

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://urn.nsk.hr/um:nbn:hr:187:237240>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-17**

Repository / Repozitorij:



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



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: Astronomска навигација

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

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, astronomска 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. <i>Princip određivanja kružnice položaja.....</i>	10
4.1.2. <i>Postupak određivanja točke broda s pomoću visina nebeskog tijela</i>	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 mijenja, a samim time i potreba za boljim i sofisticiranjim 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 djeatnosti, a razvila se iz praktičnih potreba. Ona proučava nebeska tijela, njihov položaj, gibanje, njihove oblike, dimenzije, duljine, 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. Astronomski navigacija nastavila se koristiti skoro do kraja 20. stoljeća, sve dok se određivanje pozicije nije počelo dobivati električkim uređajima. Kompas 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 astronomski navigacije te rukovanjem mernim 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.

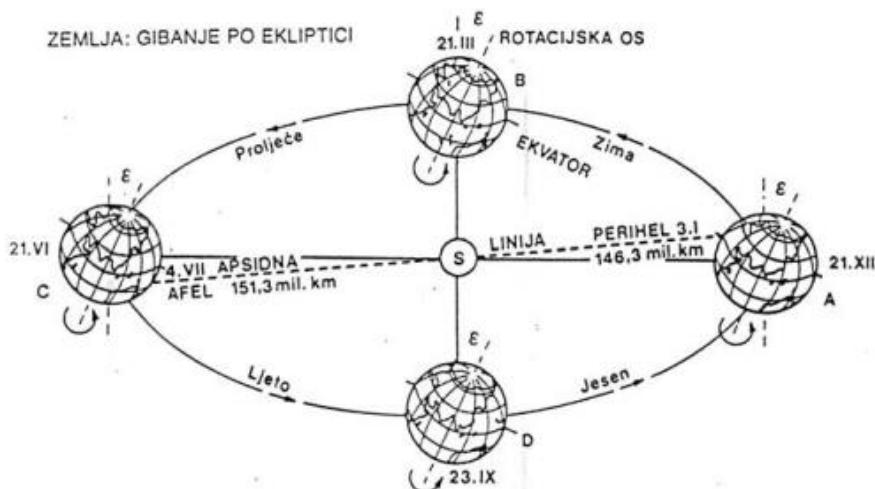
Ljudska je znatiželja neiskorjenjiva te se prilikom navigacije nemoguće ne zapitati neka osnovna pitanja, poput toga gdje smo i koliku udaljenost moramo prijeći da dođemo do odredišta. Iako su načini određivanja položaja bili poznati i prije, do njih nije bilo lako doći. Zbog lakšeg određivanja položaja 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 poznавање 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 pojma ekliptike i proljetne točke (γ).

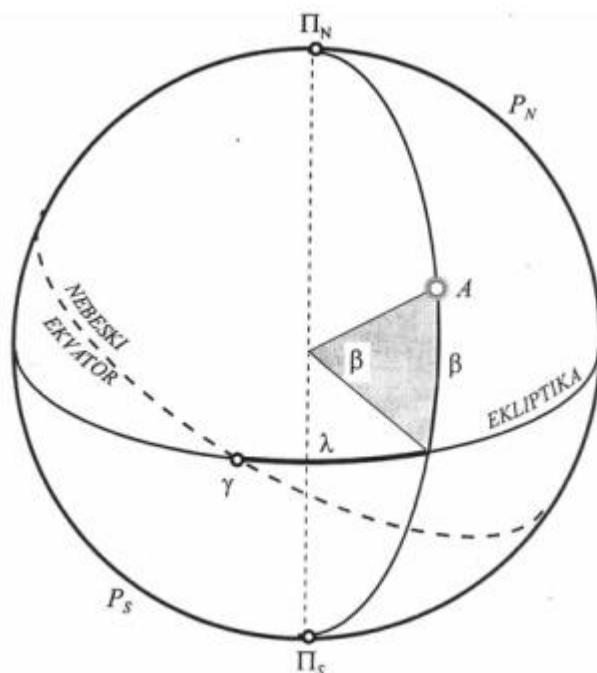
Sunce se tijekom godine kreće po putanji koju nazivamo ekliptika. Prilikom kretanja po ekliptici, Sunce dolazi u četiri specifične točke, a to su proljetna i jesenja točka te točke ljetnog i zimskog solsticija (slika 1). Te točke poznatije su kao početci godišnjih doba. Prvog dana proljeća (21. ožujak) i prvog dana jeseni (23. rujan) 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 ravnodnevnicice ili ekvinocij. Prema navedenome zaključujemo da se točka u kojoj se Sunce nalazi prvog dana proljeća naziva proljetna točka te se označava ϖ (aries).



Slika 1. Prikaz gibanja Zemlje oko Sunca

Izvor: (Izradio sam autor)

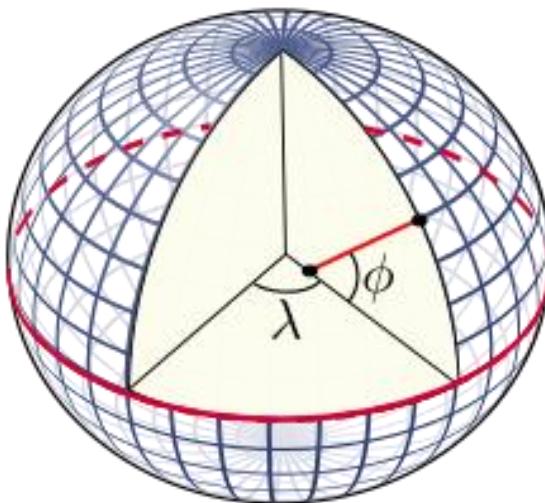
Obratimo li pažnju na koordinatni sustav ekliptike (slika 2.), jasno je vidljiva razlika longitude i latitude. Latituda ili ekliptična širina nebeskog tijela (β) luk je meridijana koji se kreće od ravnine ekliptike do središta nebeskog tijela. Također se može definirati kao odgovarajući kut između ravnine 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 ariesa (ϖ) do ekliptičkog meridijana kroz nebesko tijelo. Odnosno, to je kut između ekliptičkih meridijana koji prolaze kroz aries (ϖ) 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 u vijek 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

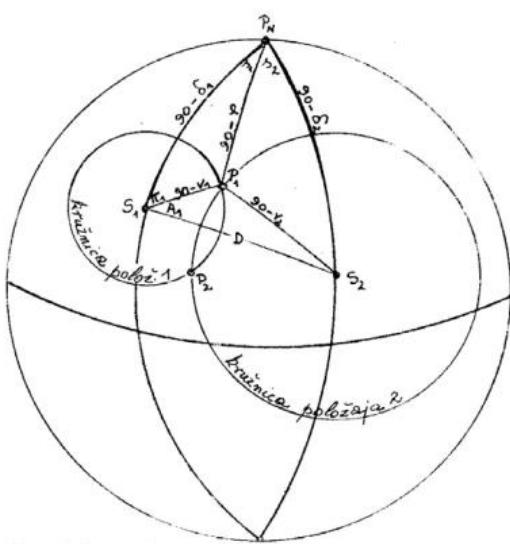
3.1. IZRAVNE METODE

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 komplikiran 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.: Astronomска навигација II, Поморски факултет Дубровник Свеучилиште у Сплиту,
Дубровник, 1990, стр. 211.

