
DRUŠTVO METEOROLOGOV SLOVENIJE

SLOVENIAN METEOROLOGICAL SOCIETY

RAZPRAVE PAPERS

Letnik 22

1

VSEBINA - CONTENTS

Stran

J. Rakovec:	Onesnaženje zraka od linijskega vira, dvo- in trodimenzionalni pristop	
	Air pollution from line source, a two- and a three-dimensional approach.....	5
J. Pristov:	Dnevni hod koncentracij onesnaženosti zraka v kotlinah	
	The day course of air pollution concentrations in basins.....	15
V. Jurčec, D. Papišta:	Interpretacija lokalne srednje mesečne temperature pomoću parametara makro-razmjera	
	Interpretation of local mean monthly temperature by means of large-scale parameters.....	35

ONESNAŽENJE ZRAKA OD LINIJSKEGA VIRA,
DVO- IN TRIDIMENZIONALNI PRISTOP

AIR POLLUTION FROM LINE SOURCE,
A TWO- AND A THREE-DIMENSIONAL APPROACH

UDK 551.511.6:681.177

Jože RAKOVEC

Katedra za meteorologijo
VTOZD Fizika, FNT, Ljubljana

SUMMARY

The distribution of air pollution from line source is computed, using the two- and the three-dimensional dispersion models. When the source is not straight and/or the wind is not normal to the source, it is necessary to use the three-dimensional approach. But for the source, not very curved, the use of the two-dimensional model may be justified, if the wind is generally normal to the source.

As the two-dimensional model is simpler and more economic, the comparison of both models was done for a case of a road with a turning, viaducts, tunnels and canyons (see Fig. 1), to ascertain when the two-dimensional model is still applicable. Both models use explicit numerical scheme for solving the diffusion equation for stationary problem (eqs. 1 and 2), with the known distribution of air pollution sources. The same vertical log-linear wind profile (eq. 3) is assumed all over the area, and the turbulent diffusivity (eq. 4) is in accordance with the wind. Total reflection is assumed at the ground and at the top, on the height where a strong temperature inversion is often observed over the area we are dealing with.

In the case of weak wind (which is often observed on the site), from which results also weak turbulence, the results of both models are comparable, if those of the two-dimensional model are smoothed (see Figs. 2 and 3). In the case of stronger winds and stronger cross-wind diffusion, the results would not be so similar, because in that case the diffusion would not be so much prevailed by the advection.

POVZETEK

Z dvodimenzionalnim in tridimenzionalnim modelom za razširjanje onesnaženja zraka od linijskega vira je izračunana razporeditev onesnaženja od tega vira.

Le za ravne odseke enakomernega vira (npr. ceste) in za veter, pravokotno nanj, je dvodimenzionalni model ustrezen. S primerjavo rezultatov obeh modelov pa je na primeru ceste z ovinki, viadukti, predori in useki prikazano, koliko je treba rezultate dvodimenzionalnega modela izgladiti ali popraviti, da se z njimi približamo tistim iz tridimenzionalnega modela.

UVOD

Pri napovedi onesnaženja zraka zaradi virov, ki so šele v načrtu, je numerično modeliranje dober način in ima mnoge prednosti, predvsem glede preizkušanja raznih variant modela. Tak model mora povezovati vire onesnaženja in vsebovati njihovo dejansko onesnaževanje (emisija - onesnaženje), način razširjanja v okolico virov in s tem tudi meteorološke in reliefne pogoje. Prvega dela tu ne bomo opisovali, ker je zveza med emisijo in onesnaženjem ob samem viru poseben problem. Gre za to, da pri numeričnem načinu opisujemo razširjanje onesnaženja navadno v mreži računskih točk, ki pa morajo biti značilne za ves volumen, ki tako točko obdaja. Vprašanje je torej, v kolikšen volumen okrog vira se v časovni enoti (časovnem računskem koraku) onesnaženje iz vira razširi. Šele če to vemo, moramo v točkah, ki predstavljajo vire, predvideti primerno onesnaženje. V modelih, ki smo jih izdelali /1/, smo se tega problema lotili na osnovi izsledkov več avtorjev /2,3,4/, vendar moramo reči, da problem za posebne oblike virov (npr. cesta v useku ali med bloki hiš) še ni povsem zadovoljivo rešen in bodo zato potrebne še mnoge sočasne meritve emisije in onesnaženja ob samem viru.

Za drugi del problema, to je za razširjanje onesnaženja ob poznanem onesnaževanju pri viru, lahko za linijske vire uporabimo dva načina. Ekonomični in preprosti so dvodimenzionalni modeli razširjanja, če privzamemo stacionarno stanje, dovolj dolg raven vir ter horizontalno homogen tok zraka poprek nanj /npr. 5/. Ob tem, da privzamemo neki profil vetra ter njemu primerne koeficiente turbulentne izmenjave, smo problem v glavnem že rešili.

Tridimenzionalnemu modelu se težko ognemo, če je vir vijugast in po jakosti nehomogen ali pa teren tak, da pogoji glede razširjanja niso povsod enaki. Tudi tu se z omejitvijo na stacionaren primer lotimo opisovanja nekega poprečnega stanja. Seveda pa lahko uporabimo model tudi za nestacionarno dogajanje. Tu lahko vnaprej določimo časovni potek emisije in gibanja zraka, ali pa gibanje zraka prognoziramo z modelom atmosfere /npr. 6/. V tem članku bomo opisali rezultate, ki smo jih dobili z modeloma za stacionaren primer /1,7,8/.

DVO- IN TRIDIMENZIONALNI MODEL RAZŠIRJANJA ONESNAŽENJA

Na kratko opišimo osnovne lastnosti modelov, s katerimi smo proučevali razporeditev koncentracij onesnaženja $C(x,y,z)$ /1,8/.

Za stacionaren primer s horizontalno homogenim vetrom v smeri x moremo

zanemariti turbulentno difuzijo v smeri vetra v primerjavi z advekcijo v tej smeri. V dvodimenzionalnem primeru moremo vire onesnaženja vgraditi v robne pogoje, tako da vir $I(z)$ postavimo v koordinatni začetek, pri $x=0$, in tam predpišemo vrednost koncentracije onesnaženja $C_0(z)$. Ta je odvisna od jakosti vira, pa tudi od reliefnih in meteoroloških pogojev razširjanja onesnaženja. Ostane nam še, da advekcijo v smeri vetra in difuzijo v vertikalni smeri opišemo z enačko:

$$u(z) \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K_z(z) \frac{\partial C}{\partial z} \right] \quad (1)$$

Tu sta $u(z)$ in $K_z(z)$ znani funkciji višine; $u(z)$ popisuje potek vetra z višino, $K_z(z)$ pa potek kinematičnega koeficienta turbulentne izmenjave (difuzivnosti) z višino.

K enačbi (1) spadajo še robni pogoji. Onesnaženje pri viru ($x=0$) poznamo, v veliki oddaljenosti od njega pa je zelo majhno, torej:

$$C(0,z) = C_0(z) \quad \text{in} \quad C(\infty,z) = 0. \quad (1_1)$$

Pri tleh moremo za marsikateri polutant (npr. CO) predpostaviti popolno refleksijo. Če je na neki višini h nad tlemi temperaturna inverzija, tudi ta tako zavira izmenjavo, da je tam upravičen enak pogoj. Namesto da bi predpisovali vrednosti odvodov funkcije C , opravi nalogo robnih pogojev postavitev:

$$K_z(0) = 0 \quad \text{in} \quad K_z(h) = 0. \quad (1_2)$$

Za bolj zapletene vire onesnaženja moramo uporabiti tridimenzionalni model. Tudi tu zanemarimo difuzijo v primerjavi z advekcijo v smeri x , to je v smeri horizontalno homogenega vetra. Predpišemo stalne vire onesnaženja $I(x,y,z)$, razširjanje pa opišemo z enačbo:

$$u(z) \frac{\partial C}{\partial x} = K_y(z) \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial}{\partial z} \left[K_z(z) \frac{\partial C}{\partial z} \right] + I(x,y,z) \quad (2)$$

Tu sta difuzivnosti K_y v horizontalni smeri, poprek na veter, in K_z v vertikalni smeri, lahko tudi različni.

Na robovih, pravokotnih na veter, predpišemo:

$$C(0,y,z) = 0 \quad \text{in} \quad C(\infty,y,z) = 0 \quad (2_1)$$

pri tleh in na višini h pa kot prej:

$$K_z(0) = 0 \quad \text{in} \quad K_z(h) = 0. \quad (2_2)$$

Nobenega opravičila za tak pogoj pa ne bi imeli na bočnih robovih obravnava-nega področja, pri $y=0$ in $y=y_1$, saj se skozi onesnaženje neovirano širi. Zato postavimo, da gre skozi toliko onesnaženja, kolikor ga do tja pride. To dosežemo s postavko:

$$\left. \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right|_{y=0} = \left. \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right|_{y=0+\Delta y} \quad \text{in} \quad \left. \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right|_{y=y_1} = \left. \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right|_{y=y_1-\Delta y} \quad (2_3)$$

Že iz zapisa zadnjega robnega pogoja (2₃) je videti, da smo enačbi (1) in (2) reševali numerično. Izbrali smo eksplicitno shemo /9/, ki je le pogojno stabilna.

Veter smo opisali z logaritmično-linearnim profilom po Moninu in Obuhovu/10/:

$$u(z) = \frac{u_*}{k} \left[\ln \left(\frac{z}{z_0} \right) + \alpha \frac{z}{L} \right] \quad (3)$$

in njemu pripadajoč profil difuzivnosti z :

$$K_z(z) = \frac{u_* k z}{1 + \alpha \frac{z}{L}} \quad (4)$$

medtem, ko je K_y večji /11/:

$$K_y(z) = 1.5 K_z(z) \quad (5)$$

Pri tem smo postavili torno hitrost $u_* = 0.2 \text{ ms}^{-1}$, hrapavost $z_0 = 0.5 \text{ m}$, stabilitetno dolžino Monina in Obuhova $L=600 \text{ m}$, koeficient $\alpha = 1.5$, von Kármánovi konstanti pa smo pripisali vrednost $k=0.36$. Vse to pomeni šibak veter in slabo izmenjavo.

Pri tej izbiri $u(z)$, $K_y(z)$ in $K_z(z)$ je eksplicitna shema stabilna za mrežne razdalje $\Delta x = \Delta z = 10 \text{ m}$ v dvodimenzionalnem ter $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 10 \text{ m}$ v tridimenzionalnem primeru. V prvem primeru računamo v pravokotniku, in sicer izberemo $h=150 \text{ m}$, v drugem primeru pa v kvadru: $h=120 \text{ m}$, $y_1=3000 \text{ m}$; obakrat računamo do razdalje $x=5500 \text{ m}$ od koordinatnega izhodišča.

REZULTATI

Opisana modela smo uporabili na primeru dela načrtovane avtomobilske ceste skozi Sarajevo. Tu želimo prikazati primerljivost rezultatov po obeh modelih, zato smo za izbrani del ceste naredili dve vrsti računov. Z dvodimenzionalnim modelom smo izračunali razporeditev onesnaženja v vertikalnem preseku vzdolž vetra v zavetrju vsakega karakterističnega predela ceste (mostu, nasipa, ustja predora, useka itd.), tako da smo ustrezno začetno onesnaženje $C(z)$ postavili pri $x=0$. S tridimenzionalnim modelom pa smo računali rešitev enačbe (2) s pri-

padajočimi robnimi pogoji, ter z razporeditvijo onesnaženja $C_0(x,y,z)$ pri viru, kakršna ustreza virom $I(x,y,z)$ ter posameznemu predelu ceste in pogojem širjenja. Več o povezavi med C_0 in I smo povedali v /1/, tu pa prikažemo na sliki 1 le krajevno porazdelitev $C_0(x,y,z)$.

Izračunane vrednosti smo pri tridimenzionalnem modelu kar prenesli v mrežo točk, pri dvodimenzionalnem modelu pa tako, da smo koordinatne začetke vertikalnih presekov postavili na ustrezna mesta v mreži - na cesto; s tem smo $C_0(z)$ preuredili v $C_0(x,y,z)$. Potem smo vnešene podatke analizirali in dobili razporeditve onesnaženja, kot jih pri tleh prikazujeta sliki 2 in 3.

