

# **Nebesno gibanje Sonca**

*Marjan Divjak*

## **1. Uvod**

Sonce nenehno vzhaja izza obzorja, se dviguje na nebo (kulminira) in zahaja nazaj za obzorje. Vsakič prinese s seboj svetlobo in toploto ter ju s seboj tudi odnese. Tako ustvarja zaporedje svetlih in temnih obdobj, (belih) dnevov in noči. Časovno obdobje med dvema zaporednima kulminacijama poimenujemo sončni dan.

Vsakdanja opazovanja pokažejo, da se višina kulminacij počasi spreminja med neko najnižjo in neko najvišjo vrednostjo, pri čemer ostaja vedno nad isto točko obzorja, jugom. V dneh, ko je kulminacija visoka, so dnevi vroči; rečemo, da je takrat poletje. Kadar pa je kulminacija nizka, so dnevi mrzli in imamo zimo. Vmes umestimo še pomlad in jesen. Tako je gibanje Sonca združeno tudi z menjavo letnih časov.

Dvakrat v nizu štirih letnih časov, na nek pomladni in jesenski dan, kulminira Sonce na sredini med največjo in najmanjšo višino. Dolžina sončne poti po nebu nad obzorjem je takrat enaka njeni dolžini pod obzorjem. Rečemo, da sta (beli) dan in noč enako dolga oziroma da je ta dan enakonočje, ekvinokcij. Časovno obdobje med dvema zaporednima pomladnima enakonočjema poimenujemo sončno leto.

Vsakdo iz lastne izkušnje ve, da navedene trditve držijo. Bolj malo pa jih je, ki bi opisane pojave sami izmerili in kvantitativno raziskali. Vse to so kajpak že storili starodavniki in nič novega ni pričakovati. Vendar pa ima merjenje in računanje z lastnimi rokami - v nasprotju z branjem - poseben čar in pri tem se mnogočesa naučimo. Zarišimo torej južno smer na tleh opazovališča! Izmerimo višino kulminacije Sonca v posameznih dneh preko celega leta! Kateri dan je pomladno in kateri jesensko enakonočje? Preštejmo, koliko dni se zvrsti v enem letu! Izmerimo, ali / koliko Sonce prehiteva ali zaostaja za referentno uro preko celega leta!

## **2. Gnomon in jug**

Ker je Sonce zelo svetlo, vanj ne moremo gledati. Njegovo lego zato določimo posredno: preko sence, ki jo na vodoravna tla meče navpično postavljena palica. To je gnomon. Je najstarejši in najpreprostejši astronomski merilnik in poznali so ga že v Mezopotamiji in Egiptu pred več tisoč leti.

Izdelati gnomon je preprosto. Sam sem se odločil, da ga postavim kar na domačem prisojnem balkonu. Tla balkona so že udobno gladka in vodoravna, kakor pokaže vodna tehtnica. Na steber balkonske ograje sem

privezal kratko aluminijasto cev in jo utrdil v približno navpični legi. Dolžina cevi je znašala okrog 30 cm in njen premer 1 cm. Na njen vrh sem nataknil stiroporno kroglico premera okrog 2 cm. Tako dobi senca na tleh elipsoiden vrh, ki mu lahko natančno določimo središče. S svinčnico sem nato določil še talno projekcijo kroglice in jo primerno označil. Višina središča kroglice nad tlemi, torej višina gnomona, izmerjena z metrom, je znašala nekaj čez 1 meter.

