

KOMPONENTE SONČNEGA OBSEVANJA NA HRIBU PRAVILNE OBLIKE OB
JASNEM VREMENU

COMPONENTS OF SOLAR RADIATION ON A CONE-SHAPED HILL AT CLEAR
SKY

551.521.1:551.588.2

ANDREJ HOČEVAR

Katedra za nauk o tleh in prehrano rastlin BF, Ljubljana

JOŽE RAKOVEC

Katedra za meteorologijo FNT, Ljubljana

SUMMARY

A model for calculation of quasiglobal radiation and circumglobal radiation at different locations on a cone-shaped hill including the main astronomic, meteorologic and topographic parameters, is presented.

Daily sums of particular components of circumglobal and quasiglobal radiation, viz. direct solar radiation, diffuse sky radiation and radiation reflected from the soil surface, were calculated by using the model, and are presented in figures for different locations and different days of the year. Daily courses are shown as well.

The results of the model are tested with some data of circumglobal radiation observed on a cone-shaped hill similar to the one considered in the model. Taking this comparison into account we can conclude that the model gives realistic results and can therefore serve as a tool for an estimate of various components of solar radiation on topographic features of regular geometric shape.

POVZETEK

Prikazan je model za oceno cirkumglobalnega in kvaziglobalnega obsevanja na različnih lokacijah hriba stožčaste oblike. V njem so upoštevani vsi glavni astronomski, meteorološki in topografski parametri.

Prikazane so dnevne vsote posameznih komponent cirkumglobalnega in kvaziglobalnega obsevanja, in sicer direktno sončno sevanje, difuzno sevanje neba in od tal odbito sevanje, ki smo jih izračunali z modelom za razne lokacije na hribu za razne dneve v letu. Prikazani so tudi dnevni poteki.

Rezultate modela smo testirali z opazovanji cirkumglobalnega obsevanja na stožčastem hribu, ki je podoben tistemu, ki smo ga predpostavili v modelu. Na os-

novi primerjave računskih rezultatov in opazovanj lahko sklepamo, da daje model realistične rezultate, in zato lahko služi kot pripomoček za oceno komponent sončnega sevanja pri topografskih, geometrijsko kolikor toliko pravilnih oblikah.

UVOD

Sončno obsevanje pomeni dotok energije na zemeljsko površino in je zato pogosto obravnavano; še posebno je pomembno kot vir energije za fotosintetično aktivnost rastlin. Količina sončnega obsevanja, ki jo prejme element površine s poljubno lego v prostoru v določenem časovnem intervalu - uri, dnevu - je odvisna od številnih parametrov: astronomskih, kot so deklinacija in časovni kot sonca ter čas njegovega vzhoda in zahoda; meteoroloških, so parcialna kot transmissijska koeficienta glede na absorpcijo, in razpršitev sevanja v atmosferi, vrsta in količina oblakov ali trajanje sončnega obsevanja ter topografskih, kot so geografska širina, nagib in usmeritev elementa površine ter lastnosti njegove ožje in širše okolice.

Relief v Sloveniji je zelo razgiban. Deli dolin in kotlin, pobočja grebenov in osamljenih hribov prejmejo zelo različne količine sončnega obsevanja. Količine sončnega obsevanja, ki jih prejmejo posamezne rastline ali rastlinska odeja, ki raste na teh različnih topografskih oblikah, so odvisne potem še od morfologije rastlin ali rastlinske odeje. Če je rastlinska odeja gosta in enako visoka, bo njena gornja meja vzporedna zemeljski površini in ocena sončnega obsevanja, ki bo padlo nanjo, bo razmeroma enostavna. Če pa bo rastlina večja in osamljena, bo slika sončnega obsevanja, ki pade nanjo bolj kompleksna in ocena težja. V literaturi /1/ najdemo take ocene za razne idealizirane oblike rastlin, kot so valji ter pokonci in narobe obrnjeni stožci raznih velikosti na horizontalno ležeči ravnini. V našem modelu smo se zaenkrat omejili na obravnavo idealizirane oblike osamljene rastline, krogle na določeni razdalji od tal ter na razmeroma gosto in enakomerno visoko rastlinsko odejo. Oboje računamo za razne lokacije na osamljenem hribu, ki ga predstavlja pokončni stožec na horizontalni ravnini. Narejena je tudi primerjava računane in izmerjenega cirkumglobalnega obsevanja.

Pri obravnavi količine sončnega obsevanja, ki jo prejme element površine, ločimo več izražov, ki jih najdemo v literaturi /2, 3, 4/ in jih želimo tu na kratko ponoviti. To so globalno obsevanje, kvaziglobalno obsevanje ter cirkumglobalno obsevanje. Globalno obsevanje je vsota direktnega sončnega sevanja in difuznega sevanja neba, ki jo prejme element horizontalne ploskve; kvaziglobalno obsevanje je vsota teh komponent, ki jo prejme element nagnjene ploskve; cirkumglobalno obsevanje pa je pri nas vsota direktnega sončnega sevanja, difuznega sevanja neba, ter od tal odbitega dela teh komponent, ki pade na kroglo, ki je dvignjena od tal. Prvi dve količini sta pravzaprav projekciji gostote energijskega toka glede na različni legi elementa ploskve v prostoru; pri cirkumglobalnem obsevanju pa gre za na kroglo vpadlo energijo, porazdeljeno po vsej krogelni površini.

Globalno in kvaziglobalno obsevanje sta odvisna le od astronomskih, meteoroloških in samo nekaterih topografskih faktorjev (geografska širina, nagib in usmeritev elementa ploskve, okolica, ki pogojuje dejanski vzhod in zahod sonca), cirkumglobalno obsevanje pa vsebuje še dodatne parametre: to so oblika sprejemnega elementa, njegova oddaljenost od tal ter albedo zemeljske površine v ožji okolici instrumenta, s katere se direktno sončno sevanje in difuzno sevanje neba odbijata in prihajata na kroglo (slika 1).

SIMBOLI

a	albedo zemeljske površine
dt	časovni interval
$d\zeta$	element ploskve na zemeljski površini, ki odbija sevanje
h	višina sprejemnega elementa nad tlemi
H	oddaljenost podnožja sprejemnega elementa od vrha hriba
I_0	solarna konstanta
j_I	gostota energijskega toka direktnega sončnega sevanja
j_D	gostota energijskega toka difuznega sevanja neba nad horizontalnimi tlemi
$j_{D\epsilon}$	gostota energijskega toka difuznega sevanja neba nad pobočjem
j_R	gostota energijskega toka od tal odbitega sevanja
$k(z)$	empirični koeficient, ki zavisi od zenitnega kota sonca
\vec{L}	vektor od elementa ploskve na zem. površini do sprejemnega elementa
m	relativna optična pot
\vec{n}	enotni vektor normale iz elementa ploskve
r_i	radij krogle sprejemnega elementa
R_{CG}	cirkumglobalno obsevanje, ki ga prejme krogla sprejemnega elementa v enoti časa
R_D	difuzno sevanje neba, ki ga prejme krogla sprejemnega elementa v enoti časa
R_I	direktno sončno sevanje, ki ga prejme krogla sprejemnega elementa v enoti časa
R_{KG}	direktno sončno sevanje in difuzno sevanje neba, ki ga prejme enota nagnjene ploskve v enoti časa
R_R	od tal odbito direktno sončno in difuzno sevanje neba, ki ga prejme krogla sprejemnega elementa v enoti časa
\vec{s}	enotni vektor v smeri sonca

