

RAZPRAVE  
PAPERS

Letnik 24  
2

VSEBINA - CONTENTS

Stran

- B. LOGAR: Časovne in prostorske korelacije med  
temperaturami zraka v Ljubljani in nad njo  
Temporal and spatial correlations between  
air temperatures in and above Ljubljana..... 49
- Z. PETKOVŠEK: Klimatski model za oceno zmanjšanja energije  
sončnega obsevanja v kotlinah zaradi megle in  
onesnaženja zraka  
Climatic model for estimation of insolation  
energy reduction in basins by fog and air  
pollution..... 65
- L. ŽITNIK,  
B. LOGAR: Klasifikacija vremenskih tipov s posebnim  
ozirom na lokalni razvoj vremena  
Classification of weather patterns with special  
reference to local weather development..... 79
- M. GAJIĆ-  
ČAPKA: Utjecaj promjene termina motrenja na mjesečni  
srednjak temperature zraka  
The effect of changes of observation hours on  
mean monthly air temperature..... 95

ČASOVNE IN PROSTORSKE KORELACIJE MED TEMPERATURAMI  
ZRAKA V LJUBLJANI IN NAD NJO

TEMPORAL AND SPATIAL CORRELATIONS BETWEEN AIR TEM-  
PERATURES IN AND ABOVE LJUBLJANA

Bojan LOGAR  
Hidrometeorološki zavod SRS, Ljubljana

551.506.3 : 551.524.1  
551.5 : 681.3

SUMMARY

Multiple linear regression was used as a statistical model to correlate the air temperature in Ljubljana with the temperature at the 850 and 700 mb level above Ljubljana, with the surface temperature in Ljubljana, with previously observed temperatures in Ljubljana, and with the cosine of the day of the year. Data are considered for the period from 1<sup>st</sup> January 1974 to 31<sup>st</sup> July 1978.

The temperature in Ljubljana was correlated firstly with one predictor temperature at a time, and afterwards with more of them simultaneously. The regressions were computed on the unstratified data and on the three-months stratified data. Besides the regression coefficients, the correlation coefficient and the standard error of the estimate (SEE) was also computed for every regression.

The regressions were compared among themselves on the basis of their SEE-s. The SEE-s for different seasons differ significantly. The greatest differences appear between winter and summer or spring. The SEE is always greater at midday than in the morning or in the evening. For the correlation with surface temperature the SEE is 2.4°C at 14.00 h and 1.8°C at 7 and 21.00 h, for instance (Table 7). This correlation is the best, with the largest correlation coefficients (0.97) and with the smallest SEE-s in general.

## POVZETEK

Večkratno linearno regresijo smo vzeli za statistični model povezave temperature zraka v Ljubljani s temperaturo na 850 oziroma 700 mb ploskvi nad Ljubljano, s temperaturo tal v Ljubljani, s poprej izmerjenimi temperaturami v Ljubljani ter s cosinusom dneva v letu. Temperaturo zraka v Ljubljani smo najprej korelirali z vsakim od naštetih prediktorjev posebej, nato pa še s kombinacijami več prediktorjev naenkrat. Najprej za celo leto, nato pa še po letnih časih. Med regresijami primerjamo njihove korelacijske koeficiente in standardne napake ocen.

## UVOD

Naš namen je bil, da raziščemo statistične povezave temperature zraka pri tleh s temperaturo zraka na 850 in 700 mb ploskvi, s poprej izmerjenimi temperaturami zraka pri tleh, s cosinusom dneva v letu ter s temperaturo tal. Omejili smo se na podatke iz Ljubljane, in sicer na terminske, izmerjene ob treh terminih (7 h, 14 h in 21 h) v obdobju od 1. Jan. 1974 do 31. Jul. 1978. Temperaturne vrednosti na obeh višinskih ploskvah smo dobili z interpolacijo vrednosti, ki so jih izmerili z radiosondami v Zagrebu in Vidmu. Temperaturo tal smo v raziskavo vključili zato, ker bi lahko bila prognostična temperatura tal pri objektivnem prognoziranju temperature zraka pri tleh eden izmed važnejših prediktorjev. Računati bi jo bilo namreč mogoče prognostično, saj je pri nas za ta namen Rakovec (1, 2) izdelal numerični model, ki temelji na energijski bilanci tal in je z njim na podatkih za Novo mesto simuliral dnevni hod temperature zraka pri tleh. Računali smo linearne regresije ter korelacijske koeficiente in standardne napake ocen, s katerimi smo merili kvaliteto regresij. Najprej smo korelirali temperaturo zraka pri tleh z vsakim od naštetih prediktorjev posebej, nato s kombinacijami več prediktorjev naenkrat, nazadnje pa smo jo z dvema kombinacijama korelirali še za vsak letni čas posebej.

## METODA LINEARNE REGRESIJE

Regresijska funkcija ali regresija je funkcija za ocenitev vrednosti odvisne spremenljivke (prediktanda)  $y$ , glede na vrednosti neodvisnih spremenljivk (prediktorjev)  $x_i$ . Če je pričakovana funkcijska odvisnost

linearna, govorimo o linearni regresiji:

$$y(x) = b_0 + \sum_{i=1}^m b_i \cdot x_i, \quad (1)$$

kjer je  $m$  število prediktorjev,  $b_k$  ( $k=0, 1, \dots, m$ ) pa so regresijski koeficienti. Te se določi po metodi najmanjših kvadratov iz vzorčnih podatkov o vrednostih spremenljivk  $y$  in  $x_i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ).

Mero za stopnjo povezanosti med prediktandom in prediktorji predstavlja korelacijski koeficient. Če imamo  $N$  ( $m+1$ )-teric vzorčnih podatkov in so  $y^j$  ter  $x_i^j$  ( $i=1, 2, \dots, m$ )  $j$ -ta ( $m+1$ )-terica, potem je korelacijski koeficient  $r$  za regresijo (1) definiran takole:

$$r = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^N (y^j - y(x^j))^2}}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (y^j - \bar{y})^2}}, \quad (2)$$

kjer je:  $\bar{y} = (1/N) \cdot \sum y^j$ ,  $y(x^j)$  pa z  $j$ -to  $m$ -terico vrednosti prediktorjev ocenjena vrednost prediktanda  $y$ . Korelacijski koeficient zavzame vrednost med 0 in 1. Prediktand je s prediktorji v regresiji (1) za neke vzorčne podatke močno povezan, če zavzame korelacijski koeficient  $r$  vrednost blizu 1.

Poleg regresije in koeficienta korelacije lahko na istih vzorčnih podatkih računamo tudi standardno napako ocene, SE. Ta meri v primeru linearne regresije razpršenost vzorčnih vrednosti  $y^j$  okrog regresijske hiperravnine (1). Definirana je takole:

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (y^j - y(x^j))^2}{N - m}} \quad (3)$$

## KORELACIJE Z ENOSTAVNO LINEARNO REGRESIJO

Korelacija z linearno regresijo je enostavna, če nastopa v (1) le en predikator, torej če je  $m=1$ . Za prediktande smo vedno vzeli temperature zraka pri tleh ob 7h, 14h ali 21h in jih označili s T7, T14 oziroma T21. Temperature ob istih terminih prejšnjega dne smo označili s T7', T14' oziroma T21'.

Zaradi primerjave smo za vse obdobje opazovanj najprej izračunali srednje vrednosti in standardne deviacije ter izrisali frekvenčne histograme interdiurnih sprememb temperature zraka pri tleh ob vseh treh terminih (slika 1). Porazdelitve interdiurnih sprememb temperature niso normalne. Koeficienti sploščenosti imajo za normalne porazdelitve vrednost 3.0, za porazdelitve interdiurnih sprememb temperature pa 5.1, 4.2 in 4.2 za termine ob 7h, 14h in 21h. Porazdelitve so v primerjavi z normalnimi z enakimi srednjimi vrednostmi in standardnimi deviacijami bolj koničaste, kar se vidi tudi na sliki 1. Primitivno interdiurno temperaturno persistenco pa lahko opišemo tudi z enostavno linearno regresijo (1), če vzamemo za  $b_1 = 1$ , za  $b_0$  enako srednji vrednosti in za standardno napako ocen kar standardno deviacijo interdiurnih sprememb temperature. Rezultati so za vse tri termina v taki obliki predstavljeni v tabeli 1. Standardna deviacija interdiurnih sprememb temperature ob 14h je 3.7 stopinje, za termina ob 7h in 21h pa sta standardni deviaciji za 0.9 oziroma 1.0 stopinjo manjši. To si lahko razlagamo z veliko variabilnostjo toplotnega toka, ki pride zaradi sončnega sevanja poldnevi do tal.

Temperaturo zraka smo nato s temperaturo zraka prejšnjega dne ob istem terminu korelirali še tako, da smo regresijska koeficienta v (1) res izračunali po metodi najmanjših kvadratov. Rezultati v tabeli 2 kažejo, da so se standardne napake ocen, SE, ob vseh treh terminih v primerjavi s primitivno persistentno metodo (tabela 1) zmanjšale za 0.1 stopinje. Od korelacijskih koeficientov, r, ki za termine ob 7h, 14h in 21h znašajo 0.92, 0.91 oziroma 0.93, se je spremenil le tisti ob 7h, in še to le za 0.01. Za vsak termin se da dokazati, da bi bila z regresijo (1) in regresijskimi koeficienti

v tabeli 2 ocenjena jutrišnja temperatura nekoliko višja (nižja) od današnje natanko takrat, kadar bi bila današnja temperatura nižja (višja) od srednje temperature vsega obdobja opazovanj. Srednje temperature naših treh terminskih nizov so: 6.9, 13.8 in 9.7 stopinj. Razlika med ocenjeno jutrišnjo in današnjo temperaturo bi bila sorazmerna odklonu današnje temperature od srednje temperature. Po tej metodi ocenjevane temperature bi torej težile k srednji temperaturi izbranega obdobja.

Poglejmo še, kako je temperatura zraka korelirana s cosinusom dneva, natančneje s  $\cos(2\pi d/365)$ , kjer je d zaporedna številka dneva v letu. Regresija (1) je v tem primeru aproksimacija za srednji letni hod temperature. Regresijski koeficienti  $b_0$  se od izračunanih srednjih terminskih temperatur razlikujejo za 0.1 stopinje za prva dva termina, za termin ob 21h pa za 0.2 stopinje (tabela 3).  $b_1$  je tukaj amplituda srednjega letnega hoda temperature in znaša 7.9, 10.4 in 8.7 stopinj za temperature ob 7h, 14h oziroma 21h. Standardne napake ocen so se v primerjavi s tistimi za prvi dve korelaciji za več kot eno stopinjo povečale, korelacijski koeficienti pa imajo vrednosti od 0.82 do 0.86. Korelacija je torej bistveno slabša.

Korelirali smo tudi temperature dveh zaporednih terminov (tabela 4). Temperatura ob 14h je s temperaturo ob 7h (istega dne) slabo korelirana. Korelacijski koeficient in standardna napaka ocene sta primerljiva le s tistima pri korelaciji s cosinusom dneva. Temperaturi ob 7h in ob 21h pa sta s temperaturama ob 21 (prejšnjega dne) oziroma 14h (istega dne) bolje korelirani. Standardni napaki ocen sta v obeh primerih 2.1 stopinje, kar je za približno 0.5 stopinje manj kot v primeru, ko smo ju korelirali s temperaturama istega termina prejšnjega dne. Visoka sta tudi koeficienta korelacije: 0.95 in 0.96.

Za temperaturo zraka na 850 in 700 mb ploskvah (T850 in T700) smo vzeli le podatke, ki so jih merili dnevno ob 13h. Zato smo jih korelirali le s temperaturo zraka pri tleh ob 14h. Osnovne statistike za vse tri temperature so za naše obdobje izpisane v tabeli 5. Manjkajo višinska opazovanja za 33 dni, kar pa je manj kot 2 % dolžine zajetega obdobja opazovanj. V povprečju so bile temperature na 850 mb ploskvi za 9 stopinj, na 700 mb pa za približno 18 stopinj nižje kot pri tleh. Srednji vrednosti se s temperaturama na istih višinah v standardni atmosferi, če vzamemo za povprečni vertikalni temperaturni gradient 6.5 stopinj/kilometer, dobro ujemata. Razlika med najvišjo in najnižjo izmerjeno temperaturo z višino pada. Razpršenost okrog srednje vrednosti je večja pri tleh, na 850 in 700 mb ploskvi pa približno enaka. Za korelacijo temperature pri tleh in na 850 mb ploskvi

smo dobili korelacijski koeficient,  $r$ , enak 0.86, standardno napako ocene, SE, pa 4.5 stopinj (tabela 6), kar je enako primeru korelacije temperatur pri tleh ob 14h in 7h (istega dne) in približno enako korelaciji temperature pri tleh ob 14h s sinusom dneva. Temperatura pri tleh in na 700 mb ploskvi sta še slabše korelirani:  $r=0.75$ ,  $SE=5.8$  stopinj.

Na koncu tega razdelka pogledajmo še, kako je s korelacijami med terminskimi temperaturami zraka in temperaturami tal v globini 2 cm (T7g, T14g in T21g). Korelacijski koeficienti so tu doslej najvišji in standardne napake ocen najmanjše (tabela 7). Še posebej velja to za termin ob 14h, ko je  $r=0.96$  in  $SE=2.4$  stopinje. Spet sta standardni napaki ocen za druga dva termina nižji, vendar le za 0.6 stopinje. Velikost standardnih napak ocene, SE, na eni strani pomeni, da bi bila prognozična temperatura tal za prognoziranje temperature zraka pri tleh zelo dober prediktor, na drugi strani pa, da je še vedno treba upoštevati tudi druge vplive, na primer advekcijo zraka, fazne spremembe vode v njem, itd.

#### KORELACIJE Z VEČKRATNO LINEARNO REGRESIJO

Korelacija z linearno regresijo je večkratna, če nastopa v (1) več prediktorjev, torej če je  $m$  večji od 1.

Najprej smo vzeli za prediktorja sinus dneva in temperaturo zraka ob istem terminu prejšnjega dne. Rezultati take korelacije so za vse tri termine prikazani v tabeli 8. Če jih primerjamo z rezultati korelacij temperatur zraka ob istih terminih v dveh zaporednih dneh (tabela 2) vidimo, da so se korelacijski koeficienti povečali za 0.01, standardne napake ocen pa zmanjšale za 0.1 do 0.2 stopinje. Še vedno pa so za 0.7 do 1 stopinje višje od standardnih napak ocen za korelacije s temperaturo tal. Dokazati se da, da z regresijo (1) in z omenjenima dvema prediktorjema ocenjene vrednosti temperature zraka pri tleh težijo k vrednostim srednjega letnega poteka temperature, ki smo ga že linearno aproksimirali s sinusom dneva. To pomeni, da bi bila za jutri prognozirana temperatura zraka nekoliko višja (nižja) od današnje natanko takrat, kadar bi bila današnja temperatura nižja (višja) od tiste v srednjem letnem poteku. Spet bi bila ocenjena interdiurna temperaturna sprememba sorazmerna odmiku temperature prediktorja od temperature srednjega letnega poteka.

