

RAZPRAVE
PAPERS
XII

VSEBINA — CONTENTS:

F. Bernot:	Vzroki poplav v Slovenskem primorju	7
	Causes of floods in the coastal region of Slovenia	
Z. Petkovšek:	Preprosta obravnava razkroja radiacijske megle	17
	A simple treatment of radiation fog clearance	
M. Trontelj:	Prognoza neviht nad Slovenijo s pomočjo empiričnih parametrov	29
	Thunderstorm forecast over Slovenia (Yugoslavia) by means of empirical parameters	
J. Pristov:	Uporabnost labilnostnih faktorjev za prognozo neviht in toče v Sloveniji	39
	Usefulness of lability factors for thunderstorm and hail forecast in Slovenia	
B. Paradiž:	Nekaj karakteristik onesnaženja zraka v Ljubljani	53
	Some characteristics about atmospheric pollution at Ljubljana	
S. Verhovnik:	Onesnaženje mesta Maribora s SO ₂ in dimom	75
	Pollution of atmosphere with sulphur dioxide and smoke in Maribor	
A. Hočevar, M. Jurgele, Z. Petkovšek:	Metoda prenosa velike množice vektorjev vremena na hitre medije računalnikov	89
	A method for transfer of large weather vectors' population to high speed input media of computers	

VZROKI POPLAV V SLOVENSKEM PRIMORJU

CAUSES OF FLOODS IN THE COASTAL REGION OF SLOVENIA

551.46.7

FRANCE BERNOT

Hidrometeorološki zavod SRS, Ljubljana

SUMMARY:

Both on November 3, 1968 and during the night of November 1969 The Slovenian coast was overflowed by the sea. Lower parts of coastal towns were submerged, which caused damage on buildings, piers, means of sea transportation and roads. Such floods were frequent in the past years as well, but no data about them are available.

The main causes for these floods were the following: Syzygial tide, strong winds ("Jugo") and reduced air pressure together. For each of these floods the author made a comparison of the forecasted tide course with the observed one at Koper (Figs. 1 and 3), The baric situations were analysed. On November 3, 1968 in a large depression a secondary wave developed in the North Mediterranean which strengthened the winds over the Adriatic sea (Direction SE, Beaufort wind force 6 - 8, fig. 2). During the night of November 1969, the depression which was situated to the west of Sardinia and Corsica at first (Fig. 4), moved to the North Adriatic (Fig. 5). The SE winds strengthened to Beaufort wind force 7 - 8. In both cases a large fall of air pressure was observed above the overflowed regions. (Air pressure fall of 1 mb causes the sea level to rise for 1 cm.)

In studying the two floods we find the presence of all three causes that contributed to the rising of the sea level.

Dne 3. nov. 1968 je morje ob slovenski obali Istre prestopilo bregove in preplavilo nižje ležeče dele obalnih mest. Pod vodo so bili v Piranu Tartinijev trg, v Izoli notranje pristanišče, v Kopru pa avtobusna postaja /1/. Poplava, ki je nastopila dobro leto kasneje, je prizadejala večjo škodo. Poplavila je sicer iste predele mest. V Kopru je zalila Bonifico, tako da so bili pritlični prostori nove šole (telovadnica) poplavljeni. Na nekaterih mestih so valovi izpodkopali cesto Koper - Izola. V Piranu je bila škoda največja. Kamnite bloke, ki ščitijo Prešemovo nabrežje, so valovi vrgli iz vode in razmetali po asfaltiranem delu nabrežja prav do hiš in še daleč v ozke ulice, ki so odprte proti morju (avtopsija).

Poplave najnižjih predelov naših obalnih mest so bili v zadnjih štirih letih redne v mesecu novembru: 4. nov. 1966, 5. nov. 1967, 3. nov. 1968 ter v noči od 25. na 26. nov. 1969. Nedvomno so bile poplave česte tudi v prejšnjih letih, vendar avtor o tem nima podatkov. Vzroki prvih dveh poplav (november 1966 in 1967) so že analizirani /2/. Oglejmo si zato poplavi v novembru 1968 in 1969.

Že ob normalnih visokih plimah, ki so samo posledica astronomske konstellacije (Zemlja - Luna - Sonce : konjunkcija ali opozicija) je gladina morske vode le nekaj centimetrov pod najnižjo točko obale v Piranu (ob vhodu na Tartinijev trg). Čim se ob taki astronomske pogojeni visoki plimi pojavi še kak faktor, ki dodatno učinkuje na zvišanje morske gladine (veter, znižan zračni pritisk, itd.) je poplava neizbežna.

Oglejmo si najprej nastanek in razvoj visoke plime v Piranu dne 3. nov. 1968 in poiščimo vzroke, ki so poleg astronomskih dodatno učinkovali na morskovo vodo.

Najprej moramo vedeti, kakšen bi bil prve dni novembra 1968 normalni potek bibavice (časovni in kvantitativni). Tovrstne podatke, ki so izračunani za Trst /3/, smo vnesli v mareogram koperskega mareografa. Vse faze bibavice se ob naši obali pojavljajo pet minut prej kot v Trstu /4/, vendar bomo to časovno diferenco v obeh primerih v nadaljnjih izvajanjih zavestno zanemarili iz čisto tehničnih razlogov. Mareograf v Kopru je namreč tedenski, zato je časovna mreža na mareogramu zelo gosta in manj pregledna. Že krivulja, ki jo riše pero ob idealnih pogojih, je tako debela kot dolžina, za katero se trak regulatorja premakne v 10 minutah. Če je morje nekoliko razgibano, potem riše pero drobno zobčasto črto, kar dejansko samo odebeli mareografsko krivuljo. Če pa je še registrirani papir slab, potem se črnilo razliva in točna analiza takega mareograma je zelo otežkočena.

Po predvidevanjih bi morala primarna plima v prvih dneh novembra 1968 naraščati, oseka pa bi se morala nižati /3/. To se pravi, dnevna amplituda med primarnima ekstremoma bibavice bi se morala večati do 5. nov. 1968, kajti tega dne bi bila Luna in Sonce z ozirom na Zemljo v opoziciji. Po tem datumu pa bi se morala amplituda manjšati (Tabela 1). Prva dva dneva se je dejanski potek bibavice v Kopru ujema s predvidenim (1. in 2. novembra 1968). V zgodnjih urah dne 3. nov. 1968 je pričelo morje naraščati, vendar je naraščalo hitreje, kot je normalno. Plima je bila predvidena za 8.05. uro, vendar je dosegla maksimum že nekaj minut po sedmi uri. Le-ta pa je bil znatno nad predvidenim - normalnim (Slika 1). Zato je morskva voda v Kopru, Piranu in Izoli prestopila obalno črto in preplavila najnižje ležeče mestne predele. Poplava ni trajala dolgo. Še pred nastopom naslednje oseke, ki so jo pričakovali v Piranu ob 15.40. uri so bile razmere že normalne. Vzrok za tako visoko plimo bomo morali iskati ne samo v astronomskih činiteljih, temveč tudi v meteoroloških razmerah tistih dni.

