

VEDECKÉ ZPRÁVY

VIKTOR GREGOR

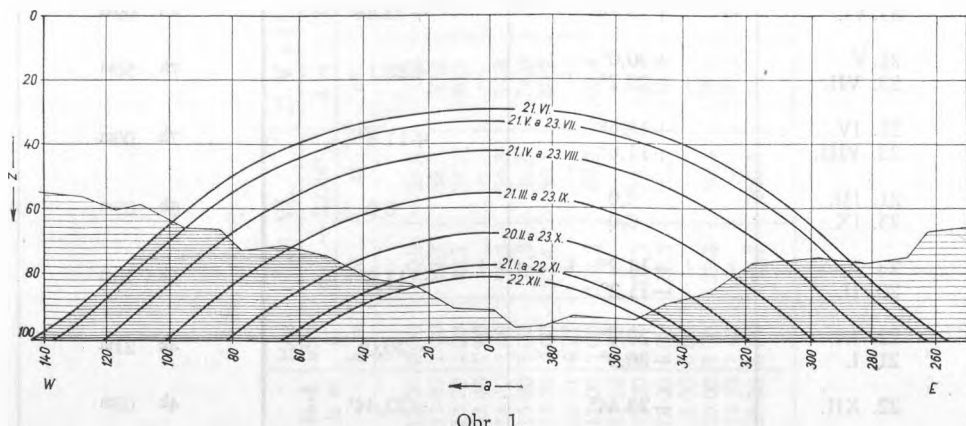
GRAFICKO-NUMERICKÝ SPÔSOB URČENIA CELOROČNEJ SUMY
EFEKTÍVNE MOŽNÉHO SLNEČNÉHO SVITU

1. ÚVOD

Riešenie problému určenia celoročnej sumy efektívne možného slnečného svitu určitého bodu zemského povrchu má význam tak pre prírodné, ako aj pre technické vedy. Popri geografii napr. pre hydrológa sú údaje o dobe trvania slnečného svitu v oblasti vysoko-horských jazier dôležité z hľadiska režimu ľadov, kým pre architekta môže byť celoročná suma efektívne možného svitu niekedy rozhodujúca pri situovaní projektu zvlášť v horských a vysokohorských terénoch.

Pri posudzovaní používaných spôsobov sú popri presnosti určenia doby trvania slnečného svitu dôležité tiež časové nároky potrebné na určenie doby trvania zákrytu dráhy Slnka horizontom, spojené spravidla s množstvom číselných údajov, a tým aj s možnosťou výskytu prípadných chýb, ako je to napr. pri použití kruhového diagramu.

V ďalšom texte uvedieme graficko-numerický spôsob určenia celoročnej sumy efektívne možného slnečného svitu daného miesta, vychádzajúci z daných teoretických hodnôt trvania slnečného svitu, ktorým odpovedajú plochy vypočítané s použitím matematicky vyjadrených dráh Slnka. Pritom celoročná dráha Slnka rozvinutá do roviny a rozdelená na 6 období pre určenie plochy zákrytu dráhy Slnka horizontom je graficky zobrazená spolu s horizontom (obr. 1). Porovnaním teoretickej sumy slnečného svitu a tomu odp-



vedajúcej plochy jednotlivých období s plochou zákrytu dráh Slnka horizontom určíme dobu trvania zákrytu horizontu (obr. 1 — husté šrafovanie). Celoročná suma efektívne možného slnečného svitu miesta je potom daná rozdielom teoretickej celoročnej sumy slnečného svitu a doby trvania zákrytu Slnka horizontom. Pritom pre určenie okolitého horizontu daného miesta priamo odmeriame vodorovné a výškové uhly jednotlivých bodov horizontu teodolitom a plochu zákrytu dráh Slnka horizontom určíme dostatočne presne polárnym planimetrom.

2. MATEMATICKÉ ZÁKLADY

Zdanlivú polohu Slnka udávajú rovníkové geocentrické súradnice: deklinácia δ a rektascenzia α , uvedené pre každý deň v astronomickej ročenke. Pre rozvinutie zdanlivej dráhy Slnka do roviny je účelnejšie použiť horizontálne súradnice: azimut a a zenitovú vzdialenosť z . Pretože výška Slnka nad horizontom je priamo závislá od zemepisnej šírky daného miesta pozorovateľa, treba uvažovať zdanlivé dráhy Slnka pre určitú zemepisnú šírku. V danom prípade uvažujeme $\varphi = 50^\circ$, v súhlase s *Hvězdářskou ročenkou*, v ktorej sú časové údaje východu a západu Slnka pre uvedenú zemepisnú šírku. Pritom však možno hodnoty platné pre $\varphi = 50^\circ$ prakticky použiť pre územie celej republiky, pretože rozdielu v zemepisnej šírke 1° odpovedá zmena celoročnej doby trvania slnečného svitu o 3 hod., čo je prakticky zanedbateľná hodnota ($\approx 0,06\%$ celoročnej doby trvania svitu). Pretože zmena zemepisnej dĺžky nemá vplyv na dobu slnečného svitu, platia hodnoty uvedené pre určitú zemepisnú šírku daného miesta bez ohľadu na jeho zemepisnú dĺžku.

