

Ekvatorialna sončna ura

Barbara Rovšek, Zavod Cosmolab in Pedagoška fakulteta, Univerza v Ljubljani

Preprost pripomoček nam omogoči opaziti zanimiv pojav, povezan z geometrijo Zemlje, orientacijo njene vrtilne osi glede na ravnino, v kateri leži njen tir okoli Sonca, in geografsko širino opazovalca.

Na **sončni uri** senca **gnomona** prikazuje **Sončev čas**. Gnomon je (običajno) palica, ki ob jasnem dnevu meče senco na številčnico sončne ure. Sončev čas je povezan s trenutno lego Sonca na nebu in ni enak **povprečnemu** Sončevemu času ali celo UTC.

Cilji dejavnosti, opisane v nadaljevanju, so

1. izdelava prenosne ekvatorialne sončne ure, uporabne v krajih z geografsko širino $45^\circ \pm 1^\circ$,
2. razumevanje delovanja ekvatorialne sončne ure,
3. poznavanje razlogov, zakaj se Sončev čas razlikuje od povprečnega Sončevega časa.

Pripomočki, ki jih potrebujemo:

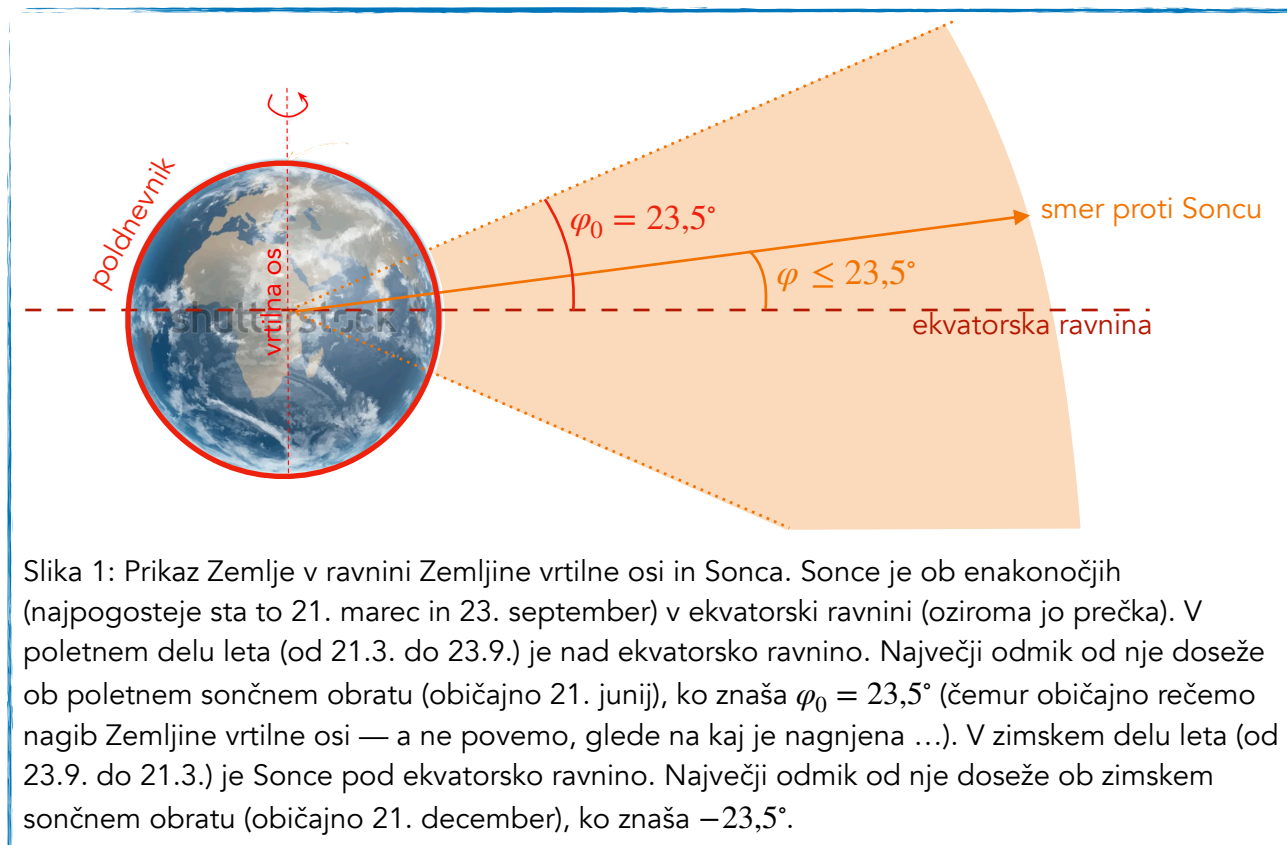
- ✱ trši papir (karton, ki se ne upogiba), A3
- ✱ karton za izdelavo stranske oporne ploskve (ali geotrikotnik)
- ✱ škarje
- ✱ olfa nož
- ✱ 20 cm dolga lesena palčka (špina)
- ✱ šilo ali žebelj in kladivo (za izdelavo luknjice)
- ✱ 2 natisnjeni številčnici ure
- ✱ lepilni trak
- ✱ geotrikotnik
- ✱ ravnilo

Dejavnost prilagodimo konkretnim ciljem ter starosti in sposobnosti učencev. Besedilo v nadaljevanju ni učna priprava, lahko pa služi kot osnova za pripravo lastne učne priprave.

Sončev čas

Sončev čas zaznamuje lega Sonca oziroma orientacija sence, ki jo meče gnomon.