Če vzamemo za prediktorje poleg sinus dneva še temperature zraka iz vseh zadnjih treh terminov (na primer za T7 so prediktorji po-

tem:  $\cos(2\pi d/365)$ ,  $T7'$ ,  $T14'$  in  $T21'$ ), sta korelacijska koeficienta in standardni napaki ocen za termina ob 7h in 21h že enaka tistima pri korelaciji s temperaturo tal (tabela 9):  $r=0.97$  in  $SE=1.8$  stopinje za termin ob 7h ter  $SE=1.7$  stopinje za termin ob 21h. Spet je razpršenost največja in korelacijski koeficient najmanjši ob 14h,  $SE=3.3$  stopinje in  $r=0.93$ . Regresijske koeficiente  $b_i$  v regresiji (1) imamo lahko tudi za uteži, ki merijo pomembnost posameznih prediktorjev. Če upoštevamo v tabeli 9, da je treba koeficiente  $b_i$  deliti z amplitudo sinus dneva v srednjem letnem poteku temperature, je za T7 najpomembnejši prediktor  $T21'$  ( $b_4=0.94$ ), najmanj pomemben pa sinus dneva ( $b_1=-0.20/-7.9=0.03$ ). Za T21 sta manj pomembna prediktorja sinus dneva in  $T21'$ , za T14 pa je nepomemben le prediktor T7 ( $b_4=0.03$ ).

Za temperaturo ob 14h smo med prediktorje vključili tudi temperaturi zraka na 850 in 700 mb ploskvi (T850 in T700). Ko smo vzeli za prediktorja obe temperaturi naenkrat, ni bila korelacija s T14 praktično nič boljša kot v primeru, ko smo vzeli le en prediktor, in to T850. Zmanjšala se je malo le standardna napaka ocene, korelacijski koeficient pa je ostal enak (tabela 10a). Zato smo v nadaljevanju upoštevali od višinskih prediktorjev le še temperaturo na 850 mb ploskvi, in to najprej v kombinaciji s sinusom dneva in T14'. V primerjavi s primerom, ko sta bila prediktorja le sinus dneva in T14' (tabela 8), je bila sedaj standardna napaka ocene za 0.3 stopinje nižja, korelacijski koeficient pa za 0.02 višji (tabela 10b). Korelacija se je še povečala, ko smo tem trem prediktorjem dodali še temperaturo tal. Standardna napaka ocene je bila potem za termin ob 14h doslej najmanjša ( $SE=2.1$  stopinje), korelacijski koeficient pa najvišji ( $r=0.97$ ). Da je od vseh štirih prediktorjev za korelacijo najpomembnejša temperatura tal, se vidi tudi iz vrednosti regresijskih koeficientov (tabela 10c).

#### KORELACIJE PO LETNIH ČASIH

Vzeli smo, da traja zima od decembra do februarja, pomlad od marca do maja, poletje od junija do avgusta in jesen od septembra do novembra.

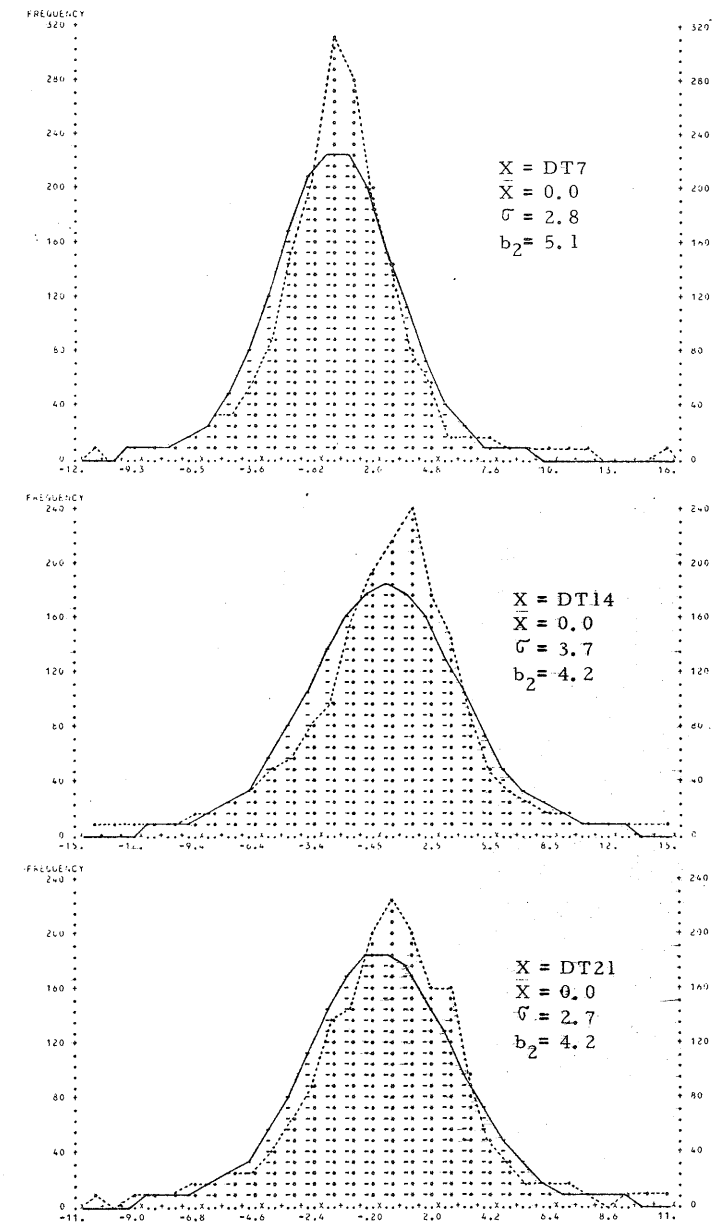
Korelacija terminske temperature s sinusom dneva in temperaturo ob istem terminu prejšnjega dne po letnih časih v tabeli 11 lahko primerjamo s korelacijami v tabeli 8, kjer so te računane za celo leto. Vsi korelacijski koeficienti v tabeli 11 so od tistih v tabeli 8 nižji.

Za pomlad in jesen so vsi med 0.80 in 0.90, za zimo in poletje pa med 0.59 in 0.73, s tem, da je pozimi najnižji za termin ob 7h, poleti pa za termin ob 14h. Primerjava standardnih napak ocen po letnih časih pokaže, da je ta pozimi največja za termin ob 7h, v preostalih treh letnih časih pa so največje ob 14h. Primerjajmo standardne napake ocen še po terminih. Ob 7h je najmanjša poleti in najvišja pozimi. Razlika med njima znaša kar 1.1 stopinje. Standardna napaka ocene za poletje je od celoletne v tabeli 8 manjša za 0.7 stopinje, za zimo pa večja za 0.4 stopinje. Za termin ob 14h je ravno obratno - standardna napaka ocene je najmanjša pozimi, spomladi in poleti pa je za 1.0 oziroma 0.9 stopinje višja. Za termin ob 21h so standardne napake ocen približno enake.

Za termin ob 14h lahko za prediktor vzamemo tudi temperaturo zraka na 850 mb ploskvi. Rezultati kombinacije s cosinusom dneva in termnsko temperaturo prejšnjega dne so po letnih časih prikazani v tabeli 12. V primerjavi s korelacijami brez T850 (tabela 11), se je korelacija najbolj izboljšala poleti in najmanj pozimi. Vendar pa je standardna napaka ocene še vedno najmanjša pozimi (SE=2.6 stopinje). Tudi po regresijskih koeficientih sodeč, je pozimi temperatura T14<sup>po</sup> pomembnejši prediktor kot temperatura T850. Spomladi in poleti pa je obratno - kot prediktor je pomembnejša temperatura T850.

## ZAKLJUČEK

Zaključimo lahko, da so razlike v korelacijah med letnimi časi na splošno tako velike, da bi bilo treba izdelati regresije za prognoziiranje temperature zraka pri tleh za vsak letni čas posebej. Od medtermnskih korelacij velja uporabiti le korelaciji za termina ob 7h in 21h. Vsak od prediktorjev, ki smo jih uporabljali, je v nekem letnem času in ob nekem terminu bolj, v drugem letnem času in ob drugem terminu pa manj pomemben od drugih prediktorjev. Temperatura tal je bila najboljši prediktor. Standardna napaka ocene nikdar ni bila manjša od ene stopinje. Morali bomo statistično raziskati in upoštevati, na primer, še vpliv advekcije zraka, vpliv faznih sprememb vode v njem, vpliv oblačnosti, ipd.



Slika 1 Frekvenčni histogrami in enostavne statistike interdiurnih sprememb temperature zraka ob 7<sup>h</sup>, 14<sup>h</sup> in 21<sup>h</sup>.

Fig. 1 Frequency histograms and some simple statistics of interdiurnal temperature differences at 7.00, 14.00 and 21.00 local time.

Tabela 1 Korelacije interdiurnih temperatur zraka pri  $b_1 = 1$ .

Table 1 Correlations between interdiurnal temperatures for  $b_1 = 1$ .

y	T7	T14	T21
x <sub>1</sub>	T7'	T14'	T21'
N	1672	1672	1672
b <sub>0</sub>	0.0	0.0	0.0
b <sub>1</sub>	1.0	1.0	1.0
r	0.91	0.91	0.93
SE	2.8	3.7	2.7

Tabela 2 Korelacije interdiurnih temperatur zraka.

Table 2 Correlations between interdiurnal temperatures.

y	T7	T14	T21
x <sub>1</sub>	T7'	T14'	T21'
N	1672	1672	1672
b <sub>0</sub>	0.58	1.25	0.66
b <sub>1</sub>	0.92	0.91	0.93
r	0.92	0.91	0.93
SE	2.7	3.6	2.6

Tabela 3 Korelacije temperatur zraka in cosinusa dneva.

Table 3 Correlations of temperature with the cosine of the day of the year.

y	T7	T14	T21
x <sub>1</sub>	$\cos(2\pi d/365)$	$\cos(2\pi d/365)$	$\cos(2\pi d/365)$
N	1673	1673	1673
b <sub>0</sub>	6.8	13.7	9.5
b <sub>1</sub>	-7.9	-10.4	-8.7
r	-0.82	-0.84	-0.86
SE	3.9	4.7	3.8

Tabela4 Korelacije medterminskih temperatur zraka.

Table 4 Correlations between temperatures at two successive observation times.

y	T7	T14	T21
x <sub>1</sub>	T21'	T7	T14
N	1672	1673	1673
b <sub>0</sub>	-1.76	6.24	-1.26
b <sub>1</sub>	0.90	1.10	0.79
r	0.95	0.86	0.96
SE	2.1	4.5	2.1

Tabela5 Enostavne statistike za temperaturo zraka pri tleh ter na 850 in 700 mb ploskvi.

Table 5 Simple statistics of temperatures at the surface and at the 850 and 700 mb level.

x	T14	T850	T700
N	1673	1640	1640
$\bar{x}$	13.8	4.8	-4.1
	8.7	6.1	5.6
min	-8.8	-13.0	-21.5
max	32.8	22.0	9.5

Tabela6 Korelacija temperature zraka pri tleh s tisto na 850 oziroma 700 mb ploskvi.

Table 6 Correlations of temperature at the surface with temperature at the 850 and 700 mb level.

y	T14	T14
x <sub>1</sub>	T850	T700
N	1640	1640
b <sub>0</sub>	7.79	18.50
b <sub>1</sub>	1.23	1.17
r	0.86	0.75
SE	4.5	5.8

Tabela 7 Korelacije temperature zraka in temperature tal

Table 7 Correlations of air temperature with surface temperature.

y	T7	T14	T21
x <sub>1</sub>	T7g	T14g	T21g
N	1673	1673	1673
b <sub>0</sub>	-0.57	2.13	0.86
b <sub>1</sub>	0.96	0.81	0.89
r	0.97	0.96	0.97
SE	1.8	2.4	1.8

Tabela 8 Korelacije temperature zraka s cosinusom dneva in temperaturo zraka ob istem terminu prejšnjega dne .

Table 8 Correlations of temperature with cosine of day and previous day's temperature.

y	T7	T14	T21
x <sub>1</sub>	cos(2 π d/365)	cos(2 π d/365)	cos(2 π d/365)
x <sub>2</sub>	T7'	T14'	T21'
N	1672	1672	1672
b <sub>0</sub>	1.75	4.25	2.44
b <sub>1</sub>	-2.07	-3.25	-2.25
b <sub>2</sub>	0.74	0.69	0.74
r	0.93	0.92	0.94
SE	2.6	3.4	2.5

Tabela 9 Korelacije temperature zraka s cosinusom dneva in temperaturami zraka ob zadnjih treh terminih.

Table 9 Correlations of temperature with cosine of day and temperatures at three previous observation times.

y	T7	T14	T21
x <sub>1</sub>	cos(2 π d/365)	cos(2 π d/365)	cos(2 π d/365)
x <sub>2</sub>	T7'	T14'	T21'
x <sub>3</sub>	T14'	T21'	T7
x <sub>4</sub>	T21'	T7	T14
N	1672	1672	1672
b <sub>0</sub>	-0.53	4.14	0.01
b <sub>1</sub>	-0.20	-2.55	-0.62
b <sub>2</sub>	0.28	0.43	0.08
b <sub>3</sub>	-0.26	0.36	0.28
b <sub>4</sub>	0.94	0.03	0.51
r	0.97	0.93	0.97
SE	1.8	3.3	1.7

Tabela 10 Korelacija temperature zraka  
a) s temperaturo zraka na 850 in 700 mb ploskvi,  
b) s cosinusom dneva, temperaturo zraka prejšnjega dne in temperaturo na 850 mb ploskvi ter  
c) kot v b) in še s temperaturo tal.

