

NUMERIČNA NAPOVED TEMPERATURE  
TAL IN ZRAKA PRI TLEH

NUMERICAL PREDICTION OF GROUND-  
AND SURFACE-AIR TEMPERATURE

551.52:551.509.333:681.177

Jože RAKOVEC

Katedra za meteorologijo  
VTOZD Fizika, FNT, L j u b l j a n a

#### SUMMARY

The model for numerical prediction of ground and surface-air temperature is presented, based on Bhumralkar's /1/ and Blackadar's /2/ "force-restore" method. As it is designed, the model can be used in a numerical model of the atmosphere, which does not explicitly treat air-humidity, but into which a parametrization of boundary layer is included.

The inclusion of solar radiation takes into account the most important astronomical, meteorological and relief parameters. Long-wave radiation is the result of radiation from the ground, from the surface-air and the clouds, but also considers the selective absorption in the atmosphere. The used formulation of long-wave radiation is slightly unstable. Turbulent exchange of sensible heat is supposed to be known from boundary layer parametrization, but here the modified Wangara data on it have been used. Namely, the intensified turbulent exchange had to be included, but in our later work (presented by Rakovec and Hočevar /3/) the long-wave radiation was modified, and with the observed Wangara data realistic results on ground and surface-air temperature were predicted. Latent heat exchange is obtained, using Bowen ratio, depending on temperature and ground wetness, according to Priestley and Taylor /4/. Finally, heat flow in the ground is determined with heat capacity and conductivity, both also depending on ground wetness.

The model is tested with different values of cloudiness, albedo of the ground and ground wetness. The influences of different values of these parameters are shown in graphs, indicating that the model is sensitive enough on all parameters. This also means that all of them have to be known precisely in order to obtain the prediction of the temperatures with proper exactness.

#### POVZETEK

Prikazan je model za numerično napoved temperature tal in zraka pri tleh, ki je primeren za vgradnjo v "suhi" model atmosfere, če ta vsebuje para-

metrizacijo planetarne mejne plasti. Model za napoved temperature je testiran pri raznih vrednostih oblačnosti, albeda in nagiba tal ter vlažnosti tal. Iz prikazanega se vidi, da je vpliv teh količin v modelu dovolj močan, po drugi strani pa to pomeni, da je za dobro napoved s prikazanim modelom, potrebno poznati te količine dovolj natančno.

#### SIMBOLI

a	albedo tal
B	Bowenovo razmerje
$c_g$	volumenska toplotna kapaciteta tal
$c_p$	specifična toplota zraka pri stalnem pritisku
d	globina v tleh, v kateri računamo temperaturo tal, $d = 1$ cm
h	višina nad tlemi, na kateri računamo temperaturo zraka, $h = 2$ m
$j_G$	gostota konduktivnega toka toplote v tleh
$j_H$	gostota turbulentnega toka zaznavne toplote v atmosferi
$j_{LE}$	gostota turbulentnega toka latentne toplote v atmosferi
$j_{Ra}$	gostota toka dolgovalovnega sevanja atmosfere pri tleh ob jasnem nebu
$j_{Rc}$	gostota toka dolgovalovnega sevanja pri tleh od oblakov
$j_{Rg}$	gostota toka dolgovalovnega sevanja tal
$j_{Rl}$	gostota toka neto dolgovalovnega sevanja pri tleh
$j_{Rs}$	gostota toka v tleh absorbiranega kratkovalovnega sevanja
$j_o$	solarna konstanta, $j_o = 1353 \text{ Wm}^{-2}$
k	von Karmanova konstanta, $k = 0.35$
n/N	relativna skupna količina oblačnosti
m	relativna otična pot, $m = \text{sec}$
$\hat{n}$	enotni vektor normale iz tal
r	empirična funkcija za difuzno kratkovalovno sevanje, ki prihaja od oblakov
$\vec{s}$	enotni vektor proti soncu
T	temperatura
$T_a$	temperatura zraka na višini 2 m
$T_c$	temperatura oblakov
$T_g$	temperatura tal v globini 1 cm
$\bar{T}$	temperatura tal v globini, kjer je zaloga toplote

