

Milutin Tadić

Analematski sunčani časovnici

nauka i zabava

Akadska misao

■ ANALEMATSKI SUNČANI ČASOVNICI

Milutin Tadić

ANALEMATSKI SUNČANI ČASOVNICI

nauka i zabava

Izdavač

Akadska misao

Za izdavača

Marko Vujadinović

Recenzenti

Lektor

prof. dr Valentina Pitulić

Dizajn, tehnička priprema i korice

Milutin Tadić

Fotografije (izuzev fotografija u Prilozima)

Milutin Tadić

Tiraž: 300

ISBN 978-86-7466-879-5

Štampa: Planeta print, Beograd

Mesto i godina izdanja: Beograd, 2021.

Ovo delo se ne sme umnožavati, fotokopirati i na bilo koji drugi način reprodukovati, ni u celini, ni u delovima, bez pismenog odobrenja izdavača.

SADRŽAJ

PREDGOVOR

I KLJUČNI POJMOVI GNOMONIKE 7

Intermeco: Kako se ne pravi sunčani časovnik 10

II KOORDINATNA GEOMETRIJA NA ZEMLJINOJ LOPTI I NEBESKOJ SFERI 11

Geografski koordinatni sistem 11

Koordinatni sistemi na nabeskoj sferi 13

Horizontski koordinatni sistem 14

Ekvatorski koordinatni sistem 16

Intermeco: Isti azimut senke pri različitim časovnim uglovima 18

III PRIVIDNO KRETANJE SUNCA 18

Prividno dnevno kretanje sunca 19

Prividno dnevno kretanje sunca tokom godine 21

Prividno godišnje kretanje sunca 23

Izračunavanje elemenata sunčeve geometrije 24

Izračunavanje horizontskih koordinata sunca (h , A) 26

Izračunavanje dužine obdanice ($T_{\odot}$) 27

IV ČASOVNI SISTEMI 30

Zvezdani dan i pravi sunčev dan 30

Pravo sunčevo vreme 31

Srednje sunčevo vreme 31

Lokalno i zonalno vreme 32

Novovekovna analema 34

„Analema” u analemi” 33

Analema u gnomonskoj projekciji 36

V ANALEMA 40

Određivanje dužine obdanice 42

Određivanje horizontskih koordinata sunca 43

Horizontske koordinate sunca i polarne koordinate kraja senke gnomona 45

Intermeco: Analemataska projekcija 50

VI GEOMETRIJSKA KONSTRUKCIJA SKALE ANALEMATSKOG ČASOVNIKA 51

VII PRORAČUN ANALEMATSKOG ČASOVNIKA 55

Dimenzije analematске elipse 55

Brojčanik 55

Polarne koordinate 55

Pravougle koordinate 58

Datumska skala 58

VIII IZRADA ANALEMATSKOG ČASOVNIKA 65

1. Izbor mesta za postavljanje časovnika 65
2. Određivanje geografskih koordinata 66
3. Određivanje podnevačke linije 66
4. Određivanje dimenzija analematske elipse 67
5. Konstrukcija analematske elipse 68
6. Raspored časovnih podeljaka 70
7. Konstrukcija datumske skale 72
8. Izbor dopunskih sadržaja 73
9. Likovno oblikovanje 75
10. Demonstracija rada 76

Intermeco: Analematски časovnici: studentski radovi 77

IX ANALEMATSKI ČASOVNIK KAO NASTAVNO SREDSTVO 78

- Prvi ciklus osnovnog obrazovanja 79
- Drugi ciklus osnovnog obrazovanja 79
- Srednje obrazovanje 80

PRILOZI 81

1. Elementi skale analematskog časovnika za najveće gradove Srbije 81
2. Analematske skale za pravo sunčevo vreme na raznim geografskim širinama 82
3. Primeri analematskih časovnika (iz foto albuma Miloša Noseka, Češka) 83
4. Primeri analematskih časovnika (iz foto albuma Petera Ransoma, UK) 84
5. Analematски časovnik iz Nianhagen (Nianhagen), Nemačka (Siegfried Rasper, 2014) 85
6. Primeri analematskih časovnika (Renzo Righi, 2016, Italija), 86

LITERATURA 87

REZIMEI 88

PREDGOVOR

Knjiga je namenjena onima koji žele sami da konstruišu skale analematskih časovnika, polazeći od jednostavne logike da već imaju senku kojoj, da bi bila svrsishodna, samo treba podmetnuti odgovarajuću skalu. Svi to mogu lako uraditi koristeći programe sa interneta: „unesi geografsku širinu, unesi geografsku dužinu i časovnu zonu, unesi veličinu velike poluose elipse” i gotovo, začas će biti izračunati svi elementi i urađeni svi nacrti koje treba preneti na tlo. Oni koji pročitaju ovu knjigu moći će to da urade koristeći formule, geometrijske načine starovekovnih gnomonista ili uz pomoć kompjuterskih programa, svedeno, s tom razlikom što će znati kako rade i program i analematski časovnik.