Table 10 Correlation of air temperature with  
a) temperature at the 850 and 700 mb levels,  
b) cosine of day, previous day's temperature and temperature at the 850 mb level,  
c) as in b) and surface temperature.

	a	b	c
y	T14	T14	T14
x <sub>1</sub>	T850	cos(2 π d/365)	cos(2 π d/365)
x <sub>2</sub>	T700	T14'	T14'
x <sub>3</sub>		T850	T14g
x <sub>4</sub>			T850
N	1640	1639	1639
b <sub>0</sub>	4.96	5.47	1.00
b <sub>1</sub>	1.52	-3.05	1.34
b <sub>2</sub>	-0.35	0.45	0.15
b <sub>3</sub>		0.44	0.67
b <sub>4</sub>			0.22
r	0.86	0.94	0.97
SE	4.4	3.1	2.1



Tabela 11 Korelacije temperature zraka s cosinusom dneva in temperaturo zraka ob istem terminu prejšnjega dne - po letnih časih.

Table 11 Correlations of temperature with cosine of day and previous day's temperature - for three-month periods.

	zima	pomlad	poletje	jesen
y	T7	T7	T7	T7
x <sub>1</sub>	cos(2 π d/365)	cos(2 π d/365)	cos(2 π d/365)	cos(2 π d/365)
x <sub>2</sub>	T7'	T7'	T7'	T7'
N	419	460	429	364
b <sub>0</sub>	0.93	1.46	3.47	2.61
b <sub>1</sub>	-1.18	-3.00	-0.67	-2.52
b <sub>2</sub>	0.62	0.66	0.73	0.71
r	0.63	0.86	0.73	0.86
SE	3.0	2.6	1.9	2.6

	zima	pomlad	poletje	jesen
y	T14	T14	T14	T14
x <sub>1</sub>	cos(2 π d/365)	cos(2 π d/365)	cos(2 π d/365)	cos(2 π d/365)
x <sub>2</sub>	T14'	T14'	T14'	T14'
N	419	460	429	364
b <sub>0</sub>	4.69	4.04	8.56	5.98
b <sub>1</sub>	-3.90	-2.66	-1.33	-4.70
b <sub>2</sub>	0.67	0.68	0.58	0.64
r	0.72	0.80	0.59	0.88
SE	2.7	3.7	3.6	3.3

	zima	pomlad	poletje	jesen
y	T21	T21	T21	T21
x <sub>1</sub>	cos(2 π d/365)	cos(2 π d/365)	cos(2 π d/365)	cos(2 π d/365)
x <sub>2</sub>	T21'	T21'	T21'	T21'
N	419	460	429	364
b <sub>0</sub>	2.10	2.31	5.49	3.02
b <sub>1</sub>	-1.92	-2.06	-0.80	-2.58
b <sub>2</sub>	0.70	0.73	0.65	0.73
r	0.73	0.85	0.66	0.90
SE	2.4	2.6	2.4	2.3

Tabela 12 Korelacije temperature zraka s cosinusom dneva, temperaturo zraka prejšnjega dne in temperaturo zraka na 850 mb ploskvi - po letnih časih.

Table 12 Correlations of temperature with cosine of day, previous day's temperature and temperature at the 850 mb level - for three-month periods.

	zima	pomlad	poletje	jesen
y	T14	T14	T14	T14
x <sub>1</sub>	cos(2 π d/365)	cos(2 π d/365)	cos(2 π d/365)	cos(2 π d/365)
x <sub>2</sub>	T14'	T14'	T14'	T14'
x <sub>3</sub>	T850	T850	T850	T850
N	417	460	398	364
b <sub>0</sub>	6.05	7.56	6.79	7.34
b <sub>1</sub>	-5.09	-1.39	-3.52	-4.25
b <sub>2</sub>	0.62	0.28	0.14	0.31
b <sub>3</sub>	0.22	0.74	0.88	0.56
r	0.75	0.87	0.75	0.91
SE	2.6	3.1	3.0	2.8

LITERATURA

- /1/ Rakovec, J.: Numerična napoved temperature tal in zraka pri tleh. Razprave-Papers, 23, 1979, 5-18.
- /2/ Rakovec, J. in A. Hočevár: Vpliv reliefa na numerično napovedan dnevni hod temperature prizemne plasti zraka. Razprave-Papers, 23, 1979, 77-90.

KLIMATSKI MODEL ZA OCENO ZMANJŠANJA ENERGIJE SONČNEGA  
OBSEVANJA V KOTLINAH ZARADI MEGLE IN ONESNAŽENJA ZRAKA

CLIMATIC MODEL FOR ESTIMATION OF INSOLATION ENERGY  
REDUCTION IN BASINS BY FOG AND AIR POLLUTION

551.521.3

551.588.2

Zdravko PETKOVŠEK, VTO Fizika, FNT, Ljubljana

SUMMARY

In lowlying areas and basins, fog lakes frequently occur, which considerably reduce the duration and energy of insolation at the ground. The reduction in duration is mainly dependent on the frequency of occurrence of fog and its duration, while the reduction of energy depends on many properties of fog, some of which are normally unknown.

Also the duration of fog in the daytime, especially for smaller basins is not always known. Hence a semi-empirical climatological model for the evaluation of the reduction in insolation in basins was constructed, based on some postulates and studies, and comparisons with measurements in those basins (especially the Ljubljana basin), where many factors are known and the reduction is considerable - see Fig. 1 for an example.

The model for evaluating reduction of insolation energy takes in account three main factors: reflection on the upper boundary of the fog, absorption in the fog and absorption in the air admixtures, since in basins the air is often heavily polluted.

Reflection is calculated on the basis of comparison with reflection on altostratus clouds, taking into account the elevation of the sun above the horizon, and the intensity of insolation at the upper fog boundary, at hour intervals (Table 1). The mean monthly solar energy values, however, are obtained considering the average relative frequency of occurrence of fog in typical days of individual months. This frequency is specially evaluated for three types of basin with different lake depths (Table 3).

The absorption factor in fog was uniformly taken as 0.10, while the absorption factor for polluted air is dependent on the season and the

place; depending on the dominant pollutant, and it varied from zero to 0.12.

With the model are finally derived equations for calculation or evaluation of the mean daily reduction in insolation energy at a given place (7); the energy that arrives at the ground in a basin (8); for its relative values (9); for the reduction of energy in a typical day of the month (10) and for its relative value (11). Examples from Table 4 show that the mean reduction of energy due to fog only, in a deep (Ljubljana) basin is 30 %, which is even greater than that due to clouds and precipitations, amounting to 28 %. In basins with shallower fog lakes the reduction is less, but still appreciable. It is negligible only in Spring and Summer in those places in basins where there is little fog.

#### POVZETEK

V kotlinah in nižinah razgibanega reliefa je zlasti v jeseni in pozimi megla pogost pojav, ki traja v pozne opoldanske ure, neredko pozimi pa tudi ves dan. Zato megla znatno vpliva na zmanjšanje energije sončnega obsevanja, ki pride v takih krajih do tal. Ker je neposrednih meritev jakosti sončnega obsevanja zelo malo, razlike v razgibanem reliefu pa so med posameznimi kraji velike, je bil izdelan model za oceno znižanja tovrstnih klimatskih (ne trenutnih) vrednosti energije. Model sloni na podatkih o pogostnosti megle in njenem trajanju ter ocenah refleksije na megli, absorpcije v njej in absorpcije v primesih onesnaženja, kjer je to znatno. Prikazane so enačbe za izračune in primeri ocen takega zmanjšanja sončne energije pri tleh zaradi megle.

#### UVOD

Pogosta megla in onesnaženje zraka v nižinah in kotlinah znatno vplivata na trajanje in energijo sončnega obsevanja pri tleh. Zmanjšanje sončnega obsevanja je odvisno od pogostnosti pojavljanja megle, njegovega trajanja v dnevnem času in od mnogih njenih lastnosti, od čistosti ozračja, višine obzorja, oblačnosti in vrste oblakov i. d. Na osnovi analize nekaterih karakteristik megle je bila ocenjena verjetnost pojavljanja megle v posameznih urah posameznih mesecev ( $p_n$ ) in tudi povprečna verjetnost trajanja megle v urah za značilni dan z meglo v

posameznih mesecih ( $\bar{p}$ )/1/. Določitev teh vrednosti omogoča najprej izračun povprečnega zmanjšanja trajanja sončnega obsevanja zaradi megle v kotlinskih jezerih hladnega zraka.

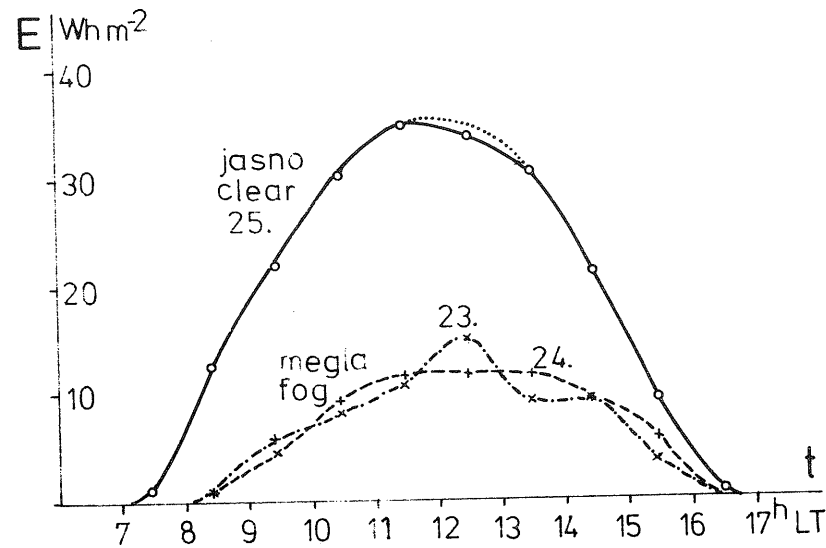
Relativno zmanjšanje energije sončnega obsevanja na enoto horizontalne površine v kotlinah samo zaradi megle je manjše kot relativno zmanjšanje trajanja. Manjše je zaradi dveh vzrokov: nekaj energije pride do tal tudi skozi meglo, in pretežno radiacijska megla se pojavlja predvsem v jutranjih urah in je je sorazmerno malo opoldne, ko je obsevanje najmočnejše.

V klimatski model za izračun zmanjšanja sončnega obsevanja v kotlinah zaradi megle glede na višje lege, naj bi bile zajete le radiacijske in advektivne megle s pretežno jasnim nebom nad njimi. Frontalne megle ob padavinah namreč, z debelo oblačno plastjo nad sabo, le malo vplivajo na dotok energije k tlom in jih je pri oceni koristno izločiti. Njihovo število pa se približno izenači s številom dvignjenih radiacijskih megl /2, 3, /, ki niso med podatki o megli, ker je pri tleh tedaj vidnost večja od 1 km.

Na sipanje, refleksijo, transmisijo in absorpcijo sončnega sevanja v megli vplivajo mnoge njene lastnosti, kot npr.: tip, debelina, gostota, vodnost, velikost in porazdelitev vodnih kapljic, starost, onesnaženost, absorptivnost i. d. /4/, od katerih mnogih ne poznamo. Zato najvažnejše lastnosti skrbno ocenimo in postavimo preprost klimatski model, ki omogoča oceno zmanjšanja energije sončnega obsevanja, ki pride skozi meglo do tal v nižinah in kotlinah. Izračuni pokažejo, da je poprečno zmanjšanje energije sončnega obsevanja v zimskih mesecih do ene tretjine celotne energije, kar je torej pomemben faktor v klimatskih značilnostih kotlin. To nam potrjujejo tudi posamezne primerjalne meritve iz sosednjih meglenih in jasnih dni v nekaterih krajih - kot je primer prikazan na sliki 1, ko je zmanjšanje še dosti večje. Klimatskih značilnosti iz posameznih primerov seveda ne dobimo, zato predstavljamo tu preprost klimatski model za oceno značilnih poprečnih vrednosti zmanjšanja energije sončnega obsevanja v posameznih kotlinah.

#### OSNOVE MODELA IN VPLIV REFLEKSIJE

Pri zmanjšanju energije sončnega obsevanja v kotlinah ob megli, vplivajo vse njene spredaj navedene lastnosti. Toda mnogih od teh navadno ne poznamo, zato njihov vpliv po vsestranski presoji kar se da preprosto, a čim bolj natančno ocenjujemo.



Slika 1 Urne vrednosti izmerjenega globalnega sončnega obsevanja v Ljubljani za tri zaporedne dneve novembra 1979: 23. 11. megla (opoldne z vidnim nebom), 24. 11. celodnevna megla, 25. 11. skoraj povsem jasno

Fig. 1 Hourly values of measured total insolation in Ljubljana for three successive days in Nov. 1979: 23. fog (afternoon with visible sky), 24. fog all day, 25. almost completely clear.

Zmanjšanje energije sončnega obsevanja zaradi prizemne ali dvignjene megle (stratusa) je posledica predvsem : refleksije ali albeda ( $R_M$ ), absorpcije v čisti megli ( $A_M$ ) in absorpcije v aerosolu in drugem onesnaženju zraka ( $A_A$ ), tako da zmanjšanje simbolično zapišemo:

$$Z_E = R_M + A_M + A_A \quad (1)$$

Refleksija se spreminja z gostoto megle, njeno vodnostjo in strukturo. Mlade megle sestojijo navadno iz drobnejših kapljic in imajo večjo refleksijo, kljub manjši vodnosti, kot stare itd. V literaturi najdemo, da je albedo megle ali stratusa med 0,55 in 0,85 /5, 6/. Naše radiacijske megle so v dopoldanskih urah sorazmerno mlade in goste, z največjo pogostnostjo velikosti kapljic okrog 25  $\mu\text{m}$  /7/ in je zato verjetno albedo sorazmerno velik.

Kot so pokazala teoretična proučevanja in meritve, je refleksija oblakov in megle močno odvisna od zenitnega kota sonca oziroma obratno, odvisna od višine sonca nad obzorjem ( $\alpha$ ) /8/. Tanaka in sodelavci /9/ so grafično prikazali refleksijo (R) in transmisijo (T) različno debelih oblakov  $A_s$  v odvisnosti od višine sonca, odkoder povzemamo za 200 m debelo oblačno plast vrednosti, ki jih dajemo v tabeli 1.

Tabela 1 Refleksija (R) in transmisija (T) za 200 m debel altostratus pri različnih višinih sonca ( $\alpha$ ), po /9/

Table 1 Reflection (R) and transmission (T) for 200 m thick altostratus cloud for various solar elevations ( $\alpha$ ), after /9/

$\alpha$	70	60	50	40	30	20	10	5	°
R	54	56	58	62	67	72	78	82	%
T	38	37	35	31	27	23	18	15	%

Razporeditev refleksije s tabele 1 je dokaj dobro dana z enačbo

$$R = B_R - A_R \sin \alpha \quad (2)$$



pri čemer smo na levi poudarili, da je  $R_M$  funkcija  $p_n$ , ki je v skladu s tabelo 3 za kotline z različno globokim meglenim jezerom in torej za različne kraje, različen.