$\Delta T_o$	amplituda dnevnega hoda temperature na površini tal
$T_*$	torna temperatura
t	čas
$u_*$	torna hitrost
z	vertikalna koordinata
$z_H$	parameter za prenos toplote, analogen parametru hrapavosti
$q_a$	parcialni transmisijski koeficient atmosfere glede na absorpcijo kratkovalovnega sevanja
$q_s$	parcialni transmisijski koeficient atmosfere glede na razpršitev kratkovalovnega sevanja
$x_g$	vodna vsebina tal
$x_s$	vodna vsebina z vodo nasičenih tal
$\alpha$	parameter, ki skupaj z določa Bowenovo razmerje, za tla, nasičena z vodo je $\alpha = 1.26$
$\Delta$	parameter, ki skupaj z določa Bowenovo razmerje in je odvisen od temperature
$\epsilon_c$	emisivnost oblakov, $\epsilon_c = 0.90$
$\epsilon_g$	emisivnost tal, $\epsilon_g = 0.95$
$\theta$	zenitni kot sonca
$\lambda_g$	toplotna prevodnost tal
$\rho_a$	gostota zraka
$\sigma$	Stefanova konstanta, $\sigma = 5.6696 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$
$\omega$	krožna frekvenca dnevnega cikla

Napoved temperature pri tleh je ena izmed važnejših nalog v okviru prognoze vremena. Danes napovedujejo vremensko karto ponavadi z numeričnimi modeli in je ta del prognoze objektiviziran. Pri prehodu od napovedanih vremenskih kart k napovedi vremena pa je še vedno precej subjektivno pogojenih postopkov. Zato vlagajo mnogo truda v objektivizacijo tudi tega dela napovedi; ponavadi uporabljajo pri tem statistične zveze med vremenskimi kartami in opazovanim vremenom. Videti je, da bi uvedba takega sistema pripomogla k nadaljni izboljšavi napovedi, čeprav je tudi tu treba ravnati previdno /5/.

Objektivna napoved temperature pri tleh s podatki, ki so na razpolago v numeričnem modelu atmosfere, je možna z manj statističnimi zvezami, kot je to potrebno npr. pri napovedi padavin, ker ima temperatura pri tleh dokaj dobro izražen dnevni hod, ki ga je mogoče opisati, če poznamo energijske tokove v vertikalni smeri pri tleh. Zelo uspešen način sta našla Bhumralkar /1/ in Blackadar /2/ s svojo "force-restore" metodo za napoved temperature tal in zraka pri tleh.

Pri vzpostavljanju primernega modela za napoved temperature pri tleh smo se naslonili na sedanjo verzijo jugoslovanskega modela za numerično napoved /6/ in smo ga tej verziji tudi prilagodili. Osnovna značilnost našega modela je ta, da ne zahteva poznavanja razmer glede vlage, kajti ta tudi ni vključena v operativno verzijo jugoslovanskega modela za numerično napoved vremenskih kart. Poleg tega omenimo še, da zahteva model za napoved temperature tal in zraka pri tleh poznavanje toka zaznavne in latentne toplote v zraku pri tleh ter se tako navezuje na že izdelano parametrizacijo teh količin v numeričnem modelu za napoved vremenskih kart /7/. Pri tu prikazanih rezultatih pa te parametrizacije nismo vključili, temveč smo za potrebe testiranja uporabljali nekoliko modificirane izmerjene vrednosti teh količin z ekspedicije Wangara, kot jih daje Yamada /8/. S tem smo za prve poskuse dosegli precej večjo ekonomičnost modela.

#### OSNOVNE ENAČBE MODELA

Model za napoved prizemne temperature uporablja enačbo energijske bilance pri tleh. Temperatura tal se računa tako, da je divergenca vertikalnih tokov energije pri površini tal tisti vzrok, ki povzroči spremembo temperature tanke vrhnje plasti tal. Za računanje te divergence pa, seveda, moramo poznati vse energijske tokove. Od temperature tal preidemo k temperaturi zraka pri tleh, če poznamo vertikalni tok zaznavne toplote v zraku pri tleh.

#### Sončno obsevanje tal

To komponento v enačbi energijske bilance določamo tako, da upoštevamo glavne astronomske, meteorološke in reliefne pogoje. Uporabimo metodo Hočvarja in Rakovca /9/, ki upošteva: letni in dnevni hod sončnega

obsevanja, transmisivnost atmosfere, oblačnost, albedo tal in nagib tal. Vsota gostote energijskega toka direktnega in difuznega obsevanja, ki ga tla absorbirajo, je tako:

$$j_{Rs} = (1-a)j_o q_a^m \left\{ \left(1 - \frac{n}{N}\right) q_s^m (\vec{n} \cdot \vec{s}) + 0.5 (1-q_s)^m (\cos \theta)^{4/3} \left[ 1 - \frac{n}{N} + \frac{n}{N} r(C, \theta) \right] \right\} \quad (1)$$