Dne 1. nov. 1968 je bila celotna zahodna Evropa v območju nizkega zračnega pritiska s središčem nad Irsko (Slika 2). Ta ogromna depresija se je v naslednjih dneh počasi premikala proti vzhodu. V jutranjih urah dne 3. nov. 1968 je bila pod njenim vplivom celotna Evropa in še velik del Mediterana. V okviru tega ogromnega področja nizkega zračnega pritiska se je v noči od 2. na 3. novembra 1968 razvilo južno od Alp sekundarno ciklonsko jedro, kar je okrepilo vetrove nad Jadranom. Le-ti so vso noč pihali z jakostjo 6-7 po Beaufort-u.

S. Polli ugotavlja /4/, da se ob zmernih južnih vetrovih lahko dvigne morskva gladina do 25 cm. Pri zelo močnem jugu /široko/, zlasti jeseni in v prvi polovici zime, pa lahko doseže zvišanje gladine morja do pol metra. Nadalje povzroča znižanje zračnega pritiska za 1 mb dvig gladine morja za približno 1 cm. Ne nazadnje moramo upoštevati še letno nihanje vodostajev, ki so meteorološko pogojeni /4/. Poprečni mesečni vodostaji so najvišji med oktobrom in decembrom, najnižji pa med januarjem in marcem.

V pravkar obravnavanem primeru poplave ob naši obali vidimo, da so sodelovali naslednji elementi:

1. - Veter. Vso noč od 2. na 3. november 1968 je pihal vzdolž Jadrana močan jugozahodnik (jakost 6-7 po Beaufort-u), ki je narival vodne gmote v severni Jadran. Gladina morja se tega dne ni dvignila samo ob naši obali, poplavljenost je bila tudi Benetke.

2. - Zračni pritisk. Normalni novembrski zračni pritisk v Kopru (v obdobju 1958 - 1967) znaša 1012,0 mb-reduc. na morsk nivo. Dne 3. nov. 1968 ob 7. uri jutraj je znašal zračni pritisk 1000,3 mb. V noči od 2. na 3. nov. 1968 je zračni pritisk padel od 19. do 7. ure za 7,4 mb. Tako velik padec zračnega pritiska je znatno pripomogel k dvigu morske gladine.

3. - Sezonski dvig morske gladine v pozni jeseni smo že omenili. Kakor vi-

dimo, so k visoki plimi dne 3. nov. 1968 pripomogli tudi meteorološki činitelji.

Leto dni kasneje je naše obalno področje zajela nova ujma. Tudi to poplavo bomo obravnavali na isti način. Najprej primerjajmo predvideni in dejanski potek oscilacij morske gladine. Dnevna ekstrema med primarnima ekstremoma bibavice bi se morala tiste dni polagoma manjšati (Slika 3). Iz iste slike razberemo, da je bil dne 24. in pretežni del 25. nov. 1969 potek bibavice normalen, dasi so bili vsi vodostaji nekoliko nad predvidenimi vrednostmi. V poznih popoldanskih in večernih urah tega dne pa je pričela gladina morja naraščati in je ob času (23,00 po SEČ), za katerega je bila prognozirana plima +23 cm, za 107 cm presegla predvideno vrednost. Višek plime je nastopil nekaj po polnoči. Točen čas niti točne višine plime se po mareografu v Kopru ne more ugotoviti, kajti plima je za kratek čas presegla maksimalno višino, ki bi jo instrument še lahko registriral. Pisalo mareografa se je dvignilo nad registrirani trak. Ponovno je pričelo registrirati vodostaje šele takrat, ko je gladina morja nekoliko upadla. Nižanje morskega nivoja je bilo naglo, vendar je naslednja oseka, ki je nastala ob 04,50. uri dne 26. nov. 1969 kasnila za predvideno za ca 70 minut. Po višini pa je za 38 cm presegla prognozirano vrednost.

Vremenska situacija pred poplavo in ob njej je bila naslednja:

Dne 25. nov. 1969 ob 13. uri je bila vsa zahodna Evropa v območju obsežnega področja nizkega zračnega pritiska s centrom ciklona zahodno od Sardinije in Korzike (Slika 4). Zahodno od Alp je v ta predel Mediterana vdiral mrzel zrak, ki je poglobil ciklon. Značilnost tega ciklona je izredna temperaturna asimetrija: v toplem sektorju so bile temperature zraka med 15° in 20°C, v hladnem pa med 1° in 5°C. V naslednjih 12 urah se je središče depresije polagoma pomikalo proti severovzhodu in se pri tem poglobljalo. Ob 1. uri po polnoči dne 26. nov. 1969 je dospelo na severni Jadran (Slika 5). Jakost vetrov je v tem času -zlasti na Jadranu - zelo narasla. V smeri podolžne osi Jadrana je tedaj pihal široko (jugo) z jakostjo 7 - 8 po Beaufort-u.

Tudi pri tej poplavi so sodelovali enaki činitelji kot pri prejšnji:

1.- Veter. Z bližanjem središča ciklona severnemu Jadranu se je jakost vetra stopnjevala. Pihal je jugovzhodnik z jakostjo 7 - 8 po Beaufort-u. Le-ta je narival v najsevernejši del jadranskega morskega bazena vodne mase, ki niso mogle dovolj naglo odtekati v spodnjih plasteh.

2.- Zračni pritisk. Dne 25. nov. 1969 ob 12. uri je znašal zračni pritisk 998,5 mb. V drugi polovici dneva je naglo padal in znašal opolnoči 976,8 mb. Po 1. uri dne 26. nov. 1969, po prehodu centra depresije, se je sprva naglo, nato pa bolj zmerno, dvigal. Normalno vrednost (1012,0 mb - popreček obdobja 1958 - 1967) je dosegel šele 27. nov. 1969 med 22. in 23. uro. Nedvomno je znižanje zračnega pritiska za 21,7 mb v 12 urah, oziroma za 35,2 mb pod novembrsko normalno vrednost, znatno pripomoglo k dvigu morske gladine.

3.- Sezonski dvig morske gladine. Nanj nas opozarjajo razlike v viširi vodostajev, ki so bili že pred poplavo nad predvidenimi.

Vsa ta izvajanja dokazujejo, da so med vzroki obeh poplav tudi meteorološki činitelji.

