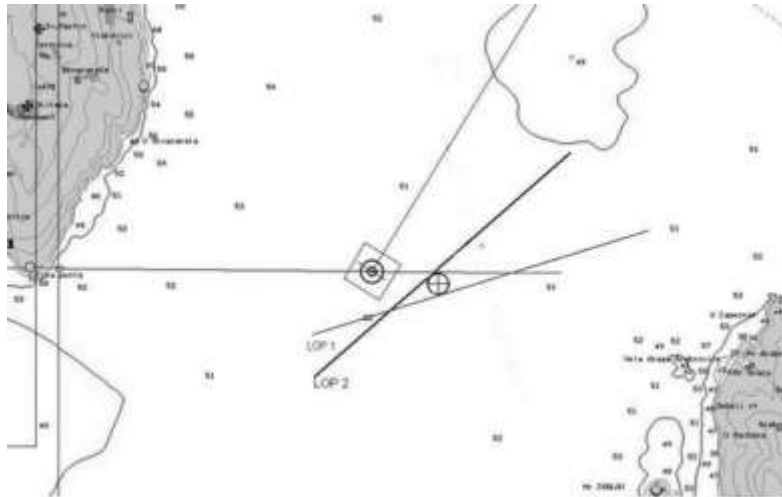
Slika 25. Ručno unesena pozicija [4]

Vrijeme određivanja stajnice se postavlja automatski jer sustav posjeduje svoj interni sat. Nadalje, postoji i opcija ručnog unosa vremena, uz određene restrikcije. Jedna od značajki sustava jest da prati protok vremena između određivanja azimuta trenutne i prve stajnice. Tako se omogućuje računanje prijednog puta. Nakon unosa parametara, te određivanja azimuta na referentne objekte, nužno je postavljanje stajnica na te objekte (ili premještanje stajnica uzimajući u obzir brzinu i kurs broda). To se omogućuje alatom „Move and reference“ za svaku stajnicu posebno. Unos pozicije se potvrđuje alatom „Accept position“, nakon premještanja stajnica. Vrijeme određivanja pozicije se prikazuje nakon potvrđivanja, a sustav to bilježi u brodski dnevnik kao procijenjenu poziciju (Slika 25). Sustav prihvaća i označava novi položaj broda neovisno o ranije primijenjenoj metodi određivanja pozicije broda (DGPS ili zbrojena pozicija). Ove radnje se obavljaju uz pomoć alata „Manually Fix Position“ (Trans Navi-Sailor 4000 ECDIS). [4]

5.2. PRIMJENA DOSTUPNIH ALATA ZA RUČNO UCRTAVANJE

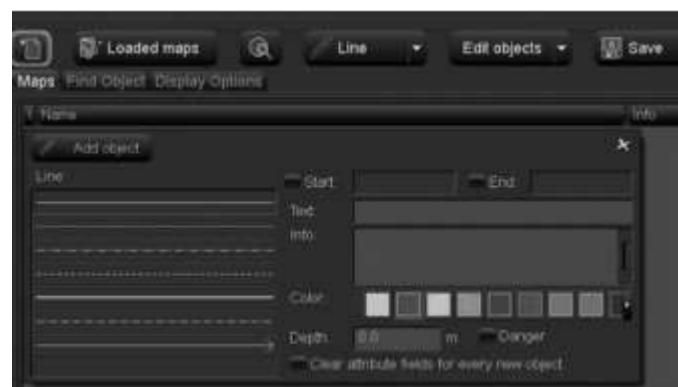
Trans Navi-Sailor 4000, ECDIS sustav, sadržava funkcije koje služe za unos simbola, linija, krugova, teksta i td., odnosno „Maps“ i „Man Corrs“ funkcije. Funkcija „Maps“ se koristi za ručno ucrtavanje pozicije (ako se ne koristi funkcija „Manually Fix Position“). U svrhu pomicanja stajnice u željenom smjeru, korisnici ECDIS sustava to mogu napraviti pomoću opcije „Shift“. Ta opcije se nalazi unutar funkcije „Edit“. ECDIS sustav prikazuje vrijednosti pomaka stajnice cijelo vrijeme od početne točke (udaljenost u nautičkim miljama/metrima te azimut). Azimut se pomiče u smjeru kursa za vrijednost prevaljenog puta. [4]

Funkcija „Maps“ se ne koristi u svrhu prikazivanja trajnih promjena hidrografskih podataka. Ona se koristi za unos svih ostalih navigacijskih podataka koje moraju ostati vidljive na karti (Slika 26).

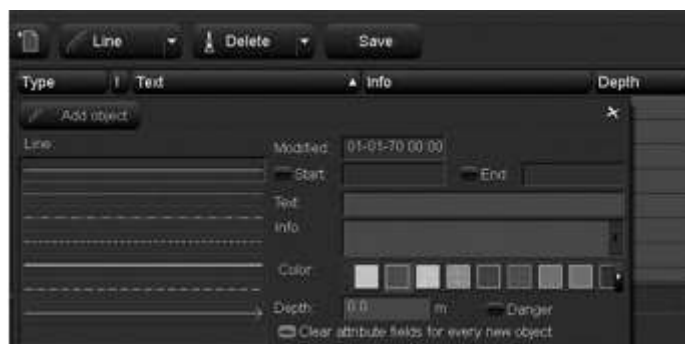


Slika 26. „Maps“ funkcijom određena, pozicija s tri azimuta [4]

Funkcija „Man Corrs“, je funkcija dizajnirana za ispravljanje hidrografskih podataka na ECDIS kartama. Kada se ova funkcija koristi u svrhu ručnog ucrtavanja pozicije, moguće je ograničiti vrijeme prikazivanja simbola. Tako se ograničava vrijeme prikazivanja ručno ucrtane pozicije broda. Funkcije „Maps“ (Slika 27) i „Man Corrs“ (Slika 28) pružaju identičan izbor simbola, te jednaku funkcionalnost pri ručnom ucrtavanju. [4]



Slika 27. „Maps“ izbornik [4]