Tu za empirijsko funkcijo za kratkovalovno difuzno sevanje, ki prihaja od oblakov izberemo tisto za As oblake po podatkih Tverskoja /10/:

$$r(As, \theta) = 1.48 + 1.9 \cos \theta \quad (2)$$

#### Dolgovalovno sevanje atmosfere in tal

Dolgovalovno sevanje atmosfere je odvisno od razporeditve temperature in vlage v atmosferi ter agregatnega stanja, v katerem je voda v atmosferi. Posebej je zato potrebno obravnavati sevanje od oblakov, ki v intervalu od 8  $\mu$ m do 14  $\mu$ m precej neovirano prihaja do tal. V tem spektralnem intervalu je okrog 30% energije, ki jo seva črno telo pri temperaturi, ki jo pripišemo oblakom /11/, zato lahko za sevanje, ki prihaja k tlom od oblakov, uporabimo enačbo:

$$j_{Rc} = 0.3 \frac{n}{N} \epsilon_c \sigma T_c^4 \quad (3)$$

Emisivnost oblakov  $\epsilon_c$  je za nizke in srednje oblake med 0.9 in 1.0, samo sevanje pa je seveda odvisno od količine oblakov n/N.

Proti tlom seva tudi zrak, ki je blizu tal, do tal pa prihaja tudi sevanje brezoblačnih višjih plasti atmosfere, seveda le v omenjenem "atmosferskem oknu". Prispevke posameznih plasti je seveda zelo težko ovrednotiti, navadno jih vse skupaj parametriziramo.

V verziji modela, ki jo tu prikazujemo, smo uporabljali statistično zvezo med sevanjem atmosfere navzdol ob jasnem vremenu ter temperaturo zraka pri tleh, kot jo podaja Swinbank /12/:

$$j_{Ra} = 1.195 \sigma T_a^4 - 170 \text{ Wm}^{-2} \quad (4)$$

za katero je dobil korelacijski koeficient 0.988. Vendar pa je ta zveza v modelu za napoved temperature nekoliko nestabilna. Zato smo v kasnejših poskusih to formulacijo spremenili /13/.

Tla imajo emisivnost med 0.95 in 0.97 /14/, zato za sevanje tal lahko zapišemo:

$$j_{Rg} = \epsilon_g \sigma T_g^4 \quad (5)$$

ter za celotno dolgovalovno sevanje navzdol, proti tlom:

$$j_{Rl} = 0.3 \frac{n}{N} \epsilon_c \sigma T_c^4 + 1.195 \sigma T_a^4 - 170 \text{ Wm}^{-2} - \epsilon_g \sigma T_g^4 \quad (6)$$

Tok zaznavne toplote

Če je model za napoved temperature pri tleh povezan s parametrizacijo planetarne mejne plasti /7/, lahko gostoto toka zaznavane toplote v zraku zapišemo s tornó hitrostjo  $u_*$  in tornó temperaturo  $T_*$ :

$$j_H = kq_a c_p T_* u_* \quad (7)$$

Zaradi ekonomičnosti računanja pa uporabljamo pri poskusih, ki jih tu predstavljamo, izmerjene podatke  $T_*$  in  $u_*$ , le nekoliko jih popravimo: vzamemo trikratno turbulentno izmenjavo, kot jo podaja Yamada /8/ po ekspediciji Wangara. Tako nekoliko zavremo tudi nestabilnost zaradi dolgovalovnega sevanja. V naslednjih poskusih, ko smospremenili način določanja dolgovalovnega sevanja /13/, pa smo uporabljali tako velike vrednosti o turbulentni izmenjavi zaznavne toplote, kot so bile izmerjene v dneh 11 - 14.

Tok latentne toplote (izparilne entalpije)

Ko smo določili zaznavno toploto, moramo prek Bowenovega razmerja določiti tudi latentno toploto. Po Priestleyu in Taylorju /4/ napišemo to razmerje v odvisnosti od temperature

$$B = \frac{j_H}{j_{LE}} = \frac{1 - \alpha \Delta}{\alpha \Delta} \quad (8)$$

kjer je  $\alpha$  empirična konstanta ( $\alpha = 1.26$ ) in  $\Delta = \Delta(T_g)$ . To zvezo so potrdili tudi drugi avtorji (glej /15/). Popravimo jo še, da velja tudi za z vodo nasičene površine:

$$\alpha = 1.26 \frac{x_g}{x_s} \quad (9)$$

in tako dobimo prek Bowenovega razmerja iz zaznavne latentno toploto, ki ustreza dejanski evapotranspiraciji.

