

Direktna metoda

Ahel, Mateo

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:237240>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-26**



Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



uniri DIGITALNA
KNJIŽNICA



SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET

MATEO AHEL

DIREKTNA METODA

ZAVRŠNI RAD

Rijeka, 2023.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET

DIREKTNA METODA
PARALACTICAL ANGLE METHOD

ZAVRŠNI RAD

Kolegij: Astronomska navigacija

Mentor: Doc. dr. sc. Đani Šabalja

Student: Mateo Ahel

Studijski smjer: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112083866

Rijeka, travanj 2023.

Student: Mateo Ahel

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112083866

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom DIREKTNA METODA izradio samostalno pod mentorstvom *doc dr. sc Danija Šabalje*.

U radu sam primijenio metodologiju izrade stručnog rada i koristio literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo u završnom radu na uobičajen, standardan način citirao sam i povezoao s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student



(potpis)

Mateo Ahel

Student: Mateo Ahel

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112083866

IZJAVA STUDENTA – AUTORA
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor završnog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa završnim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog završnog rada kao autorskog djela pod uvjetima *Creative Commons* licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na <http://creativecommons.org/licenses/>

Student



(potpis)

Mateo Ahel

SAŽETAK

Direktna metoda je vrsta izravne metode koja se koristi u astronomskoj navigaciji tijekom određivanja pozicije broda.

U ovome radu obrađen je način rješavanja direktne metode te način dobivanja Napierovih formula iz sfernih trokuta. Na primjerima praktičnih zadataka opažane su zvijezde te druga nebeska tijela, poput Sunca i Mjeseca. Na početku rada govori se općenito o osnovnim elementima u astronomskoj navigaciji, kao što su geografska dužina i širina. U glavnom dijelu objašnjene su izravna i neizravna metoda te njihove razlike. Prikazan je princip rada direktne metode, određivanje pozicije koristeći visine nebeskih tijela te primjeri rješavanja praktičnih zadataka.

Ključne riječi: direktna metoda, astronomska navigacija, određivanje pozicije

SUMMARY

The paralactical angle method is a type of method used in astronomical navigation when determining the position of a ship.

This paper deals with the method of solving the paralactical angle method and obtaining Napier's formulas from spherical triangles. On the examples of practical tasks, stars and other celestial bodies, such as the Sun and the Moon, were observed. At the beginning of the work, the basic elements in astronomical navigation, such as longitude and latitude, are discussed in general. The main part explains the direct and indirect methods and their differences. The working principle of the paralactical angle method, position determination using the height of celestial bodies, and examples of solving practical tasks are presented.

Keywords: paralactical angle method, astronomical navigation, position determination

SADRŽAJ

| | |
|---|------------|
| SAŽETAK | II |
| SUMMARY | II |
| SADRŽAJ | III |
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. TEMELJNI ELEMENTI U ASTRONOMSKOJ NAVIGACIJI..... | 3 |
| 3. IZRAVNE I NEIZRAVNE METODE | 5 |
| 3.1. IZRAVNE METODE..... | 6 |
| 3.2. NEIZRAVNE METODE..... | 7 |
| 4. DIREKTNA METODA..... | 8 |
| 4.1. PRINCIPI ASTRONOMSKOG ODREĐIVANJA POZICIJE BRODA..... | 9 |
| 4.1.1. Princip određivanja kružnice položaja..... | 10 |
| 4.1.2. Postupak određivanja točke broda s pomoću visina nebeskog tijela | 11 |
| 4.2. PRIMJERI PRAKTIČNIH ZADATAKA | 15 |
| 4.3. SNIMANJE VISINA SUNCA | 34 |
| 4.4. SNIMANJE VISINE MJESECA | 34 |
| 5. ZAKLJUČAK..... | 35 |
| LITERATURA | 36 |

1. UVOD

Povijest pomorstva započinje pretpostavkom da je prije nekoliko tisuća godina, čovjek napravio prve drvene splavi kako bi prešao preko rijeke. Tijekom stoljeća, izgled splavi se mijenjao, a samim time i potreba za boljim i sofisticiranijim načinom orijentacije i određivanjem položaja. Pomorci u početku vode navigaciju promatranjem obale, vrhova, rtova te ostalih prirodnih objekata za određivanje položaja.

Drevni narodi započinju promatranje nebeskih tijela još prije tisuće godina. Stari Egipćani, Babilonci i Grci izračunavali su orbite nebeskih tijela, dok su Arapi usavršili mjerne instrumente poput astrolaba, kvadranta i slično. Prve mape i karte svijeta, izrađene su otprilike 6. stoljeća prije Krista te se njihovim korištenjem otvara mogućnost prelaska otvorenog mora. Astronomija je jedna od najstarijih ljudskih djelatnosti, a razvila se iz praktičnih potreba. Ona proučava nebeska tijela, njihov položaj, gibanje, njihove oblike, dimenzije, daljine, veličine, mase, kao njihovu prošlost te budućnost. Razvitkom astronomije te promatranjem Sunca i Sjeverne zvijezde, pomorci počinju uspješno ploviti otvorenim morem.

Konstantnim razvojem astronomije dolazi do njenog usavršavanja te otkrića novih i preciznijih instrumenata kao što su sekstant i kronometar te novih metoda za određivanje pozicije broda. Astronomska navigacija nastavila se koristiti skoro do kraja 20. stoljeća, sve dok se određivanje pozicije nije počelo dobivati elektroničkim uređajima. Kompasi se počinju koristiti za navigaciju negdje u 12. stoljeću te su do danas još uvijek najpoznatiji navigacijski alati na svijetu. Unatoč modernim sustavima određivanja položaja broda, svaki dobar pomorac trebao bi biti upoznat s metodama astronomske navigacije te rukovanjem mjernim instrumentom kao što je sekstant.

Navigacija je vještina i znanost određivanja položaja broda, aviona ili drugog vozila i njegovog vođenja do određenog odredišta. Navigacija zahtjeva da osoba zna relativni položaj plovila u usporedbi s drugim poznatim lokacijama. Navigatori mjere udaljenost na globusu u stupnjevima. Geografska širina je udaljenost neke točke na Zemlji prema sjeveru ili jugu od ekvatora, dok je geografska dužina udaljenost mjerena uzduž Zemljinog ekvatora od griničkog meridijana prema istoku ili zapadu.

U sljedećim poglavljima ovoga rada analizirat će se najnovija metoda astronomskog određivanja položaja broda, a to je direktna metoda, poznatija i kao metoda paralaktičkog kuta ili Dozierova metoda.

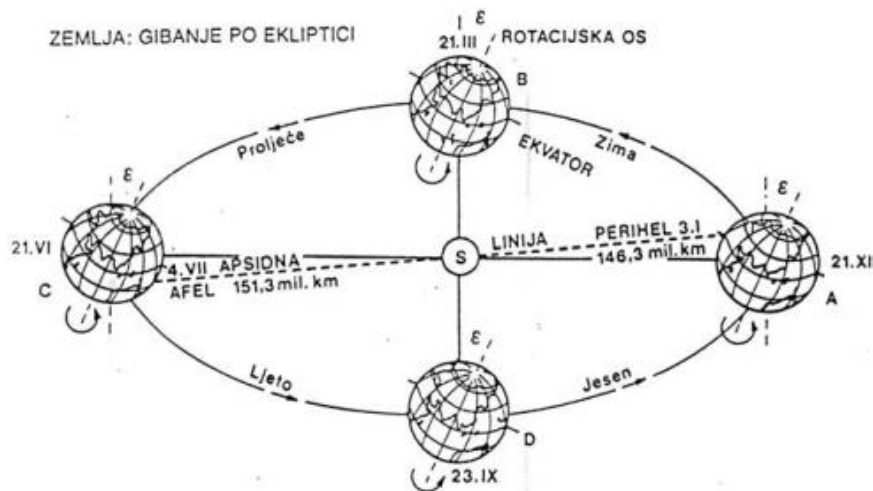
Ljudska je znatiželja neiskorjenjiva te se prilikom navigacije nemoguće ne zapitati neka osnovna pitanja, poput toga gdje smo i koliku udaljenost moramo prijeći da dođemo do odredišta. Iako su načini određivanja položaja bili poznati i prije, do njih nije bilo lako doći. Zbog lakšeg određivanja položaja broda, Charles T. Dozier¹ predstavio je metodu koja je na inovativan i jednostavniji način omogućavala određivanje položaja.

¹ Charles Thomasson Dozier (1879 - 1960), viši inženjer u Convair Astronautics Division of General Dynamics Corporation, San Diego, California.

2. TEMELJNI ELEMENTI U ASTRONOMSKOJ NAVIGACIJI

Za razumijevanje ovog rada potrebno je poznavanje osnovnih elemenata. Neki od osnovnih elemenata za razumijevanje ove teme su koordinate. Razlikujemo mjesno ekvatorske koordinate nebeskih tijela i koordinate na zemljinoj površini. Mjesno ekvatorskim koordinatama nebeskog tijela podrazumijevaju se satni kut i deklinacija, a koordinatama na zemljinoj površini podrazumijevamo geografsku dužinu i širinu. U nastavku će biti definirane dužina i širina te će se objasniti pojam ekliptike i proljetne točke (γ).

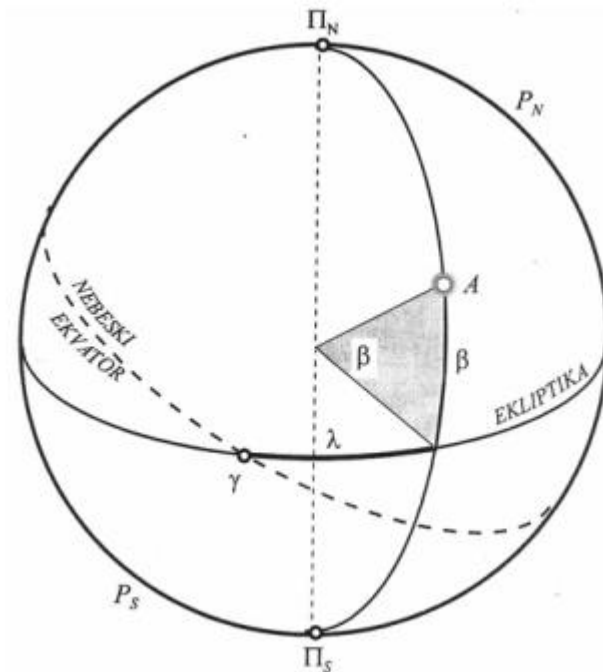
Sunce se tijekom godine kreće po putanji koju nazivamo ekliptika. Prilikom kretanja po ekliptici, Sunce dolazi u četiri specifične točke, a to su proljetna i jesenja točka te točke ljetnog i zimskog solsticija (slika 1). Te točke poznatije su kao početci godišnjih doba. Prvog dana proljeća (21. ožujak) i prvog dana jeseni (23. rujna) Sunce izlazi točno u točki istoka, a zalazi u točki zapada. Sunce se tada zapravo prividno kreće po ekvatoru te mu deklinacija iznosi 0° , zbog čega je vidljivi luk Sunca jednak nevidljivome pa je to dan ravnodnevnice ili ekvinocij. Prema navedenom zaključujemo da se točka u kojoj se Sunce nalazi prvog dana proljeća naziva proljetna točka te se označava Υ (aries).



