

RAZPRAVE PAPERS XVIII

VSEBINA - CONTENTS:

A. Hočevar, J. Rakovec:	Komponente sončnega obsevanja na hribu pravilne oblike ob jasnem vremenu Components of solar radiation on a cone-shaped hill at clear sky	5
J. Pristov, M. Trontelj:	Megla v nekaterih slovenskih alpskih dolinah glede na višinske vetrove in na posamezne vremenske situacije Fog in some Slovene Alpine valleys according to upper level winds and particular weather situations	25
J. Rakovec, Z. Petkovšek:	Približno določanje višine nizkih in srednje visokih dimnikov v Sloveniji A rough estimation of the height of small and middle high stacks in Slovenia	43
J. Roškar:	O porazdelitvi letnih ekstremov nalivov v Sloveniji About the distribution of yearly extremes of showers in Slovenia	63

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
$d\omega$	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_{De}	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

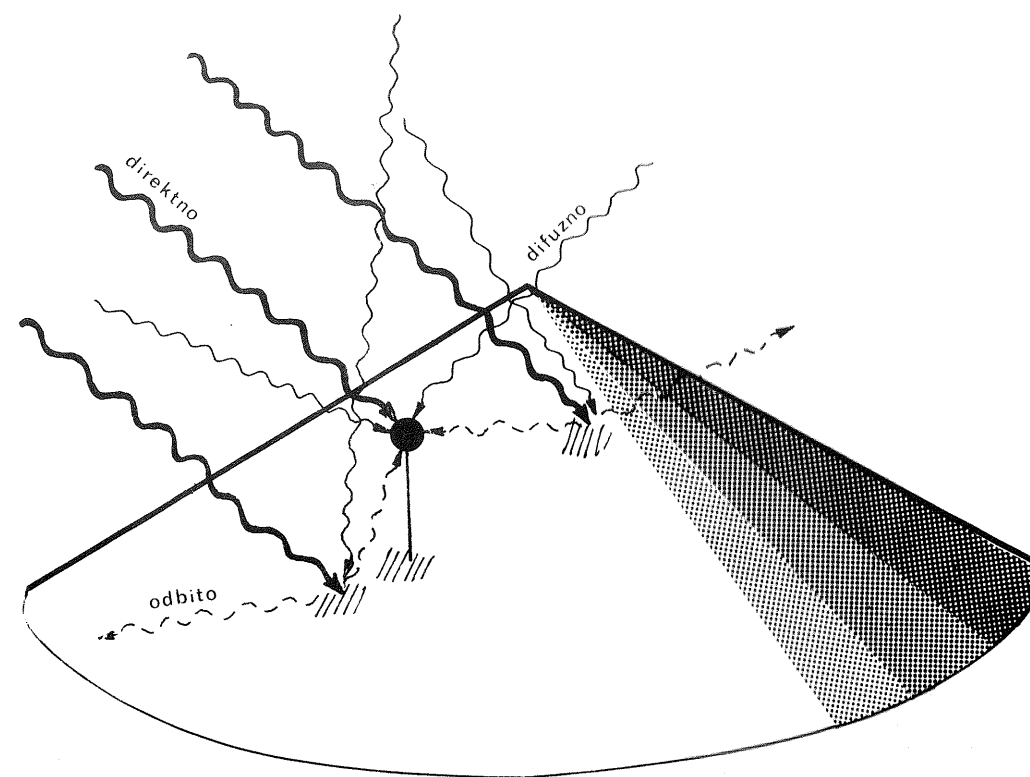
Posamezne komponente obsevanja, ki sestavljajo skupaj cirkumglobalno obsevanje ter pridejo na kroglo v prostoru, so odvisne od številnih parametrov /5/. Tako lahko zapišemo prispevek direktnega sončnega sevanja ΣR_I k cirkumglobalnemu obsevanju, ki pade na sprejemni element v času od vzhoda do zahoda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

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

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):

$$dj_R = \frac{a}{r_i^2} R_{KG} d\delta \frac{\vec{n} \cdot \vec{L}}{|\vec{L}|^3} \quad (9)$$

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.

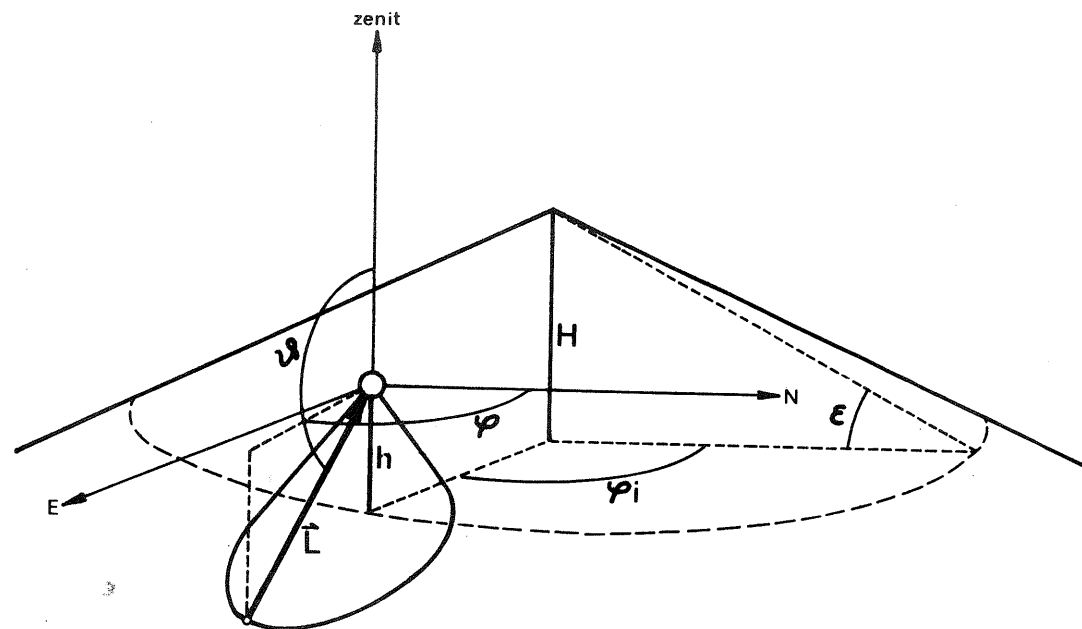
Analični in programski postopki

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. SIRINA 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

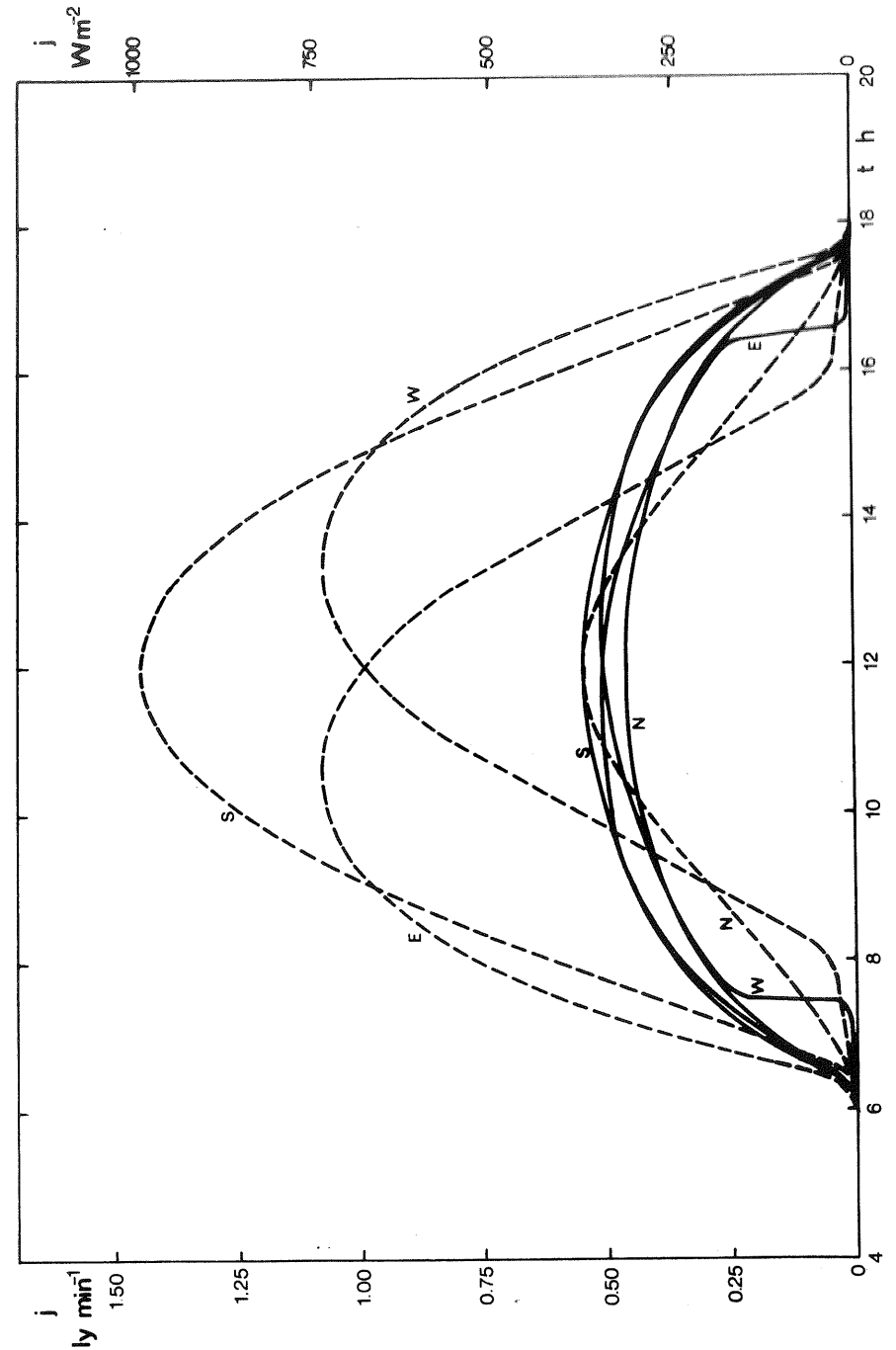
URA	MIN	DIREKTNO	DIFUZNO	REFLEKT	CIRKUMGLOB	KVAZIGLOB
6		.00	.00	.00	.00	.00
6	20	.31	.03	.06	.40	.65
6	40	1.74	.14	.37	2.25	3.91
7		3.09	.24	.71	4.04	7.45
7	20	4.11	.32	1.01	5.44	10.53
7	40	4.87	.39	1.26	6.50	13.10
8		5.45	.45	1.47	7.36	15.22
8	20	5.89	.51	1.64	8.00	16.96
8	40	6.23	.54	1.78	8.55	18.38
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	4.11	.32	.06	.59	.64
17		3.09	.24	.05	.29	.48
17	20	1.74	.14	.03	.17	.28
17	40	.31	.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

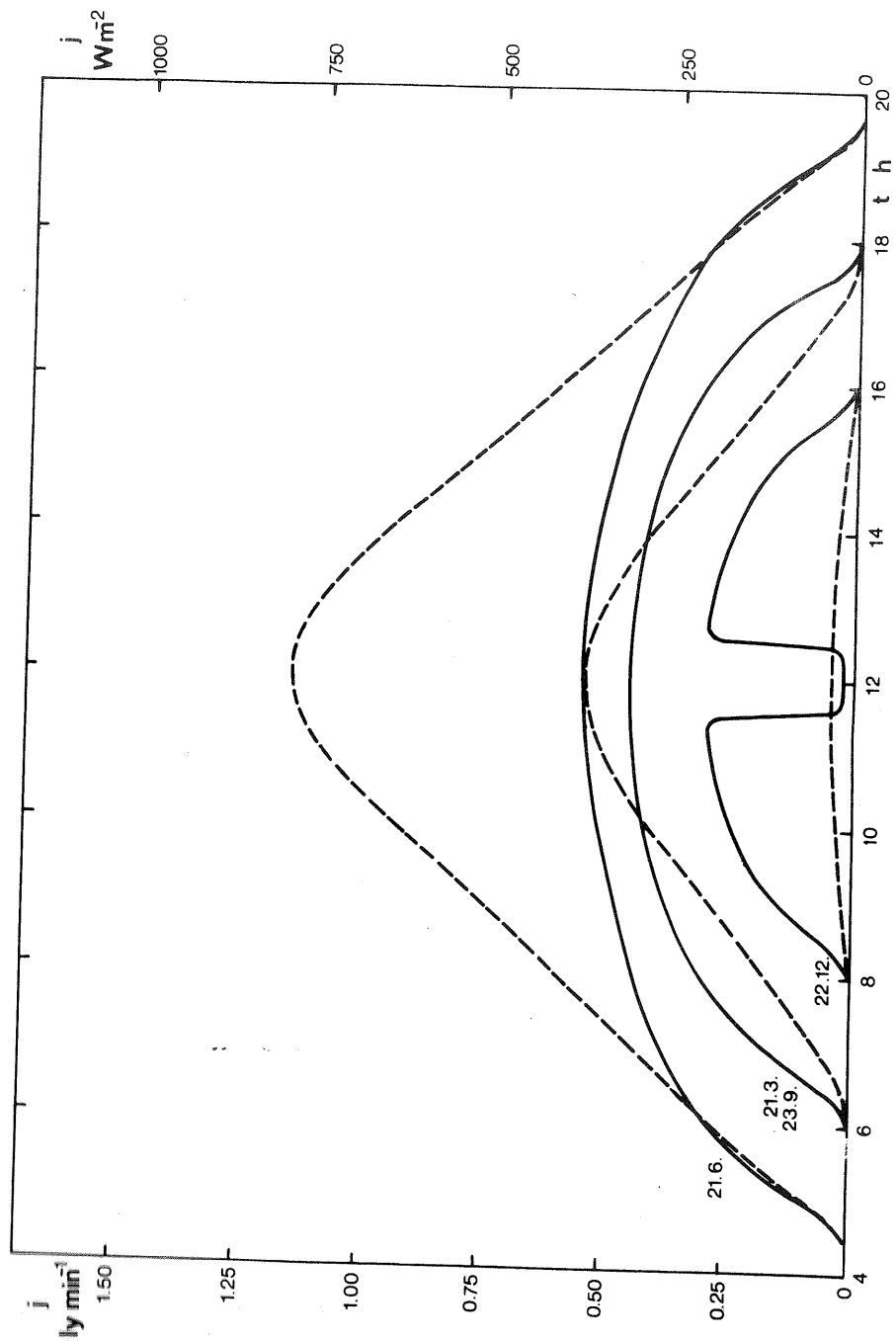
Slika 3 Kviziglobalno in cirkumglobalno obsevanje na stožčastem hribu ob enakonočju na vzhodni lokaciji.

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.

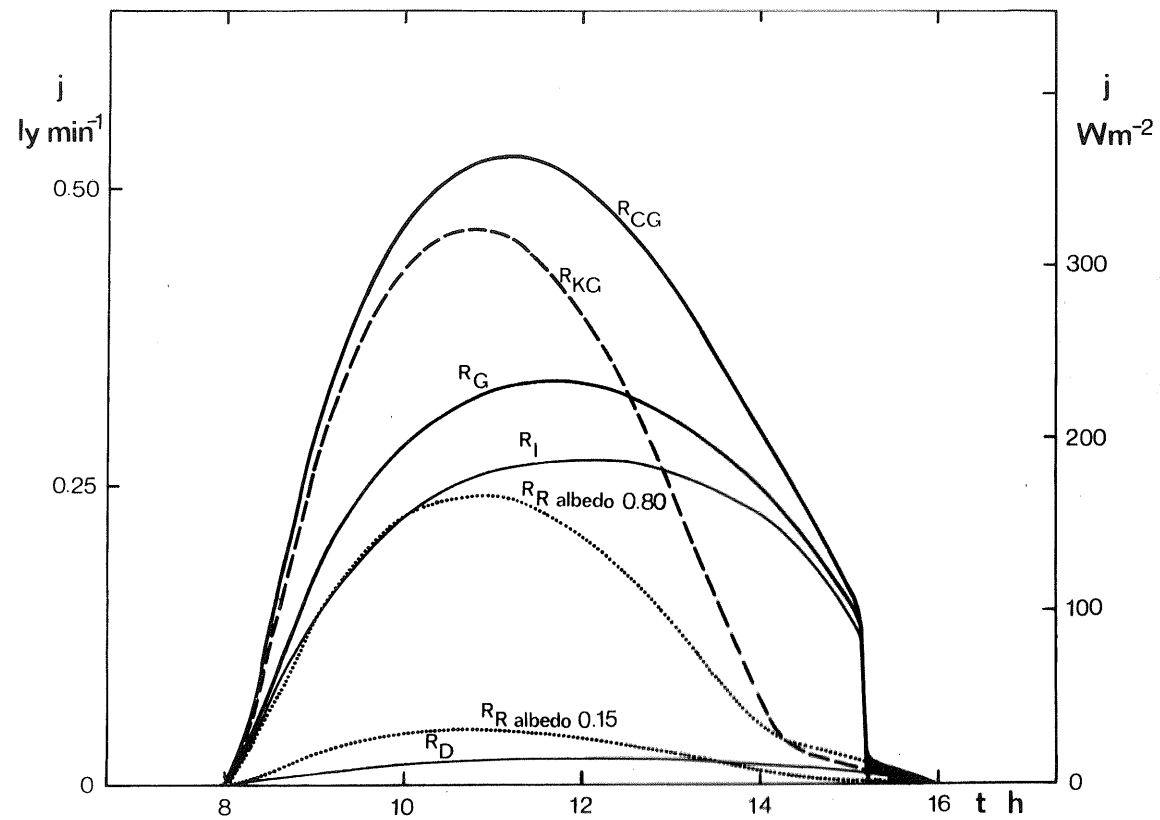
Fig. 4 Daily course of quasiglobal (dashed line) and circumglobal radiation (full line) at equinox on northern, eastern, southern and western location.