t_{vi}	dejanski čas vzhoda sonca za sprejemni element
t_v	dejanski čas vzhoda sonca za izbrano ploskev
t_{zi}	dejanski čas zahoda sonca za sprejemni element
t_z	dejanski čas zahoda sonca za izbrano ploskev
z	zenitni kot sonca
q_a	parcialni transmisijski koeficient atmosfere glede na absorpcijo
q_s	parcialni transmisijski koeficient atmosfere glede na razpršitev
ϵ	nagib pobočja
ϑ	zenitni kot
π	Ludolfovo število
ρ	relativna odaljenost med Soncem in Zemljo
Σ	oznaka za dnevne vsote količin sevanja
δ	ploskev
ϕ	azimutni kot sprejemnega elementa na hribu
ψ	azimutni kot

OSNOVNE ENAČBE

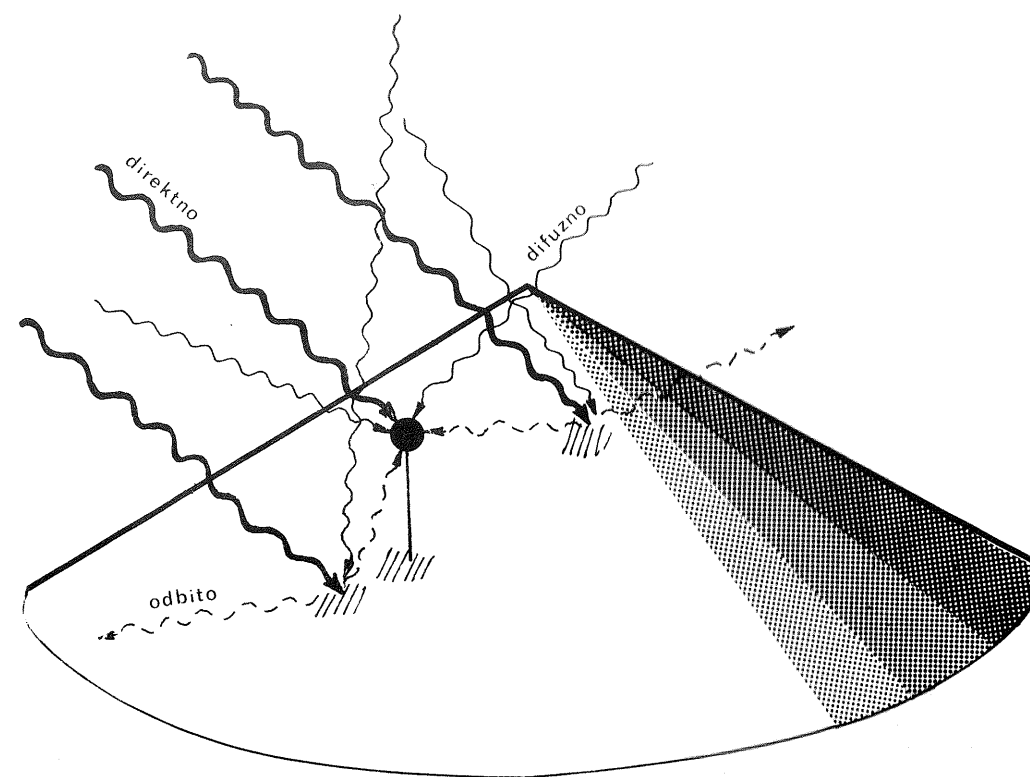
Posamezne komponente obsevanja, ki sestavljajo skupaj cirkumglobalno obsevanje ter pridejo na kroglo v prostoru, so odvisne od številnih parametrov /5/. Tako lahko zapišemo prispevek direktnega sončnega sevanja ΣR_I k cirkumglobalnemu obsevanju, ki pade na sprejemni element v času od vzhoda do zahoda sonca z upoštevanjem Bouguer - Lambertovega zakona takole:

$$\Sigma R_I = \pi r_i^2 \rho \int_{t_{vi}}^{t_{zi}} I_0 (q_a q_s)^m dt$$

pri čemer je ves čas sprejemna ploskev presek krogle - glavni krog s površino πr_i^2 , katerega normala ima smer \vec{s} .

Do izraza za difuzno sevanje neba, ki pade na polovico krogle, je pot nekoliko daljša. Z uporabo enostavne enačbe, ki jo predlaga Albrecht /6/, lahko izrazimo gostoto energijskega toka difuznega sevanja neba nad horizontalnimi tlemi j_D kot funkcijo direktnega sončnega sevanja na zemeljski površini, če sevanje ni oslabiljeno zaradi razpršitve na molekulah zraka in prahu, in direktnega sončnega sevanja, ki je oslabiljeno tudi zaradi teh procesov ter zenitnega kota sonca.

$$j_D = k(\bar{x}) \left[I_0 q_a^m - I_0 (q_a q_s)^m \right] \cos z \quad (2)$$



Slika 1 Shematičen prikaz posameznih komponent na tla vpadajočega kvaziglobalnega in na krogelni sprejemni element vpadajočega cirkumglobalnega obsevanja.

Fig. 1 Schematic presentation of different components of quasiglobal radiation reaching the tilted slope, and of circumglobal radiation reaching the spherical receiver.

$k(z)$ v tej enačbi je empirični koeficient za katerega velja v Kongu izraz /6/:

$$k(z) = 0,5 \cos^{1/3} z \quad (3)$$

Difuzno sevanje neba na nagnjeni ploskvi, ki oklepa s horizontalno ravnino kot ξ pa podaja Kondratjev /7/:

$$j_{D\xi} = j_D \cos^2 \frac{\xi}{2} \quad (4)$$

Z izrazi (2), (3) in (4) lahko zapišemo gostoto energijskega toka difuznega sevanja neba pri nagnjenih tleh:

$$j_{D\xi} = 0,5 \cos^{1/3} z \cos^2 \frac{\xi}{2} \int I_o q_a^m (1 - q_s^m) \cos z \quad (5)$$

Integracija enačbe (5) po polkrogli ter od vzhoda do zahoda sonca da prispevek difuznega sevanja k dnevni vsoti cirkumglobalnega obsevanja sprejemnega elementa krogle:

$$\Sigma R_D = r_i^2 \int_0^z I_o \cos^2 \frac{\xi}{2} \int_{t_v}^{t_z} \cos^{1/3} z \cos z q_a^m (1 - q_s^m) dt \quad (6)$$

Prispevek od tal odbitega direktnega sončnega sevanja in difuznega sevanja neba k cirkumglobalnemu obsevanju dobimo tako, da najprej ugotovimo, kakšno je kvaziglobalno obsevanje tal okrog sprejemnega elementa. Del na tla vpadlega sevanja se glede na albedo tal odbije; privzamemo, da po Lambertovem zakonu. Del tega odbitega sevanja prestreže naš sprejemni element - krogla.