S1- terestrička projekcija prvog nebeskog tijela

S2 - terestrička projekcija drugog nebeskog tijela

$$\Delta s \equiv s_1 - s_2$$

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

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

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: $\cos A_1 = \frac{\sin V_2 - \sin V_1 \cos D}{\cos V_1 \sin D}$

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

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.

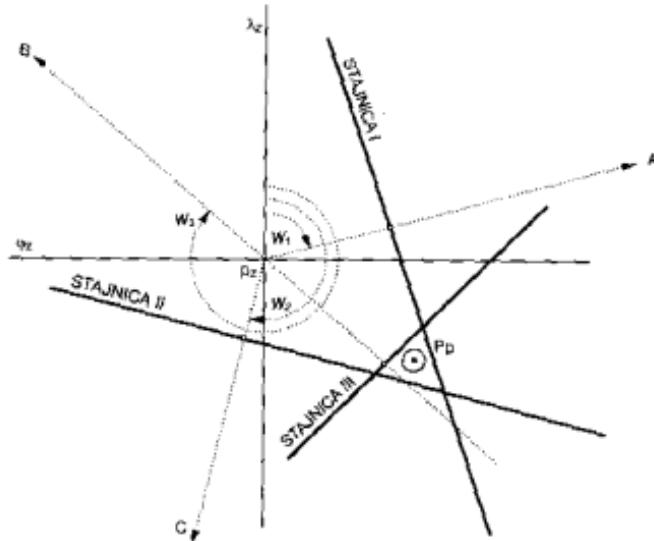
Određivanje pozicije istovremenim opažanjima. Ukoliko nam okolnosti dopuštaju, potrebno je izmjeriti visine tri i više nebeskih tijela. Mjerenja se u praksi vrše za vrijeme jutarnjeg ili večernjeg nautičkog sumraka. Tada se osim Sunca, Mjeseca i planeta mogu mjeriti i visine navigacijskih zvijezda. Prilikom 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 prevladi jednu milju, a ukoliko je vremenska razlika prevelika, visina se može ispraviti pomoću izraza:

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

U navedenome izrazu, simbol ΔV_Z označuje korekciju visine koja je prva mjerena, b označava brzinu broda, t_1 označava vrijeme mjerena prve visine, t_2 vrijeme mjerena druge visine, ω – azimut, a K_P 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 presjecištem pravaca pozicija, što je vidljivo iz priloženog (slika 5.)



Slika 5. **Prikaz pozicije broda istovremenim mjeranjima visina**

Izvor:

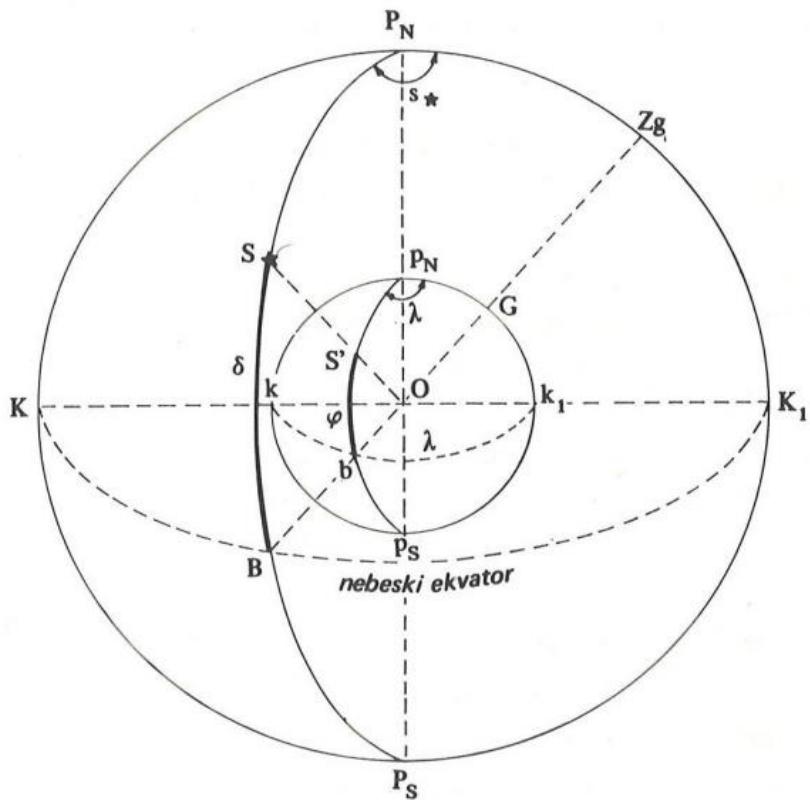
Nažalost, u praksi presječište pravaca pozicija ne stvara točku već formira raznostraničan trokut. Prava pozicija broda nalazi se u sjecištu unutarnjih simetrala kutova trokuta.

4. DIREKTNA METODA

Čak i danas, kada navigacijom dominira GPS, tradicionalna astronomска navigacija i dalje služi kao vrijedno pričuvna metoda određivanja pozicije broda. Međutim, ulaskom u 21. stoljeće, tradicionalne metode računanja pozicije broda korištenjem astronomске navigacije više ne mogu dostići tražene zahtjeve modernih brodova u pogledu točnosti i računanja brzine. Iz toga proizlazi potreba za dalnjim unapređenjem, kojeg pruža tehnologija. Problemi koji se prethodno nisu mogli riješiti, sada se rješavaju korištenjem astronomskog sfernog trokuta koji direktno daje poziciju broda.

Zbog povezanosti mjesno ekvatorskih koordinata nebeskog tijela (mjesni satni kut i deklinacija) i koordinata na zemljinoj površini (geografska širina i dužina) lako se može napraviti projekcija nebeskog tijela na zemljinu površinu. Deklinacija nebeskog tijela S izražena je lukom BS na nebeskoj sferi, kojemu odgovara luk Bs' na Zemlji (slika 6). Pri tome je lako uočiti da deklinacija odgovara geografskoj širini ($\delta = \varphi$). Sukladno tome, luk K1B odgovara luku k1b iz čega zaključujemo da satni kut nebeskog tijela odgovara geografskoj

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



Slika 6. Projekcija nebeskog tijela na površini Zemlje

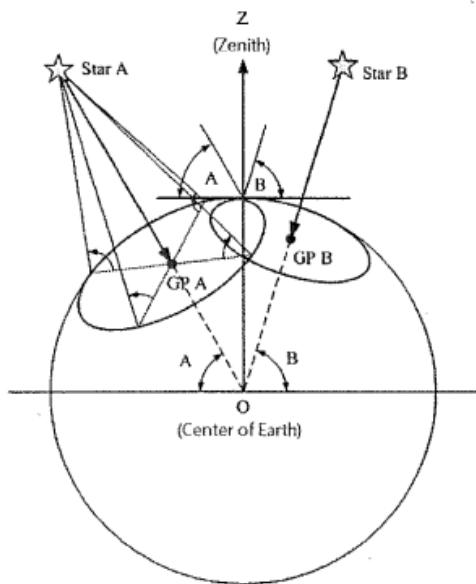
Izvor: Lipovac M. Š.: Astronomска навигација, Уџбеник за морнаричке и поморске школе, 2. Издање, Hidrografски институт Југославенске ратне морнарице, Сплит, 1981, str. 284.