Hodnoty teoretickej doby trvania slnečného svitu pre jednotlivé mesiace boli určené podľa *Hvězdářskej ročenky* [1], v ktorej je čas východu a západu Slnka pre každý deň v roku pre horný okraj Slnka s uvažovaním refrakcie $43'$. Doba trvania denného

Tabuľka 1

Dátum	δ_1 δ_2	Priemer δ	Hod. uhol západu stredú Slnka $t_{z\acute{a}p.}$
21. VI.	+23,44°	+23,44°	8h 09m
21. V. 23. VII.	+20,0° +20,2°	+20,1°	7h 50m
21. IV. 23. VIII.	+11,6° +11,6°	+11,6°	7h 00m
21. III. 23. IX.	0,0 0,0	0,0	6h 03m
23. X. 20. II.	-11,2° -11,2°	-11,2°	5h 10m
22. IX. 21. I.	-20,0° -20,1°	-20,0°	4h 21m
22. XII.	-23,44°	-23,44°	4h 00m

Tabuľka 2

Horizontálne súradnice podrobných bodov dráh Slnka

Hod. h m	Hod. uhol t h m	21. VI.		21. V. a 23. VII.		21. IV. a 23. VIII.		21. III. a 23. IX.		20. II. a 23. X.		21. I. a 22. XI.		22. XII.	
		$\delta = + 23,44^\circ$		$\delta = + 20,1^\circ$		$\delta = + 11,6^\circ$		$\delta = 0,0^\circ$		$\delta = - 11,2^\circ$		$\delta = - 20,0^\circ$		$\delta = - 23,44^\circ$	
		ag	zg	ag	zg	ag	zg	ag	zg	ag	zg	ag	zg	ag	zg
12 00	0 00	0,0	29,6	0,0	33,2	0,0	42,7	0,0	55,5	0,0	68,0	0,0	77,8	0,0	81,5
13 00	1 00	32,7	32,3	30,2	35,7	25,6	44,8	21,4	57,3	18,4	69,7	16,6	79,2	15,9	83,0
13 20	1 20	42,1	34,3	39,1	37,7	33,5	46,4	—	—	—	—	—	—	—	—
13 40	1 40	—	—	—	—	—	—	—	—	30,2	72,3	27,2	81,5	26,1	85,2
14 00	2 00	58,3	39,3	54,8	42,4	48,1	50,8	41,1	62,4	35,9	74,2	32,3	83,2	31,0	86,8
15 00	3 00	77,3	48,8	74,0	51,5	66,7	59,1	58,3	70,0	51,8	80,9	47,0	89,4	45,2	92,8
16 00	4 00	92,4	59,1	89,2	61,8	82,1	69,0	73,4	79,2	66,1	89,3	60,6	97,4	58,6	100,8
16 21	4 21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	65,3	100,8	—	—
17 00	5 00	105,3	69,9	102,4	72,4	95,5	79,4	87,1	89,3	79,3	99,1	—	—	—	—
17 10	5 10	—	—	—	—	—	—	—	—	81,4	100,8	—	—	—	—
17 20	5 20	109,3	73,3	106,5	75,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18 00	6 00	117,3	80,3	114,7	83,0	108,4	90,2	—	—	—	—	—	—	—	—
18 03	6 03	—	—	—	—	—	—	100,8	100,8	—	—	—	—	—	—
19 00	7 00	129,2	90,3	126,9	93,2	121,0	100,8	—	—	—	—	—	—	—	—
19 50	7 50	—	—	137,3	100,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20 09	8 09	143,7	100,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

slniečného svitu sa v priebehu roka mení v závislosti od zmeny deklinácie Slnka, a pretože deklinácia Slnka sa cyklicky mení od zápornej maximálnej hodnoty v decembri po kladnú maximálnu hodnotu v júni a späť po zápornú maximálnu hodnotu, vzniknú prakticky dve symetrické polovice roka s rovnakými deklináciami. Vzhľadom na to sme zvolili pre danú úlohu vždy jeden deň v dvoch mesiacoch symetricky rozložených v roku vzhľadom na slnovrat s prakticky rovnakou deklináciou, čím vzniklo šesť období (tab. 1).

