ROČNÍK 44

1992

ČÍSLO 4

MARIÁN JENČO*

DISTRIBÚCIA PRIAMEHO SLNEČNÉHO ŽIARENIA NA GEORELIÉFE A JEJ MODELOVANIE POMOCOU KOMPLEXNÉHO DIGITÁLNEHO MODELU RELIÉFU

M. Jenčo: Distribution of direct solar radiation on georelief and its modelling by means of complex digital model of relief. Geogr. čas. 44, 1992, 4., 8 figs., 1 table, 11 refs.

Author tries to show some progressive procedures of calculation of the parameters of distribution of direct solar radiation on georelief. Presented methodology enables to take into account majority of factors affecting distribution of direct solar radiation on georelief including hill shading of georelief. That is made possible by the construction of applied methodology in the frame of the conception of digital model of relief and its subsequent integration. Attention is paid also to automated cartographic interpretation of individual parameters of distribution of direct solar radiation on georelief as well as recording of its time course.

ÚVOD

Distribúcia priameho slnečného žiarenia na zemskom povrchu závisí od niekoľkých geografických faktorov. Od zemepisnej šírky φ bodu na zemskom povrchu, tvaru georeliéfu a jeho orientácie vo vzťahu k polohe Slnka na oblohe a od fyzikálneho stavu atmosféry.

Snaha o vyjadrenie časopriestorového priebehu jednotlivých parametrov dynamiky oslnenia viedla najprv k rozvoju matematických metód vyjadrenia charakteristík potenciálnej dynamiky oslnenia abstrahujúcich od tvarov zemského povrchu a fyzikálneho stavu atmosféry. Až zavedenie parametrov sklonu a orientácie (expozície) plochy na zemskom povrchu, na ktorú dopadajú slnečné lúče do vzťahov na výpočet charakteristík oslnenia umožnilo vypracovať niekoľko metód stanovovania charakteristík dynamiky oslnenia, ktoré viac či menej zohľadňovali väčšinu faktorov vplývajúcich na distribúciu priameho slnečného žiarenia na zemskom povrchu. Niektoré u nás rozpracované metódy boli publikované v prácach [4, 6, 7, 10].

^{*} Katedra kartografie, geoinformatiky a DPZ PFUK, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava

MATEMATICKÉ VYJADRENIE HODNÔT NIEKTORÝCH PARAMETROV DYNAMIKY OSLNENIA GEORELIÉFU S VYUŽITÍM ROVNÍC TRANSFORMÁCIE ZEMEPISNÝCH SFÉRICKÝCH SÚRADNÍC VZHĽADOM NA POSUNUTÝ PÓL

Orientácia georeliéfu A_N voči svetovým stranám a sklon georeliéfu $\gamma_N v$ smere spádových kriviek z množiny morfometrických parametrov (2.1.13) v práci [6] v danom bode na georeliéfe so zemepisnou šírkou ϕ určujú zemepisnú šírku ϕ' a vzhľadom na zemepisnú dĺžku λ tohto bodu relatívnu zemepisnú dĺžku λ' dotykového bodu dotykovej roviny k referenčnej guľovej ploche Zeme s rovnakým priebehom dopadu slnečných lúčov (obr. 1). Pre sínus výšky Slnka h_o nad rovinou miestneho horizontu, teda nad dotykovou rovinou k referenčnej guľovej ploche Zeme v danom bode pre miestny časový moment T platí v astronómii všeobecne známy vzťah

$$\sin h_{o} = C_{31} \cos T + C_{33}, \tag{1}$$

kde pre veličiny C31 a C33 platia rovnice

$$C_{31} = \cos \varphi \cos \delta,$$

$$C_{33} = \sin \varphi \sin \delta.$$
 (2)