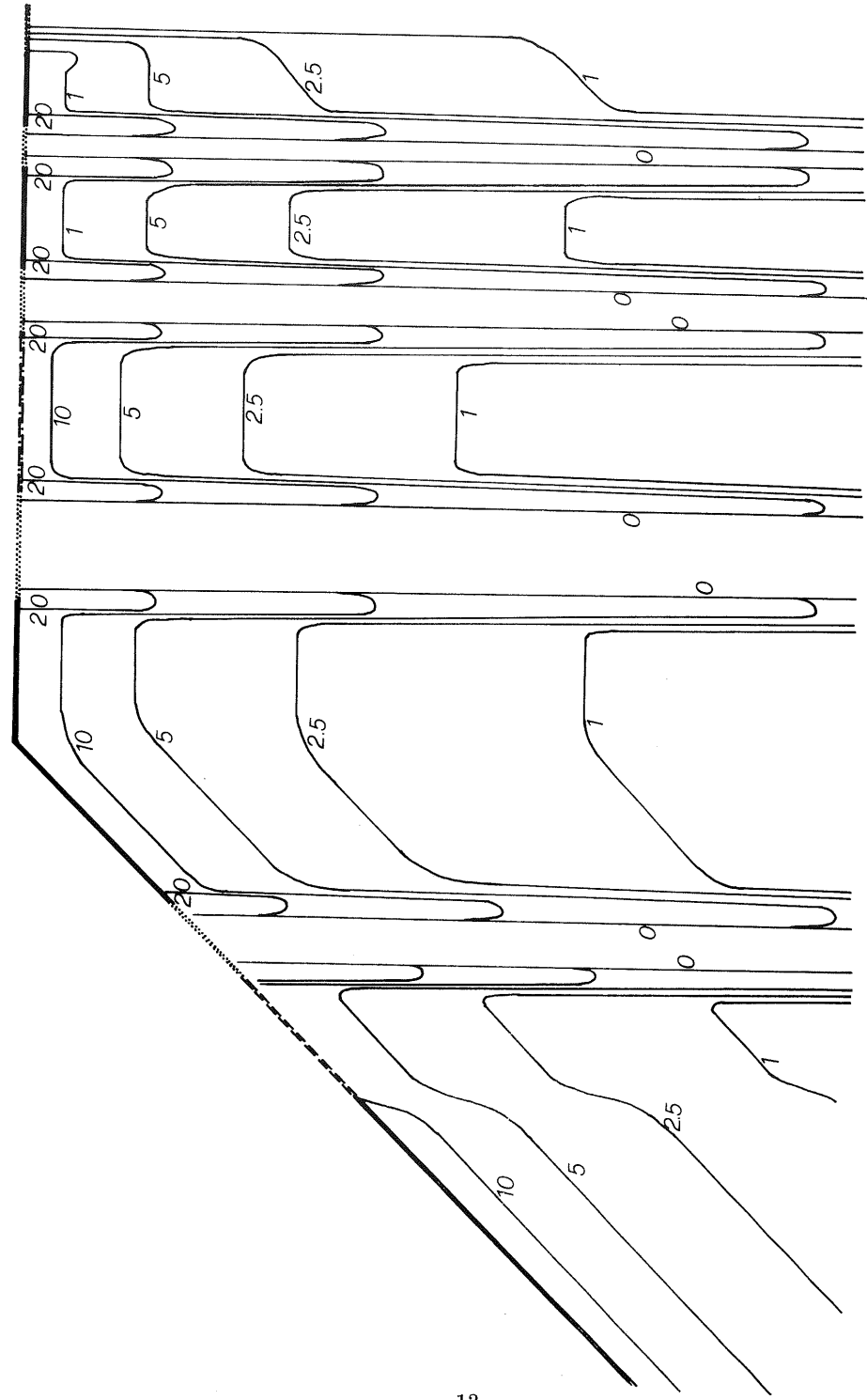
Vidimo, da rezultati v zavetrju daljših homogenih odsekov ceste niso zelo različni. Če bi rezultatom dvodimenzionalnega modela (slika 2) pri analizi z izglajevanjem "dodali" bočno difuzijo, bi se mogli približati sliki, ki jo daje tridimenzionalni model. Tak rezultat je seveda posledica izbrane šibke difuzije. Pri močni difuziji bi bila razporeditev po tridimenzionalnem modelu kaj kmalu za cesto precej izglajena in niti malo podobna oni po dvodimenzionalnem modelu.

To pomeni, da moremo pri šibki turbulentni izmenjavi do neke mere uporabljati rezultate preprostega dvodimenzionalnega modela, če seveda znamo oceniti napake, ki iz tega sledijo. Pri analizi rezultatov moramo upoštevati nehomogenosti, ki so vzrok za tridimenzionalnost dogajanja, in to tiste glede virov onesnaženja, kot tudi tiste v reliefu, ki posredno vplivajo tudi na nehomogenosti v toku zraka (spremenljivost smeri vetra, divergenca ali konvergenca, deformacija itd.).

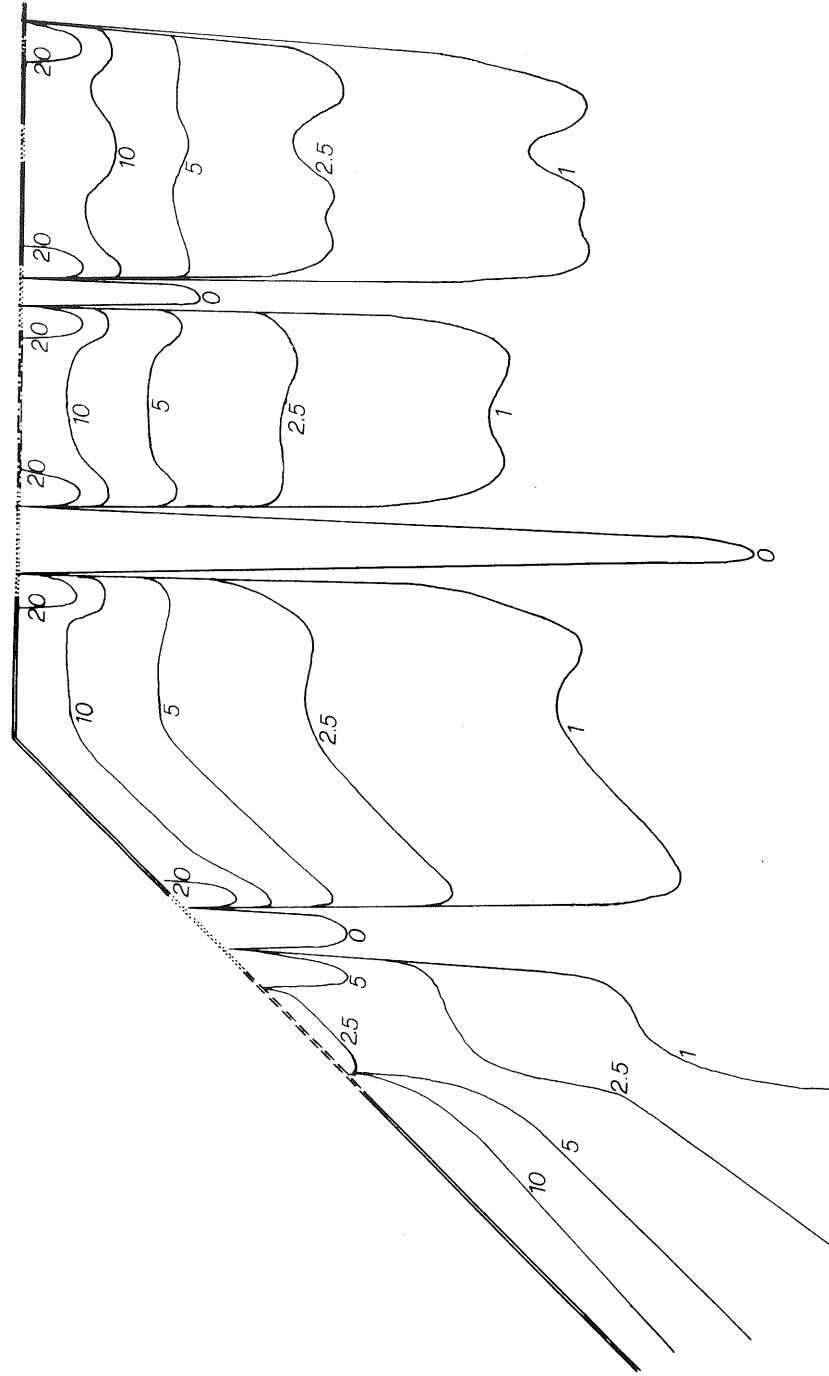
Na splošno dajeta oba modela realne rezultate (več o njih govorimo v /1/ in /8/). Še boljše bi dosegli, če bi vanju vgradili izmerjeno polje vetra in difuzivnosti, vendar pa se na takšne meritve v mikro- in mezometeorološki skali v razgibanem reliefu za sedaj še ne moremo opreti, ker so le redko kje na razpolago.

ZAKLJUČEK

Iz prikazanega se vidi, da brez kritične presoje ni mogoče uporabljati običajnih dvodimenzionalnih modelov za stacionarno širjenje onesnaženja od linijskih virov, kot jih najdemo v literaturi. To pa je mogoče v primeru slabe turbulentne difuzije, torej na primer ob počasnih pobočnih vetrovih, kot smo jim priča v kotlinah in po dolinah. Toda tudi tu je potrebno pri analizi rezultatov z izglajevanjem "dodati" bočno difuzijo ter upoštevati nehomogenosti linijskega vira onesnaženja, reliefa in gibanja zraka.



Slika 2 Razporeditev onesnaženja zraka pri tleh (v relativnih enotah) v zavetrju ceste po dvodimenzionalnem modelu.
 Fig. 2 The distribution of air pollution near the ground (in relative units) downwind from the road according to the two-dimensional model.



Slika 3 Razporeditev onesnaženja zraka pri tleh (v relativnih enotah) v zavetrju ceste po tridimenzionalnem modelu.
 Fig. 3 The distribution of air pollution near the ground (in relative units) downwind from the road according to the three-dimensional model.

DNEVNI HOD KONCENTRACIJ ONESNAŽENOSTI ZRAKA V KOTLINAH
THE DAY COURSE OF AIR POLLUTION CONCENTRATIONS IN BASINS

Janko PRISTOV
Meteorološki zavod SR SLOVENIJE, Ljubljana

551.510.42

SUMMARY

On the basis of half-hour values of SO_2/m^3 concentrations for Ljubljana all the values have been classified into six groups of different day courses of air pollution, for the periods from November 1977 to February 1978, and from November 1978 to January 1979.

These groups are the following:

- 1 - the maximum of pollution concentrations occurs in the morning or in the forenoon (36 cases)
- 2 - two explicit maxima of air pollution occur - one in the forenoon and the other in the afternoon or evening (26 cases)
- 3 - the maximum of air pollution occurs between 11 a. m. and 5 p. m. (29 cases)
- 4 - the maximum of air pollution occurs only in the evening (11 cases)
- 5 - air pollution concentrations do not have an explicit maximum. Higher values of maximum mostly exceed the limit of $0.4 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ (22 cases)
- 6 - the air pollution concentrations do not have an explicit maximum and are mostly below $0.4 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ all day long (58 cases).

For each group meteorological parameters have been determined in the basin bottom (Ljubljana - 299 m above sea level) and at the hill top (Šmarna gora - 665 m above sea level), the estimation of fog thickness in the basin also being at our disposal.

For the first group of cases (Fig. 1 a) it is characteristic that one (Fig. 2 a), or two (Fig. 2 b) maxima may occur. In the first case, the maximum is more explicit and occurs around 7 a. m. In the second case - if there are two maxima - the first one occurs around 7 a. m., and the second one somewhat later, but not later than 11 a. m.

These shapes of concentration curves are obtained at weak inversion, when the wind is blowing in basin in the evening; a significant temperature inversion, however, occurs only during the night, when the pollution emission is minimum. The cold air layer is thin, and therefore, with the increased emission in the early morning hours, the SO_2 concentrations very quickly reach higher values. The second maximum occurs when the inversion is terminated.

The second group of cases occurs at stationary condition, when the cold-air layer at the surface is being formed already in the afternoon or in the evening. This is followed by the increased concentration, which diminishes during the night, and then increases again in the morning, but not so quickly as in the first group, due to greater thickness of cold-air layer. The initial value in the early morning hours is higher than in the first group, and so the relative increase about 7 a.m. is lower. If, in the afternoon, cold air is only slightly warmed up, the afternoon minimum does occur (Fig. 3 a); however, it is not as explicit as in cases when the cold air disappears (Fig. 3 b). When the cold air disappears completely, a moderate wind begins to blow.

In the third group (Fig. 4 a) the maximum of air pollution occurs around noon, resp. in the early afternoon. It occurs at large cold-air lakes when fog or low cloudiness - stratus in Ljubljana persist almost all day long. Usually, in these cases, there is - in the early afternoon - a few-hour period with fog and visible sky, or the sky is not completely clouded anymore. The maximum value of air pollution occurs at temperature increase at the surface (Fig. 5 a). In this period of the strongest air pollution an explicit temperature inversion occurs, as the air gets much warmer at Smarna gora (600 m) than in Ljubljana (300 m), during the day.