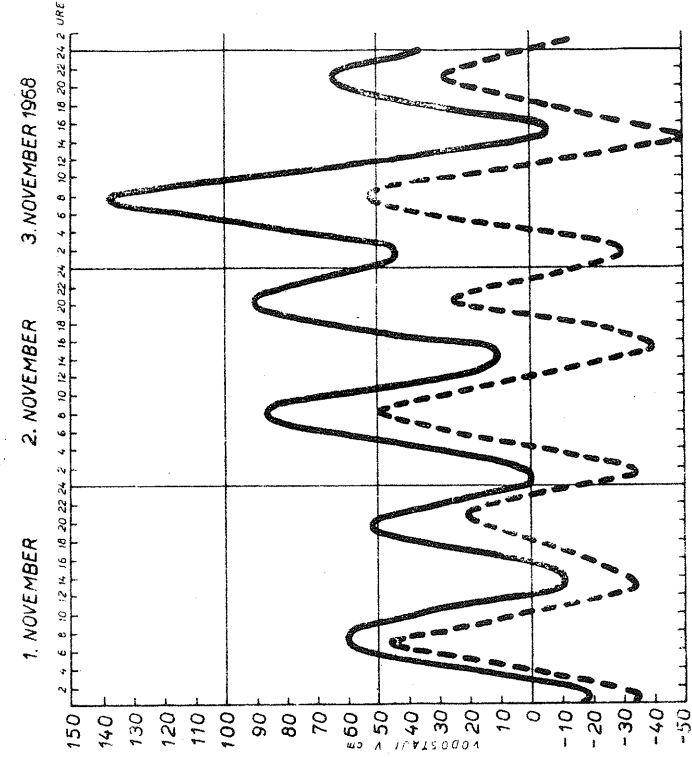
LITERATURA

- /1/ Beležka v "DELU" št. 302 z dne 4. nov. 1968 - str. 8 - Ljubljana
- /2/ F. Bernot - Meteorološki vzroki poplav Pirana - Letno poročilo meteorološke službe za 1966 - Ljubljana 1969
- /3/ L. Trotti - Tabelle di previsione delle maree per Trieste - Anno 1968 - Trieste 1967
- /4/ S. Polli - Tabelle di previsione delle maree per Trieste e l'Adriatico settentrionale per l'anno 1964 - Trieste 1963
- /5/ L. Trotti - Tabelle di previsione delle maree per Trieste - Anno 1969 - Trieste 1968.

TABELA 1 Predvideni vodostaji bibavice v Trstu med 1. in 6. novembrom 1968 /3/

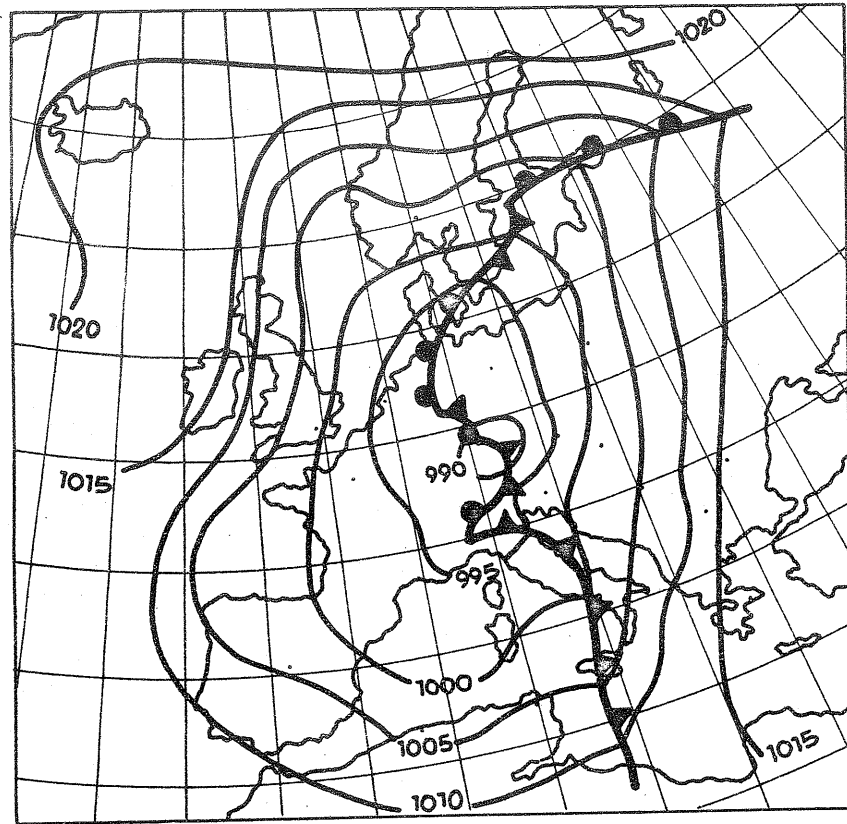
TABLE 1 Forecasted tide course at Trieste during November 1 and 6, 1968 /3/

Datum	Ura /SEČ/	Višina vodostaja v cm	Amplituda v cm
1. nov.	00,53	- 35	82
	07,25	47	82
	13,53	- 35	57
	19,40	22	57
2. nov.	01,30	- 35	86
	07,50	51	94
	14,20	- 43	69
	20,10	26	58
3. nov.	01,58	- 32	86
	08,10	54	104
	14,45	- 50	78
	21,00	28	56
4. nov.	02,20	- 28	83
	08,35	55	109
	15,10	- 54	83
	21,20	29	53
5. nov.	02,45	- 23	77
	08,54	54	111
	15,35	- 57	85
	22,00	28	56
6. nov.	03,00	- 18	70
	09,15	52	109
	16,00	- 57	82
	22,30	25	82



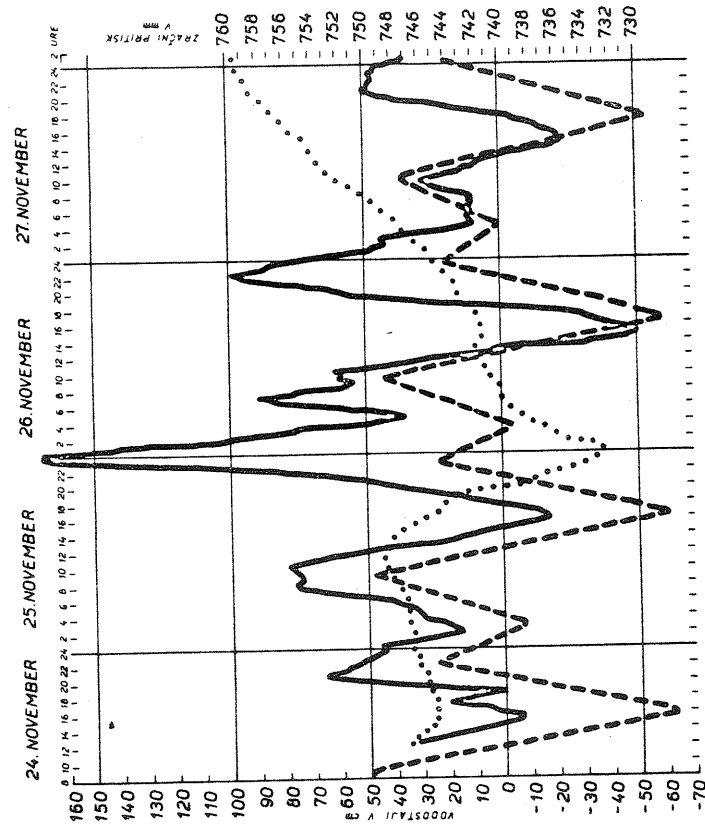
Slika 1 Mareogram za Koper (—) in predvideni potek bibavice v Trstu (---) med 1. in 3. novembrom 1968.

Fig. 1 Sea level record at Koper (—) and forecasted tide course at Trieste (---) during November 1 and 3, 1968.