4.1. PRINCIPI ASTRONOMSKOG ODREĐIVANJA POZICIJE BRODA

Svrha astronomске навигације која се практицирала током повјести била је одредити географску ширину и дужину брода у одређеном тренутку. Како би се то одредило, потребно је опазити висину неbeskog tijela, помоћу које добивамо кружницу положаја, (engl. Circle of position - COP). Када се прикупи више од две скупине података, позиција брода може се израчунати графичким путем, комбинацијом графичког и рачунског те директном рачунском методом. Основни принципи одређивања позиције брода у астрономској навигацији остали су непромијењени до данас те се користе као основа осталим методама. У наставку овог рада доноси се pregled navedenih метода, njihove предности и 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 prepostavljenoj 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 previelik 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

$\Sigma'1, \Sigma'2$

$\Sigma'1 (\delta_1, S1) V1$

$\Sigma'2 (\delta_2, S2) V2$

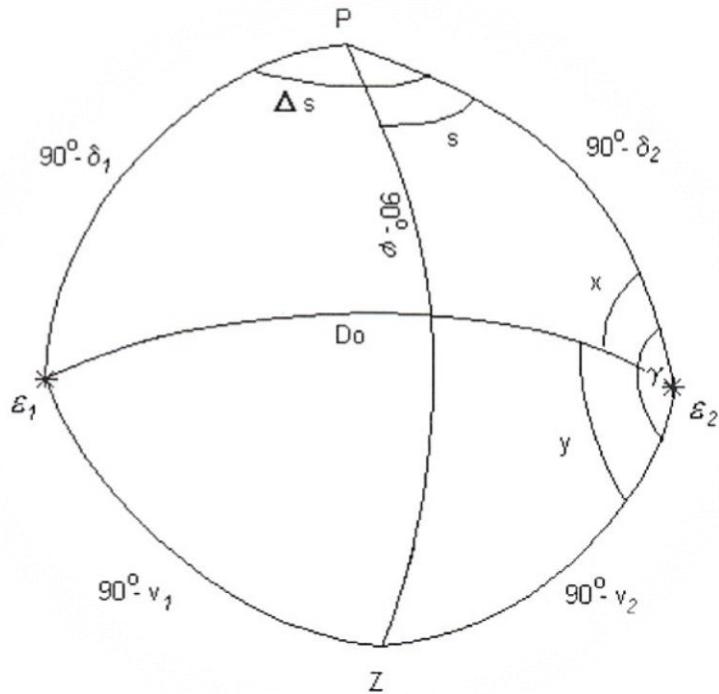
$$\sin V = \sin \phi * \sin \delta + \cos \phi * \cos \delta * \cos S$$

$$S = \delta + \lambda$$

$$\sin V1 = \sin \phi * \sin \delta_1 + \cos \phi * \cos \delta_1 * \cos (S1 + \lambda)$$

$$\sin V2 = \sin \phi * \sin \delta_2 + \cos \phi * \cos \delta_2 * \cos (S2 + \lambda)$$

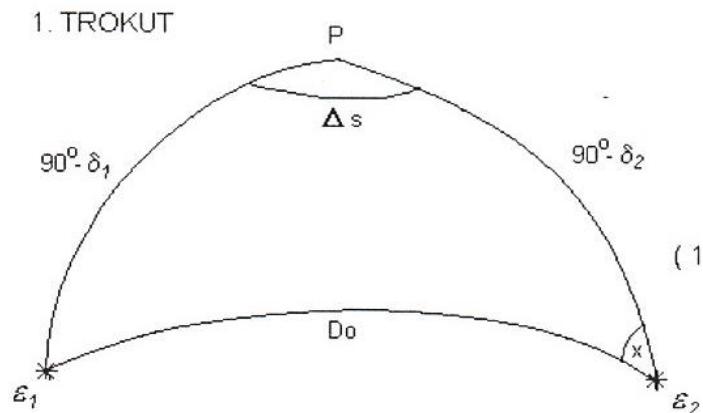
Iz poznatih nebesko - ekvatorskih koordinata dvaju nebeskih tijela i njihovih visina može se napisati sustav dviju jednadžbi sa dvije nepoznanice (ϕ, λ). Rješavanjem tog sustava dobili smo koordinate položaja broda na moru. Takav sustav jednadžbi teško je rješiti jer jednadžbe nisu algebarske već transcendentne, 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

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

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

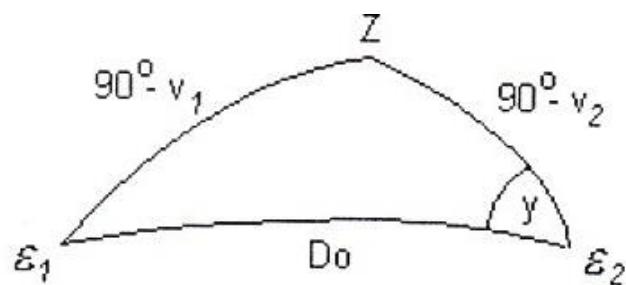
$$(1.) \cos D = \sin \delta_1 * \sin \delta_2 + \cos \delta_1 * \cos \delta_2 * \cos \Delta s$$

$$D =$$

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

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

$$x =$$



Slika 10. Prikaz 2. trokuta

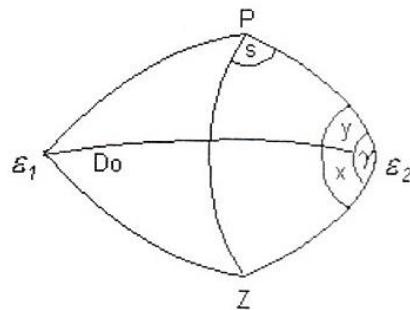
Izvor: Izradio sam student

Vs1	Vs2
ki	ki
V1	V2
Prave visine nebeskih tijela	

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

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

$$y =$$

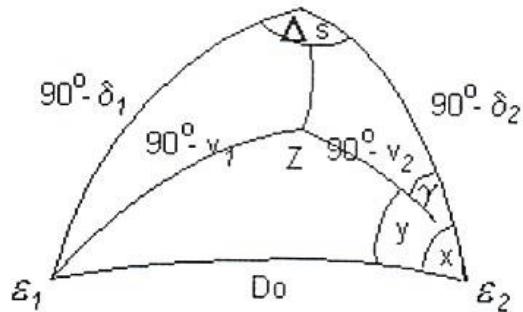


Slika 11. Prikaz 3. trokuta

Izvor: Izradio sam student

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

$$Y = x + y$$

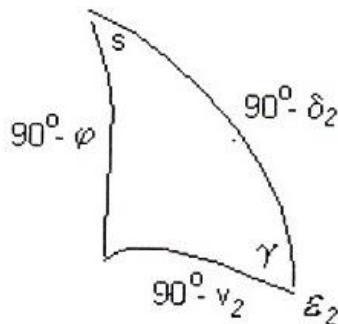


Slika 12. Prikaz

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

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

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

$$\phi =$$

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

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

$$s =$$

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

$$\lambda =$$

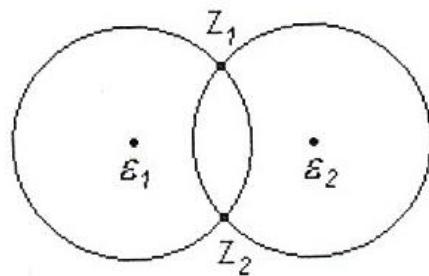
POSTUPAK:

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

$V_{p1} \quad V_{p2}$ – ispravljene visine (prave)

b) Nakon što izmjerimo visine, izvadimo UT te pomoću godišnjaka izvadimo δ i s UT1 (δ_1 , S), UT2 (δ_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 procjenjena pozicija (PP) broda. Ako procjenjena 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: Astronomski 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 $V_\star = 59^\circ 29,0'$, $\omega = \text{SE}$ te zvijezdu Spica u Tk= 07:21:50, visina zvijezde $V_\star = 33^\circ 49,9'$, $\omega = \text{SW}$, 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 $\varpi = 273^\circ 8, 9'$	V★1= $59^\circ 29, 0'$
I= $5^\circ 5, 8'$	ki= + 0, 2'
<u>S $\varpi = 278^\circ 14, 7'$</u>	corr= - 7, 6'
SHA= $102^\circ 9, 7'$	<u>V★1= $59^\circ 21, 5'$</u>
<u>S★1= $380^\circ 24, 4'$</u> - 360°	Zo= $90^\circ - V\star 1$
S★1= $20^\circ 24, 4'$	Zo= $30^\circ 38, 5'$

Spica

Tk= 07:21:50

$\delta\star 2 = -11^\circ 15, 0'$

st= - 00:01:05

Ts= 07:20:45

S $\varpi = 273^\circ 8, 9'$	V★2= $33^\circ 49, 9'$
I= $05^\circ 12, 1'$	ki= + 0, 2'
<u>S$\varpi = 278^\circ 21, 0'$</u>	corr= - 8, 5'
SHA= $158^\circ 28, 3'$	<u>V★2= $33^\circ 41, 6'$</u>
<u>S★2= $436^\circ 49, 3'$</u> - 360°	Zo= $90^\circ - V\star 2$
S★2= $76^\circ 49, 3'$	Zo= $56^\circ 18, 4'$