Slika 1. Prikaz gibanja Zemlje oko Sunca

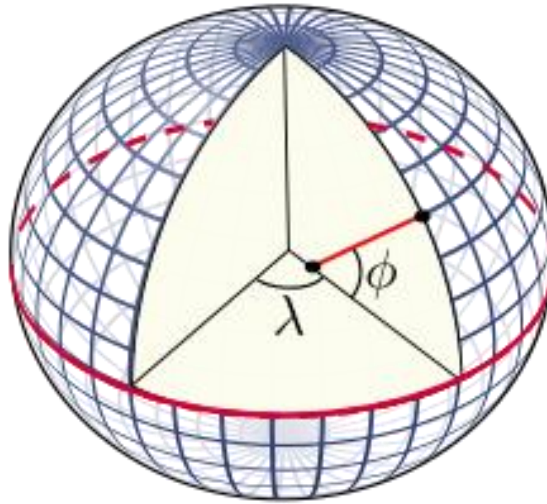
Izvor: (Izradio sam autor)

Obratimo li pažnju na koordinatni sustav ekliptike (slika 2.), jasno je vidljiva razlika longitude i latitude. Latituda ili ekliptična širina nebeskog tijela (β) luk je meridijana koji se kreće od ravnine ekliptike do središta nebeskog tijela. Također se može definirati kao odgovarajući kut između ravnine ekliptike i smjera nebeskog tijela. Broji se od ekliptike do pola ekliptike (od 0° do 90°). Ukoliko se tijelo nalazi na sjevernoj hemisferi onda je pozitivna i označava se s N, a ukoliko se tijelo nalazi na južnoj hemisferi je negativna i označava se S. Longituda ili ekliptična dužina nebeskog tijela (λ) luk je ekliptike od proljetne točke ili ariosa (Υ) do ekliptičkog meridijana kroz nebesko tijelo. Odnosno, to je kut između ekliptičkih meridijana koji prolaze kroz aries (Υ) i nebesko tijelo. Broji se obrnuto od kazaljke na satu od 0° do 360° .



Slika 2. Koordinatni sustav ekliptike

Izvor: POMORSKI FAKULTET U SPLITU ASTRONOMSKA NAVIGACIJA Zvonimir Lušić Krešimir Baljak
Split, 2007.



Slika 3. Prikaz geografske dužine i geografske širine

Izvor: <https://hr.wikipedia.org/>

Geografska ili zemljopisna širina je udaljenost neke točke na Zemlji prema sjeveru ili jugu od ekvatora. Obično se označava malim grčkim slovom ϕ (fi). Geografska širina predstavlja kutnu mjeru i iskazuje se u stupnjevima, kutnim minutama i kutnim sekundama). Vrijednosti se kreću od 0° do 90° . Može biti sjeverna ili južna i uvijek se označava slovima N i S. Geografska ili zemljopisna dužina neke točke na Zemlji je kutna udaljenost mjerena uzduž Zemljinog ekvatora od Griničkog meridijana do pripadajućeg meridijana te točke. Ima vrijednost od 0° do 180° stupnjeva te se obilježava slovima E ili W ovisno o tome nalazi li se promatrana točka istočno ili zapadno od nultog meridijana. Simbol je grčko slovo lambda λ .

Iako su danas skoro svi brodovi opremljeni novim elektroničkim uređajima, vrlo je upitna mogućnost dobivanja pozicije broda, ukoliko dođe do neke izvanredne okolnosti kao što je rat. U tim slučajevima može doći do gubitka navigacijskih sustava. Položaj broda u navigaciji se definira kao kružnica položaja, luk položaja i pravac položaja. Kada u isti trenutak napravimo presjek dva ili više geometrijskih mjesta (stajnica) dobit ćemo točku broda. U teoriji, sve stajnice uzete na isti trenutak i mjesto, trebale bi se sjeći u istoj točki. Nažalost, znamo kako u praksi to nije moguće zbog samih navigacijskih greški.

3. IZRAVNE I NEIZRAVNE METODE

Za određivanje položaja broda u navigaciji postoje metode koje dijelimo u dvije osnovne skupine:

Izravne metode

Neizravne metode

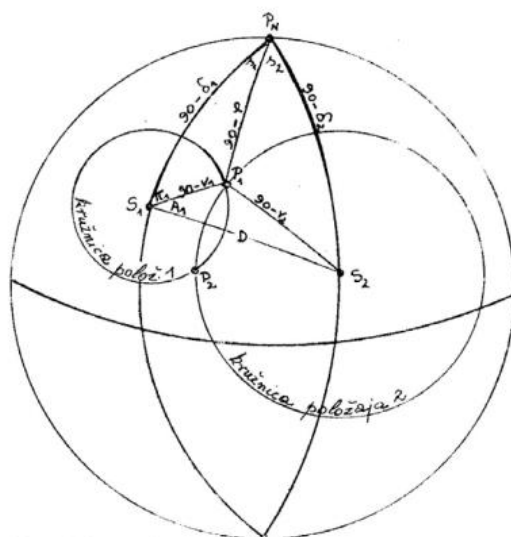
3.1. IZRAVNE METODE

Poznato nam je da ukoliko imamo dvije kružnice položaja (slika 4.), da se one sijeku u dvije točke. Prema tome, lako je zaključiti da je jedno od tih sjecišta pozicija broda. Kada bismo presijecišta tih kružnica mogli prenijeti na globus, tada bi ova metoda bila vrlo jednostavna i kratka. Nažalost, do problema dolazi zbog toga što bi globus u tom slučaju trebao imati promjer oko 7 metara, pod pretpostavkom da se 1 milja prikaže kao 1 milimetar na globusu. Kao što znamo, ovaj način se ne koristi jer nije praktičan za brodske potrebe. Možemo ga riješiti korištenjem jednadžbi, no to je dosta kompliciran postupak pa se ne upotrebljava u praksi.

$$\sin V_1 = \sin \varphi \sin \delta_1 + \cos \varphi \cos \delta_1 \cos (S_1 + \lambda E)$$

$$\sin V_2 = \sin \varphi \sin \delta_2 + \cos \varphi \cos \delta_2 \cos (S_2 + \lambda E)$$

Charles T. Dozier je 1949. godine dao odgovor za rješavanje ovog problema.



Slika 4. Prikaz Dozierove metode

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

S1- terestrička projekcija prvog nebeskog tijela

S2 - terestrička projekcija drugog nebeskog tijela

$$\Delta s = s_1 - s_2$$

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

$$= (360 - \alpha_1) - (360 - \alpha_2)$$

Iz trokuta Pn S1 S2: $\cos D = \sin \delta_1 \sin \delta_2 + \cos \delta_1 \cos \delta_2 \cos \Delta s$
 $\cos (\pi + A_1) = \frac{\sin \delta_2 - \sin \delta_1 \cos D}{\cos \delta_1 \sin D}$

Iz trokuta S1 P1 S2: $\cos A_1 = \frac{\sin V_2 - \sin V_1 \cos D}{\cos V_1 \sin D}$
 $\pi_1 = (\pi + A_1) - A_1$

Iz trokuta Pn P1 S1: $\sin \varphi = \sin \delta_1 \sin V_1 + \cos \delta_1 \cos V_1 \cos \pi_1$
 $\cos s_1 = \frac{\sin V_1 - \sin \delta_1 \sin \varphi}{\sin \delta_1 \cos \varphi}$
 $\lambda = S_1 - s_1$

3.2. NEIZRAVNE METODE

U ovu metodu određivanja položaja broda spadaju sve metode u kojima se izračuni zemljopisnih koordinata ostvaruju posredno, preko pomoćnih veličina na grafički ili računski način. Danas je poznato da se gotovo uvijek upotrebljava visinska ili Hilaire metoda. Marq Saint Hilaire² bio je slijepi redovnik koji nije vidio mora, ali je utemeljio pravila navigacije koja se koriste do danas. Njegova se metoda također svodi na određivanje stajnica više nebeskih tijela istovremenim opažanjem ili u razmaku vremena.

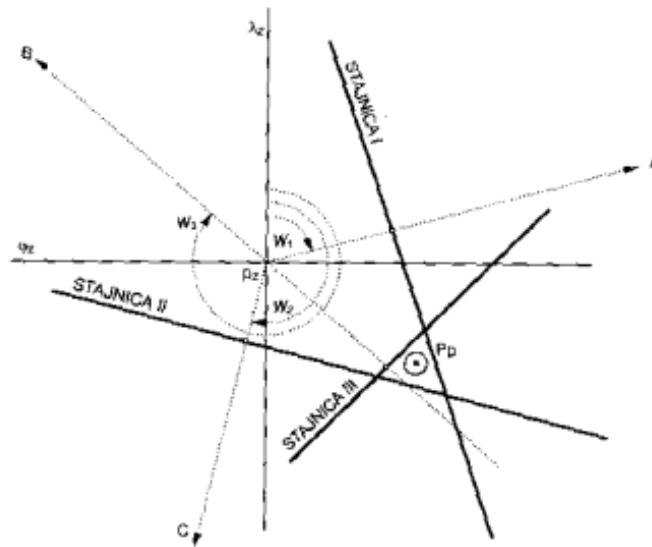
Određivanje pozicije istovremenim opažanjima. Ukoliko nam okolnosti dopuštaju, potrebno je izmjeriti visine tri i više nebeskih tijela. Mjerenja se u praksi vrše za vrijeme jutarnjeg ili večernjeg nautičkog sumraka. Tada se osim Sunca, Mjeseca i planeta mogu mjeriti i visine navigacijskih zvijezda. Prilikom mjerenja moramo uzeti u obzir da visine ne smiju biti manje od 20° ni veće od 70°. Azimuti opažanih nebeskih tijela moraju se razlikovati za najmanje 30°, a najviše 150° (ukoliko je moguće ravnomjerno po krugu od 360°). Vrijeme između mjerenja ne smije biti veće od vremena koje je potrebno brodu da prevail jednu milju, a ukoliko je vremenska razlika prevelika, visina se može ispraviti pomoću izraza:

$$\Delta V_Z = \frac{b}{60}(t_2 - t_1)\cos(\omega - KP)$$

U navedenom izrazu, simbol ΔV_Z označuje korekciju visine koja je prva mjerena, b označava brzinu broda, t1 označava vrijeme mjerenja prve visine, t2 vrijeme mjerenja druge visine, ω – azimut, a Kp pravi kurs broda. Za svako opažanje izračuna se razlika visina i azimut.

² Adolphe Laurent Anatole de Blonde de Saint Hilaire (1832 - 1889), časnik francuske ratne mornarice, kasnije unaprijeđen u čin admirala zbog zasluga u navigaciji.

Na Merkatorovoj karti ucrtavaju se pravci pozicije, dok se pozicija broda dobiva presjeciŝtem pravaca pozicija, ŝto je vidljivo iz priloŝenog (slika 5.)



Slika 5. Prikaz pozicije broda istovremenim mjerenjima visina

Izvor:

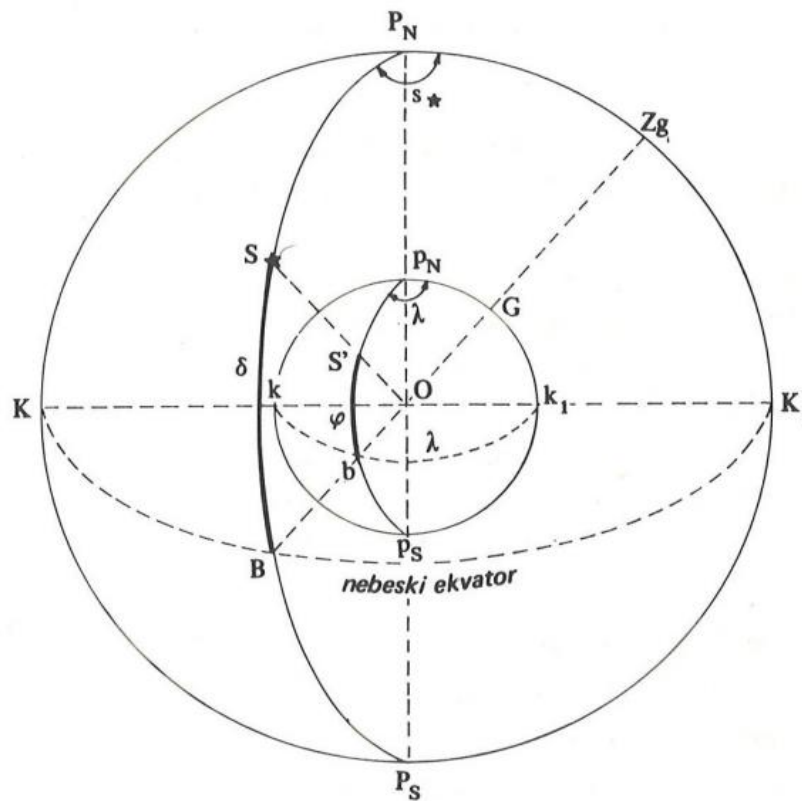
Naŝalost, u praksi presjeciŝte pravaca pozicija ne stvara točku već formira raznostraničan trokut. Prava pozicija broda nalazi se u sjeciŝtu unutarnjih simetrala kutova trokuta.