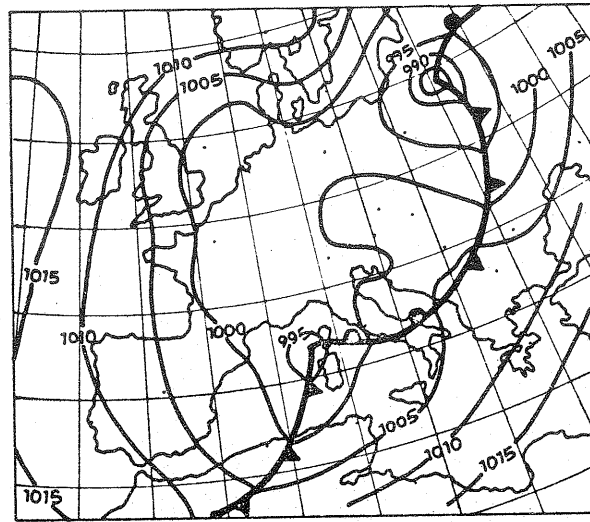
Slika 2 Sinoptična karta ob 0700 uri 3. novembra 1968 (po srednjeevropskem času).

Fig. 2 Synoptic weather map at 07:00 a.m. on November 3, 1968 (Central European Time).



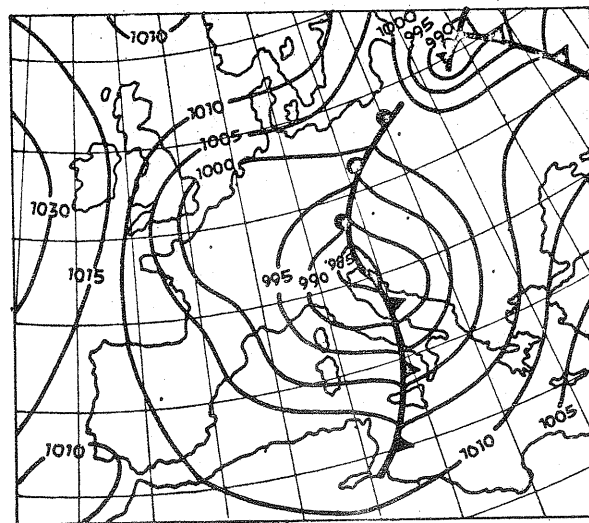
Slika 3 Mareogram za Koper (—), predvideni potek bibavnice v Trstu (---) in potek zračnega pritiska v Kopru med 24. in 27. novembrom 1969.

Fig. 3 Sea level record at Koper (—), forecasted tide course at Trieste (---) and air pressure course at Koper during November 24 and 27, 1969.



Slika 4 Sinoptična karta ob 1300 uri 25. novembra 1969.

Fig. 4 Synoptic weather map at 13:00 p.m. on November 25, 1969.



Slika 5 Sinoptična karta ob 0100 uri 26. novembra 1969.

Fig. 5 Synoptic weather map at 01:00 a.m. on November 26, 1969.

PREPROSTA OBRAVNAVA RAZKROJA RADIACIJSKE MEGLE

A SIMPLE TREATMENT OF RADIATION FOG CLEARANCE

551.509.325

ZDRAVKO PETKOVŠEK

Katedra za meteorologijo FNT, Ljubljana

SUMMARY:

Assuming that a lake with cold foggy air in a valley under inversion forms a closed thermodynamic system into which there is a known energy income in the morning, an equation for temperature changes in each column of foggy air regarding its height is developed. Generally the equation can not be solved analytically, but one possibility for its numerical solution is given elsewhere /4/. For illustration however are given here two examples, calculated on time-average values of quantities. The results are approximate and in rough agreement with the observations.

In the second part of the article some interesting observations of fog clearance in Ljubljana and Bohinj valley obtained by filming with time reductions are presented and discussed. It was confirmed that right after the sunrise the fog often became thicker. Its clearance starts at the borders of the slopes of the valley and advances toward the places of its greater thickness. This place does not depend only on the topography, but also on the pressure field above the inversion layer. Some waves and swinging of the upper border of fog were found and discussed. It was found also that in valleys with steep slopes the dynamic effects of slope circulations are very effective for the fog dissipation. In large valleys however the direct income of sun's radiation is dominant.

UVOD

V naših nižinah in kotlinah je radiacijska megla zelo pogostna /1/. Radiacijska megla v kotlinah se navadno razkroja predvsem zaradi vpliva sončnega obsevanja. Opazovanja kažejo, da se razkroji tem pozneje, čim večja je njena debelina in gostota; važen pa je tudi letni čas, ki z višino sonca odloča o jakosti ogrevanja oziroma o dovodu toplote. Zrak v kotlini pod inverzijo tvori skupaj s kondenzirano vodo na tleh precej zaključen sistem. Temu je treba dovesti ustrezno količino toplote, da se dovolj ogreje ter lahko izhlapijo vse kapljice megle kakor tudi v noči na tleh kondenzirana voda. Ko se ob tem kotlinski zrak ogreje do ustrezne temperature T_p , megla izgine.

Pot do določitve razkroja megle gre torej preko določitve potrebne količine toplote. To količino je Kennington /2/ določal po tabelah obsevanja ter dodatno postavil korekcijski faktor. Na njegov sistem sta se naslonila pri svojem delu tudi Wright in Weinman /3/ z natančnejšo določitvijo nekaterih količin - predvsem optičnih lastnosti megle.

Za prognozo razkroja megle pa ni važna le količina dovedene toplote, temveč tudi drugi faktorji, ki odločajo o neposrednem dvigu temperature v zračnem stebru meglene zračne. Tak faktor je tudi višina zračnega stebra, ki je v kotlinah lahko zelo različna. V tem delu je zato izpeljana preprosta enačba, ki omogoča določiti potek temperaturnih sprememb v zaključenem sistemu kotlinskega zraka. Enačba daje osnovo za numerično reševanje tega problema, ki pa je podano drugje /4/; v tem delu pa bomo prikazali poleg njene izpeljave le preprosti primer analitične rešitve za dva primera; podali pa bomo tudi nekaj ugotovitev posebnih površinskih opazovanj in filmskih snemanj razkroja megle v naših kotlinah.

IZPELJAVA ENAČBE

Če zanemarimo sorazmerno majhna člena, ki predstavljata vpliv sprememb zračnega pritiska in ogrevanja majhne količine vode v zraku, lahko zapišemo v skladu s prvim stavkom termodinamike dovedeno toploto

$$dQ_m = m c_p dT - L dm_a \quad 1$$

kjer je m celotna masa vlažnega zraka, c_p specifična toplota tega zraka, T temperatura, L latentna toplota izhlapevanja^p in m_a masa vodnih kapljic in s tal izhlapele vode. Masa kondenzirane vode je zato a po izhlapanju enaka povečani masi vodne pare

$$- dm_a = dm_v \quad 2$$

Intenziteto sprememb teh količin dobimo z odvodom po času ter je jakost dovoda toplote podana z

$$\frac{dQ_m}{dt} = m c_p \frac{dT}{dt} + L \frac{dm_v}{dt} \quad 3$$

Očitno velja enačba

$$m = \rho S h \quad 4$$

kjer je ρ gostota, S površina in h višina zračnega stebra ter zanje predpostavimo, da niso odvisne od časa. Za enoto površine tedaj lahko pišemo

$$\frac{dQ}{dt} = \rho h c_p \frac{dT}{dt} + h L \frac{d\rho_v}{dt} \quad 5$$

kjer je ρ_v gostota nasičene vodne pare, saj predpostavimo, da je zrak do končnega razkroja megle nasičen. Ker je po enačbi stanja

$$\rho_v = \frac{e_w}{R_v T} \quad 6$$

in velja za konstantno vrednost plinske konstante za vodno paro

$$\frac{d\rho_v}{\rho_v} = \frac{de_w}{e_w} - \frac{dT}{T} \quad 7$$

dobimo po uvedbi Clausius-Clapeironove enačbe oblike

$$\frac{de_w}{e_w} = A \frac{dT}{T} \quad 8$$

kjer je konstanta A razmerje celotne in zunanje latentne toplote z vrednostjo približno 20, zadnji člen enačbe 5 v obliki

$$\frac{d\rho_v}{dt} = h L \rho_v (A-1) \frac{dT}{dt} \quad 9$$

Iz kombinacije enačb 6, 9 in 5 dobimo končno enačbo

$$\frac{dT}{dt} = \frac{dQ/dt}{h (\rho c_p + L e_w (A-1)/R_v T^2)}, \quad 10$$

ki je izhodiščna enačba za reševanje problema razkroja megle in je ob eksplisitem zapisu dovoda toplote podobna Beersovi enačbi /5/.