Dráhy slnka v dňoch zimného a letného slnovratu ($\delta_{XII} = -23,44^\circ$ a $\delta_{VI} = +23,44^\circ$), v dňoch jarnej a jesennej rovnodennosti ($\delta_{III, IX} = 0$), ako aj v ďalších mesiacoch rozložených počas roka prakticky symetricky vzhľadom na dni slnovratu ($\delta_{IV, VIII} = +11,6^\circ$; $\delta_{V, VII} = +20,1^\circ$; $\delta_{II, X} = -11,2^\circ$ a $\delta_{I, IX} = -20,0^\circ$) sú dané deklináciou δ a hodinovým uhlom t . Pre danú úlohu je účelné vyjadriť podrobné body dráh Slnka v horizontálnych súradniciach (azimut a a zenitová vzdialenosť z , tab. 2), pričom vzhľadom na konečné grafické spracovanie prakticky stačí presnosť transformačných tabuliek v *Astronomických tabuľkách* [2]. Hodnoty deklinácie, ako aj hodinový uhol západu stred Slnka v tab. 2 sú priemerné hodnoty štvorročného cyklu, vrátane priestupného roka.

Deklinácia slnka sa vzťahuje na stred Slnka, kým v ročenke je udaný čas východu a západu pre jeho horný okraj. Pre danú úlohu definujeme začiatok a koniec slnečného svitu v okamžikoch, keď stred Slnka sa dotýka obzoru, a potom treba uvažovať vplyv rozdielu medzi východom horného okraja a stred Slnka ($r = 16' = 1^m$) na hodinový uhol východu, resp. západu Slnka. Podľa rovnice (3) platí pre vyjadrenie vplyvu polomeru Slnka na hodinový uhol vzťah pre vplyv refrakcie na hodinový uhol, v ktorom môžeme refrakciu nahradiť polomerom Slnka

$$\Delta t = (t' - t)^s = \frac{R}{15 \cos \varphi \sin a} = \frac{r}{15 \cos \varphi \sin a}, \quad (1)$$

pričom t' – hodinový uhol ovplyvnený refrakciou, R – refrakcia, r – polomer Slnka, φ – zemepisná šírka stanovišta, a – azimut Slnka.

Za predpokladu, že azimut západu Slnka sa mení v rozsahu $53^\circ < a < 129^\circ$ (22. dec. až 21. jún), potom $0,78 < \sin a < 1,0$. Pre zjednodušenie uvažujeme priemernú približnú hodnotu $\sin a = 0,89$ a $\varphi = 50^\circ$, potom pre priemernú zmenu hodinového uhla Δt dostaneme

$$\Delta t = 1,9^m \approx 2^m. \quad (2)$$

Tým, že uvažujeme pre danú úlohu východ, resp. západ stred Slnka, sa východ oneskorí a západ urýchli v porovnaní s horným okrajom Slnka v priemere o 2 min., t. j. deň sa skrúti oproti údajom v ročenke platným pre horný okraj v priemere o 4 min. Ročne je to v priemere 24 hod. trvania slnečného svitu, teda 4 hod. na jedno obdobie (tab. 3). O časovú redukciu 2^m na stred Slnka bol teda opravený ako hodinový uhol západu, prípadne východu Slnka, tak aj hodnota trvania slnečného svitu. Celoročná suma teoretického slnečného svitu je daná súčtom hodnôt trvania svitu pre jednotlivé obdobia podľa tab. 3, pričom ako výsledné hodnoty trvania svitu uvažujeme obdobie ako pri deklinácii priemer štvorročného cyklu, vrátane priestupného roka.

Pri uvedenom spôsobe určenia doby trvania slnečného svitu využívame v konečnej relácii plochy medzi dráhami Slnka v jednotlivých obdobiach. Pretože plochy, odpovedajúce jednotlivým obdobiach, treba určiť čo najspoľahlivejšie, použili sme na určenie