Tabela 3 Ocenjena pogostnost megle v posameznih urah v dneh z meglo v dnevnem času (v %) za tri skupine kotlin

Table 3 Relative frequency of fog at particular hours of the day in days with fog during the daytime (in%), for three groups of basins.

ura:	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
mesec													
kotlina z globokim meglenim jezerom (h ≥ 140 m)													
JAN						100	100	90	80	75	65	60	55
APR		100	75	40	25								
JUL	100	75	40	20									
OKT			100	100	80	60	30	20					
srednje globoko jezero (100 ≤ h ≤ 130 m)													
JAN						100	100	90	75	60	45	40	30
APR		100	60	20									
JUL	100	65	20										
OKT			100	100	70	40	20						
plitvo jezero (h ≤ 90 m)													
JAN						100	100	90	70	50	30	20	15
APR		100	50										
JUL	100	60	100	100	60	20							
OKT													

#### ABSORPCIJA V MEGLI IN V ONESNAŽENJU ZRAKA

Absorpcija kratkovalovnega sončnega sevanja v stratusnih oblakih (vodni pari in kapljicah), ki so po strukturi in pogosto tudi po nastanku zelo podobni megli, je po Neiburgerju 7 % in po Robinsonu 13 do 29 % /8/, ter je torej nekajkrat manjša od refleksije. Zato izračun doprinosa tega člena poenostavimo: Privzamemo, da je absorpcija 10 % tistega, kar pride na vrh meglene plasti, upoštevamo pa tudi poprečno relativno pogostnost megle značilnega dne obravnavanega meseca. Absorpcija v megli v takem značilnem dnevu je tedaj:

$$A_M = 0,1 \bar{E}_O \bar{p} \quad (5)$$

kjer je  $\bar{E}_O$  poprečna energija, ki pride na zgornjo mejo megle v času, ko je sonce nad obzorjem in v značilnem dnevu.

Prav naša kotlinska jezera hladnega zraka so večinoma tudi področja z največjo onesnaženostjo zraka. Onesnaženost zraka nad mesti lahko ob jasnem vremenu zmanjša energijo sončnega obsevanja do 15 %, v UV delu spektra pa celo do 50 % /12, 13/. Onesnaženost zraka v naših kotlinah pa žal nič ne zaostaja za onesnaženostjo velikih mest ali jo celo prekaša. Seveda pa je glede tega tudi velika razlika med posameznimi kraji in kotlinami. Republiška služba za varstvo zraka SRS je v dopolnilu k zakonu o varstvu zraka /14/ razdelila Slovenijo po štirih stopnjah glede onesnaženosti z  $SO_2$ , ki je predstavnik tudi za onesnaženje z delci. V skladu s tem bomo postavili, da je absorpcija v 4. coni 12 % (npr. Ljubljana, Celje i. d.), v 3. coni 8 % in v 2. coni le 4 %; kar pa velja le za zimsko obdobje oziroma za čas ogrevanja, medtem ko bomo postavili, da je v poletnem času tudi zaradi labilnosti atmosfere, ta vpliv zanemarljiv. To pa seveda ne velja za posamezne industrijske kraje in večja mesta sama.

Z večjim številom aktivnih kondenzacijskih jeder vpliva onesnaženje zraka tudi na pogostnost megle in na njeno trajanje ter je v tem že tudi delno upoštevano. V zimskem obdobju ostane pogosto zrak onesnažen pod inverzijo še potem, ko se megla razkroji (izhlapi), zato bomo vpliv onesnaženja zraka v dneh z meglo šteli kot stalno navzoč dejavnik. Ta zmanjša vpadlo energijo sončnega obsevanja za dodatni faktor vpliva onesnaženja, ki je  $f_A = 0,04, 0,08$  ali  $0,12$  glede na cono onesnaženosti področja - kotline ali njenega dela. Tako je absorpcija zaradi onesnaženja zraka

$$A_A = \bar{E} \cdot f_A \quad (6)$$

Pri tem se izkaže, da je tudi ta člen enačbe (1) nekajkrat manjši od prvega člena (refleksije).

CELOTNO ZMANJŠANJE IN PRIMERI

Upoštevajoč dobljene enačbe lahko sedaj prikažemo dnevno zmanjšanje energije sončnega obsevanja v nekem kraju v kotlinskem meglenem jezeru z enačbo

$$Z_E = R_M(p_n) + \bar{E}_o(0,1\bar{p} + f_A) \quad (7)$$

pri čemer so urna in poprečna pogostnost megle  $p_n$  in  $\bar{p}$  ter faktor onesnaženja  $f_A$  za različne kraje različni.

Dnevna energija sončnega obsevanja v dnevu z meglo poprečnih značilnosti obravnavanega meseca v nekem kraju je tedaj energija obsevanja, ki pride na zgornjo mejo megle  $dE_{on}$  (dnevna vsota) zmanjšana za vpliv megle in onesnaženja

$$E_M = dE_{on} - Z_E \quad (8)$$

ali relativno glede na to, kar pride na zgornjo mejo megle, je

$$E_{MR} = 1 - \frac{Z_E}{dE_{on}} \quad (9)$$

Zmanjšanje, ki smo ga določili z enačbo (7) velja za tipičen meglen dan v izbranem mesecu (npr. januarja). Različni kraji Slovenije pa imajo v tem mesecu lahko zelo različno število meglenih dni ( $N_M$ ), ki je seveda manjše od števila dni tistega meseca ( $N_S$ ), zato se pojavlja v nekem mesecu vpliv megle le v delu dni, podanim z njunim razmerjem. Znižanje energije sončnega obsevanja pri tleh pod meglo v poprečnem dnevu meseca je končno

$$\bar{Z}_E = Z_E \cdot N_M/N_S \quad (10)$$

ter je za različne kraje različno. Za primerjave med kotlinami so primernejše relativne vrednosti: del (celotne energije sončnega obsevanja na zgornji meji megle), ki ne pride do tal zaradi megle v posameznih krajih in mesecih. Tedaj je relativno zmanjšanje energije sončnega obsevanja zaradi megle in onesnaženja zraka

$$Z_{ER} = \bar{Z}_E / dE_{on} \quad (11)$$

ki je zelo primerna vrednost tudi za kartografski prikaz in oceno možnosti izrabe sončne energije v kotlinskih meglenih jezerih predvsem v jeseni in pozimi.

Za ilustracijo vrednosti izvedenih količin dajemo v tabeli 4 vrednosti za Ljubljano za januar. Te vrednosti zmanjšanja so v Sloveniji in med letom blizu največjih, ker je globina meglenega jezera in onesnaženje zraka med največjimi prav v Ljubljani.

Tabela 4 Primeri računov obravnavanih količin za Ljubljansko kotlino in za dve drugačni kotlini januarja

Table 4 Examples of calculations of treated quantities for the Ljubljana basin and two other basins in January.

Enačba	Izračun
	Ljubljanska kotlina (globoko megleno jezero)
(7)	$Z_E = 1075 + 230(0,1 \cdot 0,76 + 0,12) = 1120 \text{ Wh/m}^2$
(8)	$E_M = 1900 - 1120 = 780 \text{ Wh/m}^2$
(9)	$E_{MR} = 1 - 1120/1900 = 41 \%$
(10)	$\bar{Z}_E = 1120 \cdot 16/31 = 578 \text{ Wh/m}^2$
(11)	$Z_{ER} = 578/1900 = 30 \%$
	kotlina s srednje globokim jezerom
(7)	$Z_E = 938 + 230(0,1 \cdot 0,76 + 0,08) = 974 \text{ Wh/m}^2$
(11)	$Z_{ER} = 503/1900 = 26 \%$
	kotlina s plitvim meglenim jezerom
(7)	$Z_E = 825 + 230(0,1 \cdot 0,76 + 0,08) = 860 \text{ Wh/m}^2$
(11)	$Z_{ER} = 444/1900 = 23 \%$

## SKLEP

Iz celotnega dela sledi, da po tem klimatskem modelu torej megla zmanjša energijo sončnega obsevanja v Ljubljanski kotlini v povprečnem dnevu januarja do 30 %. Primerjave izračunanih vrednosti ob jasnem vremenu in izmerjenih vrednosti - tabela 2 - nam kažejo, da pride povprečno januarja v Ljubljani do tal le 42 % sončne energije. Od tod lahko sklepamo, da je preostalih 28 % zmanjšanja sončne energije zaradi oblakov in padavin. To pa pomeni, da ima januarja megla celo večji vpliv.

-----  
Delo je del raziskovalne naloge "Razporeditev potenciala sončne energije v Sloveniji" BTF za RSS - 481/43-79

## LITERATURA

- /1/ Hočevar A. in sodel.: Razporeditev potenciala sončne energije v Sloveniji, Bioteh. fakulteta za RSS, Ljubljana 1980 (neobjavljeno)
- /2/ Petkovšek Z.: Pogostnost megle v nižinah in kotlinah Slovenije Razprave-Papers 11, DMS, Ljubljana 1969
- /3/ Petkovšek Z.: Celodnevne megle v Ljubljani, Razprave-Papers 13, DMS, Ljubljana 1971
- /4/ Pilič R. J. et al.: The Life Cycle of Valley Fog, Journal Appl. Meteor. Vol. 14, No. 3, 1975
- /5/ Charney J.: Radiation, Handbook of Meteorology, McGraw Hill Book Co. 1945
- /6/ Haltiner and Martin: Dynamical and Physical Meteorology, McGraw Hill Book Co. 1957
- /7/ Petkovšek Z.: Meritve in primerjave v zvezi z velikostjo megljenih kapljic v Ljubljani, Meteor. zbornik 2, DMS, 1959
- /8/ Paltridge and Platt: Radiative Processes in Meteor. and Climatology, Elsevier Sc. Pub. Co. 1976
- /9/ Tanaka M. et al.: Transfer of solar radiation through water clouds, Radiation in the Atmosphere, Science Press, 1977
- /10/ Zupančič T.: Horizontalna vidnost v prizemni atmosferi, dipl. delo, FNT, Ljubljana 1969
- /11/ Charlak T. P.: and Sellers W. D.: Aerosol, Cloud Reflectivity and Climate, Journal Atm. Sc., V. 37, No. 5, 1980
- /12/ Viskanta R. et al.: Radiative Transfer in a Polluted Urban Planetary Boundary Layer, Jour. Atm. Sc., V. 34, No. 7, 1977
- /13/ Collier L. R. and Lockwood J. G.: The estimation of solar radiation under cloudless skies with atmospheric dust, Quart. Jour. RMS, V. 100, No. 426, 1974
- /14/ Izvršni svet SRS: Odlok o razvrstitvi območij SRS v območja onesnaženosti zraka, U. L. SRS. Št. 21, 1975



KLASIFIKACIJA VREMENSIH TIPOV S POSEBNIM OZIROM NA  
LOKALNI RAZVOJ VREMENA

CLASSIFICATION OF WEATHER PATTERNS WITH SPECIAL REFERENCE TO LOCAL WEATHER DEVELOPMENT

551.589.1  
551.5 : 681.3

Lado ŽITNIK, Bojan LOGAR  
Hidrometeorološki zavod SRS, Ljubljana

SUMMARY

In this article, the classification of weather patterns is treated. Besides the surface pressure field, the high altitude wind rose at the 700 mb level were also taken into account. Distribution of the surface pressure field into 8 groups and winds at the 700 mb level into 8 directions gave 64 positions in the matrix. Of the climatological parameters, the amount of precipitation and duration of solar radiation for Ljubljana were used. Because of the great number of positions in the matrix, only those were chosen where their frequency of appearance was equal or greater than 6. The rough distribution of wind directions at the 700 mb altitude for Ljubljana was evaluated. By dividing the year into two halves, 22 classes for the warm half of the year and 29 classes for the cold half of the year were obtained. Using the theory of Markovian chains, the relative frequency of transitions among individual weather patterns were calculated.

POVZETEK

Namen članka je prikazati metodo, ki naj bi ob večjem nizu podatkov služila kot klimatološko-sinoptični pripomoček pri prognozi vremena. Podana je klasifikacija, ki vsebuje poleg nižinske sinoptične situacije tudi veter na 700 mb ploskvi. Tako je vsak klasifikacijski razred podan z dvema parametroma. Zaradi kratkega niza so podani prehodi med razredi samo tam, kjer je frekvenca v posameznem razredu večja kot 6, ne glede na hitrostni razred. Pri dovolj velikem vzorcu bodo relativne pogostosti že predstavljale matematično upanje, ki bo osnova za statistično prognozo.

## UVOD

Za prognozo vremena so v rabi poleg običajnih meteorološko sinoptičnih kart, tako dejanskih kot prognostičnih, tudi klimatološko sinoptični pripomočki.

Naloga sinoptične klimatologije je poiskati povezavo med sinoptičnimi in klimatološkimi parametri. Ta odvisnost je še zlasti zelo široko znana v alpskem svetu; posebno še v Sloveniji, ki je na prehodu med Alpami in sredozemskim bazenom.

Za naše področje je bilo narejenih nekaj klasifikacij vremenskih tipov. Pokazalo pa se je, da je takšna razvrstitev vremenskih tipov, ki upošteva samo nižinske barične tvorbe preveč groba, da bi lahko iskali povezavo z lokalnim vremenom. Zato skušamo določiti takšno klasifikacijo vremenskih tipov, ki bo vsebovala tudi višinske vetrove. Vključitev višinskih vetrov je narekovala geografska lega Slovenije, ki spričo gorovja ne pokaže povsod značilnega vetra pri tleh za neko določeno sinoptično situacijo. Na splošno vlada v Sloveniji v primerjavi z zahodno Evropo zatišje. Zatorej smo prisiljeni, da preciziramo lokalne parametre v povezavi z večjo barično tvorbo z vetrom v višjih plasteh ozračja. To je lahko 500 ali 700 mb ploskev. Za določevanje sinoptičnih zakonitosti je boljša obravnava 500 mb ploskve, ki sega na alpsko bariero; mi pa smo se odločili za 700 mb ploskev, ki je značilnejša za lokalne parametre.

## PODATKI IN METODA

Uporabili smo podatke od 1. jan. 1974. do 31. avg. 1978, kar je skoraj petletni niz. Podatki se nanašajo na nižinske sinoptične karte in na vetrove na 700 mb ploskvi. Smeri vetra na 700 mb ploskvi so beležene od 1 do 8 (osem je sever). Nižinski podatki so za Ljubljano. Uporabili smo podatke od 13. ure. V tem članku bomo obravnavali kot lokalna parametra le padavine in trajanje sončnega obsevanja.