Privzamemo, da veljajo naslednje odvisnosti:

c_p, ρ, L, R_v, A so praktično konstante

$h = \text{konst. nad ravnino, (v kotlinah pa je } h = h(x, y) \text{)}$

$dQ/dt, e_w$ in T pa so funkcije časa.

Zaradi takih odvisnosti je možna v splošnem le numerična rešitev gornje enačbe.

PRIMER ANALITIČNE REŠITVE

Analitična rešitev enačbe 10 je možna za konstantne vrednosti gornjih odvisnih količin. Zanje vzamemo v posebnih primerih približne oziroma ocenjene poprečne vrednosti s časovnega intervala. Tedaj lahko t_p , ki nam predstavlja čas razkrajanja meglene plasti od sončnega vzhoda, ko se prične ogrevanje $t_o = 0$, do izhlapišve vseh kapljic t_p , zapišemo v obliki

$$t_p = h (\rho c_p + L e_w (A-1)/R_v T^2) \cdot (T_p - T_o) / \overline{dQ/dt} \quad 11$$

kjer je T_o srednja temperatura meglene zračne plasti ob času t_o in T_p prognozirana srednja temperatura te plasti ob končnem razkroju megle. T_p je srednja temperatura zračnega stebra meglene jezera, do katere se mora vlažen oziroma nasičen zrak segreti, da bo megla v celoti izginita.

Pri radiacijski megli imamo v kotlinskem zraku pod inverzijo tudi glede vodne pare dokaj zaključen sistem. Po sončnem zahodu začneta navadno absolutna vlaga in parni pritisk hitro padati, ker se vlaga izloča, najprej v obliki rose in nato še v obliki megle, in te kapljice tudi sicer počasi, a vztrajno, padajo in izpadajo. Ko se naslednji dan tla in od njih zrak ogrevata, vsa ta voda izhlapeva in se konvektivno prenaša v višine, kjer pa se zaradi adiabatnega ohlajanja lahko ponovno kondenzira - megla se ob razkroju "dvigne" v stratusno oblačnost oziroma se pretvarja v kosme. Zato lahko privzamemo, da bo parni pritisk ob končnem razkroju megle oziroma stratusa približno tak kot je bil prejšnji dan popoldne in bo prognozirana srednja temperatura plasti tista, za katero je omenjeni parni pritisk nasičen - to pa je popoldanska temperatura rosišča T_{dn} , vendar povečana za vrednost zaradi ustvaritve adiabatnega gradienta. Pri T_{dn} konvektivnem mešanju meglene plasti se namreč ustvarja gradient, ki velja za pogojno la-

bilnost (med vlažno in suhoadiabatnim). Da pride do končnega razkroja stratusne oblačnosti oziroma dvignjenih kosmov, se mora temperatura ne le v sredini v povprečju, ampak tam zgoraj dvigniti do vrednosti T_p . Prognozirana poprečna temperatura plasti ob razkroju je zato višja in v skladu s sliko 1 približno podana z enačbo

$$T_p = T_{dn} + \gamma_p \frac{h}{2} \quad 12$$

Pri čemer je γ_p gradient pogojne labilnosti, a je verjetno bližje vlažnoadiabatnemu. Za nasičen parni pritisk poprečja v času, ki nastopa v enačbi 11, pa vzamemo srednjo vrednost med jutranjim ob sončnem vzhodu in tistim, ki ga dobimo iz T_{dn} .

Kot primer podajamo dva izračuna za razkoj megle v Ljubljanski kotlini, ko smo razkoj natančneje opazovali in snemali. Vrednosti, ki so za oba primera enake, so:

$\rho = 1,2 \text{ kg m}^{-3}, c_p = 0,24 \text{ cal g}^{-1} \text{ st}^{-1}, L = 600 \text{ cal g}^{-1}, R_v = 0,11 \text{ cal g}^{-1} \text{ st}^{-1}$ in $A = 20$; posebne vrednosti pa so:

21. 9. 1969

23. 9. 1969

$h = 300 \text{ m}$
 $T_o = 7,8 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_p = 11,8 \text{ }^\circ\text{C}$

$h = 200 \text{ m}$
 $T_o = 8,7 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_p = 12,8 \text{ }^\circ\text{C}$

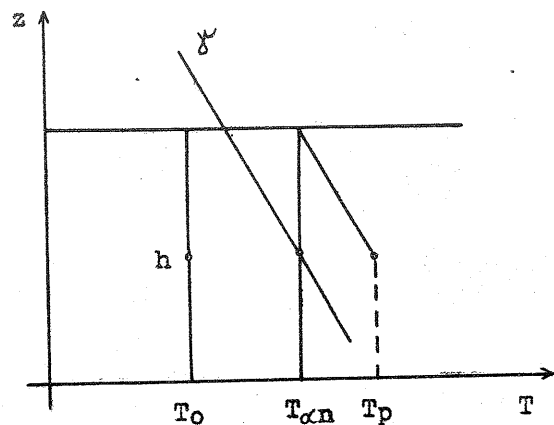
$dQ/dt \doteq 0,24 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$
 $t_p \doteq 6 \text{ ur}$

$dQ/dt \doteq 0,24 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$
 $t_p \doteq 4 \text{ ure}$

Najbolj problematično je določiti poprečni toplotni tok, ki ogreva zrak in omogoča izhlapevanje. Ta količina je odvisna od letnega in dnevnega časa (zaradi višine sonca), od lokalnih pogojev, od gostote megle, od vrste tal itd. in jo je treba določiti kot funkcijo prostora in časa, če hočemo gornjo enačbo dobro uporabiti v prognostične namene - eden izmed načinov razložen drugje /4/. Tu pa smo dejansko ravnali v obratni smeri in smo to količino računali, ker nam je bil čas razkroja iz opazovanj znan. Opazovana časa t_p se torej ujemata z izračunanimi po enačbi 11, če vzamemo za poprečni toplotni tok v obeh primerih približno enako vrednost dQ/dt kot je navedena zgoraj. Ta vrednost pa se v grobem ujema s tisto, ki jo dobimo z umih vrednosti sončnega obsevanja za Ljubljano /6/.