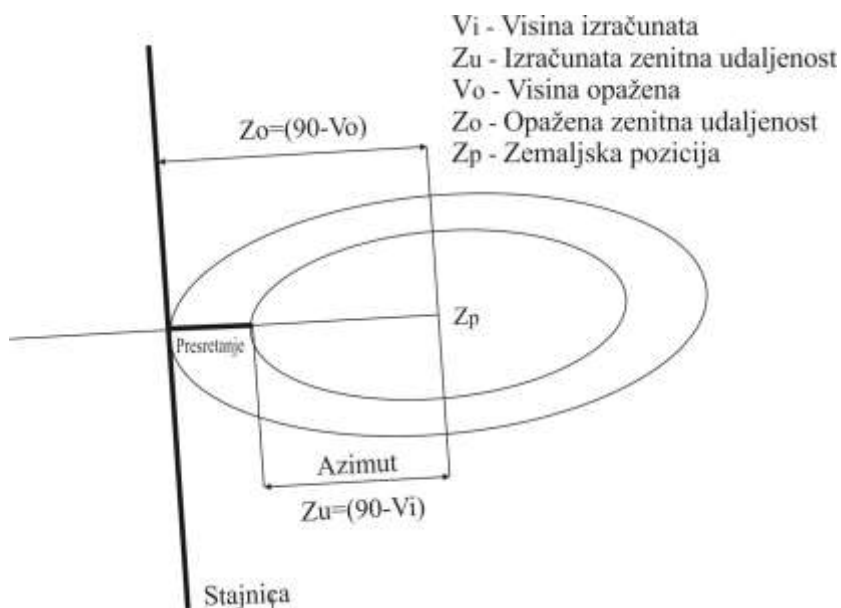


Slika 28. „Man Corrs“ izbornik [4]

Primjena mogućnosti ECDIS sustava poput „Manually Fix Position“ (ali i opcija crtanja linija) za izravno crtanje azimuta nebeskih tijela (stajnica) u astronomskoj navigaciji nije primjerena, odnosno prihvatljiva bi bila samo kad bi se tijela opažala na vrlo velikim visinama. Kako to nije slučaj, opaženi ortodromski azimut nebeskog tijela ne može se zamijeniti pravcem, i sukladno izravno ucrtati bilo na papirnatu ili elektroničku kartu. [4]

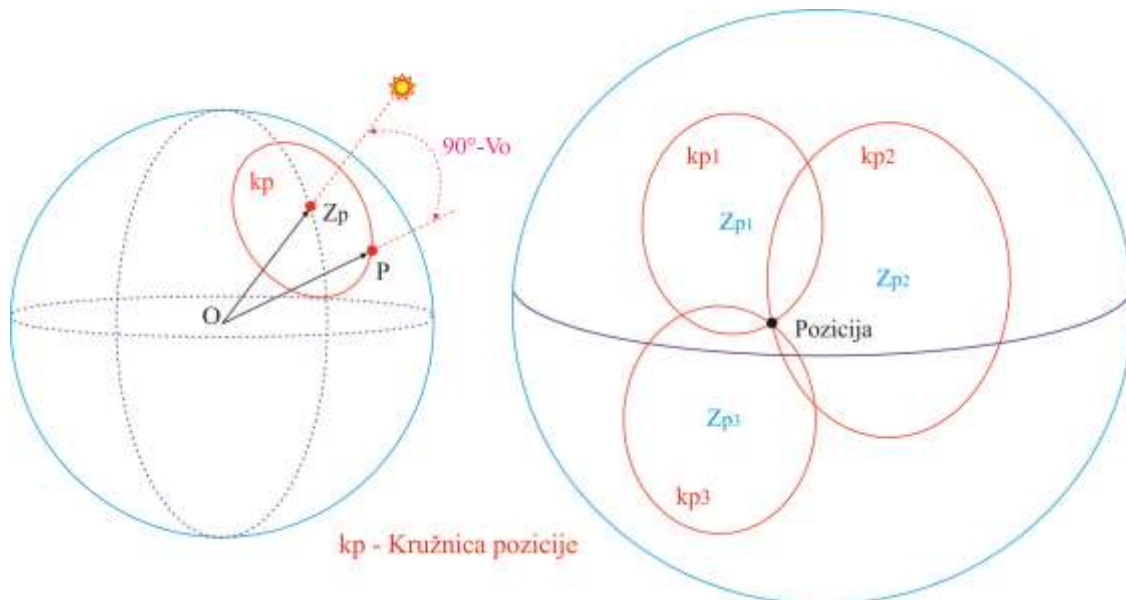
5.3. STAJNICA ASTRONOMSKE NAVIGACIJE U ECDIS SUSTAVU

Marcq St.Hilaire metoda, je najčešće korištena metoda dobivanja stajnice u astronomskoj navigaciji. Temelji se na izračunavanju pomaka od zbrojene pozicije (pretpostavljena, aproksimirana pozicija) i ucrtavanja stajnice (tangente na kružnicu jednakih visina). Ovaj postupak se kompletira grafičkim putem, odnosno, crtanjem na navigacijskoj karti ili na praznom papiru (Slika 29). [4]



Slika 29. Stajnica određena Marq St.Hilaire metodom [4]

Za izravno određivanje astronomske pozicije broda bez grafičkog dijela postupka, koristi se ranije navedena Dozier metoda. Ona se temelji na izravnom dobivanju koordinata presjecišta dvije kružnice jednakih visina (stajnice). Nepraktična je po pitanju dobivanja pozicije pomoću tri ili više nebeskih tijela, te se zato rijetko koristi u svrhu ručnog ucrtavanja (Slika 30). [4]



Slika 30. Usporedba kruga jednakih visina i pozicije s tri nebeska tijela [4]

ECDIS sustavi ne sadržavaju efemeride ili neki specijalizirani software za automatsko izračunavanje astronomske pozicije broda. Zbog toga se u ECDIS sustavima može improvizirati rješenje gore navedenog problema. To se radi pomoću funkcija „Manually Fix Position“, „Maps“ i „Man Corrs“ (Trans Navi-Sailor 4000 ECDIS). U svrhu ucrtavanja stajnice, mjere se samo azimuti i visine nebeskih tijela. [4]

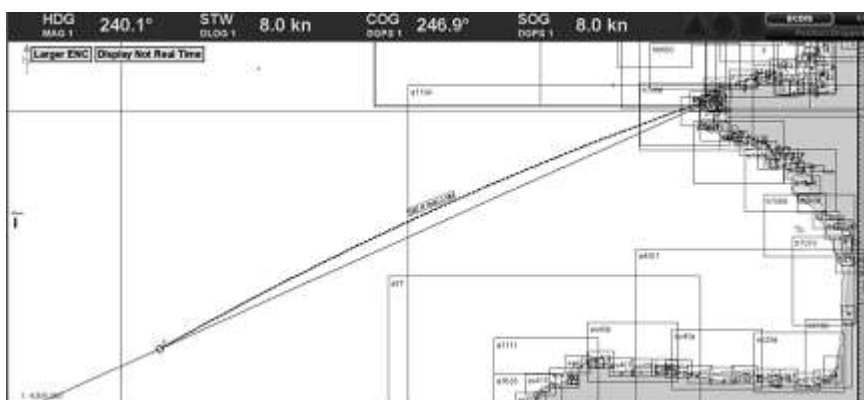
5.3.1. Primjena funkcije „Manually fixed position“