V pomoč nam bo, če pred nadaljevanjem razprave o času ponovimo nekaj geometrije. Spomnimo se, da v 3D prostoru določajo ravnino bodisi 3 (nekolinearne) točke, ali pa premica in dodatna točka, ki ne leži na tej premici. Vzemimo ravnino, ki jo določata premica — Zemljina vrtilna os — in točka — lega Sonca. Na sliki 1 sta v tej ravnini (ki je tudi ravnina tega lista) prikazani legi Sonca in Zemlje na nek dan v poletnem delu leta, ko je Sonce nad ekvatorsko ravnino (Zemlje in neba). Sonce je v podaljšku poltraka, ki označuje smer proti Soncu. V merilu Zemlje na sliki 1 je Sonce kroglja s polmerom 2 m, od Zemlje oddaljena 400 m.



Zemlja se vrti okoli svoje osi in v vsakem trenutku ravnina vrtilne osi in Sonca prereže Zemljo na pol vzdolž enega od poldnevnikov. Ugotovimo, da je ravnina vrtilne osi in Sonca v vsakem trenutku neka poldnevniška ravnina in da se v 12 urah, ko se Zemlja zavrti za (približno) 180° , Sonce sprehodi skozi vse poldnevniške ravnine.

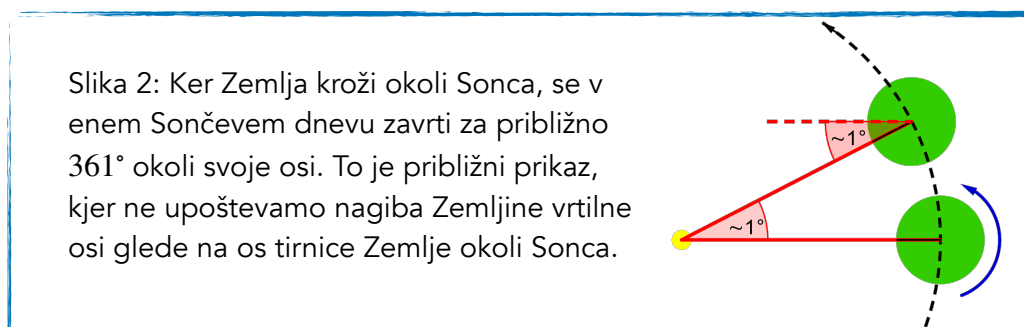
Postavimo se v vlogo opazovalca na Zemlji. Ko je Sonce v njegovi poldnevniški ravnini in je jasen dan, je tudi senca navpične palice v njegovi poldnevniški ravnini, usmerjena natančno vzdolž smeri sever — jug. Po definiciji Sončevega časa je tedaj ura poldne, 12.00. Od česa je odvisno, ali je opoldne senca usmerjena proti severu ali proti jugu?

Tek Sončevega časa je določen s pomikanjem Sonca skozi poldnevniške ravnine. Sončev čas ni enak času, ki ga meri zapestna ura ali ura na telefonu ali UTC.

Kako dolg je en Sončev dan?

Definirajmo Sončev dan: to je čas od Sončevega poldne do naslednjega Sončevega poldne. Sončev dan je čas, v katerem Sonce dvakrat zaporedoma prečka isto poldnevniško ravnino in se prvič ponovno znajde v isti poldnevniški ravnini na isti strani **glede na Zemljo**. Sončev dan lahko razdelimo na 24 Sončevih ur, vsako od ur pa na 60 Sončevih minut itd. V eni Sončevi uri se dolžinska koordinata Sonca v ekvatorskem koordinatnem sistemu — rektascenzija — spremeni za 15° , v enem Sončevem dnevu pa za 360° .

V enem Sončevem dnevu se Zemlja na svoji krožni poti okoli Sonca pomakne naprej za približno 1° (v 1 letu oziroma 365,25 dnevih pa za 360°). To pomeni, da se od prvega Sončevega poldne do naslednjega zavrti okoli svoje osi za malenkost več kot 1° več kot za cel krog, kot prikazuje slika 2.



Dolžino dneva na Zemlji (in drugih planetih, pa tudi na Luni) približno¹ določata dve kotni hitrosti. Prva je kotna hitrost, s katero se Zemlja vrti okoli svoje vrtilne osi ω_v , druga pa kotna hitrost, s katero Zemlja kroži okoli Sonca $\omega_k = 2\pi/(1 \text{ leto})$. Kratka vaja nas pripelje do rezultata za trajanje enega (povprečnega) Sončevega dneva t_0 :

$$t_0 = \frac{2\pi}{\omega_v - \omega_k}$$

Denimo, da je na severni polobli poletje in smo na severnem polu. V tla zapičimo navpično palico in opazujemo, kako se v jasnem dnevu vrti senca palice. V enem Sončevem dnevu se Zemlja zavrti za 361° , senca palice pa za 360° . Vrtenji Zemlje in sence opazujemo iz različnih opazovalnih sistemov, pri čemer se en sistem glede na drugega vrti. Vrtenje Zemlje opazujemo iz heliocentričnega sistema (sistem, v katerem Sonce miruje), vrtenje sence pa iz geocentričnega sistema, pritrjenega na Zemljo (kjer lego merimo z geografsko dolžino in širino, orientacijo pa z azimutom), ki se vrti skupaj z Zemljo (geografska lega našega opazovališča se ne spreminja, če se ne premaknemo z domačega vrta).

ZVEZDNI (SIDERSKI) DAN pa je čas, v katerem se Zemlja zavrti za natančno 360° . V enem zvezdnem dnevu se natančno ponovi orientacija Zemlje glede na oddaljene zvezde.