A da bi se razumela (objasnila) teorija i konstrukcija analematskih časovnika potrebno je poznavati osnovne pojmove gnomonike, koordinatnu geometriju na nebeskoj sferi, prividno kretanje sunca, časovne sisteme i perspektivne azimutne projekcije, prvenstveno ortografsku. Tim redom se i smenjuje prvih šest poglavlja ove knjige, kao dugo približavanje ključnom, sedmom poglavlju, u kome je detaljno objašnjen proračun svih elemenata analematske skale za mesta na severnoj hemisferi. U osmom poglavlju izložena su praktična uputstva za gradnju analematskih časovnika, dok su u poslednjem, devetom, razmotrene mogućnosti primene analematskog časovnika kao nastavnog sredstva.

Od šest priloga knjige, četiri čine fotografije do kojih smo došli zahvaljujući predusretljivosti evropskih ljubitelja gnomonike – Mario Arnaldi (Italija), Peter Husty (Austrija), Miloš Nosek (Češka), Peter Ransom (Velika Britanija), Renzi Righi (Italija), Siegfried Rasper (Austrija) – kojima dugujemo zahvalnost. Takođe, srdačno se zahvaljujemo lektorki, prof. dr Valentini Pitulić.

Poslednja rečenica u predgovoru knjige „Сунчани часовници” (Тадих, 2002) glasi: „Nisam siguran da će knjiga postati bestseler ali sam uveren da će se posle njenog izlaska broj sunčanih časovnika kod nas povećati”. Neka to bude poslednja rečenica i u ovom predgovoru.

Beograd, 31. mart 2021.

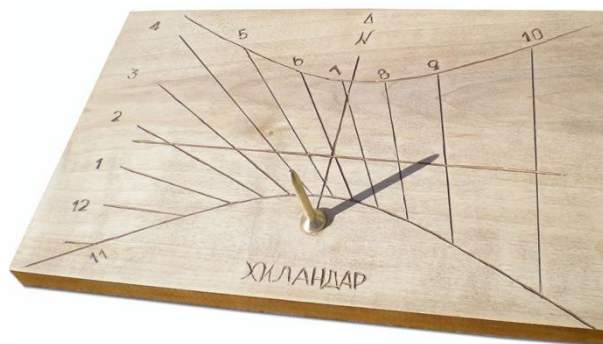
KLJUČNI POJMOVI GNOMONIKE

Gnomonika je naučna disciplina koja proučava hod senke gnomona u funkciji vremenske i prostorne orijentacije. (Stručnjaci koji se bave gnomonikom nazivaju se gnomonisti.) Gnomonika se nalazi na granici između sferne astronomije i matematičke geografije pa koristi znanja i pojmove obe ove nauke, i zajedno s njima znanja i pojmove sferne trigonometrije i nacrtnge geometrije. Od izvorno gnomoničkih termina ključni su *gnomon*, *gnomonska projekcija*, *analema* i *sunčani časovnik*. Uz pojam *analematski sunčani časovnik*, to su istovremeno i ključni pojmovi u ovoj knjizi, pa je u nastavku svaki od njih ukratko objašnjen, redom.

Gnomon je instrument čija senka služi za prostornu i vremensku orijentaciju, ili instrument prema čijoj se senci određuju elementi sunčeve geometrije. U elementarnom obliku to je vertikalni štap ili stub, ali ne mora biti s obzirom na to da je teoretski bitna samo tačka na njegovom vrhu, *nodus*. Radi lakšeg očitavanja, nodus se obično označava rupicom u metalnom kružnom zaklonu kroz koju prolazi uski snop sunčevih zraka i na podlozi, u senci zaklona, stvara svetlu tačku, *sunasce*, čiji položaj može lako da se uoči i odredi.

Tokom starog i srednjeg veka gnomon je služio za određivanje podnevačke linije i podneva, visine sunca, geografske širine mesta, nagiba ekliptike, početaka godišnjih doba i dužine godine, a prvenstveno za merenje vremenskih razmaka u okviru dana/obdanice, kao deo *sunčanog časovnika*. Na sunčanom

časovniku gnomon nije kazaljka, kazaljka je senka koju on baca (sl. 1).