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

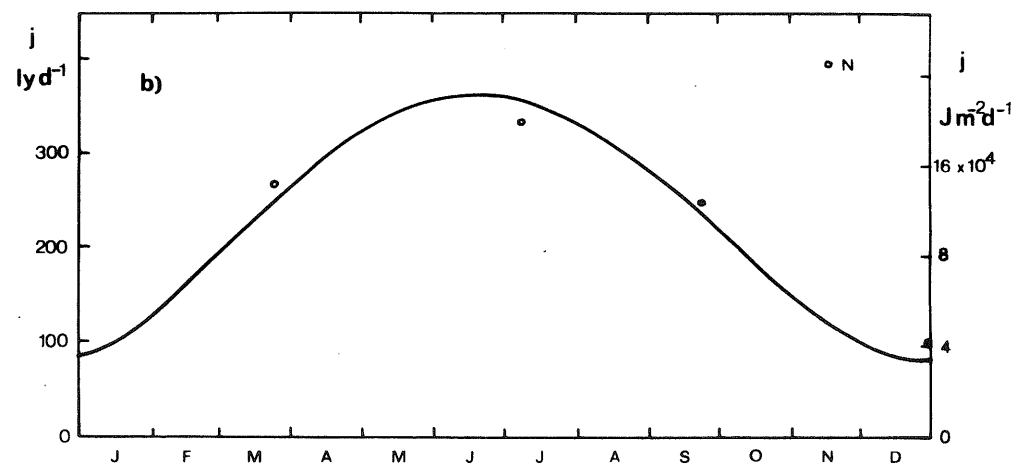
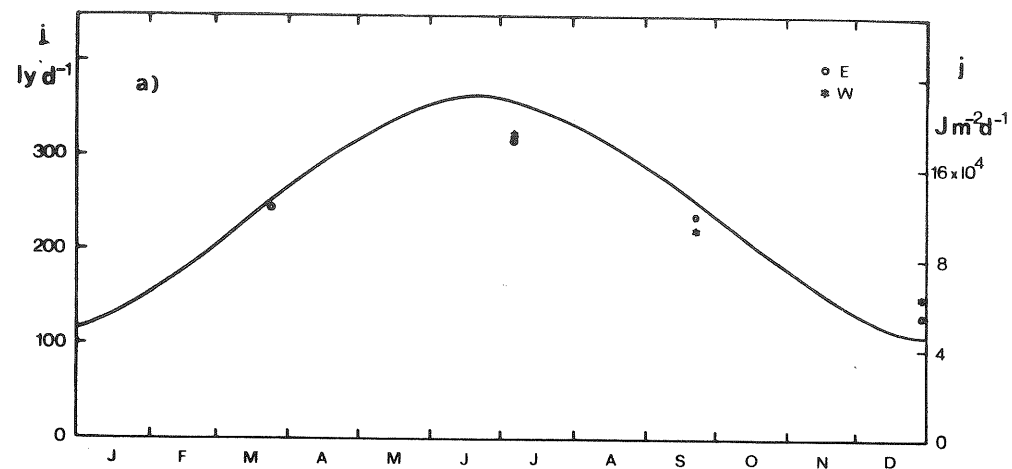
Fig. 5 Daily course of quasiglobal (dashed line) and circunglobal radiation (full line) at summer and winter solstices and at equinoxes on northern location.

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 cirkunglobalno obsevanje. Seveda pa je na različnih lokacijah kvaziglobalno obsevanje precej različno, kajti tu, v nasprotju s cirkunglobalnim 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 cirkunglobalnega 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 circunglobal 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 kroglnega 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.

MEGLA V NEKATERIH SLOVENSКИH ALPSKIH DOLINAH GLEDE NA VIŠINSKE
VETROVE IN NA POSAMEZNE VREMENSKE SITUACIJE

FOG IN SOME SLOVENE ALPINE VALLEYS ACCORDING TO UPPER LEVEL
WINDS AND PARTICULAR WEATHER SITUATIONS

551.575.2:551.575.36

JANKO PRISTOV, MIRAN TRONTELJ
Meteorološki zavod SRS, Ljubljana

SUMMARY

In this study of fog occurrence in some alpine valleys and small basins we divided fogs into two groups only, according to their origin: viz. frontal and non-frontal ones. Wind direction and wind velocity on 850 mb level, as well as weather situation, were determined for each case when fog was observed.

Occurrences of fog were compared in three valleys which are rather different as to their shape and dimension. Data obtained in this way show that the occurrence of fog in alpine valleys ("Radovna" valley and valley of "Sava") is relatively more frequent at upper level wind direction almost rectangularly to the axis of the valley. The occurrence is of course more frequent at southwest wind direction, when warm air advection usually occurs, than at the northeast one.

In the broader part of the valley the maximum and secondary maximum frequency of fog occurrence do not depend so much on wind direction and the secondary maximum is expressed to a smaller extent.

At the weather situations, as well the difference is found among the fog frequencies, viz. in narrow valleys, in their broader parts and in small basins. In narrow valleys the main maximum of fog occurrence is found at weather situations with the ridge of East European anticyclone over Slovenian area when warm air advection from southwest takes place.

In basins and broader parts of valleys the maximum fog occurrence is found at well expressed anticyclonic weather situations when the centre of the anticyclone is very close to Slovenia.

Fog in narrow valleys is of a short duration but in broader parts of valleys and in small basins it can continue even a few days.

POVZETEK

Pri raziskavi pojavljanja megle v nekaterih alpskih dolinah ali manjših kotlinah smo razdelili vrste megel samo v dve skupini: frontalno in nefrontalno in smo za vsak posamezen primer določili tudi smer in hitrost vetra na 850 mb ploskvi ter vremensko situacijo.

Za primerjavo smo vzeli pojavljanje megle v treh dolinah, ki so po obliki in velikosti precej različne. Podatki so pokazali, da je pojavljanje megle v alpskih dolinah (Radovna in dolina Save) relativno najpogostejše pri vetru, skoraj pravokotnem na smer doline; seveda je pogostejše pojavljanje pri jugozahodnem vetru, ko običajno doteka topel zrak, kot pri obratni smeri, to je severovzhodni.

V širšem delu doline maksimum in sekundarni maksimum pogostnosti pojavljanja megle v odvisnosti od smeri vetra nista tako ostro določena in je sekundarni maksimum manj izrazit.

Tudi pri sinoptičnih situacijah je razlika med pojavljanjem megle v ozkih dolinah in v razširjenem delu teh ali v manjših kotlinah. Glavni maksimum pojavljanja megle je v ozkih dolinah pri grebenu vzhodnoevropskega anticiklona, to je takrat, ko doteka od jugozahoda v višinah toplejši zrak. V kotlinah ali v širšem delu dolin je maksimum pojavljanja megle pri izrazitih anticiklonalnih situacijah, ko je jedro anticiklona v neposredni bližini.

Megla v ozkih dolinah je kratkotrajna, v razširjenem delu in v manjših kotlinah pa lahko traja več dni.

UVOD

Ob načrtovani zaježitvi Radovne se je pojavilo vprašanje spremembe klime v dolini Radovne in v okolici, posebno na področju Bleda s poudarkom na morebitnem pogostejšem pojavljanju megle.

Zaježitev je predvidena v ozki alpski dolini, (slika 1), ki leži v smeri NW-SE, površina nastalega jezera pa naj bi bila 322 ha. Dolina je nadaljevanje doline Krme, ki ima obsežno zaledje s strmimi pobočji, in je zaradi precejšnjega nagiba ob radiacijskih ohladih zelo verjetna znatna izmenjava zraka.

To je eden izmed glavnih vzrokov, da se zelo redko pojavlja radiacijska megla ob jasnem vremenu. Ker za to dolino nimamo meritev o cirkulaciji zraka, se moramo nasloniti na tujo literaturo, upoštevati pa tudi vse druge razpoložljive meteorološke podatke v dolini Radovne, Gornjesavski dolini in v Bohinju.

Obdelali smo vse primere, ko se je pojavljala na izbranih postajah v razdobju 5 letih (1967-1973) megla. Uporabili smo podatke naslednjih postaj: Zg. Radovna, Mojstrana, Jesenice, Moste pri Žirovnici, Nomenj, Boh. Bistrica in Savica, na

katerih poleg padavin vizuelno opazujejo tudi meteorološke pojave (mesto in čas trajanja), kot so: megla, močan veter, nevihte itd. Na postajah: Elektrarna Radovna, Radovljica in Stara Fužina v Bohinju poleg teh pojavov in padavin merijo tudi temperaturo zraka. Pri raziskavi smo uporabili tudi podatke, ki smo jih dobili ob razgovorih z domačini in iz njihovih izkušenj o pojavljanju megle.

Za analizo sinoptičnih situacij smo uporabili vremenske karte (tako razne nižinske kakor tudi višinske) in radiosondažne meritve postaje Zagreb. V Sloveniji ni doslej še nihče delal temeljitih analiz o spremembi klime zaradi kakršnegakoli posega v naravo. Zato smo se morali najprej nasloniti na tujo literaturo in izsledke po logični presoji prenesti v naše razmere, ki so vsekakor specifične.

Spremembe klime zaradi zaježitve manjših dolin so za dolgoletne poprečne vrednosti posameznih parametrov, ki določajo klimo, razmeroma majhne /1/. Tako se poprečni temperaturni ekstremi nekoliko zmanjšajo, spomladanske pozebe se končajo prej in jesenske začnejo pozneje, zmanjša se število oblačnih dni in poveča število jasnih dni, zmanjša se število dni s snežno odejo, kakor tudi količina padavin, zmanjša pa se tudi število dni z meglo. Močnejši vpliv zaježitve je po isti literaturi v zimski polovici leta, njegov vpliv pa sega na okolico do nekaj km oddaljenosti.

Gregory in Smith /2/ sta dobila nekoliko drugačne rezultate. Maksimalne temperature se spremenijo do 3°C, atmosferska vlaga pa se poveča. Vpliv vodne površine se močno zmanjšuje z oddaljenostjo od jezera. Efekt ogrevanja pa je občutnejši in daljši kot efekt ohlajevanja.

Okolowicz in sodelavci /3/ so prišli do podobnih zaključkov, iz katerih je razvidno, da se vlaga običajno poveča. Vsekakor pa menimo, da je vpliv neposredne okolice tolikšen, da spremembe klime nikakor ne moremo predvideti, ne da bi upoštevali vpliv te okolice.

DELITEV MEGLE

Pri klasifikaciji megle smo upoštevali klasifikacijo Chromowa /4/, ki deli meglo v frontalno, puhtečo, pobočno, radiacijsko in adveksijsko meglo. Upoštevali smo le tiste vrste megle, ki pridejo v poštev za naše razmere.

Pri podrobni analizi smo ugotovili, da lahko zaradi majhnega števila dni z nekaterimi vrstami megle ločimo le dve veliki skupini: frontalno in nefrontalno meglo.

Za frontalne smo vzeli vse megle, ki so nastale ob padavinah, preostale pa smo razvrstili v skupino nefrontalnih megel. Prave advektivne megle so namreč v dolinah zelo redke. Pri teh je navadno tudi zmeren veter, tega pa v obravnavani dolini ni. Podobno je s pobočno meglo, ki v teh primerih izostane (vse pos-

taje so skoraj na dnu doline) ali je včasih težko določiti njen izvor. K primerom z nefrontalno meglo smo šteli tudi vse tiste dni z meglo, ko je bila advekcija toplega zraka nad snežno odejo.

Znano je namreč, da snežna odeja preprečuje nastanek megle, če je velika razlika med temperaturo snega in zraka nad njim. Če pa so temperaturne razlike majhne in je temperatura zraka okoli 0°C, pa snežna odeja pospešuje nastanek megle.

Klasičnih primerov, ko se zadržuje v dolini Radovne megla, drugod pa je jasno vreme, je le nekaj in smo se zato odločili, da tudi visoko meglo, ki pa se v Radovni pojavi že pri tleh, upoštevamo kot nefrontalno meglo.

Za frontalno meglo (ta nastane takrat, ko pada dež z višjo temperaturo skozi ohlajeni zrak pri tleh) ni toliko pomembna podlaga, kot relief, ki povzroča večjo ali manjšo zajezitev hladnega zraka. Večkrat nastane vsled tega dovolj turbulence, da se namesto megle pojavi kondenzacijski sloj nekoliko više - nizek stratus. V takih primerih opazovalec, ki opazuje le horizontalno vidnost, to oceni na več kot 1 km. Take primere imamo v Radovni: Zgornja Radovna ima v petih letih le 11 dni s frontalno meglo, medtem ko ima v istem obdobju Elek-trarna Radovna kar 35 dni (tabela 1 in 2).

To si lahko razlagamo z večjo cirkulacijo zraka v zgornjem delu v primerjavi s srednjim delom doline. Zgornja Radovna je na začetku doline (slika 1) in je pod vplivom tokov iz doline Krme, ki je prek višjega sedla povezana z Mojstrano in dalje z dolino Save. Vetrovi z južno komponento povzročajo v tem primeru znatno močnejšo turbulenco v Zgornji Radovni kot v srednjem delu doline, kjer je vsaj na dnu doline relativno zatišje in so močnejši vetrovi v nekoliko višji plasti ozračja.

MEGLA V ODVISNOSTI OD VETROV NA 850 mb PLOSKVI

Kot smo že omenili, je pojavljanje megle močno odvisno od topografije okolice. Ta vpliva bodisi direktno na cirkulacijo nad samim krajem bodisi posredno z vrsto tal, ki vplivajo na ohlajanje zraka v prizemni plasti.

Za primerjavo odvisnosti pojavljanja megle od zračnih tokov v nižjih plasteh proste atmosfere primerjamo podatke iz doline Radovne, ki je zelo zaprta in razmeroma ozka (slika 1) s podatki iz znatno bolj odprte doline Save (slika 2).

Razlike pri nastanku megle zaradi različnih vetrov v višinah so med obema dolinama opazne. Te razlike se poznajo sicer v znatno manjši meri, tudi pri pojavljanju megle med obema opazovalnima točkama v sami dolini Radovne.

Pojavljanje megle, tako frontalne, kot nefrontalne je v Radovni zelo redko in je zaradi majhnega števila podatkov petletno obdobje za poglobljeno študijo morda prekratko.

Za obe postaji v Radovni velja, da je tu izredno malo dni z meglo, ko je bil veter na 850 mb ploskvi spremenljive smeri in je bila skoraj popolnoma mirna atmosfera (tab. 3), medtem ko je takšnih primerov na Jesenicah kar znaten procent.

Ko razdelimo rožo vetrov na intervale po 30° opazimo, da se pojavlja nefrontalna megla najpogosteje pri elektrarni Radovna pri vetru na 850 mb ploskvi iz smeri 230° do 250° in je sekundarni maksimum pri smeri vetra 20° do 40°. Pri Zgornji Radovni je najčešče pojavljanje iz istih smeri, le da sta oba maksima zamenjana. Z drugimi besedami povedano, močno se je zmanjšala pogostnost iz smeri 230° do 250°, znatno manj pa pogostost megle pri vetru iz smeri 20° do 40°. To razliko v sami dolini Radovne si razlagamo z odprtostjo Zgornje Radovne proti SSW, kar pa je ravno smer, pri kateri je največ megle na postaji elektrarna Radovna.

Da so ta sklepanja pravilna kljub majhnemu številu podatkov, nam potrjuje tudi pojavljanje frontalne megle, le da je v tem primeru smer vetra pri najpogostejšem pojavljanju megle malenkostno spremenjena. Maksimum je tu pri vetru iz smeri 200° do 220°. To pa je smer doline Krme, ki se nadaljuje v Zgornjo Radovno.

Smer vetra na 850 mb ploskvi, pri kateri se največkrat pojavlja megla v dolini Radovne, je pravokotna na smer doline. Največ je primerov s hitrostjo vetra od 8 do 17 vozlov, znatno manj s hitrostjo vetra na višini 850 mb ploskve pod 8 vozlov in le ca. 10% primerov s hitrostjo nad 17 vozlov. Tudi poprečna hitrost je največja pri vetru, ki piha pravokotno na smer doline in ne sega do tal, ter vlada pri tleh zatišje.

Pri postajah z malo megle so frontalne in nefrontalne megle približno enako pogostne. V Radovljici in Mojstrani pa so nefrontalne megle znatno pogostejše od frontalnih; v Radovljici jih je 50% več, v Mojstrani pa kar enkrat več kot frontalnih.

Megla se v obeh primerjanih dolinah najpogosteje pojavlja pri jugozahodnem vetru na 850 mb ploskvi, ali bolje rečeno, v intervalu smeri od 200° do 250°; na postajah s pogostejšo meglo pa pride pri nefrontalni megli v poštev tudi smer vetra od 260° do 280°. Ti primeri so najpogostejši v Radovljici in Mojstrani. Obe postaji pa imata, prav tako pri nefrontalni megli, precejšnje število primerov pri vetru spremenljive smeri in hitrosti pod 8 vozlov.

Da se pojavlja megla najpogosteje pri jugozahodnem vetru v prosti atmosferi, ni odvisno samo od topografije, temveč tudi od dogajanj v sami atmosferi. Za nastanek megle so najugodnejši pogoji ob izrazitih temperaturnih inverzijah v prizemnih plasteh. Prav tako je potrebno za frontalno in za nefrontalno meglo, da je pri tleh znatno hladnejši zrak, kot v spodnjem delu proste atmosfere. To se lahko zgodi, ali tako, da se zrak pri tleh močno ohladi, ali pa da v prosto atmosfero priteka toplejši zrak. Ta toplejši in vlažen zrak pa doteka k nam najpogosteje od jugozahoda.

Iz podatkov vidimo, da se razmeroma pogosto pojavlja megla tudi pri severovzhodnih vetrovih. To si razložimo s tem, da je nad našimi kraji frontalna površina, ko je v nižjih plasteh že dotok hladnejšega zraka od severovzhoda, nad njim pa so že topli jugozahodni vetrovi. To se dogaja pri frontalni in tudi pri nefrontalni megli, za katero smo postavili samo pogoj, da ni padavin, pa čeprav je nad nami frontalna površina.

Predvsem v Radovni in Mojstrani pa obstaja še možnost nastanka megle ob zadrževanju kaplje hladnega zraka nad našimi kraji, ko je severovzhodna cirkulacija v razmeroma hladnem zraku v vseh plasteh od tal do visokih plasti ozračja. Taka megla je razmeroma redka, vendar ima v Radovni celo posebno ime - "mrzla megla". Megla se v teh primerih razširi iznad Mojstrane tudi v Radovno.

