

Kihar

Bogdan Kilar

S O N Č N E U R E

Ljubljana 1984

K A Z A L O

Uvod

Teorija in vrste sončnih ur	5
- Ekvatorialna sončna ura	9
- Vodoravna sončna ura	9
- Navpična sončna ura	10
Določitev in izračun azimuta navpične stene; izračun številčnice	11
Izdelava številčnice z nanašanjem lege sence ...	15
Grafična konstrukcija številčnice	16
Literatura	18

SONČNE URE

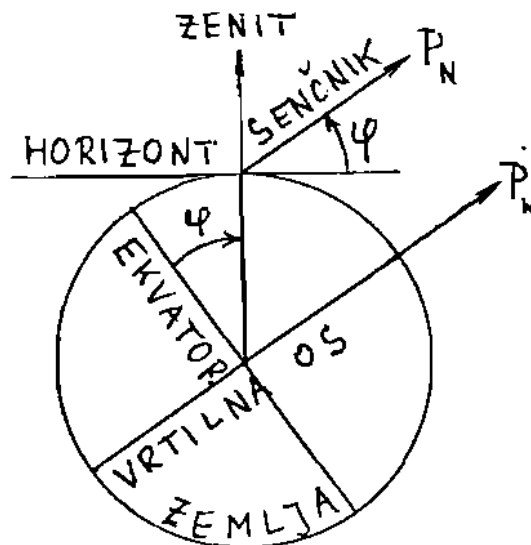
Uvod

Sončne ure so preproste priprave za merjenje časa. Že v starih časih je lega sence, ki jo meče od Sonca obsijani predmet na neko ploskev služila za določanje časa. Za predmet, ki meče senco (senčnik) se je običajno uporabljala ravna palica ali raven rob kakega predmeta.

Najstarejša priprava te vrste je bil gnomon t.j. navpična, na vodoravno ravnino postavljena palica (steber).

Smer sence, ki jo meče gnomon pa ne zavisi samo od dnevnega, ampak tudi od letnega časa t.j. od deklinacije Sonca. Če hočemo, da bo smer sence neodvisna od letnega časa t.j. da bo ista ob istem trenutku t.i. pravega sončevega časa (ki ga sončna ura kaže) in to skozi vse leto, mora biti senčnik vzporeden z vrtilno osjo Zemlje. To dosežemo tako,

da ga postavimo v ravnino krajevnege meridijana in nagnemo proti horizontu za kot φ geografske širine. Na ta način je senčnik usmerjen proti tistemu nebesnemu polu P na nebesni krogli - severnemu (N) oz. južnemu (S) - ki se nahaja nad horizontom kraja kjer je



Slika 1

sončna ura postavljena. Slika 1 je načrtana za severno geografsko širino!

Ploskev na katero meče senčnik senco je lahko ravna ali kriva. Največkrat je ploskev ravna (=ravnina sončne ure), njena lega v prostoru je načelno poljubna.

Senca, ki jo meče na opisani način orientirani senčnik na ravnino sončne ure predstavlja kazalec sončne ure. Z njegovo pomočjo neposredno odčitamo čas na številčnici, ki je vrisana na ravnino sončne ure. Številčnico predstavlja šop poltrakov (žarkov), ki izhajajo iz točke kjer senčnik prebode ravnino sončne ure. Žarke (v nadaljnjem: časovne linije) oštevilčimo po posameznih urah (in delih ur) časa, ki ga sončna ura kaže.

Kakšen čas pa kaže sončna ura? Rekli smo že, da kaže sončna ura t. i. pravi sončev čas in ne srednjeevropskega oz. tistega, ki ga kažejo naše (mehanične, digitalne) ure. Pravi sončev čas je definiran kot časovni kot t Sonca, spremenjen za 12 ur : $P = t + 12^h$.

Tu je treba osvežiti nekaj astronomskih pojmov.

Pravo poldne nastopi ob zgornjem prehodu Sonca čez krajevni meridian. Tedaj je časovni kot Sonca nič, pravi sončev čas znaša 12^h : $P = 12^h$. Prava polnoč nastopi ob spodnjem prehodu Sonca čez krajevni meridian, časovni kot je tedaj 12^h , pravi sončev čas je torej 24^h (0^h).

Trenutek pravega poldneva ($P = 12^h$) izražen v srednjeevropskem času zavisi od geografske dolžine λ kraja kjer je sončna ura postavljena in od datuma, saj se v teku leta spreminja. Za dano geografsko dolžino in dani datum lahko ta trenutek izračunamo, v pasu srednjeevropskega časa po obrazcih (14) oz. (15). Ob tem trenutku mora kazati sončna ura 12^h pravega sončevega časa: $P = 12^h$, uro kasneje (prej) pa 13^h (11^h) pravega sončevega časa itd. Zadnja trditev ni popolnoma stroga, je pa dovolj stroga z ozirom na majhno natančnost sončne ure. Trenutek pravega poldneva nastopa v Sloveniji ($-16,5^\circ < \lambda < -13,5^\circ$) v teku

vsakega leta med $11^{\text{h}}38^{\text{m}}$ in $12^{\text{h}}20^{\text{m}}$ srednjeevropskega časa, v Jugoslaviji ($-23,0^{\circ} < \lambda < -13,5^{\circ}$) pa med $11^{\text{h}}12^{\text{m}}$ in $12^{\text{h}}20^{\text{m}}$ istega časa.

Razlika med pravim sončevim in srednjeevropskim časom se v teku leta iz dneva v dan spreminja in jo je možno izračunati po obrazcu (16). Vzroka za to spreminjanje sta dva. Prvi je nagib ($\sim 66,5^{\circ}$) vrtilne osi Zemlje nasproti ravnini v kateri se Zemlja giblje okoli Sonca, drugi pa je neenakomerno gibanje Zemlje okoli Sonca po elipsi ustrezno 2. Keplerjevemu zakonu. Pravi sončev čas torej ne poteka popolnoma enakomerno. Časovno razdobje med enim in naslednjim pravim poldnevom (=pravi sončev dan) se zato v teku leta spreminja. Razlika med najdaljšim in najkrajšim pravim sončevim dnevom v teku leta znaša približno 50^{s} .

V sledečem obravnavamo sončne ure s senčnikom in sicer tiste kjer pada senca na (poljubno) ravnino. Posebej obravnavamo izračun in konstrukcijo sončne ure na (poljubni) navpični steni (zidu), saj takšne sončne ure v praksi največkrat srečamo.

Teorija in vrste sončnih ur

Na slikah 2. in 3. imajo posamezni simboli sledeči pomen.