Azimut nebeskog tijela predstavlja ortodromu od pozicije opažača do točke terestričke projekcije koja je definirana deklinacijom i Greenwich satnim kutom. Dakle, azimut je dio velike kružnice, odnosno ortodrome. Na Mercatorovoj karti velika kružnica se ne prikazuje kao pravac, već kao krivulja. U tome leži problematika s primjenom funkcije „Manually fixed position“ u određivanju stajnice uz pomoć azimuta. [4]

Izravno ucrtavanje npr. aproksimiranog ortodromskog azimuta loksodromskim azimutom (stajnicom) je prihvatljivo samo za kratke zenitne udaljenosti, što nije slučaj u astronomskoj navigaciji. Međutim, sasvim druga priča je s ucrtavanje stajnice kao kružnice, što svaki ECDIS ima. Ako su poznate visine, poznate su i zenitne udaljenosti, a stajnica je ništa drugo nego kružnica čiji je polumjer zenitna udaljenost a centar točka terestričke projekcije nebeskog tijela. Drugim riječima na ECDIS sustavu se izravno može crtati stajnica (Slika 30). [4]

- **Metoda primjene stajnice**

Na kratkim udaljenostima od promatranog objekta (do 50 NM) razlike između loksodromskog i ortodromskog azimuta su zanemarive. Dakle, mogu se ucrtavati istovjetno. Na srednjim udaljenostima (od 50 NM do 150 NM), ortodromski azimut se može zamijeniti s loksodromskim, tako da se u obzir uzimaju odgovarajuće ispravke. Te ispravke se nalaze u Nautičkim tablicama pod nazivom „Ispravke za pretvaranje (radio) azimuta velikog kruga u Merkatorski azimut“. Na velikim udaljenostima (preko 150 NM) aproksimirana pozicija se određuje konstrukcijom izoazimuta. U astronomskoj navigaciji se ne opažaju tijela malih zenitnih udaljenosti (tijela na velikim visinama). To govori da bi udaljenost od opažača do projicirane terestričke točke nebeskog tijela bila vrlo velika. Iz navedenog se može zaključiti da se pozicija broda u takvom slučaju ne bi mogla odrediti samo pomoću azimuta. Odnos između ortodromskog i loksodromskog azimuta u nautičkim tablicama „Ispravke za pretvaranje (radio) azimuta velikog kruga u Merkatorski azimut“ je prikazan na slici 31.



Slika 31. Ortodromski azimut te izračunati loksodromski azimut [4]

Princip primjene ove metode u ECDIS sustavu se temelji na tome da se ortodromski azimut crta kao kurs pomoću alata „Route planning“. [4]

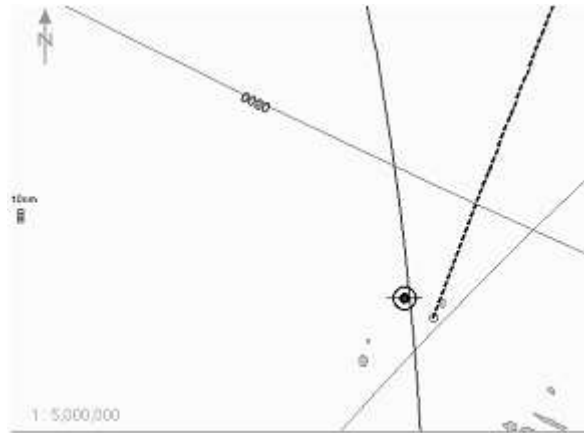
Korekcija $c/2$ se računa uz pomoć nautičkih tablica. Loksodromski azimut, odnosno stajnica, se crta uz pomoć alata „Manually fixed position“. Ucertana stajnica prolazi unutar jedne milje od zbrojene pozicije (Slika 31). Zbrojena pozicija predstavlja stvarnu poziciju jer je korekcija $c/2$ izračunata za nju. U smislu astronomske navigacije, ova procedura nije prikladna, jer sama metoda ne omogućava prijelaz iz zbrojene pozicije u stvarnu poziciju. Ova problematika se rješava konstrukcijom izoazimuta. [4]

- **Metoda primjene kružnice pozicije**

Astronomska pozicija se može jednostavno odrediti koristeći ECDIS sustav ako isti omogućuje crtanje stajnice kao kružnice neograničenog polumjera. Stajnica je određena zenitnom udaljenošću (90-Visina). Terestričku projekciju (TP) predstavlja centar kruga jednakih visina. Koordinate točke terestričke projekcije određuje deklinacija nebeskog tijela i Greenwich satni kut (odgovara zemljopisnoj dužini). Na slikama 32. i 33. se prikazuje pozicija određena uz pomoć alata „Manually fixed position“. Pozicija je određena primjenom tri zenitne udaljenosti za isto vrijeme opažanja. [4]



Slika 32. Kružnica jednakih visina (smanjeni prikaz) [4]



Slika 33. Kružnica jednakih visina (uvećani prikaz) [4]

Stajnica dobivena na ovaj način nije prikladna za praktičnu primjenu zbog pogreške u grafičkom prikazu ECDIS sustava (Trans Navi-Sailor 4000 ECDIS). To je jasno vidljivo na slici 33. gdje se pojavljuje značajno odstupanje umetnute stajnice od stvarne udaljenosti. U ovom slučaju, ta pojava je nastala zbog primjene dva različita alata za ucrtavanje. Isprekidana crta predstavlja stvarni ortodromski azimut za istu udaljenost kao i ucrtana kružnica jednakih visina, ali izračunata i prikazana uz pomoć opcije „Route planning“. Funkcije unutar Trans Navi-Sailor 4000 ECDIS sustava prikazuju udaljenosti na dva grafički različita načina. [4]

5.3.2. Uporaba ECDIS funkcija „Maps“ ili „Manual Correction“

Kako je ranije navedeno, ECDIS sustavi omogućavaju ručno ucrtavanje simbola, crta, krugova. To se može koristiti kao način prikazivanja stajnice, odnosno pozicije broda. Tako dobivenu poziciju, ECDIS sustav ne prepoznaje automatski, što ne umanjuje njezinu vrijednost. U svrhu objašnjavanja dobivanja pozicije, alat koji se najčešće koristi jest visinska metoda, gdje se posljednji dio problema rješava na navigacijskoj karti. Izračuni se obavljaju ručno, pomoću tablica ili uz pomoć nekih drugih programskih rješenja. ECDIS sustav se koristi samo za završnu fazu grafičkog crtanja stajnice, dakle elementa koji definiraju stajnicu (pozicija broda, razlika visine izmjerene i visine izračunate, izračunatog azimuta nebeskog tijela). Kroz sljedeći primjer bit će prikazana ranije navedena metoda. [4]

Primjer 1.