Enačba 11 nam torej daje možnost za približno računsko določitev časa

razkroja radiacijske megle v kotlini, če poznamo debelino megle in meteorološke parametre vključno približno poprečno vrednost jakosti dovoda toplote na enoto površine tal pod meglo.



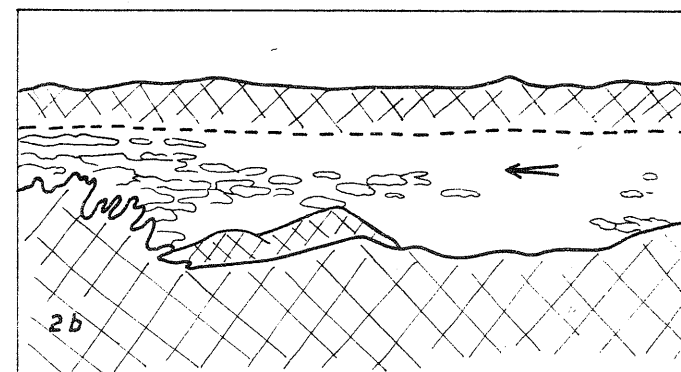
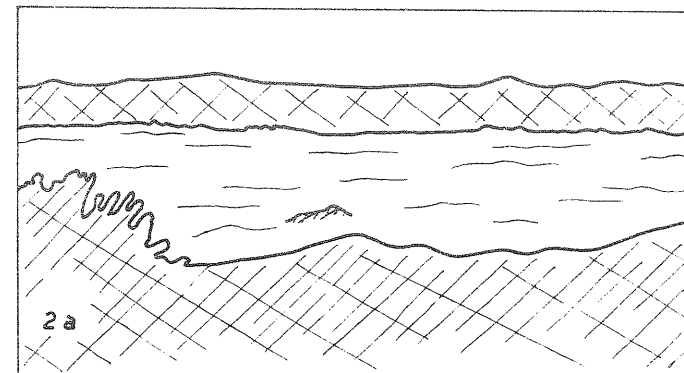
Slika 1 K razlagi določanja srednje temperature zračnega stebra ob razkroju megle - T_p

Fig. 1 To the explanation of the determination of the mean temperature of air column at the time of fog clearance - T_p

REZULTATI POSEBNIH OPAZOVANJ

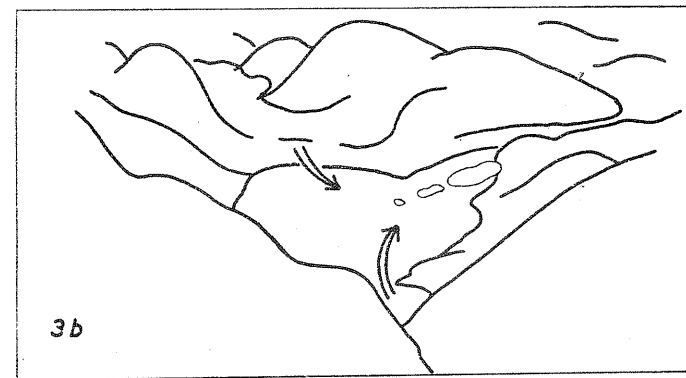
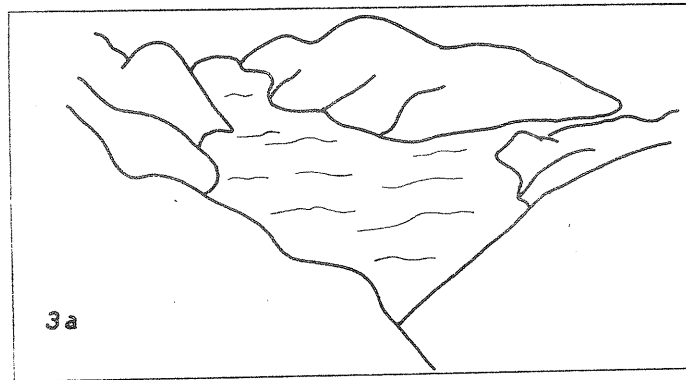
Razkrajanje megle v Ljubljanski in tudi Bohinjski kotlini smo nekajkrat opazovali in posneli s časovno redukcijo. Že samo opazovanje in slikanje pojava z neke okolišnje višje ležeče točke omogoča tako imenovano površinsko opazovanje, ki zajame hkrati večji prostor. Glede poteka pa lahko opazimo le razlike, ki se pojavijo v večjih časovnih presledkih.

Procesi razkroja megle so sorazmerno počasni, zato s samim opazovanjem ugotovimo, podobno kot pri analizi posameznih slik, le razlike v prostoru: kako visoko sega megla, koliko je gomja megle valovita oziroma razgibana, kako je na robovih - zlasti ob prisojnih pobočjih - dvignjena; v časovnem zaporedju pa, kje se pojavijo prve večje odprtine in kje se megla zadržuje najdlje. V ilustraciji sta na slikah 2 in 3 prikazana dva primera s po dvema slikama ob različnih časih z večjim vmesnim časovnim intervalom.



Slika 2 Megla nad Ljubljanskim barjem 23.9.1969: a) ob 9 uri; b) ob 10,30, ko je razkroj napredoval od desne proti levi

Fig. 2 Fog over the Ljubljana swamp on 23 9 1969: a) at 9:00 a.m.; b) at 10:30 a.m. when the clearance was advancing from the right to the left



Slika 3 Megla nad Bohinjskim jezerom 22.1.1968: a) ob 8 uri; b) ob 10,30, ko so nad iztočnim delom doline razpadali zadnji kosmi dvignjene megle

Fig. 3 Fog over the Bohinj lake on 22/1 1968: a) at 8:00 a.m.; b) at 10:30 a.m. when above the out flow part of the valley the last patches of fog were dissipating

Na sliki 2a, katere osnova je bila posneta 23.9.1969 ob 9 uri z vrha Krima proti NW, vidimo meglo nad Ljubljanskim barjem. Megla je debela malo manj kot 200 m, saj iz nje ravno gleda vrh Sv. Ane pod Krimom. Zgornja meja je le rahlo valovita, ob prisojnih pobočjih zadaj pa dvignjena in ponekod nacefrana zaradi dviganja ogretega zraka ob prisojnih pobočjih. V tem času je nad Ljubljano megla že v glavnem razkrojena, medtem ko je na Gorenjskem že povsem izginila. "Jasnina" se širi proti sredini barja, kar kaže slika 2b - ob 10,30 uri. Na svojem obrobju, ki je sedaj že močno odmaknjeno od okolišnjih pobočij, megla razpada v posamezne kosme. Najdlje se očitno zadržuje nad sredino barja, kjer izginejo zadnji kosmi šele ob 11 uri, kar je celo uro pozneje kot n. pr. v Ljubljani. Temu je verjetno vzrok v rahlem nagibu meglene jezera navzgor proti SW zaradi istosmernega pritiskovega gradienta /7/ in zaradi večje za- loge vode v tleh, kar vpliva poleg izdatnejšega izhlapevanja tudi na boljši pre- vod toplote v tla.