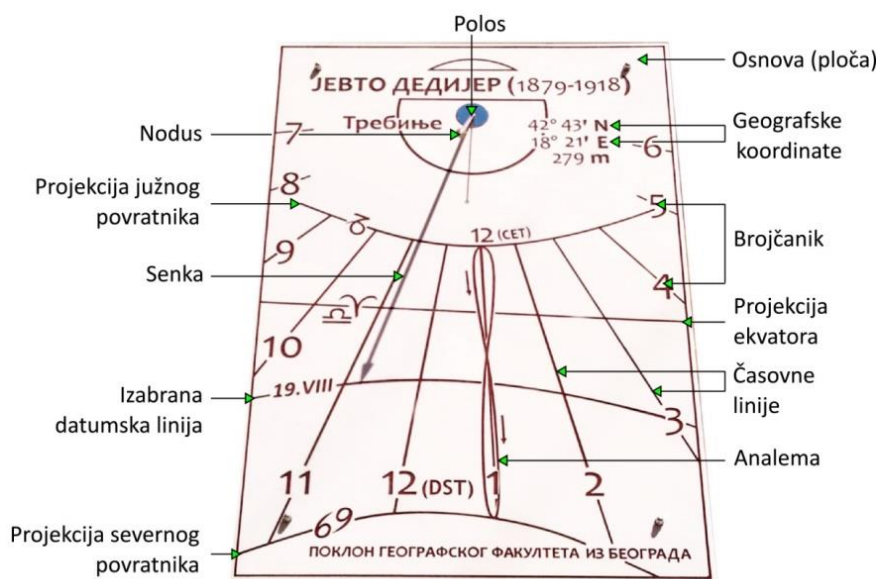
■ **Slika 1.** Gnomon na stonom horizontalnom sunčanom časovniku manastira Hilandar. Gnomon baca senku prema čijem se kraju očitavaju dnevni časovi odbrojavani od zalaska sunca i astronomski počeci godišnjih doba (ekvinociji i solsticiji).

Gnomonska projekcija je perspektivna azimutna projekcija (Тадих, 2004, str. 47–61) kod koje se centar perspektive nalazi u centru nebeske sfere, ili u nodusu gnomona. U nodusu se sastaju svetlosni konus čiju osnovicu predstavlja određena prividna dnevna putanja sunca i konus senke koga opisuje granični sunčev zrak produžen kroz nodus: preseki konusa senke sa osnovom gnomona predstavljaju gnomonske projekcije dnevnih lukova prividnih putanja sunca (vidi str. 47–48). Sa izuzetkom projekcije ekvinoctijske putanje sunca (nebeskog ekvatora) koja je prava linija, projekcije svih ostalih dnevnih putanja sunca su hiperbole. Na skalama sunčanih časovnika obično se ucrtavaju gnomonske projekcije ekvinoctijskih i solsticijskih putanja sunca, to jest, projekcije ekvatora i nebeskih povratnika (sl. 1). U gnomonskoj projekciji se lukovi svih

velikih kružnica prikazuju kao prave linije, pa se i časovne linije na skalama sunčanih časovnika prikazuju kao prave linije (sl. 1, 2). Da bi sunčani časovnik vršio osnovnu funkciju, pokazivao dnevne časove, dovoljne su samo časovne linije sa brojčanikom.

Dnevni časovi se, dakle, očitavaju prema kraju senke gnomona (prema položaju projekciji nodusa). Po savremenom časovnom sistemu, dnevni časovi se mogu očitavati i prema pravcu senke ali pod uslovom da se gnomon izvede iz izvornog položaja i postavi paralelno

rotacionoj osi Zemlje, ili, približno govoreći, da se gnomon usmeri u zvezdu Severnjaču. Tako orijentisan gnomon naziva se *polos*. Na horizontalnim sunčanim časovnicima polos sa osnovom zaklapa ugao jednak geografskoj širini mesta, dok je taj ugao na zidnim sunčanim časovnicima (sl. 2), meren u odnosu ne vertikalu, komplementaran geografskoj širini mesta. Izabrane datume, međutim, i dalje pokazuje samo kraj senke polosa (projekcija nodusa) svojim hodom po ucrtanim datumskim linijama.