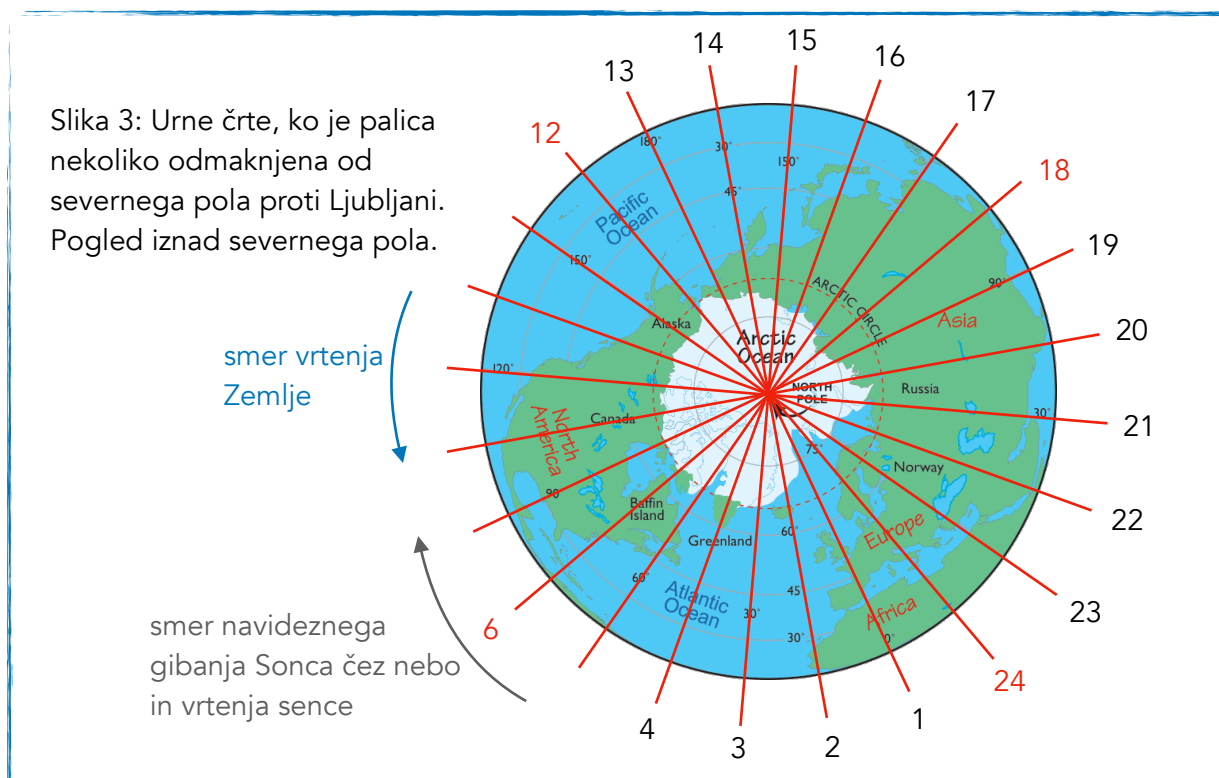
Ko v nadaljevanju zapišemo DAN, imamo v mislih SONČEV dan.

¹ Kadarkoli zapišemo *približno*, to pomeni, da neke podrobnosti zanemarimo, tudi če jih ne navedemo eksplicitno. Komplikacije, zaradi katerih pri sončni uri pogosto uporabimo ta pridevnik, izhajajo iz nagiba Zemljine vrtilne osi glede na os tirnice Zemlje okoli Sonca.

Ekvatorialna sončna ura

Ko na severnem polu v vodoravna tla zapičimo navpično palico, je palica vzporedna vrtilni osi Zemlje, tla pa so vzporedna ekvatorski ravnini. Zemlja se vrti enakomerno (s stalno kotno hitrostjo ω_v), višina Sonca na nebu nad severnim polom pa se v enem dnevu ne spremeni veliko. Tudi senca palice se vrti enakomerno, njena dolžina pa se skoraj ne spremeni. V 24 urah se senca zavrti za 360° , v eni uri pa za 15° .

Tolikšen je kot med **urnimi črtami**, ki jih lahko narišemo na tla iz točke, kjer je v tla zapičena palica.



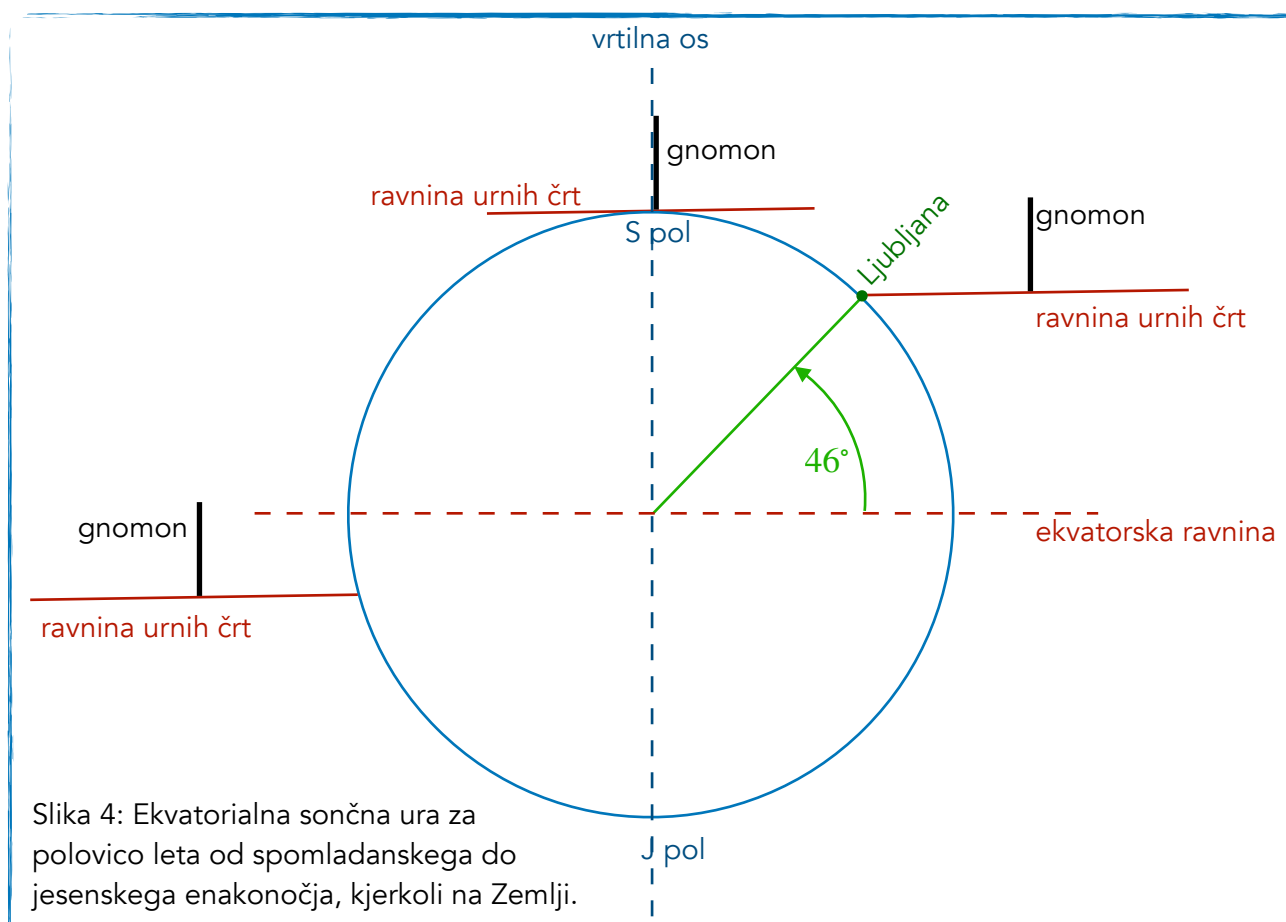
Ker pa na severnem polu smeri neba niso definirane (kje Sonce vzhaja, kdaj je poldne?) in zato tudi ure dneva ne, premaknimo palico samo malo stran (nekaj metrov) od pola; denimo, da v smeri proti Ljubljani (vzdolž 15. vzhodnega poldnevnik). Tam je navpična palica še vedno vzporedna vrtilni osi Zemlje, tla pa ekvatorski ravnini. Senca palice se vrti enako kot senca palice na polu. Narišemo urne črte, ki jim lahko pripišemo tudi ure. Ko je senca palice usmerjena proti severnemu polu, je Sonce na jugu in ura poldne, ko je senca usmerjena proti Ljubljani, je polnoč. Upoštevamo še smer vrtenja Zemlje in to, da se senca palice vrti v obratni smeri ter zapišemo ure, kot so na sliki 3.