Na ploskovni element površine tal z enotnim vektorjem normale \vec{n} vpada torej sevanje z gostoto energijskega toka:

$$R_{KG} = j_I (\vec{n} \cdot \vec{s}) + j_D \quad (7)$$

pri čemer mora biti glede direktnega sevanja sonca izpolnjen pogoj $\vec{n} \cdot \vec{s} > 0$ (\vec{s} je enotni vektor v smeri sonca). Če v (7) vstavimo zveze (1) in (5), dobimo:

$$R_{KG} = \int I_o (q_a q_s)^m (\vec{n} \cdot \vec{s}) + 0,5 \cos^{1/3} z \int I_o \cos^2 \frac{\xi}{2} q_a^m (1 - q_s^m) \quad (8)$$

Gostota energijskega toka ob sprejemnem elementu, ki je posledica od elementa ploskve $d\delta$ odbitega sevanja, je pri pogoju, da je $\vec{n} \cdot \vec{L} > 0$ (\vec{L} je vektor od ploskvice $d\delta$ do sprejemnega elementa):

$$dj_R = \frac{a}{r_i} R_{KG} d\delta \frac{\vec{n} \cdot \vec{L}}{|\vec{L}|^3} \quad (9)$$

Ker na sprejemni element vpade od tal odbito sevanje z vseh strani, seštejemo prispevke vseh ploskovnih elementov $d\delta$. V našem računalniškem modelu se omejimo na ploskovne elemente, ki so manj kot 10 m oddaljeni od sprejemnega elementa. Da dobimo dnevne vrednosti, moramo prispevke sešteti za časovni interval od vzhoda do zahoda sonca. Tako je prispevek odbitega sevanja k dnevni vsoti cirkumglobalnega obsevanja izražen z:

$$\Sigma R_R = r_i^2 \int_0^z d\delta \int_{t_v}^{t_z} a [j_I \cdot (\vec{n} \cdot \vec{s}) + j_{D\xi}] \frac{\vec{n} \cdot \vec{L}}{|\vec{L}|^3} dt \quad (10)$$

Dnevna vsota cirkumglobalnega obsevanja je potem podana z vsoto izrazov (1), (6) in (10), ki jo delimo s površino krogle sprejemnega elementa:

$$\Sigma R_{CG} = (\Sigma R_I + \Sigma R_D + \Sigma R_R) / 4 r_i^2$$

Pri posameznih izrazih naj še posebej poudarimo različnost meja, v katerih integriramo posamezne člene.

Dnevna vsota kvaziglobalnega obsevanja pa je podana z integracijo izraza (8)

$$\Sigma R_{KG} = \int I_o \int_{t_v}^{t_z} (q_a q_s)^m \cdot (\vec{n} \cdot \vec{s}) dt + 0,5 I_o \cos^2 \frac{\xi}{2} \int_{t_v}^{t_z} q_a^m (1 - q_s^m) \cos^{1/3} z dt. \quad (11)$$

RAČUNALNIŠKI MODEL

Pri pripravi računalniškega modela pojava je zaželeno poiskati tako rešitev, ki je kar se da splošna. Pri tem je seveda treba paziti, da na račun te splošnosti ni model preveč obremenjen s postopki, ki niso neposredno povezani z računanjem rezultatov, temveč so le posledica težnje po čimvečji splošnosti modela. Skratka, treba je najti optimalno srednjo pot med splošnostjo in ekonomičnostjo modela.

Pri računanju cirkumglobalnega in kvaziglobalnega sončnega obsevanja v razgibanem reliefu je prav ta relief tisti, ki, glede na različne lokacije na terenu, pogojuje različnost rezultatov. Gre za naslednje parametre reliefa: pri direktnem obsevanju sta to čas vzhoda in zahoda sonca glede na tla ali sprejemni element, pri difuznem je to faktor $\cos^2(\xi/2)$, najbolj pa je od reliefa odvisno od tal odbito sevanje, saj je le-to pogojeno z obliko okolice sprejemnega elementa, ki jo karakterizirajo parametri: element površine $d\vec{\sigma}(\vec{L})$ z enotnim vektorjem normale iz tega elementa $\vec{n}(\vec{L})$ in sam vektor od elementa površine do sprejemnega elementa \vec{L} , pa še albedo tal, ki se od kraja do kraja lahko tudi spreminja: $a(\vec{L})$. Našteti parametri reliefa torej karakterizirajo konkretni primer; drugi: astronomski, geografski in meteorološki parametri pa so določeni z izbiro makrolokacije in transmisijskimi lastnostmi atmosfere.

Astronomski, geografski in meteorološki parametri

Vključitev astronomskih parametrov v model ni težavna, saj so astronomski pogoji za sončno obsevanje dobro poznani. Pri določitvi dnevnega in letnega poteka zenitnega kota sonca z je treba poznati tudi geografsko širino lokacije, ki nas zanima. Meteorološke pogoje ob jasnem nebu pa opisujeta parcialna transmisijska koeficienta zaradi absorpcije q_a in razpršitve q_s sevanja v atmosferi ter optična debelina m in empirični koeficient $k(z)$. Za koeficienta q_a in q_s smo privzeli konstantni vrednosti, čeprav imata letni hod, na kar lahko sklepamo na osnovi objavljenih podatkov /8/.

Ti vrednosti sta poprečni za vse valovne dolžine, in sicer izberemo $q_a = q_s = 0.90$. Za $k(z)$ smo za sedaj vzeli kar vrednost, kot jo je dobil Albrecht (cit. Robinson) /6/: $k(z) = 0.5 \cos^{1/3} z$, čeprav bi utegnili za naše kraje bolj ustrezati kaka druga zveza. Pri določitvi optične debeline atmosfere nismo upoštevali refrakcije in spremembe gostote z višino in smo postavili $m = \sec z$.

Reliefni parametri in oblika sprejemnega elementa

Pri vključitvi reliefnih parametrov v model smo izbrali neko srednjo pot med splošnostjo in konkretnim izbranim reliefom - stožčastim hribom. Tako smo npr. podprogram za računanje prispevka od tal odbitega sevanja h cirkumglobalnemu obsevanju napisali precej splošno, čas vzhoda sonca glede na krogelni sprejemni element pa smo določili konkretno za sprejemni element na pobočju

stožčastega hriba. V sedanji verziji modela je vpliv nagnjenosti terena podan tako, kot to opisuje Kondratjev (cit. Robinson /6/) za neskončno nagnjeno ravnino $f(z) = \cos^2(\xi/2)$. Ker računamo namreč vrednosti obsevanja na precej položnem stožcu (nagib pobočja $\xi = 25^\circ$), ne preblizu vrha (vertikalna oddaljenost od vrha stožca $H = 10$ m, krogelni sprejemni element za $h = 1.5$ m dvignjen od tal bi upoštevanje prave oblike terena ne vplivalo bistveno na izračunane vrednosti. Obliko tal okrog sprejemnega elementa opišemo z radijem \vec{L} , in sicer program zahteva za vhodne podatke polje razdalj od sprejemnega elementa do tal (slika 2). Zaradi izbire idealizirane oblike terena ni potrebno podati tudi vhodnega polja enotnih vektorjev normalno iz tal, kajti ti enotni vektorji se računajo v programu samem. Ker meritve albeda nimamo, izberemo konstantno vrednost, čeprav je znano, da se albedo z razvojem rastlin, torej s časom, spreminja /7/. Privzamemo, da je albedo za kopno površino 0.15 in za tla, pokrita s snežno odejo 0.80; je pa mogoče v program vstaviti tudi kakšno drugo vrednost.