Similar air pollution conditions also occur when fog or low cloudiness persist all day long (Fig. 5 b), if the day temperature course is at least slightly noticeable. In these cases, the difference between air pollution at night and during the day is smaller, and the shape of the curve is gradually approaching the cases when high concentration exists all day long.

A group of cases with maxima during the evening hours frequently occurs on Sundays, when the morning maximum does not take place due to the decrease of air pollution emission, or due to the advection of warmer air (Fig. 4 b).

In cases when concentrations are rather strong almost all day long (Fig. 6 a) - at prevalent cloudy weather - precipitations are also frequent. The most frequent reason is the flow of warmer air above the cooled surface layer. Also in this group the minimum of air pollution occurs around 4 a.m.

These results, namely at what weather conditions different day courses of SO_2 concentrations occur in the air, are valid for Ljubljana, or - more precisely - for the determined measuring point only. However, the meteorological elements in the sense of our investigations are uniform for the town itself, together with its nearby surroundings; therefore, above all, the emission of air pollution in a certain region can be taken as variable

These results can be generalized also for other towns situated in basins, but only if the curves of day course of air pollution are similar, and not the absolute value of pollution, which in any case mostly depends on the intensity of pollution and relief conditions.

POVZETEK

Na osnovi dnevnih hodov koncentracij onesnaženja zraka z SO_2 v Ljubljani so določene posamezne skupine s podobnim dnevnim hodom. Za vsako skupino so poiskani meteorološki vplivi na dnevni potek onesnaženja, kakor tudi vpliv različne emisije SO_2 .

UVOD

V preteklih letih smo obravnavali meteorološke vzroke, ki omogočajo visoke koncentracije onesnaženja zraka na osnovi poprečnih dnevnik koncentracij SO_2 v Ljubljani /1/. Pri tem smo upoštevali reliefne značilnosti kotline /2/. Dobili smo odvisnost med vremenskimi dogajanja in poprečnim dnevnim onesnaženjem zraka /3,4/.

Ker so v Ljubljani ponavadi velika dnevna nihanja onesnaženja zraka smo se odločili, da podrobneje proučimo dnevni hod. Na voljo smo imeli dveletne polurne podatke o koncentracijah SO_2 v zraku. Izbrali smo časovno razdobje, ko so bile koncentracije SO_2 v zraku razmeroma visoke.

Pri analizi dnevnik hodov onesnaženja zraka iščemo vzroke, zakaj nastane določen hod koncentracij. Čimbolj želimo ločiti vpliv meteoroloških parametrov na onesnaženje zraka od vpliva spremembe emisije SO_2 prek dneva.

Predpostavili smo, da ima emisija v delovnikih vedno približno enak dnevni hod, razlika se pojavi le ob nedeljah, ko se jutranji maksimum pomakne v dopoldanski čas.

IZHODIŠČNI PODATKI

Za razdobje od novembra 1977 do februarja 1978 in od novembra 1978 do januarja 1979 smo za vsak dan posebej na osnovi polurnih vrednosti izrisali dnevni potek onesnaženja zraka. Meteorološki podatki in podatki onesnaženja zraka za Ljubljano so za mersko enoto mesto "Meteorološki observatorij". Vreme v mesecu februarju 1979 je bilo zelo spremenljivo, bilo je dovolj vetra, tako, da niso nastajale izrazite temperaturne inverzije v prizemnih plasteh ozračja. Koncentracije onesnaženja so bile v tem mesecu nizke in zato ta mesec nismo obdelali. Za naše raziskave smo poleg polurnih vrednosti onesnaženja zraka uporabljali še naslednje meteorološke parametre: urne vrednosti temperatur zraka, smeri vetra, poprečne in maksimalne urne hitrosti vetra, oblačnost (vrsto in višino oblakov), vidnost ter meteorološke pojave (megla, dež, sneg itd.) z njihovo intenziteto.

Za Šmarno goro smo imeli opazovanja le ob 07., 14. in 21. uri. Vremenski pojavi so grobo določeni za ves dan, pravitako pa je ocenjena tudi višina zgornje meje megle za Ljubljansko kotlino. Oktobra 1978 smo na Šmarno goro postavili sodoben instrument za merjenje vetra in imamo od takrat dalje vse podatke o vetru, enako kot za Ljubljano.

Na osnovi analize vremenskih podatkov Ljubljane in Šmarne gore ter ob istočasnem poznavanju sinoptične situacije je možno sklepati na vremenska dogajanja v nižjih zračnih plasteh. Ta dogajanja so odločilnega pomena za pojavljan-

je visokih koncentracij onesnaženja zraka v Ljubljanski kotlini.

Za izhodišča smo imeli 182 dnevnik potekov koncentracij onesnaženja zraka z SO_2 .

METODA DELA

Za vsak dan ločeno smo na osnovi vseh razpoložljivih podatkov iskali vzroke, zakaj se pojavlja določen dnevni hod koncentracij. Sprva smo želeli porazdeliti v skupine vse primere na osnovi vremenskih karakteristik. Rezultati niso bili zadovoljivi, ker so bili pri istem vremenskem tipu različni poteki koncentracij. Namesto te razdelitve v vremenske tipe, smo razdelili vse poteke koncentracij onesnaženja v šest skupin in smo nato za vsako posebej iskali specifična vremenska dogajanja.

Te skupine so:

- 1 - maksimum koncentracij onesnaženja je zjutraj ali v dopoldanskem času (36 primerov)
- 2 - obstajata dva izrazita maksima onesnaženja zraka, in sicer je prvi v dopoldanskem, drugi v popoldanskem ali večernem času (26 primerov)
- 3 - maksimum onesnaženja je med 11. in 17. uro (29 primerov)
- 4 - maksimum onesnaženja je samo v večernem času (11 primerov)
- 5 - koncentracije onesnaženja nimajo izrazitega maksima. Višje vrednosti onesnaženja večinoma presegajo mejo $0.4 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ (22 primerov)
- 6 - koncentracije onesnaženja zraka nimajo izrazitega maksima in znašajo prek celega dne večinoma manj kot $0.4 \text{ mg SO}_2/\text{m}^4$ (58 primerov)

Pri meritvah onesnaženja zraka so registracije večkrat izpadle, bodisi le krajši čas ali nekaj ur, lahko pa tudi za en dan oziroma več dni.

Če je registracija meritev onesnaženja zraka izpadla za manj kot en dan in smo na osnovi te registracije še lahko določili skupino, v katero spada po obliki krivulje, smo meritve upoštevali, v nasprotnem primeru smo jih izločili.

Za porazdelitve poteka dnevnik krivulj onesnaženja zraka v posamezne skupine nismo imeli objektivnik kriterijev. Zato smo jih porazdelili na osnovi subjektivne ocene, ki je prišla do izraza posebno pri kombiniranih vremenskih situacijah, ko se že pozna sprememba vremena.

RAZLAGA VREMENSKIH DOGAJANJ ZA POSAMEZNE SKUPINE POTEKA KONCENTRACIJ ONESNAŽENJA ZRAKA

1. skupina

V skupini, ko je maksimum onesnaženja samo v dopoldanskem času je 36 primerov. Značilnost celotne skupine (slika 1 a) je, da je poprečna dnevna koncentracija razmeroma nizka. Najmočnejši porast onesnaženja je med 5. in 7. uro zjutraj, nato počasnejši do 10. ure, nakar se polagoma zmanjšuje.

Dnevni poteki koncentracij onesnaženja so pokazali, da v teh primerih pogosto nastopata dva maksima koncentracij. Prvi je okoli 7. ure zjutraj, drugi pa nekoliko kasneje do 11. ure (slika 2 a). Oba maksima se včasih združita in je takrat maksimum okoli sedme ure toliko bolj izrazit (slika 2 b). Seveda so še druge kombinacije, odvisno pač od vremenskih dogajanj.

Te oblike koncentracijskih krivulj so ponavadi ob neizrazitih inverzijah, ki v dopoldanskem času izginejo in nastajajo ponovno šele v nočnih urah. Značilno za to skupino je, da ni popoldanskega maksima onesnaženja zraaka.

Vzrok takšnim razmeram je, da v Ljubljani podnevi in tudi zvečer večinoma piha kar znaten veter, ki ima poprečno hitrost na 2 m/s in posamezne sunke več kot 5 m/s. To je zadostna hitrost vetra, da ne more nastopiti na dnu kotline plast hladnega zraka. Veter se umiri šele pozno zvečer ali ponoči, takrat pa prične nastajati jezero hladnega zraka. Koncentracije se ob pričetku nastajanja jezera hladnega zraka ne povečujejo, ker je to ponoči, ko je v Ljubljani najmanjša emisija onesnaženja. Za formiranje jezera hladnega zraka je do jutranjih ur razmeroma malo časa in je zato to jezero ob 6. uri zjutraj, ko prične povečana emisija onesnaženja, še razmeroma plitvo. Zaradi majhnega volumna jezera hladnega zraka ali z drugimi besedami zaradi nizke temperaturne inverzije, koncentracije onesnaženja zelo hitro sledijo povečani emisiji.

Drugi maksimum onesnaženja okrog 10. ure nastane tik pred porušitvijo inverzije, ko ponavadi močno poraste temperatura in pogosto prične pihati zmeren veter.

2. skupina

Podobne vremenske razmere pri tleh kot v prvi skupini zasledimo v drugi skupini, to je takrat, kadar sta dva maksima onesnaženja zraaka; in sicer prvi v dopoldanskih in drugi v večernih urah (slika 1 b). Teh primerov je 26 in se pojavljajo v celotnem zajetem razdobju, odvisno od trenutnih vremenskih razmer in debeline hladnega zraka v Ljubljanski kotlini. Pogoj za takšno porazdelitev onesnaženja je razmeroma stacionarno stanje, ko so spremembe vremenskih dogajanj počasne. V teh primerih se prične zbirati že pozno popoldne oziroma zvečer v kotlini hladen zrak in naslednji dan zaradi segrevanja plast hladnega

zraaka ponovno izgine.

V tej skupini primerov si predstavljamo, da je plast hladnega zraka v kotlini že debelejša, kot je bila v primerih, ko so bile povečane koncentracije samo v dopoldanskem času. Debelino plasti hladnega zraka smo v teh primerih lahko ocenili ali, bolje povedano, primerjali z debelino v prejšnjih primerih samo posredno z vremenskimi dogajanjmi ali z debelino megle, opazovane s Šmarne gore. Izmerjenih debelin plasti nimamo.

Jutranje in dopoldanske koncentracije si razlagamo na podoben način kot v prejšnji skupini, le da je nočna vrednost onesnaženja nekoliko višja zaradi višjih vrednosti v večernih urah. Manj izrazit je maksimum okoli sedme ure, ki lahko tudi popolnoma izgine, nadalje pa se povečuje koncentracija vse do glavnega maksima okoli 10. ure. Tudi ta se pojavlja v poprečju kasneje od primerov s samo dopoldanskim maximumom. Absolutna vrednost onesnaženja je višja, čeprav je amplituda onesnaženosti manjša zaradi razmeroma visokih nočnih vrednosti.

V teh primerih je sekundarni minimum onesnaženja zraaka v popoldanskih urah, odvisno od tega, kdaj jezero hladnega zraka močno oslabi (slika 3 a) ali popolnoma izgine (slika 3 b).

V primerih, ko jezero hladnega zraka popolnoma izgine, piha ponavadi vsaj za kratek čas razmeroma močan veter (sunki nad 5 m/s). Če pa vetra ni, ostanejo tudi pri tem popoldanskem minimumu višje koncentracije onesnaženja, kot v nočnem času.

Kdaj nastane večerni maksimum onesnaženja je predvsem odvisno od zbiranja hladnega zraka v dnu kotline. Brž ko začne v Ljubljani temperatura padati, se prične večati tudi koncentracije onesnaženja. Te se večajo sprva počasi, ko pa doseže jezero hladnega zraka določeno debelino (višino dimnikov), se koncentracije hitro povečajo. Z nadaljnim ohlajanjem, ko se jezero hladnega zraka vedno bolj povečuje, koncentracije onesnaženosti upadajo. Temu je verjetno vzrok tudi zmanjšana emisija onesnaženosti v poznih večernih urah.

To zmanjševanje onesnaženosti zraaka se v zmanjšani meri nadaljuje v drugo polovico noči, ko doseže minimum. Temu ni vzrok samo večanje volumna ohlajenega zraka, temveč tudi večje izločanje SO_2 iz zraaka, kot je emisija v ozračje.