Spotoma smo opredelili vse elemente ekvatorialne sončne ure:

- ✳ palica, ki meče senco (gnomon) je vzporeden Zemljini vrtilni osi,
- ✳ senco palice opazujemo v ravnini, ki je vzporedna ekvatorski (odtod ime ure), oziroma pravokotna na gnomon; imenujemo jo ravnina številčnice ali ravnina urnih črt,
- ✳ sosednje urne črte so v ravnini številčnice ena glede na drugo zasukane za 15° ,
- ✳ poldne je, ko je senca gnomona usmerjena proti severu (vzdolž poldnevnik),
- ✳ senca gnomona se vrti v nasprotni smeri kot se okoli svoje osi vrtilni Zemlja, ko jo opazujemo iz vesolja.

Ekvatorialno uro lahko postavimo kjerkoli na Zemlji, ne le na severnem (in južnem) polu. Poskrbeti moramo pa za pravilno orientacijo gnomona in ravnine urnih črt. Sončna ura prikazuje čas le, ko nanjo sveti sončna svetloba. Na severnem polu je to v poletni polovici leta. Na manjših geografskih širinah pa ponoči, ko je v Zemljini senci, sončna ura ni uporabna. V območjih med severnim in južnim tečajnikom jo podnevi lahko uporabljamo skoraj celo leto.

Slika 4 prikazuje pogled na tri ekvatorialne ure v isti poldnevniški ravnini treh opazovalcev; prvi je nekaj metrov od severnega pola v smeri proti Ljubljani, drugi v Ljubljani (geografska širina Ljubljane je 46°) in tretji malo pod ekvatorjem, z 12 urami časovnega zamika od Ljubljane.