Prave radiacijske megle, ko je v višjih legah jasno vreme je v dolini Radovne zelo malo. Pojavlja pa se v Bohinju, pa tudi v Radovljici, kjer je včasih obrobje megle ali visoka megla, ki zajema celotno ljubljansko kotlino, in sega prek Kranja še v Radovljiško kotlino. V takšnih primerih je v Radovni jasno.

POJAVLJANJE MEGLE V ODVISNOSTI OD SINOPTIČNIH SITUACIJ

Za vsak dan obravnavanega obdobja smo določili makrosinoptično situacijo. Pri slabogradientnem polju smo pri klasifikaciji upoštevali advekcijo toplega zraka za anticiklonalno in advekcijo hladnega zraka za ciklonalno polje.

Upoštevali smo 9 različnih ciklonalnih in 10 anticiklonalnih situacij /5/:

Oznaka situacij:

- 0C - ciklon prehaja Slovenijo
- 1C - ciklon je nad zahodnim ali pa severnim Sredozemljem ali nad Jadranom
- 2C - britanski ciklon sega nad zahodno Sredozemlje
- 3C - biskajski ciklon sega nad Španijo in zahodno obrobje Sredozemlja
- 4C - srednje evropski ciklon sega v Sredozemlje
- 5C - nad pretežnim delom Evrope je ciklonsko področje
- 6C - ciklonsko področje zajema vzhodno Evropo, Karpate ali Balkan
- 7C - ciklon je nad vzhodnim Sredozemljem
- 8C - skandinavski ali srednjeevropski ciklon sega na jugu le do Alp
- 0A - greben azorskega anticiklona sega v Slovenijo
- 1A - greben vzhodnoevropskega anticiklona sega v Slovenijo
- 2A - greben se je od zahoda ali severozahoda razširil v Slovenijo

- 3A - anticiklon je nad Alpami
- 4A - anticiklon je nad Karpati ali Balkanom
- 5A - srednjeevropski anticiklon sega v Slovenijo
- 6A - anticiklonalno polje zajema južno Evropo
- 7A - anticiklon sega iznad severne Evrope v Slovenijo
- 8A - nad Slovenijo je greben med dvema ciklonoma
- 9A - nad Slovenijo je most med dvema anticiklonoma

Iz tabele (4) vidimo, da se megla lahko pojavi pri vsaki sinoptični situaciji, kar je precej razumljivo. Pojavljanje megle je odvisno od mezometeoroloških razmer v nižjih slojih atmosfere in ne toliko od splošnih vremenskih situacij.

Makrosituacije sicer močno vplivajo na pojavljanje padavin in v zvezi z mikro-razmerami na pojavljanje frontalne megle, seveda pa sovplivajo tudi povsem lokalni faktorji, kot na primer: ali je snežna odeja, ali pa je ni.

Podlaga tal (jezero, kopno, snežna odeja itd.) vpliva mnogo manj na nastanek frontalne kot nefrontalne megle. Pri odvisnosti nastajanja megle od sinoptične situacije obravnavamo zato le nefrontalno meglo.

Tabela 5 nam prikazuje število dni z nefrontalno meglo po posameznih postajah v odvisnosti od situacij. Zaradi lažje primerjave so te vrednosti podane v procentih.

Glede na maksimalno število primerov z meglo ali na največji procent megle pri določeni situaciji, lahko opredelimo postaje v dve skupini:

Prva skupina so: Zgornja Radovna, Elektrarna Radovna, Mojstrana, Jesenice in Moste ter Savica.

V drugo skupino spadajo: Radovljica, Nomenj, Bistrica in Stara Fužina.

Prva skupina ima značilnost razmeroma ozkih dolin in ima zrak možnost odtekanja; pri drugi skupini so postaje, ki so v dnu kotline ali v zelo razširjenem delu doline. Sem spada tudi Nomenj, ker ima povezavo z razširjeno dolino pri Bohinjski Bistrici; navzdol ob Savi Bohinjki pa se ta dolina ožji (slika 3).

Največ megle je v obeh skupinah pri anticiklonalnih situacijah; sem spadajo tudi situacije z brezgradientnim baričnim poljem in z advekcijo toplega zraka; tedaj so razmeroma ugodni pogoji za nastanek megle.

Maksimum imajo postaje v prvi skupini pri 1A, to je greben vzhodnoevropskega anticiklona. V teh primerih doteka običajno nad Slovenijo v višjih slojih topel zrak in plast hladnega zraka ni zelo debela.

Sekundarni maksimum pojavljanja megle je v prvi skupini pri različnih situacijah. V dolini Radovne je celo pri ciklonalnih situacijah, pri drugih postajah je v našem anticiklonu, tako pri situacijah 3A, kakor tudi 5A. V drugi skupini postaj se pojavlja največkrat megla, pri izrazitih anticiklonalnih situacijah, bodisi da je jedro anticiklona nad nami ali nad Srednjo Evropo, torej v neposredni bližini.

Pri ciklonalnih situacijah je znatno manj primerov megle, kot pri anticiklonalnih, vendar so te situacije manj pogoste. Opazimo pa, da nobena ciklonalna situacija ni takšna, da v njej ne bi mogla nastopiti megla. V Radovni, kakor tudi v Mostah in na Jesenicah ni megle v precejšnjem številu sinoptičnih situacij, vendar je to zaradi prekratkega opazovalnega razdobja. Če bi vsaj časovno razdobje močno povečali, bi se situacija spremenila.

Pri ciklonalnih situacijah vidimo, da je največ megle pri 1C, to je pri situaciji z advekcijo toplega zraka. Preseneča pa nas izrazito pojavljanje megle v Bohinju pri situacijah 6C, to je takrat, ko je ciklonsko področje nad vzhodno Evropo in ko so naši kraji pod vplivom severovzhodne cirkulacije. V Bohinju je takrat razmeroma mirno ozračje in je zato možno pojavljanje megle.

Do sedaj smo v glavnem govorili le o tem, ob katerih situacijah se pogosteje pojavlja megla. Zanima pa nas tudi pogostnost megle ob posameznih situacijah (tab. 5).

Tudi tu vidimo, da je najvišji procent pri določeni situaciji močno različen in se spremeni vrstni red postaj glede na pojavljanje megle.

V prvo grupo spadata postaji v dolini Radovne, v drugo Mojstrana, Jesenice z Mostami in Radovljica; pri teh postajah je maksimalno pojavljanje megle ob izrazitem toplen grebenu azorskega anticiklona. Nomenj ima meglo pri zelo različnih situacijah, izstopata pa azorski anticiklon in barično brezgradientno polje. Druge bohinjske postaje pa imajo največji procent megle pri ustaljenem anticiklonalnem vremenu.

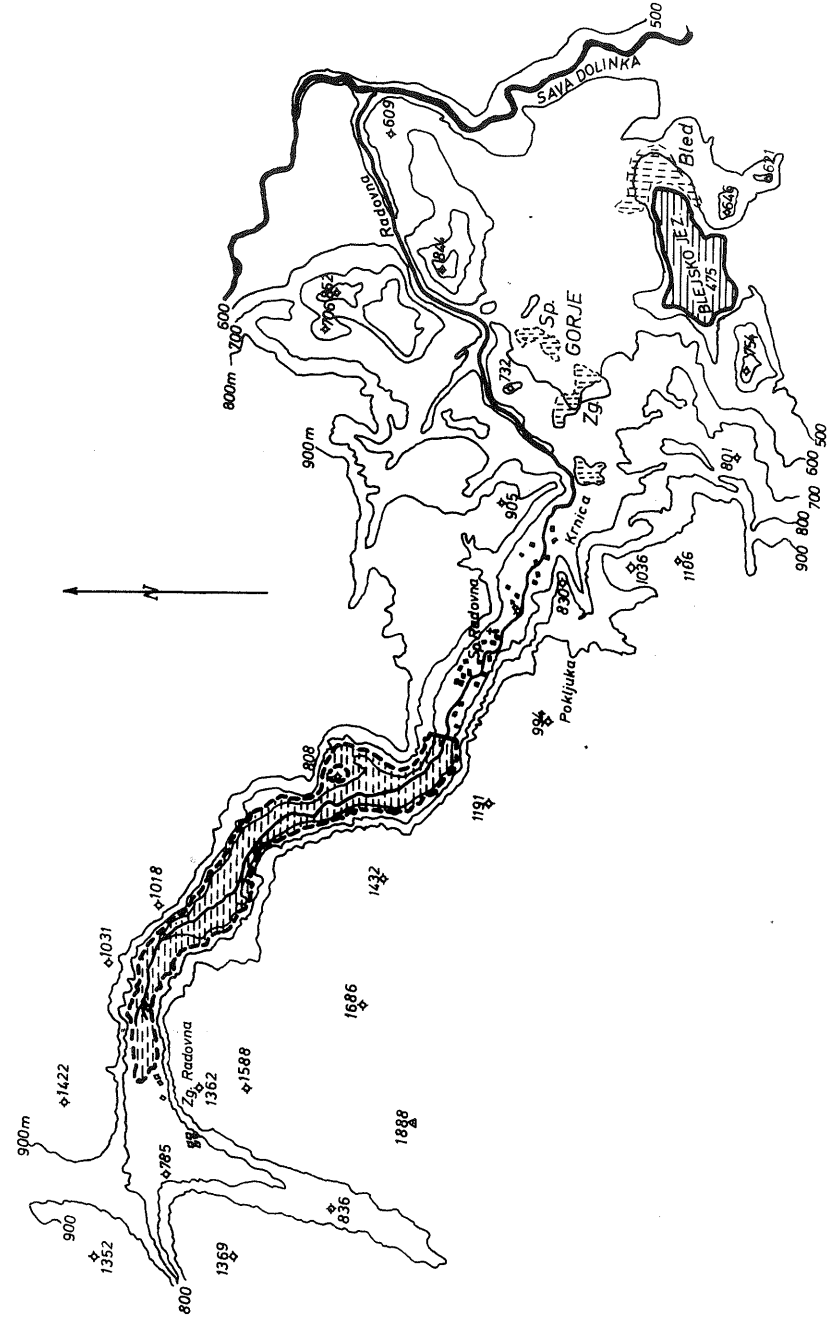
VPLIV ZAJEZITVE NA POJAVLJANJE MEGLE V DOLINI RADOVNE

Lahko trdimo, da so v dolini Radovne in v širši okolici orografske razmere zelo specifične. Vpliv zajezitve Radovne bo v sami dolini vsekakor opazen, zunaj doline pa bo minimalen, kajti na obeh straneh doline so razmeroma strma in visoka pobočja (slika 1). Možen je torej samo vpliv na naseljena območja, kot so Mojstrana in območje Gorij s širšim okoljem - Bledom.

Pri vplivu na spremembo klime zaradi zajezitve Radovne, se bomo v našem primeru omejili le na spremembo pojavljanja megle. Žal nimamo podatkov o vlagi, ker tovrstnih meritev ni, vendar lahko domnevamo, da se bo vlaga nekoliko povečala, čeprav so mnenja o tem v tuji literaturi deljena. Ob močnejši cirkulaciji zraka, ne bo sprememb v vlažnosti, ker tako majhna vodna površina ne do-

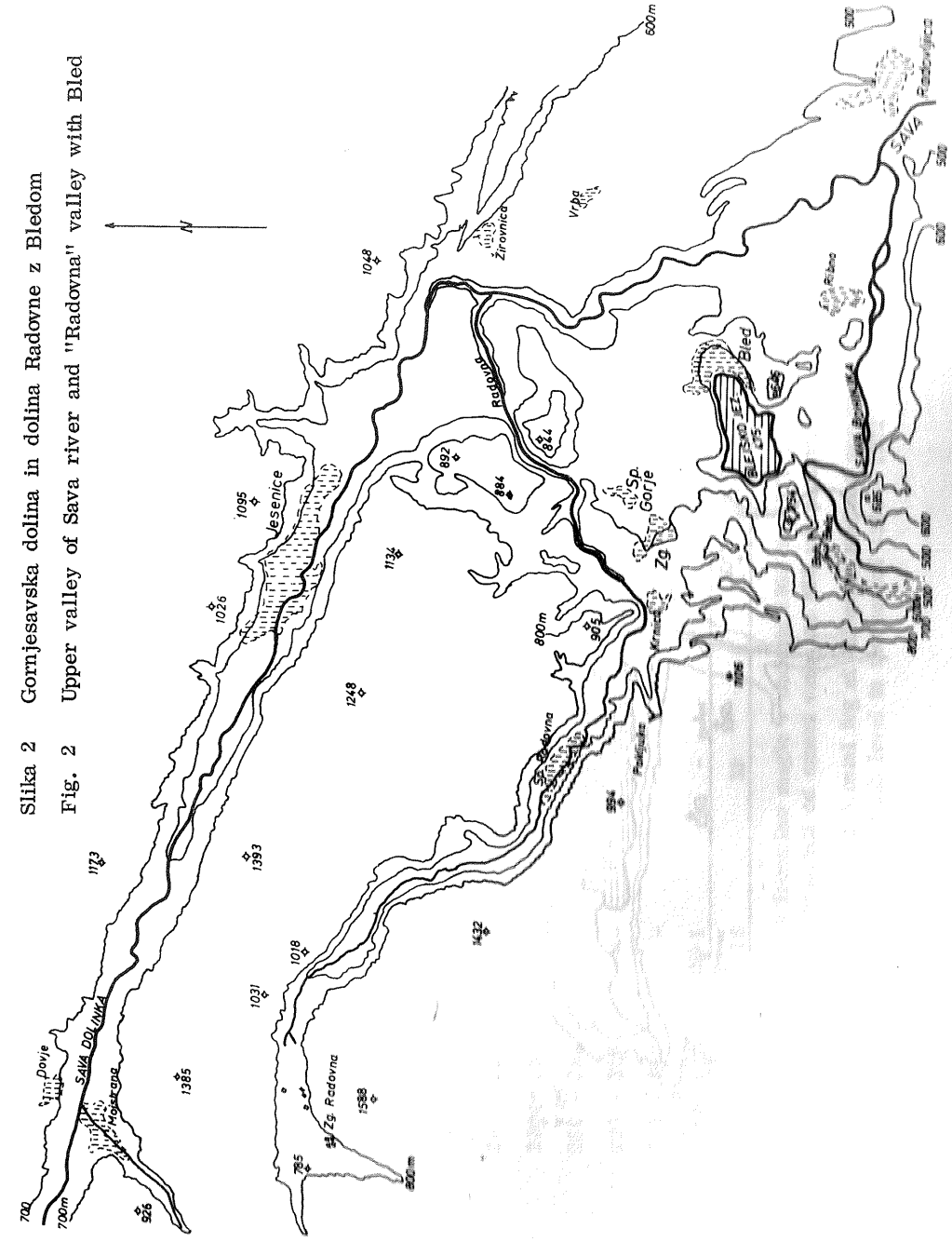
prinese mnogo k vlagi v ozračju, razlika pa je, kadar je ozračje mirno. Tedaj je izhlapevanje z vodne površine pomembno, še posebno, če je pritisk vodne pare pri temperaturi vode znatno višji od pritiska vodne pare v zraku. O povečanju vlage v ozračju torej ni nobenega dvoma. Doslej smo govorili samo o povečanju vlage v ozračju, ne pa o relativni vlagi, ki je funkcija temperature.

Od relativne vlage pa je odvisno tudi pojavljanje megle. Tuja literatura /1/ in /4/ navaja, da je megle ob vodnih površinah ali nad vodno gladino manj kot nad kopnim in da se celo ob velikih vodotokih večkrat orientirajo letalci, ko je drugod megla, le nad reko je ni. Te ugotovitve veljajo za nefrontalno meglo. Naša spoznanja se s temi ugotovitvami povsem strinjajo za ravninska področja, teže pa je to zagovarjati za posamezne kotline ali zaprte doline, ko se vanje ob pobočjih spušča hladen zrak in se zato ta zadržuje tudi nad vodno površino. Za te primere ne moremo uporabiti izsledkov iz tuje literature, temveč moramo upoštevati razmere v naših alpskih dolinah. Tako lahko predvidevamo, da se bo zaradi zajezitve Radovne v sami dolini povečalo število dni z meglo, vendar bo kljub povečanju še vedno razmeroma malo dni z meglo. V okolici pa vpliv zajezitve na povečanje števila dni z meglo, tako kot pri drugih parametrih, ki določajo klimo in o katerih tu ni bil govor, ne bo opazen.