Tabuľka 3

Teoretická doba trvania slnečného svitu — $\varphi = 50^\circ$

Obdobie		Počet dní	Rok				Rok				Priemerný svit	
			1960	1961	1962	1963	1960	1961	1962	1963	horný okraj	stred Slnka
1.	22. V. — 21. VI.	31	h	h	h	h	h	h	h	h	h	
	22. VI. — 23. VII.	32	500,6 515,4	500,5 515,6	500,3 515,6	500,2 516,2	1016,0	1016,1	1015,9	1016,4	-4,0 1016,1	1012,1
2.	22. IV. — 21. V.	30	449,2	448,9	448,5	448,0	909,6	909,6	909,5	909,3	-4,0 909,5	905,5
	24. VII. — 23. VIII.	31	460,4	460,7	461,0	461,3						
3.	22. III. — 21. IV.	31	409,7	409,3	409,0	408,4	814,6	814,7	814,8	814,6	-4,0 814,7	810,7
	24. VIII. — 23. IX.	31	404,9	405,4	405,8	406,2						
4.	21. II. — 21. III.	29	339,5	328,7	327,4	327,9	675,1	664,9	663,9	664,7	-4,0 667,2	663,2
	24. IX. — 23. X.	30	335,6	336,2	336,5	336,8						
5.	22. I. — 20. II.	30	286,4	287,6	287,3	286,8	570,1	571,7	571,8	571,8	-4,0 571,3	567,3
	24. X. — 22. XI.	30	283,7	284,1	284,5	285,0						
6.	23. XI. — 22. XII.	30	248,6	248,7	248,8	249,2	498,3	498,7	498,7	499,1	-4,0 498,7	494,7
	23. XII. — 21. I.	30	249,7	250,0	249,9	249,9						
Σ		365	4483,7	4475,7	4474,6	4475,9	4483,7	4475,7	4474,9	4475,9	-24,0 4477,5	4453,5

ploch matematické vyjadrenie dráh Slnka Lagrangeovým interpolačným polynómom. Integrovaním polynómu v daných medziach potom jednoducho určíme plochu obmedzenú dráhou príslušného obdobia.

Dráhy Slnka ako reálne funkcie sú pre jednotlivé deklinácie vyjadrené horizontálnymi súradnicami v stotinnom uhlovom delení hlavne z toho dôvodu, že pri praktickom použití možno pre vynášanie horizontu s výhodou použiť milimetrový papier. Pre zjednodušenie predpokladáme, že denná dráha Slnka je symetrická vzhľadom na poludňajšiu kulmináciu, z čoho vyplýva, že prakticky stačí matematicky vyjadriť jeden kvadrant dráhy Slnka a celodennú plochu uvažovať ako jeho dvojnásobok. Vplyv časovej rovnice na posun kulminácie Slnka možno pri matematickom vyjadrení jeho dráhy prakticky tiež zanedbať, pretože súčet jej kladných a záporných hodnôt, ktoré dosahuje v priebehu roka, je nulový.

Pre aproximáciu reálnej funkcie dráhy Slnka vyjadrenej horizontálnymi súradnicami podľa tab. 2 sme použili Lagrangeov interpolačný polynóm, pre ktorý vo všeobecnom tvare platí

$$\varphi(x) = \frac{(x-x_1)(x-x_2)\dots(x-x_n)}{(x_0-x_1)(x_0-x_2)\dots(x_0-x_n)} f(x_0) + \frac{(x-x_0)(x-x_2)\dots(x-x_n)}{(x_1-x_0)(x_1-x_2)\dots(x_1-x_n)} f(x_1) + \dots$$

$$\dots + \frac{(x-x_0)(x-x_1)\dots(x-x_{n-1})}{(x_n-x_0)(x_n-x_1)\dots(x_n-x_{n-1})} f(x_n). \quad (3)$$

Zavedením symboliky horizontálnych súradníc v danom prípade dostaneme

$$z = \frac{(a-a_1)(a-a_2)\dots(a-a_n)}{(a_0-a_1)(a_0-a_2)\dots(a_0-a_n)} z_0 + \frac{(a-a_0)(a-a_2)\dots(a-a_n)}{(a_1-a_0)(a_1-a_2)\dots(a_1-a_n)} z_1 + \dots$$

$$\dots + \frac{(a-a_0)(a-a_1)\dots(a-a_{n-1})}{(a_n-a_0)(a_n-a_1)\dots(a_n-a_{n-1})} z_n. \quad (4)$$

Potom pre konkrétny prípad dráhy Slnka napr. pre letný slnovrat 21. júna môžeme zostaviť tabuľku daných hodnôt pre interpolačný polynóm (tab. 4).

Po dosadení a vyčíslení jednotlivých členov dostaneme polynóm

$$z_{VI} = -0,000\,000\,413\,4 a^4 + 0,000\,107\,15 a^3 - 0,004\,361 a^2 + 0,1362 a + 29,6. \quad (5)$$

Integrovaním prejde polynóm do tvaru

$$\int z da = -0,000\,000\,082\,3 a^5 + 0,000\,026\,79 a^4 - 0,001\,454 a^3 + 0,0681 a^2 + 29,6 a. \quad (6)$$

T a b u l k a 4

		a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
x	a	0,0	42,1	77,3	109,3	143,7
$\varphi(x)$	z	29,6	34,3	48,8	73,3	100,8
		z_0	z_1	z_2	z_3	z_4