4. DIREKTNA METODA

Čak i danas, kada navigacijom dominira GPS, tradicionalna astronomska navigacija i dalje sluŝi kao vrijedno pričuvena metoda određivanja pozicije broda. Međutim, ulaskom u 21. stoljeće, tradicionalne metode raćunanja pozicije broda koriŝtenjem astronomske navigacije više ne mogu doŝtići traŝene zahtjeve modernih brodova u pogledu toćnosti i raćunanja brzine. Iz toga proizlazi potreba za daljnjim unapređjenjem, kojeg pruŝa tehnologija. Problemi koji se prethodno nisu mogli rijeŝiti, sada se rjeŝavaju koriŝtenjem astronomske sferne trokuta koji direktno daje poziciju broda.

Zbog povezanosti mjesno ekvatorskih koordinata nebeskog tijela (mjesni satni kut i deklinacija) i koordinata na zemljinoj povrŝini (geografska ŝirina i duŝina) lako se moŝe napraviti projekcija nebeskog tijela na zemljinu povrŝinu. Deklinacija nebeskog tijela S izraŝena je lukom BS na nebeskoj sferi, kojemu odgovara luk Bs' na Zemlji (slika 6). Pri tome je lako uoćiti da deklinacija odgovara geografskoj ŝirini ($\delta = \varphi$). Sukladno tome, luk $K1B$ odgovara luku $k1b$ iz čega zakljućujemo da satni kut nebeskog tijela odgovara geografskoj

dužini ($\lambda = S$). Točka nastala projekcijom nebeskog tijela na zemljinu površinu naziva se subastralna točka (S')¹



Slika 6. Projekcija nebeskog tijela na površini Zemlje

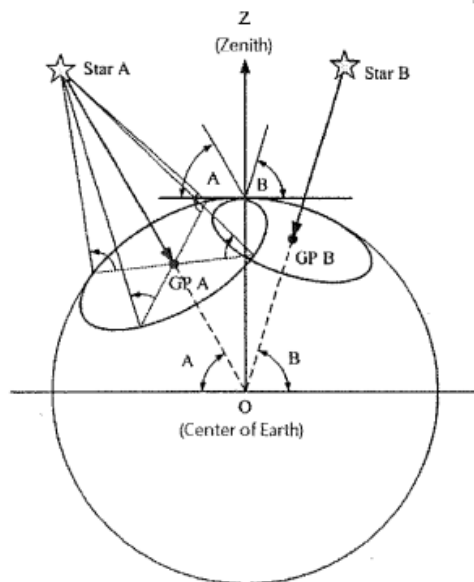
Izvor: Lipovac M. Š.: Astronomska navigacija, Udžbenik za mornaričke i pomorske škole, 2. Izdanje, Hidrografski institut Jugoslavenske ratne mornarice, Split, 1981, str. 284.

4.1. PRINCIPI ASTRONOMSKOG ODREĐIVANJA POZICIJE BRODA

Svrha astronomske navigacije koja se prakticirala tijekom povijesti bila je odrediti geografsku širinu i dužinu broda u određenom trenutku. Kako bi se to odredilo, potrebno je opaziti visinu nebeskog tijela, pomoću koje dobivamo kružnicu položaja, (engl. Circle of position - COP). Kada se prikupi više od dvije skupine podataka, pozicija broda može se izračunati grafičkim putem, kombinacijom grafičkog i računskog te direktnom računskom metodom. Osnovni principi određivanja pozicije broda u astronomskoj navigaciji ostali su nepromijenjeni do danas te se koriste kao osnova ostalim metodama. U nastavku ovog rada donosi se pregled navedenih metoda, njihove prednosti i mane.

4.1.1. Princip određivanja kružnice položaja

Prema odnosu između nebeskih i zemljopisnih koordinata, u kojima su one međusobne projekcije, opažačeva kružnica položaja jest projekcija kružnice zenitne udaljenosti na površinu Zemlje. Središte kružnice položaja je geografska pozicija nebeskog tijela, a radijus kružnice je zenitna udaljenost nebeskog tijela. Kako bi se odredila pozicija broda, potrebno je opažati najmanje dva nebeska tijela iz iste pozicije. Opažanjem nebeskih tijela se stvaraju kružnice položaja, a time i točke intersekcije. Točka intersekcije najbliža pretpostavljenoj poziciji broda je opažena pozicija broda. Princip određivanja pozicije kružnicom položaja je jednostavan te se u teoriji može izvoditi sve dok možemo prenijeti kružnicu položaja na kartu. Međutim, u praksi to nije izvedivo zbog određenih razloga. Početni razlog jest da je radijus većine kružnica prevelik da bi se plotirao na kartu, a sljedeći je razlog grafički poremećaj koji se javlja pri velikim visinama. Taj je grafički poremećaj vrlo očit na Mercatorovoj karti te se iskrivljenje povećava s geografskom širinom. Zbog toga je grafičko određivanje položaja s direktnim plotiranjem kružnice položaja primjenjivo samo pri opažanju visina većih od 87° . Problem je snimanje zvijezde velike visine te mala vjerojatnost pojave sjajne zvijezde u blizini zenita u bilo kojem trenutku. Međutim, potreba za osmatranje tijela visokih visina u normalnoj navigaciji je izrazito mala.



Slika 7. Princip kružnice položaja

Izvor: POLISH MARITIME RESEARCH 3 (87) 2015 Vol. 22, pp. 21

4.1.2. Postupak određivanja točke broda s pomoću visina nebeskog tijela

$\Sigma'1, \Sigma'2$

$\Sigma'1 (\delta_1, S_1) V_1$

$\Sigma'2 (\delta_2, S_2) V_2$

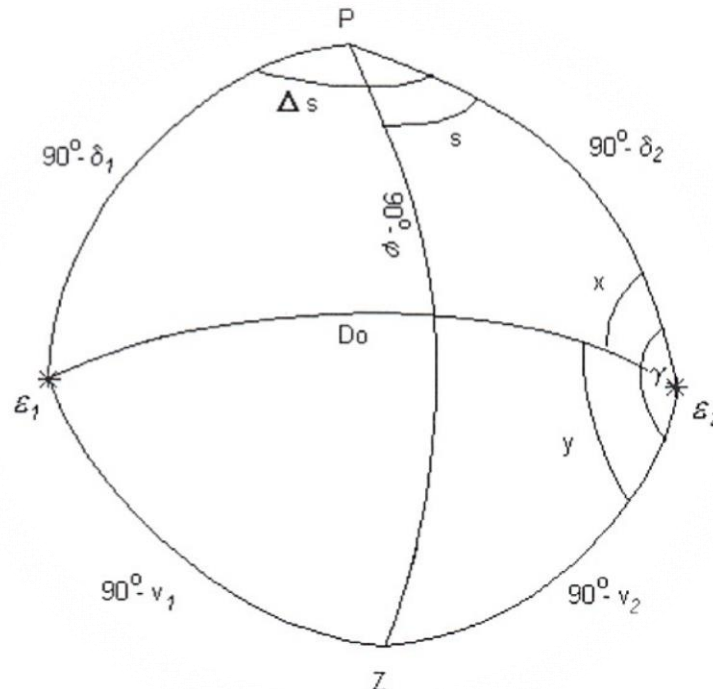
$$\sin V = \sin \phi * \sin \delta + \cos \phi * \cos \delta * \cos S$$

$$S = \delta + \lambda$$

$$\sin V_1 = \sin \phi * \sin \delta_1 + \cos \phi * \cos \delta_1 * \cos (S_1 + \lambda)$$

$$\sin V_2 = \sin \phi * \sin \delta_2 + \cos \phi * \cos \delta_2 * \cos (S_2 + \lambda)$$

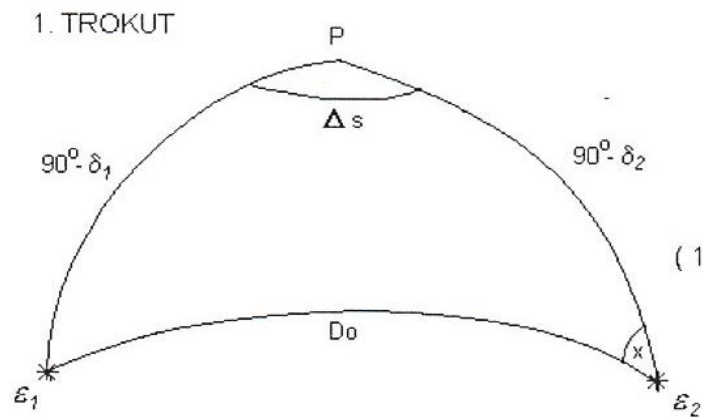
Iz poznatih nebesko - ekvatorskih koordinata dvaju nebeskih tijela i njihovih visina može se napisati sustav dviju jednadžbi sa dvije nepoznanice (ϕ, λ). Rješavanjem tog sustava dobili smo koordinate položaja broda na moru. Takav sustav jednadžbi teško je riješiti jer jednadžbe nisu algebarske već transcendentne, te je samim time razlog da se u praksi ne možemo koristiti tim jednadžbama.



Slika 8. **Prikaz**

Izvor: Izradio sam student

Kada spojimo pol, zenit i položaje dva nebeska tijela dobijemo tri trokuta:



Slika 9. Prikaz 1. Trokuta

Izvor: Izradio sam student

D – sferna udaljenost nebeskog tijela

$$\delta_1 \delta_2 (S_1, S_2 = \Delta s)$$

$$\Delta s = |S_2 - S_1|$$

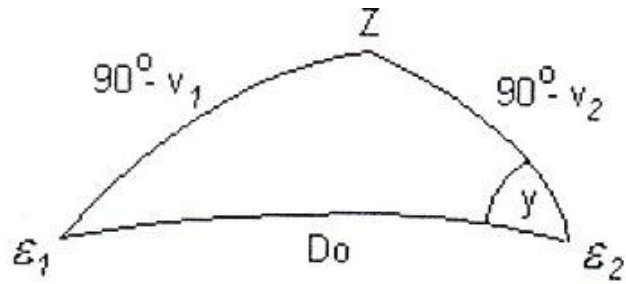
$$(1.) \cos D = \sin \delta_1 * \sin \delta_2 + \cos \delta_1 * \cos \delta_2 * \cos \Delta s$$

$$D =$$

$$\sin \delta_1 = \sin \delta_2 * \cos D + \cos \delta_2 * \sin D * \cos x$$

$$(2.) \cos x = \frac{\sin \delta_1 - \sin \delta_2 * \cos D}{\cos \delta_2 * \sin D}$$

$$x =$$



Slika 10. **Prikaz 2. trokuta**

Izvor: Izradio sam student

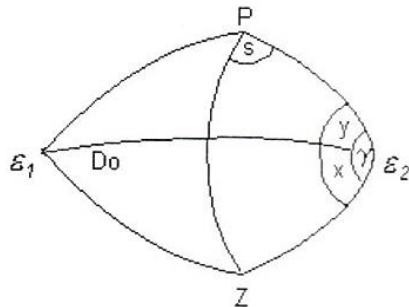
| | |
|-----------------|-----------------|
| V _{s1} | V _{s2} |
| ki | ki |
| V ₁ | V ₂ |