O ... središče nebesne krogle;

P_N ... severni nebesni pol ;

P_S ... južni nebesni pol;

$EXYR$... nebesni ekvator ;

$P_N S B P_S$... časovni krog Sonca S ;

B in R ... diametralni točki v katerih se sekata časovni

krog Sonca in nebesni ekvator ;

HUYK ... (veliki) krog sončne ure v katerem ravnina sončne ure seka nebesno kroglo ;

H in K ... diametralni točki v katerih se sekata časovni

krog Sonca in krog sončne ure ;

Z ... zenit kraja kjer se nahaja sončna ura ;

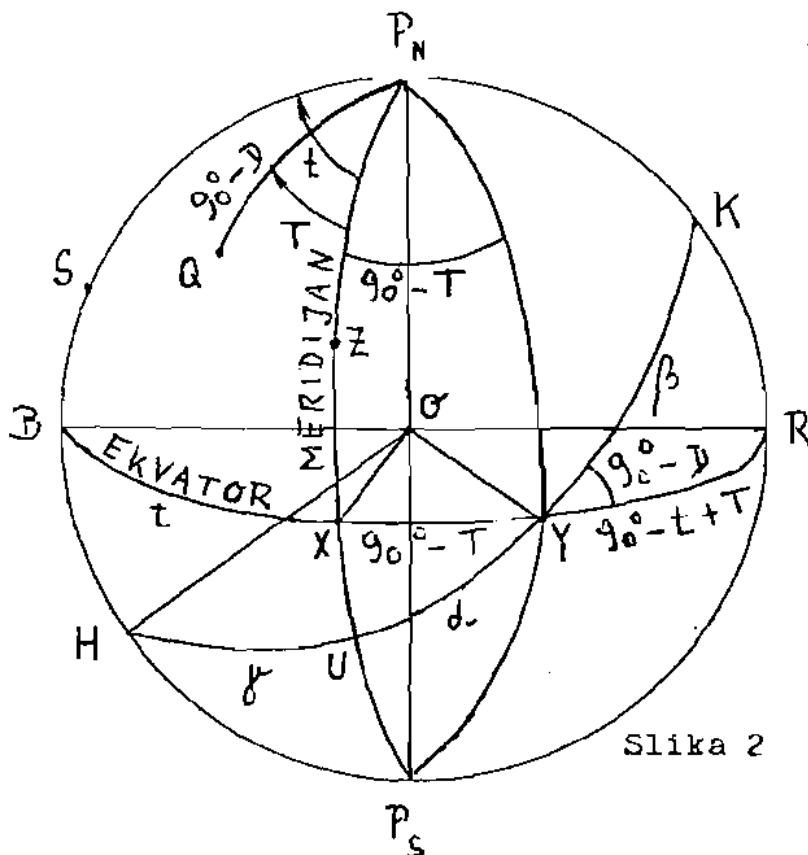
X ... točka v kateri krajevni meridian seka nebesni ekvator ;

in ki je za manj kot 90° oddaljena od zenita Z ;

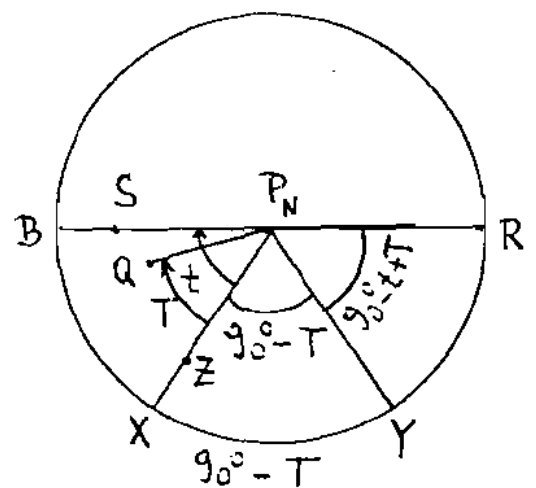
$P_N X P_S$... (krajevni) meridian ;

Q ... pol velikega kroga sončne ure = pol sončne ure

Pol Q sončne ure določa tista stran ravnine sončne ure na katero sije Sonce, torej tista stran na kateri bo konstruirana številčnica. Na to stran postavimo - v središču O - pravokotno poltrak, usmerjen navzven, iz ravnine. Ta poltrak prebode nebesno kroglo v točki = polu Q sončne ure.



Slika 2



Slika 3

D, T ... deklinacija in časovni kot pola Q sončne ure;

$QP = 90^\circ - D$...komplement deklinacije pola Q ;

$t = XB$... časovni kot Sonca ;

Y ... eno od obeh (diametralnih) presečišč ekvatorja in kroga sončne ure in sicer tisto, ki je absolutno za manj kot 90° oddaljeno od točke X ;

Ravnina ekvatorja in ravnina sončne ure se sekata vzdolž OY .

Ravnina meridijana seka ravnino ekvatorja vzdolž OX , ravnino sončne ure pa vzdolž OU .

Ravnina časovnega kroga seka ravnino sončne ure vzdolž OH .

Senčnik je predstavljen na sliki s poltrakom, ki stoji pravokotno na ravnino ekvatorja. Poltrak je usmerjen proti tistemu nebesnemu polu, ki leži nad horizontom kraja kjer je sončna ura postavljena. Predpostavimo, da je to severni nebesni pol P_N .

Za točke B, X, Y in R na ekvatorju velja (iz slike):

$BX = t$; $XY = 90^\circ - T$ in $YR = 90^\circ - t + T$. Točki B in R sta namreč diametralni točki in njuna sferna razdalja znaša 180° .

Za točke H, U, Y in K na krogu sončne ure pišimo

$$HU = \gamma \quad ; \quad UY = \alpha \quad ; \quad YK = \beta$$

Točki H in K sta diametralni, zato velja

$$(1) \quad \alpha + \beta + \gamma = 180^\circ$$

Očitno je γ kot, ki ga tvori smer sence ob pravem sončevem času $P = t + 12^h$, s smerjo, ki ustreza pravemu sončnemu poldnevu ($P = 12^h, t = 0^h$).

Kot γ je funkcija časovnega kota t Sonca oziroma pravega sončevega časa ($P = t + 12^h$) in konstant D in T sončne ure :

$$(2) \quad \gamma = \gamma(t, D, T)$$

Najdimo to zvezo!

V pravokotnem sfernem trikotniku UXY velja po Napierjevem pravilu: $\cos(90^\circ - D) = \text{ctg } \alpha \cdot \text{ctg } T$, torej

$$(3) \quad \text{tg } \alpha = \frac{\text{ctg } T}{\sin D}$$

Dalje velja v pravokotnem sfernem trikotniku KRY po istem pravilu :

$$(4) \quad \text{tg } \beta = \frac{\text{ctg}(t - T)}{\sin D}$$

Z oziroma na (1) velja :

$$\text{tg } \gamma = - \text{tg}(\alpha + \beta) = \frac{\text{tg } \alpha + \text{tg } \beta}{\text{tg } \alpha \cdot \text{tg } \beta - 1}$$

Če vstavimo (3) in (4) v zgornjo zvezo, dobimo po nekaj preobrezbah iskano zvezo:

$$(5) \quad \text{tg } \gamma = \frac{\sin D \cdot \sin t}{\cos t + \cos^2 D \cdot \sin T \cdot \sin(t - T)}$$

Zveza (2) ima torej konkretno obliko (5). S pomočjo te zveze lahko izračunamo številčnico na ravnini sončne ure, največkrat za okrogle vrednosti časovnega kota n.pr. za $t = 11^h, 12^h$ itd.

Oblika (5) je splošna oblika. Lega ravnine sončne ure določata koordinati (=konstanti) D in T pola te ravnine.