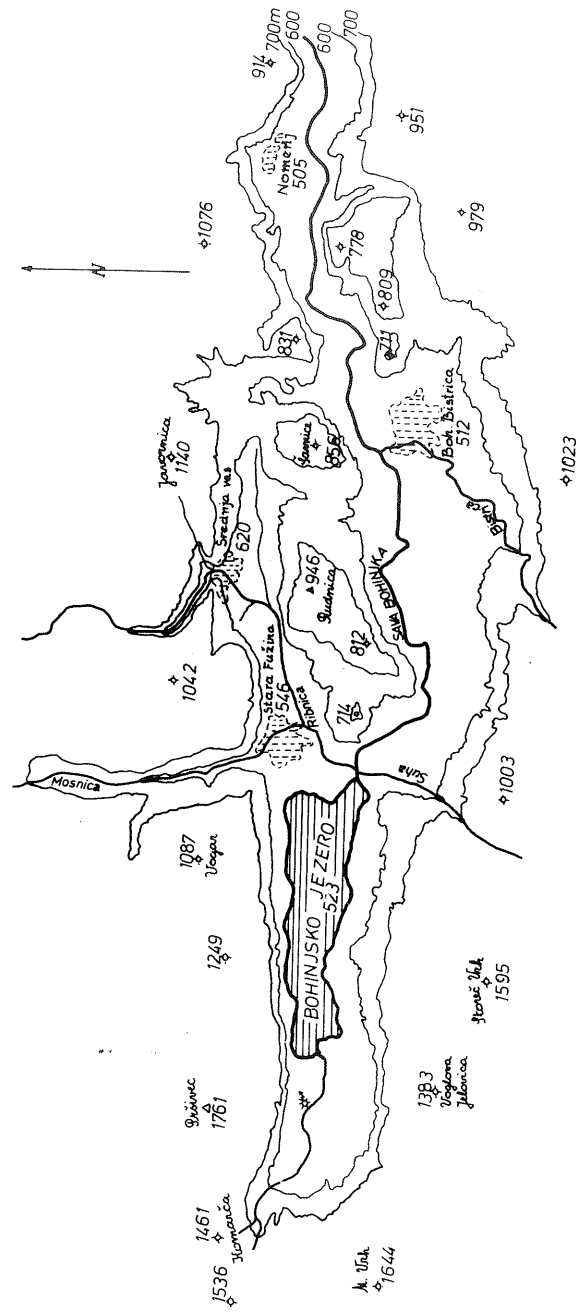
Slika 1 Dolina Radovne s predvideno zajezitvijo

Fig. 1 "Radovna" valley with the planned dam



Slika 2 Gornjesavska dolina in dolina Radovne z Bledom

Fig. 2 Upper valley of Sava river and "Radovna" valley with Bled



Slika 3 Bohinj in dolina Save Bohinjke
 Fig. 3 Bohinj and valley of "Sava Bohinjka"

Tabela 1

Smer vetra na 850 mb ploskvi	Elektrarna		Jesenice	Moste	Radovljica
	Zgornja Radovna	Mojstrana			
350 - 010	-	1	-	-	2
020 - 040	3	4	2	1	3
050 - 070	2	2	-	-	1
080 - 100	2	5	-	-	1
110 - 130	1	1	-	-	3
140 - 160	..	3	-	1	2
170 - 190	2	2	2	3	7
200 - 220	3	12	4	3	21
230 - 250	1	7	2	3	9
260 - 280	-	2	-	-	4
290 - 310	-	-	-	-	-
320 - 340	-	-	-	-	1
spremenljiva	1	-	-	-	2
Skupaj	15	39	10	11	56

Tabela 1 Število dni s frontalno meglo v obdobju 1969 do 1973 po posameznih postajah v odvisnosti od smeri vetra na 850 mb ploskvi.

Table 1 Number of days with frontal fog at different stations according to the wind direction on 850 mb level in the period 1969 - 1973

Tabela 2

Smernost na 850 mb ploskvi	Zgornja Radovna		Elektrarna Radovna		Mojstrana		Jesenice		Moste		Radovljica	
	-	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	4
350 - 010	-	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	4
020 - 040	4	6	6	6	4	1	1	1	-	-	-	5
050 - 070	1	3	3	3	3	-	-	-	-	-	-	9
080 - 100	2	2	2	2	2	-	-	-	-	-	-	3
110 - 130	-	2	2	2	2	-	-	-	-	-	-	2
140 - 160	-	-	-	-	3	1	1	1	1	1	1	1
170 - 190	-	1	1	1	1	-	-	-	1	1	1	1
200 - 220	1	2	2	2	5	-	-	-	3	3	4	4
230 - 250	3	8	8	8	10	2	2	2	1	1	1	15
260 - 280	1	5	5	5	9	1	1	1	-	-	-	13
290 - 310	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	1
320 - 340	-	2	2	2	3	3	3	3	-	-	-	3
spremenljiva	-	2	2	2	9	5	5	5	3	3	3	10
Skupaj	12	34	34	34	55	14	14	14	10	10	10	71

Tabela 2 Število dni z nefrontalno meglo v obdobju 1969 do 1973 po posameznih postajah v odvisnosti od smeri vetra na 850 mb ploskvi.

Table 2 Number of days with nonfrontal fog at different stations according to the wind direction on 850 mb level in the period 1969 - 1973

Tabela 3

Smernost na 850 mb ploskvi	Zgornja Radovna		Elektrarna Radovna		Mojstrana		Jesenice		Moste		Radovljica	
	≤ 7	$8-17 \geq 18$	≤ 7	$8-17 \geq 18$	≤ 7	$8-17 \geq 18$	≤ 7	$8-17 \geq 18$	≤ 7	$8-17 \geq 18$	≤ 7	$8-17 \geq 18$
350 - 010	-	-	-	1	1	1	1	1	-	-	1	2
020 - 040	1	3	3	2	1	2	1	1	-	-	-	2
050 - 070	-	1	1	2	-	1	2	-	-	-	-	9
080 - 100	1	1	1	1	-	1	1	-	-	-	-	3
110 - 130	-	-	1	1	-	1	1	-	-	-	-	2
140 - 160	-	-	-	-	-	3	-	1	-	1	-	1
170 - 190	-	-	1	-	-	1	-	-	-	1	-	1
200 - 220	-	1	1	-	1	3	2	-	-	2	1	3
230 - 250	-	2	1	1	7	1	6	3	-	2	-	5
260 - 280	-	1	-	2	2	1	2	5	2	-	-	8
290 - 310	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	2
320 - 340	-	-	-	1	1	1	3	-	-	3	-	1
spremenljiva	-	-	2	-	9	-	5	-	3	-	-	10
Skupaj	12	34	34	55	14	14	14	10	10	10	10	71

Tabela 3 Število dni z nefrontalno meglo v obdobju 1969 do 1973 po posameznih postajah v odvisnosti od smeri in hitrosti (v vozlih) vetra na 850 mb ploskvi.

Table 3 Number of days with nonfrontal fog at different stations according to the wind direction and wind velocity (in knots) on 850 mb level in the period 1969 - 1973

Tabela 4

Oznaka situacije	0C	1C	2C	3C	4C	5C	6C	7C	8C	0A	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	9A
Zgornja Radovna	-	-	-	2	-	-	-	1	-	-	5	1	-	-	-	2	-	-	1
Elektrarna Radovna	-	4	-	2	1	1	-	2	-	1	10	2	3	-	3	1	2	1	1
Mojstrana	-	3	1	1	1	1	1	2	-	1	17	4	8	2	3	1	4	3	2
Jesenice	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	4	2	-	-	3	1	1	1	-
Moste	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	3	1	-	-	3	-	1	-	-
Radovljica	1	6	1	1	1	2	1	-	2	3	6	9	9	5	10	2	4	4	4
Nomenj	-	4	-	3	3	1	7	1	1	4	8	3	15	8	18	6	-	9	13
Boh. Bistrica	-	5	1	4	4	-	6	1	2	4	20	19	38	15	31	11	3	3	10
Stara Fužina	4	18	4	1	7	6	16	4	6	10	44	33	47	25	53	21	4	15	19
Savica	2	20	8	8	12	6	17	5	7	11	81	46	53	42	80	31	9	18	28

40

Tabela 4 Število dni z nefrontalno meglo v obdobju 1969 do 1973 po postajah v odvisnosti od vremenskih situacij.

Table 4 Number of days with nonfrontal fog at different stations according to weather situations in the period 1969 - 1973

Tabela 5

Oznaka situacije	0C	1C	2C	3C	4C	5C	6C	7C	8C	0A	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	9A
Zgornja Radovna	-	-	-	10	-	-	-	5	-	-	4	1	-	-	-	4	-	-	2
Elektrarna Radovna	-	3	-	10	3	3	-	10	-	5	7	2	4	-	3	2	7	2	2
Mojstrana	-	3	3	5	3	3	3	10	-	5	12	4	10	3	3	2	14	6	4
Jesenice	-	-	-	-	3	-	-	5	-	-	3	2	-	-	3	2	4	2	-
Moste	-	1	-	-	-	-	-	-	-	5	2	1	-	-	3	-	4	-	-
Radovljica	10	5	3	5	3	6	3	-	8	16	4	9	12	7	8	4	14	9	7
Nomenj	-	3	-	14	10	3	19	5	4	21	6	3	20	12	15	13	-	19	24
Boh. Bistrica	-	4	3	19	14	-	16	5	8	21	15	20	49	22	26	24	11	6	18
Stara Fužina	50	17	16	10	35	20	49	24	26	59	44	42	69	42	54	70	21	41	43
Savica	20	16	22	38	41	18	46	24	27	58	59	48	69	61	66	67	32	38	51
Skupno število	10	122	36	21	29	33	37	21	26	19	138	96	77	69	121	46	28	47	55

Tabela 5 Odstotek dni z nefrontalno meglo po posameznih postajah glede na skupno število dni z meglo v posameznih vremenskih situacijah v obdobju 1969 do 1973 za IX. do III. mesec.

* Pri Stari Fužini je upoštevano samo obdobje 1970 do 1973.

Table 5 Percentage of days with nonfrontal fog at different stations according to the total number of days with fog at different weather situations in the period 1969 - 1973, for months: September, October, November, December, January, February and March, only

* At "Stara Fužina" the period 1970 - 1973 was studied only

41

LITERATURA

- /1/ Morzec, Z.: Wpływ zbiornika Rożnowskiego na klimat lokalny. Prace państwowego instytutu Hidrologiczno - Meteorologicznego, Zeszyt 101, Warszawa 1971.
- /2/ Gregory, S., Smith, K.: Local temperature and humidity contrasts around small lakes and reservoirs, Weather, Vol. 12, London 1967.
- /3/ Okolowicz, W., Stopa, M., Przybylska G., Nowacka M.: Charakterystyka klimatu krainy Wielkich jezior Mazurskich z punktu widzenia wczasow i turystyki.
- /4/ Chromow, S.P.: Einführung in die Synoptische Wetteranalyse, Wien 1942.
- /5/ Vida, M.: Poskus ocene vremenskih procesov v Sloveniji z ozirom na vremenske situacije, Razprave - Papers XVII., Ljubljana 1974.

PRIBLIŽNO DOLOČANJE VIŠINE NIZKIH IN SREDNJE VISOKIH DIMNIKOV V SLOVENIJI

A ROUGH ESTIMATION OF THE HEIGHT OF SMALL AND MIDDLE HIGH STACKS IN SLOVENIA

551.510.42:551.511.6

JOŽE RAKOVEC, ZDRAVKO PETKOVŠEK
Katedra za meteorologijo FNT, Ljubljana

SUMMARY

The problem of rough estimation of the sufficient height of stacks for power up to 40 MW, regarding emission of sulphur dioxide is studied. On the average, the plume rises in valleys and basins are small because of frequent occurrence of stable stratification and temperature inversions. Therefore, the most suitable equation here is the one proposed by Holland and Stümke. This equation, combined with Bosannquet and Pearson's equation for dispersion of plumes, gives, at prescribed maximal concentration of SO₂ at the ground, the dependence of stack height on emission intensity of SO₂ leaving the stack. The obtained stack height is corrected with regard to the height of surrounding.

The equation for stack heights is analysed according to the change of parameters included. In this way an estimation of the mistakes, which could be a consequence of selected values of emission and weather parameters, is obtained. By that, as well, the possibility is given for correction in the case when some parameters have different values from the ones chosen. It is proved that the result is considerably influenced by sulphur content in fuel and wind velocity, while changes of other parameters can hardly affect the results.

Finally, the qualitative estimation of influences of background pollution, relief, and specific climatic conditions and special demands for air quality on stack height, is given.

POVZETEK

Obravnavana je problematika približnega določevanja potrebne gradbene višine dimnikov glede na emisijo SO₂ za standardna kurišča z močjo do ca. 40 MW. Za vire v dolinah in kotlinah, kjer so dimni dvigi zaradi pogostnega pojavljanja stabilne stratifikacije in temperaturnih inverzij v poprečju dokaj nizki, je najprimernejša enačba za določevanje dimnega dviga enačba Hollanda-Stümkeja. Povezava te enačbe z Bosannquet-Pearsonovo enačbo za disperzijo dimnih plinov, daje, ob predpisani največji dovoljeni koncentraciji SO₂ pri tleh in postavljenih emisijskih parametrih, odvisnost gradbene višine dimnika od masnega toka SO₂ iz dimnika. Dobljena gradbena višina je še popravljena z upoštevanjem poprečne višine okolice.

UVOD

Onesnaženje zraka je pri nas resen problem, čeprav stopnja industrializacije še ni tako visoka kot v nekaterih razvitejših predelih sveta. Kljub temu pa vsebnost maj, žvepovega dioksida in drugih polutantov pri nas v zraku pri tleh ponekod preneha vrednosti, ki jih namerijo v velikih industrijskih centrih. Vzrok za to je predvsem v razgibanosti reliefa Slovenije in v klimatskih razmerah. Glavni viri onesnaženja ležijo prav v kotlinah in dolinah, to je na krajih, kjer so, zaradi pogostnih temperaturnih inverzij, pogoji za naravno čiščenje zraka še posebej neugodni. Poleg vremenskih in klimatskih vzrokov je še cela vrsta drugih, ki vplivajo na tako visoke koncentracije SO_2 in drugih plinov in saj v zraku slovenskih mest in industrijskih središč. To so na primer slaba tehnologija, slaba goriva in neustrezna kurišča, neustrezne višine dimnikov in podobno. Pozornost posvetimo tu prav višinam dimnikov. Cene čistilnih naprav za SO_2 skupaj z obratovalnimi stroški namreč nekajkrat presegajo ceno zelo visokih dimnikov. Zato bomo marsikje še vedno zmanjševali onesnaženost zraka pri tleh z visokimi dimniki.

Naloga dimnika je - poleg tega, da zagotavlja dober vlek v kurišču - tudi ta, da dimne pline dvigne dovolj visoko od tal. Dvignil naj bi jih tako visoko, da po normalni disperziji v zraku nobena od snovi, ki so v dimu, ne bi povzročila pri tleh (ali v mestih v višini stavb) škodljivo visokih koncentracij.

Ker je relief bistven dejavnik, je predvsem za velike vire onesnaževanja (z močjo nad 40 MW) potrebna povsem individualna obravnava za vsak primer posebej. Ta bi bila sicer zaželena tudi pri majhnih virih, toda teh je veliko in potrebno je ugotoviti osnovne splošne zakonitosti in določiti osnovne smernice za gradnjo številnih dimnikov v Sloveniji.

ZAHTEVE IN PREDPOSTAVKE

Dogaja se, da predvidijo nekateri projektanti ob izdelavi idejnega projekta za kako novo kotlarno celo nekajkrat prenizek dimnik, ker izhajajo le iz potreb vleka. Res je, takrat navadno še niso poznani vsi potrebni parametri za točnejšo določitev potrebne višine tudi glede na zahteve po kvaliteti zraka. Navadno so znane le potrebe po energiji in vrsta goriva. Zato se natančne potrebne višine ne da ugotoviti, toda možna je vsaj orientacijska ocena.

V tej razpravi želimo določiti osnove za oceno potrebne višine dimnika kot funkcijo jakosti vira onesnaževanja, in sicer pri neki, vnaprej predpisani največji dopustni koncentraciji SO_2 pri tleh, in to za vire z močjo do 40 MW ali z emisijo do $400 \text{ kg } SO_2 \text{ h}^{-1}$. Pri tem se opremo na predlog zakona o varstvu zraka, ki predvideva največjo dopustno dnevno koncentracijo $0.3 \text{ mg } SO_2 \text{ m}^{-3}$ (miligramma SO_2 na normni kubični meter zraka).

Enačbe, ki se uporabljajo za določevanje potrebne višine dimnikov, veljajo za razmere nad ravnino brez nehomogenosti, torej za idealiziran primer. Atmos-

ferske pogoje upoštevajo le v grobem, kar pomeni, da s takimi metodami lahko dobimo le oceno potrebne višine, ki jo je treba vsekakor še popraviti glede na lokalne klimatske, reliefne in druge pogoje.

Kritično onesnaženje nastopa pri nas ob mirnem, stabilnem vremenu, zato bomo izbrali za izhodišče značilno stanje (standardne pogoje), ko imamo šibak veter, katerega hitrost naj z višino narašča po logaritemskem profilu. Na višini 50 m od tal naj bo hitrost vetra 2 m s^{-1} . Izbiro logaritemskega profila opravičimo s tem, da želimo obravnavati atmosfero s srednje močno stabilnostjo; za tako atmosfero pa tudi drugi profili ne dajo bistveno drugačnega poteka hitrosti z višino /1/. Stabilnost atmosfere karakteriziramo z vertikalnim gradientom potencialne temperature $\partial\theta/\partial z$ ter z Bosanquet-Pearsonovima /2/ parametroma turbulencije p in q . Vzamemo, da je $\partial\theta/\partial z = 0.012 \text{ K m}^{-1}$ in razmerje $p/q = 0.60$. Pri metodi, ki jo bomo uporabili, so: poprečna hitrost vetra u , parametra $\partial\theta/\partial z$ in p/q ter temperatura zraka T edini vremenski parametri, kar pa seveda zadošča le za približen rezultat, saj je širjenje onesnaženja v kotlinah in dolinah precej zapleten proces /3,4/.

Za disperzijo dimnih plinov privzamemo, da je taka, kot jo opisujeta Bosanquet in Pearson /2/. Pri tej daje največjo koncentracijo pri tleh enačba:

$$c_{\max} = 4M p/q (2H)^{-1/2} e^{-2u^{-1}H^{-2}} \quad (1)$$

kjer je (poleg znanih količin) M masni tok snovi-polutanta, e Neperjevo število in H efektivna višina vira onesnaževanja, to je tista višina, ki jo doseže dim, ko se dvigne iz dimnika. Ta je torej vsota gradbene višine dimnika (H_{gr}) in dimnega dviga zaradi vztrajnosti in vzgona (H):

$$H = H_{gr} + \Delta H \quad (2)$$

Ker smo določili pogoje, ki opisujejo stanje atmosfere, odloča, pri danih postavkah, o največjih koncentracijah pri tleh le še masni tok polutanta in seveda efektivna višina dimnika. Ob predpisani c_{\max} nam torej enačba (1) pomeni zvezo med efektivno višino dimnika in masnim tokom, enačba (2) pa, če poznamo dimni dvig, skupaj z (1), zvezo med gradbeno višino dimnika in količino v časovni enoti emitiranega polutanta. Zato moramo torej določiti še kakšen je dimni dvig v odvisnosti od masnega toka polutanta.

ENAČBE ZA DIMNI DVIG

V literaturi je mogoče najti čez trideset enačb za dimni dvig in približno dve na leto se pojavita na novo /5/. Že to kaže, da je problem, ki ga opisujejo, zelo zamotan. Različne enačbe dajejo namreč precej različne dimne dvige, saj se ti lahko razlikujejo tudi za faktor deset in več /5/. Vzrok za to je predvsem ta, da večina enačb sicer upošteva osnovna vzroka za dvig dima, to sta vztrajnost in vzgon, toda na različne načine in z različnimi, ponavadi eksperimentalno določenimi koeficienti.