Minimalne koncentracije onesnaženja so med 3. in 5. uro zjutraj. Po tem času koncentracije onesnaženja rastejo, in to predvsem zaradi povečane emisije. Kako vpliva jutranja emisija onesnaženosti zraaka na povečanje koncentracij je odvisno od vremenskih razmer. Če je plast hladnega zraka plitva in se prične razkrajati že v zgodnjih dopoldanskih urah, potem je porast onesnaženosti zraaka že pred sedmo uro izrazit in nato razmeroma počasen, do močnega porasta

temperature, ko se koncentracije onesnaženosti hitro večajo. Če pa je debelina hladnega zraka znatno večja (200 do 300 m), kar je večkrat mogoče ugotoviti na osnovi meteoroloških podatkov Šmarne gore in Ljubljane, potem maksimum okrog sedme ure ni izrazit ali celo popolnoma izpade. Močan porast temperature pri tleh je v teh primerih šele v opoldanskem času. Tik pred porastom so najvišje koncentracije onesnaženosti, ki nato hitro upadajo.

Kako izrazit je minimum onesnaženosti v zgodnjih popoldanskih urah je odvisno od tega, če v tem času piha zadosti močan veter ali ne.

3. skupina

Nadaljevanje prve in druge skupine primerov je tretja skupina, to je takrat, kadar je maksimum onesnaženosti zraka med 11. in 17. uro (slika 4 a). Skupina šteje 29 primerov in ima v poprečju zelo karakterističen dnevni hod koncentracij onesnaženosti zraka. Ima samo en maksimum onesnaženja zraka in to v opoldanskem ali zgodnjepopoldanskem času, to je takrat, kadar so v prvih dveh skupinah minimi onesnaženja zraka. Pogoji za takšno razporeditev onesnaženosti zraka so obsežna jezera hladnega zraka, ko je pretežni del dneva v Ljubljani megla ali nizka oblačnost. Ponavadi nastane v popoldanskem času nekajurno razdobje, ko je megla z vidnim nebom ali gosta meglica, lahko pa se tudi visoka megla oziroma stratus za nekaj ur razkroji. Maksimalna vrednost onesnaženja zraka je ob premešanju zraka in porastu temperature, to je, predno se delno razjasni.

Na osnovi meteoroloških podatkov Ljubljane in Šmarne gore, kakor tudi na osnovi opazovanja zgornje višine megle sklepamo, da je debelina jezera hladnega zraka od 150 do 300 m.

Temperaturna amplituda je v teh dneh na Šmarni gori približno 8 do 10°C, medtem ko je v Ljubljani vsaj za polovico manjša. Že iz teh temperaturnih podatkov sledi, da v teh primerih ostane v kotlinah plast hladnega zraka, ki pa je tanjša kot v nočnem in jutranjem času (slika 5 a). Da ostane hladen zrak v nižjih plasteh, potrjuje tudi prizemna hitrost gibanja zraka. Poprečna hitrost vetra ostane ves čas manjša kot 2 m/s in tudi sunki vetra ne dosežejo hitrosti 4 m/s.

Zanimivo je, da se povečajo koncentracije onesnaženja zraka v zgodnjem popoldanskem času tudi v primeru, če ostane ves dan megla, le da se nekoliko zviša temperatura (slika 5 b). Porast onesnaženja je v takšnem primeru manjši in se zato krivulja onesnaženja že približuje skupini, ko so razmeroma visoke koncentracije onesnaženja pretežni del dneva.

4. skupina

V skupini, ko so bile najvišje dnevne koncentracije v večernih oziroma pozno-

popoldanskih urah (slika 4 b) je 11 primerov. To so primeri, ki nastanejo zaradi spremembe vremena ali zaradi manjše emisije onesnaženja v jutranjih urah, kot v drugih dneh.

Od skupno 11 primerov je kar šest takšnih, ki padejo na nedeljo oziroma praznik. V teh dneh se prične emisija znatno kasneje in zaradi izpada ogrevanja tovarn in poslovnih prostorov tudi v znatno manjši meri. Seveda mora biti tudi v teh dneh karakteristično vremensko dogajanje, da nastopijo maksimalne vrednosti onesnaženja zraka v večernem času, saj bi imeli v nasprotnem primeru maksimum onesnaženja ob nedeljah in praznikih vedno v večernem času. Največkrat je eden izmed glavnih vzrokov za pojavljanje večernih koncentracij onesnaženja dotok toplejšega zraka v višinah, ki povzroča nastanek oziroma jačanje temperaturne inverzije in ki zaradi postopnega nižanja inverzije zmanjšuje volumen hladnega zraka pri tleh. Povečane koncentracije v večernih urah se lahko pojavijo tudi zaradi razjasnitev v popoldanskem ali večernem času, ko nastaja zaradi izžarevanja plitva plast hladnega zraka pri tleh in so tako dani pogoji za visoke koncentracije. Takšna dogajanja so že elementi vremena, ki so vzrok za visoke koncentracije onesnaženja zraka neglede na to, v katerem času dneva nastanejo. Prav zaradi tolikšnega vpliva dogajanj, ki niso vezana na določeno razdobje dneva je vprašanje, če je sploh smiselno določiti posebno skupino za maksimalne koncentracije v večernih urah.

5. skupina

Skupina primerov, ko so koncentracije razmeroma visoke, vendar brez izrazitega maksima, ima koncentracija onesnaženja zraka manjše amplitude (slika 6 a). Tudi v teh primerih je minimum onesnaženja okoli 4. ure zjutraj, vendar je znatno višji kot pri drugih skupinah.

V vseh primerih te skupine je vreme pretežno oblačno, lahko tudi s padavinami. Najpogostejši vzrok je dotok toplejšega zraka nad ohlajeno prizemno zračno plast. Zadosti je že, da se otoplitve poznajo samo na Šmarni gori ali pa so manjše otoplitve tudi v Ljubljani. Koncentracije so lahko zelo visoke, odvisno pač od pritekanja toplejšega zraka.

Manjši del primerov ima podobne vremenske situacije kot tretja skupina, to je takrat, ko je maksimum onesnaženja med 11. in 17. uro, le da je v teh primerih pretežen del dneva v oblakih tudi Šmarna gora in zato dnevna temperaturna amplituda ni izrazita. Nekateri primeri imajo najvišje koncentracije le nekoliko nad 0.4 mg, drugi primeri pa tudi nad 0.8 mg SO₂/m³.

Čeprav je v tej skupini (slika 6 a) razmerje pri poprečnih vrednostih med najvišjimi in najnižjimi vrednostmi najmanjše, je razen v izjemnih primerih dnevni maksimum onesnaženja čez 100% višji od dnevnega minima.

Izjemni primeri so v dneh, ko je temperaturna inverzija zelo nizko. Primer

takšne inverzije je 11. december 1978 (slika 7 a), ko je bila debelina megle le ca 50 m in temperaturna razlika med Šmarno goro in Ljubljano kar 5°C .

Drug primer visoke koncentracije onesnaženja zraka v nočnem času je 4. 12. 1978 (slika 7 b), ko je bila debelina megle večja od 300m. Šmarna gora je v megli in ima kljub temu ob 7. uri zjutraj kar 3.2° višjo temperaturo kot je v Ljubljani. Tudi za ta primer menimo, da je prizemna inverzna plast razmeroma nizko.

V teh primerih, ko ni izrazitih porastov ali izrazitih padcev koncentracij onesnaženja, so temperaturne spremembe zelo počasne. Najpreje nastopijo te spremembe v višjih plasteh in se nato postopno prenašajo navzdol brez hitre zamenjave zračne mase. Te spremembe pogosto spremljajo padavine, bodisi dež ali sneg. Sunki vetra nikoli ne dosežejo 5 m/s in le redko presežejo 3 m/s.

Kolikor se temperature hitreje zvišajo, ali prične pihati veter z večjo hitrostjo kot je bila preje omenjena, se koncentracije onesnaženja zraka spremene in preidejo v drugo skupino primerov.

Primeri 5. skupine lahko trajajo več dni, vendar imajo v teh primerih (22. - 25. XI. 1978) izrazit minimum koncentracij onesnaženja v poznih nočnih ali zgodnjih jutranjih urah.

6. skupina

Primere, ko so koncentracije onesnaženja precej enakomerne in so najvišje vrednosti večinoma manjše od $0.4 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ (slika 6), ne bomo podrobneje obravnavali. V zvezi s prognozo onesnaženja zraka nas zanimajo spremembe ali nadaljnje trajanje visokih koncentracij onesnaženja zraka.

Značilno za to skupino je, da ni izrazitih temperaturnih inverzij v nižjih zračnih plasteh. Pogosto je vetrovno in poprečna hitrost vetra v Ljubljani presega 1.5 do 2 m/s, sunki vetra pa so pogosto čez 5 m/s.

Poprečna koncentracija onesnaženja zraka je tudi za to skupino najnižja od polnoči do pete ure zjutraj. Ta vrednost je ca polovico manjša od najvišjih dnevni vrednosti onesnaženja zraka.

ZAKLJUČKI

Ugotovitev ob kakšnih vremenskih razmerah se pojavljajo različni dnevni hodi koncentracij SO_2 v zraku, veljajo za Ljubljano ali, če smo natančni, samo za mersko mesto.

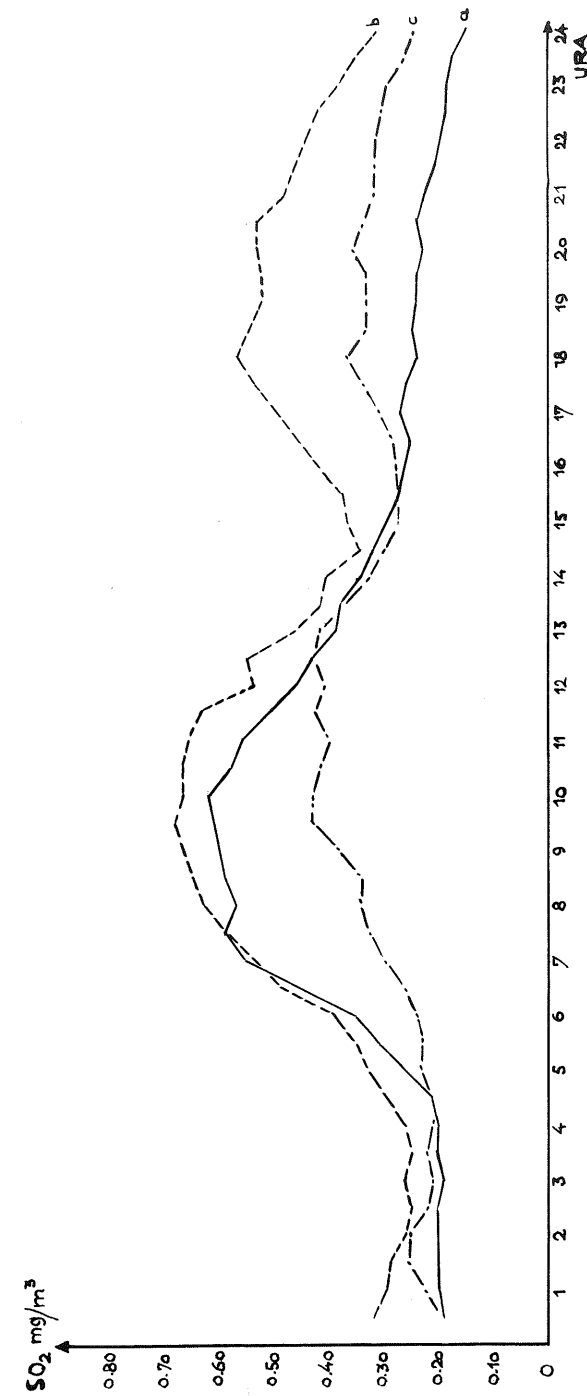
Vsekakor pa so meteorološki elementi v smislu naših raziskav enotni ne samo

za Ljubljano, temveč tudi za širšo okolico. Izhajamo namreč iz primerjave vremenskega dogajanja Ljubljana - Šmarna gora. Na osnovi predpostavljenih razporeditev emisije preučujemo dnevne razporeditve koncentracij SO_2 v odvisnosti od vremenskih stanj. Rezultate se da posplošiti tudi na druga merska mesta, ob predpostavki, da so podobne le krivulje dnevnega hoda onesnaženja v odvisnosti od vremenskih dogajanj, ne pa absolutne vrednosti onesnaženja zraka, ki zavisijo od reliefnih pogojev in predvsem od emisije onesnaženosti.

Poznavanje dnevnih hodov onesnaženosti zraka in vzrokov za njihovo pojavljanje bo omogočilo boljšo prognozo koncentracij onesnaženosti za naslednjih 12 in 24 ur, kakor tudi izbiro boljših kriterijev za določanje kritične stopnje onesnaženosti zraka oziroma za alarmna stanja.