V praksi ravnina sončne ure nima nikoli neke popolnoma splošne lege, ampak je ali

- vzporedna ravnini nebesnega ekvatorja (ekvatorialna sončna ura),
- vodoravna (vodoravna sončna ura),
- navpična (navpična sončna ura).

E k v a t o r i a l n a s o n č n a u r a

Pri ekvatorialni sončni uri je njena ravnina vzporedna z ravnino nebesnega ekvatorja. Pol Q te ravnine sovpada v tem primeru s (severnim) nebesnim polom P_N . Časovni kot T pola Q je torej nedoločen, njegova deklinacija pa znaša 90° : $D = 90^\circ$.

Iz (5) potem sledi za ta primer: $\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} t$, torej

$$(6) \quad \gamma = t$$

Razdelitev številčnice je torej pri ekvatorialni sončni uri enakomerna in znaša 15° za vsako uro pravega sončevega časa.

V o d o r a v n a s o n č n a u r a

Pri vodoravni sončni uri je njena ravnina vodoravna. Pol Q ravnine sončne ure sovpada v tem primeru z zenitom. Deklinacija zenita je enaka geografski širini φ kraja kjer je sončna ura postavljena, časovni kot zenita pa je nič: $D = \varphi$, $T = 0$. Za ta primer imamo potem iz (5):

$$(7) \quad \operatorname{tg} \gamma = \sin \varphi \cdot \operatorname{tg} t$$

Na tečajih Zemlje ($\varphi = \pm 90^\circ$) je vodoravna sončna ura tudi ekvatorialna, saj na tečajih nebesni pol in zenit sovpadata, ravnini horizonta in ekvatorja sta torej vzporedni.

Iz (7) res sledi za $\varphi = \pm 90^\circ$: $\gamma = \pm t$. Pozitivni predznak velja za severni tečaj Zemlje (Sonce se giblje od opazovalčeve leve proti desni), negativni predznak pa za

južni tečaj (Sonce se giblje od desne proti levi).

Krajevni meridian na tečajih ni definiran, prav tako ne časovni kot. Trenutek pravega poldneva izberemo zato poljubno, običajno storimo to po krajevnem času meridijana skozi Greenwich.

Za ekvator Zemlje ($\varphi = 0^\circ$) sledi iz (7), da je $\gamma = 0^\circ$ za vsak časovni kot. Senčnik leži v tem primeru vodoravno in sicer v sami ravnini sončne ure ali pa nad njo. V prvem primeru sončna ura ne kaže ničesar, v drugem pa je smer sence res vzporedna poldnevnici in to za vsak časovni kot.

Navpična sončna ura

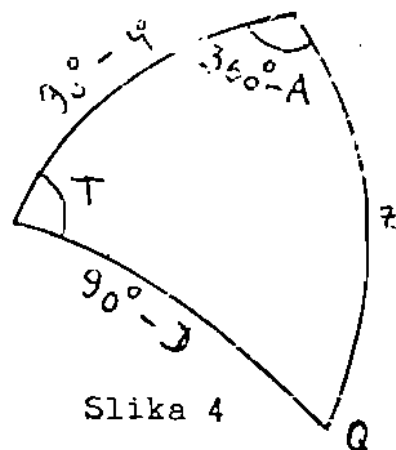
Ravnina sončne ure je največkrat navpična (n.pr. stena hiše). V tem primeru leži pol Q te ravnine v horizontu in ima azimut n.pr. A. Azimut štejemo od smeri proti severu (kjer znaša 0°) v sourni smeri. Zenitna razdalja pola znaša v tem primeru vedno 90° .

Deklinacija D in časovni kot T pola Q zavisita potem od geografske širine φ in od azimuta A pola Q.

V sfernem trikotniku: severni nebesni pol P_N - zenit Z - pol Q, veljajo sledeče znane zveze sferne trigonometrije:

$$\begin{aligned}\sin D &= \cos z \cdot \sin \varphi + \sin z \cdot \cos \varphi \cdot \cos A \\ \cos D \cdot \cos T &= \cos z \cdot \cos \varphi - \sin z \cdot \sin \varphi \cdot \cos A \\ \cos D \cdot \sin T &= -\sin z \cdot \sin A\end{aligned}$$

Če tu postavimo: $z = 90^\circ$, imamo



Slika 4

$$\begin{aligned} \sin D &= \cos \varphi \cdot \cos A \\ (8) \quad \cos D \cdot \cos T &= -\sin \varphi \cdot \cos A \\ \cos D \cdot \sin T &= -\sin \varphi \end{aligned}$$

Če vstavimo izraze (8) v (5), dobimo po daljšem izvedenju izraz za navpično sončno uro

$$(9) \quad \operatorname{ctg} \gamma = \sin A \cdot \operatorname{tg} \varphi + \cos A \cdot \operatorname{sec} \varphi \cdot \operatorname{ctg} t$$

Vzemimo še, da leži navpična stena natančno v smeri vzhod-zahod, torej da sovpada z ravnino prvega vertikalala. Če je stena južna, znaša azimut njenega pola 180° , če je stena severna pa 0° . Za oba primera dobimo potem iz (9):

$$(10) \quad \operatorname{tg} \gamma = \pm \operatorname{tg} t \cdot \cos \varphi$$

Zgornji predznak velja za južno, spodnji pa za severno steno.

Primer bomo v praksi komaj srečali, saj skoraj ni hiše s steno, ki bi potekala natančno v smeri vzhod-zahod.

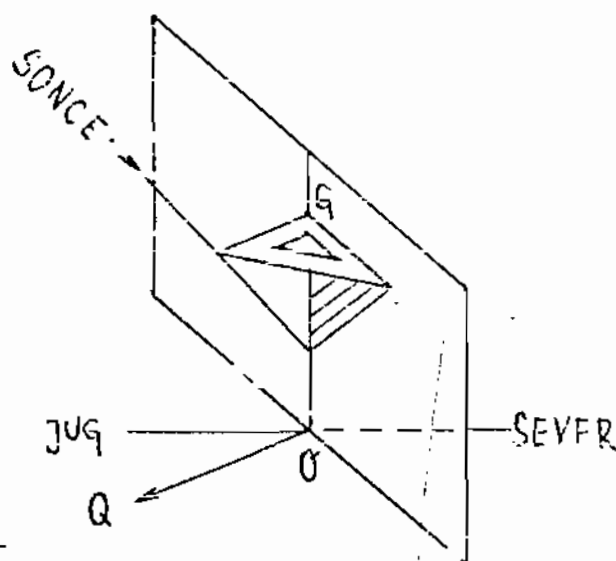
Po obrazcih (9) oz. (10) lahko dobimo tudi negativne vrednosti za kota γ . Koli γ , ki ustrezajo popoldanskim uram imajo negativni predznak, tisti, ki ustrezajo dopoldanskim uram pa pozitivnega. Kote z negativnim predznakom nanašamo desno, tiste s pozitivnim predznakom pa levo od navpičnice na številčnici sončne ure in ki predstavlja 12^h pravega sončevega časa.

Določitev in izračun azimuta navpične stene; izračun številčnice

Azimut navpične stene je določen z azimutom A pola Q te stene. Določiti ga moremo na več načinov: geodetsko, astronomsko, geodetsko-astronomsko in s kompasom.