Nižinska barična polja smo razdelili na osem skupin, ki imajo naslednje značilnosti:

- A - anticiklon s težiščem nad južno Evropo, pretežno nad Sredozemljem.
- B - anticiklon nad zahodno in srednjo Evropo, ter včasih še nad severno.

- C - anticiklon vzhodnoevropskega tipa ter anticiklon nad Karpati ali Balkanom, ki dosega tudi Slovenijo.
- D - najmanj anticiklonalna skupina. Pomeni pa most med dvema anticiklonoma nad Slovenijo in zajema še primere, ko je anticiklon zahodno od Slovenije in ciklon vzhodno.
- H - ciklon z zahodnem in srednjem Sredozemlju ter nad severnim Jadranom.
- G - britanski, ali biskajski ali srednje evropski ciklon. Ti cikloni lahko segajo v zahodno Sredozemlje. K tej skupini prištevamo še ciklonsko območje nad pretežnim delom Evrope.
- F - ciklonsko območje nad vzhodno Evropo, Karpati ali Balkanom ali ciklon nad vzhodnim Sredozemljem.
- E - najmanj ciklonalna skupina. Ta grupa pomeni skandinavski oziroma srednje evropski ciklon, ki sega na jugu le do Alp. Primeri, ko sega ciklonalno polje na jugu le do Alp, smo ločili od klasičnih ciklonalnih polj zato, ker so Alpe močna bariera in je s tem drugačen tip vremena v Sloveniji. V to skupino spadajo tudi primeri, ko je ciklon zahodno od Slovenije in anticiklon vzhodno.

## DELOVNA MATRIKA, KI VSEBUJE KLASIFIKACIJO VREMENSKIH TIPOV ZA SLOVENIJO

Delovno matriko sestavimo tako, da je vertikalni nižinska vremenska skupina, v horizontalni pa so smeri vetra na 700 mb ploskvi. Ločimo tri hitrostne razrede: 1. - hitrost vetra do 10 kts, 2. - hitrost vetra od 15 do 25 kts, 3. - hitrost vetra nad 25 kts.

Zaradi samo petletne obdelave in majhne frekvence v posameznih razredih smo razdelili leto le na dva dela. Hladna polovica leta se pričinja oktobra in se konča marca, preostalo je topla polovica leta. Glavni vzrok za to odločitev je pojav konvekcije, ki se za večji del Slovenije pričinja v aprilu in se zaključuje s septembrom. S pojavom konvekcije sta povezana lokalna parametra trajanje sončnega obsevanja in padavine.

V posameznih razredih je poleg srednje vrednosti za posamezna parametra še frekvenca. Statistični pomen bo prišel v poštev v kasnejših obdelavah, ko se bo povečala populacija in s tem frekvenca v posameznih razredih.

Matrika vsebuje 64 polj in tako zajema vse primere. Če hočemo poiskati relativne pogostosti prehodov v druge vremenske tipe, je ta

številka odločno previsoka. Uporabimo karakteristične smeri vetra na 700 mb ploskvi na ta način, da razrede, kjer je frekvenca v vseh hitrostnih razredih manjša od 6, zanemarimo. Na ta način dobimo 22 razredov za toplo polovico leta in 29 razredov za hladno polovico leta.

#### TRAJANJE SONČNEGA OBSEVANJA - TOPLA POLOVICA LETA

Skupina H - Oglejmo si primere, koje frekvenca večja ali enaka 6. Zastopane so smeri 4 ( S ), 5 ( SW ), in 6 ( W ). Najmanjša vrednost sončnega obsevanja je pri smeri 5 (jugozahodnik) pri hitrosti 25 ali več kts, in sicer 1, 1 ure (poprečna dnevna vrednost). Ta podatek ima tudi največjo težo spričo velike frekvence. Sicer pa je tudi razumljivo in znano, da je pri sredozemskem ciklonu ob jugozahodniku najmanj sončnega obsevanja, saj prevladuje v takih primerih oblačnost tipa stratocumulus, nimbostratus ali altostratus. Zanimivo je, da je pri samo za razred manjši hitrosti, srednja vrednost trajanja sončnega obsevanja že 4,0 ure, kar si lahko razlagamo s predfrontalno zono ali s postfrontalnim stanjem. Primerjava seveda nima absolutne vrednosti, ker je frekvenca v tem razredu precej manjša. Južna smer pri hitrostnem razredu 2 ima 1,7 ure trajanja sončnega obsevanja, kar imamo lahko za predfrontalno oblačnost; zanimivo, da je oblačnost večja kot v hitrostnem razredu 1 ali 3. Pri zahodniku ( 6 ) je več oblačnosti pri hitrostnem razredu 3 kot 2. Na splošno je poprečno trajanje sončnega obsevanja med 1 in 4 urami.

Skupina G - je druga v matriki od spodaj navzgor. Imamo dve izraziti smeri s frekvenco, večjo od 6, in to smer 5 (jugozahodnik) in 6 (zahodnik). Največja pogostost je pri hitrostnem razredu 2 in 3. Značilno za tako ciklonsko polje, z jedrom nad zahodno in srednjo Evropo, vendar ne nad zahodnim Sredozemljem, je menjajoča se oblačnost. Značilno je, da je zlasti v topli polovici leta pogosto atmosfera labilna, kar velja ob jugozahodniku ali zahodniku še za ljubljansko kotlino. Na splošno je pri večjih frekvencah povprečna vrednost trajanja sončnega obsevanja okoli 5 ur.

Skupina F - je ciklonska situacija vzhodnega tipa. Najpogostejše smeri so 5 ( SW ), 6 ( W ), 7 ( NW ). Splošno velja, da je srednja vrednost trajanja sončnega obsevanja med 4 in 7 urami pri večjih frekvencah. Centri ciklonov so odmaknjeni od Slovenije; taka lega ciklona pomeni izboljšanje vremena v Ljubljani. Z večjimi frekvencami so zastopani močnejši vetrovni razredi. Konvekcija je v teh primerih manj značilna. Močnejša vetrovnost ovira nastanek verti-

kalnih gibanj in s tem nastanek oblakov vertikalnega razvoja. Poleg tega je najmočnejše zastopana severozahodna smer (7), ki pomeni za Ljubljano, kot tudi za osrednjo Slovenijo, najugodnejšo smer za lepo vreme.

Skupina E - pomeni ciklonalno vreme v šibkogradientnem pritiskovem polju. Najbolj je zastopana severozahodna in zahodna smer ter nekoliko manj jugozahodna. Pogostost je večja v večjih hitrostnih razredih. Z več sonca prednjači severozahodna smer, zlasti hitrostni razred 2. Ob zahodniku je okoli 5 ur sončnega obsevanja; več sonca je ob jugozahodniku (smer 5) in hitrostnem razredu 3 s poprečnim trajanjem okoli 7 ur, še bogatejša je severozahodna smer s poprečnim trajanjem do 10 ur.

Skupina D - ima podobno porazdelitev smeri višinskega vetra kot skupina E, podobnost je tudi v porazdelitvi sončnega obsevanja. Izrazito največ sonca je ob severozahodni smeri; ne glede na hitrostni razred, je povprečna vrednost sončnega obsevanja malo nad 7 ur. Dobro je še zastopan s sončnim obsevanjem zahodnik pri večji hitrosti, medtem ko je v hitrostnem razredu 1 skoraj oblačno, kar je verjetno zaradi povečane konveksijske oblačnosti. V tem primeru je namreč šibkogradientno polje tudi v višini in je s tem dana možnost za vertikalni razvoj oblačnosti. V manjši meri sta zastopana tudi jugozahodna in severozahodna smer z dokaj ugodnim trajanjem sončnega obsevanja.

Skupina C - pomeni vzhodnoevropski anticiklon ali anticiklon nad Karpati ali Balkanom, skratka vzhodni anticiklon. Največja frekvenca je v povezavi z vetrom smeri 6 ( W ) in 7 ( NW ). Pri večjih hitrostih je tudi sončno obsevanje bogatejše. Lahko govorimo o stabilnem sončnem vremenu, saj so pri večjih hitrostnih razredih dokaj visoke vrednosti sončnega obsevanja, namreč okoli 9 ur; tako da že lahko govorimo o sončnem vremenu.

Skupina B - ima najširši spekter smeri vetra na 700 mb ploskvi. Poleg že standardnih prevladujočih smeri 6 ( W ) in 7 ( NW ) je dodana še smer 8 ( N ) in smeri 1 ( NE ) in 2 ( E ). V vseh razredih je značilna visoka vrednost trajanja sončnega obsevanja, medtem ko je nekoliko zmanjšana le v jugozahodni smeri pri hitrostnem razredu 2 in 3.

Skupina A - je zadnja skupina v anticiklonalnem smislu, z anticiklonalnim jedrom nad južno Evropo (predvsem nad Sredozemljem). Prevladujoča smer je severozahodnik ( 7 ). Srednja dnevna vrednost trajanja sončnega obsevanja je 9 ali 10 ur, kar pomeni maksimalno lepo vreme tako za Ljubljano kot za Slovenijo.

Tabela 1 Dnevne srednje vrednosti in pogostosti sončnega obsevanja v topli polovici leta (v urah). V vertikali je nižinski vremenski tip, v horizontali pa smer vetra na 700 mb ploskvi (8 je sever).

Table 1 Mean daily values and frequency of solar radiation in the warm half of the year (in hours). Vertical values represent the surface pressure pattern and horizontal values the wind directions at the 700 mb level (value 8 means North).

SKUPINA	HITROST:SMER	1	2	3	4	5	6	7	8
A	1	8.9	1 0.0	0 0.0	0 0.0	0 10.1	1 10.2	7 0.0	0 0.0
	2	5.5	1 0.0	0 0.0	0 0.0	0 11.1	1 9.6	2 10.6	8 0.0
	3	0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 13.9	1 8.8	8 6.1
B	1	9.2	9 7.0	6 5.5	5 0.0	0 6.2	3 8.3	6 6.7	7 11.5
	2	9.0	16 9.8	13 4.9	4 6.8	2 3.9	1 5.8	7 8.4	10 9.7
	3	9.5	17 8.5	5 5.7	1 8.9	1 6.7	2 7.8	10 8.5	22 8.6
C	1	9.8	3 10.9	1 5.9	2 6.7	4 5.4	4 5.8	4 4.7	6 10.6
	2	9.4	4 7.6	1 8.4	2 10.1	4 8.9	2 9.7	8 9.1	14 7.7
	3	0.0	0 0.0	0 0.0	0 4.9	1 9.6	1 7.7	14 10.4	5 9.5
D	1	6.5	6 6.1	4 8.8	2 4.5	1 5.8	4 1.1	7 7.8	6 7.1
	2	10.1	5 9.2	1 0.0	3 0.0	1 8.2	6 7.0	14 7.1	9 11.4
	3	0.1	1 0.0	0 5.1	2 0.0	0 1.6	3 5.8	6 7.7	20 9.3
E	1	9.2	1 11.2	1 0.0	0 2.0	2 6.0	3 9.6	4 8.1	3 10.7
	2	0.0	0 0.0	0 3.7	3 3.2	1 5.6	1 5.7	14 10.1	8 4.4
	3	0.0	0 0.0	0 3.0	0 1.8	1 7.4	16 5.3	25 6.8	8 12.3
F	1	1.3	2 5.2	3 6.6	4 4.4	2 2.4	1 5.2	2 0.0	0 3.3
	2	5.3	3 0.0	0 4.6	2 0.0	0 3.6	4 1.1	2 6.3	11 1.4
	3	0.3	2 0.0	1 6.3	1 9.5	1 4.3	7 7.2	11 6.2	6 3.8
G	1	0.0	0 0.0	0 5.6	2 4.3	2 6.7	4 6.6	2 7.7	1 0.0
	2	4.6	1 0.0	0 10.5	1 0.1	1 4.6	9 6.0	10 4.9	2 11.0
	3	0.0	0 0.0	0 0.0	0 2.5	2 4.7	18 4.7	27 3.1	1 9.6
H	1	0.0	0 2.7	3 7.2	2 3.4	7 0.0	0 8.0	1 13.3	1 0.0
	2	2.9	3 0.2	3 2.5	5 1.7	12 4.0	12 4.4	7 3.6	3 9.4
	3	3.8	2 0.0	0 2.9	5 2.4	5 1.1	47 2.3	17 6.4	3 0.0

PADAVINE - TOPLA POLOVICA LETA

Skupina H - daje najmočnejše padavine. Ekstremno močne padavine so pri jugozahodniku (5) in zahodniku (6) pri največjem hitrostnem razredu. Pri jugozahodniku so dovolj močne padavine tudi pri hitrostnem razredu 2. Poprečna dnevna srednja vrednost je pri jugozahodniku (5) med 10 in 18 mm padavin. Poleg juga in zahodnika je še zanimiva smer 3 (SE), ki ima pri hitrostnem razredu 2 in 3 poprečno srednjo vrednost padavin med 6 in 13mm. V drugih smereh lahko rečemo, da so množine padavin zanemarljive, kar še zlasti velja za smeri 7 (NW) in 8 ( N ).

Skupina G - za njo je značilno, da se pojavljajo padavine skoraj izključno pri zahodniku (6) in jugozahodniku (5). Največ padavin je pri hitrostnem razredu 3, in sicer okoli 16 mm; pri frekvencah, večjih od 6, pa že med 3 in 8 mm padavin. Opaziti je, da padavine naraščajo s hitrostjo vetra na 700 mb ploskvi tako pri zahodniku (6), kot pri jugozahodniku (5). Posamična večja srednja vrednost padavin je še pri smeri jug(4). Pri upoštevanju daljšega razdobja, bi bila ta smer vsekakor glede množine padavin še posebno zanimiva.

Skupina F - zavzema z večjo frekvenco smeri 5 (SW), 6 (W), in 7 (NW). Zanimivejši je ponovno jugozahodnik (5), ki ima tudi največ padavin, od 7 do 14 mm. V primerjavi s skupinama H in G se pojavljajo padavine tudi v severozahodni smeri (7), z množino med 4 in 6 mm.

Skupina E - ima več padavin le pri smereh 5 (SW) in 6 ( W ), in to pri večjih hitrostnih razredih. Poprečne dnevne vrednosti padavin so med 6 in 9 mm. Severozahodnik ne daje kaj več padavin.

Skupina D - ima močnejše padavine ob jugozahodniku (5) in zahodniku (6) z okoli 10 mm. Izven večjih frekvenc je zanimiv še primer s frekvenco 3 in smerjo 3. To je višinska jugovzhodna komponenta, ki deluje v poletnem terminu predvsem kot lokalno poslabšanje v smislu ploh ali neviht.

