

GRAFIČKO RJEŠAVANJE NAUTIČKOG TROKUTA

ANDRIJA IVANČAN — Zagreb

RJEŠAVANJE VISINE I AZIMUTA

1.

Poznato je numeričko rješavanje nautičkog ili astronomskog trokuta s pomoću formule:

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t, \text{ i}$$

$$A = \frac{\cos \delta \sin t}{\cos h};$$

ako je:

h = visina zvijezde

φ = geografska širina promatrača

δ = deklinacija zvijezde

t = satni kut zvijezde

A = azimut zvijezde

Za rješavanje tih formula potrebno je više matematičko obrazovanje te duži i zamorniji rad.

Grafička metoda, koju u ovom članku izlažemo, omogućuje većem krugu ljudi, da s udobnošću i brzinom dođu do željenih rješenja.

2.

Grafičko rješavanje nautičkog trokuta izvodi se s pomoću ortogonalnih projekcija nebeskoga svoda na ravninu horizonta. Na otvorenom moru ili u ravnici ta ravnina je krug. Da rješavanja budu udobnija, obodnica horizonta razdijeljena je u 360° .

Lako si predočimo, kakav oblik u ortogonalnoj projekciji poprimaju nebeske paralele i meridijani, vertikalni, zvijezde te zenit.

Nebeske paralele najčešće su elipse, iznimno kružnice i dužine. Nebeski meridijani su poluelipse, iznimno polukružnice i dužine.

Projekcije vertikalna su polumjeri horizonta.

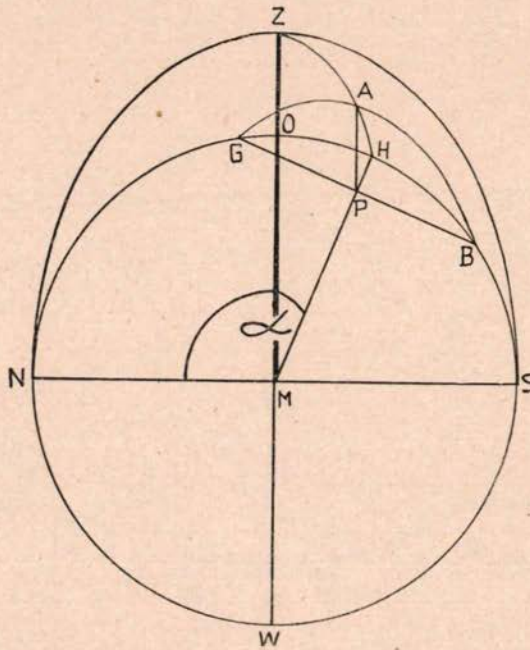
Projekcija zenita je tačka u središtu horizonta, ujedno stajalište promatrača

Projekcije zvijezda su tačke na pojedinim mjestima ravnine horizonta.

Predočivanje azimuta, visine, deklinacije i satnoga kuta zvijezde te geografske širine promatrača:

Azimut označuju stupnjevi horizontove linije (obodnice horizonta). Broje se od sjeverne tačke (preko istočne i preko zapadne) do južne tačke. Sjeverna tačka obilježena je s 0° , a južna sa 180° . Negdje je uobičajenoj obratno brojenje: od južne tačke (0°) do sjeverne tačke (180°).

Kut azimuta zatvaraju dva vertikala (sl. 1). Jedan je uvijek dio mjesnoga nebeskog meridijanskog kruga (NMZ), a drugi je onaj, na kojem se