V sledečem obravnavamo astronomski način, ki je za naš namen dovolj natančen in za amaterja še najlažje izvedljiv.

V točki G stene-kjer bo pritrjen senčnik sončne ure- načrtamo navpičnico OG. Za natančnost, ki jo daje sončna ura zadostuje četo napravimo z grezilom. Na navpičnico postavimo pravokoten risalni trikotnik s pravim kotom na navpičnici. Slika .Trikotnik naj



Slika 5

leži vsaj približno vodoravno. Opazujemo senco, ki jo meče na steno pravokotna stranica trikotnika. V trenutku ko leži ta senca na navpičnici OG zabeležimo srednjeevropski čas (=SEČ). Očitno je v tem trenutku azimut Sonca enak azimuta A pola Q stene.

Azimut A lahko izračunamo iz trenutka SEČ, koordinat Sonca v tem trenutku in geografske dolžine kraja kjer je sončna ura postavljena. Potrebujemo torej astronomski koledar za tekoče leto (koordinate Sonca!), geografsko dolžino^{7a} dobimo iz geografske karte.

Časovni kot Sonca v trenutku SEČ in na meridijanu λ dobimo- v pasu srednjeevropskega časa- po obrazcu

$$(11) \quad t = \text{SEČ} + E - (1^h + \lambda) \quad \text{oziroma po obrazcu}$$

$$(12) \quad t = \text{SEČ} + (e + 12^h) - (1^h + \lambda)$$

Tu pomeni količina e t.i. časovno izenačenje, ki je razlika med pravim in srednjim sončevim časom. Količino e dobimo iz astronomskega koledarja z interpolacijo za ustrezni dan (in uro). Količina E je za 12^h povečano časovno iz-

-načenje: $E = e + 12^h$. Geografsko dolžino λ jemljemo za vse kraje vzhodno od Greenwicha z negativnim predznakom. To pomeni, da imajo vsi kraji v naši državi negativne geografske dolžine! Geografsko dolžino štejemo največkrat v urah, časovnih minutah in sekundah ($360^\circ = 24^h$).

V astronomskem trikotniku: severni nebesni pol-zenit-Sonce veljata sledeči osnovni zvezi sferne trigonometrije

$$\sin z \cdot \sin A = -\cos \delta \cdot \sin t$$

$$\sin z \cdot \cos A = \cos \varphi \cdot \sin \delta - \sin \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t$$

Tu pomenijo: z in A zenitno razdaljo in azimut Sonca, δ deklinacijo Sonca (dobimo iz astronomskega koledarja), t časovni kot Sonca in λ geografsko širino (dobimo iz geografske karte).

Z deljenjem zgornjih obrazcev dobimo za izračun azimuta

$$(13) \quad \operatorname{tg} A = -\frac{\sin t \cdot \cos \delta}{\cos \varphi \cdot \sin \delta - \sin \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t}$$

Kvadrant v katerem leži kot A določimo s pomočjo predznaka $\operatorname{tg} A$ in iz dejstva ali nastopi trenutek SEČ dopoldne (pred prehodom Sonca čez krajevni meridian) ali popoldne (po prehodu). V ta namen služi sledeča preglednica

Kvadrant azimuta

SEČ nastopi	$\operatorname{tg} A > 0$	$\operatorname{tg} A < 0$
dopoldne	I.	II.
popoldne	III.	IV.

Trenutek prehoda Sonca čez krajevni meridian z geografsko dolžino λ dobimo tako, da postavimo v (11) oz. v (12) $t=0$:

$$(14) \quad \text{SEČ}_{\text{prehod}} = -E + (1^h + \lambda)$$

$$(15) \quad \text{SEČ}_{\text{prehod}} = -(e + 12^h) + (1^h + \lambda)$$

Če smo po obrazcu (13) izračunali azimut A pola Q navpične stene, moremo po obrazcu (9) izračunati kote γ in načrtati številčnico. Izračun izvršimo za okrogle vrednosti časovnega kota oziroma pravega sončevega časa: $t = P - 12^h = \pm 1^h, \pm 2^h, \pm 3^h, \dots$

ZGLED Dne 26.5.1984 je ob srednjeevropskem času $\text{SEČ} = 10^h 13,8^m$ stalo Sonce v pravokotni smeri na neko navpično steno v Ljubljani ($\varphi = +46^{\circ} 2'$; $\lambda = -0^h 59,0^m$; $1^h + \lambda = +2,0^m$).

Izračunati je številčnico za navpično sončno urc na tej steni!

Iz astronomskega koledarja za 1984 dobimo z interpolacijo za sredino (ob 12^h) danega datuma: $\delta = +21^{\circ} 11'$; $e = +3,0^m$; $E = e + 12^h = 12^h 3,0^m$.

Časovni kot Sonca ob danem trenutku srednjeevropskega časa izračunamo po obrazcih (11) oz. (12). Dobimo: $t = 22^h 14,8^m 33^{\circ} 42'$.

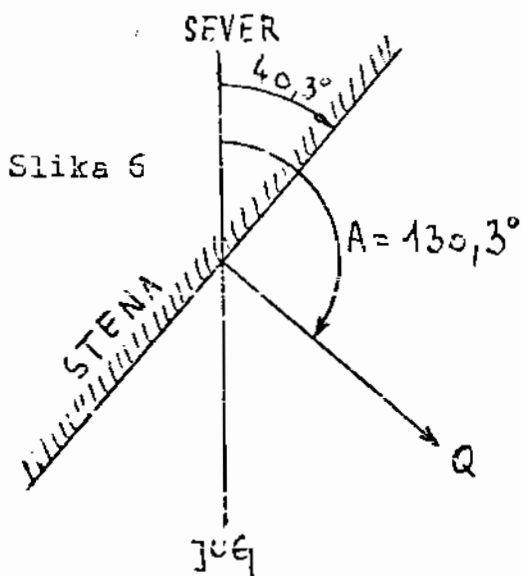
Po (13) dobimo za azimut pola naše stene: $\text{tg } A = -1,17775$ in

$$A = 130^{\circ} 20' = 130,3^{\circ}.$$

Po obrazcu (9) lahko sedaj izračunamo kote γ za izbrane (okrogle) vrednosti časovnega kota oziroma pravega sončevega časa.

Računajmo n.pr. od 5. ure ($P = 5^h$) do 14. ure pravega sončevega časa

za vsako celo uro. Račun daje sledeče vrednosti.



t	-7 ^h	-6 ^h	-5 ^h	-4 ^h	-3 ^h	-2 ^h	-1 ^h	0 ^h	1 ^h	2 ^h
P	5 ^h	6 ^h	7 ^h	8 ^h	9 ^h	10 ^h	11 ^h	12 ^h	13 ^h	14 ^h
γ	61,6°	51,7°	43,0°	37,0°	30,1°	22,6°	13,2°	0,0°	-20,4°	-50,5°

Trenutek prehoda Sonca čez meridijan Ljubljane za datum 26.5.1984 lahko izračunamo z danimi podatki E oz. e in λ po obrazcih (14) oz. (15). Dobimo: $SE\check{C}_{\text{prehod}} = -12^h 1^m = 11^h 59^m$.