Skupina C - pri tej nastane pravo anticiklonalno vreme. Nekaj manjših padavin je na smereh 6 (W) in 7 (NW). Pri zahodniku je več padavin pri hitrostne razredu 2, medtem ko je pri severozahodniku več padavin v hitrostnem razredu 3. Nekaj malega je še pri smereh 3 (SE) in 5 (SW), kar kaže na manjše plohe. Za tako anticiklonalno vreme vzhodnega tipa je še značilno, da so spodnje plasti ozračja

relativno hladne, kar pomeni stabilno atmosfero.

Skupina B - je s padavinami ponovno bogatejša. Lahko bi jo imenovali tudi "moker" anticiklon, saj se pojavljajo padavine praktično pri vseh smereh na 700 mb ploskvi. Seveda moramo pričakovati, da so padavine predvsem iz oblakov vertikalnega razvoja. Večje padavine so v zahodni smeri, hkrati je opaziti, da naraščajo s hitrostjo vetra na 700 mb ploskvi.

Skupina A - lahko jo imamo za pravo anticiklonalno vreme, saj padavin praktično ni, niti v zahodni smeri, kar je značilno za druge anticiklonalne vremenske tipe. Anticiklon nad južno Evropo, se pravi v glavnem nad Sredozemljem, povzroča nad Slovenijo stabilno atmosfero. To so situacije, ko polarna fronta valovi precej severneje in ni tako imenovanih frontalnih prekinitev, čeprav manjših, ki pa pomenijo zamenjavo zračne mase in s tem padavine, kot je v primerih skupine B.

Tabela 2 Dnevne srednje vrednosti in pogostosti padavin v topli polovici leta (v mm). V vertikali je nižinski vremenski tip, v horizontali je smer vetra na 700 mb ploskvi (8 je sever).

Table 2 Mean daily values and frequency of precipitation in the warm half of the year (in mm). Vertical values represent surface pressure patterns and horizontal values the wind direction at the 700 mb level.

SKUPINA	HITROST:SMER	1	2	3	4	5	6	7	8								
A	1	0,0	1	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,0	7	0,0	0	0,0	0		
	2	0,1	1	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,0	2	0,0	8	0,0	0		
	3	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	1	0,0	8	0,1	2	
B	1	0,3	9	0,7	6	1,3	5	0,0	0	0,1	3	2,1	6	0,7	7	0,0	3
	2	0,6	16	0,0	13	0,7	4	2,0	2	11,9	1	6,5	7	2,8	16	0,8	19
	3	0,8	17	3,7	5	2,7	1	0,1	1	0,9	2	7,7	10	1,9	22	0,6	19
C	1	0,0	3	0,0	1	1,2	2	0,0	4	0,2	4	0,2	4	0,0	6	0,0	5
	2	0,0	4	0,0	1	0,0	2	0,0	4	0,1	2	2,8	8	0,3	14	0,0	5
	3	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,0	1	0,4	14	2,6	5	0,0	2
D	1	1,4	6	0,1	4	0,0	2	0,0	1	1,1	4	10,2	7	0,3	6	0,3	5
	2	0,0	5	0,0	1	10,9	3	28,7	1	4,3	6	2,4	14	1,9	9	0,0	2
	3	0,0	1	0,0	0	0,0	2	0,0	0	9,4	3	10,5	6	2,8	20	0,0	4
E	1	0,0	1	0,0	1	0,0	0	1,9	2	1,8	3	0,0	4	0,4	3	0,0	1
	2	0,0	0	0,0	0	0,8	3	0,7	1	9,8	1	9,4	14	0,3	8	0,7	1
	3	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	7,5	16	6,2	25	1,8	8	0,0	1
F	1	3,7	2	0,3	3	0,7	4	2,5	2	12,4	1	1,2	2	0,0	0	1,4	1
	2	0,5	3	0,0	0	3,0	2	0,0	0	14,2	4	4,2	2	6,1	11	0,0	1
	3	1,7	2	29,6	1	0,9	1	0,0	1	7,5	7	4,8	11	4,4	6	0,9	2
G	1	0,0	0	0,0	0	0,1	2	2,5	2	1,8	4	2,7	2	0,0	1	0,0	0
	2	3,4	1	0,0	0	0,0	1	4,8	1	3,2	9	5,8	10	0,2	2	0,0	1
	3	0,0	0	0,0	0	0,0	0	7,6	2	15,7	18	8,0	27	3,6	1	0,1	1
H	1	0,0	0	1,8	3	0,4	2	2,2	7	0,0	0	0,0	1	0,0	1	0,0	0
	2	1,8	3	4,2	3	5,9	5	4,4	12	9,6	12	2,3	7	0,6	3	0,0	1
	3	1,2	2	0,0	0	13,1	5	9,1	5	18,5	47	17,0	17	0,0	3	0,0	0

V prejšnjem poglavju smo razvrstili nižinske tipe v delovni matriki po vertikalni tako, da so največje padavine v spodnjem delu matrike; obratno padavinam je potek sončnega obsevanja, ki proti vrhu matrike narašča (tabela 1 in 2). Iz delovne matrike je razvidna posebna porazdelitev frekvence v posameznih razredih. Razredi z večjo frekvenco kot 6 so ločeni s črtami. Porazdelitev frekvenc s specifičnostjo, kot jo kaže delovna matrika, je posebnost, ki kaže na karakteristike razvoja vremena v Sloveniji. Posebnost take porazdelitve frekvenc nam omogoča, da z Markovskimi verigami iščemo prehode med posameznimi vremenskimi tipi za razrede, kjer je frekvenca večja od 6. S tako predpostavko smo dobili za toplo polovico leta 22 razredov, za hladno pa 29 razredov. Prehodi iz enega vremenskega tipa v drugega bodo označevali spremembo lokalnega vremena po posameznih parametrih. Nadalje bomo zaradi manjšega števila primerov zanemarili hitrostne razrede, ki jih vsebuje delovna matrika; tako se število frekvenc v okencih sešteje.

Zvezdica v matriki pomeni, da manjka podatek (glej tabelo 3, 4, in 5), da je redka kombinacija tipa in smeri vetra, ali da je to podatek iz hladne polovice leta.

Oglejmo si samo primer, ki ga vzamemo iz sredine matrike. (tabela 3). Vzemimo primer z oznako F5. F pomeni nižinsko oznako, medtem ko je 5 smer vetra, ki označuje jugozahodnik na 700 mb ploskvi. F5 prehaja z okoli 17 % relativne pogostosti v F6, v F5 ter v F7. To pomeni, da prehaja ciklonska aktivnost vzhodnega tipa naslednji dan (v prvem koraku) v isti nižinski tip, smer vetra se ponovi, ali se spremeni v zahodnik, oziroma v severozahodnik na 700 mb ploskvi. Z okoli 8 % relativne pogostosti gre F5 v H5, B6 in D6. Kar pomeni, da se v prvem primeru ponovi ciklonska aktivnost v zahodnem Sredozemlju ali se vreme lokalno povsem izboljša s tem, da se gradi anticiklon nad zahodno in srednjo Evropo; ali pa se vreme le delno izboljša, kar se nanaša na D6.

V drugem koraku (tabela 4) je prehod F5 v druge tipe vremena manj izrazit. Z okrog 8 % relativne pogostosti prehaja v B2, B1, B7, kar pomeni, da sledi ciklonskemu vremenu vzhodnega tipa po dveh dneh anticiklon nad zahodno in srednjo Evropo; sledi mu D6 in D7 z enako relativno vrednostjo prehoda, pomeni pa izboljšanje vendar v manjši meri kot v prejšnjih primerih. Vremenska situacija se obrne povsem na slabše s prehodom na H4 (8 %), kar pomeni obnovitev ciklona v

zahodnem Sredozemlju ob južni cirkulaciji na 700 mb ploskvi.

V tretjem koraku (tabela 5) je enako kot v drugem na diagonali vrednost 0. Največja je ponovno pogostost prehoda na D s smerjo 7 ter D s smerjo 6 z okrog 8 % relativne pogostosti. Ponovi pa se B s smerjo 2. Na novo se pojavi E6. To pomeni v treh dneh velike sinoptične spremembe, saj se mora ciklonsko polje toliko spremeniti, da imamo zdaj anticiklon vzhodnejše od Slovenije in ciklonsko polje zahodnejše. Čeprav vlada še precej slabo gradientno polje, se gradient pritiska obrne v nasprotno smer.

Podobna je situacija pri prehodu v C7, ki v prvih dveh korakih ni bila beležena, pomeni pa, da sledi ciklonu v vzhodnem delu Evrope anticiklon, to je nad Karpati, Balkanom ali vzhodnem Sredozemlju.

Iz tega primera se vidi, kakšne so možnosti prehodov iz F5. Dokaj nazorno je razvidno, kakšne kombinacije so možne in kateri prehodi se ne pojavljajo. Pri tem se tudi pokaže značilnost prehodov v posameznih korakih.

Tabela 3 Relativna pogostost prehodov iz enega vremenskega tipa v drugi tip v 1 koraku.

Table 3 Relative frequency of transitions from one weather patterns to another in the 1st step.

1. TIP 2. TIP

*	C7	B2	B1	H5	H4	B8	H6	F6	G5	F5	D7	G6	B7	B6	F7	D6	A7	E6	C6	E5	E7	A6
90	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C7	12	35	0	4	0	4	4	0	4	0	0	8	4	0	0	4	0	4	15	4	0	0
B2	25	4	25	33	0	4	0	0	0	0	4	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
B1	21	5	16	26	0	12	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	2	0	5	2
H5	19	0	0	0	22	15	0	10	5	2	2	2	2	2	5	2	0	3	2	3	0	0
H4	33	0	0	4	17	25	0	0	4	0	0	0	4	0	4	0	0	4	0	4	0	0
B8	20	2	5	16	2	0	20	0	0	0	0	14	2	2	0	11	0	2	2	0	2	0
H6	20	0	0	0	20	4	8	4	4	8	4	4	4	8	0	8	0	0	0	0	4	0
F6	19	0	0	0	6	0	0	0	6	6	6	6	6	25	0	6	0	0	0	0	13	0
G5	19	3	0	0	25	0	3	6	19	9	0	13	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
F5	25	0	0	0	8	0	0	17	0	17	0	0	0	8	17	8	0	0	0	0	0	0
D7	14	0	0	0	3	0	0	0	0	38	5	5	0	0	0	16	0	8	0	0	11	0
G6	3	0	0	0	18	0	3	3	10	0	8	35	5	0	3	3	0	5	3	5	0	0
B7	2	6	2	10	0	12	2	0	0	6	2	24	12	0	0	0	6	4	8	2	0	4
B6	16	0	0	8	4	0	20	0	12	0	4	0	8	4	0	0	0	4	12	4	0	4
F7	35	0	0	6	6	0	6	12	6	0	6	0	12	6	6	0	0	0	0	0	0	0
D6	21	0	0	4	4	0	4	11	0	0	14	4	4	4	0	14	4	4	4	7	4	0
A7	13	0	0	0	0	6	0	0	0	0	6	0	6	13	0	6	19	13	0	6	13	0
E6	7	2	0	0	4	2	2	4	7	2	2	13	9	2	2	4	0	22	2	4	2	0
C6	10	7	0	0	3	0	0	7	3	0	0	10	0	0	0	3	3	17	27	7	0	3
E5	20	5	0	0	35	0	0	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	15	0	10	0	0
E7	11	0	0	0	0	0	11	0	5	5	5	5	5	0	5	11	0	26	5	5	11	0
A6	18	9	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	9	0	9	0	9	9	9	0	0	18

Tabela 4 Relativna pogostost prehodov iz enega tipa v drugi tip v 2. koraku.

Table 4 Relative frequency of transitions from one weather patterns to another in the 2nd step.

1. TIP 2. TIP

*	C7	B2	B1	H5	H4	B8	H6	F6	G5	F5	D7	G6	B7	B6	F7	D6	A7	E6	C6	E5	E7	A6
87	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0
C7	15	19	0	4	12	0	4	4	4	0	0	4	15	4	0	4	0	4	8	0	0	0
B2	29	4	21	25	0	4	0	0	4	0	0	4	4	0	0	4	0	0	0	0	0	0
B1	14	2	12	16	0	9	5	0	5	0	0	7	7	7	2	0	2	0	2	2	5	9
H5	32	2	0	12	7	3	7	3	5	5	0	5	0	5	2	0	0	3	0	7	2	0
H4	38	0	13	13	8	4	4	4	4	4	0	0	0	0	4	0	0	4	0	4	0	0
B8	25	0	2	16	2	0	14	2	2	0	7	0	7	0	2	2	5	5	2	0	7	0
H6	16	0	4	16	8	4	12	4	0	0	0	4	4	4	8	0	4	4	4	4	0	0
F6	13	0	6	6	0	6	6	0	6	6	6	6	0	0	6	0	6	13	13	0	0	0
G5	31	6	0	3	13	0	3	0	13	0	0	9	0	6	0	6	0	3	0	0	0	0
F5	50	0	8	8	0	8	0	0	0	8	8	8	8	0	0	8	0	0	0	0	0	0
D7	16	0	0	0	3	0	3	0	5	0	24	3	8	3	3	14	0	3	3	5	5	0
G6	15	0	0	10	3	3	5	8	3	13	13	13	3	3	5	3	0	5	3	5	3	0
B7	4	4	2	8	4	0	12	0	2	0	6	8	16	6	2	0	0	6	6	2	6	6
B6	28	0	4	8	4	4	4	0	4	0	4	4	8	4	0	0	8	8	8	0	0	0
F7	35	6	0	12	0	12	0	6	0	0	14	4	7	0	0	18	0	0	0	0	6	0
D6	25	4	0	0	4	0	0	4	0	14	4	7	0	4	14	4	7	4	0	4	4	4
A7	13	6	0	0	13	6	19	6	0	0	6	13	0	13	0	0	6	0	0	0	0	0
E6	18	2	0	0	11	5	0	5	2	5	2	14	9	0	5	0	2	7	7	2	0	0
C6	13	17	0	3	3	3	0	0	7	0	10	3	3	3	0	7	3	17	7	0	3	0
E5	30	0	0	20	5	0	0	5	0	11	5	0	5	0	0	0	0	10	10	5	5	0
E7	11	0	0	0	21	5	5	0	0	11	5	0	5	0	5	0	0	21	0	5	11	0
A6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	9	0	27	0	0	9	9	9	9	0	0	18

Tabela 5 Relativna pogostost prehodov iz enega tipa v drugi tip v 3. koraku.