Snemanje megle s časovno redukcijo 1:30 do 1:50, ki je bilo opravljeno vzporedno z opazovanji, je dalo zanimive vpogleda v dinamiko meglene zra- ka in razkroja megle. Slikovno tega ni mogoče racionalno prikazati, zato poda- jamo le glavna opažanja. Gornja meja megle ni mima, kot je to videti pri opa- zovanju, ampak stalno valovi. Če se pri tem v celoti tudi horizontalno premika, ni mogoče ugotoviti. Tako so se n. pr. 21.9. do 9 ure izraziti valovi gibali od SE proti NW, po 10 uri pa ravno v nasprotni smeri; pritiskovo polje pa je bilo nad srednjo Evropo tudi v višinah šibko in je vladalo praktično brezvetrje. Da se niso delci premikali horizontalno, ampak so le valovali, je mogoče soditi tudi po "izboklinah" nad toplamo. Te izbokline so nastajale in izginjale na istem mestu in obenem kazale, da dviganje dimna inverzije ni prebijalo.

V drugih primerih pa imamo dokaze, da so gibanja zraka v meglinem jeze- ru samosvoja in neodvisna od višinskih tokov. Tako nam kažejo n. pr. filmi o raz- kroju megle v Selški dolini, snemani s Starega vrha 6.2.1969, ko je bil pretok megle s Poljanske v Selško dolino ravno nasproten močnim višinskim tokovom in gibanju oblakov.

Predvajanje filmov, posnetih s časovno redukcijo, nam tudi lepo pokaže končni razkroj posameznih meglениh kosmov in njihovo dinamiko. Ti kosmi pred- stavljajo vrhove konvektivnih celic, ki so očitno zelo živahne in dovajajo v plast, tik pod inverzijo, poleg toplote tudi nove količine s tal izhlapele vlage. Zato se kosmi dejansko sestojijo vedno iz novih delcev, se s tem obnavljajo in se zato le počasi razkrajajo. Vse te filme hrani Katedra za meteorologijo F.N.T. v Ljubljani.

Bohinjska kotlina je znatno manjša od Ljubljanske in ima strma pobočja, zato se tam dinamični efekti, čeprav so proženi termično, bolj uveljavljajo. Meglo v Bohinjski kotlini, ki leži zlasti pozimi navadno pod dvojno inverzijo /8/, smo tudi že večkrat opazovali in snemali. Slika 3a kaže pogled na kotli- no Bohinjskega jezera s Komne proti vzhodu 22.1.1968 ob 8 uri. Kotlina je ne-

okraj deset metrov na debelo zalita z meglenim jezerom, ki zgoraj valovi z valovi, ki potekajo pravokotno na veliko os doline. Druga slika 3b predstavlja stanje ob 10,30, ko so nad iztočnim delom kotline razpadali še zadnji kosmi dvignjene megle. Smer razkroja je podana s puščicama.

Snemanje s časovno redukcijo je pokazalo, da se megla po sončnem vzhodu navadno okrepi (odebeli in razširi) in da nastopa poleg valovanja vzdolž velike osi doline zelo izrazito nihanje zgornje meje megle pravokotno na veliko os in s časovno periodo nekaj minut. Zanimivo je, da se prične megla razkrajati v zgornjem kotu (pri Ukancu), ki je v tem času še v senci. Temu je gotovo vzrok spuščanje in fenizacija zraka s planot Vogla in Komne, saj se odtekanje meglene mase na nasprotni strani v Bistriško dolino ob predvajanju filma lepo vidi. Spuščanje zraka je verjetno tudi vzrok prečnim nihanjem meglene mase hladnega zraka, čeprav so možni tudi termični vplivi prisojnih pobočij. Očitno so tu dinamični efekti dominantni vsaj v tem letnem času, ko so tla pokrita s snegom. Vendar pa se ob koncu razkroja tudi tu ohranja osnovna shema, da se megla dvigne v stratus in izgine nazadnje tam, kjer je bila najdebelejša.

* * * * *

Delo je del raziskovalne teme "Razvoj in razkrajanje megle v kotlinah Slovenije" in je bilo izdelano ob pomoči sredstev Fakultete za naravoslovje in tehnologijo v Ljubljani.

LITERATURA

- /1/ Petkovšek Z.: Pogostnost megle v nižinah in kotlinah Slovenije, Razprave-Papers XI. DMS, Ljubljana 1969, 57 - 89.
- /2/ Kennington C.J.: An approach to the problem of the forecasting of fog clearance. Meteorol. Mag. 90 (1961), 70 - 73.
- /3/ Wright W.B. and Weinman J.A.: Measurement of the clearance of a radiation fog. Beitr. Phys. Atmosph. 40 (1967), 226 - 233.
- /4/ Petkovšek Z.: Auflösung der Radiationsnebel im alpinen Talbecken. XI. Int. Tagung für alpine Met. (v tisku).
- /5/ Beers N.R.: Meteorological Thermodynamics and Atmospheric Statics. Handbook of Meteorology, New York 1945.
- /6/ Arhiv Hidrometeorološkega zavoda SRS v Ljubljani.

- /7/ Čadež M.: Vreme u Jugoslaviji. Razprave - Papers 4, P.M.F. Beograd 1964, 1 - 83.
- /8/ Petkovšek Z.: Double Inversion over the Bohinj Valley. Weather XV. No. 4 (1960) 131 - 136.

PROGNOZA NEVIHT NAD SLOVENIJO S POMOČJO EMPIRIČNIH PARA -
METROV

THUNDERSTORM FORECAST OVER SLOVENIA (YUGOSLAVIA) BY MEANS
OF EMPIRICAL PARAMETERS

551.509.326

MIRAN TRONTELJ

Hidrometeorološki zavod SRS, Ljubljana

SUMMARY:

The usefulness of empirical parameters such as: K factor /3/, Lebedev's humidity index /1/, and Showalter's index /2/ was tested for thunderstorm forecast over Slovenia (Yugoslavia). Critical values of these parameters for development of thunderstorms as generally known, were found not to be valid for this region.

Parameters were calculated for the months; May, June, July, August and September 1969, using data on standard isobaric surfaces of the stations Udine (Italy), Vienna (Austria), Zagreb (Yugoslavia) and Budapest (Hungary).

It was found that the thunderstorm forecast, based on these empirical parameters, is vague, even though a thunderstorm day is defined very broadly. A thunderstorm day is a day with a thunderstorm reported from at least one station from anywhere in Slovenia. The reason that these methods fail is that in general, the data from these stations do not represent well enough the conditions over Slovenia. However, they are the only stations that come into account. The data from Udine were more useful, but only for the coastal region.

UVOD

V pričujočem delu smo podali pregled uporabnosti nekaterih empiričnih parametrov, s katerimi ponekod po svetu določajo labilnost atmosfere. Vsi ti parametri so določeni empirično in je zato potrebno za različna področja določiti mejne vrednosti, pri katerih nastajajo nevihte. Ker ti parametri določajo stabilnost določene zračne mase, moramo torej izbrati, iz katerih radiosondažnih postaj bomo uporabili podatke za računanje stabilnosti pri nas. Vzeli smo seveda le najbližje radiosondažne postaje in sicer Videm (Udine), Dunaj (Wien), Zagreb ter v slučaju, da katera od teh postaj ni imela meritev, tudi Budimpešto (Budapest).

Stabilnostne parametre smo računali za mesec maj, junij, julij, avgust in september 1969. Za vse štiri zgoraj omenjene postaje smo parametre računali na elektronskem računalniku CDC 3300.