Z izračunanimi podatki moremo sedaj narisati številčnico. Za pravilno orientacijo senčnika uporabimo podatka: φ in $SE\check{C}_{\text{prehod}}$. Ob izračunanem trenutku prehoda tega dne mora pasti senca na navpičnico, pravi sončev čas znaša tedaj 12^h .

Izdelava številčnice z nanašanjem lege sence

V kolikor se želimo izogniti računanju, lahko izdelamo številčnico sončne ure z neposrednim označevanjem lege sence okroglih ob izbranih trenutkih časovnega kota oz. pravega sončevega časa. Po obrazcih (11) oz. (12) je treba le izračunati za datum ko lego sence nanašamo, ustrezne trenutke v srednjeevropskem času. Senčnik pa mora biti v tem primeru predhodno pravilno orientiran! Postopek zahteva preveč veliko časa.

Če v obrazcih (11) oz. (12) postavimo: $t = P - 12^h$, dobimo zvezo med pravim sončevim in srednjeevropskim časom (SRČ):

$$(16) \quad SR\check{C} = P - 12^h - E + (1^h + \lambda) \quad \text{oziroma}$$

$$(17) \quad SR\check{C} = P - e + (1^h + \lambda)$$

Količini E oz. e se v teku leta iz dneva v dan spreminjata. Zato se trenutek SRČ srednjeevropskega časa, ki ustreza istemu pravemu sončevemu času (oz. časovnemu kotu) v teku leta spreminja, velja torej le za izbrani datum!

Dne 24.5.1984 je bilo Sonce n.pr. ob 10.uri prevega sončevega časa ($P = 10^h$, $t = -2^h$) ob srednjeveropskem času: SRČ = $10^h 11,8^m$

Grafična konstrukcija številčnice

Zelo priljubljena je grafična konstrukcija številčnice t.j. posameznih časovnih linij sončne ure. V tem primeru računanja praktično ni, pri natančnem risanju je postopek dovolj natančen, izvedemo ga udobno v sobi in potem prenesemo na teren.

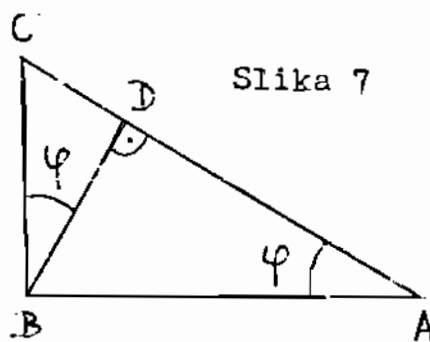
Za konstrukcijo moramo poznati geografsko širino φ in azimut pola stene.

V sledečem obravnavamo grafično konstrukcijo številčnice navpične sončne ure s pomočjo konstrukcije za vodoravno sončno uro.

Postopek je razviden iz slik 7 in 8 ter iz sledeče razlage.

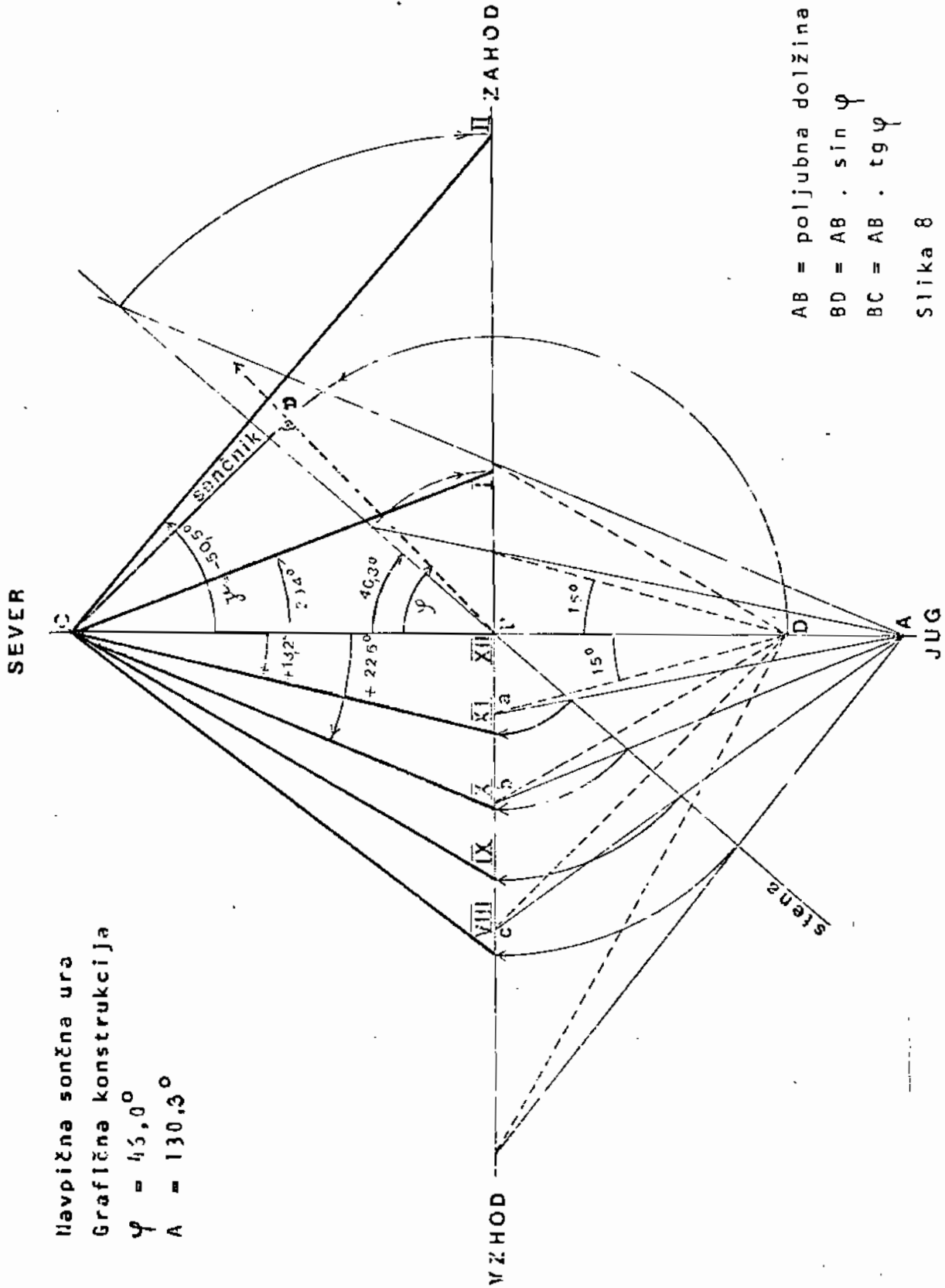
1./ Na primerno velikem risalnem listu načrtamo dve pravokotni premici, njuno presečišče označimo s črko B. Na prvi (vodoravni) premici označimo (slika) vzhod in zahod, na pravokotnici pa sever in jug.

Izberimo primerno dolžino za daljico AB n.pr. $AB = 100 \text{ mm}$ in izračunajmo daljici $BD = AB \cdot \sin \varphi$ in $BC = AB \cdot \operatorname{tg} \varphi$. Daljici nanese na oremico sever-jug in dobimo točki C in D.