Tok toplote v tleh in temperatura tal

Difuzijska enačba za temperaturo v tleh:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda_g}{c_g} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (10)$$

je osnova metode Bhumralkarja in Blackadarja /1,2/. V njej upoštevamo odvisnost volumske toplote kapacitete in toplotne prevodnosti od vlažnosti tal /16,17/:

$$c_g = (1.6^2 + 4.2 x_g) \text{ MJm}^{-3} \text{K}^{-1} \quad (11)$$

$$\lambda_g = (0.5 + 10.0 x_g) \text{ J m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{K}^{-1}$$

Če na površini tal predpišemo sinusno nihanje temperature v dnevnem ciklu, dobimo rešitev difuzijske enačbe v obliki:

$$T(z,t) = \bar{T} + \Delta T_o e^{-\frac{z}{\sqrt{2\lambda_g/c_g \omega}}} \sin\left(\omega t - \frac{z}{\sqrt{2\lambda_g/c_g \omega}}\right) \quad (12)$$

Ker teče toplota v tleh k nizkim vrednostim temperature, je gostota toplotnega toka obratno sorazmerna gradientu temperature:

$$j_G(z,t) = \sqrt{\frac{\omega \lambda_g c_g}{2}} \left[ \frac{1}{\omega} \frac{\partial T(z,t)}{\partial t} + T(z,t) - \bar{T} \right] \quad (13)$$

to enačbo lahko napišemo za površino tal; tam je tok v tla enak vsoti vseh tokov, ki pridejo na površino tal. Lahko pa jo zapišemo tudi za neko globino  $d$  v tleh. Razlika teh dveh tokov pomeni ogrevanje ali ohlajanje plasti med površino in globino  $d$ . Če za  $d$  izberemo majhno vrednost (npr. 1 cm), lahko imamo to tudi kot ogrevanje ali ohlajanje površine tal. Tako dobimo prognozično enačbo za spremembo temperature tal ob površju:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{c_g d} \left[ j_{Rs} + j_{Rl} + j_H + j_{LE} - \sqrt{\frac{\omega \lambda_g c_g}{2}} \left( \frac{1}{\omega} \frac{\partial T}{\partial t} + T_g - \bar{T} \right) \right] \quad (14)$$

Enačba (14) je osnova modela za napoved temperature tal. Bhumralkar jo je reševal z implicitno shemo. Tako delamo tudi mi, saj je ta shema brez-pogojno numerično stabilna. Zato lahko izberemo sorazmerno dolg računski korak: 30 minut. Omenimo naj, da ta časovni korak ni več primeren, če uporabljamo za zaznavno toploto vrednosti, ki jih daje parametrizacija mejne plasti (glej /13/).

Temperatura zraka

Prehod od temperature tal k temperaturi zraka ob poznanem turbulentnem prenosu toplote v zraku ni prav preprost. Videti je, da empirične zveze, ki so jih namerili mehaniki tekočin nad ravnimi podlagami, niso prav primerne za obravnavo razmer nad tlemi v naravi (glej /13/). Po mnogih poskusih pa se je pokazal kot dokaj dober način Monteitha /18/:

$$T_a = T_g + T_* \ln \frac{h}{z_H} \quad (15)$$

ki vpeljuje  $z_H$  kot analogon parametru hrapavosti za profil temperature

v prizemni turbulentni plasti. Z uporabo enačbe (15) smo namreč dobili dokaj realne razlike med temperaturo tal in temperaturo zraka na višini  $h$  nad tlemi.

## REZULTATI

Ker smo pri testiranju modela uporabljali izmerjene podatke o turbulentni izmenjavi z ekspedicije Wangara, tudi za geografsko širino in deklinacijo Sonca, izberemo času in kraju primerne vrednosti:  $\phi = -34.5^\circ$ ,  $\delta = 18.8^\circ$ . Za transmisivnost atmosfere izberemo že preizkušene vrednosti /9/:  $q_a = q_s = 0.90$ , za albedo tal pa 0.13 za travnato pokrajino pozimi /19/. Ker Deardorf<sup>s</sup>/20/ podaja zelo majhne dnevne spremembe vlažnosti tal, jo prek dneva ohranjamo kar konstantno. Res, poskus, ko smo vlažnost računali z upoštevanjem evapotranspiracije, ni dal dosti različnih rezultatov. Privzeli smo, da tla lahko vsebujejo največ 54% vode /16/, da so nasičena pri 45% in da imajo v povprečju "v zalogi" 30% vode /16/. Vse poskuse začinjamo s temperaturo  $9^\circ\text{C}$  ob 21<sup>h</sup>; taka je po privzetku tudi srednja temperatura tal v večji globini, kjer je znatna zaloga toplote v tleh.