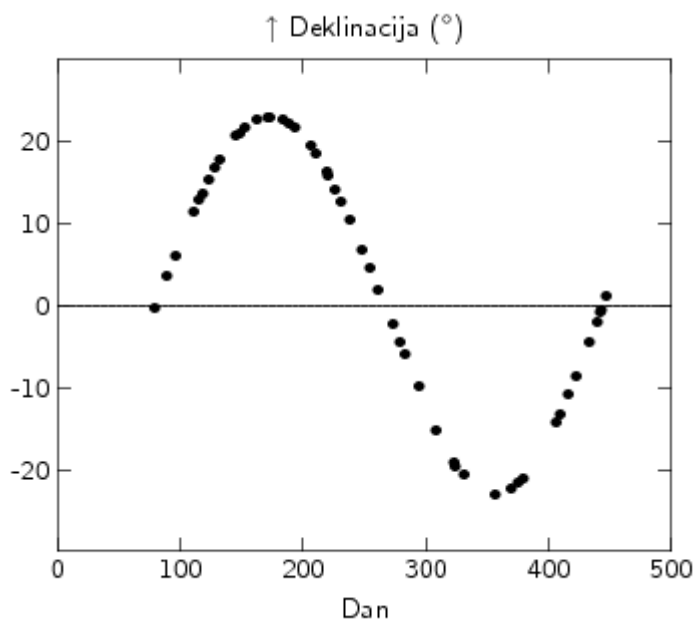
Pri postavljenem gnomonu je najprej treba določiti smer proti jugu. To sem storil takole. Na sončen poznopoletni dan sem opazoval vrh sence, ko se je gibal po tleh, in s flomastrom označeval njegove zaporedne lege. To sem naredil nekajkrat, dokler se je senca krajšala. Potem sem izbral najkasnejšo izmed dopoldanskih leg ( $A$ ), iz nožišča gnomona ( $O$ ) do nje potegnili vrstico ter z njeno pomočjo začrtal na tleh kratek popoldanski lok krožnice z istim radijem. Ko je vrh sence popoldne dosegel ta začrtani lok, sem stično točko ( $B$ ) označil. Povezavo med obema točkama  $A$  in  $B$  sem nato razpolovil – kar s pomočjo vrvice in njenega prepogiba na pol – ter tako dobil točko  $N$ . Premica skozi  $O$  in  $N$  kaže smer sever-jug. Postopek sem ponovil še z drugimi dopoldanskimi točkami, pridelal več razpolovnih točk in skozi njih po občutku zarisal optimalno smer. Pokazalo se je, da so bili graditelji balkona tudi poznavalci astronomije, saj je usmerjen natanko na jug.

### 3. Deklinacija Sonca

Meritve kulminacij Sonca so potekale od 19. 3. 2008 do 22. 3. 2009 po uradnem gregorijanskem koledarju, kot je sedaj v veljavi pri nas. Začele so se tik pred enim pomladnim enakonočjem in končale tik za naslednjim, kakor bo v nadaljevanju razvidno iz izmerkov. Skupaj je bilo opravljenih 49 meritev, seveda takrat, ko je vreme to dopuščalo.

Pred vsako opoldansko meritvijo sem najprej preveril višino in navpičnost gnomona. Nato sem čakal na trenutek, ko je senca gnomona padla natanko na označeno smer sever-jug in takrat zabeležil ter nato izmeril dolžino sence. Človek si ne bi mislil, kako hitro leze takšna senca. Prav tako je treba doživeti občutek, ko edini oblak na celem nebu pokrije Sonce prav takrat, ko tega ni treba! Z višino gnomona  $h$  in izmerjeno dolžino sence  $b$  je določena višina kulminacije  $\varphi$ :  $\tan \varphi = h/b$ . Pozimi je postala senca daljša od širine balkona in moral sem jo meriti po navpični steni.

Analiza izmerkov pokaže, da višine kulminacij nihajo med najnižjo vrednostjo  $21,5 \pm 0,5^\circ$  in najvišjo  $67,6 \pm 0,5^\circ$ . S tema dvema vrednostima je določena njuna sredina,  $44,6 \pm 0,5^\circ$ . Višine kulminacij torej nihajo okrog te srednje vrednosti z amplitudo  $23,0 \pm 0,5^\circ$  navzgor in navzdol. To so vsakodnevne (kulminacijske) deklinacije Sonca. Grafično so prikazane na sliki 1.



Slika 1: Izmerjene opoldanske deklinacije Sonca. Dnevi so zaporedno oštevilčeni. Dan 1 je 1. januar 2008.