Slika 7

2./ Konstrukcija številčnice za vodoravno sončno uro. Levo in desno od smeri DB načrtamo - z izhodiščem v točki D - poltrake na vsaki 15° . Poltraki sekajo premico vzhod-zahod



Nevpižna sončna ura
 Grafična konstrukcija
 $\varphi = 45,00^\circ$
 $A = 130,30^\circ$

AB = poljubna dolžina
 BD = AB · sin φ
 BC = AB · tg φ

Slika 8

v točkah a, b, c, ... Te točke zvežemo s točko A in dobimo posamezne časovne linije za vodoravno sončno uro.

3./ Konstrukcija številčnice za navpično sončno uro.
Skozi točko B načrtamo pod ustreznim kotom (azimut pola stene je znan) premico, ki označuje steno, točneje tloris stene t. j. njen presek z vodoravno ravnino.

Tloris stene seka posamezne časovne linije vodoravne sončne ure. Presečišča prenesemo s šestilom (zabodemo v B) na premico vzhod-zahod.

Dobljene točke zvežemo s točko C in dobimo časovne linije za navpično sončno uro.

4./ Konstrukcija senčnika

V točki B naneseemo kot geografske širine φ in potegnemo poltrak (slika). Na poltraku naneseemo razdaljo $BD = AB \cdot \sin \varphi$. Dobimo točko D, ki jo zvežemo s C. Daljica CD predstavlja senčnik.

Trikotnik ECD postavimo v ravnino krajevnega meridijana, daljica EC je navpična.

5./ Številčnico sončne ure postavimo pravokotno na ravnino papirja (zasučemo okoli premice vzhod-zahod za 90°), nato pa številčnico zasučemo še okoli EC v ravnino (steno) sončne ure.

Literatura

- 1./ L.M. Loske, Die Sonnenuhren, Springer Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 1959;
- 2./ R. Sigl, Ebene und sphärische Trigonometrie, Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe, 1977;

- 3./ B.Ševarlić-Z. Erkić, Opšta astronomija, Naučna knjiga, Beograd, 1981;
- 4./ K. Stumpff, Geographische Ortsbestimmungen, VEB Deutsche Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1955;
- 5./ B. Kilar, Sončne ure, Proteus, 44 (1982), 335-338;
- 6./ B. Kilar, Vodovarna sončna ura, Proteus, 45 (1982), 87-89;
- 7./ B. Kilar, Približna določitev geografskih koordinat in azimuta, Fakulteta za arh., gr. in geodezijo, Ljubljana, 1979;
- 8./ B. Kilar, Sferna trigonometrija z uporabo v geodeziji, Fakulteta za arh., gr. in geodezijo, Ljubljana, 1983;
- 9./ Astronomičeski ežegodnik SSSR na 1984 god, Nauka, Leningrad, 1981;
- 10./ Naše nebo 1984 (astronomske efemeride), Društvo matematikov, fizikov in astronomov SRB, Ljubljana, 1983.

Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani
Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo
Katedra za višjo geodezijo

Bogdan Kilar

SONČNA PRA V KARNUZIJANSKEM SAMOSTANU PLETVAJE

(Opis, uporaba in predlogi za njeno izboljšanje)

Ljubljana 1989

V S E B I N A

	Stran
Splošno	..... 1
Geografski koordinati samostana Pleterje	..... 1
Splošni opis sončne ure v samostanu Pleterje	..... 1
Opis sončne ure	..... 2
- Steber	..... 2
- Opis zunanjšega diska	..... 3
- Opis srednjega diska	..... 3
- Opis notranjšega diska	..... 5
Postavljanje sončne ure	..... 5
Uporaba sončne ure v samostanu Pleterje	..... 6
Predlogi za izboljšanje sončne ure	..... 8

Sončna ura v kartuzijanskem samostanu Pleterje

Opis, uporaba in predlogi za njeno izboljšanje

Splošno

Kartuzijanski red je ustanovil sv. Bruno (1030-1101) iz Kölna. V Sloveniji so bili nekdanj 4 kartuzijanski samostani, danes je en sam in sicer v Pleterjih, 20 km zahodno od Novega Mesta. Najbližje naselje je Šentjernej. Leta 1695. so odstopili kartuzijanci samostan jezuitom. Definitivno so se kartuzijanci vrnili v Pleterje leta 1904. in sicer iz Francije (kartuzija Bosserville). Seboj so prinesli zelo kvalitetno sončno uro, ki stoji danes na t. i. častnem dvorišču v samostanu.

Geografski koordinati samostana Pleterje

$\varphi = +45^{\circ}49'$; $\lambda = 15^{\circ}21'42'' E = 1^{\text{h}}01^{\text{m}}26,8^{\text{s}} E$;
zonski odklon = $-1^{\text{m}}26,8^{\text{s}}$

Splošni opis sončne ure v samostanu Pleterje

Sončno uro je med leti 1802 in 1810 konstruiral menih de l'abbé Berlbiaud - kot stoji vrezano na zunanjem disku urne osnove. Razen sončne ure v Pleterjih obstojita še dva primerka takšne sončne ure. Od tega je eden v Vatikanu.

Sončna ura v Pleterjih je izdelana z veliko astronomskega znanja in zelo solidno (bronca). Tudi njena uporaba zahteva poznavanje nekaterih astronomskih pojmov.

Sončna ura v Pleterjih je ekvatorskega tipa. Omogoča določitev pravega in srednjega (krajevnega) sončevega časa na meridianu skozi Pleterje. Omogoča pa tudi ^{*}odčitavanje pravega in srednjega sončevega časa za poljuben drug kraj na Zemlji - če poznamo njegovo geografsko dolžino. Sončna ura omogoča tudi določitev srednje-

* - za isti trenutek -

evropskega časa, oziroma poljubnega pasovnega časa na Zemlji. ^{*}
Sončno uro je možno uporabljati na poljubni geografski širini od -60° do $+60^{\circ}$ in na poljubnem meridianu. V tem smislu je sončna ura v Pletetjeh univerzalna. To poudarja tudi napis, vgraviran na zgornjem robu zunanega diska urne osnove:

CADRAN SOLARRE A EQUATION

Sončna ura omogoča tudi določitev izgleda zvezdnega neba za poljuben dan in uro - vendar le za geografsko širino Dunaja ($\varphi = +48^{\circ}15'$). oziroma krajev, ki ležijo na vzporedniku Dunaja (ki imajo isto geografsko širino kot Dunaj!).

Opis sončne ure.

Steber

Sončna ura stoji na kamnitem stebru s kvadratnim prerezo. Steber je zgoraj okrašen. Višina stebra: 86 cm, prerez: 23 x 23 cm. Okras na vrhu stebra: stilizirano listje, reliefni portreti sv. Bruna, Jezusa, Matere Božje in nekega papeža.

Ura

okrogel

Na vrhu stebra je železen podstavek s premerom 24 cm in debelino 2 cm. Na podstavku je z močnim vijakom pritrjen nosilec, ki nosi urno osnovo in sicer tako, da se kot med nosilcem (navpičnica) in urno osnovo lahko spreminja v odvisnosti od geografske širine kraja kjer je sončna ura postavljena. V ta namen služi skala, ki teče od 0° do 60° .