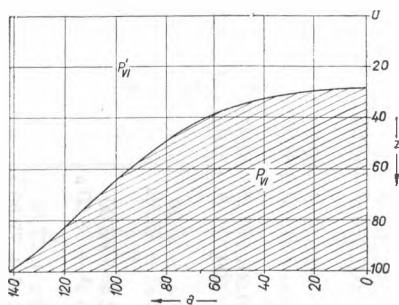
Plocha P' ohraničená dráhou Slnka a medzami (0; 143,7) potom je (obr. 2)

$$P'_{VI} = \int_0^{143,7} z da = 7\,726 \text{ mm}^2. \quad (7)$$

Hľadaná plocha P je daná rozdielom súčiny maximálnych hodnôt z_{\max} a a_{\max} a plochy P' podľa vzťahu

$$P_{VI} = z_{\max} \cdot a_{\max} - P' = 143,7 \cdot 100,8 - 7\,726 = P_{VI} = 6\,759 \text{ mm}^2. \quad (8)$$

Polynómy, integrály a príslušné plochy sú v tab. 5. Ako z tab. 5 vyplýva, sú tri polynómy 4. stupňa — pre dostatočné vystihnutie dráhy vzhľadom na presnosť východiskových hodnôt a a z bolo potrebných 5 približne rovnomerne rozložených daných bodov, pre ostatné dráhy stačili prakticky 4 dané body (polynómy 3. stupňa).



Obr. 2.

Celoročná suma efektívne možného slnečného svitu daného miesta S_m je daná rozdielom teoretickej celoročnej sumy slnečného svitu pre $\varphi = 50^\circ$ ($S_r = 4453,5$ hod.) a doby trvania zákrytu Z (obr. 1 — husté šrafovanie)

$$S_m = S_r - Z = 4453,5 - Z. \quad (9)$$

Pre dobu trvania zákrytu jedného obdobia platí

$$Z_i = \frac{S_{oi}}{P_{oi}} P_{zi} = k_{Pi} P_{zi}, \quad (10)$$

kde S_{oi} — teoretická suma trvania slnečného svitu pre jedno obdobie (tab. 3), P_{oi} — celková plocha príslušného obdobia, P_{zi} — plocha zákrytu príslušného obdobia, k_{Pi} — plošný koeficient svitu.

Pomer svitu a plochy pre jednotlivé obdobia je konštantný, takže v danom prípade hodnota doby zákrytu je priamo úmerná ploche podľa vzťahu (10).

Celoročná doba zákrytu je daná súčtom dôb zákrytov jednotlivých období

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5 + Z_6 = \sum_{i=1}^6 Z_i. \quad (11)$$

Tabulka 5

Datum	Polynóm	Plocha		
	Integrál	P mm ²	P ₀ mm ²	8 P ₀ mm ²
21. VI.	$z = -0,000\ 000\ 413\ 4 a^4 + 0,000\ 107\ 15 a^3 - 0,004\ 361 a^2 + 0,1362 a + 29,60$ $\int z da = -0,000\ 000\ 082\ 3 a^5 + 0,000\ 026\ 79 a^4 - 0,001\ 454 a^3 + 0,0681 a^2 + 29,60 a$	6759	601	4 808
21. V. 23. VII.	$z = -0,000\ 000\ 360\ 5 a^4 + 0,000\ 090\ 17 a^3 - 0,002\ 746 a^2 + 0,1061 a + 33,20$ $\int z da = -0,000\ 000\ 072\ 1 a^5 + 0,000\ 022\ 54 a^4 - 0,000\ 915 a^3 + 0,0530 a^2 + 33,20 a$	6158	1429	11 432
21. IV. 23. VIII.	$z = -0,000\ 000\ 354\ 2 a^4 + 0,000\ 081\ 04 a^3 - 0,001\ 277 a^2 + 0,0757 a + 42,70$ $\int z da = -0,000\ 000\ 070\ 8 a^5 + 0,000\ 020\ 24 a^4 - 0,000,426 a^3 + 0,0378 a^2 + 42,70 a$	4729	1623	12 984
21. III. 23. IX.	$z = -0,000\ 014\ 04 a^3 + 0,006\ 406 a^2 - 0,0717 a + 55,50$ $\int z da = -0,000\ 003\ 51 a^4 + 0,002\ 135 a^3 - 0,0358 a^2 + 55,5 a$	3106	1309	10 472
20. II. 23. X.	$z = +0,000\ 005\ 12 a^3 + 0,004\ 518 a^2 + 0,0012 a + 68,00$ $\int z da = +0,000\ 001\ 28 a^4 + 0,001\ 506 a^3 + 0,0006 a^2 + 68,00 a$	1747	781	6 248
21. I. 22. XI.	$z = +0,000\ 004\ 38 a^3 + 0,005\ 268 a^2 - 0,0108 a + 77,80$ $\int z da = +0,000\ 001\ 09 a^4 + 0,001\ 756 a^3 - 0,0054 a^2 + 77,80 a$	1016	255	2 040
22. XII.	$z = +0,000\ 007\ 40 a^3 + 0,005\ 148 a^2 + 0,0018 a + 81,50$ $\int z da = +0,000\ 001\ 85 a^4 + 0,001\ 716 a^3 + 0,0009 a^2 + 81,50 a$	761		
		Σ	5998	47 984