Na základe vzťahu (1) môžeme teda sínus uhla dopadu slnečného lúča δ_{EXP} na dotykovú rovinu ku georeliéfu v bode so zemepisnou šírkou ϕ a zemepisnou dĺžkou λ pre zvolený miestny časový moment T vyjadriť vzťahom

$$\sin \delta_{\text{EXP}} = C'_{31} \cos (T - \lambda') + C'_{33}, \qquad (3)$$

kde pre veličiny C' 31 a C' 33 platia rovnice

$$C'_{31} = \cos \varphi' \cos \delta,$$

$$C'_{33} = \sin \varphi' \sin \delta.$$
(4)

Veličina δ v rovnici (1) a (3) je priemerná deklinácia Slnka v daný deň. Ak pre parameter A_N uvažujeme pravotočivú orientáciu a západný smer ako základný smer pre sínus ϕ' a tangens λ' v rovniciach (3) a (4) platia vzťahy

$$\sin \varphi' = -\cos \varphi \sin \gamma_N \sin A_N + \sin \varphi \cos \gamma_N, \tag{5}$$

$$tg \lambda' = \frac{-\sin \gamma_N \cos A_N}{\sin \phi \sin \gamma_N \sin A_N + \cos \phi \cos \gamma_N},$$
 (6)

ktoré dostaneme na základe transformačných rovníc (4.3.31) v práci [5], v ktorých pre kartografickú šírku U platí rovnica

$$U = 90^{\circ} - \gamma_{N} \tag{7}$$

a pre kartografickú dĺžku V platí rovnica

$$V = A_N.$$
(8)

Ak pre parameter A_N uvažujeme ako základný smer v teórii morfometrickej analýzy georeliéfu zaužívaný južný smer, potom rovnica (5) a rovnica (6) nadobudnú tvar rovníc

$$\sin \varphi' = -\cos \varphi \sin \gamma_N \cos A_N + \sin \varphi \cos \gamma_N, \qquad (9)$$

$$tg \ \lambda' = \frac{-\sin \gamma_N \sin A_N}{\sin \phi \sin \gamma_N \cos A_N + \cos \phi \cos \gamma_N}.$$
 (10)

Miestny časový moment T_{MAX} - výskytu maximálnej hodnoty uhla δ_{EXP} v danom bode pre daný deň je určený rovnosťou

$$T_{MAX} = \lambda' . \tag{11}$$

Z rovnice (3) po dosadení nulovej hodnoty do jej ťavej strany a následnej úprave dostaneme modifikovanú rovnicu

$$\cos (T_{v,z} - \lambda') = -C'_{33} / C'_{31}, \qquad (12)$$

z ktorej môžeme vyjadriť časový moment T_v - relatívneho východu daného bodu na georeliéfe z tieňa do svetla a časový moment T_z - relatívneho západu daného bodu na georeliéfe zo svetla do tieňa. Skutočný čas východu Slnka $(T_v)_s$ a západu Slnka $(T_z)_s$ v danom bode na georeliéfe, ak neuvažujeme zatienenie okolitými tvarmi georeliéfu, dostaneme po úprave časových momentov T_v , T_z vzhľadom na východ Slnka nad miestny horizont $(T_v)_h$ a západ Slnka pod miestny horizont $(T_z)_h$, ktorých kosínusy sú dané vzťahom

$$\cos (T_{v,z})_{h} = -C_{33}/C_{31}.$$
 (13)

Príkon Q_d priameho slnečného žiarenia na jednotku plochy na georeliéfe za jeden bezoblačný deň určený časovými momentmi $(T_v)_s$ a (T_z) s môžeme vyjadriť rovnicou

Obr. 1. Na základe sklonu γ_N a orientácie A_N georeliéfu v danom bode na georeliéfe určená zemepisná šírka φ' a relatívna zemepisná dĺžka λ' dotykovej roviny k referenčnej guľovej ploche Zeme s rovnakým priebehom dopadu slnečných lúčov.



$$Q_{d} = I_{o} \int_{(Tv)s}^{(Tz)s} e^{-Ar m L} (C'_{31} \cos (T - \lambda') + C'_{33}) dT,$$
(14)

kde I_o- solárna konštanta, A_r - koeficient extinkcie atmosféry, L - Linkeho činiteľ zákalu atmosféry a m - optická hrúbka atmosféry. Po vynásobení celkového príkonu Q_d priameho slnečného žiarenia na jednotku plochy na georeliéf za jeden bezoblačný deň priemernou hodnotou relatívneho slnečného svitu S_d daného dňa dostaneme priemernú hodnotu celkového príkonu priameho slnečného žiarenia na jednotku plochy na georeliéfe.