Slika 1 — M = središte horizonta — stajalište promatrača —

NWSO = obodnica horizonta

NZS = nebeski svod

NMZ } = vertikali

ZMH }

NM } = projekcije vertikala

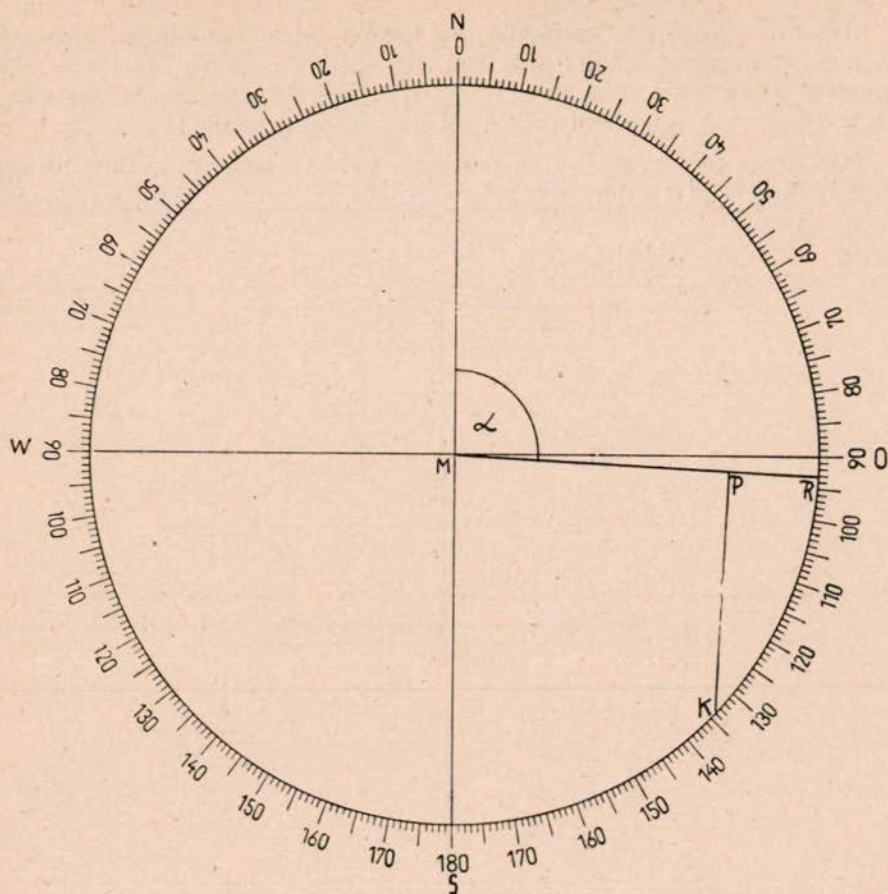
MH }

α = kut azimuta

nalazi zvijezda (ZMH). Oni zatvaraju kut α . Njihove projekcije prelaze u radiuse NM i MH. One također zatvaraju kut α ili NMH. Radius, na kojem se nalazi projekcija zvijezde A (tač P) zvat ćemo radius azimuta.

Visinu predočuje luk horizontove linije između krajnje tačke radiusa azimuta (MH) i okomice na nj povučene iz projekcione tačke zvijezde (P) do horizontove linije (tač. B ili G).

To si još lakše predočimo s pomoću sl. 2. Kut azimuta jednak je NMR ili α . MR = radiusu azimuta. P = projekciona tačka zvijezde. PR = okomica na radius azimuta iz tačke P. Luk PK = visini zvijezde.



Slika 2

Deklinacije predočuju projekcije paralela. Od ekvatora do sjevernog pola one se označuju kao pozitivne (0° do 90°), a od ekvatora do južnog pola ako negativne (0° do -90°).

Satne kutove označuju projekcije meridijana, a broje se od mjesnoga meridijana (0°) na istok 180° i na zapad 180° . Prema tome oni su istočni ili zapadni.

Geografsku širinu predočuje projekcija one nebeske paralele, koja prolazi zenitom promatrača.

4.

Grafičko rješavanje visine zvijezde s pomoću ortogonalne projekcije temelji se na ovoj činjenici (sl. 1):

Svaki polumjer horizonta ujedno je polumjer nebeskoga svoda. Ako se u jednoj tački (P) polumjera horizonta (MH) do linije horizonta povuče okomica (PB ili PG) i zatim se ta okomica oko polumjera okrene prema gore za 90° , na nebeskom svodu dobije se tačka, čija je visina jednaka, dijelu horizontove linije (luku) između krakova pravoga kuta (AH = HB ili HG).