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

$$\Delta s = 56^\circ 24, 9'$$

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

$$D = 54^\circ 53' 29, 41''$$

Sabik

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

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

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

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

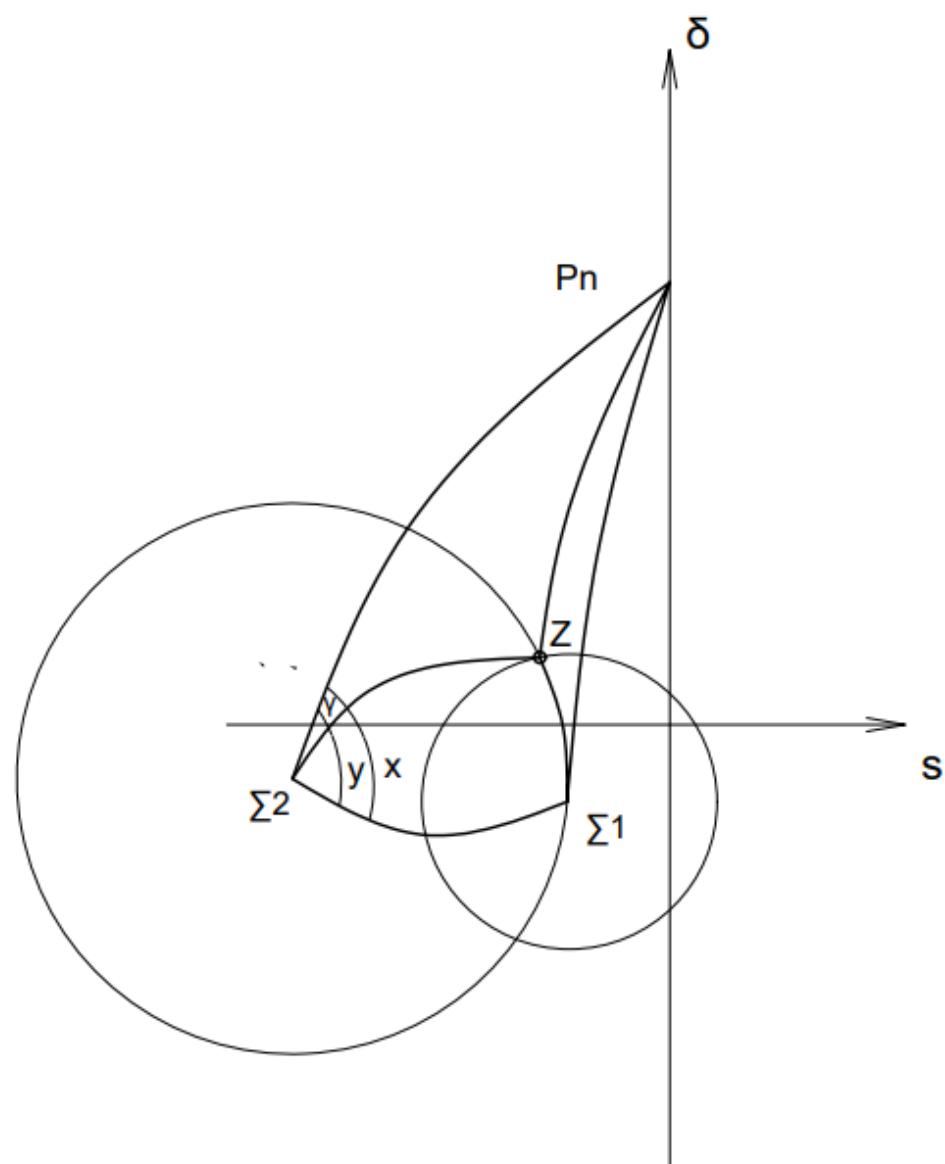
Spica

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

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

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

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



Skica 1. Grafički prikaz 1. zadatka

Izvor: Izradio sam autor

Sabik

$$\Upsilon_1 = x_1 - y_1$$

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

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

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

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

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

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

$$\lambda = s + S$$

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

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

Spica

$$\Upsilon_2 = x_2 - y_2$$

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

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

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

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

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

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

$$\lambda = s - S$$

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

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

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

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

$$x_1 = 74^\circ 28' 26, 73''$$

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

$$y_1 = 46^\circ 48' 29, 73''$$

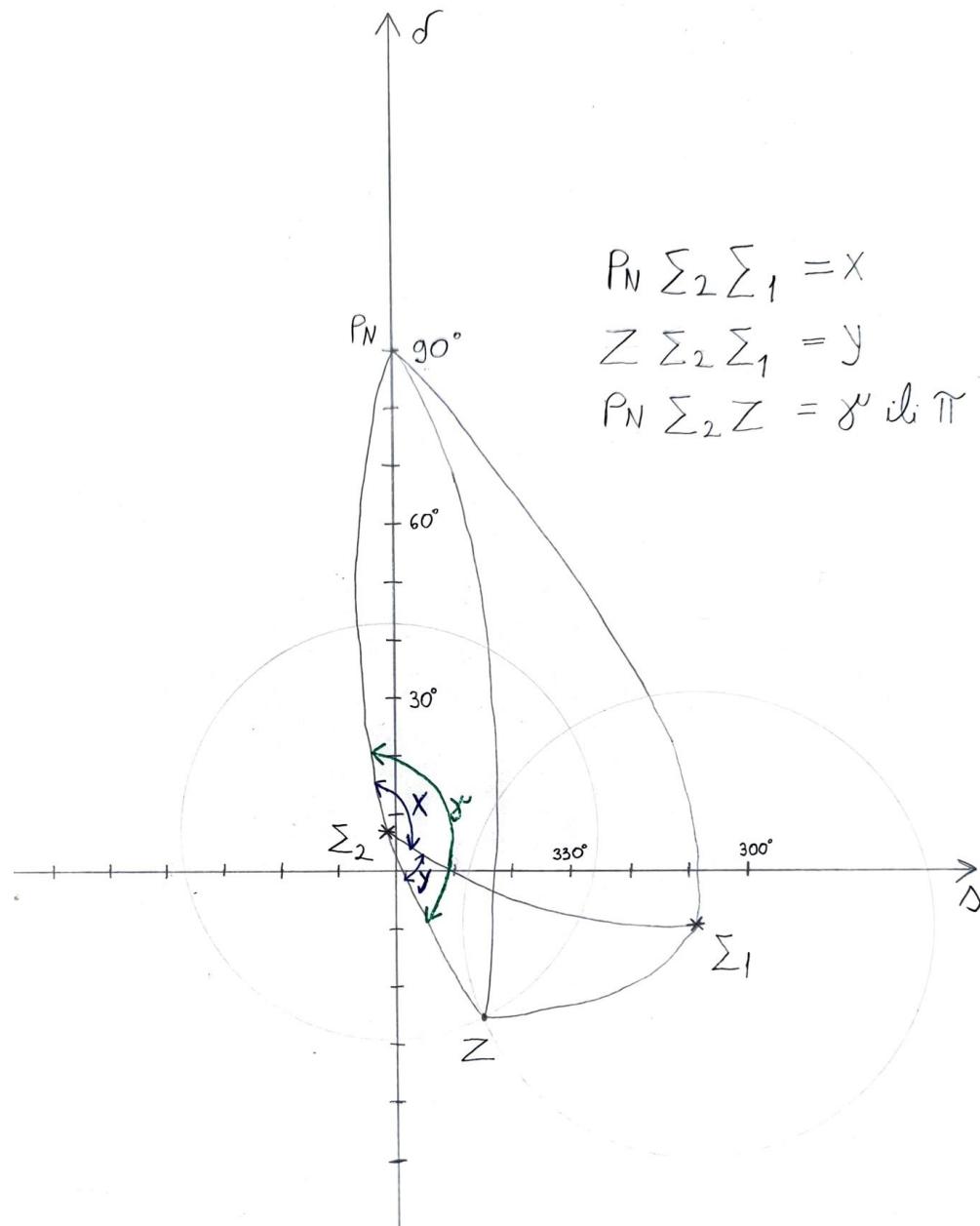
Betelgeuse

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

$$x_2 = 106^\circ 11' 26, 4''$$

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

$$y_2 = 51^\circ 59' 10, 4''$$



Skica 2. Grafički prikaz 2. zadatka

Izvor: Izradio sam autor

Alphard

$$Y_1 = x_1 + y_1$$

$$Y_1 = 74^\circ 28' 26, 73'' + 46^\circ 48' 29, 73''$$

$$Y_1 = 121^\circ 16' 56, 5''$$

$$\sin \phi = \sin \delta_1 * \sin V_1 + \cos \delta_1 * \cos V_1 * \cos Y_1$$

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

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

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

$$\lambda = s + S$$

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

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

Betelgeuse

$$Y_2 = x_2 + y_2$$

$$Y_2 = 106^\circ 11' 26, 4'' + 51^\circ 59' 10, 4''$$

$$Y_2 = 158^\circ 10' 36, 8''$$

$$\sin \phi = \sin \delta_2 * \sin V_2 + \cos \delta_2 * \cos V_2 * \cos Y_2$$

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

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

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

$$\lambda = s - S$$

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

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

$V\star_1 = 41^\circ 15, 8'$

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

$ki = + 0'$

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

$corr = - 8, 9'$

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

$V\star_1 = 41^\circ 6, 9'$

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

$S\star_1 = 425^\circ 0, 6' - 360^\circ$

$Zo = 90^\circ - V\star_1$

$S\star_1 = 65^\circ 0, 6'$

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

Regulus