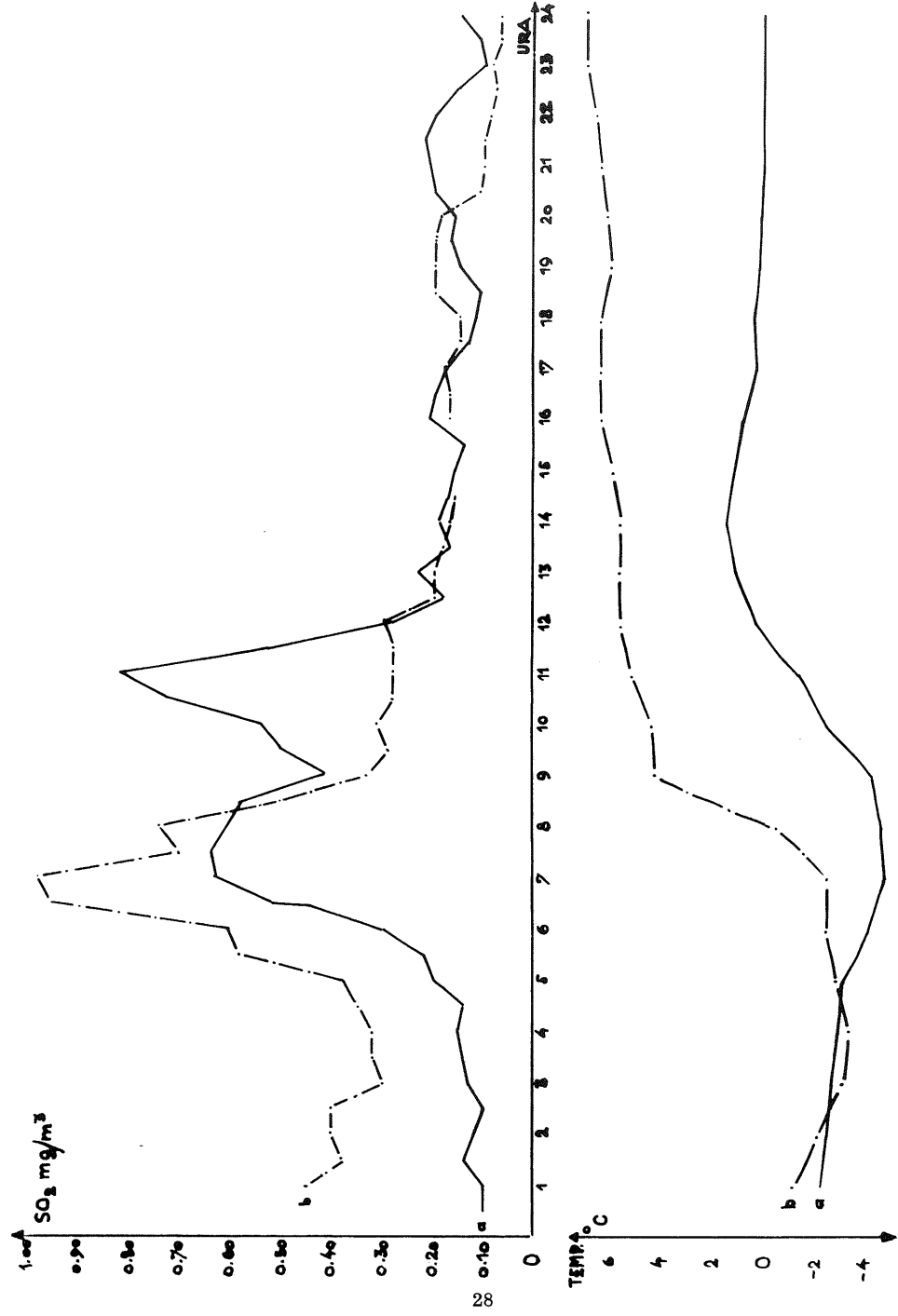
L I T E R A T U R A

- /1/ PRISTOV J. Vremenski pogoji ob visokem onesnaženju zraka. Razprave - Papers XXI. Društvo meteorologov Slovenije, 1977
- /2/ PETKOVŠEK Z. Meteorological and Relief Parameters Regarding Air Pollution in Basins. Proc. of third int. clear air Cong. Düsseldorf B 20-23, 1973
- /3/ PRISTOV J. Prognoza meteoroloških pogojev za onesnaženje zraka. Zbornik referata svetovanja "Meteoroloških, hidrološki i biometeorološki aspekti za- gadjenosti vazduha, vode i tla", Beograd 1978
- /4/ PRISTOV J. Vorhersage der Luftverunreinigung für Talbecken. Verhandlungen der fünfzehnten internationalen Tagung für Alpine Meteorologie. Gründelwald - Schweiz 1978



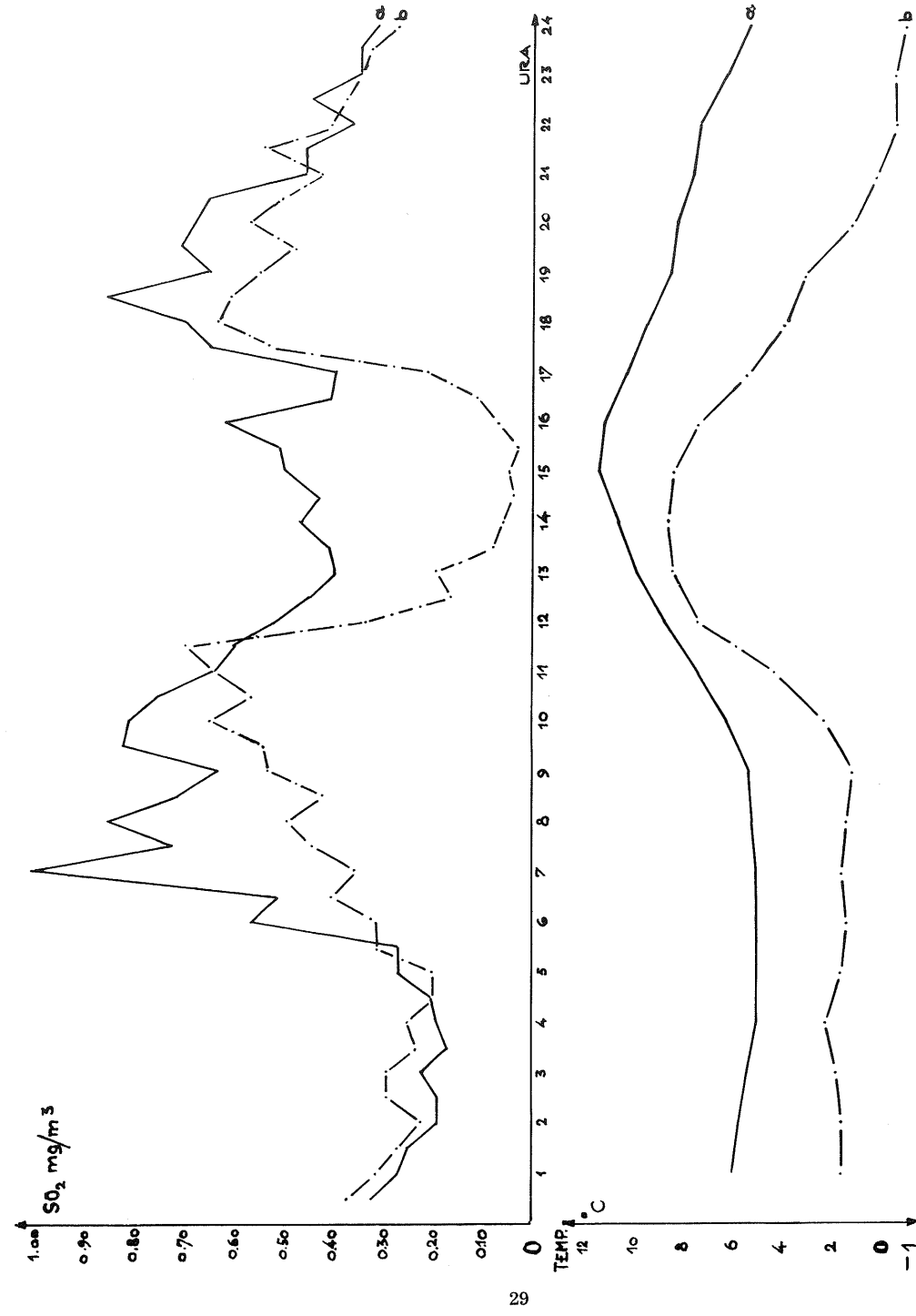
Slika 1 Poprečne polurne koncentracije SO₂ v mg/m³; a za skupino 1, b za skupino 2, c za nedelje in praznike

Fig. 1 Mean half-hour concentrations of SO₂ in mg/m³; a for the group 1, b for the group 2, c for Sundays and holidays



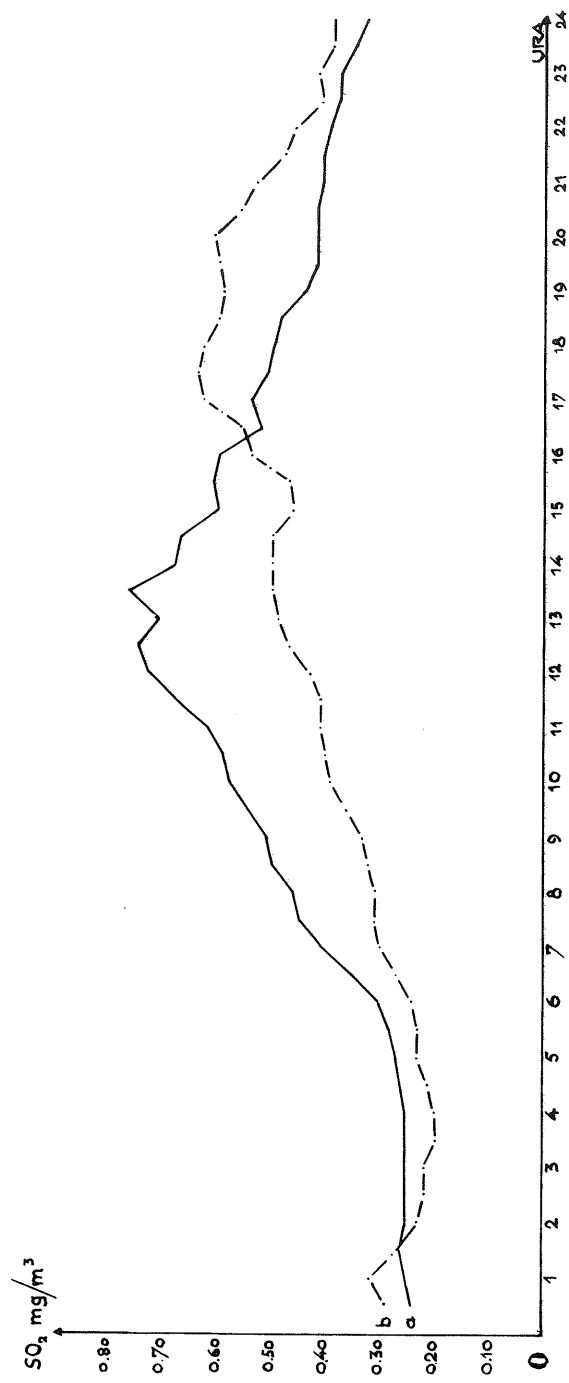
Slika 2 Primarna polurna koncentracija SO₂ in urne vrednosti temperature zraka; a 3. december 1977, b 23. februar 1978

Fig. 2 Cases of half-hour SO₂ concentrations and hour values of air temperature; a 3rd December, 1977, b 23rd February, 1978