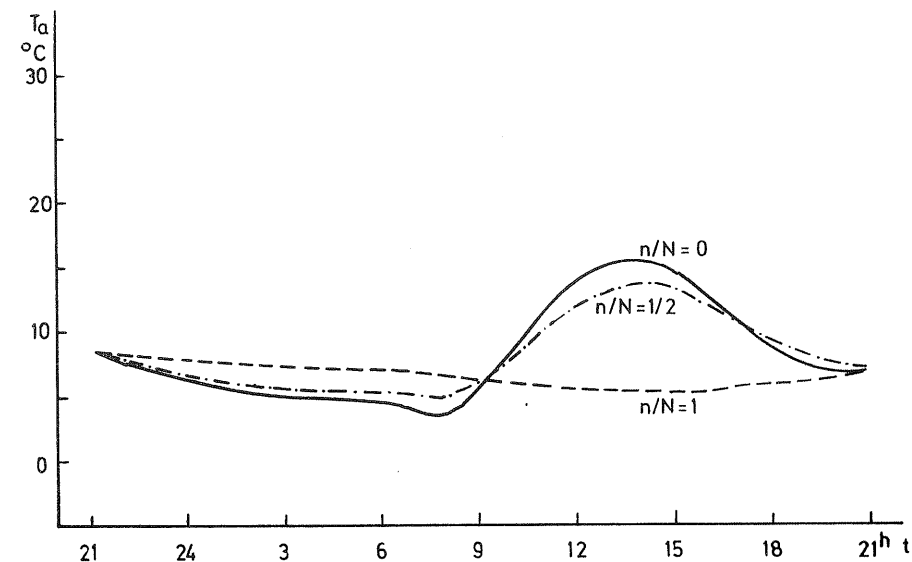
### Vpliv oblačnosti

Najmočnejši vpliv oblačnosti na temperaturo zraka pri tleh je posledica zmanjšanja sončnega obsevanja, na razmere pa vplivajo tudi spremenjeni pogoji glede dolgovalovnega sevanja ter zmanjšanja intenzivnosti turbulentne izmenjave. Na sliki 1 je prikazano, kako različne so temperature zraka pri tleh po modelu, pri čemer smo ob oblačnem vremenu zmanjšali turbulentno izmenjavo za faktor 0.3 v primerjavi s tisto ob jasnem vremenu. Za oblake pa smo predpostavili, da imajo  $-20^\circ\text{C}$ , kar pozimi približno velja.

Vidimo, da delna oblačnost  $n/N = 0.5$  zmanjšuje amplitudo dnevnega hoda temperature, povzroča pa tudi fazni premik k poznemu popoldnevu. To je posledica tega, da zmanjšanje najmočnejše komponente energijske bilance tal, ki ima sicer maksimum opoldne, pri enaki toplotni kapaciteti tal dovoljuje pomik maksimuma proč od poldneva.

S stališča občutljivosti modela je zanimiv tudi dnevni hod ob povsem oblačnem vremenu. Proti jutru se temperatura tal prilagaja bilanci vseh komponent energijske izmenjave. Čez dan vključimo turbulentno ohlajanje tal, dotok energije pa je močno zmanjšan v primerjavi z jasnim vremenom: je samo difuzni del sončnega obsevanja. Le-ta pa ne more nadoknaditi odvoda zaznavne in latentne toplote od tal. Zato temperatura zraka pada tudi čez dan. Za pravilnejši dnevni hod je torej uporabljena intenzivnost turbulence še vedno prevelika.

Vpliv oblačnosti prek dolgovalovnega sevanja oblakov ni zelo velik. Če v modelu spremenimo temperaturo oblakov za  $30^\circ$ , se to pri temperaturi zraka pozna le za  $1^\circ\text{C}$ . Pomembno pa je, koliko je oblakov: neto dolgovalovno sevanje pri napol oblačnem nebu je le dve tretjini, pri povsem oblačnem nebu pa le ena tretjina tistega sevanja, ki ga tla neto izgubljajo ponoči. To se kaže tudi pri padcu temperature ponoči.