Za sprejemni element za cirkumglobalno obsevanje izberemo kroglo in na ta način model povežemo tudi z meritvami z Bellanijevim piranometrom, ki je za terensko delo zelo primeren instrument /9, 10/. Sprejemni element za kvaziglobalno obsevanje pa je enota površine pod krogelnim sprejemnim elementom, ki ima svoj nagib in usmerjenost.

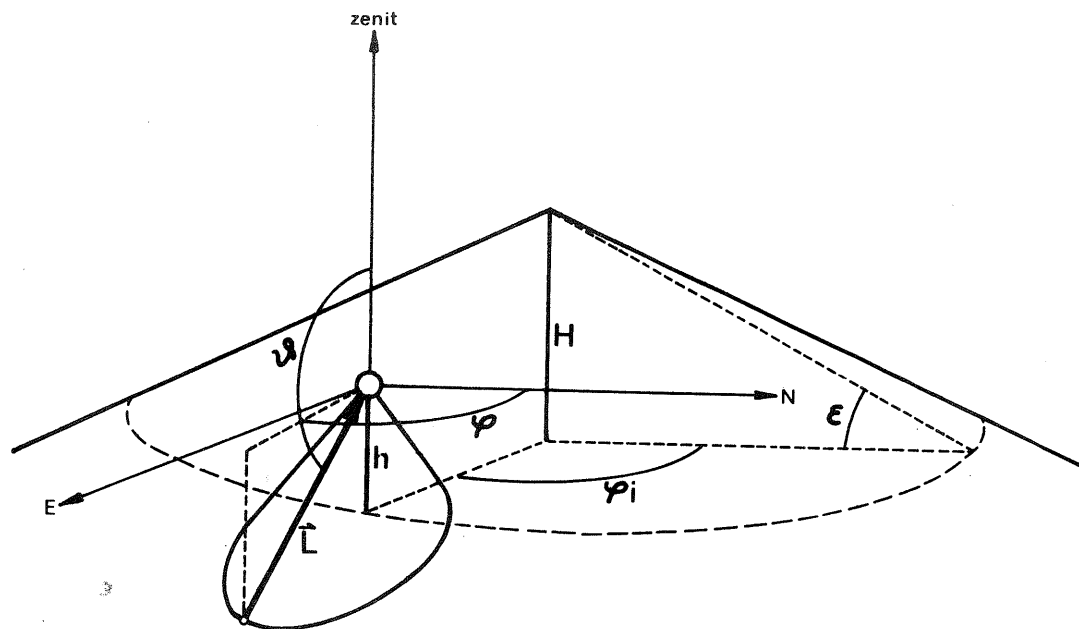
Analitični in programski postopki

Naloga modela obsevanja je, da za izbran dan na izbrani lokaciji integrira prispevke posameznih komponent sončnega obsevanja, ki prihajajo na krogelni sprejemni element ali na tla pod tem elementom. Zaradi obsežnosti dela seveda prepustimo to računalniku. Tako smo le del naloge rešili analitično, za računalnik CDC 6600 pa napisali program za preostalo delo. Računamo v krogelnih koordinatah s koordinatnim izhodiščem v krogelnem sprejemnem elementu, zenitni kot štejem od krajevnega zenita, azimutni kot pa od severa (slika 2). Program zahteva naslednje vhodne podatke: polje razdalj \vec{L} , radij sprejemnega elementa r_1 , azimut sprejemnega elementa na hribu φ_1 , geografsko širino, nagib pobočja ξ , oddaljenost podnožja sprejemnega elementa od vrha hriba H , višino sprejemnega elementa nad tlemi h , deklinacijo sonca, relativno oddaljenost med Soncem in Zemljo ζ , solarno konstanto I_0 , datum in albedo tal a .

Za vhodno polje razdalj od sprejemnega elementa do tal smo našli analitični izraz tako, da smo poiskali presečnico med stožcem, ki ponazarja naš hrib in stožcem z vrhom v koordinatnem izhodišču, ki ga opisujejo neodvisne spremenljivke. Za izbran azimutni kot smo za razdaljo dobili štiri rešitve (presek med dvema dvojnima stožcema), za naš problem je uporabna tista z večjim zenitnim kotom in manjšim radijem, ki je narisana na sliki 2. Tako smo torej dobili enolično odvisnost radija (razdalje od sprejemnega elementa do tal) od zenitnega in azimutnega kota. S posebnim programom smo te razdalje izračunali, jih izpisali in zluknjali in tako dobili del paketa vhodnih podatkov.

Na opisani način dobljeni izraz za razdaljo od sprejemnega elementa do tal v odvisnosti od zenitnega in azimutnega kota je kvadraten. Za računanje razdalj smo izbirali tisto rešitev, ki je bila manjša. Če pa hočemo dobiti izraz, ki bi nam opisoval obris hriba, kot ga je videti iz sprejemnega elementa, postavimo pogoj, da je diskriminanta omenjenega kvadratnega izraza za razdaljo enaka nič. Tako dobimo:

$$\operatorname{tg} \nu = \operatorname{tg} \xi \frac{(1-h/H)\cos(\varphi - \varphi_i) + \sqrt{2h/H - (h/H)^2} \sin(\varphi - \varphi_i)}{\sin^2(\varphi - \varphi_i) - (1 - h/H)^2} \quad (12)$$



Slika 2 Geometrijski parametri sprejemnega elementa na hribu. Presečnica dveh stožcev določa $\vec{L}(\nu, \varphi)$ in s tem polje, s katerega prihaja odbito sevanje na sprejemni element.

Fig. 2 Geometric parameters of the receiver on a hill. Line of intersection of two cones determinates $\vec{L}(\nu, \varphi)$ and so the field, from which the reflected radiation is coming on the receiver.

Na podlagi te zveze testiramo, ali sonce sije na krogelni sprejemni element ali ne. Pogoj, da je sprejemni element obsijan od sonca je, da je zenitna razdalja sonca z manjša od zenitnega kota, določenega z zvezo (12).