Prave visine nebeskih tijela

$$\sin V_1 = \sin V_2 * \cos D + \cos V_2 * \sin D * \cos Y$$

$$(3.) \cos y = \frac{\sin V_1 - \sin V_2 * \cos D}{\cos V_2 * \sin D}$$

$$y =$$

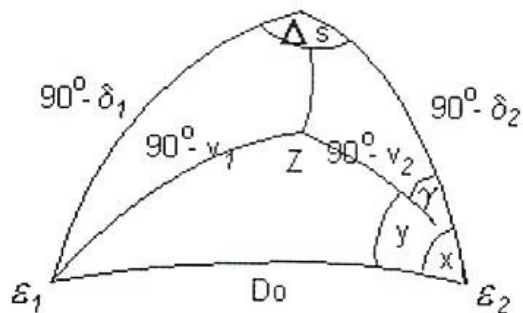


Slika 11. **Prikaz 3. trokuta**

Izvor: Izradio sam student

Formula za trokut kada spojnica P i Z siječe stranicu D:

$$Y = x + y$$

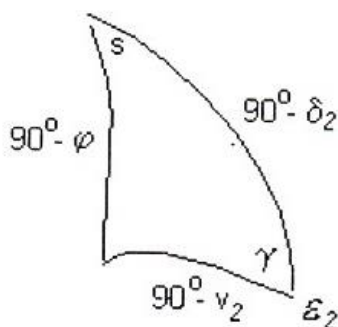


Slika 12. Prikaz

Izvor: Izradio sam student

Formula za trokut kada spojnica P i Z ne siječe stranicu D:

$$Y = x - y$$



Slika 13. Prikaz

Izvor: Izradio sam student

(4.) $Y = x + y$, $Y = x - y$ ili $Y = 360^\circ - (x + y)$ ako je $x + y > 180^\circ$

(5.) $\sin \phi = \sin \delta_2 * \sin V_2 + \cos \delta_2 * \cos V_2 * \cos Y$

$$\phi =$$

$$\sin V_2 = \sin \phi * \sin \delta_2 + \cos \phi * \cos \delta_2 * \cos Y$$

(6.) Formula za kut u polu: $\cos s = \frac{\sin V_2 - \sin \phi * \sin \delta_2}{\cos \phi * \cos \delta_2}$

$$s =$$

(7.) Direktno dobivanje geografske dužine: $\lambda = s_2 - S_2$

$$\lambda =$$

POSTUPAK:

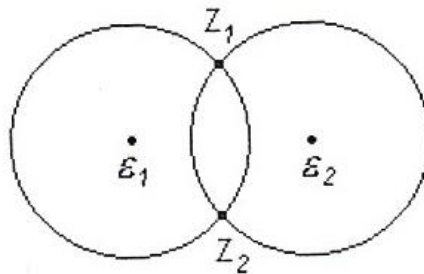
a) V_{i1} V_{i2} – snimljene 2 visine (sekstantne)

V_{p1} V_{p2} – ispravljene visine (prave)

b) Nakon što izmjerimo visine, izvadimo UT te pomoću godišnjaka izvadimo δ i s

$UT_1 (\delta_1, S), UT_2 (\delta_2, S)$

Sada kada znamo ($V_1, V_2, \delta_1, \delta_2, \Delta s$), direktno dobijemo ϕ i λ . Kod ove metode može se, ali i ne mora poznavati procijenjena pozicija (PP) broda. Ako procijenjena pozicija (PP) broda nije poznata tada moraju biti poznati azimuti promatranih nebeskih tijela. Ako je poznata procijenjena pozicija, tada se geografska širina pozicije broda odredi metodom kušnje. Jedna od mogućnosti je $x + y$ ili $|x - y|$, kojom odmah vidimo ako je dobivena vrijednost bliža procijenjenoj vrijednosti ϕ_P ili nije. Ako nije poznata procijenjena pozicija, treba poznavati azimute promatranih nebeskih tijela uz pomoć grafa kojim odabiremo koja je mogućnost valjana $x + y$ ili $|x - y|$.



Slika 14. Prikaz intersekcije kružnica položaja

Izvor: Astronomska navigacija 2 god. – Teorija

$$Z_1 = 90 - V \quad \omega_1, \omega_2 \quad \omega_2 > 180^\circ \quad \omega_2 > 270^\circ$$

$$Z_2 = 90 - V \quad \omega_1 < 180^\circ \quad \omega_1 < 90^\circ$$

4.2. PRIMJERI PRAKTIČNIH ZADATAKA

U sljedećim će poglavljima biti prikazani primjeri rješavanja direktne metode na praktičnim zadacima. Mogu se opažati zvijezde, nebeska tijela (planeti) te Sunce i Mjesec.

1. Zadatak

Dana 10.03.2017. opažamo zvijezdu Sabik u Tk: 07:01:25, visina zvijezde $V_\star = 59^\circ 29,0'$, $\omega = SE$ te zvijezdu Spica u Tk= 07:21:50, visina zvijezde $V_\star = 33^\circ 49,9'$, $\omega = SW$, stanje (st) = -00:01:05, visina oka = 16 metara te korekcija indeksa (ki) = + 0, 2'

Sabik

Tk= 07:21:25

$\delta_\star = -15^\circ 44, 7'$

st= - 00:01:05

Ts= 07:20:20

S φ = 273° 8, 9'

I= 5 °5,8'

S φ = 278° 14, 7'

SHA= 102° 9,7'

S★1= 380° 24, 4' - 360°

S★1= 20° 24, 4'

V★1= 59° 29, 0'

ki= + 0, 2'

corr= - 7, 6'

V★1= 59° 21, 5'

Zo= 90° - V★1

Zo= 30°38, 5'

Spica

Tk= 07:21:50

st= - 00:01:05

Ts= 07:20:45

S φ = 273° 8, 9'

I= 05 °12, 1'

S φ = 278° 21, 0'

SHA= 158° 28, 3'

S★2= 436° 49, 3' - 360°

S★2= 76 ° 49, 3'

δ ★2= -11° 15, 0'

V★2= 33° 49, 9'

ki= + 0, 2'

corr= - 8, 5'

V★2= 33° 41, 6'

Zo= 90° - V★2

Zo= 56° 18, 4'

$$\Delta s = S \star 2 - S \star 1$$

$$\Delta s = 56 \text{ ° } 24, 9'$$

$$\cos D = \sin \delta 1 * \sin \delta 2 + \cos \delta 1 * \cos \delta 2 * \cos \Delta s$$

$$D = 54 \text{ ° } 53' 29, 41''$$

Sabik

$$\cos x_1 = \frac{\sin \delta_2 - \sin \delta_1 \cdot \cos D}{\cos \delta_1 \cdot \sin D}$$

$$x_1 = 92^\circ 50' 27,71''$$

$$\cos y_1 = \frac{\sin V_2 - \sin V_1 \cdot \cos D}{\cos V_1 \cdot \sin D}$$

$$y_1 = 81^\circ 44' 11,44''$$

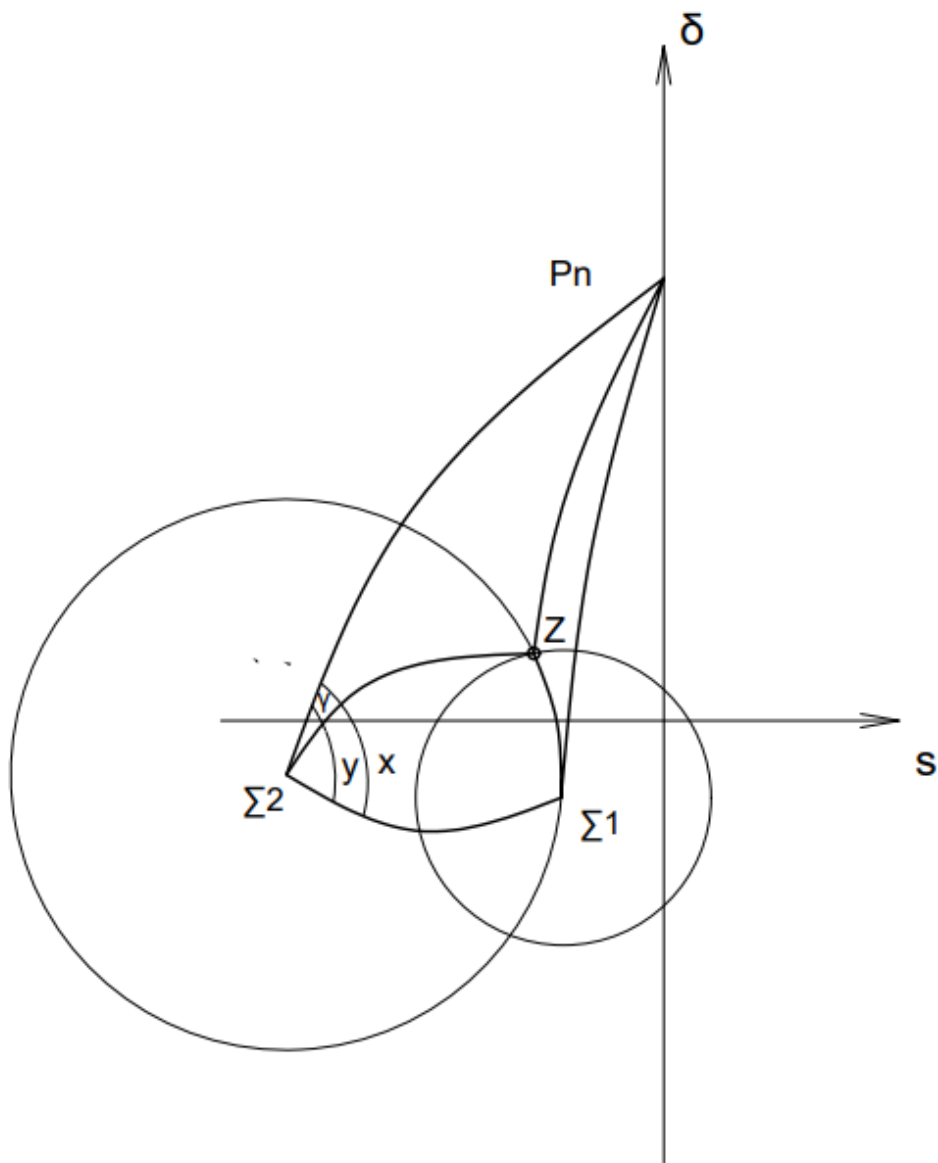
Spica

$$\cos x_2 = \frac{\sin \delta_1 - \sin \delta_2 \cdot \cos D}{\cos \delta_2 \cdot \sin D}$$

$$x_2 = 101^\circ 26' 28,3''$$

$$\cos y_2 = \frac{\sin V_1 - \sin V_2 \cdot \cos D}{\cos V_2 \cdot \sin D}$$

$$y_2 = 37^\circ 18' 56,72''$$



Skica 1. Grafički prikaz 1. zadatka

Izvor: Izradio sam autor

Sabik

$$\Upsilon_1 = x_1 - y_1$$

$$\Upsilon_1 = 92^\circ 50' 27, 71'' - 81^\circ 44' 11, 44''$$

$$\Upsilon_1 = 11^\circ 6' 16, 27''$$

$$\sin \phi = \sin \delta_1 * \sin V_1 + \cos \delta_1 * \cos V_1 * \cos \Upsilon_1$$

$$\phi = 14^\circ 21' 10, 18'' \text{ N}$$

$$\cos s = \frac{\sin V_1 - \sin \delta_1 * \sin \phi}{\cos \delta_1 * \cos \phi}$$

$$s = 5^\circ 48' 55, 536''$$

$$\lambda = s + S$$

$$\lambda = 5^\circ 48' 55, 536'' + 20^\circ 24, 4'$$

$$\lambda = 26^\circ 13' 19, 54'' \text{ W}$$

Spica

$$\Upsilon_2 = x_2 - y_2$$

$$\Upsilon_2 = 101^\circ 26' 28, 3'' - 37^\circ 18' 56, 72''$$

$$\Upsilon_2 = 64^\circ 7' 31, 58''$$

$$\sin \phi = \sin \delta_2 * \sin V_2 + \cos \delta_2 * \cos V_2 * \cos \Upsilon_2$$

$$\phi = 14^\circ 21' 10, 16'' \text{ N}$$

$$\cos s = \frac{\sin V_2 - \sin \delta_2 * \sin \phi}{\cos \delta_2 * \cos \phi}$$

$$s = 50^\circ 35' 58, 47''$$

$$\lambda = s - S$$

$$\lambda = 76^\circ 49, 3' - 50^\circ 35' 58, 47''$$

$$\lambda = 26^\circ 13' 19, 53'' \text{ W}$$

2. Zadatak

Dana 10.03.2017. opažamo zvijezdu Alphard u Tk: 18:14:06, visina zvijezde $V_{\star} = 49^{\circ} 49, 5'$, $\omega = 71^{\circ}$ te zvijezdu Betelgeuse u Tk= 07:21:50, visina zvijezde $V_{\star} = 53^{\circ} 21, 5'$, $\omega = 335^{\circ}$, stanje (st)= + 00:01:03, visina oka = 15 metara te korekcija indeksa (ki)= - 0,2'