Nove enačbe pri taki množici obstoječih gotovo ni treba sestavljati, treba pa je najti najprimernejšo. Ker je upravičenost uporabe enačb za dimni dvig v neravnem terenu, kjer so razmere vse prej kot homogene, dodaten problem, je izbira enačbe za dimni dvig problematična. Zato se vnaprej ne odločimo za eno od enačb, temveč bomo računali po različnih enačbah in se šele po pregledu poskusnih rezultatov odločili za tisto, za katero bomo menili, da najbolj ustreza našim pogojem in spoznanjem.

Dimne dvige računamo po enačbah: Holland-Stümke /6/, po drugi verziji Stümkejeve enačbe /7/, po enačbi Berljanda /8/ ter po enačbah ASME in CONCAWE /9/. Enačbe navajamo nekoliko predelane. Premeri dimnikov ob vrhu so kaj različni, izstopne hitrosti pa so za manjše vire dokaj enotne, zato v enačbah povsod nadomestimo premer dimnika d po zvezi:

$$R = \sqrt{d^2 w T_0} / 4T \quad (3)$$

z izstopno hitrostjo w in normiranim (273 K in 1 atm) volumskim tokom iz dimnika R . T je temperatura izstopajočih plinov, $T_0 = 273$ K. Poleg tega opremimo koeficiente s potrebnimi enotami kgms sistema. V enačbah nastopajo poleg že naštetih količin še: toplotni tok iz dimnika Q , poprečna hitrost vetra gradient potencialne temperature $\partial\theta/\partial z$ ter gravitacijski pospešek g .

Holland-Stümke

$$\Delta H = \left[k_1 (RwT)^{1/2} + k_2 R(T-T') \right] u^{-1} \quad (4)$$

$$k_1 = 0.293 \text{ K}^{-1/2}$$

$$k_2 = 0.038 \text{ m}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

Stümke II

$$\Delta H = \left[k_3 (RwT)^{1/2} + k_4 (R/w)^{3/4} (T-T')^{1/4} \right] u^{-1} \quad (5)$$

$$k_3 = 0.102 \text{ K}^{-1/2}$$

$$k_4 = 1.160 \text{ m}^{-1/2} \text{ K}^{-3/4}$$

Berljand

$$\Delta H = \left[k_5 (RwT)^{1/2} + k_6 (RwT)^{1/2} (T-T') \right] u^{-1} \quad (6)$$

$$k_5 = 0.128 \text{ K}^{-1/2}$$

$$k_6 = 0.830 \text{ ms}^{-2} \text{ K}^{-1/2}$$

ASME

$$\Delta H = k_7 (QT' / gu \partial\theta/\partial z)^{1/3} \quad (7)$$

$$k_7 = 0.042 \text{ m}^{2/3} \text{ kg}^{-1/3}$$

CONCAWE

$$\Delta H = k_8 Q^{1/2} u^{-3/4} \quad (8)$$

$$k_8 = 0.085 \text{ m}^{3/4} \text{ kg}^{-1/2} \text{ s}^{-5/4}$$

EMISIJSKI PARAMETRI

Količin, ki nastopajo v enačbah (3) do (8), je precej. Osnovna spremenljivka, ki jo želimo imeti, je masni tok polutanta - v našem primeru SO_2 - iz dimnika (M), ostale pa moramo z M povezati ali pa jih določiti kako drugače. Na podlagi podatkov Bringfelta /10/ ter ob upoštevanju normativov za konstrukcije dimnikov /11/ in iz vseh drugih razpoložljivih podatkov in mnenj, smo se odločili po vrsti križnih preverjanj za naslednje vrednosti parametrov: $w = 10 \text{ ms}^{-1}$, $T = 490 \text{ K}$ in $T' = 280 \text{ K}$. Ti emisijski parametri nam karakterizirajo zamišljene pogoje in nekakšen "standardni" tip dimnika. Vrednosti hitrosti vetra u in gradienta potencialne temperature $\partial\theta/\partial z$ smo že opredelili, tako da nam v enačbah (4) do (6) ostane spremenljiv le volumski tok R , v enačbah (7) in (8) pa toplotni tok Q iz dimnika. Ti dve količini pa lahko povežemo z masnim tokom SO_2 iz dimnika.

Vzemimo za primer, premog z 2.5% gorljivega žvepla in da daje 1 kg premoga 5 m_n^3 dimnih plinov. Tedaj je masni tok:

$$\text{za premog } M = 1.00 \cdot 10^{-2} \text{ kgSO}_2 \text{ m}_n^{-3} \text{ R} \quad (9)$$

Za mazut vzemimo, da ima 4% gorljivega žvepla in da daje 13 m_n^3 dimnih plinov na kilogram. Masni tok je:

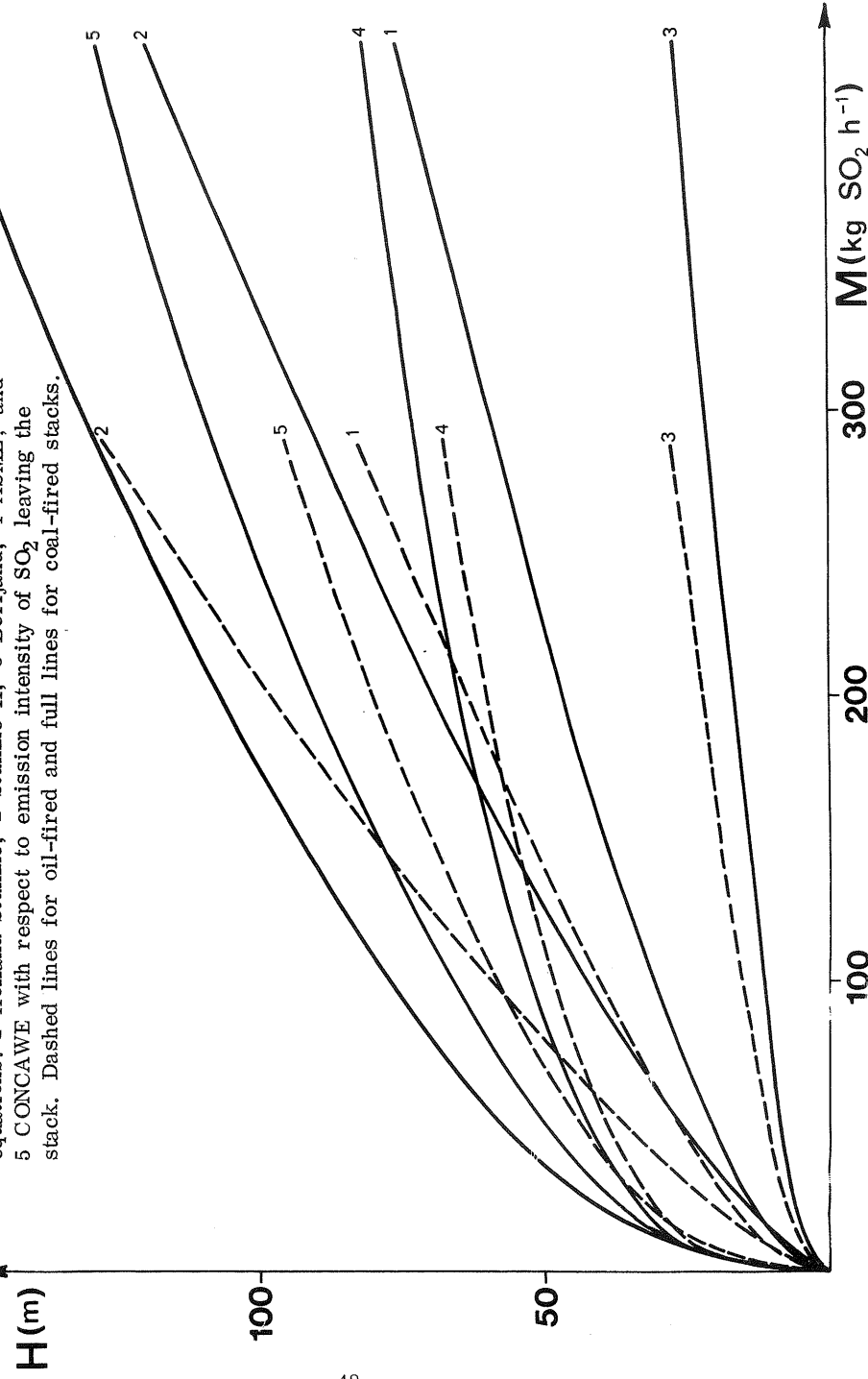
$$\text{za mazut } M = 6.15 \cdot 10^{-3} \text{ kgSO}_2 \text{ m}_n^{-3} \text{ R} \quad (10)$$

Toplotni tok iz dimnika povežemo z masnim tokom polutanta prek neizkoriščene toplote (upoštevajoč neenak izkoristek za premog in mazut) in dobimo:

$$\text{za premog } M = 1.65 \cdot 10^{-8} \text{ kgSO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^2 \text{ Q} \quad (11)$$

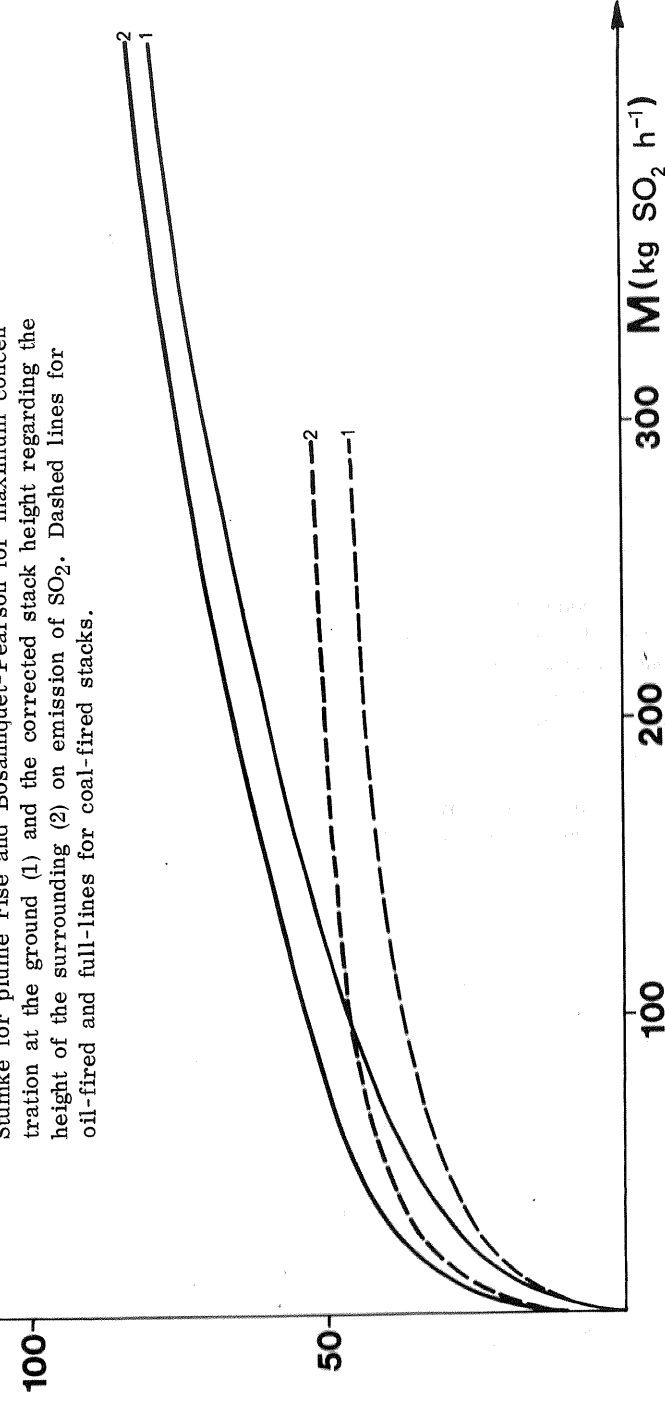
Potrebna efektivna višina dimnika (O) in dimni dvigi po enačbah:
 1 Holland-Stümke, 2 Stümke II, 3 Berljang, 4 ASME in 5 CONCAWE
 v odvisnosti od masnega toka SO_2 iz dimnika. Črtkane krivulje velja-
 jo za kurjenje z mazutom, polno izvlečene pa za kurjenje s premogom.

Fig. 1 Required effective stack height (O) and plume rises according to the
 equations: 1 Holland-Stümke, 2 Stümke II, 3 Berljang, 4 ASME, and
 5 CONCAWE with respect to emission intensity of SO_2 leaving the
 stack. Dashed lines for oil-fired and full lines for coal-fired stacks.



Slika 2 Gradbena višina dimnika pri kombinaciji enačb Holland-Stümke za dim-
 ni dvig in Bosanquet-Pearson za največjo koncentracijo pri tleh (1)
 in glede na višino okolice popravljena gradbena višina (2) v odvisnosti
 od masnega toka SO_2 iz dimnika. Črtkano - mazut, polno izvlečeno -
 premog.

Fig. 2 Dependence of stack height for combination of equations Holland-
 Stümke for plume rise and Bosanquet-Pearson for maximum concen-
 tration at the ground (1) and the corrected stack height regarding the
 height of the surrounding (2) on emission of SO_2 . Dashed lines for
 oil-fired and full-lines for coal-fired stacks.



$$\text{za mazut } M = 2.00 \cdot 10^{-8} \text{ kgSO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^2 \text{ Q} \quad (12)$$

Ko smo v enačbah za dimni dvig tako določili emisijske parametre, lahko izračunamo dimne dvige po zvezah (4) do (8) v odvisnosti od masnega toka M. Ob predpisani največji koncentraciji SO₂ pri tleh, lahko z uporabo enačb (1) in (2) približno določimo tudi potrebno gradbeno višino dimnikov v odvisnosti od masnega toka za navedene standardne pogoje.

POSTAVITEV OSNOVNE ENAČBE

Gradbena višina dimnika se kaže kot razlika med potrebno efektivno višino in dimnim dvigom iz dimnika. Dimne dvige po navedenih enačbah smo izračunali v odvisnosti od masnega toka polutanta in dobili rezultate, kot jih kaže slika 1.

Vidimo, da dobimo po različnih enačbah zelo različne dimne dvige; za faktor štiri se razlikujeta npr. tista po enačbah Stümke II in Berljanda in za faktor pet tista po enačbah CONCAWE in Berljanda. Če primerjamo dimne dvige s po enačbi (1) izračunano potrebno efektivno višino dimnika, vidimo, da bi glede na nekatere enačbe dobili dokaj nizke dimnike; sama vztrajnost in vzgon bi dim dvignila dovolj visoko. Tak rezultat za naše razmere seveda ne ustreza, medtem ko so vrednosti krivulj po enačbah Holland-Stümke in Berljanda precej v skladu z našimi opazovanji in spoznanji. V naših krajih, kjer so pogoji za širjenje onesnaženja slabi, so namreč v poprečju dimni dvigi dokaj nizki. Ker kaže, da je enačba Berljanda delana in primerna predvsem za velike vire enačba Holland-Stümke pa za manjše /8,12/, si podrobneje oglejmo rezultate po enačbi Holland-Stümke.

Gradbene višine, to so razlike med potrebno efektivno višino po enačbi (1) in dimnim dvigom po enačbi Holland-Stümke (4), so v odvisnosti od masnega toka SO₂ iz dimnika narisane na sliki 2. Popravili smo jih še v skladu z napotki za varstvo urbanizirane ali z gozdom porasle okolice vira /13/. Pri tem smo privzeli, da je del okolice pozidan ali porasel z gozdom s poprečno višino 10 m.

Menimo, da bi enačbo Holland-Stümke lahko pri nas uporabljali za oceno potrebne gradbene višine dimnikov in to za ne prevelike vire onesnaževanja (z močjo do 40 MW). Tudi Gilbert nam v svojem članku /6/ daje potrditev tega mnenja, saj pravi, da je enačba Holland-Stümke uporabna za hitrosti vetra od 2 do 4 ms⁻¹ in za največjo dopustno koncentracijo pri tleh c_{max} = 0.35 mgSO₂m⁻³ zraka; to je približno za take pogoje, kot jih obravnavamo v skladu s poprečji za Slovenijo. Tudi izkušnje Hidrometeorološkega zavoda SRS /12/ kažejo, da enačba Holland-Stümke za manjše emisije najbolj ustreza. Za dimni dvig izberemo torej to enačbo, ki nam v kombinaciji z enačbo (1) da približno gradbeno višino dimnika

$$H_{gr} = (4M p/q)^{1/2} (2)^{-1/4} e^{-1} (u_{c_{max}})^{-1/2} - \left[k_1 (\varepsilon MwT)^{1/2} + k_2 \varepsilon M(T-T') \right] u^{-1} \quad (13)$$

kjer je $\xi = R/M$.

Enačba (13) naj služi kot osnova za oceno gradbenih višin dimnikov v Sloveniji za standardne vire z jakostjo do 400 kgSO₂h⁻¹ ali moči do 40 MW. V tej enačbi nastopa poleg znanih vrednosti oziroma konstant ter poleg osnovne spremenljivke M še šest parametrov. Ugotoviti pa je koristno koliko lahko vrednosti teh parametrov odstopajo od izbranih in koliko ta odstopanja vplivajo na gradbeno višino dimnika, kdaj torej smemo vzeti kar njihove standardne vrednosti, kdaj pa moramo vplive njihovih sprememb upoštevati.

ANALIZA GLEDE NA SPREMEMBE PARAMETROV

Enačbo (13) analizirajmo glede na možne spremembe parametrov, ki v njej nastopajo: u, T', p/q, T, w in ξ . Pri dosedanji obravnavi se je, spreminjala le hitrost vetra z višino, medtem ko so bili drugi parametri konstantni. Sedaj pa jih variramo.