Poleg glavnega programa imamo za računanje še štiri podprograme: prvi z uporabo zveze (12) testira, ali je sprejemni element za cirkumglobalno obsevanje obsijan od sonca, in tako določa čas vzhoda t_{vi} in zahoda t_{zi} glede na ta sprejemni element; drugi prireja kote v interval med 0 in 2π ; tretji računa skalarne produkte, če so le-ti negativni, jim prireja vrednost nič; četrti pa računa prispevek od tal odbitega sevanja k cirkumglobalnemu obsevanju.

Časovni korak integracije je poljuben (izbrali smo 20 minutnega), vrednosti vseh od časa odvisnih količin pa se ekstrapolirajo vnaprej prek tega časovnega koraka. Prostorski korak za računanje prispevka od tal odbitega sevanja je $\pi/20$ v krogelnih koordinatah.

Izpis daje dnevni potek cirkumglobalnega obsevanja po posameznih komponentah in skupno, ter dnevni potek kvaziglobalnega obsevanja, pa tudi dnevne vsote direktne, difuzne in od tal odbite komponente cirkumglobalnega obsevanja, dnevno vsoto cirkumglobalnega in kvaziglobalnega obsevanja (slika 3).

REZULTATI

Sončno obsevanje smo občasno merili na gričku Sv. Jakob blizu Katarine in sicer z Bellanijevimi piranometri na vrhu griča in na pobočjih na vseh štirih straneh nega /10/. Tej lokaciji ustrezno smo izbrali tudi parametre pri računalniški simulaciji obsevanja, kot smo že opisali. Povejmo še, da smo postavili, da je geografska širina 46.1° , računali pa smo za enakonočji in solsticija. Oglejmo si torej nekatere rezultate.

Ob enakonočju daje naš model tak dnevni potek kvaziglobalnega in cirkumglobalnega obsevanja, kot ga kaže za štiri lokacije slika 4. Opazno je, da je kvaziglobalno obsevanje dosti močnejše kot cirkumglobalno. V glavnem je to posledica tega, da izražamo direktno in od tal odbito obsevanje, vpadajoče na presek krogelnega sprejemnega elementa pri cirkumglobalnem obsevanju, s poprečjem na površino tega sprejemnega elementa. Natančneje smo vzroke za to razliko že popisali /9/.

Ker je direktno obsevanje najpomembnejša komponenta cirkumglobalnega obsevanja, se vrednosti slednjega od lokacije do lokacije ne spreminjajo dosti, seveda če je sprejemni element od sonca obsijan. Na sliki 4 vidimo, da npr. sonce, ki obseva sprejemne elemente na severni, vzhodni in južni lokaciji že od 6^h , na sprejemni element na zahodnem pobočju hriba posije šele ob 7^{40} in podobno zvečer za sprejemni element na vzhodnem pobočju zaide že ob 16^{20} . Odbita komponenta pripomore k temu, da je zjutraj cirkumglobalno obsevanje najmočnejše na

CIRKUMGLOBALNO OBSEVANJE
 NA RAZNIH LOKACIJAH NA STOŽČASTEM HRIBU
 PRISPELO NA KROGELNI SPREJEMNI ELEMENT Z RADIJEM 5.0 CM
 GEOK. ŠIRINA 46.1 STOPINJU ALBEDO .15 DATUM 21. MAREC
 NAGIB HRIBA 25.0 STOPINJU AZIMUT LOKACIJE 90.0 STOPINJU
 VERTIKALNA UDD. OD VRHA HRIBA 10.0M VISINA NAD TLEMI 1.5M

20.-MINUTNE VREDNOSTI V CAL NA CM² SPREJEMNEGA ELEMENTA

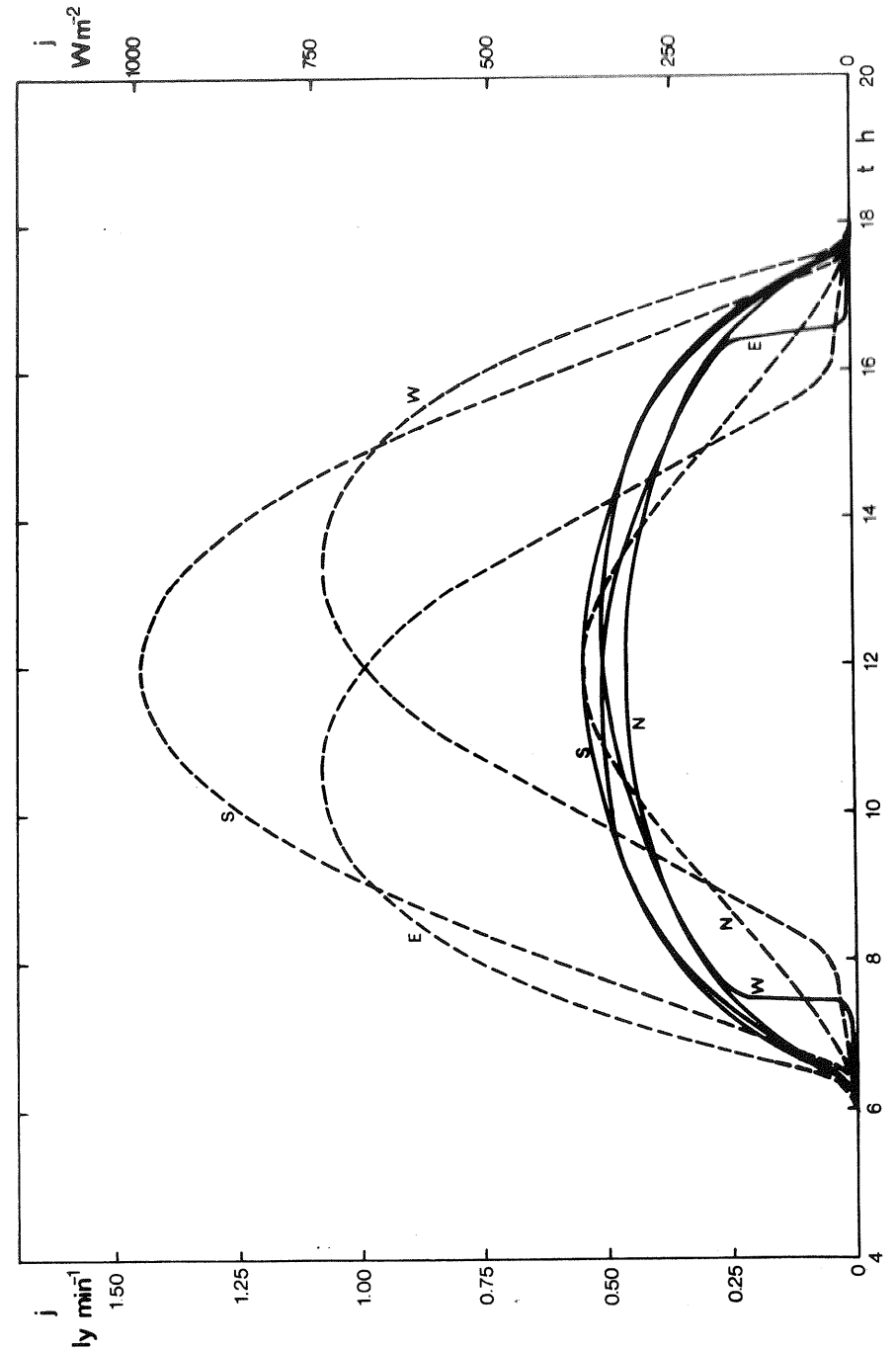
URA	MIN	DIREKTNO	DIFUZNO	REFLEKT	CIRKUMGLOB	KVAZIGLOB
6		.00	.00	.00	.00	.00
6	20	.31	.03	.06	.40	.65
6	40	1.74	.14	.37	2.25	3.91
7		3.09	.24	.71	4.04	7.45
7	20	4.11	.32	1.01	5.44	10.53
7	40	4.87	.39	1.26	6.50	13.10
8		5.45	.45	1.47	7.36	15.22
8	20	5.89	.51	1.64	8.00	16.96
8	40	6.23	.54	1.78	8.55	18.38
9		6.51	.57	1.90	8.98	19.49
9	20	6.73	.61	1.99	9.30	20.35
9	40	6.91	.63	2.05	9.50	20.98
10		7.04	.65	2.10	9.74	21.34
10	20	7.15	.67	2.12	9.95	21.61
10	40	7.24	.68	2.13	10.10	21.64
11		7.3	.69	2.12	10.12	21.49
11	20	7.34	.70	2.10	10.14	21.10
11	40	7.37	.71	2.05	10.15	20.66
12		7.38	.71	1.99	10.00	19.97
12	20	7.37	.71	1.91	9.90	19.09
12	40	7.34	.71	1.80	9.75	18.11
13		7.3	.69	1.68	9.60	16.74
13	20	7.24	.68	1.54	9.40	15.27
13	40	7.15	.67	1.39	9.21	13.66
14		7.04	.65	1.21	8.91	11.87
14	20	6.91	.63	1.03	8.50	9.90
14	40	6.73	.61	.83	8.10	7.97
15		6.51	.57	.64	7.72	5.94
15	20	6.23	.54	.44	7.21	3.92
15	40	5.89	.51	.25	6.64	2.00
16		5.45	.45	.14	6.04	.91
16	20	4.87	.39	.10	5.36	.78
16	40	4.00	.32	.06	.59	.64
17		3.00	.24	.05	.29	.48
17	20	2.00	.14	.03	.17	.28
17	40	1.00	.03	.01	.04	.07