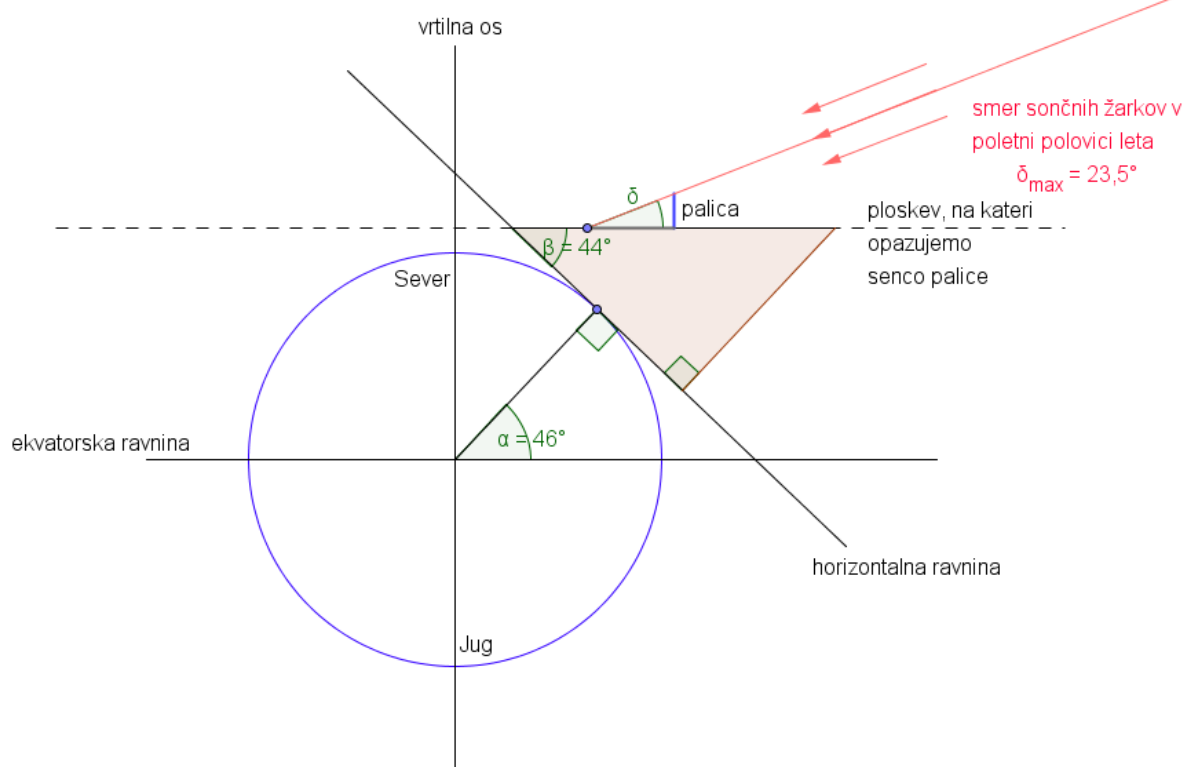


Ker želimo, da je sončna ura uporabna tudi v drugi polovici leta, ko je Sonce pod ekvatorsko ravnino, gnomon podaljšamo še na drugo stran ravnine urnih črt (razen blizu severnemu polu, kjer to nima smisla), urne črte in številčnico pa prezrcalimo preko ravnine, v kateri leži, in jih narišemo še na spodnjo stran ploskve številčnice.

Izdelava ekvatorialne sončne ure

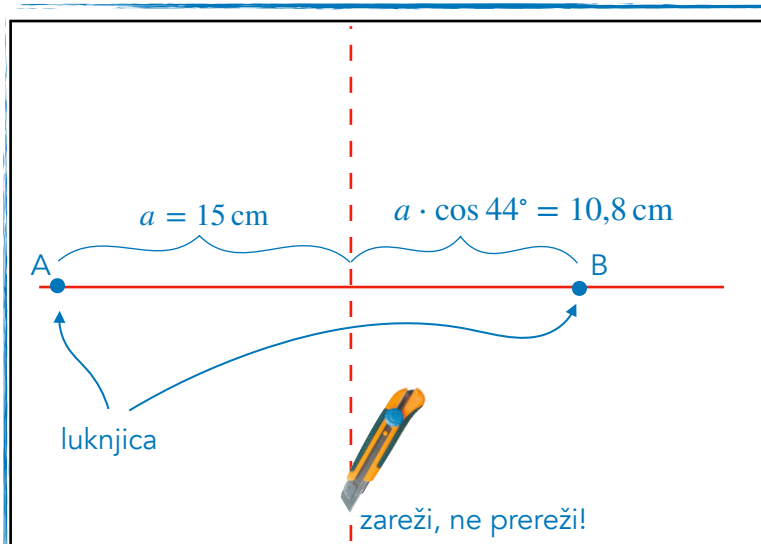
Izkoristimo okoliščino, da je geografska širina slovenskih krajev približno polovica pravega kota, in izdelajmo preprosto sončno uro, ki kaže tekem celega leta Sončev čas največ 20 minut netočno.

Slika 5 prikazuje geometrijo ekvatorialne sončne ure na naši geografski širini, $\alpha = 46^\circ$. Z nekaj dodatne ravninske geometrije (koti in sokoti, vsota kotov v trikotniku, podobni trikotniki) ugotovimo, da je ravnina, ki je vzporedna ekvatorski, glede na vodoravno (horizontalno) ravnino nagnjena za kot $\beta = 90^\circ - \alpha = 44^\circ$ v smeri proti severu.



Slika 5: Zemlja in sončni žarki, opoldne po Sončevem času (ko je Sonce v poldnevniški ravnini opazovalca na geografski širini 46°). Senco palice opazujemo na ploskvi, ki je vzporedna ekvatorski ravnini. Razmere, ki so prikazane na tej sliki, ustrezajo poletnemu delu leta na severni polobli – vzporedni sončni žarki prihajajo na Zemljo iznad ekvatorske ravnine. V zimskem obdobju leta prihajajo žarki izpod ekvatorske ravnine. Tedaj lahko senco opazujemo na spodnji površini ploskve urnih črt.

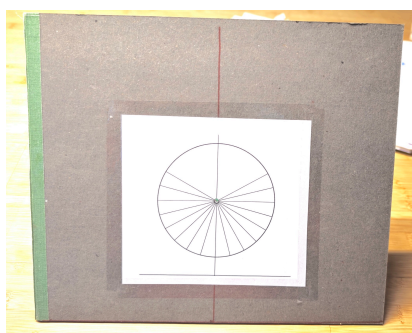
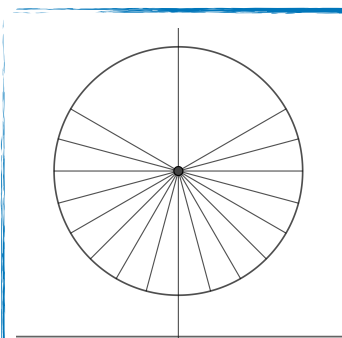
Iz tršega kartona (čim trši, tem bolje) formata približno A3 izdelamo klanec. Na karton narišemo pravokotni črti, kot prikazuje slika 6. Po krajši (črtkani) črti zarezemo z olfa nožem, da karton vzdolž te črte lažje prepognemo. Vzdolž daljše (sklenjene) črte pa od krajše črte na eno stran odmerimo a (ki naj bo, na primer, 15 cm), na drugo pa $a \cdot \cos 44^\circ$ (ki je v tem primeru 10,8 cm). Z luknjačem, šilom ali žebljem in klavdom izdelamo na obeh odmerjenih mestih luknjici A in B, ki sta ravno prav veliki, da lahko skozi drugo (B) potisnemo leseno palčko in jo s krajiščem zatakne v prvo, manjšo luknjico (A). Palčka se luknji B tesno prilega.