Alphard

Tk= 18:14:06

$\delta_{\star 1} = -8^{\circ} 44, 2'$

st= + 00:01:03

Ts= 18:15:09

$V_{\star 1} = 49^{\circ} 49, 5'$

S $\varphi = 87^{\circ} 28, 2'$

ki= - 0, 2'

I= $3^{\circ} 47, 9'$

corr= - 7, 7'

S $\varphi = 91^{\circ} 16, 1'$

$V_{\star 1} = 49^{\circ} 41, 6'$

SHA= $217^{\circ} 53, 3'$

S $\star 1 = 309^{\circ} 9, 4'$

Zo= $90^{\circ} - V_{\star 1}$

Zo= $40^{\circ} 18, 4'$

Betelgeuse

Tk= 18:14:16

$\delta_{\star 2} = 7^{\circ} 24, 3'$

st= + 00:01:03

Ts= 18:13:13

$V_{\star 2} = 53^{\circ} 21, 5'$

S $\varphi = 87^{\circ} 28, 2'$

ki= - 0, 2'

I= $3^{\circ} 18, 8'$

corr= - 7, 5'

S $\varphi = 90^{\circ} 47'$

$V_{\star 2} = 53^{\circ} 13, 8'$

SHA= $270^{\circ} 58, 6'$

S $\star 2 = 361^{\circ} 45, 6' - 360^{\circ}$

Zo= $90^{\circ} - V_{\star 2}$

S $\star 2 = 1^{\circ} 45, 6'$

Zo= $36^{\circ} 46, 2'$

$$\Delta s = S_{\star 2} - S_{\star 1}$$

$$\Delta s = 52^{\circ} 36' 12''$$

$$\cos D = \sin \delta_1 * \sin \delta_2 + \cos \delta_1 * \cos \delta_2 * \cos \Delta s$$

$$D = 54^{\circ} 51' 4, 805''$$

Alphard

$$\Upsilon_1 = x_1 + y_1$$

$$\Upsilon_1 = 74^\circ 28' 26,73'' + 46^\circ 48' 29,73''$$

$$\Upsilon_1 = 121^\circ 16' 56,5''$$

$$\sin \phi = \sin \delta_1 * \sin V_1 + \cos \delta_1 * \cos V_1 * \cos \Upsilon_1$$

$$\phi = -26^\circ 36' 16,56'' \text{ S}$$

$$\cos s = \frac{\sin V_1 - \sin \delta_1 * \sin \phi}{\cos \delta_1 * \cos \phi}$$

$$s = 38^\circ 11' 31,91''$$

$$\lambda = s + S$$

$$\lambda = 347^\circ 20' 55,9'' - 360^\circ$$

$$\lambda = 12^\circ 39' 4,09'' \text{ E}$$

Betelgeuse

$$\Upsilon_2 = x_2 + y_2$$

$$\Upsilon_2 = 106^\circ 11' 26,4'' + 51^\circ 59' 10,4''$$

$$\Upsilon_2 = 158^\circ 10' 36,8''$$

$$\sin \phi = \sin \delta_2 * \sin V_2 + \cos \delta_2 * \cos V_2 * \cos \Upsilon_2$$

$$\phi = -26^\circ 36' 16,55'' \text{ S}$$

$$\cos s = \frac{\sin V_2 - \sin \delta_2 * \sin \phi}{\cos \delta_2 * \cos \phi}$$

$$s = 14^\circ 24' 40,1''$$

$$\lambda = s - S$$

$$\lambda = 12^\circ 39' 4,1'' \text{ E}$$

3. Zadatak

Dana 06.10.2017. opažamo zvijezdu Procyon u Tk= 11:00:06, visina zvijezde $V_{\star} = 41^{\circ} 15, 8'$, $\omega = 349^{\circ}$ te zvijezdu Regulus u Tk= 11:00:16, visina zvijezde $V_{\star} = 29^{\circ} 07, 2'$, $\omega = 33^{\circ}$, stanje (st)= - 00:01:02, visina oka = 19 metara te korekcija indeksa (ki)= 0'

Procyon

Tk= 11:00:06

$\delta_{\star 1} = 5^{\circ} 10, 7'$

st= - 00:01:02

Ts= 10:59:04

S $\varphi = 165^{\circ} 15, 3'$

$V_{\star 1} = 41^{\circ} 15, 8'$

I= $14^{\circ} 48, 5'$

ki= + 0'

S $\varphi = 180^{\circ} 3, 8'$

corr= - 8, 9'

SHA= $244^{\circ} 56, 8'$

$V_{\star 1} = 41^{\circ} 6, 9'$

S $\star 1 = 425^{\circ} 0, 6' - 360^{\circ}$

Zo= $90^{\circ} - V_{\star 1}$

S $\star 1 = 65^{\circ} 0, 6'$

Zo= $48^{\circ} 53, 6'$

Regulus

Tk= 11:00:16

$\delta_{\star 2} = 11^{\circ} 52, 9'$

st= - 00:01:02

Ts= 10:59:14

S $\varphi = 165^{\circ} 15, 3'$

$V_{\star 2} = 29^{\circ} 07, 2'$

I= $14^{\circ} 51, 0'$

ki= + 0'

S $\varphi = 180^{\circ} 6, 3'$

corr= - 9, 4'

SHA= $207^{\circ} 40, 7'$

$V_{\star 2} = 28^{\circ} 57, 8'$

S $\star 2 = 387^{\circ} 47' - 360^{\circ}$

Zo= $90^{\circ} - V_{\star 2}$

S $\star 2 = 27^{\circ} 47'$

Zo= $61^{\circ} 2, 2'$

$$\Delta s = S_{\star 2} - S_{\star 1}$$

$$\Delta s = 37^{\circ} 13' 36''$$

$$\cos D = \sin \delta_1 * \sin \delta_2 + \cos \delta_1 * \cos \delta_2 * \cos \Delta s$$

$$D = 37^{\circ} 22' 59, 93''$$

Procyon

$$\cos x_1 = \frac{\sin \delta_2 - \sin \delta_1 \cdot \cos D}{\cos \delta_1 \cdot \sin D}$$

$$x_1 = 77^\circ 10' 46,01''$$

$$\cos y_1 = \frac{\sin V_2 - \sin V_1 \cdot \cos D}{\cos V_1 \cdot \sin D}$$

$$y_1 = 94^\circ 47' 49,14''$$

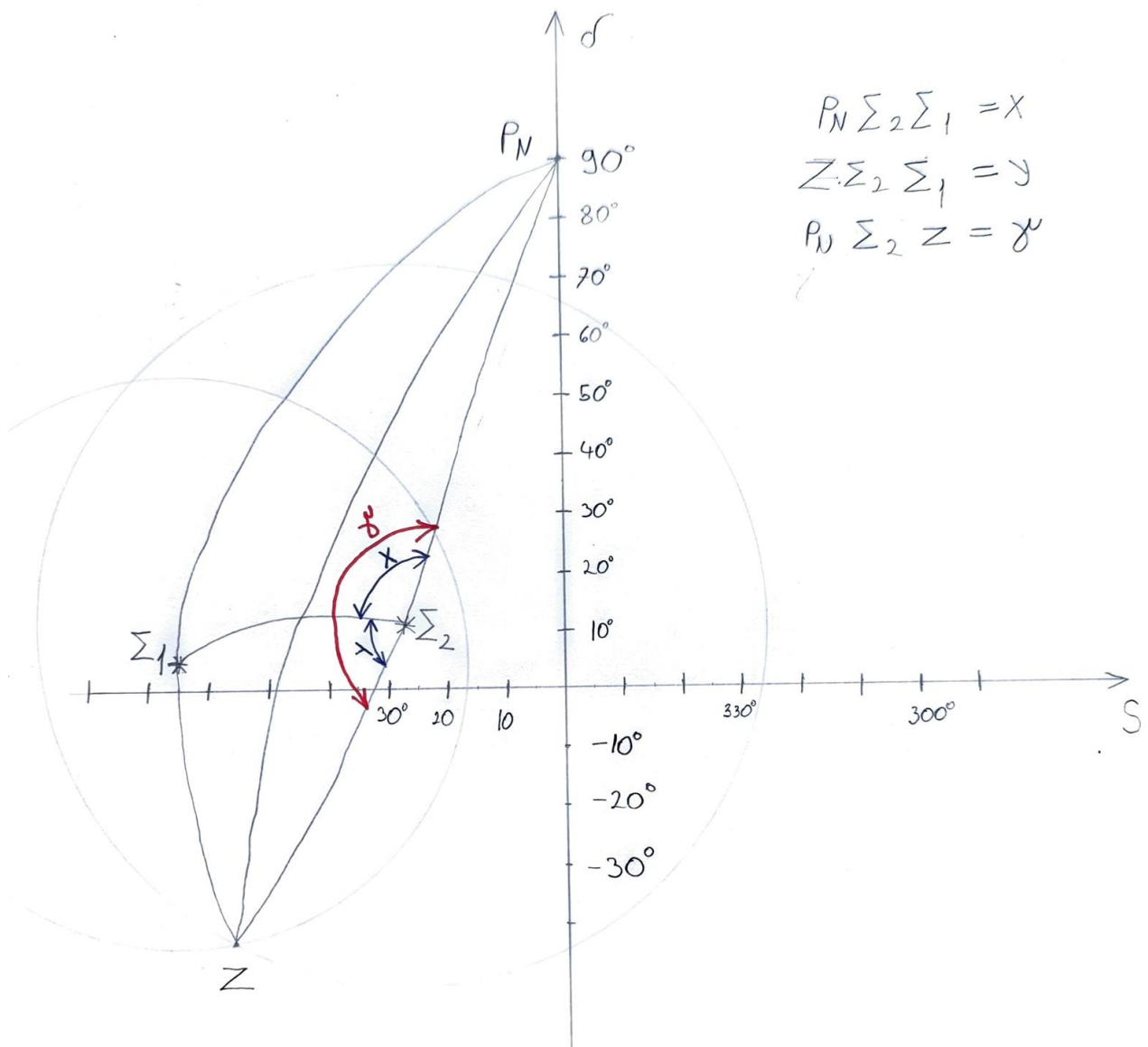
Regulus

$$\cos x_2 = \frac{\sin \delta_1 - \sin \delta_2 \cdot \cos D}{\cos \delta_2 \cdot \sin D}$$

$$x_2 = 97^\circ 5' 27,529''$$

$$\cos y_2 = \frac{\sin V_1 - \sin V_2 \cdot \cos D}{\cos V_2 \cdot \sin D}$$

$$y_2 = 59^\circ 6' 2,66''$$



$$P_N \Sigma_2 \Sigma_1 = x$$

$$Z \Sigma_2 \Sigma_1 = y$$

$$P_N \Sigma_2 Z = \delta$$

Skica 3. Grafički prikaz 3. zadatka

Izvor: Izradio sam autor

Procyon

$$\Upsilon_1 = x_1 + y_1$$

$$\Upsilon_1 = 77^\circ 10' 46,01'' + 94^\circ 47' 49,14''$$

$$\Upsilon_1 = 171^\circ 58' 35,2''$$

$$\sin \phi = \sin \delta_1 * \sin V_1 + \cos \delta_1 * \cos V_1 * \cos \Upsilon_1$$

$$\phi = -43^\circ 7' 38,246'' \text{ S}$$

$$\cos s = \frac{\sin V_1 - \sin \delta_1 * \sin \phi}{\cos \delta_1 * \cos \phi}$$

$$s = 8^\circ 17' 3,5169''$$

$$\lambda = s - S$$

$$\lambda = 56^\circ 43' 32,48'' \text{ W}$$

Regulus

$$\Upsilon_2 = x_2 + y_2$$

$$\Upsilon_2 = 97^\circ 5' 27,529'' + 59^\circ 6' 2,66''$$

$$\Upsilon_2 = 156^\circ 11' 30,2''$$

$$\sin \phi = \sin \delta_2 * \sin V_2 + \cos \delta_2 * \cos V_2 * \cos \Upsilon_2$$

$$\phi = -43^\circ 7' 38,246'' \text{ S}$$

$$\cos s = \frac{\sin V_2 - \sin \delta_2 * \sin \phi}{\cos \delta_2 * \cos \phi}$$

$$s = 28^\circ 56' 32,49''$$

$$\lambda = s + S$$

$$\lambda = 56^\circ 43' 32,49'' \text{ W}$$

4. Zadatak

Dana 16.07.2017. opažamo Saturn u Tk= 18:15:50, visina zvijezde $V_{\star} = 64^{\circ} 46, 5'$, $\omega = 88^{\circ}$ te Jupiter u Tk= 18:16:01, visina zvijezde $V_{\star} = 46^{\circ} 38, 9'$, $\omega = 291^{\circ}$, stanje (st)= - 00:00:30, visina oka = 15 metara te korekcija indeksa (ki)= + 0, 2'