DNEVNE VREDNOSTI V CAL NA CM² SPREJEMNEGA ELEMENTA

DIREKTNO	DIFUZNO	REFLEKT	CIRKUMGLOB	KVAZIGLOB
188.60	17.77	41.95	248.37	422.52

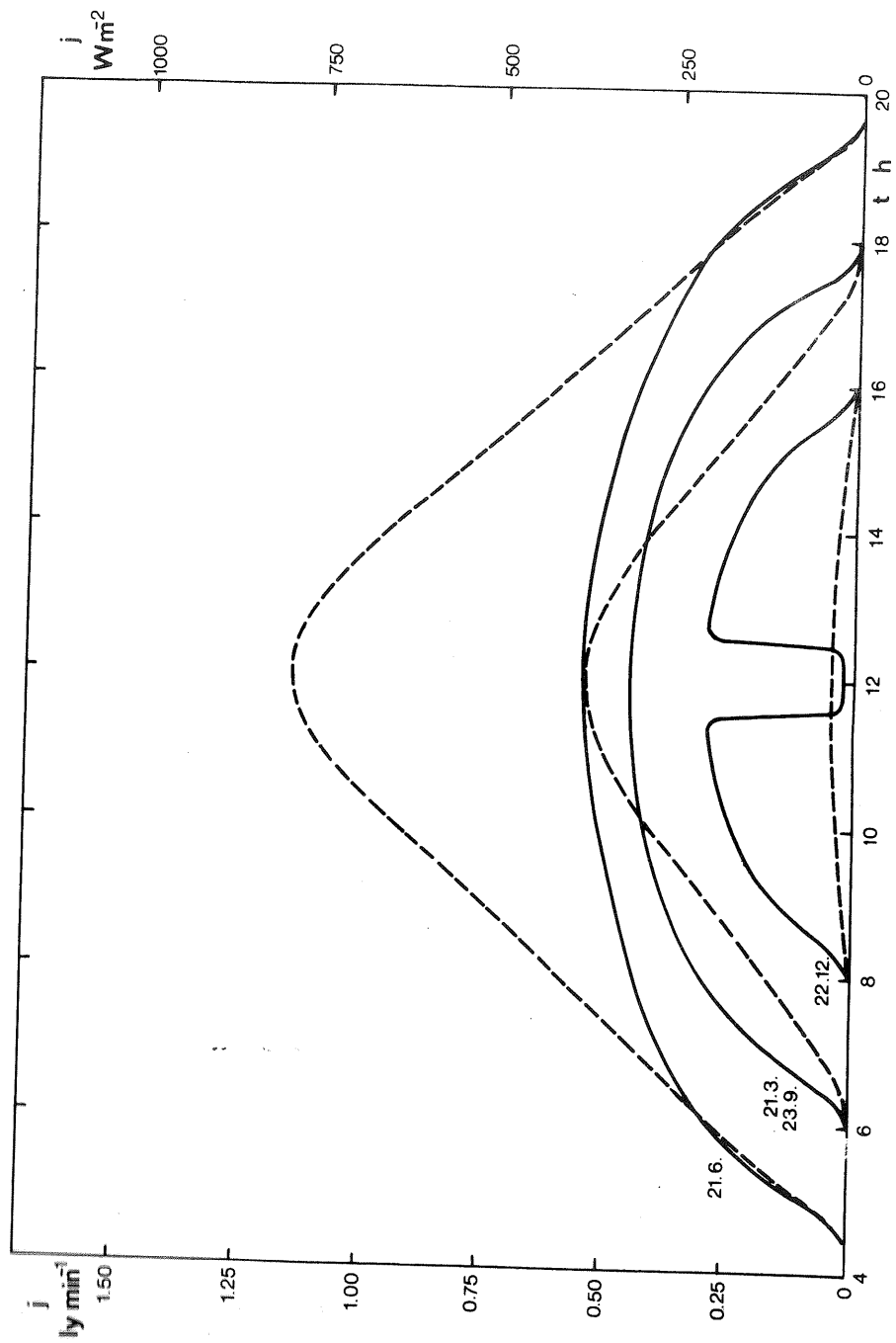
Slika 3 Kviziglobalno in cirkumglobalno obsevanje na stožčastem hribu ob enakonočju na vzhodni lokaciji.

Fig. 3 Quasiglobal and circumglobal radiation on a conical hill at equinox on eastern location.



Slika 4 Dnevni potek kvaziglobalnega (črtkano) in cirkumglobalnega obsevanja (polno) ob enakonočju na severni, vzhodni, južni in zahodni lokaciji.