3. POSTUP PRI GRAFICKO-NUMERICKOM SPÔSOBE URČENIA CELOROČNEJ SUMY EFEKTÍVNE MOŽNÉHO SLNEČNÉHO SVITU

Navrhovaný pracovný postup určenia slnečného svitu možno v podstate rozdeliť na dve hlavné časti: poľné práce a kancelárske práce. Poľné práce zahŕňujú priame uhlové zameranie horizontu z daného bodu spolu s orientáciou osnovy smerov vzhľadom na miestny meridián. Vodorovné a výškové uhly jednotlivých lomových bodov horizontu zameriame teodolitom. Veľmi vhodný je na tento účel napr. teodolit Theo 020 s kompenzačným zariadením pre odčítanie výškového kruhu a s možnosťou použitia rúrkového usmerňovača pre určenie magnetického severu, a tým aj pre daný účel dostatočne presné určenie miestneho meridiánu.

V prípade určenia skutočnej doby trvania slnečného svitu pre určitú plochu je vhodné územie pokryť bodmi-stanovišťami s primeranou hustotou a interpoláciou medzi hodnotami svitu jednotlivých bodov určíme čiary rovnakého svitu — izalumchrómy.

Graficko-numericke riešenie predpokladá využitie graficky zobrazených dráh Slnka pre 6 období podľa obr. 1. Pri použití teodolitu so stotinným delením vodorovného

Tabuľka 6
Praktický príklad

Obdobie		Plocha zákrytu			Plošný koeficient svitu	Doba zákrytu horizontom hod.
		západná časť mm ²	východná časť mm ²	spolu mm ²		
1.	22. V. — 21. VI. 22. VI. — 23. VII.	505	404	-14 909	0,2113	189,1
2.	22. IV. — 21. V. 24. VII. — 23. VIII.	1475	1077	-15 2 552	0,0795	201,7
3.	22. III. — 21. IV. 24. VIII. — 23. IX.	1864	1278	-15 3 142	0,0626	195,8
4.	21. II. — 21. III. 24. IX. — 23. X.	1780	1668	-15 3 448	0,0636	218,3
5.	22. I. — 20. II. 24. X. — 22. XI.	1654	1344	-15 2 998	0,0912	272,0
6.	23. XI. — 22. XII. 23. XII. — 21. I.	864	521	-15 1 385	0,2435	333,6
			Σ je	14 434	Σ	1410,5
			má byť	14 345		

$$\Delta P = -89 : 6 \doteq -15 \text{ mm}^2$$

Celoročná suma efektívne možného slnečného svitu daného miesta:

$$S_m = 4453,5 - 1410,5 = 3043,0 \text{ hod.}$$

Tabuľka 7

Plošné koeficienty svitu

Obdobie		Teoretická plocha	Teoretický svit	$k_P = \frac{S_o}{P_o}$					
				k_{P_0}	k_{P_1}	k_{P_2}	k_{P_3}	k_{P_4}	k_{P_5}
		P_o mm ²	S_o hod.	zrážka mm papiera					
0,0 % 0,0 mm	0,1 % 0,2/200 mm			0,2 % 0,4/200 mm	0,3 % 0,6/200 mm	0,4 % 0,8/200 mm	0,5 % 1,0/200 mm		
1	22. V. — 21. VI. 22. VI. — 23. VII.	4 808	1012,1	0,2105	0,2109	0,2113	0,2118	0,2122	0,2126
2	22. IV. — 21. V. 24. VII. — 23. VIII.	11 432	905,5	0,0792	0,0794	0,0795	0,0797	0,0798	0,0800
3	22. III. — 21. IV. 24. VIII. — 23. IX.	12 984	810,7	0,0624	0,0625	0,0626	0,0628	0,0629	0,0630
4	21. II. — 21. III. 24. IX. — 23. X.	10 472	663,2	0,0633	0,0634	0,0636	0,0637	0,0638	0,0639
5	22. I. — 20. II. 24. X. — 22. XI.	6 248	567,3	0,0908	0,0910	0,0912	0,0913	0,0915	0,0917
6	23. XI. — 22. XII. 23. XII. — 21. I.	2 040	494,7	0,2425	0,2430	0,2435	0,2440	0,2444	0,2450