29. rujna 2019.godine, u vremenu UT = 22:00:00, na zbrojenoj poziciji $\varphi_z = 43^\circ 44.6' N$ te $\lambda_z = 15^\circ 53.2' E$, opažaju se tri nebeska tijela (Capella, Vega i Elnath).

Za samo jedno nebesko tijelo, u ovom slučaju Capella, bit će prikazan računski način dobivanja podataka potrebnih za određivanje stajnice, a za ostala tijela samo konačni tablični podatci (Tablica 3). Izmjerene visine (V_i), azimuti pravi (ω_p), izračunate visine i azimuti nebeskih tijela (V_r i ω_r), te razlike visina izmjerenih i visina izračunatih (ΔV) su prikazani u tablici 3. Koordinate terestričke projekcije nebeskih tijela (TP), dakle zemljopisna dužina (λ) i zemljopisna širina (φ) odgovaraju vrijednostima Greenwich satnog kuta (S_G) te deklinacije nebeskih tijela (δ).

Capella

1° Prvi korak se sastoji od izračuna mjesnog satnog kuta (s). Mjesni satni kut (s) dobit će se tako da se Greenwich satni kut zbroji sa zemljopisnom dužinom zbrojene pozicije (λ_z).

$$s = S_G + \lambda_z$$

$$s = 258^\circ 50.3' + 15^\circ 53.2' E$$

$$s = 274^\circ 43.5'$$

2° Izračun visine računate (V_r) se vrši prema formuli:

$$\sin V_r = (\sin \varphi_z \times \sin \delta) + (\cos \varphi_z \times \cos \delta \times \cos s) \quad (17)$$

$$\sin V_r = [\sin(43^\circ 44.6') \times \sin(46^\circ 0.8')] + [\cos(43^\circ 44.6') \times \cos(46^\circ 0.8') \times \cos(274^\circ 43.5')]$$

$$\sin V_r = (0.6914290002 \times 0.7195014352) + (0.7224444184 \times 0.6944909537 \times 0.08237336591)$$

$$\sin V_r = 0.497484158 + 0.04132928057$$

$$\sin V_r = 0.8134386$$

$$V_r = 32^\circ 36.2'$$

3° Izračun azimuta računatog (ω_r) se vrši prema formuli:

$$\cos \omega_r = \frac{\sin \delta - (\sin \varphi \times \sin V_r)}{\cos \varphi \times \cos V_r} \quad (18)$$

$$\cos \omega_r = \frac{\sin(46^\circ 0.8') - [\sin(43^\circ 44.6') \times \sin(32^\circ 36.2')]}{\cos(43^\circ 44.6') \times \cos(32^\circ 36.2')}$$

$$\cos \omega_r = \frac{0.7195014352 - (0.6914290002 \times 0.538819796)}{0.7224444184 \times 0.8424210512}$$

$$\cos \omega_r = 0.570069737$$

$$\omega_r = 55.3^\circ$$

Za izračun razlike visina (ΔV) se koristi sljedeći izraz:

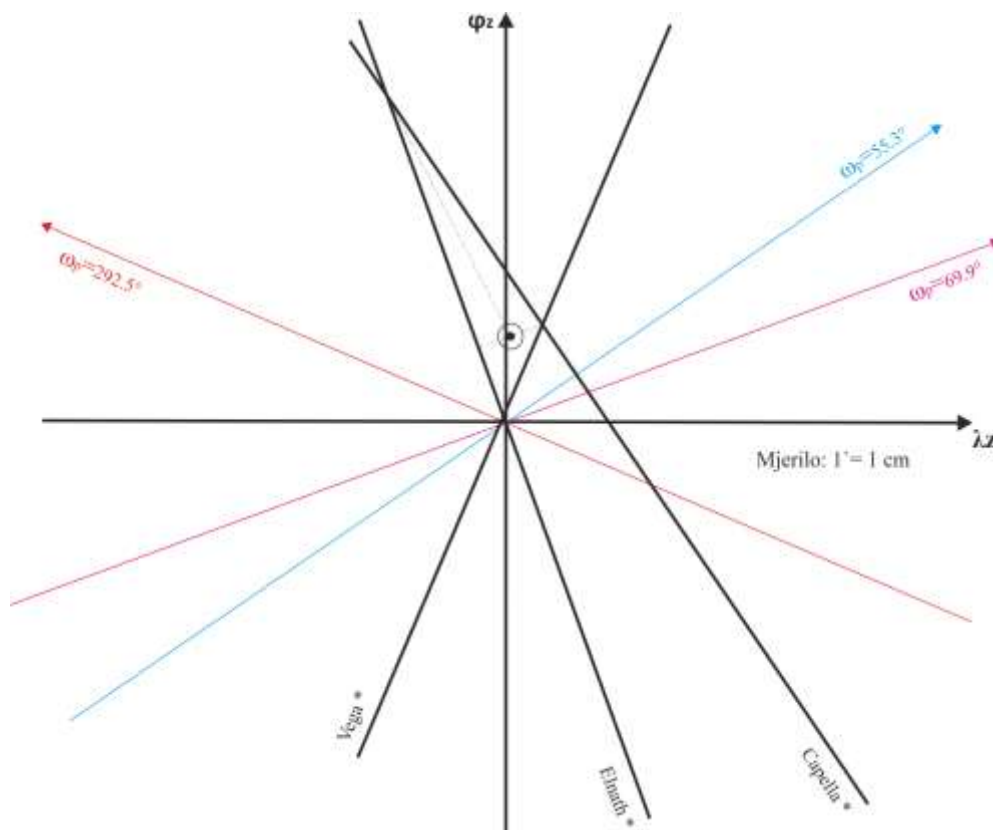
$$\Delta V = V_o - V_r = 32^\circ 37.4' - 32^\circ 36.2' \quad (19)$$