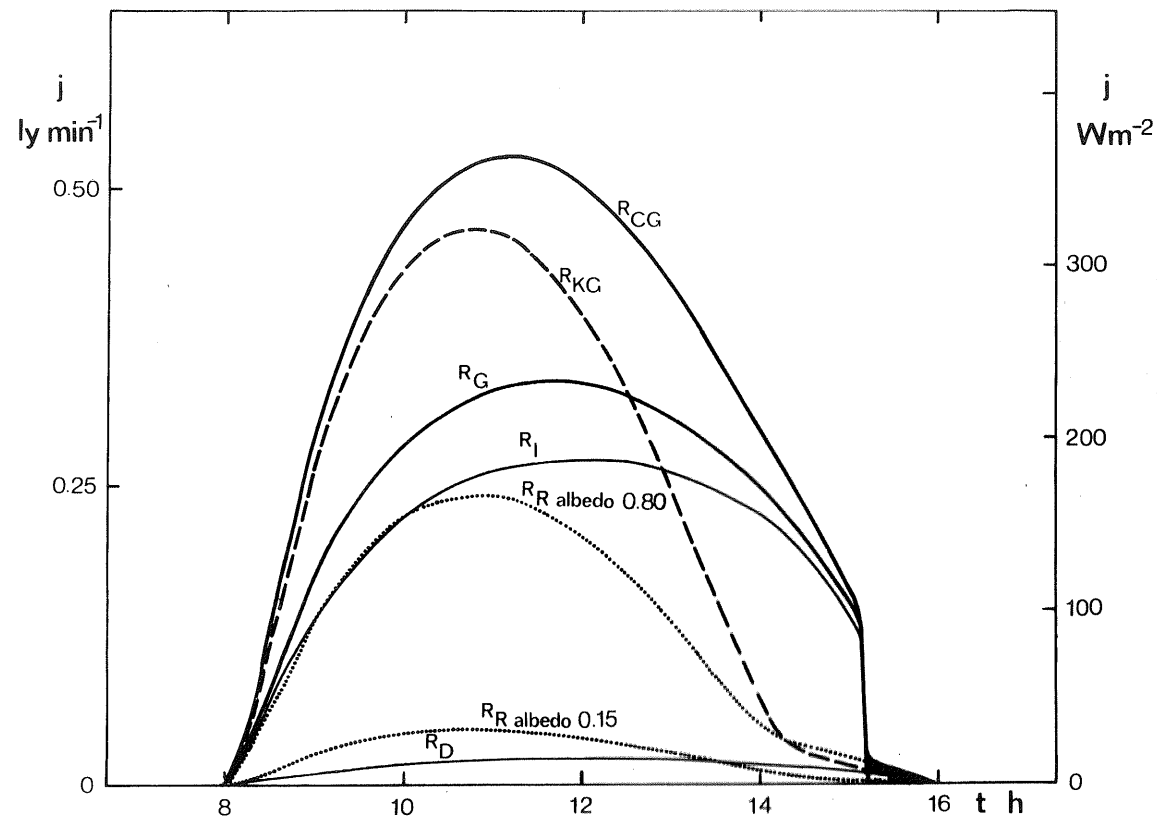
Fig. 4 Daily course of quasiglobal (dashed line) and circumglobal radiation (full line) at equinox on northern, eastern, southern and western location.



Slika 5 Dnevni potek kvaziglobalnega (črtkano) in cirkumglobalnega obsevanja (polno) ob poletnem in zimskem solsticiju in ob enakonočjih na severni lokaciji.

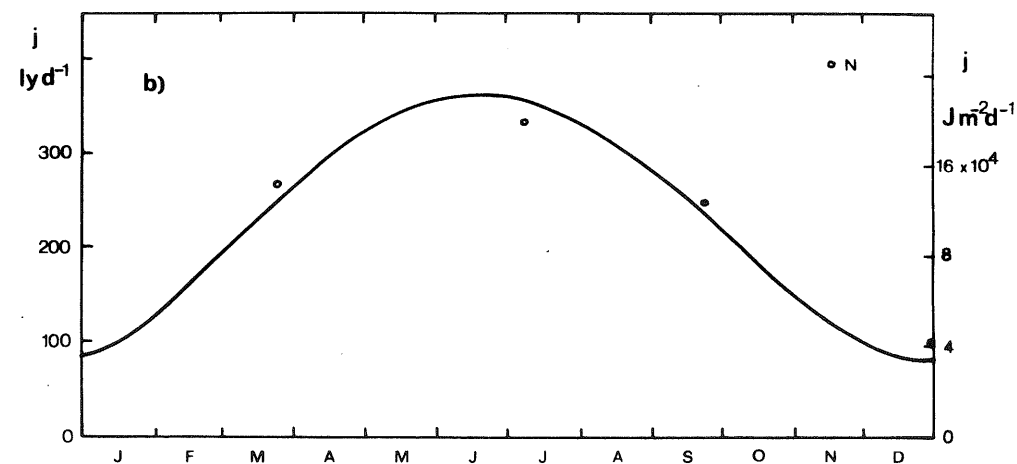
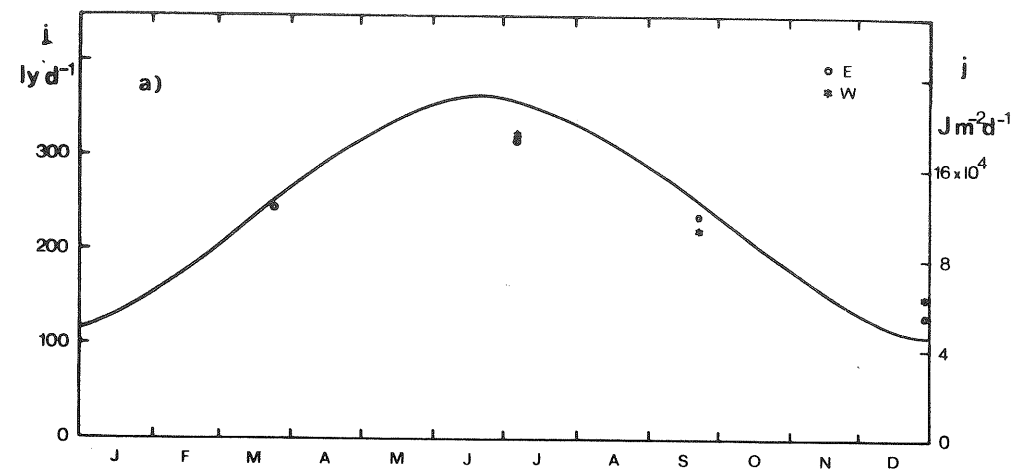
Fig. 5 Daily course of quasiglobal (dashed line) and circumpolar radiation (full line) at summer and winter solstices and at equinoxes on northern location.

vzhodni, opoldne na južni in zvečer na zahodni lokaciji. Podobno velja tudi za kvaziglobalno obsevanje, le da na zahodni lokaciji sonce še kasneje posije na tla in na vzhodni še preje neha obsevati tla, kot pa od tal dvignjeni sprejemni element za cirkumglobalno obsevanje. Seveda pa je na različnih lokacijah kvaziglobalno obsevanje precej različno, kajti tu, v nasprotju s cirkumglobalnim obsevanjem, odloča o obsevanju kot med smerjo sončnih žarkov in normalo na sprejemni element, to je enoto površine tal.