a výškového kruhu možno pre vynesenie horizontu s výhodou využiť milimetrový papier. Z hľadiska zvýšenia presnosti je účelné použiť pomer, pri ktorom uhlovej hodnote 1° odpovedajú 2 mm, z čoho vyplýva, že podrobné body horizontu možno vyniesť s presnosťou $\pm 5 - 10^{\circ}$, a teda aj vodorovné a výškové uhly pre daný účel stačí merať s presnosťou $\pm 5^{\circ}$. Pre praktické použitie je vhodné vyniesť podrobné body uvažovaných dráh Slnka pomocou pravouhlého koordinátografu na nezrážavý podklad v uvedenej mierke ($1^{\circ} = 2$ mm), ktorý potom zostáva šablónou pre všetky prípady určenia svitu, pričom horizont pre jednotlivé prípady sa vynesie na priehľadný milimetrový papier, takže predloha s dráhami Slnka zostáva neporušená. Súradnicový systém pre vynesenie azimutov a zenitových vzdialeností (tab. 2) je, prirodzene, pre dráhy Slnka, ako aj pre vynesenie horizontu rovnaký (obr. 1).

Vzhľadom na to, že pre určenie doby trvania slnečného svitu sú rozhodujúcim prvkom plochy zákrytu jednotlivých období, treba zaručiť ich správnosť, pričom planimetromanie plôch kontrolujeme tak, že splanimetrujeme celoročnú plochu zákrytu, ako aj plochy zákrytu jednotlivých období a súčet čiastkových plôch vyrovnáme na celoročnú planimetrovanú plochu úmerne veľkostiam plôch zákrytu jednotlivých období (tab 6 — praktický príklad). Pritom treba uvažovať vplyv zrážky milimetrového papiera a vylúčiť ho zavedením koeficientu zrážky, pretože už zrážka 0,1 % predstavuje pre maximálnu celoročnú sumu slnečného svitu hodnotu asi 8 hod. Hodnoty plošného koeficientu svitu pre zrážku 0,1–0,5 % ($k_{P_0} - k_{P_5}$) sú pre jednotlivé obdobia v tab. 7, takže stačí

len určiť zrážku milimetrového papiera vzhľadom na podklad, na ktorom sú vynesené dráhy Slnka a vo výpočte uvažovať príslušné plošné koeficienty. Zrážku určíme porovnaním dvoch na seba kolmých dĺžok podkladu a milimetrového papiera, napr. pre dĺžku 20 cm je zrážka 0,2 mm rovná 0,1 %. V danom konkrétnom prípade bola priemerná zrážka z obidvoch dĺžok 0,4 mm, t. j. 0,2 % a pre vylúčenie jej vplyvu sa použili plošné koeficienty k_{p2} (tab. 7).

Presnosť určenia doby trvania slnečného svitu je prakticky daná presnosťou planimetrovania plôch a grafického zobrazenia dráh Slnka pre minimálnu a maximálnu deklináciu. Presnosť planimetrovania sa udáva pri presných polárnych planimetroch hodnotou 0,033 %. Pritom odchýlka medzi súčtom plôch zákrytu jednotlivých období a celkovou plochou zákrytu určenou planimetrovaním by nemala prekročiť 2–3-násobok uvedenej hodnoty, t. j. 0,1 %. Nepresnosť grafického zobrazenia dráh Slnka ovplyvní prakticky celkovú plochu len pri dráhach Slnka s minimálnou a maximálnou deklináciou, t. j. 23. dec. a 21. júna. Prípadné chyby v grafickom zobrazení ostatných vnútorných dráh Slnka neovplyvnia celkovú plochu zákrytu a plošné rozdiely medzi plochami zákrytov jednotlivých období, zapríčinené týmito chybami, nedosiahnu hodnoty, ktoré by podstatne ovplyvnili plochy zákrytov jednotlivých období, a tým aj hodnotu celoročnej sumy efektívne možného slnečného svitu. Plochu zákrytu, prirodzene, aj keď nepatrne, ovplyvňuje hustota podrobných bodov horizontu. Po uvážení uvedených vplyvov by celková chyba v určení celoročného osvitu nemala prekročiť hodnotu $\pm 0,2$ % doby zákrytu, t. j. v prípade uvedenom v tab. 6 je presnosť určenia celoročnej doby svitu $\pm 2,8$ hod. Pre výpočet doby zákrytu horizontom prakticky postačí logaritmický lineár.