Rovnica (3) je analogická rovnici (V.4) v práci [7], resp. rovnici (5.1.30) v práci [6]. V prvom prípade však umožňuje zjednodušene vyjadriť závislosť jednotlivých parametrov dynamiky oslnenia georeliefu od miestneho časového momentu T a v druhom prípade sa vyhnúť testovaniu riešenia pri výpočte veličín T_v a T_z . Navyše nespornou výhodou z nej odvodených uvedených vzťahov je jednoduchá interpretácia nimi určených hodnôt parametrov oslnenia georeliefu umožnená vyjadrením zemepisných súradníc φ' a λ' .

METODIKA AUTOMATIZOVANÉHO VÝPOČTU JEDNOTLIVÝCH PARAMETROV DYNAMIKY OSLNENIA GEORELIÉFU A ICH KARTOGRAFICKEJ INTERPRETÁCIE

Modifikovateľnými vstupnými parametrami na výpočet parametrov dynamiky oslnenia georeliéfu v uvádzaných vzťahoch sú zemepisná šírka φ , časový moment T alebo poradové číslo dňa v ročnej postupnosti určujúce hodnotu deklinácie δ , sklon georeliéfu γ_N a jeho orientácia voči svetovým stranám A_N a nadmorská výška z.

Priemerná ročná hodnota solárnej konštanty bola v tejto práci uvažovaná hodnotou 1370 Wm⁻². Pre pomernú optickú hrúbku atmosféry m vystupujúcu ako premenný parameter v rovnici (14) na základe vzťahu na výpočet optickej hrúbky atmosféry nahradenej 10 km vrstvou rovnorodého ovzdušia a vztiahnutej k hladine mora zo str. 285 v práci [6] bola odvodená rovnica

$$\mathbf{m} = (-\mathbf{Rm}(\mathbf{C}_{31}\cos \mathbf{T} + \mathbf{C}_{33}) + \sqrt{\mathbf{Rm}^2 (\mathbf{C}_{31}\cos \mathbf{T} + \mathbf{C}_{33})^2 + 2\mathbf{Rm} + 1})(1 - (z/10000)),$$
(15)

kde z - nadmorská výška v metroch a pre veličinu Rm, v prípade, že polomer referenčnej gule, ktorá nahrádza Zem (R = 6371), platí rovnica

$$Rm = (6371 + (z/1000)) / (10 - (z/1000)).$$
(16)

Keďže so stúpajúcou nadmorskou výškou ovzdušie redne, pre veľké nadmorské výšky treba hodnoty optickej hrúbky atmosféry dané rovnicou (15) korigovať. Pre prevažujúce georeliéfne nadmorské výšky však môžeme tieto hodnoty z hľadiska heliotechnickej praxe považovať za dostatočne presné. Koeficient extinkcie A_r bol vyjadrený na základe rovnice

$$A_{\rm r} = (9,38076 + 0,91018 \text{ m})^{-1}$$
(17)

z práce [1]. Časový priebeh Linkeho činiteľa zákalu atmosféry bol určený aproximačnými funkciami pre horskú oblasť, vidiek, mesto a priemyselnú oblasť z jeho priemerných mesačných hodnôt v tabuľke III.3 v práci [7].

V tabuľke 1 sú uvedené priemerné hodnoty mesačného príkonu priameho slnečného žiarenia na horizontálnu rovinu merané na staniciach Bratislava, Koliba a Hradec Králové a vypočítané hodnoty pre tieto stanice násobené priemernými mesačnými hodnotami relatívneho slnečného svitu. Odchýlky vypočítaných mesačných hodnôt príkonu priameho slnečného žiarenia sú vyjadrené v percentách.