Urno osnovo sestavljajo 3 koncentrični metalni diski (ološče)

Premer zunanega diska : 29,5 cm

Premer srednjega diska : 23,5 cm

Premer notranjega diska: 17,2 cm

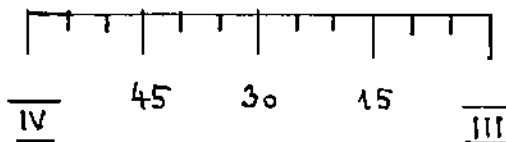
Zunanji disk je fiksni, srednji in notranji disk sta vrtljiva.

* Možno je tudi določiti približen datum (koledar!), deklinacijo Sonca in časovno izenačenje t. j. razliko: pravi krajevni - srednji krajevni sončev čas.

Opis zunanjega diska

Zunanji disk je fiksen, njegov premer je 29,5 cm. Disk nosi dva napisa: ime konstruktorja (de l'abbé Berlbiaud) in napis: "cadran solarre a equation".

Na obodu zunanjega diska so vrezane ure od III do XII za dopoldan in od XII do IX za popoldan. Rimske številke so vrezane za vsako celo uro, lok med njimi je razdeljen na 12 delov (po 5 časovnih minut). Vsaka tretja črtica je oštevilčena z arabskimi ciframi: 15, 30 in 45 časovnih minut.



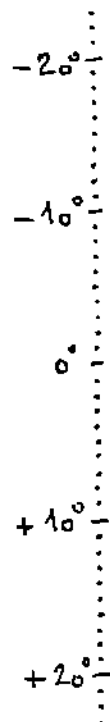
Opis srednjega diska

Srednji disk ima premer 23,5 cm in je vrtljiv. V ta namen sta uporabniku na razpolago ^{diametralni} dve ročici.

Na srednjem disku sta diametralno postavljena dva roglja, ki sta ukrivljena. Polmer ukrivljenosti je 27 cm. (manjši in večji)

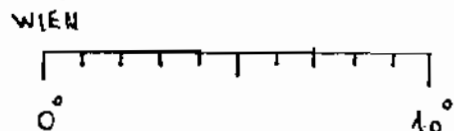
Manjši rogelj nosi 12 cm nad nivojem diska malo lečo. Leča je vgrajena v prstan s "horizontalno" osjo. Z vrtenjem okoli "horizontalne" osi postavimo lečo pravokotno na sončne žarke. Dimenzije manjšega roglja: višina 13,0 cm, širina: 5,5 cm pri dnu in 2,0 cm zgoraj.

Večji rogelj je visok 19 cm, pri dnu je širok 6 cm, v sredini 3,5 cm in zgoraj 6 cm. Rogelj je ukrivljen, polmer ukrivljenosti znaša 27 cm. Na notranji strani roglja je vgravirana krivulja v obliki nekakšne osmice. Vzdolž "osmice" je vrezan lok, ki je razdeljen na stopinje in sicer dvakrat po $23^{\circ}27' = 23,45^{\circ}$. Vsaka stopinja je označena s točko, vsaki deseti stopinji je pripisana vrednost. Gre za razpon v katerem se v teku leta menja deklinacija (=kotna oddaljenost od nebesnega ekvatorja) Sonca "Osmica" je



* t.i. deklinacijski

razdeljena na loke, ki so označeni z znaki nebesnih znamenj zodiaka (živalskega kroga). Vstop v posamezna nebesna znamenja ne sovпада z začetki mesecev. Zato so začetki mesecev označeni na "osmici" posebej in sicer v francoščini (kot vsi napisi na uri). Najvišja točka "osmice" ustreza zimskemu, najnižja po oolletnemu solsticiju.



Obod srednjega diska je razdeljen na 360° po 1°. Vsaka stopinja je označena s črtico, vsaka peta črtica je daljša, vsaki deseti črtici je vpisana vrednost. Ničelna črtica, t.j. začetna črtica 0°, se nahaja na sredini podnožja večjega roglja (roglja z "osmico"). Ničelni črtici je pripisano ime Dunaja (Wien), potem pa sledijo imena še 45 mest. Če gremo od Dunaja (Wien) proti zahodu, si sledijo sledeča mesta:

- | | | |
|-------------------|-----------------|--------------------|
| 1. Wien | 16. Kansas | 31. Tokio |
| 2. Roma | 17. Mexico | 32. Moluges Ins. |
| 3. Paris | 18. Sta Fe | 33. Mukden |
| 4. Madrid | 19. Idaho | 34. Peking |
| 5. Sierra-Leon | 20. S-Francisco | 35. Hue |
| 6. Island | 21. Vancoover | 36. Bangkok |
| 7. Acores Ins. | 22. Marquises | 37. Lhasa |
| 8. Pernambuco | 23. Tahiti | 38. Calcutta |
| 9. Rio de Janeiro | 24. Alaska | 39. Delhi |
| 10. Cayenne | 25. Samoa Ins. | 40. Bombay |
| 11. Euenos-Ayres | 26. New-Secland | 41. Herat |
| 12. Caracas | 27. Noumea | 42. St-Denis Ims. |
| 13. Yor | 28. Solomon | 43. Tananarivo |
| 14. Panama | 29. Sydney | 44. Jerusalem |
| 15. Chikago | 30. Melbourne | 45. St. Petersburg |
| | | 46. Alhen |

Opis notranjega diska

Na notranjem disku s premerom 17,2 cm je vrezana zvezdna karta in sicer v stereografski projekciji. Gre za polarno, normalno stereografsko projekcijo, ki je konformna, t.j. ohranja kote. Na projekciji so vrezani nebesni vzporedniki $\delta = -30^\circ$, $\delta = 0^\circ$ (=ekvator), $\delta = +30^\circ$ in $\delta = +60^\circ$ ter ekliptika. V uporabljeni projekciji so to vse krogi.

Včrtana so glavna ozvezdja in vpisna imena zodiakalnih ozvezdij.

Obod notranjega diska je razdeljen na 12 mesečnih lokov ($=30^\circ$), vpisana so imena mesecev in naznačeni dnevi. Obod notranjega diska je razdeljen poleg tega še na 24 delov po 15° .

Horizontski krog in kazalo

Na notranjem disku je centralno pritrjeno kazalo, ki ima na enem koncu puščico, na drugem pa križ. Kazalo nosi prstan v obliki krožnice. Ta krožnica predstavlja horizont mesta Dunaj, projeciran v isti projekciji na zvezdno karto. Če kazalo usmerimo na ustreznemu datumu in uri, zajema horizont tisti del zvezdnega neba, ki je ob nastavljenem datumu in uri viden na Dunaju ($\varphi = +48^\circ 15'$). Za kraj z drugo geografsko širino je treba krožnico horizonta konstruirati znova. V tem smislu torej sončna ura ni univerzalna!

Postavljanje sončne ure

Sončna ura v samostanu Pleterje spada med t.i. stacionarne sončne ure. Postavljena more biti kjerkoli na Zemlji: na sončnem dvorišču, vrtu ali primerni - južni - terasi. Kaže pa pravilno le tedaj če je pravilno orientirana. To pomeni sledeče.