Slika 2. Elementi sunčanog časovnika pokazani na primeru vertikalnog sunčanog časovnika (mermerna ploča, 150 x 100 x 3 cm) postavljenog 2018. godine na zgradi Opštine Trebinje

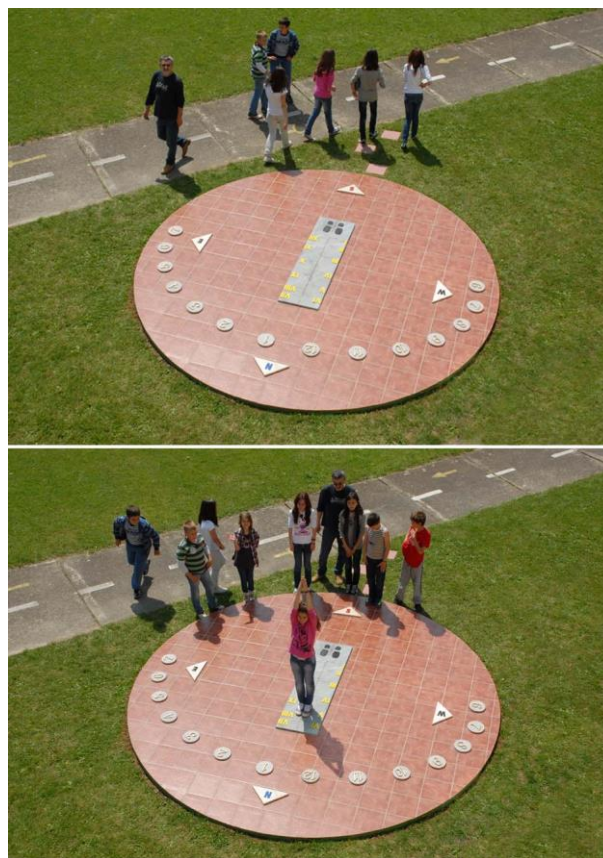
Analema je perspektivna azimutna projekcija nebeske sfere (Tadić, 2004, str. 47–61) kod koje se centar perspektive nalazi na beskonačnoj udaljenosti tako da su projekcioni zraci međusobno paralelni. Danas je poznata kao ortografska projekcija. Za razliku od starog veka, primena u gnomonici svedena joj je na konstrukciju skala samo jedne vrste sunčanih časovnika koji su zbog toga polovinom XVII veka i nazvani *analematski časovnici*.

Sunčani časovnici su sprave za merenje vremena u oviru obdanice na kojima se dnevni časovi očitavaju na odgovarajućoj skali prema senci koju baca gnomon. Od mnogo vrsta sunčanih časovnika, danas su najrašireniji sunčani

časovnici sa ravnom osnovom – ekvatorijalni, horizontalni i vertikalni raznih orijentacija. Uglavnom su svi sa polosom kao bacačem senke i skalom konstruisanom u gnomonskoj projekciji (sl. 2). Izuzetak predstavljaju *analematiski sunčani časovnici*.

Analematiski sunčani časovnici (u nastavku, „analematiski časovnici”) spadaju među najmlađe konstrukcione tipove sunčanih časovnika. Teorijski su razrađeni tek polovinom 18. veka, a prvenstvo se pripisuje francuskom matematičaru Lalandu (Parisot, 1985, p. 43). Sasvim su jednostavni: eliptični brojčanik sa stajnom tablom na horizontalnoj ravni, bez i jednog fiksnog dela van te ravni. Prvobitno su rađene i stone varijante dok su to danas uglavnom časovnici većih razmera koji krase trgove, parkove, šetališta i školska dvorišta. Popularnost im ne umanjuje ni to što su najmanje tačni od svih sunčanih časovnika.

Kao i kod ostalih sunčanih časovnika, u ulozi kazaljke je bestesna senka, s ključnom razlikom što senku ne baca vertikalni štap ili stub, gnomon, nego sam merilac, „živi gnomon”. Zbog toga se u literaturi na engleskom jeziku analematiski časovnik ponekad naziva „human sundial” ili „sundial with human involvement”. To su na srpsko-hrvatskom jezičkom području ponegde preveli kao „ljudski sat”, a što je verovatno najnakaradniji pojam koji se može sresti u gnomonici. A nepotrebno, za razliku od većine savremenih sunčanih časovnika, časovna skala ovog tipa sunčanog časovnika konstruiše se u ortografskoj projekciji koja se u starom i srednjem veku nazivala analema, pa kako ga drugačije nazvati nego „analematiski sunčani časovnik”. I zašto bi se to prevodilo?