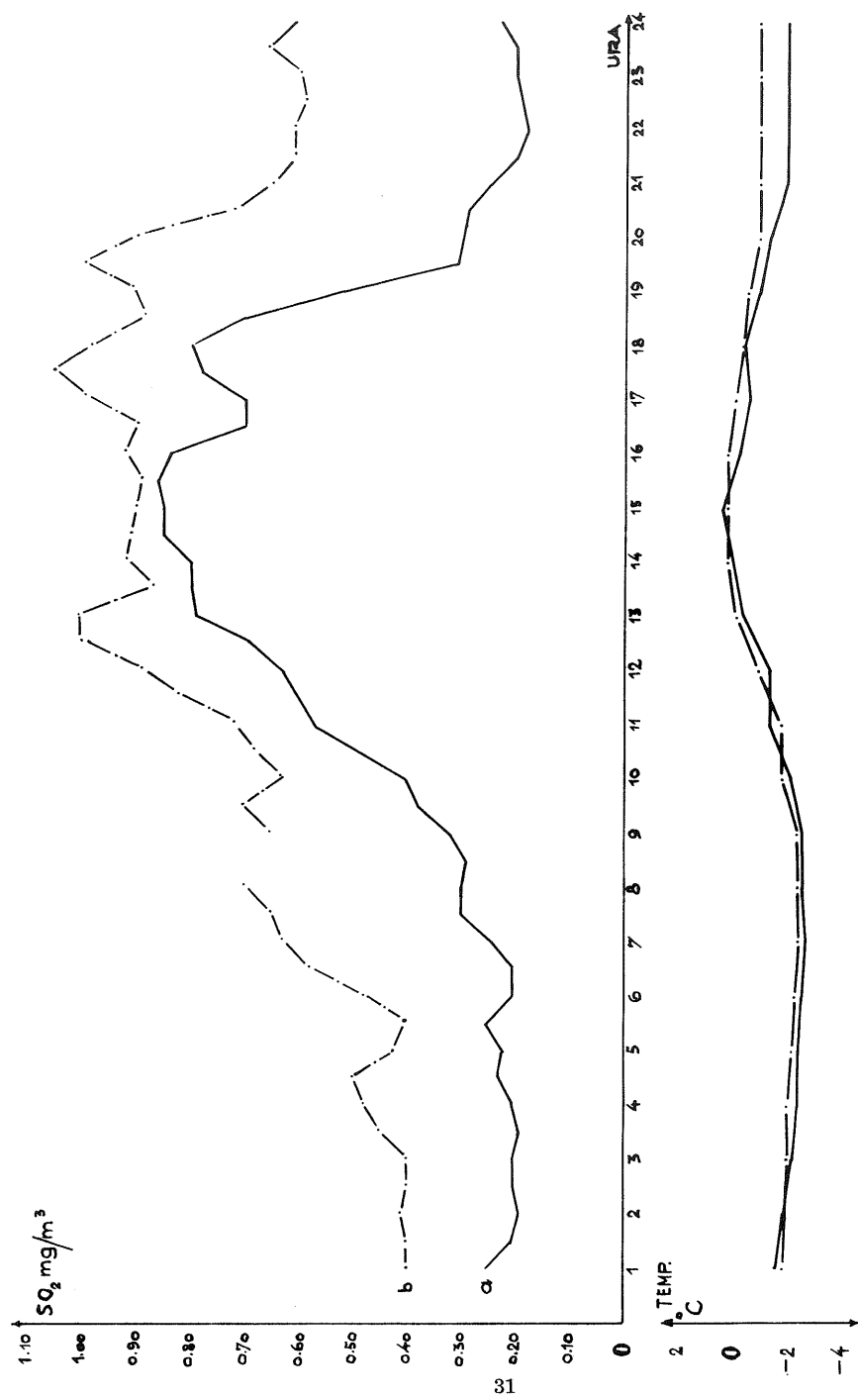
Slika 3 Primera polurnih koncentracij SO₂ in urne vrednosti temperature zraka; a 10. november 1977, b 23. november 1977

Fig. 3 Cases of half-hour SO₂ concentrations and hour values of air temperature; a 10th November, 1977, b 23rd November, 1977



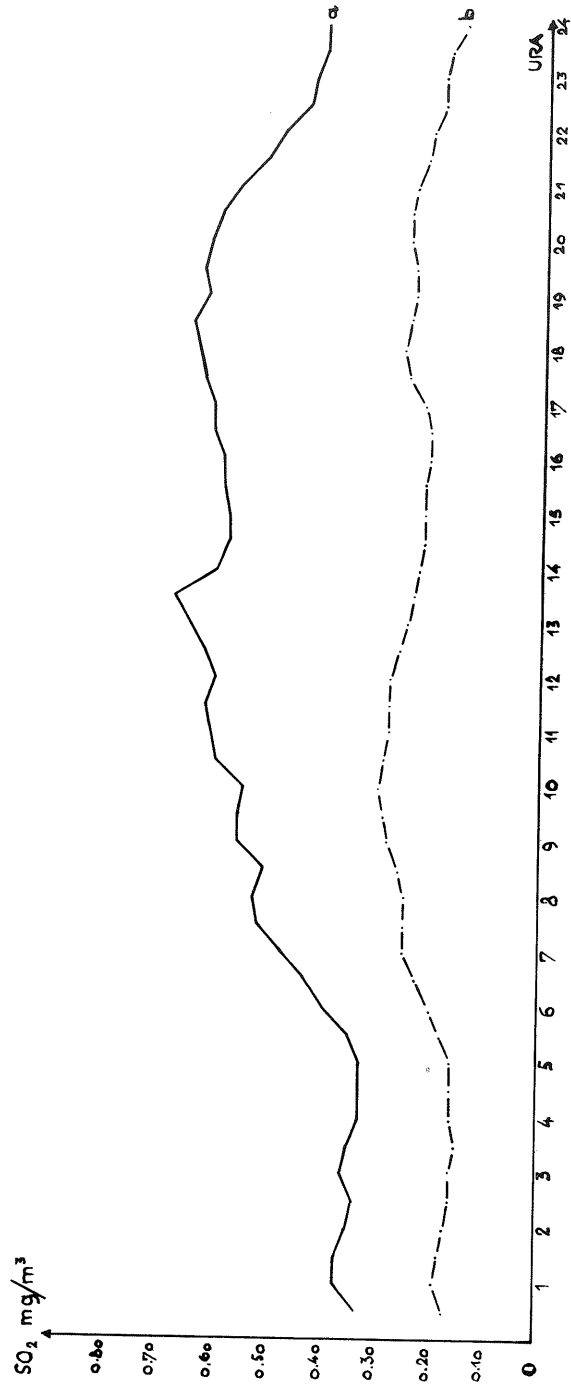
30

Slika 4 Poprečne polurne koncentracije SO₂; a za skupino 3, b za skupino 4
 Fig. 4 Mean half-hour SO₂ concentrations; a for the group 3, b for the group 4

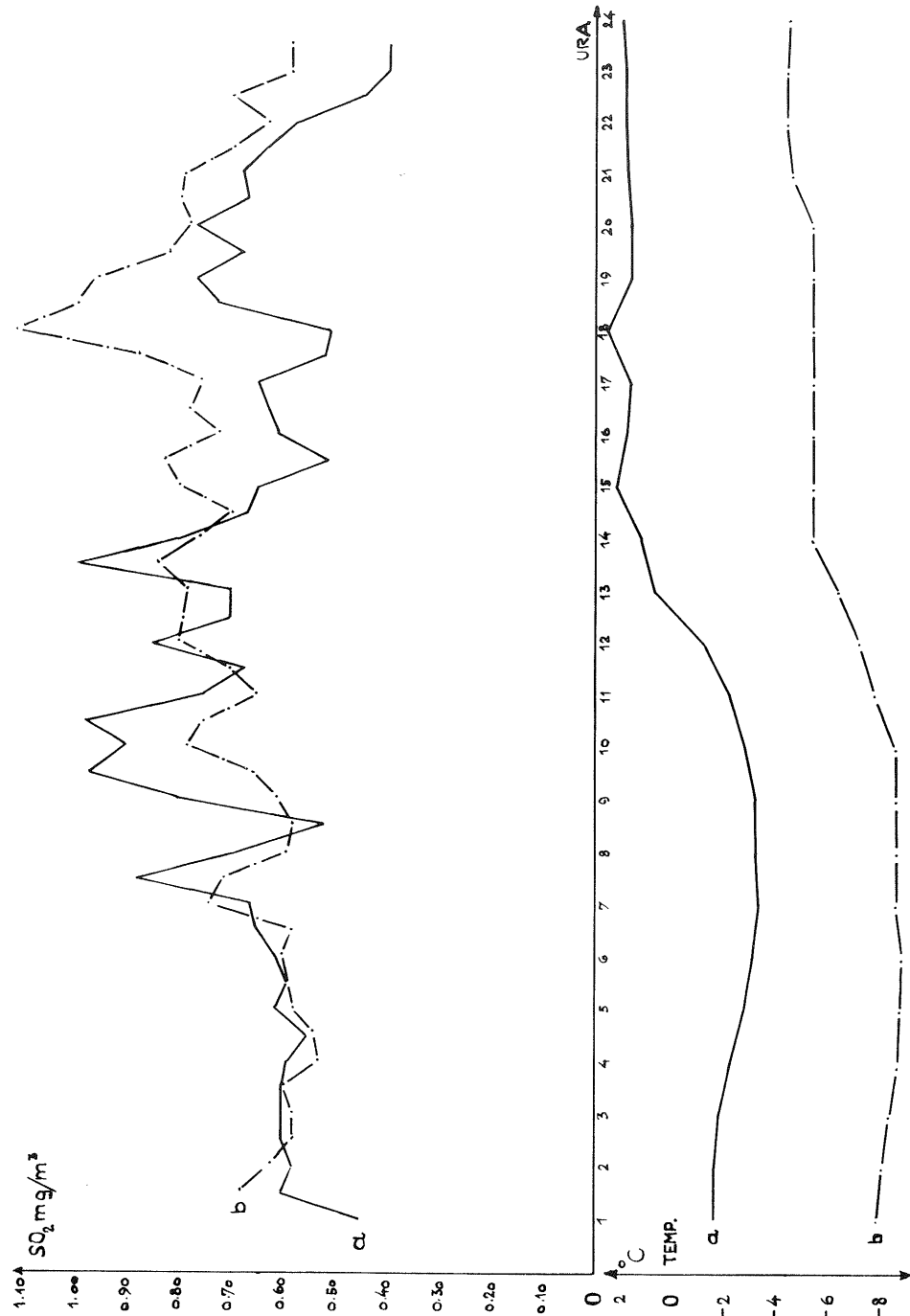


31

Slika 5 Primera polurnih koncentrij SO₂ in urne vrednosti temperature zraka; a 19. november 1978, b 23. november 1978
 Fig. 5 Cases of half-hour SO₂ concentrations and hour values of air temperature; a 19th November, 1978, b 23rd November, 1978



Slika 6 Poprečne polurne koncentracije SO₂; a za skupino 5, b za skupino 6
 Fig. 6 Mean half-hour SO₂ concentrations; a for the group 5, b for the group 6



Slika 7 Primera polurnih koncentracij SO₂ in urne vrednosti temperature zraka; a 11. december 1978, b 4. decem. 1978
 Fig. 7 Cases of half-hour SO₂ concentrations and hour values of air temperature; a 11th December, 1978, b 4th December, 1978

INTERPRETACIJA LOKALNE SREDNJE MJESEČNE TEMPERATURE POMOČU
PARAMETARA MAKRO - RAZMJERA

INTERPRETATION OF LOCAL MEAN MONTHLY TEMPERATURE BY MEANS
OF LARGE-SCALE PARAMETERS

Vesna JURČEC, Danko PAPIŠTA

551.509.331:551.524:

551.547

Republički hidrometeorološki zavod SR Hrvatske Zagreb

SUMMARY

The correlation coefficient fields were calculated between local monthly mean temperature at one station and the large-scale parameters of: surface pressure field, geopotential field of absolute topography 500 mb and relative topography (thickness) 500/1000 mb, represented by 36-point network over Europe and the East Atlantic. The temperature series were considered from three stations: Zagreb - Grič (45.49N, 15.59E) and Osijek (45.32N, 18.44E) in the continental part of Yugoslavia, and Rijeka (45.20N, 14.27E) at the northern coast of the Adriatic Sea. Both, local temperatures and the large-scale parameters were expressed as the departure from their normals in 1956-75.

The extreme values of the correlation coefficients, which appear at various regions in a particular month, are considered as the main prediction parameters for the local temperature, if the forecast of the large scale parameters are available by some other method. However, the "prediction" coefficients can be also calculated, using the same local temperature in relation to the large scale parameters of the previous month. Although the experiment shows that these correlations are generally smaller, it is believed that the method itself could lead to a useful forecasting tool if applied to some shorter interval of time than a month.

POVZETEK

Določili smo polja korelacije med srednjo mesečno temperaturo na eni postaji in parametri makro razmer, ko smo jih dobili iz polja srednjega mesečnega pritiska, AT 500 mb in RT 500/1000 mb. Uporabnost metode v prognostične namene predpostavlja, da imamo na razpolago prognostična polja parametrov. Z manjšo natančnostjo pa kljub temu lahko računamo tudi "prognostična" polja koeficientov, ki smo jih določili s korelacijo med temperaturo v enem mesecu in makroparametri v predhodnem mesecu.

UVOD

I pored velikog napretka u prognozi vremena uvodjenjem numeričkih metoda poslednjih 30 godina, poslednji korak kojem su usmjereni svi naši napori još uvijek nedostaje. Numerička prognoza vremena za sada daje prognostičko polje tlaka, geopotencijala, temperature i vjetra za vremenski interval do 5 dana za srednje i duge valove hemisferskih razmjera. Prognoza "vremena", tj. temperature, oborine, naoblake i sl., u lokalnim ili regionalnim mezo-razmjerima, i dalje ostaje predmet subjektivnih prognoza koje se većinom oslanjaju na iskustvo sinoptičara ili neke empirijske relacije.