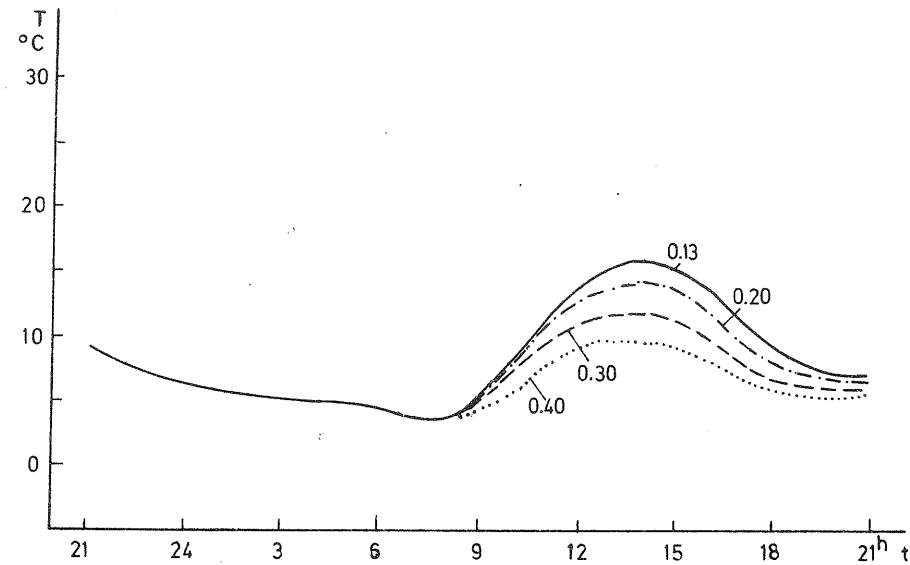


Slika 1 Dnevni hod temperature zraka pri tleh pri oblačnem nebu, s temperaturo oblakov  $-20^\circ\text{C}$  in z zmanjšano turbulentno izmenjavo za faktor 0.3. Za primerjavo je podan tudi dnevni hod ob jasnem nebu.

Fig. 1 Daily course of air temperature near the ground at cloudy sky, with temperature of clouds  $-20^\circ\text{C}$  and with reduced turbulent mixing (factor 0.3). For comparison the clear-sky temperature course is given as well.

### Vpliv albeda tal

Vnaprej lahko pričakujemo, da je albedo tal parameter, ki močno vpliva na napoved temperature zraka pri tleh. Odloča namreč o tem, koliko sončnega sevanja se od tal odbije. Amplituda dnevnega hoda temperature zraka je npr. pri albedu 0.13 še enkrat večja kot pri albedu 0.40 (slika 2). V teh mejah pa so vrednosti albeda za naravne površine, če ni snežne odeje.

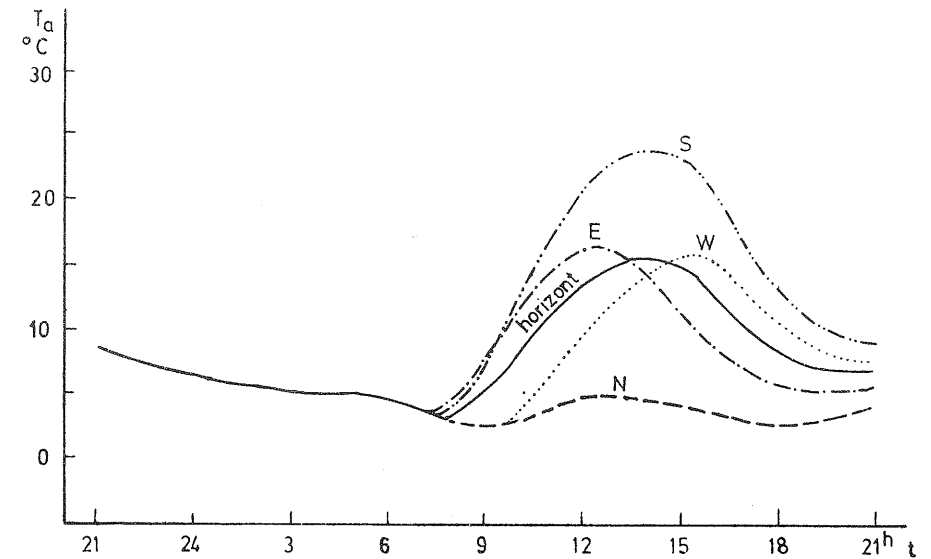


Slika 2 Dnevni hod temperature zraka pri tleh za različne vrednosti albeda tal.

Fig. 2 Daily course of air temperature near the ground at different values of albedo of the ground.