Tk= 11:00:16

$\delta\star_2 = 11^\circ 52, 9'$

st= - 00:01:02

Ts= 10:59:14

$V\star_2 = 29^\circ 07, 2'$

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

$ki = + 0'$

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

$corr = - 9, 4'$

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

$V\star_2 = 28^\circ 57, 8'$

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

$S\star_2 = 387^\circ 47' - 360^\circ$

$Zo = 90^\circ - V\star_2$

$S\star_2 = 27^\circ 47'$

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

$$\Delta s = S\star_2 - S\star_1$$

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

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

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

Procyon

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

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

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

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

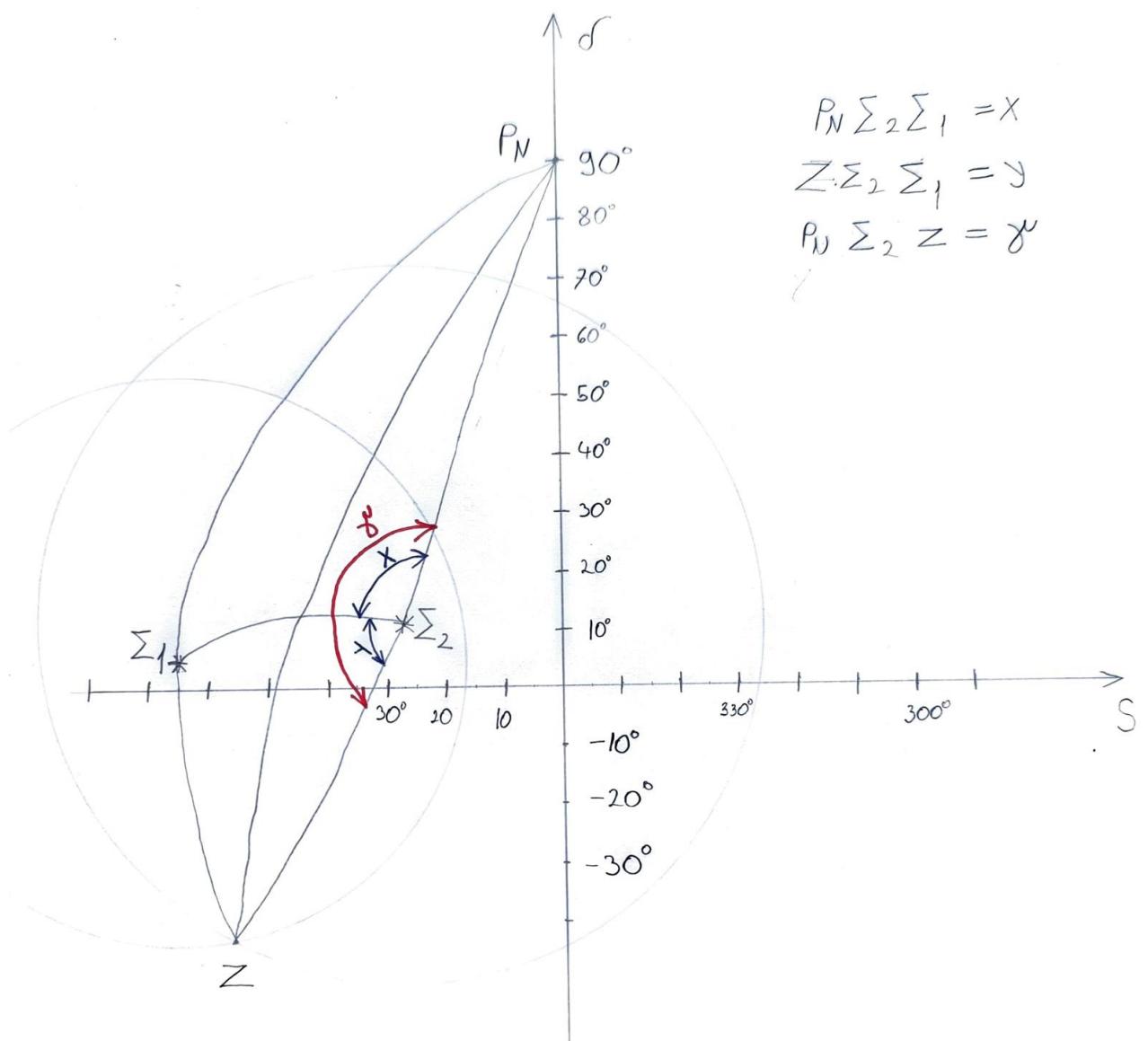
Regulus

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

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

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

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



Skica 3. Grafički prikaz 3. zadatka

Izvor: Izradio sam autor

Procyon

$$Y_1 = x_1 + y_1$$

$$Y_1 = 77^\circ 10' 46, 01'' + 94^\circ 47' 49, 14''$$

$$Y_1 = 171^\circ 58' 35, 2''$$

$$\sin \phi = \sin \delta_1 * \sin V_1 + \cos \delta_1 * \cos V_1 * \cos Y_1$$

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

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

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

$$\lambda = s - S$$

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

Regulus

$$Y_2 = x_2 + y_2$$

$$Y_2 = 97^\circ 5' 27, 529'' + 59^\circ 6' 2, 66''$$

$$Y_2 = 156^\circ 11' 30, 2''$$

$$\sin \phi = \sin \delta_2 * \sin V_2 + \cos \delta_2 * \cos V_2 * \cos Y_2$$

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

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

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

$$\lambda = s + S$$

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

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

$$\begin{array}{ll} \text{Tk}= 18:15:50 & \delta\hbar= - 21^\circ 55, 5' \quad (0,0) \\ \text{st}= - 00:00:30 & \text{I}= \quad \quad \quad 0, 0' \\ \hline \text{Ts}= 18:15:20 & \delta\hbar= - 21^\circ 55, 5' \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} S\hbar= 302^\circ 58, 7' \quad (2, 6) & V\hbar= 64^\circ 46, 5' \\ \text{I}= 3^\circ 50, 0' & \text{ki}= \quad \quad + 0, 2' \\ \hline S\hbar= 306^\circ 48, 7' & \text{corr}= \quad - 7, 3' \\ \text{II}= \quad + \quad 0, 7' & V\hbar= 64^\circ 39, 4' \\ \hline S\hbar= 306^\circ 49, 4' & \end{array}$$

$$Zo= 90^\circ - V\hbar$$

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

Jupiter

$$\begin{array}{ll} \text{Tk}= 18:16:01 & \delta\varpi= - 4^\circ 50, 1' \quad (0,1) \\ \text{st}= - 00:00:30 & \text{I}= \quad \quad \quad 0, 0' \\ \hline \text{Ts}= 18:15:31 & \delta\varpi= - 4^\circ 50, 1' \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} S\varpi= 10^\circ 17, 8' \quad (2,2) & V\varpi= 46^\circ 38, 9' \\ \text{I}= 3^\circ 52, 8' & \text{ki}= \quad \quad + 0, 2' \\ \hline S\varpi= 14^\circ 10, 6' & \text{corr}= \quad - 7, 8' \\ \text{II}= \quad + 0,6' & V\varpi= 46^\circ 31, 3' \\ \hline S\varpi= 14^\circ 11, 2' & \end{array}$$

$$Zo= 90^\circ - V\varpi$$

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

$$\Delta s= S\hbar - S\varpi$$

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

$$\cos D = \sin \delta_h * \sin \delta_d + \cos \delta_h * \cos \delta_d * \cos \Delta_s$$