	Bratislava, Koliba				Hradec Králové			
	2	3	4	5	2	3	4	5
JANUÁR	0,18	8,734	6,88	-21,23	0,15	4,965	4,74	-4,53
FEBR.	0,28	17,352	16,70	-3,76	0,19	11,824	10,02	-15,26
MAREC	0,37	41,623	39,99	-3,92	0,32	31,662	32,16	+1,57
APRÍL	0,47	70,188	69,21	-1,39	0,39	52,499	55,08	+4,92
MÁJ	0,52	96,389	95,56	-0,86	0,42	76,287	75,35	-1,23
JÚN	0,51	95,076	96,94	+1,96	0,45	79,964	84,08	+5,15
JÚL	0,52	90,621	97,83	+7,96	0,42	72,175	77,40	+7,24
AUGUST	0,53	77,525	85,08	+9,75	0,45	66,737	69,17	+3,65
SEPT.	0,51	55,941	59,23	+5,88	0,40	43,502	43,72	+0,50
OKT.	0,42	34,797	32,16	-7,58	0,33	25,320	22,78	-10,03
NOV.	0,23	12,177	9,70	-20,34	0,16	6,633	5,69	-14,22
DEC.	0,18	7,769	5,48	-29,46	0,15	4,308	3,64	-15,51
SPOLU		608,192	614,76	+1,08		475,876	483,83	+1,67

Tab.1. Porovnanie vypočítaných priemerných mesačných hodnôt príkonu priameho slnečného žiarenia na horizontálnu rovinu a hodnôt určených na základe pyranometrických meraní (rozdielu globálneho a difúzneho žiarenia) na staniciach Bratislava, Koliba a Hradec Králové

Vysvetlivky: 2 - priemerná mesačná hodnota relatívneho slnečného svitu v rokoch 1966-1979, 3 - namerané mesačné priemerné hodnoty príkonu priameho slnečného žiarenia na horizontálnu rovinu v KWh/m², 4 - vypočítané mesačné hodnoty príkonu priameho slnečného žiarenia na horizontálnu rovinu v KWh/m², 5 - rozdiel v %.

Dôležitým faktorom vplývajúcim na distribúciu priameho slnečného žiarenia na zemskom povrchu je charakter georeliéfu. V danom bode georeliéf prostredníctvom svojich morfometrických parametrov, sklonu a orientácie voči svetovým stranám, modifikuje hodnotu uhla δ_{EXP} . Navyše pri vyjadrení parametrov oslnenia georeliéfu v konkrétnom priestore je potrebné brať do úvahy i zatienenie okolitými tvarmi georeliéfu. Z tohto dôvodu nie je možné realizovať ich automatizovanú kartografickú interpretáciu bez existencie operatívnej komplexnej údajovej základne o georeliéfe. Túto podmienku v súčasnosti viac či menej spĺňajú rôzne digitálne modely reliéfu budované na princípe nahrađenia spojitého



Obr. 2. Prehľadávanie pravidelnej štvorcovej siete pri testovaní zatienenia bodu P_i okolitými tvarmi georeliéfu. *1* - body, v ktorých je určovaná nadmorská výška z, 2 - okrajové vrcholy geometrickej siete určujúce azimuty Slnka, pre ktoré je bod P_i testovaný.