Slika 6: Pravokotnici na tršem kartonu formata A3, luknjici A in B na pravih mestih.

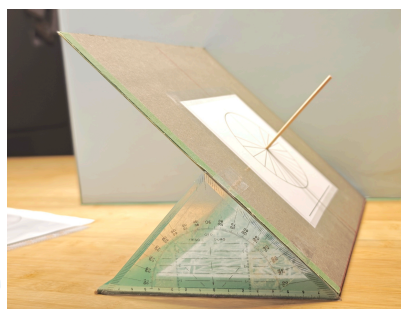
Ko karton prepognemo po rdeči črtkani črti, je kot med obema deloma kartona 44° . Kasneje kot utrdimo, če izdelamo iz kartona stransko ojačitev, ki jo prilepimo na klanec in podlago (ali pa za utrjevanje uporabimo geotrikotnik in kot 45° med njegovo kateto in hipotenuzo).

Na bel list papirja narišemo ali natisnemo dve številčnici (ki sta na zadnji strani teh navodil in na sliki 7). Prilepimo ju na obe strani desnega (večjega) dela podstavka ure tako, da sta zrcalni sliki ena druge. Središče številčnice je, kjer je luknjica B. Ploskev s številčnicama je zgornja ploskev ure. Če bi bila plošča med številčnicama na obeh straneh prozorna, bi se številčnici natanko prekrivali (in bi lahko narisali eno samo).



Slika 7: Urne črte na številčnici ekvatorialne sončne ure. Kot med sosednjima urnima črtama je 15° .

Utrdimo kot med ploskvama ure s trikotno stransko ploskvijo ali geotrikotnikom, ki ga prilepimo na oba dela ploskve ure, kot prikazuje slika 8. Skozi središči številčnic in luknjico B v zgornji ploskvi ure potisnemo ozko leseno palčko (špino), ki bo gnomon. Krajišče palčke zatakne v luknjico A v spodnji ploskvi (podstavku) ure.

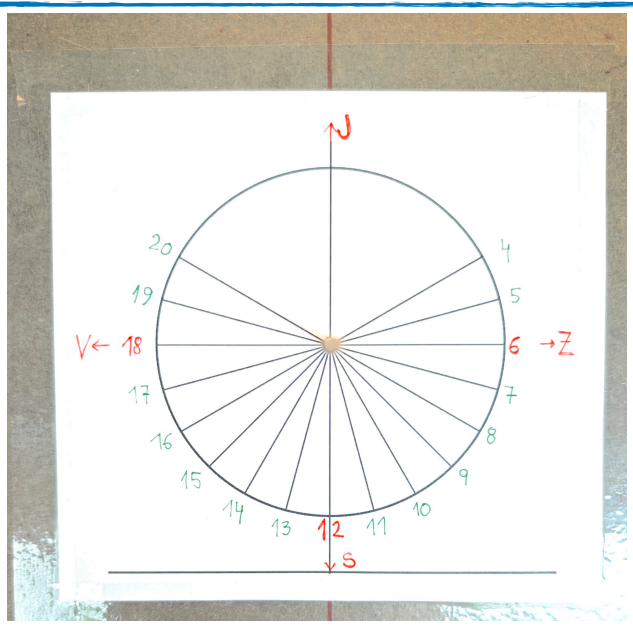


Slika 8: Za utrditev nagiba ploskve številčnice smo uporabili kar geotrikotnik in njegov kot med hipotenuzo in kateto 45° , ki je v okviru natančnosti dovolj blizu boljšemu približku 44° .

Preden ob urne črte zapišemo oznake ur, na številčnici ure označimo smeri neba. Slika 5 prikazuje poldnevniško ravnino, kjer je ura, opoldne. Sonce je takrat na jugu (azimut Sonca). Simetrala številčnice ure je v smeri sever — jug, jug je zgoraj, sever spodaj. Glede na smeri proti S in J na številčnici ustrezno označimo še smeri V in Z.

Zdaj se lotimo oznak ur. Senca gnomona je opoldne usmerjena natančno proti severu, kamor je nagnjena tudi ravnina številčnice. Oznaka za uro 12 bo torej na simetrali številčnice, na dnu klanca, pri oznaki proti severu. Ob 6-ih je Sonce na vzhodu, senca gnomona pa je usmerjena proti zahodu: ob oznako Z zapišemo 6, ob oznako V pa 18. Dopišemo še ostale oznake. Oznake smeri neba in ur na zgornji ploskvi številčnice so na sliki 9. Ponovimo zrcalno še s številčnico na spodnji ploskvi.

Slika 9: Oznake smeri neba in urnih črt na zgornji številčnici ekvatorialne sončne ure.



Kam in kako postavimo uro

Uro postavimo na vodoravno podlago, na kraj, kamor večji del dneva sije sonce. Nagnjena ploskev s paličico naj bo obrnjena čim točneje proti severu, kot med njo in vodoravno podlago je 44° (če smo bili pri izdelavi tako natančni).

Če smo prav določili smeri neba in je klanec obrnjen proti severu, je nagnjena ploskev vzporedna ekvatorski ravnini Zemlje, paličica na njej pa vrtilni osi Zemlje, kot prikazujeta sliki 4 in 5. Ko se v enem dnevu Zemlja enkrat zavrti okoli osi, se skupaj z njo zavrti tudi nagnjena ploskev, na kateri opazujemo senco palice. Opazovalcu na Zemlji, ki glede na Zemljo in sončno uro miruje, pa se zdi, da po tiru okoli osi potuje Sonce in zato potuje po nagnjeni številčnici sončne ure tudi senca palice.