Ako je ta tačka (A) zvijezda, onda je njezina visina jednaka luku horizontove linije (HB ili HG), koji je omeđen krajnom tačkom radiusa azimuta (H) i krajnom tačkom okomice na nj (tač. B ili G) povučenom iz projekcione tačke zvijezde (P).

5.

Naprijed je već navedeno, da u većini slučajeva projekcije dnevnih staza zvijezda su elipse. Te pak elipse određuju se pomoću dviju osi. Zato je prema postupku najvažnije odrediti smještaj i dužinu osi.

Određivanje sporedne i glavne osi elipse.

S P O R E D N A O S :

S M J E Š T A J : Sporedna os smještena je na dužini sjever — jug.

V E L I Č I N A : Dužina sporedne osi omeđena je projekcionim tačkama, gornje i donje kulminacije zvijezde. Obje te kulminacije nalaze se na mjesnom meridijanskom krugu. Projekcija mjesnoga meridijanskog kruga na ravninu horizonta je dužina sjever—jug. Zato i projekcije obih kulminacija leže na dužini sjever—jug.

G L A V N A O S :

S M J E Š T A J : Glavna os leži na simetrali sporedne osi. Za deklinacije $\delta = 0^\circ$ glavna se os za sve geografske širine poklapa s dužinom istok—zapad. Za ostalih deklinacija promatraču s pola glavna os je dio dužine istok—zapad. U svim ostalim geograf. širinama glavna os je dužina usporedna s dužinom istok—zapad. Ako je deklinacija pozitivna, glavna os se nalazi sjeverno od dužine istok—zapad, a ako je negativna, nalazi se južno od dužine istok—zapad.

V E L I Č I N A : Dužinu glavne osi omeđuju dvije dužine usporedne s dužinom sjever—jug i jednako su udaljene od nje. Krajnje tačke tih dviju dužina udaljene su od istočne i zapadne tačke onoliko stupnjeva, kolik je kut deklinacije (δ).

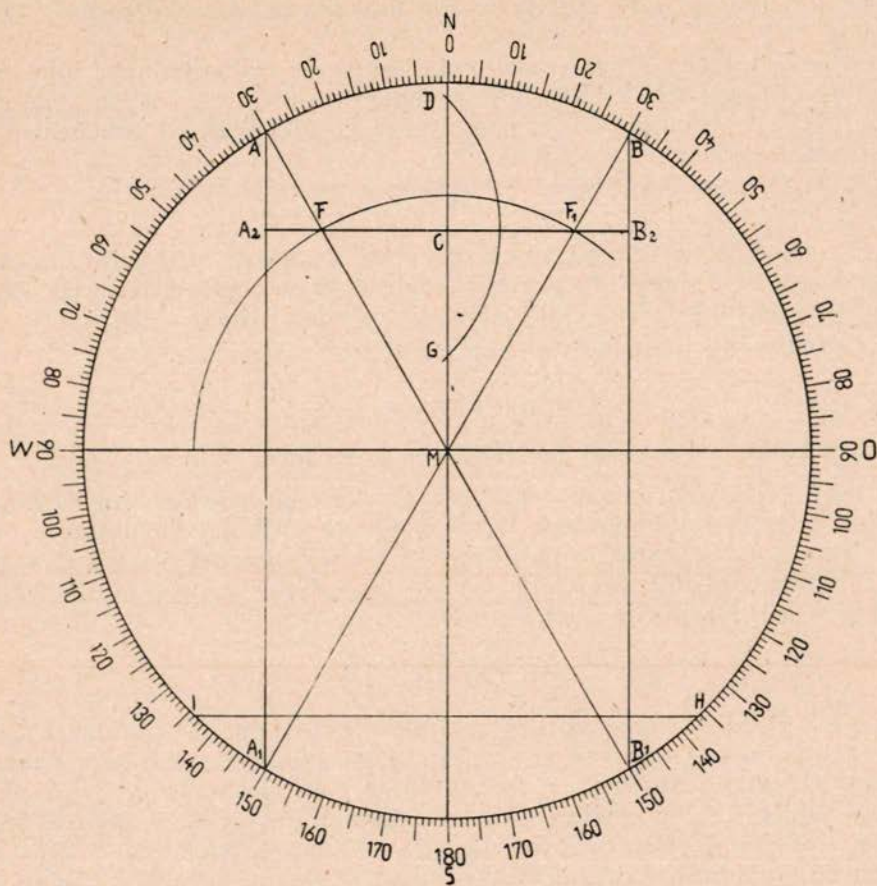
Grafička metoda, koju iznosimo ovdje, pokazuje postupak kako se za elipse (projekcije dnevnih staza zvijezda) najlakše odredi glavna os i fokusi na njoj. Potom se lako obilježe projekcije donje i gornje kulminacije zvijezda odnosno krajnje tačke sporedne osi te se konačno ucrtaju satni kut.