skalárneho poľa výšok reprezentujúceho konkrétny georeliéf, z hľadiska zvolených kritérií reprezentatívnym diskrétnym bodovým poľom (ďalej len DBP) výšok ako interpolačnou bázou. DBP tvorené konečnou množinou jednoznačne v rovine (x, y) polohovo určených bodov s priradenými skalármi nadmorských výšok môže tvoriť uzly rôznych pravidelných, či nepravidelných geometrických sietí. Z hľadiska riešenia nášho problému, t.j. z hľadiska potreby zohľadnenia polohových informácií o veľkom počte bodov v rámci celej študovanej oblasti a zároveň ľahkej orientácie v sieti, pri minimalizácii zaťaženia pamäťových médií sa ako najvhodnejší javí maticový zápis skalárov nadmorských výšok bodov DBP výšok tvoriacich pravidelné štvorcové siete. Keď vychádzame z teórie komplexného digitálneho modelu reliéfu, aplikácia vhodnej interpolačnej funkcie po čiastiach prekladajúcej body DBP výšok a následné poznanie jej parciálnych derivácií prvého rádu nám umožňuje na základe vzťahov (4.2.30') a (4.2.52) v práci [6] vyjadriť v ľubovoľnom bode študovanej oblasti okrem nadmorskej výšky i hodnoty sklonu y_N a orientácie A_N georeliéfu voči svetovým stranám. Použitie vhodnej interpolačnej funkcie nám teda umožňuje i v prípade existencie DBP výšok tvoriacich rôzne nepravidelné geometrické siete ich transformáciu na DBP výšok tvoriace požadovaný tvar geometrickej siete a umožňujúce následné riešenie všetkých úloh výpočtu parametrov priameho oslnenia georeliéfu. Riešenie otázky výberu vhodných interpolačných funkcií z hľadiska modelovania georeliéfu nie je cieľom tejto práce. Touto problematikou sa podrobne zaoberajú práce [6, 8, 9].

Určovanie časových charakteristík zatienenia bodov na georeliéfe okolitými tvarmi georeliéfu si vyžaduje poznanie výškových pomerov na georeliéfe v rámci oblasti vymedzenej polohou testovaného bodu P_i (x, y) a azimutmi $(A_o^j)_v$, $(A_o^j)_z$ slnečných lúčov meranými od juhu v čase východu $(T_v)_s$ a západu $(T_z)_s$ Slnka ešte abstrahujúcom od zatienenia okolitými tvarmi georeliéfu z 1. časti tejto práce. V prípade použitia rozsiahlejších DBP výšok tvoriacich pravidelné štvorcové siete je výhodné potrebnú informáciu o výškových pomeroch v danej oblasti získať priamym prehľadávaním siete v oblasti vymedzenej azimutmi $(A_o^j)_v$ a $(A_o^j)_z$.



Obr. 3. Rez georeliéfom v smere azimutu Slnka.

Postup prehľadávania použitý v tejto práci je zobrazený na obr. 2. Body, v ktorých je určovaná nadmorská výška z, ležia v osiach jednotlivých azimutov Slnka A^{j}_{o} určených okrajovými vrcholmi siete a sú konštruované v smere od týchto vrcholov na základe zvoleného kroku. Podľa obr. 3 testovaný bod $P_i(x, y)$ s priradeným skalárom nadmorskej výšky z_i je zatienený, ak vzdialenosť l_{ij} medzi testovaným bodom $P_i(x, y)$ a bodom $P_j(x, y)$ s priradeným skalárom nadmorskej výšky z_j , ktorý vrhá tieň v smere na testovaný bod $P_i(x, y)$ je menšia ako vzdialenosť l_i daná rovnicou

$$l_t = (z_j - z_i) \cot g h_o, \qquad (18)$$

kde veličina h_o je výška Slnka nad miestnym horizontom vystupujúca v rovnici (1). Pre tangens azimutov Slnka $(A_j^i)_{vz}$ určujúcich hranice testovanej oblasti platí

$$tg (A_o^j)_{v,z} = \frac{C_{22} \sin (T_{v,z})_s}{C_{11} \cos (T_{v,z})_s - C_{13}},$$
(19)

kde veličiny C11, C13 a C22 sú určené rovnicami

$$C_{11} = \sin \varphi \cos \delta,$$

$$C_{13} = \cos \varphi \sin \delta,$$

$$C_{22} = \cos \delta.$$
(20)

Neznámy miestny časový moment T_A, pre ktorý azimut Slnka $(A^{i}_{o})_{A}$ nadobúda známu hodnotu, potrebný na výpočet výšky h_o Slnka nad miestnym horizontom, vstupujúcej ako konštantný parameter do rovnice (18), dostaneme riešením modifikovanej rovnice (19) v tvare rovnice

$$tg (A_o^j)_A = \frac{C_{22} \sin T_A}{C_{11} \cos T_A - C_{13}}.$$
 (21)