Dnevi z meritvami so nanizani na vodoravni osi. Vsak dan je označen s svojo zaporedno številko, pri čemer dan 1 pomeni 1. januar 2008. Iz izmerkov z interpolacijo določimo, da so deklinacije Sonca enake nič ob dnevih 80, 266 in 445 z natančnostjo okrog  $\pm 1$  dan. Ti dnevi so enakonočja. Prvo in tretje sta pomladni, ker deklinacije naraščajo, drugo je jesensko. Obrate oziroma solsticije (dneve, ko je deklinacija največja ali najmanjša) je težje določiti, ker se okrog njih deklinacija spreminja zelo počasi. Med pomladnima enakonočjema leži  $365 \pm 1$  dni in to je tudi dolžina enega leta. Topla polovica leta – med pomladnim in jesenskim enakonočjem – in hladna polovica nista enako dolgi: prva je za  $7 \pm 1$  dni daljša.

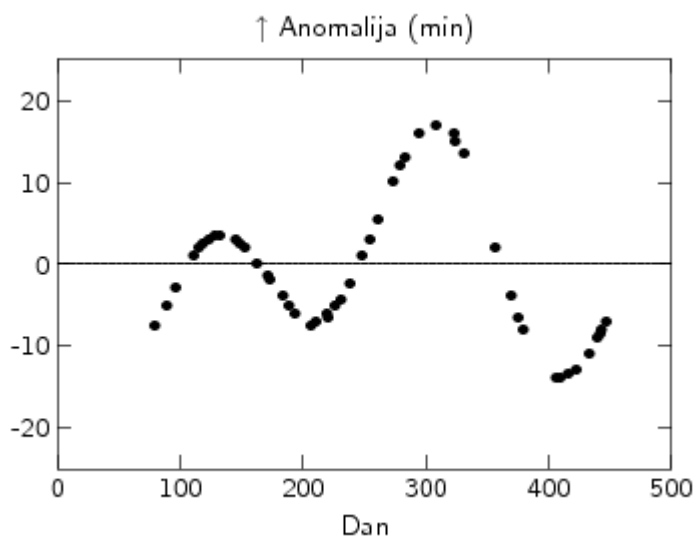
Zanimivo je videti, kako ob enakonočju zariše senca gnomona po tleh ravno črto zahod-vzhod. V drugih dneh so črte hiperbole in ležijo na eni ali drugi strani enakonočne črte, pri čemer so njihova temena vedno obrnjena proti njej.

#### 4. Časovna anomalija Sonca

Zaporedne kulminacije Sonca so tiktakanje nebesne ure. Ali so časovna obdobja med dvema zaporednima kulminacijama enako dolga, to je, ali nebesna ura teče enakomerno, ne vemo, dokler je ne primerjamo s kako drugo, standardno uro. Tipične standardne ure so: mehanska ura na težno ali vzmetno nihalo, električna ura s kremenovim kristalom in atomska ura, pri kateri v resonatorju nihajo mikrovalovi. Pomembno je, da taka ura kaže "čimbolj enakomerne" korake ter da je možno nastavljanje njihovo trajanje. Tovrstne ure so nameščene v časomernih laboratorijih po svetu.

Standardna ura je nastavljena tako, da med dvema zaporednima pomladnima prehodoma Sonca preko deklinacije  $0^\circ$ , opazovanima skozi daljnogled, pokaže časovno obdobje 365,24 "povprečnih" dni, s čimer je povprečni dan tudi definiran. Zakaj takšna številka? Zato, ker sončno leto ne traja natanko 365 dni, kakor smo izmerili, pač pa še del dneva zraven: v 100 letih bi namreč našli 36524 dni. S povprečnim dnem je definirana ura kot  $1/24$  dneva, minuta kot  $1/60$  ure in sekunda kot  $1/60$  minute.

Ob vsaki opazovani kulminaciji sem poleg dolžine sence izmeril še njen čas po standardni greenwiški uri. To je ura s tako označeno skalo, da kaže vrednost 12 h 0 min kot povprečni čas kulminacij, opazovanih v Greenwichu. Meril sem z navadno ročno uro, ki sem jo občasno primerjal s standardom na televiziji. Analiza izmerkov pokaže, da so kulminacije nastopale ob časih med 10 h 44 min in 11 h 15 min. Povprečni čas kulminacij v Ljubljani preko 365 dni znaša 11 h 1 min; integral odmikov od tega povprečja je namreč enak nič. To pomeni, da je ob časih 11 h 1 min Sonce kasnilo do poldnevnika za največ 14 minut ali ga prehitevalo za največ 17 minut. To so (kulminacijske) anomalije Sonca. Grafično so prikazane na sliki 2.