Analiza sadašnjeg stanja numeričke prognoze vremena očito pokazuje da tehnička dostignuća (metode i gustoća mjerenja, kao i kapaciteti elektronskih računara) neće u skorjoj budućnosti omogućiti direktnu prognozu lokalnih vremenskih elemenata. Zato se posljednjih godina prilazi rješavanju ovog problema "interpretacijom" ovih lokalnih elemenata pomoću parametara makro-razmjera na sinoptičkim prognostičkim kartama, koje se mogu dobiti postojećim numeričkim metodama.

Posebni problem predstavljaju, sve više tražene, mjesečne prognoze vremena. Ove prognoze se za sada baziraju na statističkim metodama ili metodama analogije. Radinović /6/ je razvio metodu analogije koja se bazira na polju srednje temperature donje troposfere u hemisferskim razmjerima, dobivene razmatranjem dugog niza relativnih topografija u određenim razdobljima. Iako pravilna interpretacija ove metode može dati ohrabrujuće rezultate, pogrešna primjena u smislu jednostavnog kopiranja dnevnog hoda temperature i pojave oborina prema godini maksimalne korelacije analognog stanja atmosfere, može dati lošu sliku metode i operativne službe koja ju koristi.

Činjenice, koje su poznate svakom sinoptičaru, jasno pokazuju da se sinoptička situacija u svim svojim detaljima nikada ne ponavlja, a analogne situacije mogu biti samo manje ili više slične. Na bazi ovih sličnosti i dobivenih empirijskih veza određenih sinoptičkih situacija s lokalnim vremenskim elementima razvili su se poznati "tipovi vremena" brojnih autora. Međutim, ovakovi tipovi makro stanja ili cirkulacije atmosfere velikih razmjera traju u prosjeku 5 - 6 dana. Za dulje razdoblje, posebno od mjesec dana, čini se logično prići rješavanju ovog problema u mnogo grubljim okvirima, tražeći odgovor na pitanje: da li će neki vremenski element (recimo srednja mjesečna temperatura ili količina oborine) na nekom lokalitetu biti unutar nekih definiranih prosječnih vrijednosti, ispod ili iznad tih normala? Iskustvo i brojni opisi sinoptičkih situacija pokazuju da su vremenske anomalije i ekstremi pojedinih elemenata u lokalnim ili mezo-razmjerima uvijek povezani s izrazitim anomalijama hemisferske cirkulacije velikih razmjera. Međutim, lokalne anomalije, posebno za dulji vremenski period, ne moraju biti uvijek vezane uz normalna stanja atmosfere nad istim područjem. Zato smatramo da bi daljnji doprinos proučavanju analognih situacija i njihove veze s lokalnim vremenom bio u kvantitativnom

određivanju ovih korelacija s različitim poljima koja definiraju makrostanje i cirkulaciju atmosfere.

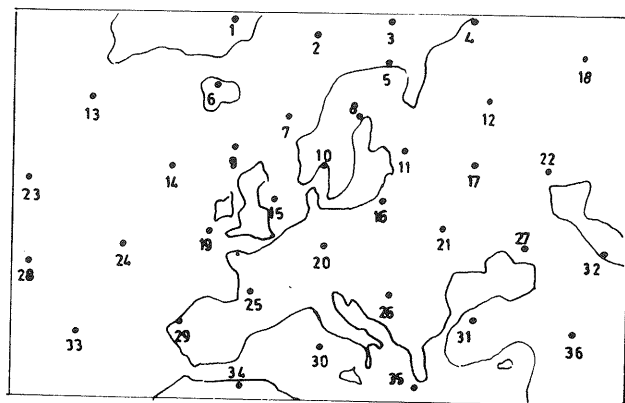
Prelazeći od pretpostavke (koja ne mora biti točna) da su vremenske anomalije u sjeverozapadnom dijelu Jugoslavije uglavnom povezane s anomalijama cirkulacije na području Evrope i istočnog dijela Atlantika, u ranijim radovima autora /2/ i /4/ tražena je veza anomalija cirkulacije s mjesečnom količinom oborine. U nedavno publiciranom radu /3/ pokazano je da se kolebanja u količinama oborine u Zagrebu mogu pratiti čak sa vrlo jednostavnim parametrom cirkulacije na području Atlantika tzv. "zonalnim indeksom" definiranim kao razlika prizemnog tlaka zraka između Azora i Islanda.

Svrha je ovog rada da proširi ovu vrstu istraživanja na razmatranje veze anomalija cirkulacije i srednje mjesečne temperature na istom području.

METODA

Na području Istočnog Atlantika, Evrope i Sredozemlja odabrano je 36 točaka kao geografskih koordinata širine i dužine na kojima se očitavaju srednje mjesečne vrijednosti "parametara cirkulacije". Njih čine polja: prizemnog tlaka zraka, geopotencijala 500 mb površine (AT 500 mb) i relativnog geopotencijala proporcionalnog srednjoj temperaturi donje troposfere TR 500/1000). Ove vrijednosti sačinjavaju prvi niz podataka "cirkulacije" za svaki mjesec i svaku godinu 20-godišnjeg perioda 1956-75. raspoloživih u biltenima njemačke meteorološke službe /1/.

Drugi niz podataka čine srednje mjesečne temperature ispitivanog lokaliteta za isto razdoblje. Ovdje su promatrani nizovi za Zagreb-Grič, Osijek i Rijeku. Odstupanje vrijednosti nekog elementa cirkulacije (na pr. prizemnog tlaka) u jednoj točki promatrane geografske mreže od 20 godišnjeg srednjaka definira "anomaliju cirkulacije" za tu točku, a odstupanje mjesečne temperature od 20-godišnjeg srednjaka na promatranom lokalitetu definira "anomaliju temperature". Ako za svaku točku mreže izračunamo koeficijent korelacije (R) između anomalija cirkulacije i temperature, dobit ćemo 36 vrijednosti R koje čine polje korelacije za određeni element cirkulacije i odabrani mjesec. Brojevi 1 do 36 na slici 1 pokazuju geografski položaj odabranih točaka.



Slika 1 Područje na kojem se promatraju parametri cirkulacije, određeni na geografskim položajima označenim točkama i brojevima.

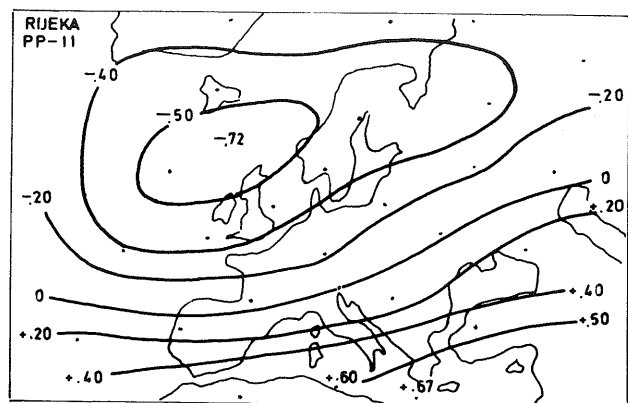
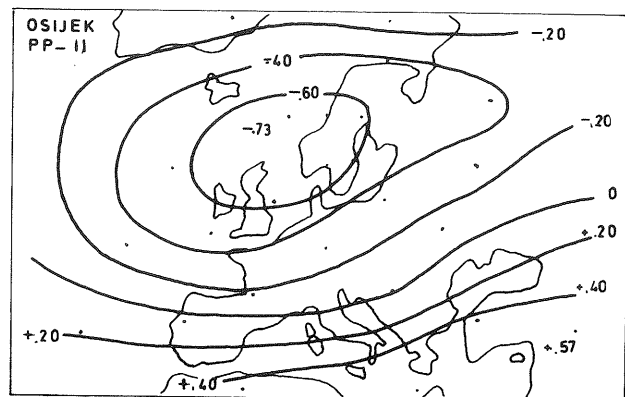
Fig. 1 Area considered by circulation parameters at the geographical positions indicated by numbered dots.

REZULTATI

Na slici 2 prikazana su polja korelacije između srednje mjesečne temperature i prizemne razdiobe tlaka za dva relativno udaljena lokaliteta Osijek i Rijeku, za februar. Sličnost ovih polja je očita, a iz Tabele I vidjet ćemo i podudaranje s ovim vrijednostima za Zagreb. Interpretacija ovih karata je sljedeća: viša temperatura od prosjeka javlja se u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske, kada je na području između Islanda i zapadne Evrope prizemni tlak niži od normale promatranog 20-godišnjeg razdoblja (negativni koeficijent korelacije!), a na području južne Evrope i Sredozemlja iznad normalnog tlaka. Ovakova razdioba pokazuje povećanje meridionalnog gradijenta tlaka u slučaju relativno "toplih" februara, odnosno smanjenje gradijenta u hladnim februarima. Kako normalna razdioba tlaka za ovaj mjesec pokazuje greben u srednjim širinama istočnog Atlantika, i dolinu nad srednjom i južnom Evropom, čija os prelazi preko našeg područja, to prikazane anomalije očito pokazuju da u toplim februarima nad našim područjem prevladava zapadno strujanje. U hladnim februarima je greben iznad istočnog Atlantika pojačan, a normalno sjeverozapadno strujanje nad našim područjem ukazuje na prevladavajuću sjeverniju komponentu vjetera, a time i pojačanu advekciju hladnog zraka iz sjeverne Evrope. Primjetimo još na slici 2 da pored sličnosti obe karte najveće kvantitativne razlike u iznosima R postoje na području srednjeg Mediterana, gdje su vrijednosti pozitivne korelacije ve-

će za Rijeku nego za Osijek. To znači da je temperatura u Rijeci više ovisna o polju tlaka nad Mediteranom nego temperatura Osijeka, što je i logično, ali je ovdje ova poznata činjenica i kvantitativno izražena i može poslužiti daljnjoj primjeni metode za prognozu temperature.

Slična su polja korelacije za decembar i januar, a kako i normalna polja prizemnog tlaka pokazuju iste karakteristike, to se gornja diskusija može primjeniti na cijelo zimsko razdoblje. Međutim, interesantan je rezultat ove analize, što pokazuje da su relativno visoki koeficijenti korelacije na području od Islanda do Skandinavije u XII i I mjesecu ujedno najviši u usporedbi s vrijednostima R za AT 500 i RT 500/1000, dok je u promatranom II mjesecu veća korelacija s relativnom topografijom. To je prikazano na slici 3 za Rijeku, a predstavlja logičnu posljedicu prikazanih R kao anomalija prizemnog tlaka, što znači da je zapadno strujanje povezano s termalnim grebenom polja anomalija, a sjevernija komponenta gibanja s hladnom advekcijom u donjoj troposferi.

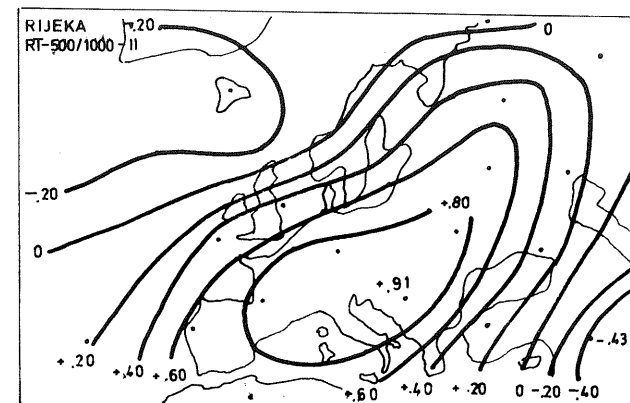


Slika 2 Razdioba koeficijenta korelacije prizemnog polja tlaka i temperature za Osijek in Rijeku u februaru.

Fig. 2 Correlation-coefficient distribution for surface pressure field and temperature at Osijek and Rijeka in February.

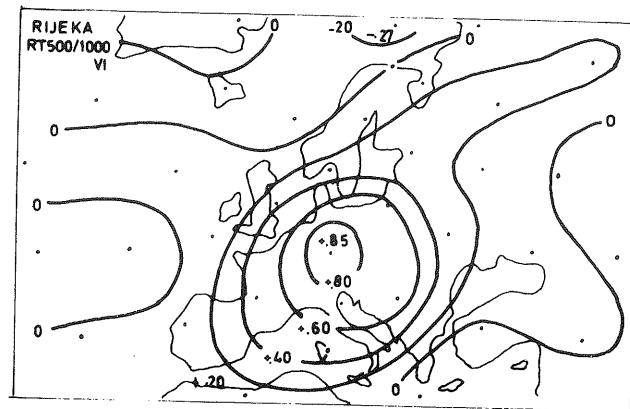
Važno je primjetiti da je maksimalni iznos od R upravo nad našim područjem, i predstavlja ekstremnu vrijednost dosada računatih korelacija.