Využitím vzťahu sin $T_A = \pm \sqrt{1 - \cos^2 T_A}$ dostaneme po úprave z rovnice (21) kvadratickú goniometrickú rovnicu, ktorú riešime podľa vzorca

$$\cos (T_A)_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 ac}}{2a} , \qquad (22)$$

kde koeficienty a, b, c sú určené rovnicami

$$a = tg^{2} (A_{0}^{j})_{A} C_{11}^{2} C_{22}^{2},$$

$$b = -2 tg^{2} (A_{0}^{j})_{A} C_{11} C_{13},$$

$$c = tg^{2} (A_{0}^{j})_{A} C_{13}^{2} - C_{22}^{2}.$$
(23)

Keďže v našom prípade vzorcom (22) sú určené dva výsledky, a to cos $(T_A)_1$ a cos $(T_A)_2$, musíme sa presvedčiť, ktorá z vyjadrených uhlových hodnôt T_A je pre nás správnym riešením. Reálnosť získaných výsledkov zatienenia jednotlivých bodov na georeliéfe okolitými tvarmi georeliéfu je, pochopiteľne, ovplyvnená veľkosťou oblasti obklopujúcej okolitý bod, o ktorej máme výškovú informáciu v podobe DBP výšok.

Na základe uvedeného postupu po priradení hodnôt jednotlivých parametrov distribúcie priameho slnečného žiarenia na georeliéfe v podobe skalárov bodom tvoriacim používanú pravidelnú štvorcovú sieť, dostaneme pre každý parameter DBP ako interpolačnú bázu jeho izočiar. Na obr. 4 je izočiarovo vyjadrený príkon priameho slnečného žiarenia na konkrétny georeliéf v KWh/m² pre 49° s.z.š. bez uvažovania zatienenia jednotlivých bodov oblasti okolitými tvarmi georeliéfu pre bezoblačné dni rovnodennosti. Na obr. 5 je izočiarovo vyjadrený skutočný príkon pre tieto bezoblačné dni po zohľadnení zatienenia jednotlivých bodov oblasti okolitými tvarmi georeliéfu. Aplikácia uvedenej metodiky bola pre severné mierne pásmo realizovaná na PS/2 firmy IBM.

Obr. 4, 5. Mapy príkonu priameho slnečného žiarenia na georeliéf pre 49° s.z.š. za bezoblačných podmienok pre dni rovnodennosti, bez uvažovania zatienenia jednotlivých bodov oblasti okolitými tvarmi georeliéfu (obr. 4) a po zohľadnení zatienenia (obr. 5). *1* - izoenergy - izočiary príkonu energie priameho slenčného žiarenia na georeliéf v KWh/m², 2 - vrstevnice.







Obr. 6, 7, 8. Denný príkon priameho slnečného žiarenia na georeliéf od 1. marca do 13. októbra za bezoblačných podmienok pre sklon georeliéfu $\gamma_N = 15^{\circ}$ (obr. 6), $\gamma_N = 30^{\circ}$ (obr. 7), $\gamma_N = 45^{\circ}$ (obr. 8), rôzne hodnoty orientácie A_N georeliéfu a horizontálnu rovinu $\gamma_N = 0^{\circ}$.

ZÁVER

Priame slnečné žiarenie tvorí za bezoblačných podmienok podstatnú časť globálneho žiarenia. V ročnom priemere za jasných dní tvorí na stanici Štrbské Pleso 84% a na stanici Bratislava, Koliba vzhľadom na vyššiu koncentráciu aerosolov 75 % energie globálneho žiarenia.

Na obr. 6, 7, 8 je v podobe grafu vyjadrený denný príkon priameho slnečného žiarenia na georeliéf od 1. marca do 13. októbra za bezoblačných podmienok pri rôznych kombináciách sklonu γ_N a orientácie A_N . Hodnoty príkonu priameho slnečného žiarenia vyjadrené grafmi platia pre 49° severnej zemepisnej šírky, 250 m nadmorskej výšky a priebeh Linkeho činiteľa zákalu atmosféry pre vidiecke oblasti z tabuľky III.3 v práci [7].