V enem dnevu se Zemlja le za majhen kot (približno 1°) premakne na svojem tiru okoli Sonca (in ostane zato Zemljina vrtilna os v enem dnevu glede na Sonce približno enako orientirana. V pogledu na dogajanje, opisanem prav na začetku in prikazanem na sliki 1, to pomeni, da se kot, pod katerim glede na ekvatorsko ravnino vpada svetloba s Sonca, le malo spremeni. Ker se Zemlja okoli svoje osi vrti enakomerno (za 360° v zvezdnem in 361° v Sončevem dnevu), se azimut sence gnomona na ploskvi, vzporedni ekvatorski ravnini, spreminja enakomerno ($15^\circ/\text{h}$), senca gnomona na tej ravnini pa je ves čas opazovanja (v enem dnevu) enako dolga. Krajišče sence zariše na ploskvi številčnice krožni lok. Kotna hitrost vrtenja sence je konstantna, $\omega = 360^\circ/\text{Sončev dan}$. Vse to lahko opazimo, če se lotimo merjenja orientacije sence v različnih trenutkih.

Če bi ekvatorsko uro postavili v kraje nad severnim tečajnikom (ali pod južnim; in seveda ustrezno prilagodili kot med obema ploskvama ure; med vodoravno ravnino in ravnino številčnice) in senco opazovali v obdobju polarnega dneva, bi vrh sence gnomona na podlago zarisal celo krožnico. Če bi opazovanje raztegnili čez daljše časovno obdobje (več polarnih tednov) bi opazili, da se vrh sence ne giblje natančno po krožnici, ampak po polžasti vijačnici. Vrtenje vrha sence gnomona je ves čas v istem smislu, ker se tudi Zemlja ves čas vrti v istem smislu — Sonce in senca gnomona — pa za mirujočega Zemljana navidezno v nasprotnem. Od enakonočja do solsticija se senca krajša, od solsticija naprej pa zopet daljša.

Z gnomonom, ki je zapičen skozi podlago in sega izven ravnine številčnice na obe strani, lahko ekvatorialno sončno uro uporabljamo (skoraj) celo leto. Od pomladanskega enakonočja do jesenskega meče gnomon senco na zgornjo površino ploskve, v katero je zapičen, v drugi polovici leta pa na spodnjo. Ko se bližamo enakonočju, se senca gnomona daljša in postaja, zaradi svetlobe, ki vpada na uro skoraj vzporedno z ravnino številčnice, nekontrastna in je zato ekvatorialna sončna ura v tem času neuporabna.

Sončna ura s palico, vzporedno Zemljini vrtilni osi, in senco, ki jo opazujemo v ekvatorski ravnini, je natančna, kot je sončna ura lahko. Neujemanje ure, ki jo prikazuje sončna ura, in ure, ki jo prikazuje ročna ura, je posledica treh okoliščin, od katerih je prva osnovnega reda, naslednji dve pa višjega reda. Prva okoliščina so časovni pasovi, ki v povprečju obsegajo 15° geografske dolžine. Ročne ure opazovalcev, ki so v istem časovnem pasu, kažejo isti čas; a če se geografska dolžina njihovih opazovališč razlikuje, se poldne po Sončevem času za posameznike zgodi ob različnih trenutkih.

Popravki — enačba časa

Okoliščini višjega reda sta eliptičnost (izsrednost) Zemljinega tira okoli Sonca in nagnjenost Zemljine vrtilne osi glede na pravokotnico na ravnino kroženja Zemlje okoli Sonca (ekliptično ravnino). Oddaljenost Zemlje od Sonca v enem letu ni stalna. Po svoji tirnici se ne giblje s stalno hitrostjo in kot, ki ga opiše zveznica med Zemljo in Soncem v enem dnevu, ni stalen (kot povedo Keplerjevi zakoni). Kot, ki ga Zemlja opiše v enem dnevu na delih tirnice, ki so bližje Soncu, je večji od kotov na delih, ki so dlje od Sonca (slika 2). Zato lahko med dvema zaporednima legama, ko je Sonce v isti poldnevniški ravnini (odkoder opazujemo), mine malo več ali malo manj kot 24 povprečnih Sončevih ur. Ko se v določenem obdobju leta majhne zamude (ali prehitevanja) nabirajo, doprinesejo vsega skupaj največ 10 minut skupnega zaostanka (ali prehitevanja) sončne ure.

Manj očiten je vpliv nagnjenosti Zemljine vrtilne osi glede na os ekliptike — ali, ekvivalentno, nagnjenosti ekliptične ravnine glede na Zemljino ekvatorsko ravnino. Zemlja se giblje po krožnici okoli Sonca (tu lahko eliptičnost tirnice in spreminjanje hitrosti Zemlje zanemarimo²); za Zemljana pa je videti, kot da Sonce potuje po krožnici (ekliptiki) okoli Zemlje. Sonce se po ekliptiki giblje s stalno hitrostjo in njegova **ekliptična dolžina** λ (sferična kotna koordinata v ekliptičnem koordinatnem sistemu) se spreminja **enakomerno**. A hkrati se njegova **geografska dolžina** v ekvatorskem koordinatnem sistemu, ki je za zaznavanje ure dneva pomembna za Zemljane, spreminja **neenakomerno**. Da izsledimo pomen lege Sonca za Zemljanovo uro moramo tirnico Sonca (ekliptiko) projicirati na ekvatorsko ravnino in ugotoviti, kako se ob enakomerno spreminjajoči ekliptični dolžini λ spreminja geografska dolžina Sonca, kamor vključimo še vrtenje Zemlje okoli svoje osi. Ta pojav skuša pojasniti dinamični prikaz gibanja **pravega Sonca** (*true sun*), ki kroži enakomerno v ekliptični ravnini, v primerjavi z gibanjem **povprečnega Sonca** (*mean sun*), ki kroži enakomerno v ekvatorski ravnini, v GeoGebri (<https://www.geogebra.org/classic/SE763vyw>). Tudi ta pojav prispeva le malo v enem dnevu, ker pa se zamude ali prehitevanja (odvisno, v katerem delu leta smo) nabirajo, doprinese k netočnosti sončne ure podobno kot eliptičnost tira.