#### Vpliv nagiba tal

Še večji vpliv kot albedo pa imata na absorbcijo sončnega sevanja orientacija in nagib tal, kajti ne le da je količina obsevanja različno orientiranih tal različna; tudi maksimum obsevanja je dosežen ob različnih časih. Za primerjavo z ravnimi tlemi smo napravili poskuse za tla, ki so nagnjena za  $20^\circ$  v štiri smeri neba. Na sliki 3 se vidi, da so temperature, kot posledica tega, zelo različne. Še posebej zato, ker model ne upošteva nikake advekcije. V naravi bi advekcija kot posledica pobočnih vetrov te razlike zmanjšala.



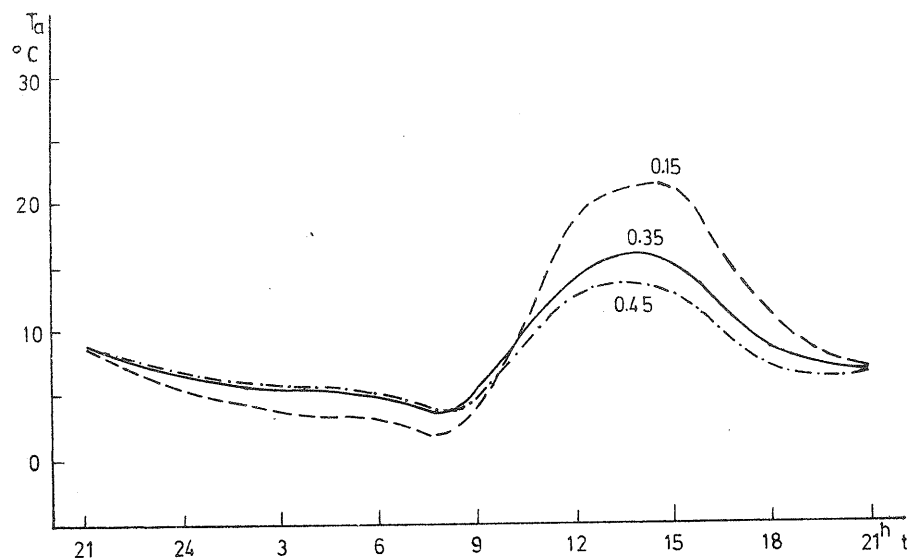
Slika 3 Dnevni hod temperature zraka pri tleh nad različno orientiranimi pobočji z nagibom  $20^\circ$ . Za primerjavo je dan tudi dnevni hod nad vodoravnimi tlemi.

Fig. 3 Daily course of air temperature near the ground over slopes of  $20^\circ$ , oriented to four directions. For comparison the course over horizontal ground is given as well.

#### Vpliv vlažnosti tal

Ogrevanje ali ohlajanje površine tal je posledica neuravnoteženih tokov energije, saj tokovi energije v atmosferi k tlam (ali od tal) niso povsem izravnani s tokom toplote v tleh od površine (ali k površini).

Divergenco toplotnega toka v tleh določajo komponente energijske bilance, pa tudi toplotna prevodnost tal; temperaturne spremembe pa so zaradi te divergencije odvisne od toplotne kapacitete tal. Toplotna prevodnost in volumnska toplotna kapaciteta sta močno odvisni, ne samo od strukture tal, temveč tudi od količine vode v tleh (enačba (11)).



Slika 4 Dnevni hod temperature zraka pri tleh za tla z različno vsebnostjo vode.

Fig. 4 Daily course of air temperature near the ground at different values of ground wetness.

Slika 4 kaže, kako različne dnevne hode temperature zraka pri tleh dobimo, če predpišemo različne vrednosti vlažnosti tal. Pri tem pa še enkrat poudarimo, da je sicer vlažnost tal zelo važen parameter, vendar ga kljub temu ni potrebno spreminjati prek dneva. Evapotranspiracija jo le toliko zmanjša, da se vlažnost tal spremeni za 4% v celem dnevu. To vpliva na temperaturo zraka po modelu toliko, da se ta spremeni za 0.5°C. Seveda pa je potrebno upoštevati izdatnejše padavine. Te lahko hitro povečajo vlažnost tal na dvojno ali trojno vrednost.

#### SKLEP

Model za numerično napoved temperature tal in zraka pri tleh, ki je zasnovan na "force-restore" metodi Bhumralkarja /1/ in Blackadarja /2/, smo prilagodili jugoslovanskemu modelu za numerično napoved vremenskih kart.