Slika 6 Dnevni potek kvaziglobalnega obsevanja (črtkano); ter cirkumglobalnega obsevanja - skupno (debelejše) ter po posameznih komponentah: direktno (tanjšje), difuzno (tanjšje), odbito (pikčasto), za dve vrednosti albedo.

Fig. 6 Daily course of quasiglobal radiation (dashed line); and circumpolar radiation - total (heavy line) and particular components: direct (thin line), diffuse (thin line) and reflected (dotted line), for two values of albedo.



Slika 7 Primerjava med izračunanimi in izmerjenimi vrednostmi dnevni vsoti cirkumglobalnega obsevanja na stožčastem hribu:
 a) na vzhodni in zahodni lokaciji in
 b) na severni lokaciji.

Fig. 7a,b Comparison between calculated and measured daily sums of circumglobal radiation on a conical hill:
 a) on eastern and western location and
 b) on northern location.

Dnevni potek kvaziglobalnega in cirkumglobalnega obsevanja je posebno zanimiv na severnem pobočju, kot je prikazano na sliki 5. Različna dolžina dneva je vzrok za velike razlike med obsevanjem ob solsticijih in enakonočjih. Pozimi sonce okrog poldneva glede na krogelni sprejemni element za nekaj časa zaide, na tla pa sploh ne posije, tako da je edina komponenta kvaziglobalnega obsevanja difuzno sevanje neba.

Kakšna pa so razmerja med posameznimi komponentami sončnega obsevanja. Ob izbranih parametrih in ob upoštevanju le odboja sevanja od tal, ki niso dlje kot 10 m od krogelnega sprejemnega elementa, daje model rezultate, kot jih za vzhodno lokacijo ob zimskem solsticiju kaže slika 6.

Vidimo, da je vpliv albeda na cirkumglobalno obsevanje velik, da pri albedu 0.15 prispevek od tal odbitega obsevanja presega prispevek difuznega sevanja, pri albedu 0.80 pa dopoldne odbito sevanje prispeva toliko ali pa celo nekoliko več kot direktno obsevanje. Iz podatkov na sliki 3 so razlike med prispevki posameznih komponent za vzhodno lokacijo ob enakonočju natančnejše razvidna.

Seveda je potrebno, da ugotovimo, ali model daje rezultate, ki se skladajo z izmerjenimi. Videti je, da je tako. Meritev ob povsem jasnem nebu sicer nimamo veliko na razpolago, vendar pa že teh nekaj potrjuje, da daje model realne rezultate. Seveda je zaradi manjše natančnosti Bellanijevega piranometra smiselno primerjati le dnevne vsote. Tako za vzhodno in zahodno (slika 7a) kot za severno lokacijo (slika 7b) pa je videti, da so izračunane vrednosti poleti nekoliko previsoke, pozimi pa prenizke. To pomanjkljivost bi bilo mogoče odpraviti s tem, da bi upoštevali spremembe optične debeline atmosfere, parcialnih transmisijskih koeficientov ter albeda prek leta, saj to spremenljivost potrjujejo tudi nekateri podatki iz literature /7, 11/.

SKLEP

Model za računanje cirkumglobalnega in kvaziglobalnega obsevanja poljubne lokacije na s travo porastlem pokončnem stožcu na horizontalni ravnini, katerega značilnosti in funkcijske odvisnosti smo prikazali v tem delu, daje realne rezultate, saj se le-ti dokaj dobro ujemajo z izmerjenimi vrednostmi na hribu, katerega oblika se v precejšnji meri približuje geometrijski obliki, ki smo jo uporabili v modelu. To dokazuje, da smo v njem upoštevali vse bistvene parametre, ki vplivajo na vrednost cirkumglobalnega in kvaziglobalnega obsevanja.

Manjša neskladja med izračunanimi in izmerjenimi vrednostmi lahko razložimo z poenostavitvami, ki smo jih predpostavili v modelu. Tako smo predpostavili konstantno vrednost za nekatere parametre kot so albedo travnate površine, parcialni transmisijski koeficient glede absorpcije in parcialni transmisijski koeficient glede razpršitve sončnega sevanja v atmosferi. Vemo pa, da se ti faktorji med letom pa tudi dnevom, zaradi spreminjanja stanja atmosfere in površine tal, spreminjajo. Absorpcija sončnega sevanja v atmosferi je v veliki meri odvisna od količine vodne pare, ki je v njej pozimi manj, albedo travnate površine pa ima zaradi različnih stopenj rasti trave svoj letni hod. Ker nam letne spremembe teh parametrov za naše razmere niso poznane, smo v prikazani verziji modela uporabili konstantne vrednosti. Rezultati modela pa kažejo, da je bila uporaba te predpostavke upravičena.

LITERATURA

- / 1/ Terjung, W.H. and S.S.F. Louie; Potential Solar Radiation on Plant Shapes. Int. J. Biometeor. Vol. 16. Amsterdam. 1972.
- / 2/ Huschke, R.E.: Glossary of Meteorology. American Meteorological Society. Boston 1959.
- / 3/ Hočevar A.: Okvirne vrednosti globalnega obsevanja in kvaziglobalnega obsevanja za Štajersko in Primorsko. Zbornik biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Zvezek XVI. Ljubljana 1969.
- / 4/ Flach, E.: Vergleichende bioklimatologische Untersuchungen zum Verhalten der Sonnenscheindauer und der kurzwelligen Wärmestrahlung im Hochgebirge und Flachland. Z. Fur angewandte Bäder und Klimaheilkunde. 15. Stuttgart 1968.
- / 5/ Hočevar A.: Short Wave Radiation on Various Slopes of a Hill measured with Bellani Spherical Pyranometers. Zbornik meteoroloških i hidroloških radova, 5. Beograd 1974.
- / 6/ Robinson, N.: Solar Radiation. Elsevier Publishing Comp. Amsterdam 1966. Cit. F. Albrecht.
- / 7/ Kondratjev, K. Ja.: Radiative Heat Exchange in the Atmosphere. Pergamon Press, 1965. Prevod iz ruščine.
- / 8/ Hočevar, A.: Globalno sevanje v Ljubljani. Razprave - Papers VIII. Društvo meteorologov Slovenije, Ljubljana 1967.
- / 9/ Rakovec, J. in A. Hočevar: Primerjava meritev cirkumglobalnega in globalnega obsevanja v Ljubljani (1971 - 1973). Razprave Papers XV. Društvo meteorologov Slovenije, Ljubljana 1973.
- /10/ Hočevar, A.: Kvantitativna ocena sončnega obsevanja v razgibanem reliefu. Letno poročilo o Skladu Borisa Kidriča. Ljubljana 1974. Nerepublicirano.
- /11/ Dirmhirn, I.: Das Strahlungsfeld im Lebensraum. Akad. Verlagsgesellschaft. Frankfurt a.M 1964.