Obe okoliščini računsko opiše **enačba časa** (*equation of time*, https://en.wikipedia.org/wiki/Equation_of_time). Pojav, ki je posledica opisanih dveh okoliščin, je **analema**.

Po drugi strani pa lahko rečemo, da sončna ura vedno kaže pravi Sončev čas – med dvema zaporednima legama Sonca v isti poldnevniški ravnini na isti strani Zemlje mine natanko en pravi Sončev dan (po definiciji pravega Sončevega dne), senca palice je obakrat popolnoma enako orientirana. Merjeno v sekundah pa pravi Sončev dan v različnih delih leta ni enako dolg.

² To bi upoštevali v popravkih še višjega reda.

Zaključek

Ob opazovanjih, ki jih opravimo s preprosto ekvatorsko sončno uro, ugotovimo, da lahko postavimo palico in podlago, na kateri opazujemo senco palice tako, da se dolžina sence v enem dnevu ne spremeni in da se azimut sence spreminja enakomerno, za 15° vsako uro. Če dnevno opazovanje ponovimo nekajkrat v različnih obdobjih leta, ugotovimo, da se dolžina sence v daljšem obdobju spreminja (okoli enakonočij celo divergira), njen azimut pa se vsak dan spreminja enako (prehiteva ali zaostaja za največ 20 minut, kot se nabere zaostanka ali prehitevanja zaradi popravkov višjega reda). Ekvatorialna sončna ura ima preprosto tridimenzionalno postavitev in lahko vse tri opažene pojave zlahka razumemo.

Pri drugih običajnih postavitvah palice glede na podlago – navpična ali vzdolž vrtilne osi nagnjena palica na vodoravni podlagi – se azimut sence ne spreminja enakomerno. Čeprav se zdijo take postavitve palice bolj enostavne, pa neenakomerno spreminjajoč se azimut med dnevom in različno spreminjajoč se dnevni azimut med letom brez poznavanja sferne geometrije težje razumemo.

Slovar

- ✧ **poldnevniška ravnina opazovalca** — ravnina, ki razpolavlja Zemljo in vsebuje Zemljino vrtilno os ter opazovalca. Presečišče poldnevniške ravnine in Zemljinega površja je poldnevnik, na katerem je opazovalec.
- ✧ **ekliptika** — tirnica navideznega gibanja Sonca skozi ozvezdja.
- ✧ **ekliptična ravnina** — ravnina ekliptike.
- ✧ **ekliptični koordinatni sistem** — sferični koordinatni sistem, kjer merita kotni odklik od ekliptične ravnine ekliptična dolžina λ in širina (od pomladišča)
- ✧ **ekvatorska ravnina** — ravnina, ki razpolavlja Zemljo in je pravokotna na Zemljino vrtilno os (in na poldnevniške ravnine). Presečišče ekvatorske ravnine in Zemljinega površja je ekvator.
- ✧ **horizontalna ravnina** — ravnina, ki je tangencialna na Zemljo v točki, kjer je opazovalec.
- ✧ **severni (južni) tečajnik** — pri geografskih širinah, ki so nad severnim ali pod južnim tečajnikom, so polarni dnevi in noči (Sonce v določenem obdobju leta sploh ne zaide ali vzide).
- ✧ **siderski dan** — čas, v katerem se Zemlja zavrti okoli svoje osi za 360° ; dolg je 23 h 56 min 4 s. Zemlja se okoli svoje osi vrti s stalno kotno hitrostjo, zato je siderski dan vedno enako dolg.
- ✧ **pravi Sončev čas** — en pravi Sončev dan je čas, ki mine med dvema zaporednima trenutkoma, ko je Sonce v isti poldnevniški ravnini, na isti strani Zemlje. Ker Zemlja potuje okoli Sonca v istem smislu, kot se vrtilno okoli svoje osi, in ker opravi celo pot okoli Sonca v 365,25 dnevih, je pravi Sončev dan približno 4 minute daljši od siderskega dneva. S Keplerjevimi zakoni pojasnimo, zakaj se trajanje pravega Sončevega dneva na Zemljini poti okoli Sonca nekoliko spreminja.
- ✧ **višina (višinski kot) Sonca** — kot, ki pove, kako visoko nad vodoravnim obzorjem (horizontom) je Sonce. Tekom dneva se spreminja, največji je približno opoldne.
- ✧ **povprečni Sončev čas** — če bi Sonce krožilo enakomerno po tirnici v ekvatorski ravnini, bi bile vse Sončeve ure (minute, sekunde) enako dolge.

Dodatna literatura

1. A. Likar, Zapletena sončna ura, Presek 1999-2000, letnik 27, št. 1, str. 52–55.
2. B. Kilar, Gnomon – sončna ura, Spika februar 2000, str. 92–94.
3. M. Prosen, Zanimiva sončna ura, Presek 1996-1997, letnik 24, št. 4, str. 218-220.
4. B. Rovšek in K. Susman, Sončna ura v ekvatorski ravnini, Fizika v šoli, letnik 14, št. 2, str. 43–47.
5. B. Rovšek, Navodila za izdelavo ekvatorialne sončne ure.
6. B. Rovšek, Calibration of a Horizontal Sundial, The Physics Teacher 48 (2010), p. 397.
7. F. Blateyron, Sundials & astrolabes
8. S. Dolenc, O meri in merjenju časa (Kvarkadabra, april 2000)
9. B. Kilar, Vodoravna sončna ura (Spika, marec 1999)
10. B. Kilar, Navpična sončna ura (Spika, maj 1999)
11. B. Kilar, Kdaj sončna ura kaže? (Spika, april 2008)
12. M. Prosen, Še eno zanimivo opazovanje sence (Spika, junij 2008)
13. M. M. Thomson, Sundials (Phys. Teach., marec 1972)
14. M. B. Larson, Constructing a Portable Sundial (Phys. Teach. 37, 113, 1999)
15. R. R. J. Rohr, Sundials, History, Theory, and Practice (Dover Publications 1996)

1.



3.



5.



6.



7.