$$\Delta V = +1.1'$$

Tablica 3. Elementi definiranja stajnice [4]

| Capella | | Vega | | Elnath | |
|--|---|--|---|--|---|
| $S_G = 258^\circ 50.3'$ $\delta = 46^\circ 00.8' N$ | TP $\varphi = 46^\circ 00.8' N$ $\lambda = 101^\circ 09.7' E$ | $S_G = 058^\circ 58.3'$ $\delta = 38^\circ 48.5' N$ | TP $\varphi = 38^\circ 48.5' N$ $\lambda = 058^\circ 58.3' W$ | $S_G = 256^\circ 29.3'$ $\delta = 28^\circ 37.3' N$ | TP $\varphi = 28^\circ 37.3' N$ $\lambda = 103^\circ 30.7' E$ |
| $V_o = 32^\circ 37.4'$ | $V_r = 32^\circ 36.2'$ | $V_o = 35^\circ 28.7'$ | $V_r = 35^\circ 28.6'$ | $V_o = 20^\circ 56.8'$ | $V_r = 20^\circ 56.8'$ |
| $\omega_p = 55.2^\circ$ | $\omega_r = 55.3^\circ$ | $\omega_p = 292.5^\circ$ | $\omega_r = 67.5^\circ$ | $\omega_p = 69.9^\circ$ | $\omega_r = 69.9^\circ$ |
| $\Delta V = V_o - V_r = +1.1'$ | | $\Delta V = V_o - V_r = +0.1'$ | | $\Delta V = V_o - V_r = 0'$ | |

Rezultati iz tablice 3. su upotrebljeni za izvođenje završne faze visinske metode. Slika 34 prikazuje grafičko dobivanje pozicije visinskom metodom, a isto se može postići na ECDIS sustavu koristeći funkciju „Maps“. [4]



Slika 34. Pozicija dobivena visinskom metodom

5.4. PRIMJENA AZIMUTA I IZOAZIMUTA U POZICIONIRANJU

Izravno pozicioniranje koristeći samo azimut u astronomskoj navigaciji se izbjegava. Postoji više razloga zbog čega je to tako. S jedne strane, opaženi azimuti su ortodromski azimuti, dakle na Mercatorovoj karti oni nisu ravne linije, te ne mogu predstavljati stajnicu. To je zato, što se ista vrijednost ortodromskog azimuta može dobiti s različitih pozicija. S druge strane, azimuti se općenito ne mogu točno mjeriti. Ponekad je čak nemoguće postići točnost $\pm 1^\circ$. Mala pogreška u mjerenju azimuta rezultira velikim pomakom stajnice. Dakle, za praktičnu uporabu azimuta u izravnom crtanju stajnice, je potrebno postići minimalnu preciznost mjerenja azimuta ($\pm 0.1^\circ$). To je donekle moguće samo u statičkim uvjetima. [4]

5.4.1. Izoazimuti

Izoazimuti se mogu grafički konstruirati uz pomoć nautičkih tablica, odnosno tablice „Ispravke za pretvaranje (radio) azimuta velikog kruga u Merkatorski azimut“. Kada postoji velika udaljenost između pozicije broda i promatranog tijela, koristi se metoda izračunavanja dvije točke u neposrednoj blizini zbrojene pozicije. Na već ranije navedenom primjeru 1. bit će prikazan način konstruiranja i primjene izoazimuta. Uz pretpostavku poznavanja vrijednosti azimuta pravih (ω), ekvatorskih koordinata, deklinacije, Greenwich satnog kuta, te zbrojene pozicije moguće je konstruirati izoazimute. Kao početna pretpostavka, uzima se, da zbrojena pozicija nije točna. Sukladno toj pretpostavci, dvije odabrane zemljopisne širine (ili dužine) se podižu npr. $15' N/S$ ili $15' E/W$ od zbrojene pozicije. Na primjeru iz poglavlja 5.3.2, zemljopisna dužina je odabrana za sva nebeska tijela. Ovakav odabir se radi kako bi se dobile točke koje se nalaze jako blizu zbrojenoj poziciji. [4]

Dobivene koordinate referentne pozicije su:

Prvo tijelo (Capella)

- odabrana dužina 1: $015^\circ 38.2' E$, izračunata širina $43^\circ 51.9' N$;
- odabrana dužina 2: $016^\circ 08.2' E$, izračunata širina $43^\circ 27.5' N$;

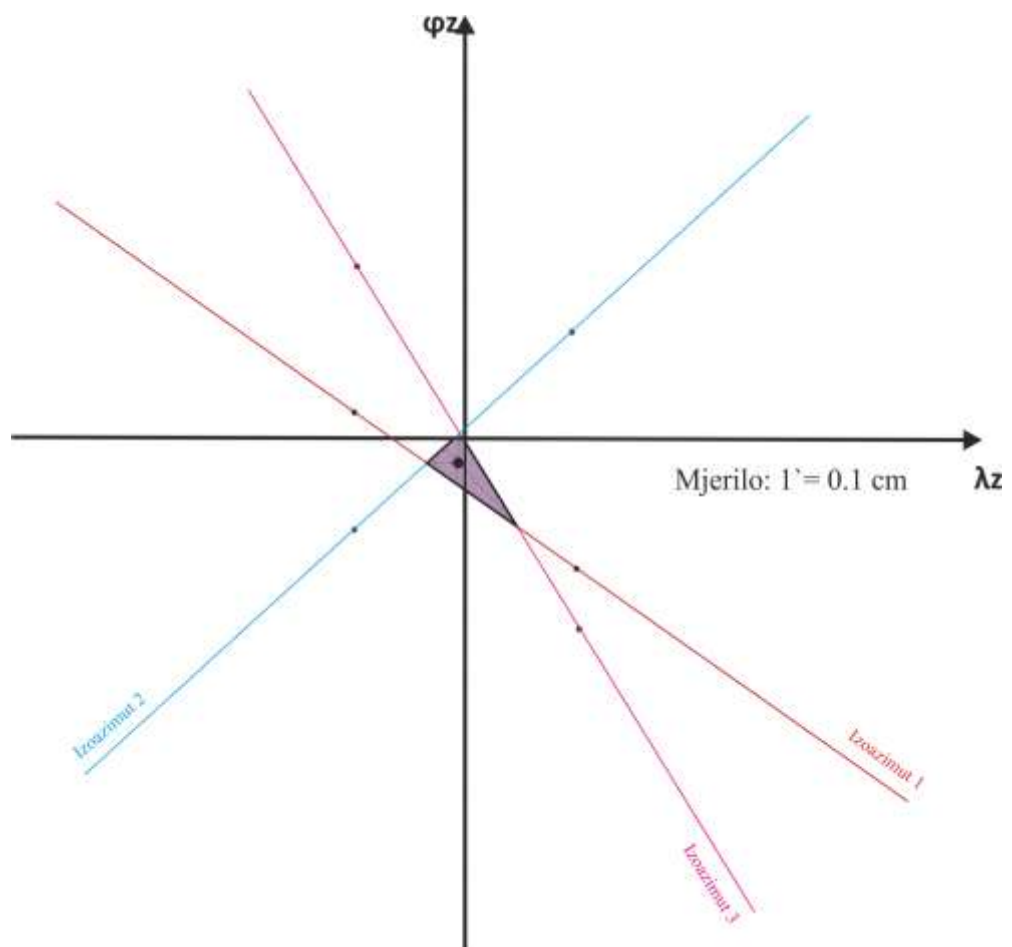
Drugo tijelo (Vega)