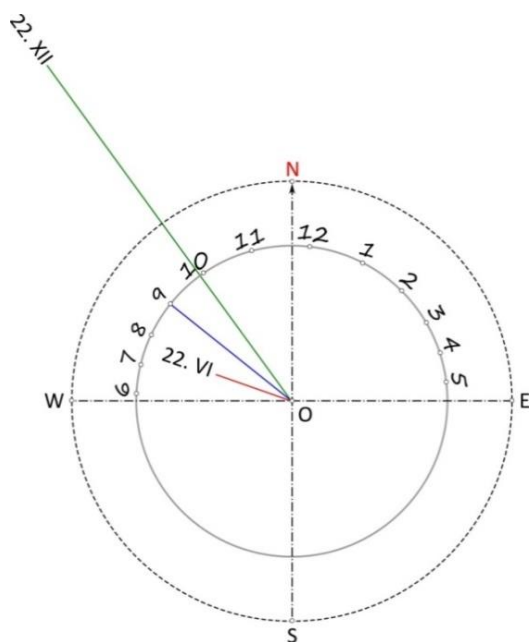


■ **Slika 3.** Analematiski časovnik u dvorištu OŠ „Laza Lazarević” u Šapcu (2011), sam (gore) i sa meriocem (dole), ili tačnije rečeno – analematiska skala (gore) i analematiski časovnik (dole).

I kao što kazaljka vage neće meriocu pokazati težinu sve dok ne stane na vagu, tako ni analematiski časovnik neće pokazati dnevni čas sve dok merilac ne stane na odgovarajući podeljak njegove datumske skale (sl. 3). A kada stane i kompletira analematiski časovnik, od njega se očekuje da ne bude tek zamena za gnomon, stub, nego da bude „misleći gnomon” koji razume princip na kom funkcioniše sprava čiji je i sam deo. „Misleći gnomon” će postati kada na datumsku skalu stane sa ovom knjigom, pod uslovom da ju je prethodno pažljivo iščitao.

Kako se ne pravi sunčani časovnik

Pre nego što reč bude o tome kako se prave sunčane časovnici, prvo treba reći kako se oni ne prave, to jest, prvo treba razjasniti raširenu zabludu da sunčani časovnik može svako napraviti jednostavno tako da na horizontalnu podlogu pobode gnomon i onda, gledajući na ručni časovnik, svakog punog časa obeleži pravce senki. I eto sunčanog časovnika, začas posla (Tadić, 1985; Тадић, 1989).



■ **Slika 4.** Pogled iz „ptičije perspektive” na brojčanik nastao 21. III beleženjem svakog punog dnevnog časa pravaca senki gnomona postavljenog u tačku O

Da je to pogrešno moguće je dokazati neposrednom proverom tačnosti s kojom senka pokazuje dnevne časove na brojčaniku napravljenom na opisani način. Ako je brojčanik nastao beleženjem senki prvog dana proleća, 21. marta (sl. 4), šta bi video strpljivi posma-

trač proveravajući iz dana u dan šta pokazuje senka, recimo u 9 h? Počevši od 21. marta posmatrač bi video kako se senka skraćuje i pomera ka zapadu od prvobitno obeleženog pravca (plava linija na slici 4). Prvog dana leta (21. jun) najviše bi se otklonila (crvena linija), pokazujući, ne 9 h, nego oko 7 h 30 min. Nakon što bi naizgled zastala, senka bi se počela vraćati nazad da bi oko prvog dana jeseni (23. septembar) ponovo pokazala približno 9 h. Tokom jeseni senka bi se produžavala i od prvobitno pravca (plava linija) otklanjala sve više ka severu. Najbliža severu postala bi prvog dana zime (22. decembar), pokazujući, ne 9 h, nego blizu 10 h (zelena linija). Tokom zime, senka bi se vraćala i prvog dana proleća ponovo zauzela prvobitni pravac pokazujući 9 h.

Sprava koja pokazuje vreme sa „tačnošću” od $-1,5$ h do $+1$ h ne može se nazvati časovnikom.

Očigledno je, dakle, da sunčani časovnik ne može da se napravi jednostavnim beleženjem istočasovnih pravaca senki gnomona. Izuzetak su jedino geografski polovi nad kojima sunce opisuje prividne dnevne putanje paralelne horizontu. Nad horizontima drugih mesta, sunce svaki dan opisuje putanju koja je i nakošena prema horizontu i, što je bitno, pomerena u odnosu na prividnu putanju iz prethodnog dana.

I gnomonisti su se dosetili: – Ako se pomeraju sunčeve prividne dnevne putanje, što u skladu s njima ne bi pomerali i sam gnomon? I tako je nastao analematski sunčani časovnik kod koga se dnevni časovi očitavaju prema pravcu senke pomičnog/živog gnomona.