U izvođenju postupka poslužiti ćemo se ovim konkretnim zadatkom:

Kolika je visina i azimut zvijezde, ako je satni kut $t = 30^\circ$, deklinacija $\delta = 60^\circ$ i geografska širina $\varphi = 46^\circ$.

a) Mehaničko izvođenje (sl. 3)

1. U krugu s obodnicom razdijeljenom u stupnjeve (u horizontu) ucrtaju se dužine sjever — jug (NS) i zapad — istok (WO).



Slika 3

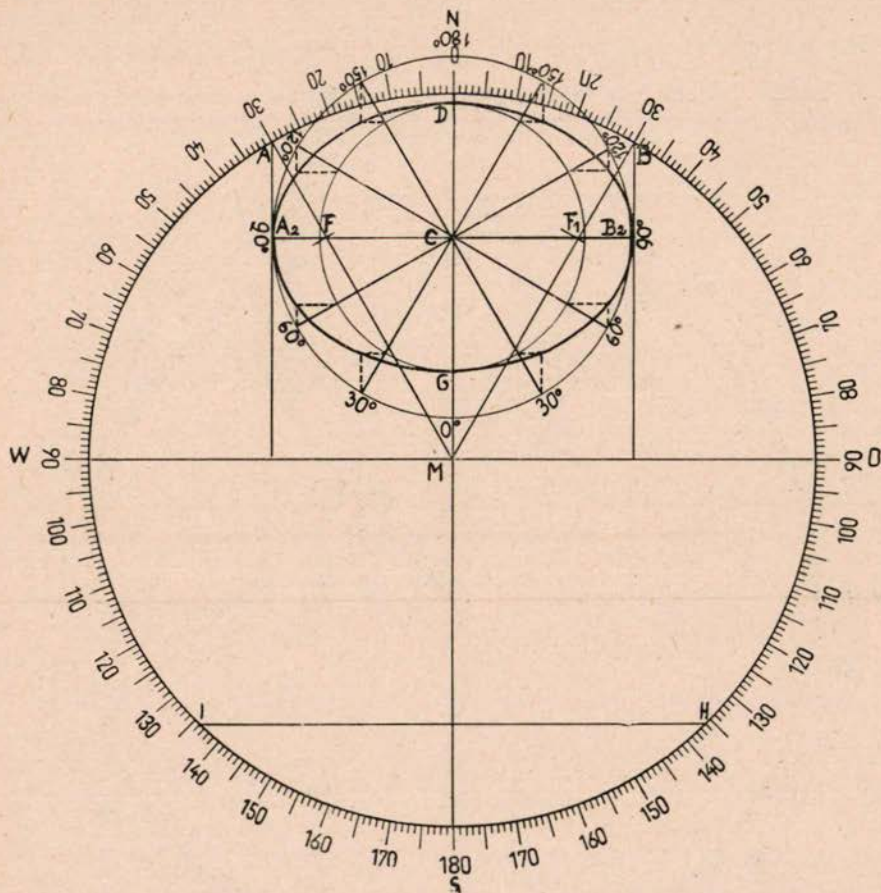
2. Od istočne i zapadne tačke prema sjeveru i jugu odbroje se stupnjevi deklinacije i dobiju tačke A, A₁, B i B₁. Tačke A i A₁ spoje se u dužinu. Isto tako i tačke B i B₁. Te dvije dužine usporedne su s dužinom NS i čine granicu glavne osi elipse.