1. Odvisnost od hitrosti vetra

Enačbo (13) zapišemo v obliki:

$$H_{gr} = a_1 u^{-1/2} - b_1 u^{-1} \quad (14)$$

$$a_1 = (4Mp/q)^{1/2} (2\bar{u})^{-1/4} e^{-1} c_{max}^{-1/2}$$

$$b_1 = k_1 (\varepsilon MwT)^{1/2} + k_2 \varepsilon M(T-T')$$

in jo prevedemo v brezdimenzijsko obliko:

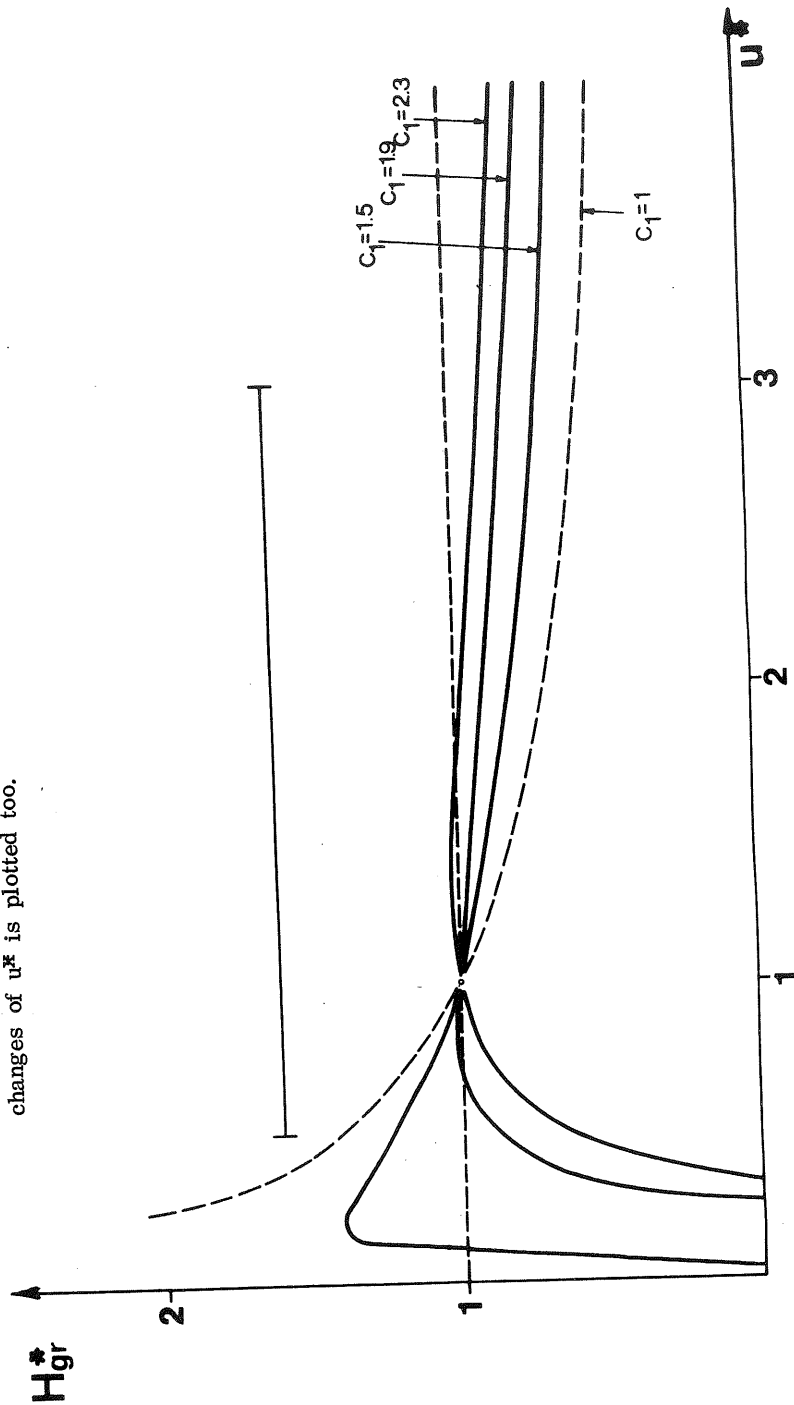
$$H_{gr}^* = c_1 u^{*1/2} + (1-c_1) u^{*1} \quad (15)$$

$$c_1 = \left[1 - b_1 a_1^{-1} u^{0-1/2} \right]^{-1}$$

kjer je $H_{gr}^* = H_{gr}/H_{gr}^0$ in $u^* = u/u^0$. Količini, označeni z ničlo, veljata za računske s standardnimi vrednostmi, opisanimi v prejšnjih poglavjih. Ker predstavlja izraz $b_1 a_1^{-1} u^{0-1/2}$ razmerje med dimnim dvigom in potrebno efektivno višino in je torej pozitiven in manjši od 1, je tudi c₁ vedno večji od 1. Primeri, ki jih obravnavamo, so v območju normalnih razmer in so vrednosti c₁ med 1.5 za manjše in 2.3 za večje vire.

Slika 3 Odvisnost brezdimenzijske gradbene višine dimnika od brezdimenzijske hitrosti vetra ob njegovem vrhu za nekatere vrednosti koeficienta c_1 . Označeno je tudi območje možnih sprememb u^* .

Fig. 3 Dependence of the normalised stack height on normalised wind velocity at stack top for some values of coefficient c_1 . The range of probable changes of u^* is plotted too.



Slika 3 kaže odvisnost brezdimenzijske gradbene višine dimnika od brezdimenzijske hitrosti vetra za nekatere vrednosti koeficienta c_1 ; narisana je tudi asimptotična, fiktivna krivulja za vrednost $c_1=1$. Krivulje imajo zlasti pri nizkih hitrostih vetra zelo različen potek, zato je smiselno le območje desno od vrednosti $u^* = 0.5$, posebno ker to pomeni že zelo šibko gibanje zraka. Pri šibkejšem vetru bi moral biti dimnik za majhne vire višji od standardnega, pri močnejšem ($u^* > 1$) pa bi bil lahko v glavnem nekoliko nižji.

Vidimo, da je vpliv hitrosti vetra v enačbi (13) na gradbeno višino precej močan. Ker pa se veter dejansko ves čas spreminja, kritični pogoji glede onesnaženja pa nastopajo pri njegovih nizkih vrednostih, a ker zrak v naravi nikoli ne miruje, so izbrane standardne vrednosti za u za večino nižinskih področij Slovenije reprezentativne, sicer pa dobra osnova za nakazane korekcije.

2. Odvisnost od temperature zraka

Enačbo (13) lahko napišemo tudi v obliki:

$$H_{gr} = a_2 - b_2 T' \quad (16)$$

$$a_2 = a_1 u^{-1/2} \left[-k_1 (\epsilon M w T)^{1/2} + k_2 \epsilon M T \right] u^{-1}$$

$$b_2 = -k_2 \epsilon M u^{-1}$$

kjer je T' temperatura zraka. Po deljenju enačbe (16) s H_{gr}^0 dobimo brezdimenzijsko obliko te enačbe:

$$H_{gr}^* = c_2 + (1-c_2) T'^* \quad (17)$$

$$c_2 = \left[1 - b_2 T'^0 a_2^{-1} \right]^{-1}$$

Vrednost c_2 za območje standardnih vrednosti so med 0.9 za manjše in 1.7 za večje vire, kar pomeni, da je odvisnost gradbene višine dimnika od temperature zraka majhna, kajti brezdimenzijska temperatura zraka se spreminja za manj kot 10%, H_{gr}^* pa zato največ za 6% (slika 4).

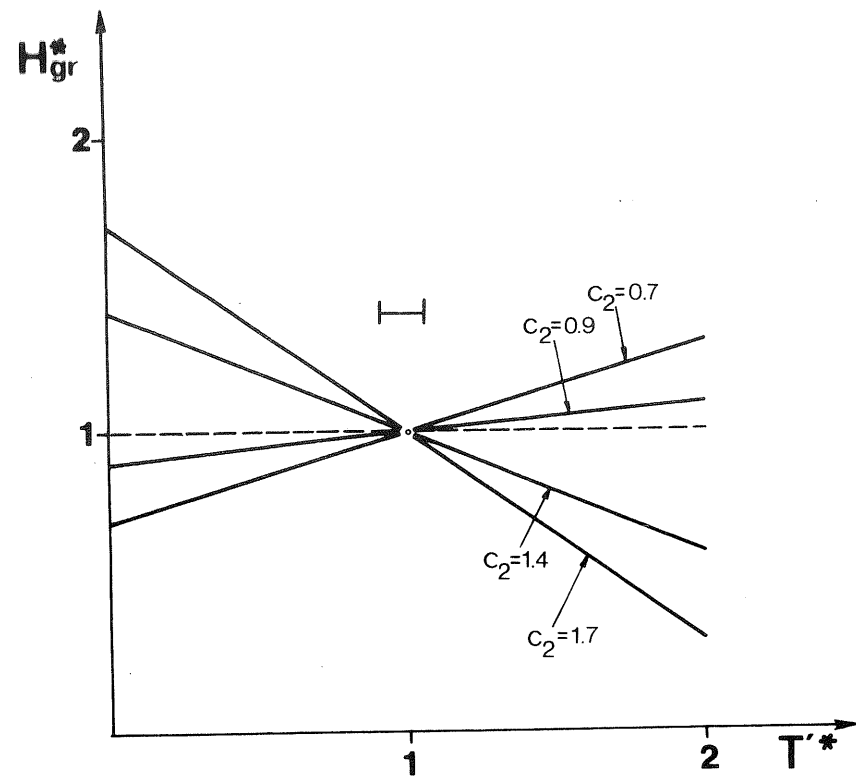
3. Odvisnost od parametrov turbulence

Oglejmo si nadalje odvisnost enačbe za gradbeno višino dimnika od parametrov turbulence ali od kvocienta p/q . Po podobni poti kot prej pridemo do enačbe:

$$H_{gr}^* = c_3 (p/q)^*^{1/2} + (1-c_3) \quad (18)$$

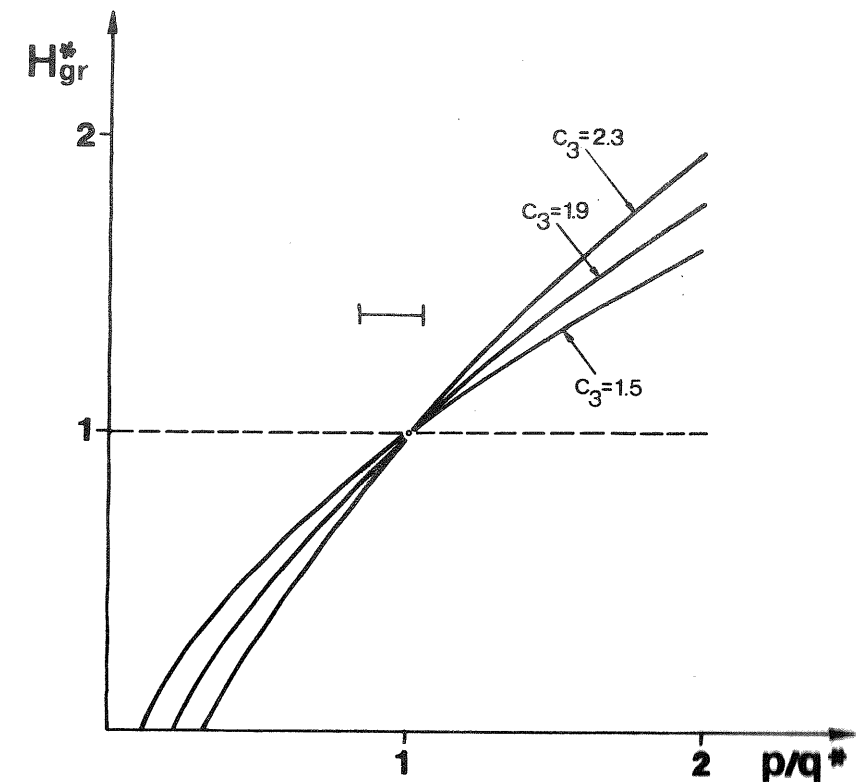
$$c_3 = \left[1 - b_3 a_3^{-1} (p/q)^0^{-1/2} \right]^{-1}$$

kjer sta $a_3 = a_1(up/q)^{-1/2}$ in $b_3 = b_1u^{-1}$. Za standardne vrednosti ima koeficient c_3 vrednosti med 1.5 za majhne in 2.3 za velike vire.



Slika 4 Odvisnost brezdimenzijske gradbene višine dimnika od brezdimenzijske temperature okolnega zraka za nekatere vrednosti koeficienta c_2 . Označeno je tudi območje možnih sprememb T'^* .

Fig. 4 Dependence of the normalised stack height on normalised air temperature for some values of coefficient c_2 . The range of probable changes of T'^* is plotted too.



Slika 5 Odvisnost brezdimenzijske gradbene višine dimnika od brezdimenzijskega parametra turbulence za nekatere vrednosti koeficienta c_3 . Značeno je tudi območje možnih sprememb p/q^* .

Fig. 5 Dependence of the normalised stack height on normalised turbulence parameter for some values of coefficient c_3 . The range of probable changes of p/q^* is plotted too.

Slika 5 kaže, kako se spreminja H_{gr}^* s p/q^* . Ker je p/q med 0.60 pri šibki turbulenci in 0.63 pri močni /2/, se nam p/q^* spreminja le v označenem območju. Iz slike 5 torej lahko vidimo, da lahko največje možne spremembe koeficienta p/q povzročijo popravko H_{gr} navzdol za 12% in navzgor za največ 5%.

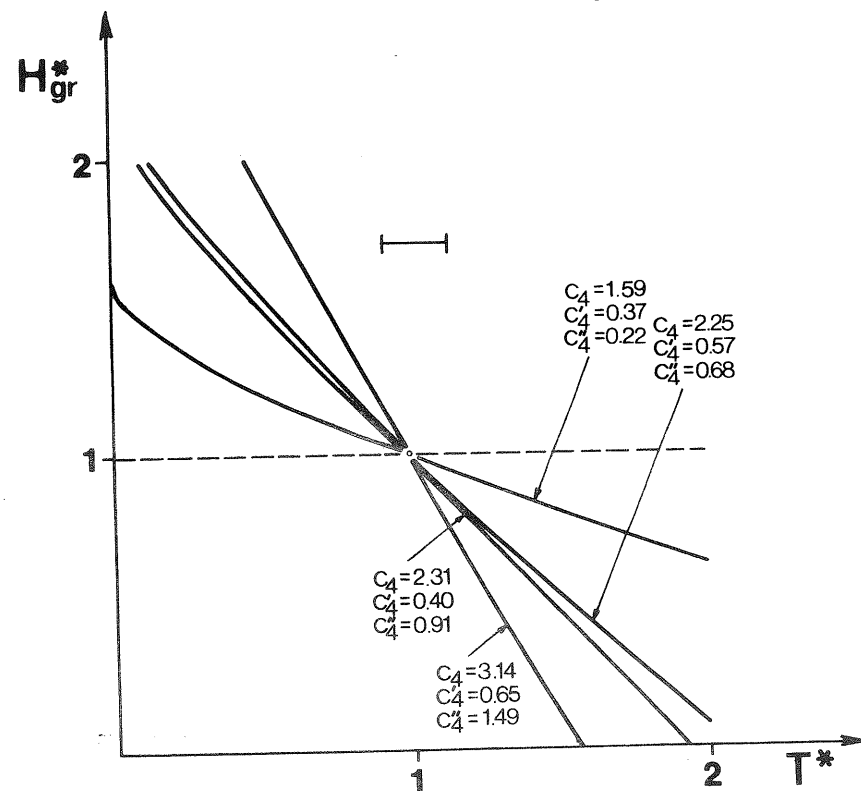
4. Odvisnost od temperature dimnih plinov
Analogno kot prej, dobimo enačbo:

$$H_{gr}^* = c_4 - c_4' T^{*1/2} - c_4'' T^{*x} \quad (19)$$

$$c_4 = \left[a_1 u^{-1/2} + k_2 \xi M T' u^{-1} \right] H_{gr}^0 - 1$$

$$c_4' = k_1 (\xi M w T^0)^{1/2} u^{-1} H_{gr}^0 - 1$$

$$c_4'' = k_2 \xi M T^0 u^{-1} H_{gr}^0 - 1$$



Slika 6 Odvisnost brezdimenzijske gradbene višine dimnika od brezdimenzijske temperature dimnih plinov za nekatere vrednosti koeficientov c_4 , c_4' , c_4'' . Večji c_4 pomeni močnejši vir. Označeno je tudi območje možnih sprememb T^* .

Fig. 6 Dependence of the normalised stack height on normalised temperature of plume for some values of coefficients c_4 , c_4' and c_4'' . Greater value of c_4 means stronger source. The range of probable changes of T^* is plotted too.

Na sliki 6 vidimo potek odvisnosti obeh normiranih količin za nekatere vrednosti koeficientov. Večji koeficient c_4 pomeni močnejši vir. Vrisano je tudi območje možnih sprememb temperature dimnih plinov. Če upoštevamo, da so pri močnejših virih te temperature verjetno nižje, pri šibkejših pa višje od tistih, ki smo jih izbrali kot standardne, potem iz slike 6 vidimo, da se gradbena višina dimnika spreminja zaradi vpliva sprememb temperature izstopnih plinov za okrog 15%.

5. Odvisnost od izstopne hitrosti

Izstopna hitrost w je parameter, ki v enačbi za potrebno gradbeno višino dimnika nastopa na dva načina: eksplicitno ter implicitno v M . Večja izstopna hitrost pomeni namreč (pri nespremenjenih drugih parametrih) večji masni tok polutanta iz dimnika. Ta implicitna odvisnost je prikazana torej že na sliki iz dimnika. Ta implicitna odvisnost je prikazana torej že na sliki 2. Kakšna pa je sprememba gradbene višine dimnika, če bi se spremenila le izstopna hitrost, vsi preostali parametri, vključno z masnim tokom pa bi ostali nespremenjeni (npr. ob manjšem premeru dimnika ob vrhu). Za to spremembo dobimo brezdimenzijsko enačbo:

$$H_{gr}^* = c_5 + (1 - c_5) w^{*1/2} \quad (20)$$

$$c_5 = \left[1 - b_5 w^0 \right] a_5^{-1}$$

kjer sta $a_5 = a_1 u^{-1/2} - k_2 \xi M (T - T') u^{-1}$ in $b_5 = k_1 (\xi M T^0)^{1/2} u^{-1}$. Vrednosti c_5 so za obravnavane primere okrog 1.03, torej je odvisnost od izstopne hitrosti plinov zanemarljivo majhna.