- odabrana dužina 1: $015^\circ 38.2' E$, izračunata širina $43^\circ 35.7' N$;
- odabrana dužina 2: $016^\circ 08.2' E$, izračunata širina $43^\circ 58.8' N$;

Treće tijelo (Elnath)

- odabrana dužina 1: 015°38.2'E, izračunata širina 44°09.3'N;
- odabrana dužina 2: 016°08.2'E, izračunata širina 43°19.5'N;

Povezivanjem dobivenih koordinata ravnom linijom dobiva se izoazimut, koji može predstavljati stajnicu. Njezina preciznost ovisi o preciznosti azimuta, greški zbrojene pozicije, ali i o referentnim (odabranim) pozicijama u odnosu na pravu poziciju broda. Stajnica je točnija, kada se stvarna pozicija nalazi između referentnih pozicija (bliže sredini). Slika 35. prikazuje sjecište tri dobivena izoazimuta, odnosno tri stajnice. Svaka od tri linije je definirana s dvije referentne pozicije (točke na slici 35). Pogreška pozicije je relativno velika, ali ipak manja od pogreške zbrojene pozicije. Kao i kod klasične visinske metode, pravci koji u ovom slučaju zamjenjuju izoazimute mogu se prikazati na ECDIS sustavu uz pomoć funkcije „Maps“. [4]

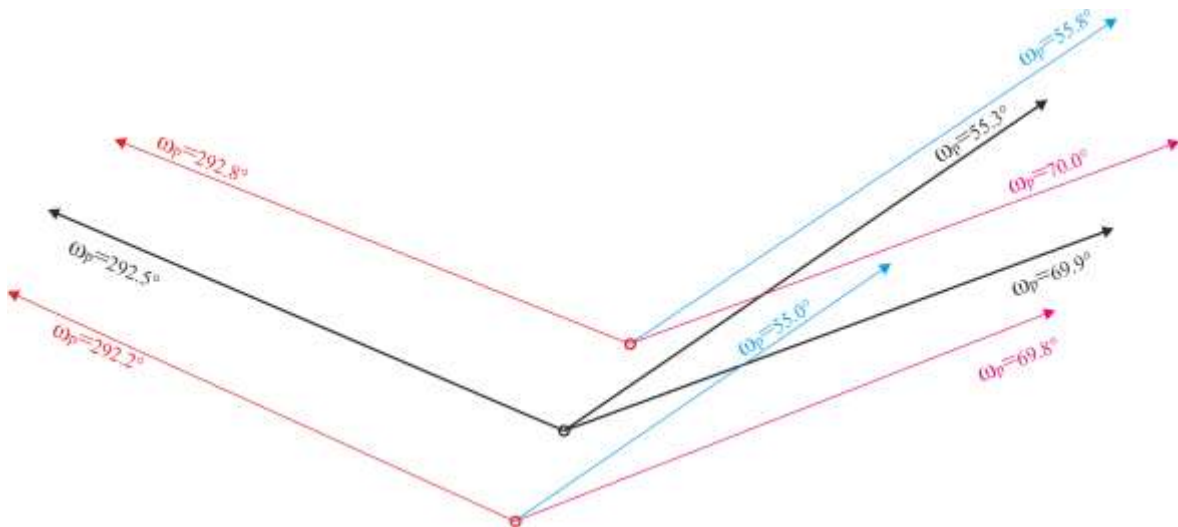


Slika 35. Pozicija dobivena izoazimutima [4]

5.4.2. Izravno crtanje azimuta

Pretpostavka pozicije temeljene na izravnom crtanju azimuta u ECDIS sustavu se radi uz pomoć alata „Route planning“. Procedura se obavlja na sljedeći način:

- ucrtavanje pozicije poznavajući vrijednosti deklinacije i Greenwich satnog kuta;
- crtanje azimuta, npr. ortodromskog azimuta, (ili kursa) između zbrojene (ili pretpostavljene) pozicije i pozicije terestričke projekcije prvog nebeskog tijela. Procedura se ponavlja za ostala nebeska tijela nakon čega se dobiveni azimuti (kursovi) uspoređuju;
- ako azimuti nisu dobri, zbrojena pozicija se pomiče, u skladu s predviđanjem (za određenu vrijednost), te se računanje azimuta (kursova) ponavlja;
- procedura se ponavlja sve dok dobiveni rezultati ne budu u skladu s opaženim vrijednostima azimuta. (Slika 36)