Najviša vrijednost R dakako ne mora biti nad našim područjem čak niti za RT, gdje bi to bilo najlogičnije. Jedan primjer je pokazan na slici 4 za juni koja u interpretaciji znači da su topli (hladni) VI mjeseci u odnosu na normalu u Rijeci posljedica termalnog grebena (doline) na području srednje i zapadne Evrope u narušenoj zapadnoj struji normalnih prilika u junu.



Slika 3 Razdioba koeficijenta korelacije polja relativne topografije i temperature za Rijeku u februaru.

Fig. 3 Correlation-coefficient distribution for thickness field and temperature at Rijeka in February.



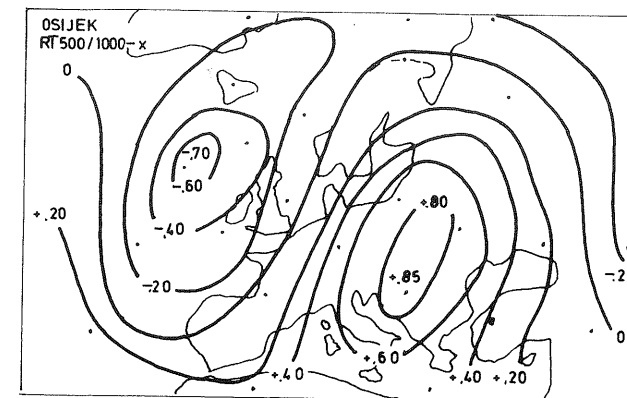
Slika 4 Razdioba koeficijenta korelacije polja relativne topografije i temperature za Rijeku u junu.

Fig. 4 Correlation-coefficient distribution for thickness field and temperature at Rijeka, in June.

Slične razdiobe s nešto nižim apsolutnim maksimumom od R se javljaju u Osijeku i Zagrebu, s tim da je u Osijeku ekstremni R za AT 500 nešto viši i ukazuje da je polje anomalija na toj plohi karakterizirano istim oblicima kao promatrano termalno polje.

Promatrajmo sada razdiobu R u oktobru, koja je u rezultatima korelacija s oborinom pokazivala ekstremne R s vrlo sličnom razdiobom kao na slici 4 (vidi Fig. 1 u /4/), samo s obrnutim predznakom, tj. visoke (niske) količine oborina su bile povezane s dolinom (grebenom) na AT i RT s osom u području od Skandinavije do zapadnog Sredozemlja.

Ovakova konfiguracija ekstremnih oblika strujanja očito uvjetuje izrazite advekcije temperature, što i diktira raspodjelu R, kakova je prikazana na slici 5.



Slika 5 Razdioba koeficijenta korelacije polja relativne topografije i temperature za Osijek, u oktobru.

Fig. 5 Correlation-coefficient distribution for thickness field and temperature at Osijek, in October.

No iako su vrijednosti ili položaj maksimalnog R slični, bitna karakteristika korelacionog polja na slici 5 je relativno visoka negativna korelacija južno od Islanda, pored pozitivne nad našim područjem. Na taj način i R-polje odražava "valni karakter" gibanja, pa je temperatura u oktobru iznad normale povezana s termalnim grebenom u donjoj troposferi iznad našeg područja i termalnom dolinom južno od Islanda.

Tabela I daje kompletan pregled ekstremnih pozitivnih i negativnih vrijednosti R za Zagreb u svim mjesecima i za sva tri polja uz naznačeni položaj tog ekstrema (I) prikazanim na slici 1. Ova tabela pokazuje slejedeće značajnije rezultate:

1. Apsolutni maksimumi od R su u većini mjeseci pozitivni i iznad 0.70, a pretežno (u 7 mjeseci) se odnose na korelacije s RT, iznad ili u blizini našeg područja.
2. U martu i augustu najviše pozitivne korelacije se odnose na AT, ali se još uvijek odnose na položaj direktno iznad našeg područja.
3. U decembru i januaru su najviše vrijednosti R negativne i vezane uz anomalije prizemnog tlaka na području sjeveroistočnog Atlantika, i
4. niske vrijednosti R (ispod 0.50) jedino se pojavljuju u maju, što ukazuje na malu povezanost cirkulacije i temperature za bilo koji od promatranih parametara cirkulacije.

Gornja analiza je interesantna u prognostičkom smislu ako raspoložemo prognostičkim kartama cirkulacije, ili kada bi promatrano polje cirkulacije bilo bar približno stacionarno kao što se pretpostavlja u metodi analogije.

S obzirom da još ne raspoložemo prognostičkim mjesečnim kartama (iako su neki izgledi optimistički i povezani s anomalijama temperature u oceanima), a i pretpostavka o stacionarnosti promatranih polja u nižoj troposferi često dolazi u pitanje, učinjen je slijedeći pokušaj da se dobije trend temperature na pojedinom lokalitetu. Umjesto korelacija ranije opisanih nizova u istom mjesecu, tražena je korelacija temperature s parametrima cirkulacije u prethodnom mjesecu.

Rezultati ovog eksperimenta za svaki mjesec za Zagreb prikazani su u Tabeli II.

Tabela 1 Ekstremne vrijednosti koeficijenta korelacije R za polja prizemnog tlaka (P), apsolutne topografije (AT 500 mb) i relativne topografije RT 500/1000) i srednje mjesečne temperature za Zagreb-Grič. Brojevi pod I označuju geografski položaj označen brojevima na sl. 1.

Table 1 Extreme values of the correlation coefficient R for the fields of surface pressure (P), absolute topography (AT 500 mb) and thickness (RT 500/1000), and mean monthly temperature at Zagreb-Grič. Numbers under I denote the geographical positions indicated by numbers in Fig. 1.

	I		II		III		IV		V		VI	
	R	I	R	I	R	I	R	I	R	I	R	I
P	0,43	33	0,55	36	0,73	35	0,42	27	0,37	21	0,43	21
AT	0,42	33	0,73	26	0,89	26	0,84	20	0,42	21	0,72	26
RT	0,61	26	0,89	26	0,85	16	0,91	20	0,47	16	0,79	20
P	-0,79	10	-0,76	9	-0,69	2	-0,83	19	-0,41	18	-0,49	25
AT	-0,76	7	-0,64	9	-0,61	1	-0,79	14	-0,36	18	-0,29	24
RT	-0,53	6	-0,36	6	-0,61	36	-0,46	14	-0,28	18 ⁹	-0,18	32

	VII		VIII		IX		X		XI		XII	
	R	I	R	I	R	I	R	I	R	I	R	I
P	0,48	16	0,53	33	0,52	33	0,28	32	0,14	35	0,45	33
AT	0,70	20	0,86	26	0,82	26	0,67	21	0,67	26	0,65	33
RT	0,72	20	0,78	26	0,82	26	0,82	26	0,83	26	0,68	21
P	-0,52	28	-0,63	14	-0,70	9	-0,67	19	-0,67	9	-0,75	7
AT	-0,56	18	-0,56	14 ⁹	-0,65	32	-0,71	14	-0,59	24	-0,68	9
RT	-0,40	5	-0,57	6	-0,61	32	-0,64	14	-0,37	24	-0,51	1

Tabele 2 Ekstremne vrijednosti koeficijenta korelacije R za ista polja kao u Tabeli 1, ali za parametre cirkulacije iz prethodnog mjeseca u odnosu na temperaturu, pa time označuju "prognostičke" vrijednosti.

Table 2 Extreme values of the correlation coefficients R for the same fields as in Table 1, but for circulation parameters of previous month in relation to the temperature, indicating therefore the "prognostic" values.

	I		II		III		IV		V		VI	
	R	I	R	I	R	I	R	I	R	I	R	I
P	0,49	34	0,40	34	0,71	31	0,31	25	0,39	23	0,33	18
AT	0,41	29	0,53	33	0,69	16 21	0,42	19	0,35	23	0,44	33
RT	0,29	19	0,52	33	0,69	16	0,34	15	0,33	10	0,45	33
P	-0,30	1	-0,57	13	-0,52	6	-0,60	12	-0,39	6	-0,32	14
AT	-0,39	1	-0,60	13	-0,61	13	-0,40	12	-0,30	6	-0,41	35
RT	-0,35	35	-0,48	13	-0,69	13	-0,33	1	-0,26	4	-0,38	35

	VII		VIII		IX		X		XI		XII	
	R	I	R	I	R	I	R	I	R	I	R	I
P	0,41	6	0,45	1	0,43	2	0,24	30	0,27	3 ⁴ 33	0,51	12
AT	0,27	18	0,45	1	0,46	2	0,35	7	0,50	4	0,47	33
RT	0,16	23	0,46	30	0,54	36	0,53	9	0,49	4	0,26	29
P	-0,31	26	-0,40	19	-0,46	36	-0,38	13	-0,34	9	-0,29	13
AT	-0,52	25	-0,57	14	-0,59	17	-0,35	17	-0,32	6	-0,61	13
RT	-0,52	36	-0,57	14	-0,48	5	-0,28	17	-0,24	13	-0,57	13

Kao što se je moglo očekivati ove vrijednosti su većinom mnogo niže od ranije promatranih. U I., V. i VI. mjesecu su ekstremi ispod 0.50, ali u 4 mjeseca dostižu ili prelaze vrijednost od 0.60. Jedini iznenađujući rezultat ove tabele su visoke vrijednosti korelacija u martu. One bi se interpretirale ovako: visoka (niska) temperatura u martu za Zagreb može se očekivati s većim stupnjem vjerojatnosti, kada je u februaru raspodjela prizemnog tlaka takova da pokazuje pozitivne (negativne) anomalije nad Turskom, a negativne (pozitivne) nad Islandom. Istovremeno je za višu temperaturu u martu značajno polje višeg geopotencijala AT i RT u centralnom dijelu Evrope, a nižih vrijednosti od normalnih na obe topografije u području južno od Grönlanda.

Na isti način se mogu interpretirati ostale vrijednosti u Tabeli, od kojih ćemo još obratiti pažnju na vrijednosti negativnih R za februar i decembar. One pokazuju da je viša temperatura u tim mjesecima posljedica vrlo duboke Islandske ciklone ili doline koja proteže i južno od Grönlanda kroz cijelu donju troposferu u prethodnim mjesecima.

ZAKLJUČNE NAPOMENE

Prikazane veze cirkulacije i lokalne mjesečne temperature u prikazanom obliku još uvijek prikazuju samo vjerojatnost za prognozu trenda srednje mjesečne temperature u odnosu na njezinu srednju vrijednost nekog lokaliteta. U daljnjoj fazi ovog istraživanja vrši se pokušaj za bližu kvantitativnu prognozu, čija su podloga prikazane karte. Tražene prognostičke vrijednosti u definiranim intervalima se dobiju primjenom jednadžbe regresije, u kojoj su ulazne vrijednosti anomalije nekog od parametara cirkulacije u području maksimalnih vrijednosti koeficijenta korelacije /5/.

Dakako da bi u daljnjem istraživanju bilo korisno razmatrati područje cijele sjeverne hemisfere, što ne bi bio veliki problem za polje relativne topografije s obzirom na dugi raspoloživi niz ovih podataka u Saveznom hidrometeorološkom zavodu u Beogradu.

Vjerujemo da bi se bolji rezultati mogli postići s kraćim vremenskim intervalom na primjer za jednu dekadu, što bi bilo posebno interesantno s obzirom da će ove prognostičke karte biti uskoro raspoložive u Evropskom centru za srednjoročnu prognozu vremena u Shinfield Parku, U.K.

LITERATURA

- /1/ Deutscher Wetterdienst, Offenbach: Die Grosswetterlangen Europas, Jahr 1956 - 1975
- /2/ JURČEC V.: Anomalije opće cirkulacije, sušni periodi i mogućnost prognoze suše. Rasprave i prikazi br. 13, RHMZ, Zagreb, 1976, 143 - 202
- /3/ JURČEC V.: Kišna i sušna razdoblja 1953-1977 u Sjevernoj Hrvatskoj i njihovi uzroci. Poljoprivredni pregled, god. XX, br. 3-4, Sarajevo, 1978, 89 - 97
- /4/ JURČEC V. and PAPIŠTA D.: On the Correlation between Precipitation amount in NW-Yugoslavia and the General Circulation Anomalies. Arbeiten aus der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, 1978, Heft 31, 31/1-10
- /5/ PAPIŠTA D.: Mjesečna prognoza oborine i temperature. Izveštaj o rezultatima istraživanja u 1978. (nepublicirano).
- /6/ RADINOVIĆ Dj.: An analogue method for weather forecasting using the 500/1000 mb relative topography, Mon. Wea. Rev., 1975, 103, 639 - 649.