3. Tačka A spoji se s tačkom B₁ u dužinu. Isto tako i tačka B s tačkom A₁. Dobiju se četiri radiusa: AM, BM, MA₁ i MB₁. Na radiusima AM i BM nalaze se fokusi na glavnoj osi elipse za deklinaciju $\delta = 60^\circ$.

4. Ucrta se dužina IH. To je prostor geografske širine $\varphi = \pm 46^\circ$. Zatim se iz središta horizonta (iz tač. M) povuče luk kružnice s radiusom geografske širine. Taj luk siječe radius AM i BM u tačkama F i F₁. Tačke F i F₁ označuju fokuse na glavnoj osi elipse.

satnoga kuta i zvat ćemo ga krak satnoga kuta. U našem zadatku ucrtan je satni kut $t = 30^\circ$.

3. (Sjetimo se, da cijelu elipsu možemo konstruirati s pomoću dvije koncentrične kružnice (sl. 5). Jedna je s radiusom polovine kraće osi, a druga s radiusom polovine duže osi).



Slika 5

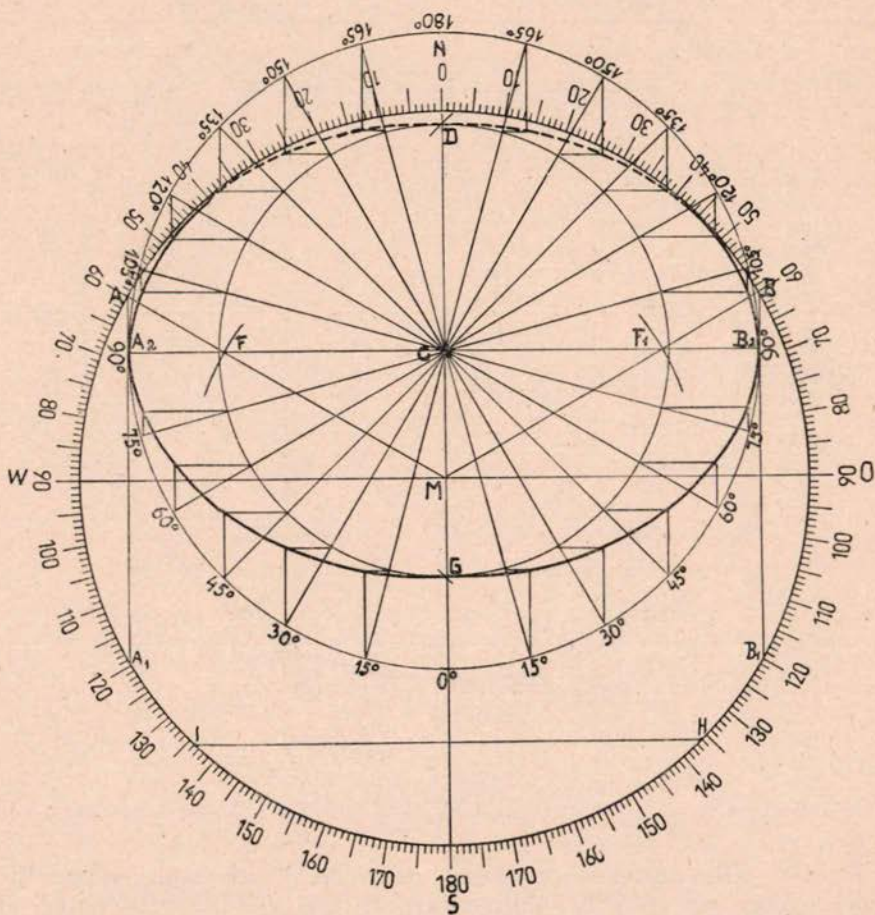
Preko kraka satnoga kuta Ct_1 iz središta osi (tač. C) povuče se luk s radiusom CG i s radiusom CB_2 .