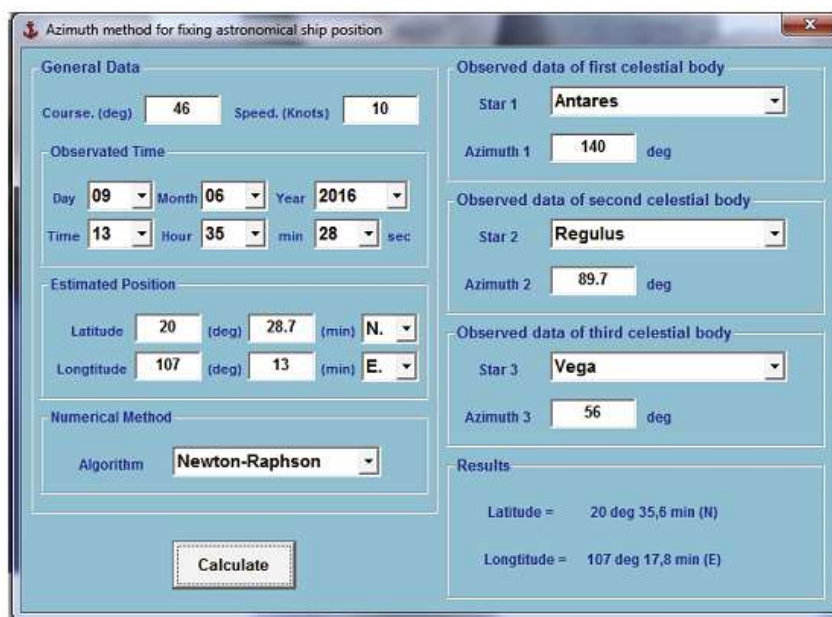
Slika 36. Skica pomaka pozicije s tri azimuta [4]

Rješavanje problema na gore opisani način je relativno dug proces. To je zato što ECDIS sustav (Trans Navi-Sailor 4000 ECDIS) ne sadrži značajku direktnog crtanja ortodromskih azimuta. Oni se moraju simulirati ortodromskim kursevima uz pomoć alata „Route planning“. Nadalje, procedura bi bila još jednostavnija kada bi ECDIS sustav mogao crtati više azimuta, te kada bi se ti azimuti mogli pomicati automatski zajedno s pomakom zbrojene (pretpostavljene) pozicije. [4]

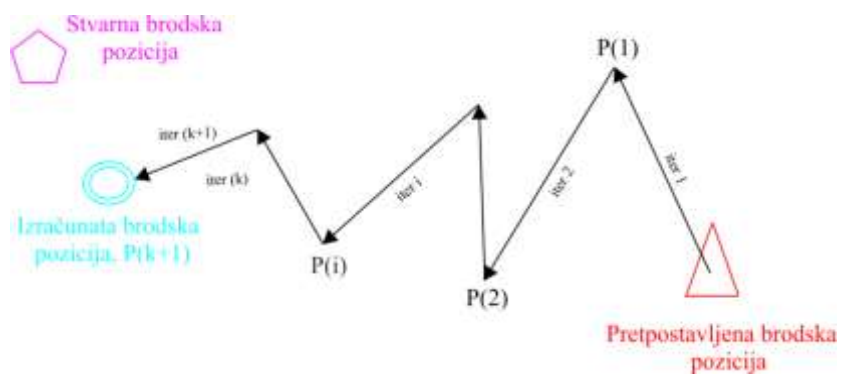
Trenutno u svijetu postoje relativno novi eksperimentalni programi (modeli) za rješavanje ranije navedene problematike. Naime, radi se o modelima za dobivanje pozicije broda:

- modelima koji koriste trigonometrijske metode za rješavanje više jednažbi kružnice pozicije upotrebom sfernog koordinatnog sustava,
- modelima koje koriste Kartezijev koordinatni sustav, umjesto sfernog koordinatnog sustava, gdje se izračuni vektora upotrebljavaju za formiranje dviju jednažbi kružnice s tri nepoznanice,
- modeli vektorske ekspanzije koji se temelje na genetičkom algoritmu koji oponaša prirodni proces biološke evolucije.

Iako su navedene izravne metode za dobivanje pozicije broda postigle značajan uspjeh, sve navedene metode trebaju visinu zvijezde kako bi se unosili u jednažbe. To znači da se ove metode mogu primjenjivati samo u vremenskom intervalu sumraka kada se istovremeno pojavljuju i zvijezde i horizont. Tijekom noći, kako horizont blijedi, ove se metode ne mogu koristiti osim u slučaju korištenja sekstanta s umjetnim horizontom. U svrhu rješavanja navedene problematike postoji nova metoda (računalni program) koja ne treba niti sekstant, tj. instrument za mjerenje visine, niti vidljivi horizont za izračune (Slika 37). Ulazna vrijednost u algoritam jest vektorski izračun azimuta nebeskog tijela u Kartezijevom koordinatnom sustavu. Nelinearni sistem određivanja brodske pozicije se temelji na Newtonovoj metodi iteracije. (Slika 38). [6]



Slika 37. Sučelje programa za izračun brodske pozicije [6]



Slika 38. Newton-ova metoda iteracije [6]

6. ZAKLJUČAK

Astronomija, kao znanstvena disciplina, predviđa između ostalog buduće položaje i kretanja nebeskih tijela te nastoji razumjeti i objasniti njihova fizička svojstva. Navigacijska astronomija, koja se bavi pretežno nebeskim koordinatama, vremenom te prividnim kretanjima nebeskih tijela za potrebe orijentacije i pozicioniranja, je grana astronomije koja je najvažnija za navigatora. Nebeska su tijela u stalnom pokretu. Ne postoji fiksni položaj u prostoru iz kojeg se može promatrati apsolutno kretanje. Prividno gibanje uzrokovano rotacijom Zemlje je razlog što se nebeska tijela uzdižu duž istočne polovice horizonta, penju se na maksimalnu visinu dok prelaze meridijan, te se potom postavljaju duž zapadnog horizonta.

Uporaba astronomske navigacije u pomorskoj navigaciji općenito je u velikom opadanju. U svrhu očuvanja astronomske navigacije kao pouzdanog i neovisnog sustava pozicioniranja, potrebno je pronalaženje novih praktičnih metoda određivanja astronomske stajnice. Jedna od tih metoda je određivanje astronomske stajnice poznavanjem samo azimuta nebeskog tijela. Prednosti se ogledaju u činjenici da se ovom metodom mogu eliminirati relativno komplicirane procedure mjerenja visina te korigiranje istih ispravkama. Nedostatci ove metode su vidljivi u činjenici da mjerne naprave na brodovima ne mogu mjeriti azimute unutar zadovoljavajuće preciznosti. Nadalje, preciznost pozicije ovisi o grešci zbrojene pozicije, izračun stajnice je relativno kompliciran, sama metoda je zasnovana na pretpostavci. Ova metoda dobivanja položaja broda ne može zamijeniti visinsku metodu, kao niti ostale metode koje su dokazane u praksi. Ona može služiti kao alternativa drugim dokazanim metodama, pogotovo u slučajevima nužde.