Liski sončne ure morajo biti postavljeni v ravnini nebesnega ekvatorja t.j. vzporedno z ravnino ekvatorja Zemlje (torej pravokotno na vrtilno os Zemlje). To dosežemo z dvema postopkoma.

1.) Diski morajo biti nagnjeni nasproti navpičnici za kot, ki je

enak geografski širini kraja kjer je ura postavljena. To pomeni, da morajo biti diski nagnjeni nasproti horizontalni ravnini za komplementaren kot: $90^{\circ} - \text{geografska širina}$. V ta namen je na navpičnem nosilcu sončne ure nameščena skala, ki teče od 0° do 60° . Za samostan Pleterje znaša geografska širina: $\varphi = 45^{\circ}49'$, komplementarni kot torej $90^{\circ} - \varphi = 44^{\circ}11'$.

2.) Polmer zunanjšega diska, označen z XII, se mora nahajati v ravnini krajevnega meridiana t.j. meridiana kjer je sončna ura postavljena. Ta pogoj najlažje izpolnimo če poznamo geografsko dolžino kraja kjer je sončna ura postavljena in imamo uro, ki kaže (na primer) srednjeevropski čas. V tem primeru je namreč možno izračunati kdaj je Sonce v krajevnem meridianu. V tem trenutku zasuka-
mo podstavek sončne ure tako, da kaže zareza na zunanji strani večjega roglja XII. uro (pravega sončevega časa).

Če hočemo pravilno postaviti sončno uro, moramo ^{torej} poznati geografski koordinati φ in λ kraja kjer je sončna ura postavljena in imeti čim bolj natančno uro. Zahtevana natančnost ni zelo velika: zadostuje, če poznamo koordinati z natančnostjo $\pm 15' = (1/4)^{\circ}$, ura pa naj bo natančna na plus-minus ³⁰ nekaj sekund. Geografski koordinati lahko odčitamo na zemljepisni karti z včrtanimi vzporedniki in meridiani. Karta naj bo v merilu 1:1000000 ali večjem.

Uporaba sončne ure v samostanu Pleterje

Če je sončna ura pravilno postavljena, jo uporabljamo na sledeči način.

Srednji disk zasučemo z omenjenima ročičama tako, da pade ravnina, ki jo določata oba diametralna roglja, skozi Sonce. To je ravnina deklinacijskega kroga kjer se v tem trenutku nahaja Sonce. Lečo na manjšem roglju postavimo pravokotno na sončne žarke. Na notranji strani večjega roglja (roglja z "psmicó") dobimo svetlo liso.

Svetla lisa pada na deklinacijski lok, ki je vrezan vzdolž osmice in ki je razdeljen na stopinje (glej opis srednega diska). Na ta način imamo možnost odčitati deklinacijo Sonca tega dne. Ničelna črtica = zareza na zunanji strani večjega roglja kaže - na zunanjem disku - pravi sončev čas v tem trenutku.

Sončna ura v Pleterjih pa omogoča tudi določitev t.i. srednjega sončevega časa in sicer na sledeči način.

Razlika: pravi-srednji sončev čas se v teku leta menja z datumom. Ob istem datumu vsakega leta je ta razlika (=časovno izenačenje) praktično enaka. Razlika je največja vsako leto okoli 4. novembra in znaša $+16,4^m$, najmanjša vsako leto okoli 12. februarja ($-14,4^m$). Štirikrat v vsakem letu pa je ta razlika nič in sicer okrog 15. aprila, 14. junija, 31. avgusta in 24. decembra.

Na sončni uri v samostanu Pleterje so nanešene ločne vrednosti (loki) razlike: pravi-srednji sončev čas levo in desno od deklinacijskega loka na večjem roglju in za ustrezne vrednosti deklinacije, to je za ustrezne datume (deklinacija se menja z datumom). Negativne razlike so nanešene levo, pozitivne pa desno od deklinacijskega loka. Ob spajanjem končnih točk posameznih lokov nastane osmici podobna krivulja. To je krivulja časovnega izenačenja. Krivulja štirikrat v vsakem letu preseka deklinacijski lok in sicer ob zgoraj navedenih datumih.

Z malim zasukom srednjega diska postavimo svetlo liso na ustrezno mesto "osmice". Zareza na zunanji strani večjega roglja kaže ootemna zunanjem disku-srednji (krajevni) sončev čas.

Na srednjem disku so nanešene še razlike geografskih dolžin od meridiana skozi Dunaj (=ničelna črtica = zareza) in pripisana imena 45 mest (glej opis srednjega diska). Na ta način je bilo - na meridianu Dunaja možno določiti pravi oziroma srednji (krajevni) sončev čas

v istem trenutku za 45 vpisanih mest.

V Pleterjih-ki ležijo zahodno od Dunaja-so odčitki pogrešeni za približno +4 minute, t.j. za pozitivno razliko geografskih dolžin: Dunaj-Pleterje. Odčitki so za vsa na srednjem disku vpisana mesta za 4 minute premajhni in jim je torej treba prišteti 4 minute t.j. pozitivno razliko geografskih dolžin Dunaj-Pleterje.

Če pa bila sončna ura postavljena v nekem kraju, ki leži vzhodno od Dunaja, bi bili odčitki za vsa na srednjem disku vpisana mesta za pozitivno razliko geografskih dolžin: Dunaj-kraj preveliki in bi jim bilo treba to razliko odšteti!

Določitev srednjeevropskega časa je na sončni uri v Pleterjih možna tako, da se čitanje ^{ne} izvede s pomočjo ničelne črtice=zareze na večjem roglju, ampak od fiktivne črtice, ki leži za $15^{\circ} - \lambda_{\text{Pleterje}} = -21'42'' = -1,5^{\text{m}}$ desno od zarez (desno če zarez gledam od zunanje strani). Z drugimi besedami: odčitku na ničelni črtici=zarezi je treba v Pleterjih odšteti 1,5 minute!

Predlogi za izboljšanje sončne ure

- 1.) Nosilec naj nosi dozno libelo, da ga bo možno bolj natančno postaviti navpično.
- 2.) Skala na navpičnem nosilcu sončne ure-ki služi za spreminjanje kota (=geografske širine) med ravnino diskov in navpično smerjo- naj bo bolj natančno kot je sedaj.
- 3.) Srednji disk je spremeniti na sledeči način. Oba diametralna roglja naj ne bosta fiksno pritrjena na srednji disk, ampak tako, da ju bo možno nastaviti (t.j. ničelno črtico=zarezo) na geografsko dolžino kraja kjer sončna ura stoji. Na ta način bodo odčitki za

vse vpisane kraje vedno pravilni ter ne bodo potrebne nobene korekture za razliko geografske dolžine od meridiana skozi Dunaj kot je sedaj slučaj.

V tem primeru bo tudi določitev srednjeevropskega časa prav enostavna. Po namestitvi svetle lise na ustrezno mesto "osmice" odčitamo srednjeevropski čas s črtico, ki je označena s 15° vzhodno od Greenwicha.

Poljuben pasovni čas na Zemlji dobimo torej z odčitkom na ustreznih črticah: 15° , 30° , 45° itd. vzhodno oziroma zahodno od Greenwicha.