Slika 2: Izmerjene opoldanske časovne anomalije Sonca. Dnevi so zaporedno oštevilčeni. Dan 1 je 1. januar 2008.

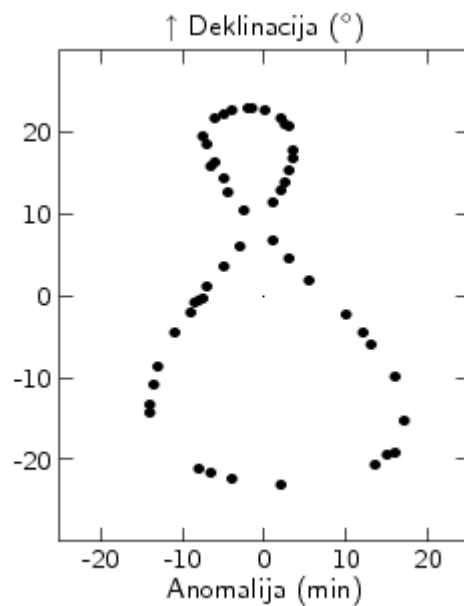
Na vodoravni osi so označeni dnevi, vsak s svojo zaporedno številko. Iz izmerkov z interpolacijo določimo, da so anomalije Sonca enake nič ob dnevih 107, 162, 245 in 360 z natančnostjo  $\pm 1$  dan. Vmesni lokalni ekstremi znašajo 3,5,  $-7,5$ , 17,0 in  $-14,0 \pm 0,5$  min.

Primerjava sončne in standardne ure kaže, da se med seboj razlikujeta. Če standardno uro proglasimo za enakomerno, se sončna ura pokaže za neenakomerno. Kako pa vemo, da je standardna ura res enakomerna? Tega seveda vnaprej ne moremo vedeti. Vemo le, da lahko neenakomernost

sončne ure obrazložimo (z različno hitrim gibanjem Zemlje okrog Sonca po elipsi in z nagnjenostjo osi vrtenja), obratno pa ni res. To nam daje pravico, da proglasimo standardno uro za bolj enakomerno od sončne.

## 5. Analema Sonca

Ob vsaki kulminaciji ima Sonce neko deklinacijo in neko anomalijo. Njuno medsebojno odvisnost kaže slika 3. To je analema Sonca. Dobili bi jo, če bi vsak dan ob 11 h 1 min fotografirali Sonce na nebu in slike naložili drugo vrh druge.



Slika 3: Izmerjena analema Sonca med pomladnima enakonočjema 2008 in 2009.

Analema kaže navpične in vodoravne odmike Sonca od srednje lege. Prvi so precej večji od drugih, saj ustreza 1 minuta premiku za 1/4 stopinje. Fotografirana analema bi bila zato ožja od prikazane.

## 6. Zaključki

Z gnomonom in uro izmerjene kulminacije Sonca v Ljubljani pokažejo naslednje glavne značilnosti.

Dolžina leta znaša  $365 \pm 1$  dan. Bolj natančno vrednost bi dobili s štetjem dni preko več pomladnih enakonočij, recimo deset ali sto.

Srednja višina kulminacij znaša  $44,6 \pm 0,5^\circ$  in srednji čas kulminacij 11 h 1 min  $\pm 1$  min po greenwiški uri. To pomeni, da je višina severnega nebesnega pola  $45,4 \pm 0,5^\circ$  in da kaže lokalna ura  $59 \pm 1$  min več kot greenwiška.

Amplituda deklinacij okrog srednje vrednosti je  $23,0 \pm 0,5^\circ$ .

Časovna anomalija okrog lokalnega srednjega poldneva znaša med  $-14$  in  $+17$  min z natančnostjo  $\pm 1$  min. Ob 12 h 0 min po lokalni uri torej Sonce zaostaja / prehiteva za lokalnim nebesnim poldnevnikom od  $-3$  do  $+4^\circ$ .

Vse našete vrednosti se v okviru svojih napak dobro ujemajo z bolj natančnimi izmerki, ki jih najdemo zapisane v astronomski literaturi.