Saturn

$$Tk = 18:15:50$$

$$st = - 00:00:30$$

$$\hline Ts = 18:15:20$$

$$\delta h = - 21^{\circ} 55, 5' \quad (0,0)$$

$$I = \quad \quad \quad 0, 0'$$

$$\hline \delta h = - 21^{\circ} 55, 5'$$

$$S h = 302^{\circ} 58, 7' \quad (2, 6)$$

$$I = 3^{\circ} 50, 0'$$

$$\hline S h = 306^{\circ} 48, 7'$$

$$II = \quad + \quad 0, 7'$$

$$\hline S h = 306^{\circ} 49, 4'$$

$$V h = 64^{\circ} 46, 5'$$

$$ki = \quad + 0, 2'$$

$$\hline corr = \quad - 7, 3'$$

$$V h = 64^{\circ} 39, 4'$$

$$Zo = 90^{\circ} - V h$$

$$Zo = 25^{\circ} 20, 6'$$

Jupiter

$$Tk = 18:16:01$$

$$st = - 00:00:30$$

$$\hline Ts = 18:15:31$$

$$\delta \alpha = - 4^{\circ} 50, 1' \quad (0,1)$$

$$I = \quad \quad \quad 0, 0'$$

$$\hline \delta \alpha = - 4^{\circ} 50, 1'$$

$$S \alpha = 10^{\circ} 17, 8' \quad (2,2)$$

$$I = 3^{\circ} 52, 8'$$

$$\hline S \alpha = 14^{\circ} 10, 6'$$

$$II = \quad + 0, 6'$$

$$\hline S \alpha = 14^{\circ} 11, 2'$$

$$V \alpha = 46^{\circ} 38, 9'$$

$$ki = \quad + 0, 2'$$

$$\hline corr = \quad - 7, 8'$$

$$V \alpha = 46^{\circ} 31, 3'$$

$$Zo = 90^{\circ} - V \alpha$$

$$Zo = 43^{\circ} 28, 7'$$

$$\Delta s = S h - S \alpha$$

$$\Delta s = 292^{\circ} 38' 12''$$

$$\cos D = \sin \delta_h * \sin \delta_{\alpha} + \cos \delta_h * \cos \delta_{\alpha} * \cos \Delta s$$

$$D = 67^{\circ} 12' 59,42''$$

Saturn

$$\cos x_1 = \frac{\sin \delta_{\alpha} - \sin \delta_h * \cos D}{\cos \delta_h * \sin D}$$

$$x_1 = 85^{\circ} 57' 23,43''$$

$$\cos y_1 = \frac{\sin V_{\alpha} - \sin V_h * \cos D}{\cos V_h * \sin D}$$

$$y_1 = 17^{\circ} 50' 46,86''$$

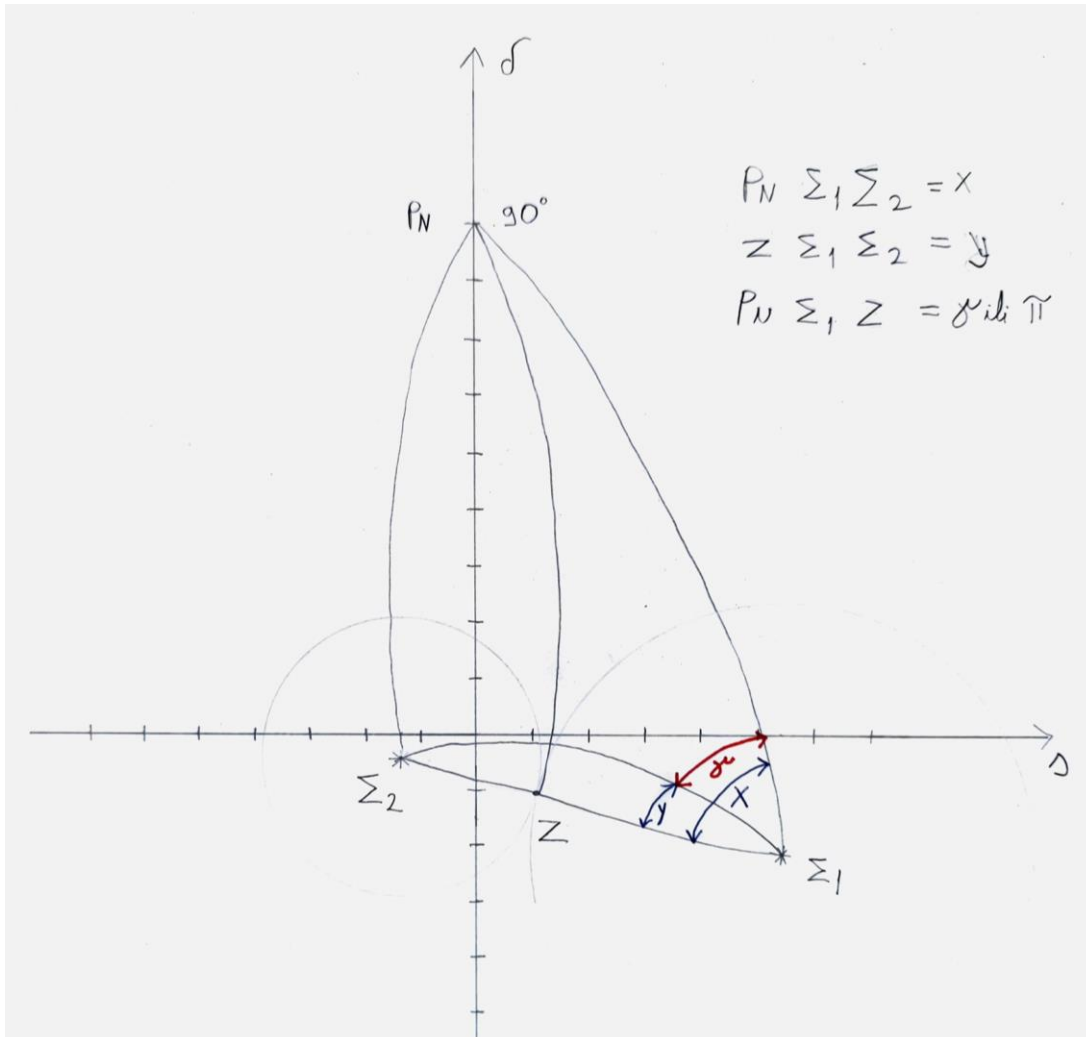
Jupiter

$$\cos x_2 = \frac{\sin \delta_h - \sin \delta_{\alpha} * \cos D}{\cos \delta_{\alpha} * \sin D}$$

$$x_2 = 111^{\circ} 46' 18,3''$$

$$\cos y_2 = \frac{\sin V_h - \sin V_{\alpha} * \cos D}{\cos V_{\alpha} * \sin D}$$

$$y_2 = 10^{\circ} 59' 25,81''$$



Skica 4. Grafički prikaz 4. zadatka

Izvor: Izradio sam autor

Iz navedene skice primjetimo kako nisu svi planeti povoljni za računanje. U ovome se primjeru kružnice položaja ne sijeku te je obje kružnice potrebno malo povećati kako bi dobili sjecište.

Saturn

$$\Upsilon_h = x_1 - y_1$$

$$\Upsilon_h = 85^\circ 57' 23,43'' - 17^\circ 50' 46,86''$$

$$\Upsilon_h = 68^\circ 6' 36,57''$$

$$\sin \phi = \sin \delta_h * \sin V_h + \cos \delta_h * \cos V_h * \cos \Upsilon_h$$

$$\phi = -10^\circ 55' 7,181'' \text{ S}$$

$$\cos s = \frac{\sin V_h - \sin \delta_h * \sin \phi}{\cos \delta_h * \cos \phi}$$

$$s = 27^\circ 26' 55,58''$$

$$\lambda = s + S_h$$

$$\lambda = 330^\circ 41' 0,05'' - 360^\circ$$

$$\lambda = 29^\circ 18' 59,95'' \text{ E}$$

Jupiter

$$\Upsilon_{\text{J}} = x_2 - y_2$$

$$\Upsilon_{\text{J}} = 111^\circ 46' 18,3'' - 10^\circ 59' 25,81''$$

$$\Upsilon_{\text{J}} = 100^\circ 46' 52,5''$$

$$\sin \phi = \sin \delta_{\text{J}} * \sin V_{\text{J}} + \cos \delta_{\text{J}} * \cos V_{\text{J}} * \cos \Upsilon_{\text{J}}$$

$$\phi = -10^\circ 55' 7,206'' \text{ S}$$

$$\cos s = \frac{\sin V_{\text{J}} - \sin \delta_{\text{J}} * \sin \phi}{\cos \delta_{\text{J}} * \cos \phi}$$

$$s = 43^\circ 30' 11,95''$$

$$\lambda = s - S_{\text{J}}$$

$$\lambda = 29^\circ 18' 59,95'' \text{ E}$$

5. Zadatak

Dana 25.10.2017. opažamo Sunce u $T_k = 14:02:45$, visina Sunca $V_{\odot} = 21^{\circ} 35'$, $\omega = 237^{\circ}$ te Mjesec u $T_k = 14:02:58$, visina Mjeseca $V_{\text{M}} = 34^{\circ} 31, 9'$, $\omega = 164^{\circ}$, stanje (st) = - 00:00:53, visina oka = 18 metara te korekcija indeksa (ki) = + 0, 2'