Uvedený graficko-numerickej spôsob umožňuje pomerne jednoducho a pritom dostatočne presne určiť celoročnú sumu efektívne možného slnečného svitu bodu zemského povrchu. Plochy šiestich období, vzniknutých rozdelením celoročnej dráhy Slnka s využitím piatich párov prakticky rovnakých deklinácií Slnka, sú určené numerickej a plochu zákrytu Slnka horizontom určíme planimetrovaním. Pritom vlastné planimetrovanie polárnym planimetrom spolu s výpočtom celoročnej sumy efektívne možného slnečného svitu jedného bodu zemského povrchu (tab. 6) trvá asi 1 hod.

LITERATÚRA

1. *Hvězdářská ročenka* 1960, 1961, 1962, 1963, Academia, Praha. — 2. Krajčí J., *Astronomické tabuľky*, SVTL, Bratislava. — 3. Buchar E., *Geodetická astronomie I*, SNTL, Praha 1963.

Viktor Gregor

GRAPHISCH-NUMERISCHE BESTIMMUNGSMETHODE DER JAHRESSUMME DER EFFEKTIV MÖGLICHEN SONNENSTRAHLUNG

Die angeführte graphisch-numerische Bestimmungsmethode der Jahressumme der effektiv möglichen Sonnenstrahlung geht aus den theoretisch gegebenen Werten der Dauer der Sonnenstrahlung aus, denen die Flächen, begrenzt von der Sonnenbahn, projiziert in eine Fläche und dem Horizont entsprechen. In Folge der zyklischen Änderungen der Sonnendeklination entstehen zwei praktisch symmetrische Jahreshälften mit gleichen Deklinationen und deshalb wählen wir für die gegebene Aufgabe stets einen Tag in zwei Monaten, im Jahr symmetrisch verteilt

mit Rücksicht auf die Sonnenwende mit praktisch gleicher Deklination, wodurch 6 Zeitabschnitte entstanden sind. Die Deklinationenwerte als auch der Stundenwinkel des Aufganges, bzw. Unterganges der Sonnemitte sind Durchschnittswerte eines Vierjahreszyklus einschliesslich des Schaltjahres.

Die Jahressumme der effektiv möglichen Sonnenstrahlung ist von der Summe der Strahlungswerte für einzelne Zeitabschnitte gegeben und wurden nach dem Astronomischen Jahrbuch bestimmt, wobei der Stundenwinkel des Sonnenaufganges bzw. Sonnenunterganges auf ihre Mitte reduziert wurde. Die scheinbaren Sonnenbahnen beziehen sich auf den geographischen Breitengrad $\varphi = 50^\circ$, wobei dem Unterschied der geographischen Breite von 1° die Änderung von 0,06 % der Jahressumme der Sonnenstrahlung entspricht. Bei der angeführten Bestimmungsmethode der Jahressumme der effektiv möglichen Sonnenstrahlung nützen wir in der Endrelation die Flächen zwischen den einzelnen Sonnenbahnen in einzelnen Zeitabschnitten aus. Bei der Errechnung der Flächen, die den einzelnen Zeitabschnitten entsprechen, haben wir für die Approximation der realen Funktion der Sonnenbahn, ausgedrückt in horizontalen Koordinaten, das Lagrange'sche Interpolationspolynom angewendet.

Die graphisch-numerische Lösung der Aufgabe setzt das Ausnützen der graphisch dargestellten Sonnenbahnen der 6 gewählten Zeitabschnitten voraus. Bei der Vermessung des Horizontes eines bestimmten Ortes mittels eines Theodoliten mit einer Zentesimalteilung des Horizontal- und Vertikalkreises kann man für die Eintragung einzelner Punkte des Horizontes Millimeterpapier verwenden. Zur praktischen Anwendung ist es angezeigt die einzelnen Punkte der Sonnenbahnen auf einem rechtwinkligen Koordinatograph auf eine Unterlage mit stabilem Massstab von $1\text{z} = 2\text{ mm}$ einzutragen, die eine Schablone für alle Bestimmungsfälle der Jahressumme der Sonnenstrahlung bildet, wobei der Horizont für einzelne Fälle auf durchsichtiges Millimeterpapier aufgetragen wird. Der Einfluss etwaiger Schrumpfung des Millimeterpapiers im Verhältnis zur Unterlage wird bei der Errechnung mit dem Flächenkoeffizienten der Schrumpfung für einzelne Zeitabschnitte eliminiert.

Die Genauigkeit der Jahressumme der effektiv möglichen Sonnenstrahlung eines bestimmten Ortes ist praktisch durch die Genauigkeit der Flächenbestimmung durch Planimetrieren und die Genauigkeit der Darstellung der Sonnenbahnen für die minimale und maximale Deklination gegeben. Der Gesamtfehler der Bestimmung der Jahressumme sollte bei der Applikation der angeführten Methode den Wert von $\approx 0,2\%$ der Dauer der Horizontdeckung nicht überschreiten.

Aus dem Slowakischen übersetzt von G. Horná