4. Iz sjecišta kraka satnoga kuta s lukom radiusa sporedne osi (iz tač. L) povučemo usporednicu s glavnom osi elipse (LP crtano), a iz sjecišta kraka satnoga kuta s lukom radiusa glavne osi (iz tač. E) usporednicu sa sporednom osi (EP crtano). Gdje se te usporednice (s glavnom i sporednom osi) sijeku, tu je projekciona tačka zvijezde tač. P).

5. Kroz tačku P povuče se radius MR. Gdje on dotiče obodnicu horizonta (u tač. R), taj stupanj pokazuje kut azimuta ($A = 40,8^\circ$).

6. Na radius azimuta u tač. P povuče se okomica PK do obodnice horizonta (do horizontove linije). Dio obodnice horizonta, koji omeđuju tačke R i K predočuje visinu zvijezde. U našem zadatku visina zvijezde $h = 67,29,9^\circ$.

Ovdje bismo se ponovo osvrnuli na sl. 5. Deblje izvučena elipsa nigdje ne dotiče horizontove linije, zvijezda je cirkumpolarna.



Slika 6

Sl. 6 predočuje projekciju dnevne staze zvijezde, koja zalazi. U tom je zadatku geografska širina $\varphi = 46^\circ$, a deklinacija $\delta = 30^\circ$. Kontinuirani dio elipse predočuje projekciju dijela dnevne staze iznad horizonta, a crtkani ispod horizonta.

Treće: Fokusi na glavnoj osi:

a) za jednu deklinaciju u odnosu na sve geografske širine ($\varphi =$ od 0° do $\pm 90^{\circ}$) nalaze se na radiusima deklinacije (MA, MB, MA₁ i MB₁). (Radius deklinacije je onakav krak kuta deklinacije, koji ne leži na pravcu istok—zapad). Ako je deklinacija pozitivna fokusi se nalaze na radiusima MA i MB, a ako je negativna, na radiusima MA₁ i MB₁.

b) za jednu geografsku širinu u odnosu na sve deklinacije ($\delta =$ od 0° do $\pm 90^{\circ}$) nalaze se na kružnici povučenoj iz središta horizonta radiusom te geografske širine.

Četvrto: Razlikovanje gornje i donje kulminacije:

Ako je geografska širina sjeverna — projekciona tačka gornje kulminacije južnija je od projekcione tačke donje kulminacije.

Promatraču s ekvatora projekcije gornje i donje kulminacije padaju u istu tačku, a promatraču s polova projekcije dnevnih staza su kružnice. Zato su im zvijezde uvijek iste visine.

Ako je geografska širina južna — projekciona tačka gornje kulminacije sjevernija je od projekcione tačke donje kulminacije.

Napomena: Praktična primjena opisane grafičke metode svestrano je dosad ispitana samo u arhitekturi i urbanizmu. Na njezinom temelju konstruirana je shema, s pomoću koje se u svim slučajevima može tačno i precizno utvrditi dužina i jačina osunčanja ili insolacije, zaštita od insolacije i trajanje zasjenjivanja zgrada i slobodnih površina (trgova, igrališta, parkova itd.).

Pored toga za svaku geografsku širinu lako i udobno se izvode konstrukcije ortogonalnih projekcija meridijanskih krugova, a također i cijele stupanjske mreže. U njih ucrtane situacije daju azimutne karte.

Opravdano se pretpostavlja, da će praktičnih primjena biti i na drugim područjima ljudske djelatnosti.