Na obr. 7, 8 vidieť, že v letnom období v našich zemepisných šírkach, v rôzne dlhých časových úsekoch v závislosti od sklonu plochy dopadá na južne orientované plochy v dennom úhrne menej priameho slnečného žiarenia ako na horizontálnu rovinu. To vyplýva z toho, že v teplejšej polovici roka vymedzenej dňami rovnodennosti je horizontálna rovina priamo oslnená počas dňa dlhšie ako južne orientované plochy. Táto skutočnosť sa od určitých hodnôt deklinácií i napriek menším uhlom dopadu slnečných lúčov na horizontálnu rovinu prejavuje v podobe väčšieho denného príjmu priameho slnečného žiarenia. Pri menších sklonoch, (obr. 6) sú síce svahy s južnou orientáciou oslnené kratšie ako horizontálna rovina, ale tento rozdiel už nie je taký veľký, aby mohol eliminovať zväčšený prílev priameho slnečného žiarenia na južne orientované svahy, spôsobený väčším uhlom dopadu slnečných lúčov na tieto plochy.

LITERATÚRA

1. HEINDL, W., KOCH, H.Q.: Die Berechnung von Sonneneinstrahlungsintensitäten für wärmetechnische Untersuchungen in Bauwesen. Gesundh. Ing., 97, No. 12, 1976, pp. 301-314. - HRVOL, J.: Antropogénne vplyvy na prílev slnečného žiarenia. Kand.diz.práca, Mat.-fyz.fak. UK, 1985, Bratislava, 189 p. - 3. JENČO, M.: Výpočet hodnôt parametrov potenciálnej dynamiky oslnenia daného bodu na georeliéfe na základe určenia zemepisnej šírky φ' a relatívnej zemepisnej dĺžky λ' dotykového bodu dotykovej roviny k referenčnej guľovej ploche Zeme s rovnakým dopadom slnečných lúčov. Riešené v rámci záv. výsk. správy čiastkovej úlohy ŠPZV II-7-3/01, KDMR a aplikácie v oblasti modelovania regionálnych štruktúr, Bratislava, PFUK, 1990, pp. 98-100. - 4. KRCHO, J.: Zostrojenie máp časovej a uhlovej dynamiky oslnenia reliéfu graficko-numerickým spôsobom a pomocou samočinných počítačov. Geogr. čas. 22, 1970, 3, pp. 205-245. - 5. KRCHO, J.: Geografická kartografia I. Prírodovedecká fakulta UK, Bratislava, 286 pp. - 6. KRCHO, J.: Morfometrická analýza a digitálne modely georeliéfu. VEDA, Bratislava 1990, 427 pp. - 7. KITTLER, R., MIKLER, J.: Základy využívania slnečného žiarenia. VEDA, Bratislava, 1986, 148 pp. - 8. MIČIETOVÁ, E., MINÁROVÁ, O.: Komplexný digitálny model reliéfu a interpolačné metódy. Geodet. a kart. obzor, 34/76, 7, pp. 165-173. - 9. MITÁŠOVÁ, H.: Interpolácia a analýza funkcií dvoch premenných z diskrétnych bodových polí splajn funkciami so zovšeobecnenou tenziou. Záv. výsk. správa v rámci čiastkovej úlohy ŠPZV II-7-3/01 KDMR a jeho aplikácia v oblasti modelovania regionálnych štruktúr. Bratislava, PFUK, 1989, 63 pp. - 10. PLESNÍK, P.: Výpočet dĺžky a intenzity oslnenia reliéfu. Kand. diz. práca, Mat.-fyz. fak. UK, Bratislava 1985, 122 pp.

11. TOMLAIN, J., HRVOĽ, J.: Prílev slnečného žiarenia na rôzne orientované sklonené plochy. Zborník prednášok z konferencie: Nekonvenčné zdroje tepla na vykurovanie budov a prípravu TUV. Vysoké Tatry 1983.