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

Saturn

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

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

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

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

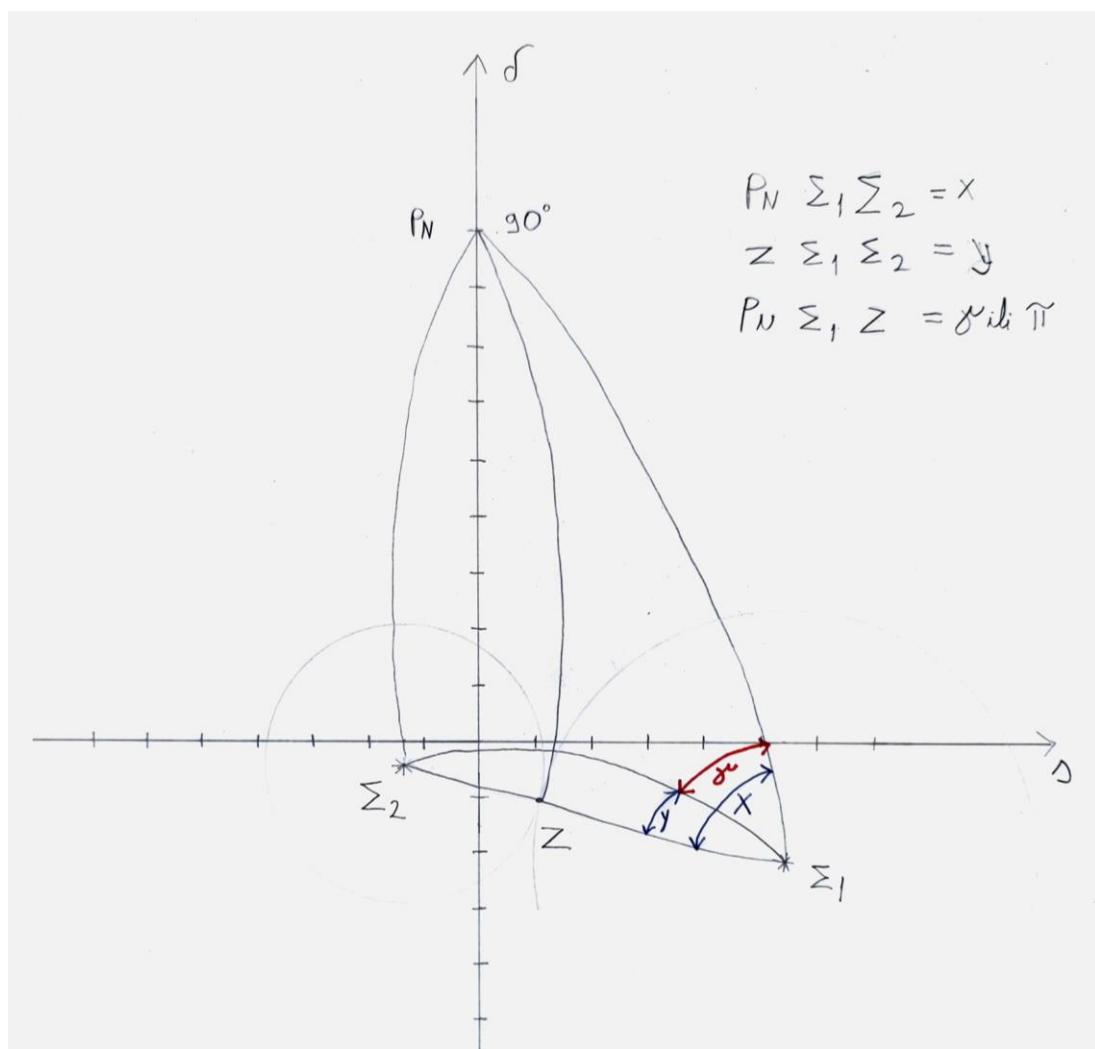
Jupiter

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

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

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

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



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

$$Y_h = x_1 - y_1$$

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

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

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

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

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

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

$$\lambda = s + S_h$$

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

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

Jupiter

$$Y_\alpha = x_2 - y_2$$

$$Y_\alpha = 111^\circ 46' 18, 3'' - 10^\circ 59' 25, 81''$$

$$Y_\alpha = 100^\circ 46' 52, 5''$$

$$\sin \phi = \sin \delta_\alpha * \sin V_\alpha + \cos \delta_\alpha * \cos V_\alpha * \cos Y_\alpha$$

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

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

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

$$\lambda = s - S_\alpha$$

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

5. Zadatak

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

Sunce

$$Tk = 14:02:45$$

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

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

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

$$\overline{Ts = 14:01:52}$$

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

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

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

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

$$ki = +0, 2'$$

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

$$corr = +6, 0'$$

$$2. popravak = 0, 0'$$

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

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

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

Mjesec

$$Tk = 14:02:58$$

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

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

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

$$\overline{Ts = 14:02:05}$$

$$\overline{\delta_{\mathbb{M}} = -19^{\circ} 43, 6'}$$

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

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

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

$$ki = +0, 2'$$

$$\overline{S_{\mathbb{M}} = 327^{\circ} 26, 3'}$$

$$corr = +58, 3'$$

$$II = +0, 5'$$

$$2. popravak = -7, 5'$$

$$\overline{S_{\mathbb{M}} = 327^{\circ} 26, 8'}$$

$$\overline{V_{\mathbb{M}} = 35^{\circ} 22, 9'}$$

$$Zo = 90^{\circ} - V_{\mathbb{M}}$$

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

$$\Delta s = S\odot - S\odot$$

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

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

$$\cos D = \sin \delta\odot * \sin \delta\odot + \cos \delta\odot * \cos \delta\odot * \cos \Delta s$$