Za samo vključitev modela za temperaturo v numerični model atmosfere je seveda potrebno vključiti tudi parametrizacijo planetarne mejne plasti. Prvi

poskusi v zvezi s tem dajejo dobre rezultate /13/. V numeričnem modelu atmosfere so na razpolago tudi podatki o vetru, zato z advekcijo po eni strani izglajujemo polja temperature pri tleh, po drugi pa upoštevamo spremembe temperature zaradi prisilnega adiabatnega gibanja zraka ob neravnih tleh. Ker poskus, da bi na preprost način statistično povezali količino oblačnosti z vrednostmi, ki so na razpolago v modelu atmosfere, ni dal zadovoljivih rezultatov /13/, bi bilo potrebno držati opazovane začetne vrednosti količine oblačnosti konstantne. Prav tako lahko ravnamo z vsebnostjo vode v tleh, razen ob močnejših padavinah. Če tla pokriva snežna odeja, bi bilo potrebno poznati njeno vodnost.

Rezultati kažejo, da dobimo s prikazanim modelom za numerično napoved temperature pri tleh dnevne hode in vrednosti temperature, ki so v realnih mejah, čeprav je model "suh", saj smo nekatere energijske tokove pri tleh izrazili na poseben način.

#### LITERATURA

- /1/ C.M. Bhumralkar: Numerical Experiments on the computation of Ground and Surface Temperature in an Atmospheric General Circulation Model. J.Appl.Met. 14 (1975), 1246-1258.
- /2/ A.K. Blackadar: Modelling the Nocturnal Boundary Layer. Am.Met.Soc., 3rd Symp.Atm.Turbulence, Diffusion and Air Quality, Oct. 19-22, 1976, Raleigh, 46-49.
- /3/ J. Rakovec in A. Hočevnar: Vpliv reliefa na numerično napovedan dnevni hod temperature prizemne plasti zraka. Sprejeto v objavo v Razprave-Papers DMS.
- /4/ C.H.B. Priestley and R.J. Taylor: On the Assessment of surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters. Month.Weath.Rev.100 (1972), 81-92.
- /5/ L.W. Snellman: Operational Forecasting Using Automated Guidance. Bull.Am.Met.Soc. 58 (1977), 1036-1044.
- /6/ Z.I. Janjić in F. Mesinger: Operativni numerični model za prognozo vremena Zveznega hidrometeorološkega zavoda v Beogradu.
- /7/ J. Rakovec: Jedan metod parametrizacije planetarnog graničnog sloja u numeričkom modelu atmosfere. Beograd, SHMZ, 1976, x+89 str.

- /8/ T.Yamada: On the Similarity Functions A, B and C of the Planetary Boundary Layer. J.Atm.Sci. 33 (1976), 781-793.
- /9/ A. Hočevár and J. Rakovec: General Models of Circum-Global and Quasi-Global Radiation on Hills of Simple Geometrical Shapes. Part I and II. Arch.Met. Biokl.Geoph. Ser.B 25 (1978), 151-176.
- /10/ P.N. Tverskoi: Physics of the Atmosphere. A Course in Meteorology. Jerusalem, IPST, 1965.
- /11/ G.W.Paltridge and C.M.R. Platt: Radiative Processes in Meteorology and Climatology. Amsterdam, Elsevier, 1976, xvii+318 pp.
- /12/ W.C. Swinbank: Long-wave radiation from clear skies. Quart. J.Roy.Met.Soc. 89 (1963), 339-348.
- /13/ J. Rakovec: Vpliv tal v numeričnem modelu atmosfere. Poročilo za RSS, VTOZD Fizika FNT, Ljubljana, 1979, 99 str.
- /14/ W.R.Van Wijk (editor): Physics of Plant Environment. Amsterdam, North-Holland Publ.Comp., 1963, xvi+382 pp.
- /15/ J. Rakovec: Jednodimenzionalni model za odreditev prizemske temperature. Poročilo za ZHMZ, VTOZD, Fizika FNT, Ljubljana, 1978, v+24+xxx str.
- /16/ B. Matičič: Vodnoretencijske lastnosti nekaterih tal v Sloveniji. Zbor.Biotehn.fak. XVII (1970), 67-76.
- /17/ B. Matičič: Vpliv razdalje horizontalne drenaže na nivo zasičene zone. Disertacija, BTF, Ljubljana, 1974, xviii+241 str.
- /18/ J.L. Monteith (editor): Vegetation and the Atmosphere. London, Acad.Press, Vol. 1 1975, 278 pp., Vol. 2 1976, 439 pp.
- /19/ R. Geiger: Das Klima der bodennahen Luftschicht. Braunschweig, Vieweg, 1961, 646 str.
- /20/ J.W. Deardorff: A Parametrization of Ground-Surface Moisture Content for Use in Atmospheric Prediction Models. J.Appl.Met. 16 (1977), 1182-1185.