Kao još jedan od načina očuvanja astronomske navigacije jest njena primjena unutar ECDIS sustava. Kako bi se to moglo ostvariti, ECDIS sustavi bi trebali sadržavati nautičke godišnjake kao i ostale alate za crtanje astronomske stajnice. Iako moderni ECDIS sustavi posjeduju značajku koja omogućuje crtanje ravnih linija, krugova, simbola i sveg ostalog što se koristi u radu s papirnatim kartama, ona ipak nije prikladna za primjenu u astronomskoj navigaciji. Za potpunu implementaciju metoda astronomske navigacije u ECDIS sustav, isti bi morao imati mogućnost ucrtavanja kružnice jednakih visina i ortodromskih azimuta. Time bi se određivanje pozicije broda svelo na mjerenje visina nebeskih tijela uz pomoć sekstanta, te na izravno ucrtavanje zenitnih udaljenosti u ECDIS sustav čije je središte točka terestričke projekcije nebeskog tijela.

LITERATURA

- [1] Lušić, Z.; Baljak, K.: *Astronomska navigacija*, Split, 2007.
- [2] Bowditch, N.: *The American Practical Navigator*, Bethesda, Maryland, 1995.
- [3] Lušić, Z.: *Astronomical position without observed altitude of the celestial body*, The journal of navigation (2018), 71, 454-466, The Royal Institute of Navigation, 2017.
- [4] Lušić, Z.; Bakota, M.; Pušić, D.: *Use of ECDIS in Astronomical Navigation*, ICTS 2018, Portorož, 2018.
- [5] Thompson, D.: *Introduction to geodetic astronomy*, Department of Geodesy and Geomatics Engineering University of New Brunswick, Fredericton, N.B. Canada, 1997.
- [6] Van-Soung, N.; Nam-Kyun, I.; Quang-Dan, D.: *Azimuth method for ship position in celestial navigation*, Faculty of Navigation, Vietnam Maritime University, Vietnam; Department of Navigation Science, Mokpo National Maritime University, Korea, 2017.
- [7] <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.skrypkin.nauticalalmanac&hl=hr> (14.07.2019)
- [8] <http://eskola.zvezdarnica.hr/osnove-astronomije/polozajna-i-efemeridna-astronomija/nebeski-koordinatni-sustavi/> (19.03.2019)
- [9] <https://zpg.hr/2019/02/21/prica-o-zvijezdama/#sdfootnote3sym> (24.09.2019)
- [10] http://astrogeo.geoinfo.geof.hr/online_efemeride/eot/eot_info.html (25.09.2019)
- [11] https://en.wikipedia.org/wiki/Marine_chronometer (25.09.2019)
- [12] [https://sh.wikipedia.org/wiki/Paralaksa_\(astronomija\)](https://sh.wikipedia.org/wiki/Paralaksa_(astronomija)) (25.03.2019)

POPIS SLIKA

| | |
|--|----|
| Slika 1. Nebeska sfera [1]..... | 3 |
| Slika 2. Glavni pravci i točke na nebeskoj sferi [1]..... | 4 |
| Slika 3. Horizontski koordinatni sustav [1]..... | 6 |
| Slika 4. Mjesno-ekvatorski koordinatni sustav [1]..... | 7 |
| Slika 5. Nebesko-ekvatorski koordinatni sustav [1]..... | 7 |
| Slika 6. Ekliptički koordinatni sustav [1]..... | 7 |
| Slika 7. Položaj unutarnjih planeta u odnosu prema Zemlji i Suncu [1]..... | 9 |
| Slika 8. Položaj vanjskih planeta u odnosu prema Zemlji i Suncu [1]..... | 10 |
| Slika 9. Identifikacija alignamentima [1]..... | 11 |
| Slika 10. Paralelna nebeska sfera [1]..... | 12 |
| Slika 11. Okomita nebeska sfera [1]..... | 12 |
| Slika 12. Kosa nebeska sfera [1]..... | 13 |
| Slika 13. Sekstant [2]..... | 15 |
| Slika 14. Depresija [1]..... | 16 |
| Slika 15. Usporedba koordinata [1]..... | 17 |
| Slika 16. Krivulja pozicija prve vrste [1]..... | 18 |
| Slika 17. Krivulja pozicija druge vrste [1]..... | 18 |
| Slika 18. Krivulja pozicija treće vrste [1]..... | 19 |
| Slika 19. Visinska metoda [1]..... | 21 |
| Slika 20. Konstrukcija astronomske stajnice [1]..... | 21 |
| Slika 21. Dozierova metoda [1]..... | 21 |
| Slika 22. Izoazimutalna krivulja [3]..... | 22 |
| Slika 23. Osnovni navigacijski trokut [3]..... | 23 |
| Slika 23a. Grafički prikaz rezultata iz tablice 2 [3]..... | 29 |
| Slika 24. Pozicija određena s dva zaimuta i jednom udaljenošću [4]..... | 30 |
| Slika 25. Ručno unesena pozicija [4]..... | 31 |
| Slika 26. „Maps“ funkcijom određena, pozicija s tri azimuta, [4]..... | 32 |
| Slika 27. „Maps“ izbornik [4]..... | 32 |
| Slika 28. „Man Corrs“ izbornik [4]..... | 33 |
| Slika 29. Stajnica određena Marq St.Hilaire metodom [4]..... | 33 |
| Slika 30. Usporedba kruga jednakih visina i pozicije s tri nebeska tijela [4]..... | 34 |

| | |
|---|----|
| Slika 31. Ortodromski azimut te izračunati loksodromski azimut [4]..... | 35 |
| Slika 32. Kružnica jednakih visina (smanjeni prikaz) [4]..... | 36 |
| Slika 33. Kružnica jednakih visina (uvećani prikaz) [4]..... | 37 |
| Slika 34. Pozicija dobivena visinskom metodom..... | 39 |
| Slika 35. Pozicija dobivena izoazimutima..... | 41 |
| Slika 36. Skica pomaka pozicije s tri azimuta [4]..... | 42 |
| Slika 37. Sučelje programa za izračun brodske pozicije [6]..... | 43 |
| Slika 38. Newton-ova metoda iteracije [6]..... | 44 |

POPIS TABLICA

| | |
|--|----|
| Tablica 1. Rezultati iz aplikacije za nautičare Nautical Almanac [7]..... | 25 |
| Tablica 2. Izračun stajnice-stvarna pozicija u centru izabrane pozicije [7]..... | 28 |
| Tablica 3. Elementi definiranja stajnice [4]..... | 39 |