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

Sunce

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

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

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

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

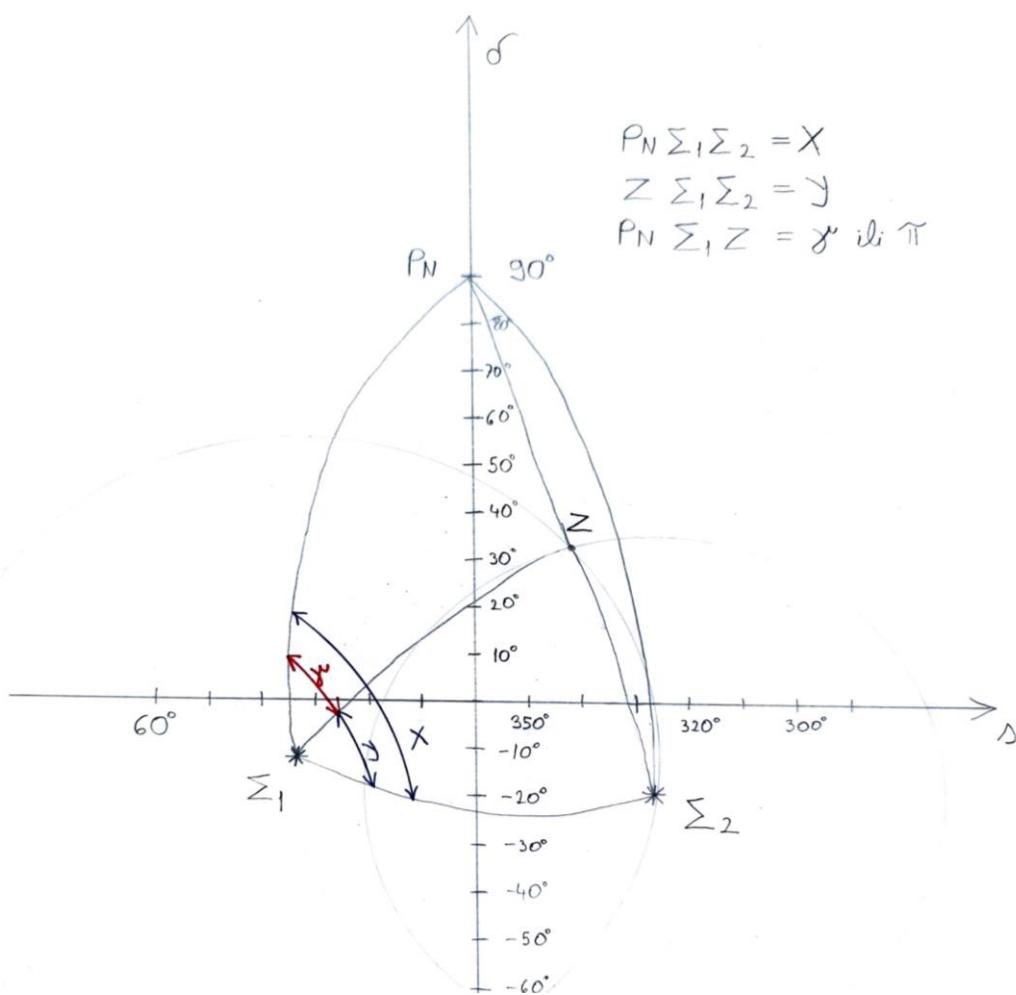
Mjesec

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

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

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

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



Skica 5. Grafički prikaz 5. zadatka

Izvor: Izradio sam autor

Sunce

$$Y_\odot = x_1 - y_1$$

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

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

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

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

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

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

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

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

Mjesec

$$Y_\odot = x_2 - y_2$$

$$Y_\odot = 94^\circ 32' 36, 86'' - 80^\circ 37' 11, 96''$$

$$Y_\odot = 13^\circ 55' 24, 9''$$

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

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

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

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

$$\lambda = s + S_\odot$$

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

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

6. Zadatak

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

Sunce

$$\begin{array}{ll} \text{Tk}= 14:01:02 & \delta_{\odot} = -8^{\circ} 52, 9' \quad (\text{d}= -0, 9) \\ \text{st}= 00:00:58 & I = -0, 0' \\ \hline \text{Ts}= 14:02:00 & \delta_{\odot} = -8^{\circ} 52, 9' \end{array}$$

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

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

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

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

$$ki = -0, 3'$$

$$\text{corr} = +25, 2'$$

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

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

Mjesec

$$\begin{array}{ll} \text{Tk}= 14:01:12 & \delta_{\odot} = -12^{\circ} 39, 1' \quad (\text{d}= 8, 2) \\ \text{st}= 00:00:58 & I = -0, 3' \quad (\pi= 57, 3') \\ \hline \text{Ts}= 14:02:10 & \delta_{\odot} = -12^{\circ} 38, 8' \end{array}$$

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

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

$$\hline S_{\odot} = 39^{\circ} 54, 7'$$

$$II = +0, 4'$$

$$\hline S_{\odot} = 39^{\circ} 55, 1'$$

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

$$ki = -0, 3'$$

$$\text{corr} = +67, 3'$$

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

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

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

$$Zo = 71^{\circ} 30, 1'$$

$$\Delta s = S\odot - S\odot$$

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

$$\cos D = \sin \delta\odot * \sin \delta\odot + \cos \delta\odot * \cos \delta\odot * \cos \Delta s$$

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

Sunce

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

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

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

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

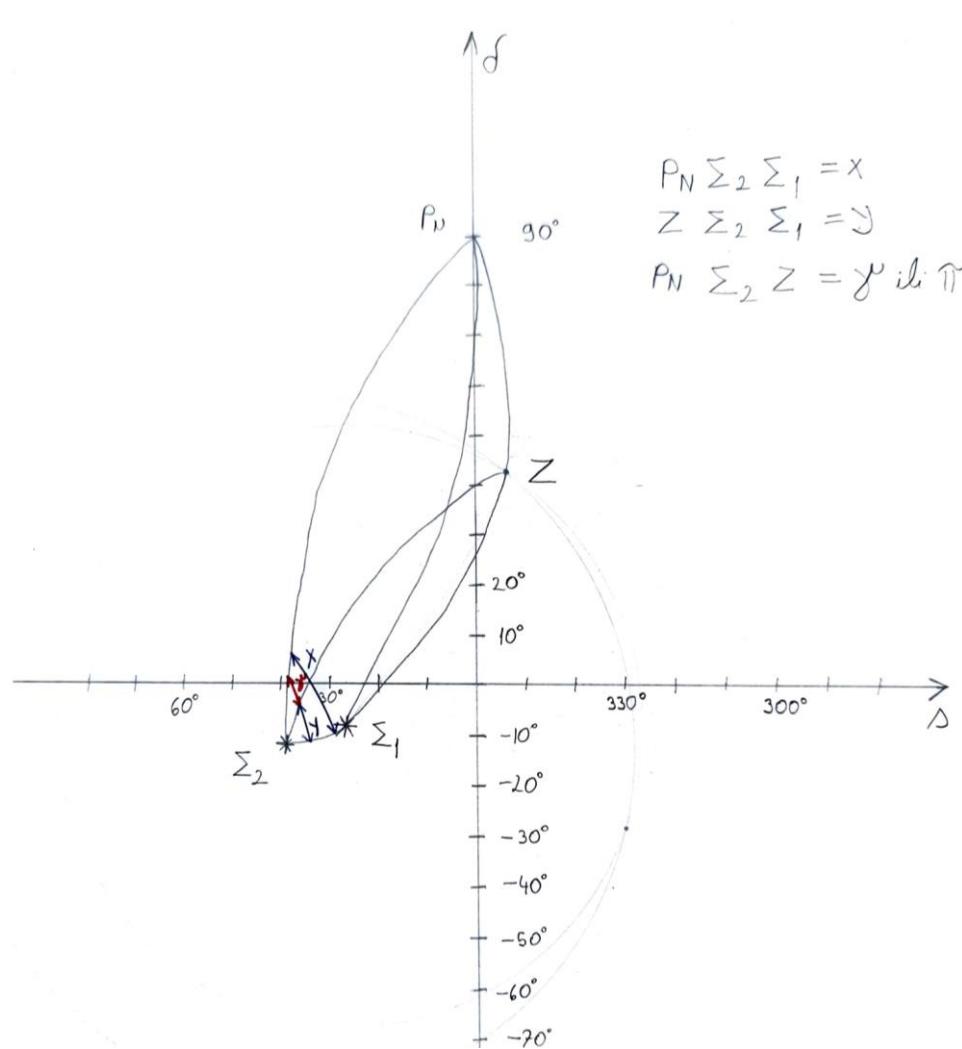
Mjesec

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

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

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

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



Skica 6. Grafički prikaz 6. zadatka

Izvor: Izradio sam autor

Sunce

$$Y\odot = x_1 - y_1$$

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

$$Y\odot = 37^\circ 12' 2, 05''$$

$$\sin \phi = \sin \delta\odot * \sin V\odot + \cos \delta\odot * \cos V\odot * \cos Y\odot$$

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

$$\cos s = \frac{\sin V\odot - \sin \delta\odot * \sin \phi}{\cos \delta\odot * \cos \phi}$$

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

$$\lambda = s - S\odot$$

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

Mjesec

$$Y\odot = x_2 - y_2$$

$$Y\odot = 74^\circ 25' 3, 044'' - 31^\circ 39' 49, 09''$$

$$Y\odot = 42^\circ 45' 13, 95''$$

$$\sin \phi = \sin \delta\odot * \sin V\odot + \cos \delta\odot * \cos V\odot * \cos Y\odot$$

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

$$\cos s = \frac{\sin V\odot - \sin \delta\odot * \sin \phi}{\cos \delta\odot * \cos \phi}$$

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

$$\lambda = s - S\odot$$

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

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_{\odot} . 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 \odot . 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 zadatka. 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 zanjiše lijevo i desno kako bi se u trenutku lakše ocijenio taj dodir. Ako je Sunce na velikoj visini, namjeste 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 poslje 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 stadja 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, astronomска 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 njen je poznавање 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, Hidrografska 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 D. 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 mjerjenjima 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