Sunce

$$T_k = 14:02:45$$

$$st = - 00:00:53$$

$$\hline T_s = 14:01:52$$

$$S_{\odot} = 33^{\circ} 59, 1'$$

$$I = 0^{\circ} 28, 0'$$

$$\hline S_{\odot} = 34^{\circ} 27, 1'$$

$$\delta_{\odot} = - 12^{\circ} 17, 2' \quad (d = 0, 8)$$

$$I = 0, 0' \quad (\pi = 54, 1)$$

$$\hline \delta_{\odot} = - 12^{\circ} 17, 2'$$

$$V_{\odot} = 21^{\circ} 35, 0'$$

$$ki = + 0, 2'$$

$$corr = + 6, 0'$$

$$2. \text{ popravak} = 0, 0'$$

$$\hline V_{\odot} = 21^{\circ} 41, 2'$$

$$Z_o = 90^{\circ} - V_{\odot}$$

$$Z_o = 68^{\circ} 18, 8'$$

Mjesec

$$T_k = 14:02:58$$

$$st = - 00:00:53$$

$$\hline T_s = 14:02:05$$

$$S_{\text{M}} = 326^{\circ} 56, 5' \quad (v = 12, 1)$$

$$I = 0^{\circ} 29, 8'$$

$$\hline S_{\text{M}} = 327^{\circ} 26, 3'$$

$$II = + 0, 5'$$

$$\hline S_{\text{M}} = 327^{\circ} 26, 8'$$

$$\delta_{\text{M}} = - 19^{\circ} 43, 6' \quad (d = - 0, 3)$$

$$I = 0, 0' \quad (\pi = 54, 1')$$

$$\hline \delta_{\text{M}} = - 19^{\circ} 43, 6'$$

$$V_{\text{M}} = 34^{\circ} 31, 9'$$

$$ki = + 0, 2'$$

$$corr = + 58, 3'$$

$$2. \text{ popravak} = - 7, 5'$$

$$\hline V_{\text{M}} = 35^{\circ} 22, 9'$$

$$Z_o = 90^{\circ} - V_{\text{M}}$$

$$Z_o = 54^{\circ} 37, 1'$$

$$\Delta s = S_{\text{D}} - S_{\text{O}}$$

$$\Delta s = 292^{\circ} 59,7' - 360^{\circ}$$

$$\Delta s = 67^{\circ} 0' 18''$$

$$\cos D = \sin \delta_{\text{O}} * \sin \delta_{\text{D}} + \cos \delta_{\text{O}} * \cos \delta_{\text{D}} * \cos \Delta s$$

$$D = 64^{\circ} 27' 38,47''$$

Sunce

$$\cos x_1 = \frac{\sin \delta_{\text{D}} - \sin \delta_{\text{O}} * \cos D}{\cos \delta_{\text{O}} * \sin D}$$

$$x_1 = 106^{\circ} 11' 16,8''$$

$$\cos y_1 = \frac{\sin V_{\text{D}} - \sin V_{\text{O}} * \cos D}{\cos V_{\text{O}} * \sin D}$$

$$y_1 = 59^{\circ} 57' 40,11''$$

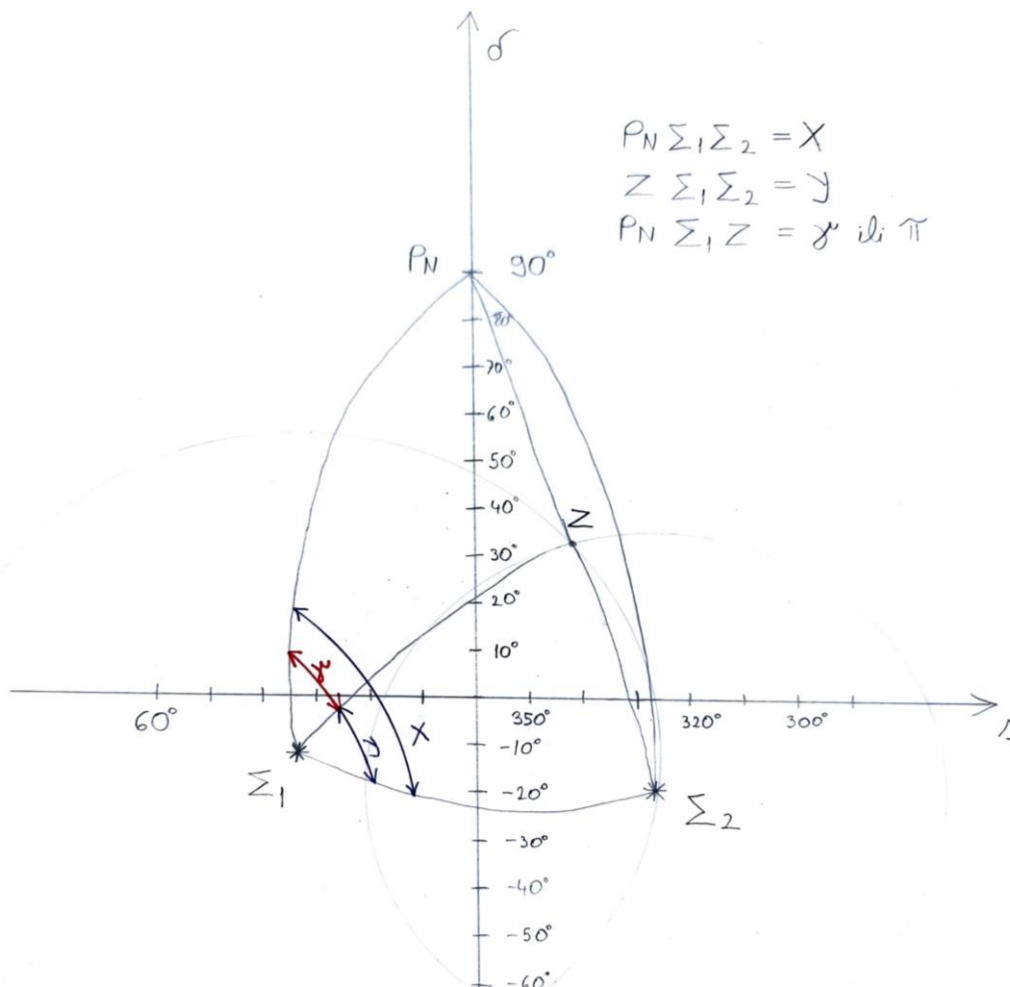
Mjesec

$$\cos x_2 = \frac{\sin \delta_{\text{O}} - \sin \delta_{\text{D}} * \cos D}{\cos \delta_{\text{D}} * \sin D}$$

$$x_2 = 94^{\circ} 32' 36,86''$$

$$\cos y_2 = \frac{\sin V_{\text{O}} - \sin V_{\text{D}} * \cos D}{\cos V_{\text{D}} * \sin D}$$

$$y_2 = 80^{\circ} 37' 11,96''$$



Skica 5. Grafički prikaz 5. zadatka

Izvor: Izradio sam autor

Sunce

$$Y_{\odot} = x_1 - y_1$$

$$Y_{\odot} = 106^{\circ} 11' 16,8'' - 59^{\circ} 57' 40,11''$$

$$Y_{\odot} = 46^{\circ} 13' 36,69''$$

$$\sin \phi = \sin \delta_{\odot} * \sin V_{\odot} + \cos \delta_{\odot} * \cos V_{\odot} * \cos Y_{\odot}$$

$$\phi = 33^{\circ} 19' 51,99'' \text{ N}$$

$$\cos s = \frac{\sin V_{\odot} - \sin \delta_{\odot} * \sin \phi}{\cos \delta_{\odot} * \cos \phi}$$

$$s = 53^{\circ} 25' 28,25''$$

$$\lambda = s - S_{\odot}$$

$$\lambda = 18^{\circ} 58' 22,25'' \text{ E}$$

Mjesec

$$Y_{\text{D}} = x_2 - y_2$$

$$Y_{\text{D}} = 94^{\circ} 32' 36,86'' - 80^{\circ} 37' 11,96''$$

$$Y_{\text{D}} = 13^{\circ} 55' 24,9''$$

$$\sin \phi = \sin \delta_{\text{D}} * \sin V_{\text{D}} + \cos \delta_{\text{D}} * \cos V_{\text{D}} * \cos Y_{\text{D}}$$

$$\phi = 33^{\circ} 19' 51,99'' \text{ N}$$

$$\cos s = \frac{\sin V_{\text{D}} - \sin \delta_{\text{D}} * \sin \phi}{\cos \delta_{\text{D}} * \cos \phi}$$

$$s = 13^{\circ} 34' 49,76''$$

$$\lambda = s + S_{\text{D}}$$

$$\lambda = 341^{\circ} 1' 37,76'' - 360^{\circ}$$

$$\lambda = 18^{\circ} 58' 22,24'' \text{ E}$$

6. Zadatak

Dana 25.02.2017. opažamo Sunce u Tk= 14:01:02, visina Sunca $V_{\odot} = 28^{\circ} 58, 1'$, $\omega = SW$ te Mjesec u Tk= 14:01:12, visina Mjeseca $V_{\text{M}} = 17^{\circ} 30, 4'$, $\omega = 240^{\circ}$. Točka procjenjena $\phi = 37^{\circ}$, stanje (st)= 00:00:58, visina oka = 18 metara te korekcija indeksa (ki)= - 0, 3'

Sunce

Tk= 14:01:02

st= 00:00:58

Ts= 14:02:00

$\delta_{\odot} = - 8^{\circ} 52, 9'$ (d= - 0, 9)

I= - 0, 0'

$\delta_{\odot} = - 8^{\circ} 52, 9'$

$S_{\odot} = 26^{\circ} 45, 3'$

I= $0^{\circ} 30, 0'$

$S_{\odot} = 27^{\circ} 15, 3'$

$V_{\odot} = 28^{\circ} 58, 1'$

ki= - 0, 3'

corr= + 25, 2'

2. popravak= 0, 0'

$V_{\odot} = 29^{\circ} 23, 0'$

$Z_{\odot} = 90^{\circ} - V_{\odot}$

$Z_{\odot} = 60^{\circ} 37'$

Mjesec

Tk= 14:01:12

st= 00:00:58

Ts= 14:02:10

$\delta_{\text{M}} = - 12^{\circ} 39, 1'$ (d= 8, 2)

I= - 0, 3' ($\pi = 57, 3'$)

$\delta_{\text{M}} = - 12^{\circ} 38, 8'$

$S_{\text{M}} = 39^{\circ} 23, 7'$ (v= 10, 3)

I= $0^{\circ} 31, 0'$

$S_{\text{M}} = 39^{\circ} 54, 7'$

II= + 0, 4'

$S_{\text{M}} = 39^{\circ} 55, 1'$

$V_{\text{M}} = 17^{\circ} 30, 4'$

ki= - 0, 3'

corr= + 67, 3'

2. popravak= - 7, 5'

$V_{\text{M}} = 18^{\circ} 29, 9'$

$Z_{\text{M}} = 90^{\circ} - V_{\text{M}}$

$Z_{\text{M}} = 71^{\circ} 30, 1'$

$$\Delta s = S_{\odot} - S_{\ominus}$$

$$\Delta s = 12^{\circ} 39' 48''$$

$$\cos D = \sin \delta_{\ominus} * \sin \delta_{\odot} + \cos \delta_{\ominus} * \cos \delta_{\odot} * \cos \Delta s$$

$$D = 12^{\circ} 59' 40,29''$$

Sunce

$$\cos x_1 = \frac{\sin \delta_{\odot} - \sin \delta_{\ominus} * \cos D}{\cos \delta_{\ominus} * \sin D}$$

$$x_1 = 107^{\circ} 57' 29,5''$$

$$\cos y_1 = \frac{\sin V_{\odot} - \sin V_{\ominus} * \cos D}{\cos V_{\ominus} * \sin D}$$