6. Odvisnost od emisijske koncentracije

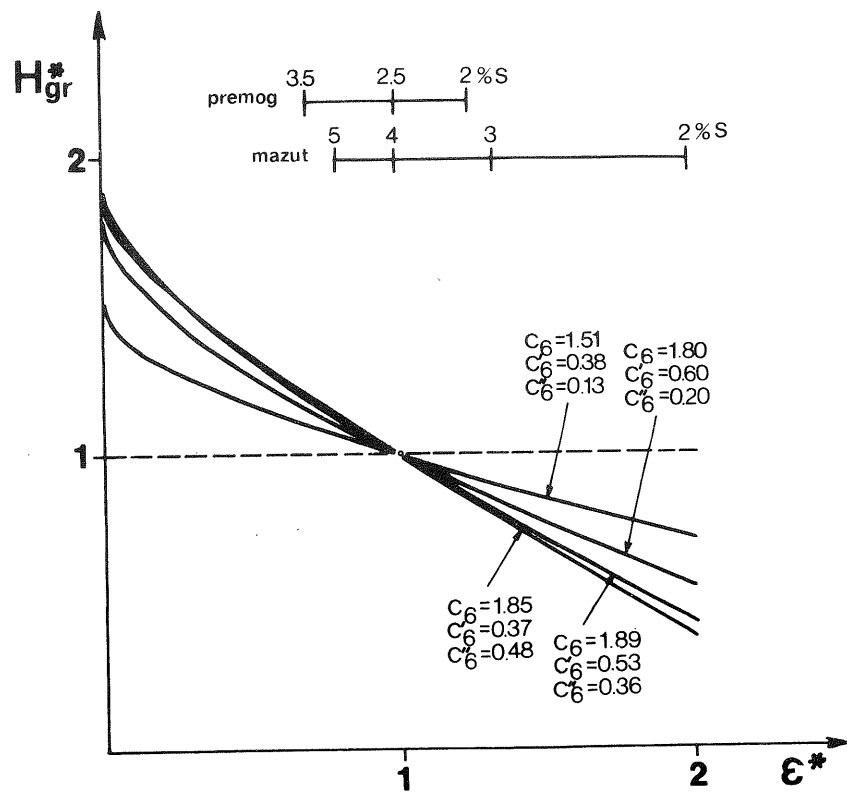
Parameter je obratna vrednost tako imenovane emisijske koncentracije; $1/\xi$ nam torej pove, koliko polutanta je v enoti volumna izstopajočih dimnih plinov. Ustrezna brezdimenzijska enačba za odvisnost gradbene višine dimnika od parametra je:

$$H_{gr}^* = c_6 - c_6' \xi^{*1/2} - c_6'' \xi^{*x} \quad (21)$$

$$c_6 = a_1 u^{-1/2} H_{gr}^0 - 1$$

$$c_6' = k_1 (M w T^0)^{1/2} u^{-1} H_{gr}^0 - 1$$

$$c_6'' = k_2 M (T - T') \xi^0 u^{-1} H_{gr}^0 - 1$$



Slika 7 Odvisnost brezdimenzijske gradbene višine dimnika od brezdimenzijskega parametra ξ^* za nekatere vrednosti koeficientov c_6, c_6' in c_6'' . Večji c_6 pomeni močnejši vir. Podana je tudi skala za ξ^* v odvisnosti od vsebnosti žvepla v gorivih.

Fig. 7 Dependence of normalised stack height on normalised parameter ξ^* for some values of coefficients c_6, c_6' and c_6'' . Greater value of c_6 means stronger stack. The scales for ξ^* in dependence of sulphur content in fuels are plotted too.

Iz slike 7, ki kaže potek H_{gr}^* (ξ^*) za nekatere vrednosti koeficientov (večji koeficient c_6 pomeni večji vir), vidimo, da je H_{gr}^* močno odvisna od ξ^* . To ni nič novega; kurjenje s čistejšim gorivom dopušča pri uporabi metodiki seveda nižje dimnike. Toda tudi pri gorivu čisto brez žvepla bi ne mogli shajati povsem brez dimnika zaradi drugih primesi v dimnih plinih (saje, CO_2, H_2O ipd.)

V pogojih, ki so blizu standardnim, lahko torej privzamemo, da so nastopajoče količine približno take, kot pri našem standardnem dimniku in je verjetna napaka pri oceni višine dimnika pod 10%. Gradbena višina pa je, poleg kvalitete goriva, močno občutljiva na različne hitrosti vetra, zato je za kraje, kjer so hitrosti vetrov različne od tu privzetih, vsekakor potrebno to posebej upoštevati v skladu z enačbo (15) in sliko 3.

Tako je torej mogoče dobiti prvo približno vrednost gradbene višine dimnika iz krivulj na sliki 2. Če poznamo vse potrebne parametre konkretnega dimnika, pa lahko uporabimo enačbo (13). Dokler pa vsi parametri v njej niso poznani, nam zgornja analiza njihovih vplivov omogoča oceno njih samih, pa tudi napak, ki smo jih morda napravili. To pa ne pomeni, da smo problem končno rešili.

DODATNI VPLIVI

Višina dimnika je bila obravnavana z vidika primerne kvalitete zraka pri tleh za standardne, toda glede nekaterih vplivov idealizirane pogoje. Pri tem, kakšne bodo koncentracije onesnaženja pri tleh ali na področju vpliva dimnika, kjer živijo ljudje in rastejo rastline, pa močno vpliva vrsta doslej še nezajetih dejavnikov, ki so lahko zelo pomembni in zahtevajo, da je višina dimnika višja. Med te štejemo npr. že obstoječe onesnaženje na področju, reliefne razmere področja, klimatske razmere in posebne okoliščine. Te dejavnike bomo obravnavali predvsem kvalitativno, ker so večinoma specifični in premalo raziskani, da bi njihov vpliv lahko obče podali v obliki enačbe ali grafikona.

Obstoječe onesnaženje, zlasti v mestih in če to onesnaženje že presega dovoljne meje, lahko povzroči zahtevo po mnogo višjem dimniku ali pa postavi rešitev problema na drugačne osnove, ki so izven domene tega dela.

Reliefne razmere so bile v dosedanjih postavkah idealizirane v ravnino. Če naj bi stal dimnik v ozki dolini ali blizu pobočij, ki so morda celo naseljena, je treba to seveda posebej upoštevati. V nekaterih primerih bi lahko gradbeno višino le korigirali npr. v skladu z ugotovitvami Berljanda /14/, ki glede na to predlaga popravke za faktor 1.2 do 1.5. Včasih pa so reliefni pogoji tako specifični, da je zlasti pri velikih virih potrebno določiti "ničelno višino" terena širše okolice, kot je bilo to storjeno za TE Trbovlje II /15/.

Posebni so pogoji v kotlinah, v katerih se pojavljajo pogosto jezera hladnega zraka z izrazitimi temperaturnimi inverzijami, ki delujejo kot močne zaporne plasti. Tu celo nekaj deset metrov višji dimnik ne pomeni bistvenega izboljšanja, vse dokler ni tako visok, da odvaja dimne pline iz kotlinskega jezera hladnega zraka. Za to pa bi moral biti v večini naših kotlin visok nad 120 m. To pa je večinoma smiselno le tedaj, če je v njem združena dovolj velika emisija (več porabnikov).

Dodatne popravke za višji dimnik lahko terjajo posebne okoliščine kot je npr. bližina rekreacijskih objektov, bolnic, šol ipd. Na področjih, ki so izrazito turistična, pa je navadno spet treba poseči po drugačnih rešitvah za zmanjšanje onesnaženja zraka.

Vidimo, da je obravnavana problematika zelo kompleksna, vendar pa menimo, da je za manjše in srednje vire ob sliki 2 in analizah za popravke ter z upoštevanjem vsega povedanega, možno razmeroma preprosto oceniti približno potrebno višino nekega dimnika pri nas že na podlagi osnovnih podatkov.

ZAHVALA

Avtorja sva dolžna zahvalo Bogdanu Babšku, dipl.ing. iz inženirskega biroja Elektroprojekt za nekatere koristne podatke o emisijskih parametrih in izkoristkih kotlov za proizvodnjo pare.

LITERATURA

- / 1/ Rakovec J.: Vertikalni profili vetra v prizemni turbulentni plasti. Razprave-Papers DMS XIV, Ljubljana 1972.
- / 2/ Air Pollution Handbook, ed. by P. L. Magill, F. R. Holden and C. Ackley, pogl. 5. McGraw-Hill, New York 1956.
- / 3/ Petkovšek Z. in sod.: Širjenje onesnaženja zraka v kotlinah - I. faza. Poročilo za Sklad Borisa Kidriča SBK 784/269-72, Ljubljana 1973.
- / 4/ Petkovšek Z.: Širjenje onesnaženja v kotlinah. Zaštita atmosfere, leto 2, št. 3., Sarajevo 1974.
- / 5/ Briggs G. A.: Plume Rise. U.S. Atomic Energy Commission, Office of Inform. Services, Oak Ridge, Tenn. 1969.
- / 6/ Gilbert T.: Probleme bei der Berechnung von Schorsteinhöhen in Internationaler Sicht. Proceedings of the Third Int. Clean Air Congress Düsseldorf. VDI-Verlag GmbH, Dusseldorf 1973.
- / 7/ Brummage K. G.: The Calculation of Atm. Dispersion from a Stack. Round Table on Plume Rise and Atm. Dispersion. Atm. Env. Vol. 2, No. 3, 1968.
- / 8/ Berljand M. E. in sod.: O rasčete zagrzaznenija atmosfery vybrosami iz dymovyh trub elektrostacij. Trudy glavnoj geofiz. obs. imeni A. J. Voejkova, vypusk 158. Gidrometeoizdat, Leningrad 1964.
- / 9/ Trampf W.: Formeln zur Berechnung der Schornsteinüberhöhung speziell für Grossemittenten und für kalte Quellen. Inst. für theor. Met. der Freien Univ. Berlin, Berlin 1973.
- /10/ Bringfelt B.: Plume rise measurement at industrial chimneys. Atm. Env. Vol. 2, No. 6, 1968.
- /11/ Schiedel Handbuch. Herausgeber und Radaktion: Schiedel Kaminwerke, St. Veit a. d. Glan, 1974.
- /12/ Paradiž B.: Vrednost enačb za določanje efektivnih višin dimnikov pri kritičnih vremenskih razmerah. Zbornik radova I. Jug. Kongresa HIPT, III. knjiga, Beograd 1971.
- /13/ Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft; Gemeinsames Ministerialblatt, 25. Jahrgang, Nr. 24, Bundesministerium des Innern, Bonn 1974.
- /14/ Berljand M. E.: Atmospheric diffusion investigations in the U.S.S.R., Appendix to: Dispersion and forecasting of air pollution. WMO-No. 319. WMO, Geneva 1972.
- /15/ Dokumentacija za sanacijo Termoelektrarne Trbovlje za zmanjšanje koncentracij SO₂ v Zasavju. Tehn. poročilo. Hidrometeorološki zavod SR Slovenije, Ljubljana 1974.

O PORAZDELITVI LETNIH EKSTREMOV NALIVOV V SLOVENIJI
ABOUT THE DISTRIBUTION OF YEARLY EXTREMES OF SHOWERS IN
SLOVENIA

551.577.37:519.2

JOŽE ROŠKAR
Meteorološki zavod SRS, Ljubljana

SUMMARY

The negative sign of constant k which gives the density function of yearly extremes of showers was tested. Jenkinson /1/ supposed that constant k , which is found in the general solution of Fisher-Tippet's equation

$$x = a(1 - e^{-ky}),$$

has the negative sign for showers. The prediction of extreme intensities of showers for a defined period depends to a great extent on the sign of constant k . In this paper it is shown that Jenkinson's supposition is doubtful if applied on yearly extremes of showers in Slovenia. According to Jenkinson, the probability that the constant k has a positive sign if applied on any set of data for showers, is very close to zero. In our example this probability is 0.64. This value shows that constant k for showers in Slovenia has a positive sign as a rule. The consequence of this statement is that another basis must be taken for prediction of extremes showers. These can be found in a more general solution of Fisher-Tippet's equation.

POVZETEK

Testirali smo negativnost koeficienta k za gostoto verjetnosti letnih ekstremov nalivov. A. F. Jenkinson /1/ je domneval, da je konstanta k , ki nastopa pri splošni rešitvi Fisher-Tippetove enačbe, negativna. Fisher-Tippetova funkcijska enačba je

$$P^S(x) = P(a_s + b_s),$$

za katero je Jenkinson našel naslednjo rešitev

$$x = a(1 - e^{-ky}).$$

Od znaka konstante k v gornji rešitvi je močno odvisna ocena napovedi ekstrema za neko določeno obdobje. V tem prispevku smo pokazali, da je Jenkinsonova

domneva dvomljiva vsaj za letne ekstreme nalivov v Sloveniji. Po Jenkinsonu bi morala biti verjetnost, da je konstanta k poljubnega niza podatkov o nalivih pozitivna, zelo blizu 0. V našem primeru pa je ta verjetnost ocenjena na 0.64, kar kaže, da so konstante k za nalive v Sloveniji praviloma pozitivne. Posledica te ugotovitve je vprašanje, kako sedaj računati ocene za napoved ekstremnih nalivov. Verjetno bo treba najti splošnejšo rešitev Fisher-Tippetove funkcijske enačbe.

UVOD

Sistematična meteorološka opazovanja obsegajo relativno kratko časovno dobo. V praksi pa nas določeni problemi nemalokrat postavijo pred nalogo, napovedati ekstreme za neki parameter vremena za daljšo dobo, za recimo 50, 100 ali več let. Seveda lahko nalogo rešimo le na osnovi obstoječih opazovanj. V Sloveniji so nizi opazovanj dokaj kratki. Večina sistematičnih opazovanj se je začela po drugi svetovni vojni; redki so kraji, ki se ponašajo z daljšimi nizi podatkov (Ljubljana - 125 let). Kljub temu pa se le da nekaj narediti. Fisher in Tippet sta že leta 1928 postavila funkcijsko enačbo, s katero se lahko dobi porazdelitvena funkcija za ekstreme. V statistični teoriji so zelo redki avtorji, ki se ukvarjajo z anomalijami dane populacije. Eden od njih je A. F. Jenkinson. Ob rešitvi Fisher-Tippetove enačbe je razvil nekaj splošnih prijemov za praktično aplikacijo v meteorologiji.

Njegovo metodo smo preiskusili za nalive v Sloveniji. Podatki o nalivih so posebno pomembni pri nizkih gradnjah, kot so ceste, melioracije, kanalizacije itd. Rezultati, ki smo jih dobili, pa se ne ujemajo z predpostavkami avtorja metode. Naloga tega prispevka je, da prikažemo razhajanja, ki smo jih ugotovili, in nakažemo možnosti, da se odstopom od domnev teorije izognemo.

JENKINSONOVA REŠITEV FISHER-TIPPETOVE FUNKCIJSKE ENAČBE

Fisher in Tippet sta že leta 1928 pokazala, da lahko dobimo porazdelitveno funkcijo za ekstreme po funkcijski enačbi

$$P^S(x) = P(a_s + b_s), \quad (1)$$

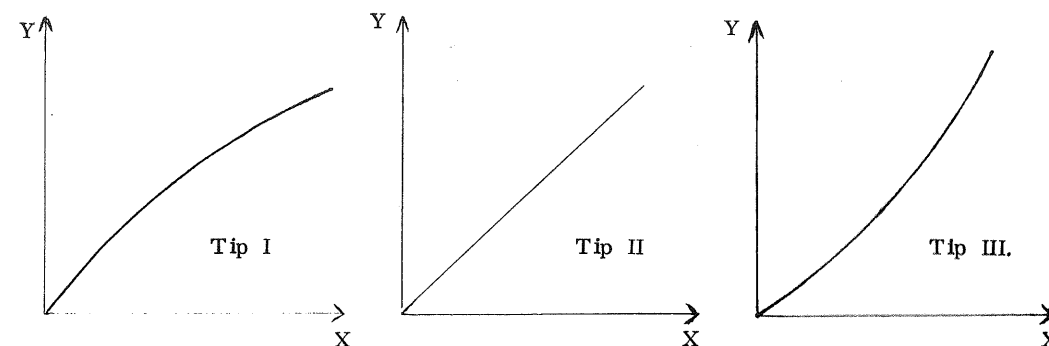
kjer sta a_s in b_s funkciji od s . Jenkinson je v /1/ pokazal, da je krivulja

$$x = a(1 - e^{-ky}), \quad (2)$$

kjer je $ak \geq 0$, splošna rešitev enačbe (1). V naravi najdemo po Jenkinsonu tri tipične oblike krivulje (2):

- | | | |
|------------|---|----------|
| 1. $k < 0$ | - | tip I |
| 2. $k = 0$ | - | tip II |
| 3. $k > 0$ | - | tip III. |

Te oblike prikazuje slika 1.



Slika 1 Tipične oblike krivulj, ki jih najdemo v naravi.

Po avtorju /1/ ustreza oblika po tipu I nalivom in maksimalnim padavinam, oblika po tipu II pritisku, oblika po tipu III pa temperaturam in pretokom. Nas zanima torej tip I, kadar je $k < 0$. Poglejmo, kakšne so mejne vrednosti v tem primeru:

$$\begin{aligned} y &= -\infty, & x &= a, & dy/dx &= \infty; \\ y &= 0, & x &= 0, & dy/dx &= 1/ak; \\ y &= \infty, & x &= \infty, & dy/dx &= 0. \end{aligned}$$

Zaradi narave problema je razumljivo, da lahko izmerimo posamezne nalive, ki so ekstremno visoki, kar se sklada z mejnimi vrednostmi.