Table 5 Relative frequency of transitions from one weather patterns to another in the 3rd step.

1. TIP 2. TIP

*	C7	B2	B1	H5	H4	B8	H6	F6	G5	F5	D7	G6	B7	B6	F7	D6	A7	E6	C6	E5	E7	A6
* 86	1	1	1	2	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0
C7 27	8	0	0	8	0	0	4	4	0	0	8	4	12	4	0	4	4	4	8	0	4	0
B2 25	4	17	13	0	0	4	4	0	4	0	0	4	13	0	0	0	0	4	4	0	0	4
B1 21	5	9	12	9	2	5	5	0	5	0	2	2	5	2	0	0	3	7	2	2	0	2
H5 34	0	0	3	10	7	2	3	3	2	3	0	5	3	2	3	2	3	5	3	5	0	0
H4 21	0	0	4	8	17	13	8	0	8	0	0	0	0	0	4	8	0	0	0	4	4	0
B8 20	0	2	7	7	0	16	5	0	0	0	2	2	9	9	5	2	0	5	0	0	7	2
H6 32	4	0	0	12	0	12	0	4	0	8	0	0	0	0	0	4	4	0	8	8	4	0
F6 31	6	0	0	13	0	6	6	0	6	0	0	0	13	0	0	0	6	6	6	0	0	0
G5 22	3	3	6	9	0	6	3	3	6	6	9	6	3	6	3	0	0	0	3	0	0	0
F5 42	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	8	0	17	0	0	0	0
D7 24	0	0	3	0	3	3	0	3	0	3	24	5	5	5	0	5	3	8	0	0	0	3
G6 25	0	3	0	8	0	3	3	5	5	3	3	13	5	8	5	0	0	8	3	0	5	0
B7 10	2	2	10	6	0	6	0	2	8	0	2	12	16	2	2	2	2	2	8	0	2	6
B6 12	4	4	4	0	4	8	4	0	12	4	8	8	8	0	0	0	4	4	4	0	8	0
F7 12	0	6	6	6	0	6	0	6	0	0	6	0	6	6	12	6	6	6	0	6	0	6
D6 25	0	4	0	7	0	7	4	0	0	0	4	0	0	4	4	14	0	7	4	14	4	0
A7 19	0	0	6	13	6	13	0	0	0	6	6	6	13	0	0	0	6	0	0	6	0	0
E6 9	2	0	7	7	5	5	9	2	5	2	2	11	9	2	5	2	2	2	5	2	5	0
C6 20	17	0	0	3	0	3	0	3	3	0	3	7	10	3	3	0	0	17	7	0	0	0
E5 50	0	0	0	10	0	0	0	5	5	5	0	5	0	0	0	0	0	10	5	5	0	0
E7 11	0	5	0	5	16	5	5	0	11	0	11	5	5	5	5	5	5	0	0	0	0	0
A6 10	10	0	10	0	0	0	0	0	0	0	10	0	30	0	0	0	0	20	0	10	0	0

LITERATURA

/1/ R.G. Barry and Perry -Synoptic climatology, 1973.

/2/ R. Jamnik: Verige in procesi Markova - Obzornik za matematiko in fiziko, Vi. št.2., Ljubljana 57/58

/3/ Z. Petkovšek: Regionalni vremenski tipi v Sloveniji v letih 57 in 58 Razprave Papers, Ljubljana 1965.

/4/ Z. Petkovšek: Vreme v Sloveniji in njegov razvoj po regionalnih vremenskih tipih - Razprave Papers, Ljubljana, 1967, VIII.

/5/ H. H. Lamb, M. A.: British isles types and a register of the daily sequence of circulation patterns 1861 - 1971. London, 1972.

/6/ A.L.Kac: Sinoptiko - gidrodinamiko - statističeskie metodi prognozov pogodi na 3 - 10 dnej, Trudi, Vipusk 146. Leningrad, 1975.

/7/ M. Vida: Poskus ocene vremenskih procesov v Sloveniji z ozirom na vremenske situacije - Razprave Papers XVIII. Ljubljana, 1974.

/8/ L. Žitnik in sodelavci: Objektivna prognoza vremena na osnovi lokalnih in pomanjkljivih podatkov, Meteorološki zbornik SRS, Ljubljana 1979 (neobjavljeno).



UTJECAJ PROMJENE TERMINA MOTRENJA NA MJESEČNI  
SREDNJAK TEMPERATURE ZRAKA

THE EFFECT OF CHANGES OF OBSERVATION HOURS ON  
MEAN MONTHLY AIR TEMPERATURE

551.501.724

551.524.31

Marjana GAJIĆ-ČAPKA

Republički hidrometeorološki zavod SR Hrvatske, Zagreb

SUMMARY

Differences among the values obtained by the presently used method of monthly mean air temperature evaluation from the climatological hours

(07, 14, 21,  $t = \frac{1}{4}(t_7 + t_{14} + 2t_{21})$  and two recently defined expressions,  $t_k = n-k(n-t_m)$  and  $t_\Delta = \frac{1}{4}[t_7 + t_{14} + 2(t_{19} - \Delta)]$  are considered and compared with the 24-hourly "true" mean. Tests of the differences and their mean variances indicate that for the stations examined and the periods considered, there is no essential difference among these methods.

POVZETEK

V članku smo primerjali vrednosti srednjih mesečnih temperatur zraka, ki smo jih izračunali s tremi različnimi metodami. Prva upošteva vrednosti temperatur ob 07<sup>h</sup>, 14<sup>h</sup> in 21<sup>h</sup>, v drugih dveh pa smo postavili dva nova izraza, v katerih se namesto temperatur ob 14<sup>h</sup> in 21<sup>h</sup> pojavljajo temperature ob 13<sup>h</sup> in 19<sup>h</sup> ter minimalna temperatura. Dobljene rezultate smo primerjali s "pravimi" srednjimi temperaturami, ki smo jih izračunali iz urnih vrednosti temperatur zraka.

Testiranje razlik in pripadajočih srednjih varianc je pokazalo, da dajo vse tri metode rezultate, ki se med seboj ne razlikujejo veliko - vsaj pri obravnavanih postajah v petletnem nizu.

## METODE I PODACI

Dnevni srednjak temperature zraka određuje se na području Hrvatske iz vrijednosti temperatura zraka očitanih u 07, 14 i 21 sat prema izrazu:

$$t = \frac{1}{4}(t_7 + t_{14} + 2t_{21}) \quad (1)$$

Navedeni termini uglavnom se koriste od kada postoje meteorološka motrenja u našim krajevima, tako da raspolažemo za stanoviti broj stanica s dugogodišnjim nizovima podataka, neprekinutim u smislu promjene termina motrenja.

Ukoliko bi se dnevni srednjak temperature zraka izračunavao iz vrijednosti  $t_7$ ,  $t_{13}$  i  $t_{19}$  dnevni srednjak bi se povisio, budući da je temperatura zraka u 19 sati uglavnom nešto više nego u 21 sat. Stoga bi bilo potrebno dati veću težinu temperaturi u 07 sati ili uvažiti i minimalnu temperaturu. Izraz za izračunavanje srednje dnevne temperature koji uvažava ove tvrdnje glasi:

$$t_k = n - k(n - t_m) \quad (2)$$

$$n = \frac{1}{3}(t_7 + t_{13} + t_{19})$$

$k$  = faktor različit po mjesecima i položaju stanice

$t_m$  = minimalna temperatura zraka između večernjeg termina motrenja prethodnog dana i danas.

U slučaju da izraz za izračunavanje srednje dnevne temperature zraka zadržava oblik (1), ali s vrijednostima  $t_7$ ,  $t_{14}$  i  $t_{19}$ , potrebno je vrijednost temperature, u večernjem terminu motrenja umanjiti za iznos  $\Delta$ , kako bi bio dnevni srednjak temperature određen na taj način komparabilan s izrazom (1)

$$t_{\Delta} = \frac{1}{4} [ t_7 + t_{14} + 2(t_{19} - \Delta) ] \quad (3)$$

Ovaj rad razmatra utjecaj promjene termina motrenja na mjesečne srednjake temperature zraka određene izrazima (1), (2) i (3). Ocjena metoda za izračunavanje srednjaka provodi se komparacijom mjesečnih srednjaka temperature zraka  $\bar{t}$ ,  $\bar{t}_k$  i  $\bar{t}_{\Delta}$ , dobivenih iz terminskih podataka ( $t_7$ ,  $t_{13}$ ,  $t_{14}$ ,  $t_{19}$ ,  $t_{21}$ ), s "pravim" mjesečnim srednjakom temperature zraka  $\bar{t}_s$  (iz 24-satnih vrijednosti temperature). Ova usporedba radjena je na temelju podataka 8 stanica reprezentativnih za područje Hrvatske, a prema nizu 1971-1975. godina. Odabrane stanice za kontinentalno, sjeverno područje su Osijek, Slavonski Brod i Zagreb-Maksimir, za primorsko područje Pula, Mali Lošinj i Split-Marjan, te za planinski predio Gospić i Zavižan.

U analizi koja slijedi korištene su srednje mjesečne vrijednosti temperature zraka  $\bar{t}$  i  $\bar{t}_s$  koje su izračunate iz 30 (31) dnevnih podataka za  $t$  odnosno  $t_s$ , te  $\bar{t}_k$  i  $\bar{t}_{\Delta}$  koji su dobiveni iz srednjih terminskih podataka, srednjeg minimuma i koeficijenta  $k$  i  $\Delta$  za dotični mjesec.

Za srednju mjesečnu minimalnu temperaturu zraka  $\bar{t}_m$  uzeta je srednja vrijednost svih dnevnih minimalnih temperatura zraka koje se odnose na najnižu zabilježenu temperaturu zraka između 21 sat prethodnog dana i danas. Ukoliko bi se promijenio večernji termin motrenja, morala bi se upotrebljavati minimalna temperatura zraka koja se odnosi na vrijeme između 19 sati prethodnog dana i danas.

Vrijednosti koeficijenta  $k$  i  $\Delta$ , koje se koriste u ovoj analizi, izračunate su u  $1/10$  iz 10-godišnjeg niza 1961-1970. godine, tako da je  $\bar{t}_k$  odnosno  $\bar{t}_{\Delta}$  za svaki mjesec u tih 10 godina izjednačen s pripadnim  $\bar{t}_s$ , a zatim su nadjene srednje višegodišnje vrijednosti  $k$  i  $\Delta$  za svaki mjesec za svaku promatranu stanicu.

## ANALIZA

Godišnji hodovi petogodišnjih srednjih vrijednosti razlika srednjih mjesečnih temperatura zraka  $\bar{t} - \bar{t}_s$ ,  $\bar{t}_k - \bar{t}_s$ ,  $\bar{t}_{\Delta} - \bar{t}_s$  i  $\bar{t}_k - \bar{t}$  imaju veće amplitude u kontinentalnom sjevernom dijelu Hrvatske nego u planinskim i primorskim predjelima. Apsolutni ekstremi srednje razlike mjesečnih srednjaka temperature zraka iznose za  $\bar{t} - \bar{t}_s$  0.3°C, za  $\bar{t}_k - \bar{t}_s$  0.2°C, za  $\bar{t}_{\Delta} - \bar{t}_s$  0.4°C. Međutim, srednje razlike veće od 0.3°C javljaju se veoma rijetko kao što pokazuje slika 2. Pojavljivanje ekstremnih razlika, bilo najvećih ili najmanjih, nije niti kod jedne razlike grupirano u pojedinim mjesecima ili dijelovima godine. Godišnji hodovi ne pokazuju niti kod jedne stanice određene pravilnosti. Kod svake pojedine stanice uglav-

nom ne postoji paralelnost u godišnjim hodovima srednjih razlika (slika 1.).

Stanica	$\bar{t} - \bar{t}_s$		$\bar{t}_k - \bar{t}_s$		$\bar{t} - \bar{t}_s$		$\bar{t}_k - \bar{t}$	
	min	maks	min	maks	min	maks	min	maks
Osijek	-0.26	0.14	-0.06	0.12	-0.36	0.16	-0.16	0.30
Sl. Brod	0.00	0.16	-0.16	0.12	-0.30	0.24	-0.28	0.12
Zgb. -Maks.	-0.32	0.14	-0.24	0.04	-0.26	0.22	-0.16	0.24
Zavižan	-0.28	0.12	-0.04	0.08	-0.16	0.10	-0.14	0.28
Gospić	-0.16	0.16	-0.18	0.08	-0.22	0.18	-0.30	0.10
Pula	-0.30	0.20	-0.08	0.14	-0.08	0.06	-0.28	0.36
M. Lišinj	-0.14	0.14	-0.06	0.08	-0.08	0.14	-0.06	0.22
Split-Marj.	-0.12	0.24	-0.04	0.12	-0.10	0.14	-0.16	0.12

Tabela 1 Najmanje i najveće srednje razlike mjesečnih srednjaka temperature zraka (°C), 1971-1975.

Table 1 Minimum and maximum mean differences of mean monthly temperatures (°C) for the period 1971-1975.

Sliku o najčešćim vrijednostima razlika promatranih mjesečnih srednjaka temperature zraka i pravog srednjaka, te srednjaka  $\bar{t}_k$  i  $\bar{t}$  kao i njihovo rasipanje, daje razdioba čestina razlika za promatrani petogodišnji niz 1971-1975. godina. Ukupni broj slučaja je 60, budući da promatramo 5 godina po 12 mjeseci (slika 2.)

Najčešće razlike su za:

1.  $\bar{t} - \bar{t}_s$  u kontinentalnom dijelu 0.1°C, a u planinskom i primorskom 0.0°C.
2.  $\bar{t}_k - \bar{t}_s$  je -0.1°C u kontinentalnom, 0.0°C u planinskom, a 0.1°C u primorskom području
3.  $\bar{t}_\Delta - \bar{t}_s$  dobiju se u kontinentalnom dijelu vrlo raznoliki rezultati i najčešća razlika varira od -0.2° do 0.1°C, u planinskom predjelu su najčešće razlike -0.3 do 0.2°C, te u primorskom 0.0°.

4.  $\bar{t}_k - \bar{t}$  u kontinentalnom dijelu -0.1° i 0.0°C, a u planinskom i primorskom dijelu -0.1°.

Napominjamo, da greške motrenja koje se toleriraju iznose 0.1°C.

Daljnjom analizom dolazi se do interesantnih rezultata koji se tiču srednjih godišnjih razlika i pripadnih standardnih devijacija za sve tri formule (tabela 2.).