M. Jenčo

DISTRIBUTION OF DIRECT SOLAR RADIATION ON GEORELIEF AND ITS MO-DELLING BY MEANS OF COMPLEX DIGITAL MODEL OF RELIEF

Orientation of georelief A_N with respect to cardinal points and slopes γ_N of georelief in the direction of slope curves in the given point on the georelief with the latitude φ determines the latitude φ' and in relation to longitude λ of this point also the relative longitude λ' of the contact point of contact plane to reference spheric surface of the Earth with identical course of the insolation (Fig. 1). Thus sinus of insolation angle δ_{EXP} on georelief for the local time moment T can be expressed by modification of a relation that is well known in astronomy for the calculation of sinus of solar altitude h_0 a form of equation (3). Latitude φ' and longitude λ' in the equation (3) is definitely determined on the basis of transformation equations (4.3.31) in the work [5] in dependence on the assessment of the basic direction of orientation of georelief A_N with respect to the cardinal points by goniometric equations (5), (6) or (9), (10). After determination of the hour of sunrise (T_v)_s from shadow to light and hours of sunset (T_z)_s from light to shadow by equations (12), (13) abstracting also from hill shading of georelief, total quantity of direct solar irradiance Q_d on the unit of area of georelief for one day under blue sky conditions can be expressed by equation (14).

Operative determination of hill shading of georelief and simultaneous determination of the parameters of the orientation of georelief A_N with respect to the cardinal points and slopes γ_N is possible by realization of the given methodology in the frame of the complex digital model of relief. In case of existence of the representative altitudes discrete point field (DBP) with implied information about altitude situation of georelief in the studied region, we can determine the value of altitude z in each point of the region using an adequate interpolation function, as well as the values of parameters A_N and γ_N with application of the relations (4.2.52) and (4.2.30') cited in the paper [6].

Hill shading of georelief can be then assessed on the basis of the length of shadow determined by the equation (18) produced by any point Pj(x, y) of a region delimited by the tested point Pi(x, y) and azimuths of the Sun $(A_o^{1})_{v,z}$ that appear in the equation (19), Fig. 2.

Fig. 1. On the basis of slopes γ_N and orientation of georelief A_N in the given point on georelief determined latitude φ' and relative longitude λ ' of the contact point of the contact plane to the reference spheric surface of the Earth with identical course of the insolation angle.

Fig. 2. Search through the regular square network while testing hill shading of Pi point. 1 - points, in which the altitude z is determined, 2 - marginal node of geometric network determining azimuths of the Sun, for which point Pi is tested.

Fig. 3. Section of georelief in the direction of the Sun's azimuth.

Figs. 4, 5. Maps of quantity of direct solar irradiance on georelief for 49° of northern latitude under blue sky conditions for the equinox days, without taking into consideration the hill shading of the individual points of the regions (Fig. 4) and after including the hill shading (Fig. 5). 1 - isolines of the quantity of direct solar irradiance on georelief in KWh/m², 2 - contour lines.

Figs. 6, 7, 8. Daily quantity of direct solar irradiance on georelief from March 1 to Oct. 13 under blue sky conditions for the georelief slope $\gamma_N = 15^\circ$ (Fig. 6), $\gamma_N = 30^\circ$ (Fig. 7), $\gamma_N = 45^\circ$ (Fig. 8), various values of orientation A_N georelief and for horizontal plane ($\gamma_N = 0^\circ$).

Table 1. Comparison of calculated mean monthly values of the quantity of the direct solar irradiance on horizontal plane and values determined on the basis of pyranometric measuring (difference of global and diffuse irradiance) in the stations of Bratislava, Koliba and Hradec Králové. 2 - mean monthly value of relative sunshine duration 1966-1979, 3 - measured mean monthly values of the quantity of the direct solar irradiance on horizontal plane in KWh/m² 1966-1979, 4 - calculated monthly values of the quantity of direct solar irradiance on horizontal plane in KWh/m², 5 - difference in %.

Translated by H. Contrerasová