$$y_1 = 145^{\circ} 9' 31,55''$$

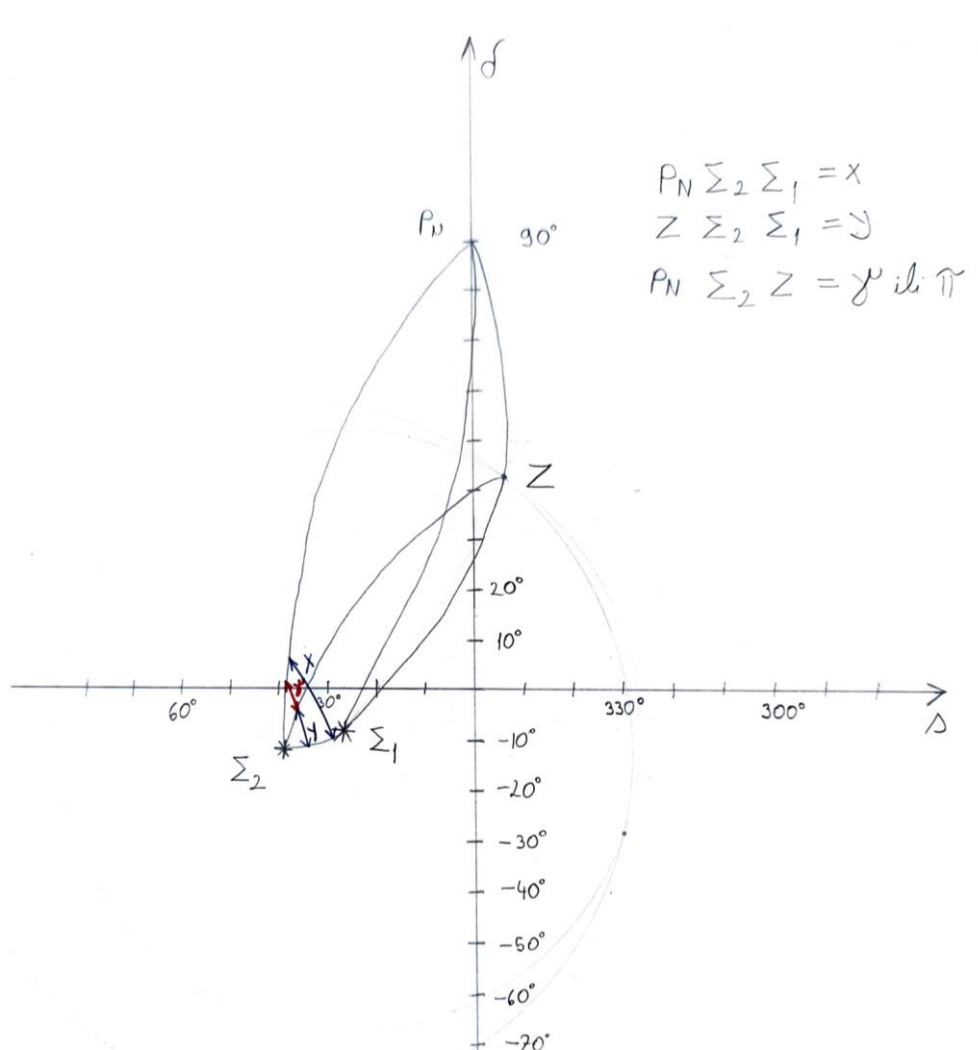
Mjesec

$$\cos x_2 = \frac{\sin \delta_{\ominus} - \sin \delta_{\odot} * \cos D}{\cos \delta_{\odot} * \sin D}$$

$$x_2 = 74^{\circ} 25' 3,044''$$

$$\cos y_2 = \frac{\sin V_{\ominus} - \sin V_{\odot} * \cos D}{\cos V_{\odot} * \sin D}$$

$$y_2 = 31^{\circ} 39' 49,09''$$



Skica 6. Grafički prikaz 6. zadatka

Izvor: Izradio sam autor

Sunce

$$Y_{\odot} = x_1 - y_1$$

$$Y_{\odot} = 107^{\circ} 57' 29,5'' - 145^{\circ} 9' 31,55''$$

$$Y_{\odot} = 37^{\circ} 12' 2,05''$$

$$\sin \phi = \sin \delta_{\odot} * \sin V_{\odot} + \cos \delta_{\odot} * \cos V_{\odot} * \cos Y_{\odot}$$

$$\phi = 37^{\circ} 35' 17,15'' \text{ N}$$

$$\cos s = \frac{\sin V_{\odot} - \sin \delta_{\odot} * \sin \phi}{\cos \delta_{\odot} * \cos \phi}$$

$$s = 41^{\circ} 40' 11,56''$$

$$\lambda = s - S_{\odot}$$

$$\lambda = 14^{\circ} 24' 53,56'' \text{ W}$$

Mjesec

$$Y_{\text{D}} = x_2 - y_2$$

$$Y_{\text{D}} = 74^{\circ} 25' 3,044'' - 31^{\circ} 39' 49,09''$$

$$Y_{\text{D}} = 42^{\circ} 45' 13,95''$$

$$\sin \phi = \sin \delta_{\text{D}} * \sin V_{\text{D}} + \cos \delta_{\text{D}} * \cos V_{\text{D}} * \cos Y_{\text{D}}$$

$$\phi = 37^{\circ} 35' 17,15'' \text{ N}$$

$$\cos s = \frac{\sin V_{\text{D}} - \sin \delta_{\text{D}} * \sin \phi}{\cos \delta_{\text{D}} * \cos \phi}$$

$$s = 54^{\circ} 19' 59,55''$$

$$\lambda = s - S_{\text{D}}$$

$$\lambda = 14^{\circ} 24' 53,55'' \text{ W}$$

4.3. SNIMANJE VISINA SUNCA

Da bismo izmjerili visinu Sunca, potrebno je dovesti u dodir središte Sunca i crtu horizonta. Kako je teško utvrditi središte Sunca, u dodir sa horizontom dovodimo gornji ili donji rub Sunca. U praktičnim primjerima zadatka dovodi se visina donjeg ruba, koja se označava V_{\ominus} . Kada je vidljiv čitav disk Sunca obično se snima donji rub. Iznimno kod oblačnog vremena kada je disk Sunca slabo izražen, a potrebno je imati bilo kakvu poziciju onda se slika Sunca dovodi u položaj da crta morskog horizonta prepolovi disk \ominus . Pogreška tako izmjerene visine iznosi 3' – 4'. Obratimo li pozornost na zadatke, primjećujemo kako je u zadatku 5. i zadatku 6. korekcija za Sunce pozitivna za razliku od prethodnih zadataka. Razlog tome je što kod Sunca mjerimo donji rub, a do središta moramo dodati korekciju. Suprotno tome, zvijezde i planete nastojimo lagano „utopiti“ ispod horizonta, zbog čega je korekcija uvijek minus. Prva posebna radnja koja se odnosi na snimanje visine Sunca jest kada je Sunce na maloj visini. Tada se dalekozor uperi prema crti horizonta i pomakom alhidade dovede se crta horizonta do njegove dvostruko reflektirane slike. Sekstant se zanjše lijevo i desno kako bi se u trenutku lakše ocijenio taj dodir. Ako je Sunce na velikoj visini, namjestite se sjenila, koja štite oko od povrede i dalekozor se uperi prema Suncu, a zatim se pomicanjem alhidade dovodi slika Sunca na crtu morskog horizonta. Sjenila se uklanjaju te se vrši njihanje sekstanta zbog bržeg dobivanja dodira. Razlikujemo postupak snimanja Sunca prije podne, dok mu visina raste i poslije podne kada se visina smanjuje. Dok Sunce ne prođe kroz meridijan motrilišta, tj. kulminacije, snima se donji rub tako da se slika malo uroni u more i nekom vrijeme čeka dok se Sunce ne uzdigne i tangira horizont. Ako se snima gornji rub, uroni se cijeli disk i čeka dok ne dođe do dodira. Nakon kulminacije, donji se rub snima tako da mu se slika namjesti iznad crte horizonta i neko vrijeme čeka da se spusti do crte horizonta.

4.4. SNIMANJE VISINE MJESECA

Visine Mjeseca snimaju se slično kao i visine Sunca. Ono što nije nužno je uporaba sjenila. Dok se kod Sunca mogu koristiti za snimanje oba ruba, kod snimanja visina Mjeseca, osim uštapa, može se snimati samo jedan rub. Tijekom snimanja prije punog Mjeseca potrebno je prije prolaska kroz meridijan motrilišta snimati gornji rub, a nakon prolaska kroz meridijan motrilišta, snimati donji rub. Visina Mjeseca može se mjeriti i po danu i po noći. Po noći se Mjesec snima kada je već vidljiva crta horizonta, a Mjesec nije na velikoj visini. Pri tome nastaju pogreške veličine 5' – 6'.

5. ZAKLJUČAK

Danas kada je tehnologija na velikoj razini, potreba za astronomskom navigacijom sve je manja. Elektronička navigacija napredovala je do stadija da u nekoliko sekundi znamo poziciju broda, točnu u nekoliko centimetara. Takav lakši način dobivanja pozicije služi u korist svim časnicima palube, ali je bitno da se vještina dobivanja pozicije astronomskim putem ne zaboravi. Specifičnost pomoraca je što teško napuštaju navike pa se prilikom otkrića novih metoda nisu odmah počeli njima koristiti, već su nastavili koristiti stare. Primjetili smo kako u izvanrednim slučajevima, tijekom pada satelitskih sustava, astronomska navigacija odmah dolazi do izražaja, prvenstveno zbog neovisnosti o ostalim sustavima. Upravo je zbog toga određivanje pozicije broda autonomnim putem prednost astronomske navigacije. Računalni programi također mogu poslužiti pri dobivanju pozicije broda metodama astronomske navigacije. Njihova je prednost što sadržavaju efemeride za 500 godina i time daju veliku mogućnost neovisnog dobivanja pozicije broda. Također, dobivanje pozicije elektroničkim putem nije savršeno te su moguće pogreške. Poznavanje astronomske navigacije trebala bi biti odlika svakog dobrog časnika palube jer nam ovaj način pruža neovisnost u odnosu na ostale sustave. Ova se metoda do danas itekako usavršila te je idealna za određivanje pozicije broda, pogotovo tijekom oceanske plovidbe zbog toga što je Sunce konstantno vidljivo, a nema ograničavajućih faktora poput nautičkog sumraka. Također, bitno je da mladi časnici prakticiraju tehniku rukovanja sekstantom kako ne bi došlo do problema. Unatoč razvoju tehnologije i opreme, život na brodu nezamisliv je bez čovjeka. Direktna metoda je najmoderniji način astronomskog dobivanja položaja, a njeno je poznavanje osnova za shvaćanje rada ostalih sustava. Kombinacijom različitih metoda te uspoređivanjem možemo potvrditi položaj te otkriti nepravilnosti različitih sustava.

LITERATURA

- Lipovac, M. Š., Astronomska navigacija, Udžbenik za mornaričke i pomorske škole, 2. Izdanje, Hidrografski institut Jugoslavenske ratne mornarice, Split, 1981.
- Ming-Cheng Tsou, POLISH MARITIME RESEARCH 3, Vol. 22, pp. 20-27, National Kaohsiung Marine University, Taiwan 2015
- Medanić, V., Astronomska navigacija II, Viša pomorska škola – Rijeka, Rijeka, 1968.
- Medanić, V., Praktična navigacija II, Viša pomorska škola – Rijeka, Rijeka, 1966.
- Čumbelić, P., Astronomska navigacija II, Pomorski fakultet Dubrovnik Sveučilište u Splitu, Dubrovnik, 1990.
- Bowditch, N., American Practical Navigator, An Epitome of Navigation, L.L.D, Defense Mapping Agency Hydrographic/Topographic Center, Washington, 1984.
- Umland, H., A Short Guide to Celestial Navigation, Copyright 1997-2019.
- Šabalja Đ. Autorizirana predavanja iz astronomske navigacije, Pomorski fakultet Rijeka, Rijeka, 2019.
- Lušić, Z., Baljak, K., Astronomska navigacija, Pomorski fakultet u Splitu, Split, 2007.
- <https://hr.wikipedia.org/>

POPIS SLIKA

- Slika 1. Prikaz gibanja Zemlje oko Sunca
- Slika 2. Koordinatni sustav ekliptike
- Slika 3. Prikaz geografske dužine i geografske širine
- Slika 4. Prikaz Dozierove metode
- Slika 5. Prikaz pozicije broda istovremenim mjerenjima visina
- Slika 6. Projekcija nebeskog tijela na površini Zemlje
- Slika 7. Princip kružnice položaja
- Slika 8. Prikaz
- Slika 9. Prikaz 1. Trokuta
- Slika 10. Prikaz 2. trokuta
- Slika 11. Prikaz 3. trokuta
- Slika 12. Prikaz
- Slika 13. Prikaz
- Slika 14. Prikaz intersekcije kružnica položaja
- Skica 1. Grafički prikaz 1. zadatka
- Skica 2. Grafički prikaz 2. zadatka
- Skica 3. Grafički prikaz 3. zadatka
- Skica 4. Grafički prikaz 4. zadatka
- Skica 5. Grafički prikaz 5. zadatka
- Skica 6. Grafički prikaz 6. zadatka