Na temelju podataka 8 reprezentativnih stanica s područja Hrvatske, dobiveno je da je godišnji srednjak  $\bar{t}_k$  najbliži "pravom" srednjaku  $\bar{t}_s$  ( $\bar{x}_1 = \bar{t}_k - \bar{t}_s = -0.005^\circ\text{C}$ ) i da je srednja standardna devijacija, ove razlike, tj. rasipanje točaka najmanje ( $\sigma_{k-s} = 0.105^\circ\text{C}$ ). Zatim slijedi  $\bar{t}$  sa srednjom godišnjom razlikom ( $\bar{x}_2 = \bar{t} - \bar{t}_s = -0.016^\circ\text{C}$ ) i sa standardnom devijacijom  $\sigma_{t-s} = 0.149^\circ\text{C}$ . Srednjak  $\bar{t}_\Delta$ , čije srednje godišnje odstupanje  $\bar{x}_3 = \bar{t}_\Delta - \bar{t}_s = -0.022^\circ\text{C}$  ima pripadnu standardnu devijaciju  $\sigma_{\Delta-s} = 0.184^\circ\text{C}$ . Zaokružene na jednu decimalu sve tri razlike iznose međjutim 0.0°C.

Postavlja se pitanje, da li su razlike  $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$  i  $\bar{x}_1 - \bar{x}_3$  značajne. Odgovor nam daje Studentov t - test, koji je pokazao, da razlike nisu značajne. Naime, za obje razlike prihvaćene su nul hipoteze, da su osnovne normalne distribucije iz kojih potječu uzorci identične budući da su varijable t t-razdiobe pale u područje prihvaćanja hipoteze  $H_0$ .

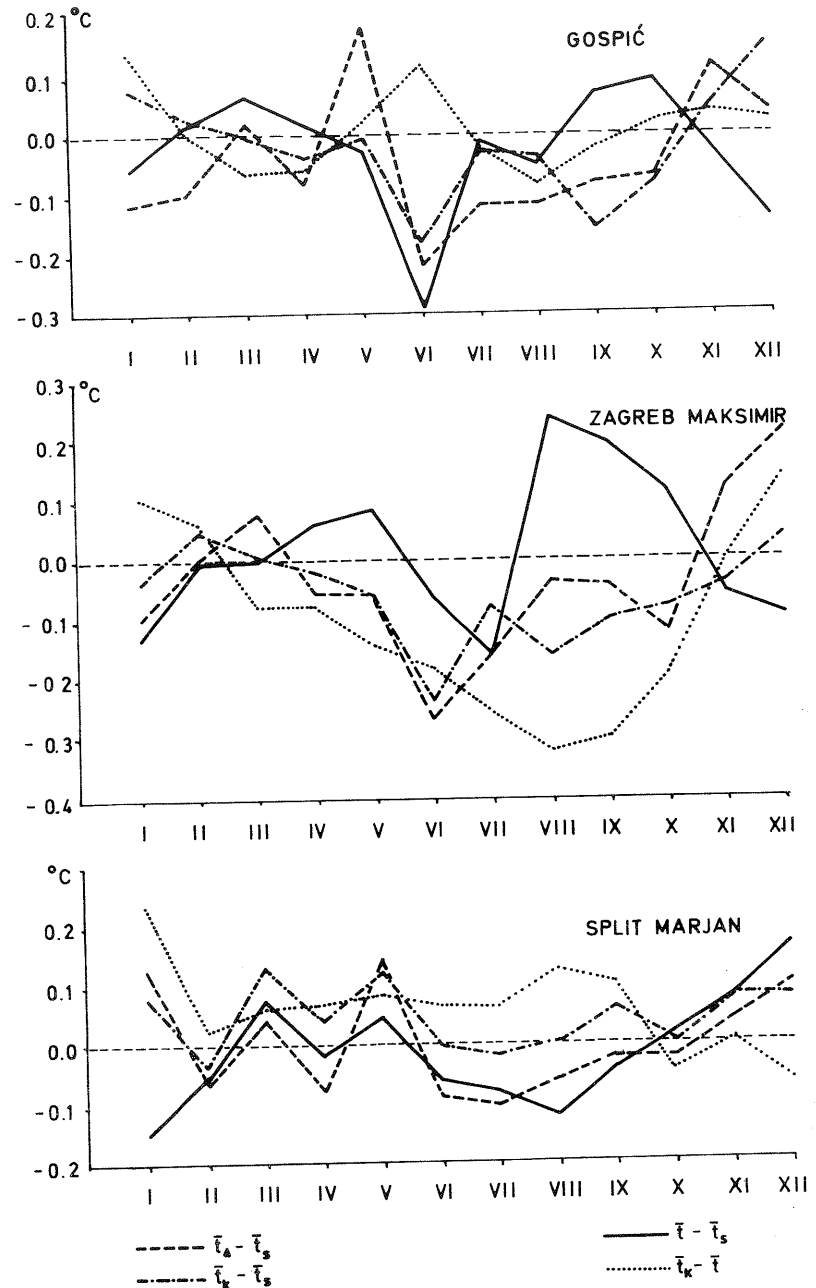
Testiranje standardnih devijacija (zapravo varijanci  $\sigma_{k-s}^2$ ,  $\sigma_{t-s}^2$  i  $\sigma_{\Delta-s}^2$ ) provedeno je pomoću F-testa. Kod razmatranja uzoraka s varijancama  $s_1^2 = \sigma_{k-s}^2$  i  $s_2^2 = \sigma_{t-s}^2$ , te uzoraka s varijancama  $s_1^2 = \sigma_{k-s}^2$  i  $s_3^2 = \sigma_{\Delta-s}^2$  dobili smo da je izračunati F manji od tabličnog F. Stoga za oba slučaja prihvaćamo hipotezu  $H_0$ . Drugim riječima, procjene  $s_1^2$  i  $s_2^2$ , te  $s_1^2$  i  $s_3^2$  signifikantno se ne razlikuju, pa na bazi gornjih uzoraka ne možemo zaključiti da uzorci potječu iz normalnih razdioba s različitim varijancama /4/.

Tabela 2 Srednje godišnje razlike i pripadne standardne devijacije (°C) za odabrane stanice 1971 - 1975

Table 2 Mean annual differences and their standard deviations (°C) for given stations for the period 1971 - 1975.

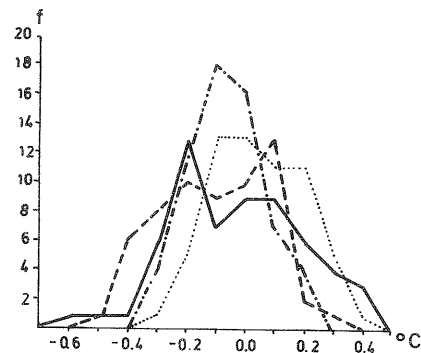
Razlike STANICE	$\bar{x}_1 = \bar{t}_k - \bar{t}_s$		$\bar{x}_2 = \bar{t} - \bar{t}_s$		$\bar{x}_3 = \bar{t}_\Delta - \bar{t}_s$		$\bar{x}_4 = \bar{t}_k - \bar{t}$	
	sred.	$\sigma$	sred.	$\sigma$	sred.	$\sigma$	sred.	$\sigma$
Osjek	-0.01	0.10	0.00	0.17	-0.08	0.25	0.00	0.18
Sl. Brod	0.00	0.12	0.06	0.15	0.02	0.25	-0.05	0.15
Zagreb-Maksimir	-0.06	0.13	-0.10	0.19	-0.04	0.23	0.02	0.15
Zavižan	0.00	0.09	-0.04	0.13	-0.04	0.11	0.05	0.15
Gospić	-0.01	0.12	0.01	0.13	-0.04	0.28	-0.03	0.17
Pula	-0.04	0.09	-0.08	0.18	-0.02	0.14	0.05	0.21
M. Lošinj	0.04	0.09	-0.01	0.11	0.02	0.10	0.04	0.10
Split-Marjan	0.04	0.10	0.03	0.13	0.00	0.11	0.02	0.13
kontinen. dio	-0.02	0.12	-0.01	0.17	-0.03	0.24	-0.01	0.16
planinski dio	0.00	0.10	-0.02	0.13	-0.04	0.20	0.01	0.16
primorski dio	0.01	0.09	-0.02	0.14	0.00	0.12	0.04	0.15
srednjak za cijelo područje	-0.005	0.105	-0.016	0.149	-0.022	0.184	0.017	0.155

srednjak  
za cijelo  
područje

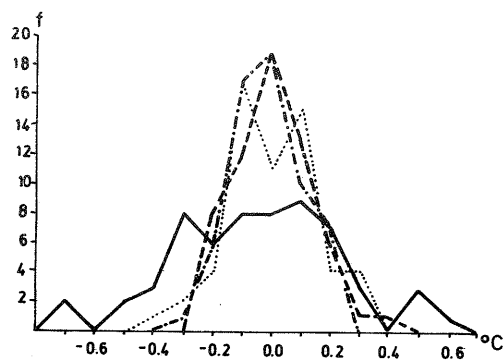


Slika 1 Godišnji hod srednjih razlika  $\bar{t} - \bar{t}_s$ ,  $\bar{t}_k - \bar{t}_s$ ,  $\bar{t}_\Delta - \bar{t}_s$  i  $\bar{t}_k - \bar{t}$  za odabrane stanice. Razdoblje: 1971 - 1975.

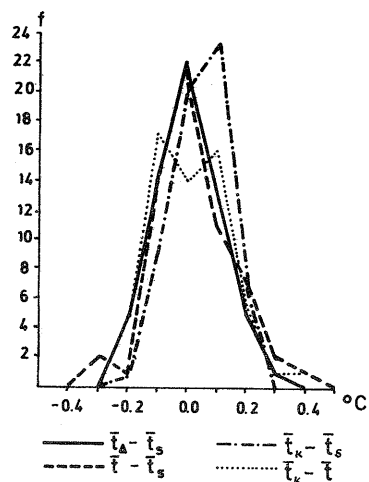
Fig. 1 Annual course of mean differences  $\bar{t} - \bar{t}_s$ ,  $\bar{t}_k - \bar{t}_s$ ,  $\bar{t}_\Delta - \bar{t}_s$  and  $\bar{t}_k - \bar{t}$  for given stations, 1971 - 1975.



ZAGREB MAKSIMIR



GOSPIĆ



SPLIT MARJAN

Slika 2 Razdiobe čestina razlika srednjih mjesečnih temperatura zraka za odabrane stanice. Razdoblje: 1971 - 1975.

Fig. 2 Frequency distributions for differences of mean monthly temperatures for given stations, 1971 - 1975.

ZAKLJUČAK

Dosadašnja analiza je pokazala, da od tri ispitivane srednje mjesečne temperature zraka, srednja mjesečna temperatura zraka dobivena prema formuli  $\bar{t}_k = \bar{n} - k(\bar{n} - \bar{t}_m)$  daje najbolje rezultate u usporedbi s "pravim" srednjim mjesečnim vrijednostima temperature zraka  $\bar{t}_s$ . Zatim slijedi srednjak temperature zraka dobiven prema formuli  $\bar{t} = 1/4(\bar{t}_7 + \bar{t}_{14} + 2\bar{t}_{21})$  a onda prema formuli  $\bar{t}_\Delta = 1/4[\bar{t}_7 + \bar{t}_{14} + 2 \cdot (\bar{t}_{19} - \Delta)]$ . Medjutim, testiranje odstupanja srednjih godišnjih razlika  $\bar{t}_k - \bar{t}_s$  od  $\bar{t} - \bar{t}_s$ ,  $\bar{t}_k - \bar{t}_s$  od  $\bar{t}_\Delta - \bar{t}_s$  i  $\bar{t} - \bar{t}_s$  od  $\bar{t}_\Delta - \bar{t}_s$  kao i pripadnih srednjih varijanci pokazalo je da ta odstupanja nisu značajna i da se varijance bitno ne razlikuju. Stoga moramo zaključiti da sve tri metode daju podjednake rezultate. Kao što pokazuje razdioba čestina razlika (slika 2), razlike veće od 0.3°C predstavljaju rijedak događaj.

SIMBOLI I DEFINICIJE srednjih mjesečnih temperatura zraka

$$\bar{t}_s = 1/N (\sum t_{si})$$

$$\bar{t} = 1/4 (\bar{t}_7 + \bar{t}_{14} + 2\bar{t}_{21})$$

$$\bar{t}_k = \bar{n} - k(\bar{n} - \bar{t}_m)$$

$$\bar{t}_\Delta = 1/4 [\bar{t}_7 + \bar{t}_{14} + 2(\bar{t}_{19} - \Delta)]$$

gdje su:

$$i = i, \dots, N$$

N= broj dana u mjesecu

$\bar{t}_7, \bar{t}_{13}, \bar{t}_{14}, \bar{t}_{19}, \bar{t}_{21}$  srednje mjesečne terminske temperature zraka

$\bar{t}_m$  srednja mjesečna minimalna temperatura zraka

$$\bar{n} = 1/3 (\bar{t}_7 + \bar{t}_{13} + \bar{t}_{19})$$

k = koeficijent za izračunavanje  $\bar{t}_k$

$\Delta =$  " " " "  $\bar{t}$

## LITERATURA

- /1/ KIRIGIN, J. (1973): O mogućnosti izmjene večernjeg termina motrenja na običnim meteorološkim stanicama, Rad za stručni ispit, Zagreb.
- /2/ KRAMER, M (1976): Vergleich verschiedener Methoden, Temperaturmittel za berechnen, Wetter und Leben, 28, str. 111-115.
- /3/ MÜLLER, P. (1974): Die Monatsmittelbildung der Temperatur für Obersiebenbrunn und deren Abweichung gegenüber Wien, Wetter u. Leben, 26, str. 27-30.
- /4/ PAVLIĆ, I. Statistička teorija i primjena, Zagreb.
- /5/ PLEŠKO, N. i ŠINIK, N. (1967): Sekularne varijacije temperature u odnosu na Atlas klime SFRJ, HMZ SR Hrvatske, Zagreb.
- /6/ SIOGAS, L. (1972): Vergleich von Temperaturmittelbildung mit dem wahren Mittel für das Observatorium Innsbruck - Universität, Wetter u. Leben 24, str. 17-22.
- /7/ Stručni pravilnik, SMO, Geneve.
- /8/ TROSCHL, H. (1972): Die Monatsmittelbildung der Temperatur für Klagenfurt, Wetter u. Leben, 24, str. 160-168.
- /9/ ZUPANČIČ, B. (1977): Presoja metod za računanje poprečne dnevne temperature, Razprave-Papers XXI, št. 1, 2, str. 5-11, Ljubljana.