Ob rešitvi (2) si oglejmo gostoto porazdelitve za ekstreme. Po /1/ lahko gostoto porazdelitve maksimalnih vrednosti za obdobje T časovnih enot zapišemo kot

$$dP = d(e^{-Te^{-y}}). \quad (3)$$

Pričakovana vrednost v T časovnih enotah je potem

$$E(X_T) = \int_{-\infty}^{\infty} x d(e^{-Te^{-y}}) = \int_{-\infty}^{\infty} a(1 - e^{-ky}) d(e^{-Te^{-y}}). \quad (4)$$

Vidimo, da je pričakovana vrednost $E(X_T)$ bistveno odvisna od predznaka konstante k . Pri negativni konstanti dobimo mnogo večje vrednosti kot pri pozitivni. Ta ugotovitev se sklada tudi z naravo nalivov, namreč da lahko izmerimo zelo ekstremne vrednosti. Pri računanju $E(X_T)$ za nekatere kraje v Sloveniji smo ugotovili, da je konstanta k pozitivna, kljub temu da smo obravnavali nalive. To nas je privedlo do natančnejšega testiranja negativnosti ali pozitivnosti konstante k za čimveč krajev v Sloveniji, za katere razpolagamo z relativno daljšimi nizi opazovanj. Test naj potrdi ali zavrže domnevo, da je konstanta k za nalive negativna.

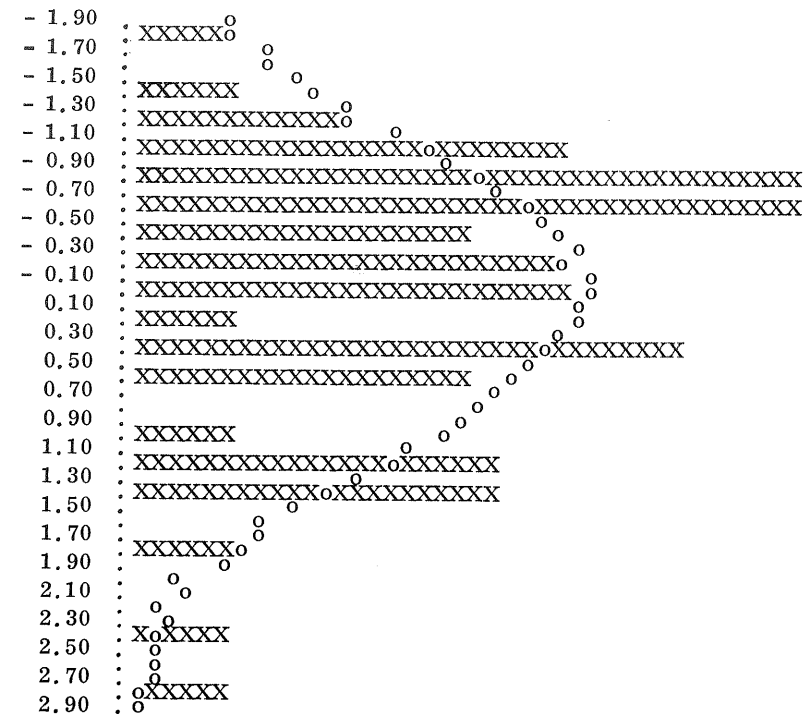
TESTIRANJE NEGATIVNOSTI KONSTANTE k

V tabeli 1 in 1a so izračunane vrednosti konstante k za izbrane kraje v Sloveniji. Za vsak kraj smo izračunali konstanto k za 10 minutni, 1 urni in 6 urni naliv. Vse skupaj smo vzeli kot enotno populacijo, saj nas zanima samo negativnost ali pozitivnost. Prav tako je število let opazovanj v posameznih krajih različno, to pa je spet brez pomena glede na problem, ki smo si ga zastavili. Imamo torej 51 različnih konstant k ; naloga je ugotoviti, ali so praviloma pozitivne ali negativne. Najprej ugotovimo, kakšna je porazdelitev za konstanto k iz tabel 1 in 1a. Poprečna vrednost je $\bar{k} = 0.0053$, vzorčna varianca ali standardna deviacija pa $s^2 = 0.0466$. Slika 2 nam predstavlja to porazdelitev. S χ^2 - kvadrat testom ugotovimo, da je normalna porazdelitev s parametroma \bar{k} in s^2 različna od empirične iz tabel 1 in 1a le z zelo velikim tveganjem. Dobimo $\chi^2 = 9.5$ pri 10 prostostnih stopnjah, kar nam da tveganje približno 0.5.

Iz slike 2 je tudi razvidno, da je empirična porazdelitev asimetrična in pomaknjena v levo. Z ustrezno transformacijo jo je mogoče pomakniti v desno. Izvedimo tako transformacijo:

$$y + a = e^x, \text{ ali} \\ \ln(y + a) = x. \quad (5)$$

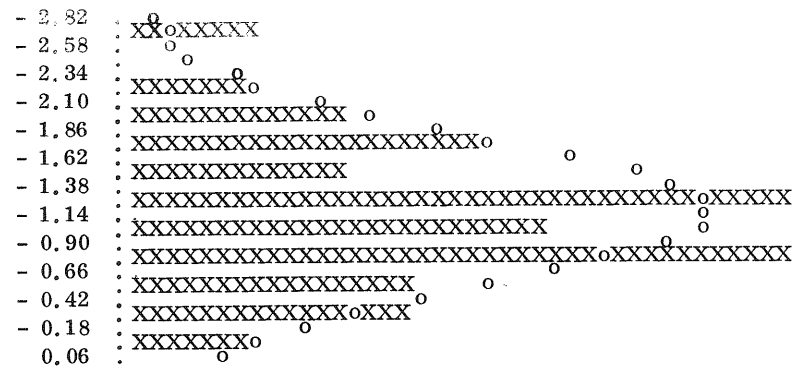
Osnovno porazdelitev pomaknimo za a v desno, da lahko definiramo logaritem. Za a vzemimo minimum osnovne populacije, torej $a = -0.3770$.



Slika 2 Empirična in teoretična porazdelitev osnovne populacije konstante k ; empirično predstavljajo X - i (vsak $X = 0.30\%$), teoretično pa krogci. Podatki so normirani.

Sedaj predpostavljamo, da je porazdelitev, ki smo jo tako dobili, normalna s parametri μ in σ^2 , torej $N(\mu, \sigma^2)$. Naša osnovna porazdelitev bi naj bila torej logaritemsko normalna. To moramo seveda preveriti. Pri tem naletimo na prvo težavo pri izbiri števila celic. Ker pa to ni problem te naloge, navedemo samo tabelo, v kateri so za različno število celic izračunani χ^2 in ustrezajoča tveganja (Tabela 2). Očitno je, da so razlike med tako dobljeno teoretično in empirično porazdelitvijo manjše, kot v primeru brez transformacije. Za nadaljno obravnavo je vseeno, koliko celic vzamemo, saj smo v vseh primerih, razen pri koraku $\Delta x = 0.3$, dobili iste ocene za μ in σ^2 . Izberimo si tako $\Delta x = 0.24$; imamo 11 celic. Porazdelitev v tem primeru predstavlja slika 3. Vidimo, da res izgubimo precej asimetrije, ki smo jo imeli v primeru na sliki 2. Oцени za μ in σ^2 sta v tem primeru: $\hat{\mu} = -1.1572$ in $\hat{\sigma}^2 = 0.3816$. Izračunajmo maksimalno likelihood oceno za ta primer. Iz $/2/$ vzemo, da je ta ocena za logaritemsko normalno porazdelitev naslednja

$$\hat{\mu} = \hat{E}(z) = e^{\bar{x} + s^2/2},$$



Slika 3 Empirična in teoretična porazdelitev logaritemske populacije konstante k; empirično predstavljajo X - i (vsak X = 0.45%), teoretično pa krogi.

kjer je \bar{x} ocena za pričakovano vrednost logaritemsko normalne porazdelitve, s^2 pa ocena za varianco. V našem primeru lahko torej napišemo

$$\hat{V} = \widehat{E(y + a)} = e^{\hat{\mu} + \hat{\sigma}^2/2}. \quad (6)$$

Upoštevač transformacijo (5) dobimo maksimalno likelihood oceno za osnovno porazdelitev

$$\hat{V}_0 = \hat{V} - a. \quad (7)$$

Kakšne vrednosti lahko zavzame tako dobljena ocena? Po [2] je razlika $n \sqrt{V_0}(\hat{V}_0 - V_0)$ porazdeljena asimptotično normalno s porazdelitvijo $N(0, i^{-1})$, kjer je i Fisherjeva mera informacije, definirana na sledeč način:

$$i(V) = -E(\partial^2 \log f(x; V) / \partial V^2). \quad (8)$$

Imamo torej

$$\sqrt{i n} (\hat{V}_0 - V_0) \overset{a}{\sim} N(0, 1). \quad (9)$$

Za naš primer smo izračunali Fisherjevo mero informacije v dodatku. Upoštevač (9) bo interval zaupanja s tveganjem naslednji

$$\hat{V}_0 - z_{\alpha} / \sqrt{i n} \leq \hat{V}_0 \leq \hat{V}_0 + z_{\alpha} / \sqrt{i n}. \quad (10)$$

Izberimo si 5% tveganje in izračunajmo interval zaupanja za naš primer. Dobi-

mo

$$z_{0.05} / \sqrt{i n} = 0.0125$$

in je interval zaupanja

$$-0.0091 \leq \hat{V}_0 \leq 0.0159. \quad (11)$$

Sedaj se vprašajmo, kolikšna je verjetnost, da je \hat{V}_0 negativen. Odgovor na to je tudi odgovor na naš problem. Imamo dva dogodka:

- A_1 je dogodek, da se unija danih podintervalov, ki pokrivajo \hat{V}_0 , ujema s negativnim poltrakom (da mi lahko trdimo, da je prava vrednost \hat{V}_0 negativna);
- A_2 je dogodek, da se unija danih podintervalov, ki pokrivajo \hat{V}_0 , ujema s pozitivnim poltrakom (da mi lahko trdimo, da je prava vrednost \hat{V}_0 nenegativna).

Če upoštevamo interval zaupanja (11), dobimo

$$\begin{aligned} P(A_1) &= 0.36 \\ P(A_2) &= 0.64. \end{aligned} \quad (12)$$

Gre za residualni verjetnosti, ki ju lahko vzamemo za oceno verjetnosti dogodkov A_1 in A_2 . Torej je verjetnost, da je poljuben k iz našega osnovnega vzorca pozitiven, precej večja od verjetnosti, da je negativen.

ZAKLJUČEK

Tako smo vsaj za slovenski prostor ugotovili, da je vprašljiva domneva, da je konstanta k iz enačbe (2) za nalive negativna. To dejstvo seveda precej spremeni uporabo Jenkinsonove teorije. Iz enačbe (4) je jasno, da je pričakovana vrednost $E(X_T)$ močno odvisna od predznaka konstante k . Vsekakor pa metode, opisane v [1] ne moremo uporabiti v primeru, ko je konstanta k pozitivna, pa čeprav gre v bistvu samo za ocene. Postavlja se vprašanje, če nimamo morda prekratkih nizov podatkov. Toda tudi pritrđen odgovor nas ne odvezuje razširitev rešitve (2), saj smo postavljeni velikokrat pred nalogo, napovedati ocene absolutnih ekstremov za daljšo dobo, čeprav imamo na razpolago kratek niz.

ZAHVALA

Zahvaljujem se tov. dipl.ing.mat. Veljku Boletu za izčrpne nasvete pri obravnavi tega problema.

LITERATURA

- /1/ A. F. Jenkinson: The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements; Quaterly journal of the royal meteorological society, No. 348, London, 1955.
- /2/ Alexander M. Mood and Franklin A. Graybill: Introduction to the theory of statistics; McGraw-Hill book Company, New York, 1963.
- /3/ Vladimir Vranić: Vjerojatnost i statistika; Tehnička knjiga, Zagreb, 1965.
- /4/ Arhiv Meteorološkega zavoda SRS, Ljubljana.

Kraj	Naliv	Število let opazovanj	k	ln (k + 0.3770)
MARIBOR	10 ^m	27	0.084	-0.774
	1 ^h	27	0.111	-0.717
	6 ^h	27	0.251	-0.465
LJUBLJANA	10 ^m	25	-0.059	-1.146
	1 ^h	25	-0.184	-1.645
	6 ^h	25	-0.120	-1.359
ŠMARTNO PRI SLOVENJGRADCU	10 ^m	20	0.000	-0.976
	1 ^h	20	-0.304	-2.617
	6 ^h	20	0.299	-0.392
KOPER	10 ^m	16	0.239	-0.485
	1 ^h	16	0.098	-0.744
	6 ^h	16	0.379	-0.280
BOVEC	10 ^m	14	0.604	-0.019
	1 ^h	14	0.084	-0.774
	6 ^h	14	-0.269	-2.226
ČEPOVAN	10 ^m	15	0.214	-0.526
	1 ^h	15	-0.168	-1.565
	6 ^h	15	-0.234	-1.945
SAVICA	10 ^m	25	0.111	-0.717
	1 ^h	25	0.516	-0.113
	6 ^h	25	-0.136	-1.423
RAKITNA	10 ^m	16	0.070	-0.805
	1 ^h	16	-0.136	-1.423
	6 ^h	16	0.070	-0.805
NOVO MESTO	10 ^m	21	0.111	-0.717
	1 ^h	21	-0.184	-1.645
	6 ^h	21	-0.120	-1.359
MURSKA SOBOTA	10 ^m	16	-0.044	-1.100
	1 ^h	16	-0.014	-1.013
	6 ^h	16	0.043	-0.868
BRNIK	10 ^m	10	-0.089	-1.245
	1 ^h	10	-0.105	-1.302
	6 ^h	10	-0.044	-1.100
ČRNOMELJ	10 ^m	10	-0.201	-1.737
	1 ^h	10	-0.234	-1.945
	6 ^h	10	0.275	-0.428

Tabela 1 Podatki za konstanto k in ln(k + 0.3770) po posameznih postajah.

Kraj	Naliv	Število let opazovanj	k	ln (k + 0.3770)
GOMANCE	10 ^m	13	-0.059	-1.146
	1 ^h	13	-0.014	-1.013
	6 ^h	13	-0.120	-1.359
JAVORJE	10 ^m	11	0.310	-0.375
	1 ^h	11	-0.184	-1.645
	6 ^h	11	-0.168	-1.565
POSTOJNA	10 ^m	11	-0.074	-1.194
	1 ^h	11	-0.120	-1.359
	6 ^h	11	-0.014	-1.013
TEMNICA	10 ^m	13	-0.184	-1.645
	1 ^h	13	-0.269	-2.226
	6 ^h	13	-0.3770	./.
VEDRIJAN	10 ^m	11	-0.234	-1.945
	1 ^h	11	0.322	-0.358
	6 ^h	11	-0.304	-2.617

Tabela 1a Nadaljevanje tabele 1.

n	Δx	P	χ ²
15	0.18	0.97	6.6
13	0.20	0.99	1.5
12	0.22	0.85	7.4
11	0.24	0.93	5.1
10	0.26	0.80	6.2
10	0.28	0.91	4.2
9	0.30	0.96	2.8
8	0.32	0.92	3.0
8	0.34	0.85	4.3
7	0.36	0.97	1.7
7	0.38	0.99	1.1

Tabela 2 χ² in ustrezne verjetnosti za različno število celic logaritemske populacije konstante k.

DODATEK

Po definiciji Fisherjeve mere informacije potrebujemo gostoto verjetnosti za naš primer. Ta je

$$f(y; \hat{\nu}) = e^{-(\log(y+a) - \hat{\mu})^2 / 2 \hat{\sigma}^2} / (y+a)$$

oziroma, ako postavimo substitucijo $u = y + a$, dobimo

$$f(u; \hat{\nu}) = (1/u) e^{-(\log u - \hat{\mu})^2 / 2 \hat{\sigma}^2}$$

Po logaritmiranju dobimo

$$\log f(u; \hat{\nu}) = -\log u - (1/2 \hat{\sigma}^2) (\log u - \hat{\mu})^2$$

Če upoštevamo maksimalno likelihood oceno (6), dobimo

$$\log f(u; \hat{\nu}) = -\log u - (\log u - \hat{\mu})^2 / 4 (\log \hat{\nu} - \hat{\mu})$$

Po dvakratnem odvajanju na $\hat{\nu}$ dobimo

$$\partial^2 \log f(x; \hat{\nu}) / \partial \hat{\nu}^2 = -M (\log u - \hat{\mu})^2$$

kjer je

$$M = -(4 + \hat{\sigma}^2) / \hat{\nu}^2 \hat{\sigma}^6$$

Tako imamo

$$i(\hat{\nu}) = -M \int_0^{\infty} (1/u) (\log u - \hat{\mu})^2 e^{-(\log u - \hat{\mu})^2 / 2 \hat{\sigma}^2} du$$

Po substituciji $\log u = v$ dobimo

$$i(\hat{\nu}) = -M \int_{-\infty}^{\infty} (v - \hat{\mu})^2 e^{-(v - \hat{\mu})^2 / 2 \hat{\sigma}^2} dv = -M \hat{\sigma}^2$$

Tako je torej

$$i(\hat{\nu}) = (4 + \hat{\sigma}^2) / \hat{\nu}^2 \hat{\sigma}^4$$

V našem primeru, ko je $\hat{\mu} = -1.1572$ in $\hat{\sigma}^2 = 0.3816$, je

$$i(\hat{\nu}_0) = 209.0$$

POPRAVKI

Stran 8: V predzadnjem odstavku: - glavni krog s površino πr_1^2 , katerega normala ima smer \vec{s} .

Stran 9: Enačba (2) je pravilno: $j_D = k(z) \left[I_0 q_a^m - I_0 (q_a q_s)^m \right] \cos z$

Stran 13: V tretjem odstavku: nagib pobočja ε ,

Stran 30: V prvem odstavku: nad njim pa so še topli jugozahodni vetrovi.

Stran 45: Pred enačbo (2): zaradi vztrajnosti in vzgona (ΔH):

Stran 65: Enačba (4) je pravilno:

$$E(X_T) = \int_{-\infty}^{\infty} x d(e^{-Te^{-y}}) = \int_{-\infty}^{\infty} a(1-e^{-ky}) d(e^{-Te^{-y}}). \quad (4)$$

Stran 68: Za enačbo (7) je tekst pravilno:

Po /2/ je razlika $\sqrt{n} (\hat{v}_0 - v_0)$ porazdeljena ...