METODE DOLOČANJA VERTIKALNE STABILNOSTI

Parametri, s katerimi smo določali vertikalno stabilnost, so definirani na sledeči način:

K faktor /3/

$$K = T_{850} - T_{500} + TR_{850} - (T - TR)_{700}$$

Vlažnostni indeks Lebedjeva FI /1/

$$FI = (T - TR)_{850} + (T - TR)_{700} + (T - TR)_{500}$$

Razlika temperatur 850 in 500 mb ploskve DI

$$DI = T_{850} - T_{500}$$

Showalterjev indeks SSI /2/

$$SSI = T_{500} - T'_{500}$$

Pri čemer pomenijo oznake T in TR z indeksi 850, 700, 500 temperature in temperature roslišča na ploskvah 850, 700 in 500 mb. T'_{500} pa je temperatura na 500 mb ploskvi, ki jo dobimo grafično z emagrama (mi smo jo računali s pomočjo ustreznih enačb) na sledeči način: delček zraka dvignemo iz 850 mb ploskve po suhi adiabatni, dokler ne postane nasičeno vlažen - kondenzacijski nivo -, nato pa po vlažni adiabatni do 500 mb ploskve. Kjer seče ta vlažna adiabata 500 mb ploskev, odčitamo temperaturo in ta temperatura je T'_{500} .

Da bi uporabili podatke tiste radiosondažne postaje, ki nam predstavljajo zračno maso, za katero predvidevamo, da bo prišla vsaj bistveno nespremenjena nad Slovenijo, smo uporabili veter na 700 mb ploskvi kot vodilni tok. Iz tabele 1 je razvidno, katere meritve smo upoštevali, če ni bilo podatkov, ki bi jih potrebovali glede na vodilni tok.

TABELA 1 Postaje, katerih sondažne meritve smo upoštevali glede na smer vetra na 70 mb ploskvi.

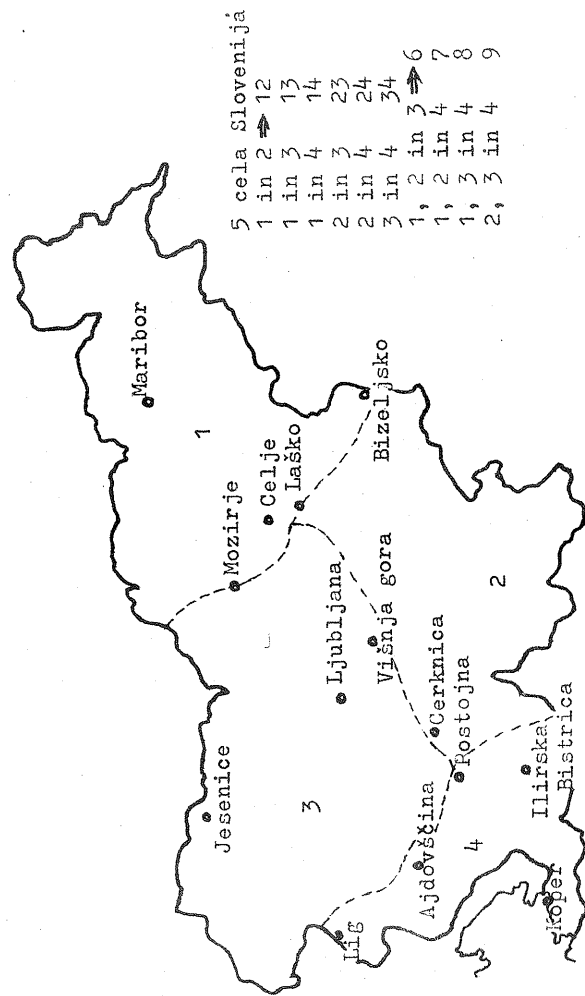
TABLE 1 Stations, the data of which were used according to the wind direction on 700 mb surface

Postaja	Udine	Wien ali Udine	Zagreb ali Budapest
Smer	196° do 345°	346° do 45°	46° do 195°

Postaja	Wien	Zagreb
Smer	276° do 95°	96° do 275°

PROGNOZA NEVIHT

Podatke o nevihtah in toči v Sloveniji zbira ca 350 postaj. Vse podatke smo vnesli na dnevne padavinske kartice, ki so nam služile pri nadaljni obravnavi. Slovenijo smo razdelili na 4 področja kot kaže slika 1. Tabela 2 pa nam kaže, koliko nevihtnih dni in dni s točo je bilo v obdobju maj - september za celo Slovenijo in po področjih. Šifre od 1 do 4 so iste kot na sliki 1. Seveda pa moramo pripomniti, da je veljal za nevihtni dan, tudi če se je nad Slovenijo pojavila le ena sama nevihta.



Slika 1 Razdelitev Slovenije na štiri področja
 Fig. 1 The four regions of Slovenia

TABELA 2 Število dni z nevihtami oziroma s točo za Slovenijo in za posamezna področja

TABLE 2 Number of thunderstorm days and days with hail for Slovenia and for the four regions separately

Mesec	nevihte	toča	nevihte				toča			
			1	2	3	4	1	2	3	4
maj	15	4	10	8	13	10	0	3	2	1
junij	21	7	19	19	20	16	5	4	2	2
julij	15	3	12	10	15	13	1	2	2	0
avgust	23	8	20	19	23	22	4	3	4	2
september	12	2	8	11	9	11	0	2	0	0
skupaj	86	24	69	67	80	62	10	14	10	5

Ko smo izračunali vse zahtevane količine in jih tabelirali, smo najprej raziskali kakšne vrednosti zavzamejo posamezni parametri. Nato smo določili mejne vrednosti teh parametrov, pri katerih nastopijo nevihte oziroma ne nastopijo. Za mejne vrednosti posameznih parametrov smo ugotovili sledeče vrednosti: nevihte bodo verjetno nastale, če je število $K > 24$, vlažnostni indeks $FI \leq 20^{\circ}\text{C}$, temperaturna razlika $DI \geq 26^{\circ}\text{C}$ in Showalterjev indeks $SSI < 3^{\circ}\text{C}$.

Razumljivo je, da se večkrat zgodi, da vrednosti parametrov kažejo na možnost nastanka neviht, pa te izostanejo, oziroma ne kažejo na možnost nastanka neviht, a se te pojavijo. Ta odstopanja za posamezne parametre nam kaže tabela 4. Eden izmed razlogov teh odstopanj je v tem, da smo zaradi poenostavitve za vse štiri radiosondazne postaje vzeli enake mejne vrednosti, kljub temu, da imajo vrednosti parametrov za posamezne postaje stalne nižje oziroma višje vrednosti od ostalih postaj. Mejnih vrednosti parametrov za vsako postajo posebej nismo določevali, ker smo imeli za to vrsto raziskav premalo podatkov v obdelavi.

Drugi razlog za odstopanja pa je v tem, da smo šteli za nevihtne dni tudi take, ko so bile v Sloveniji le posamezne nevihte.

TABELA 3 Število dni, ko so vrednosti posameznih parametrov odstopale od mejnih vrednosti

TABLE 3 Number of days when the values of particular parameters deviated from some limits

Mesec	Štev. dni	$K \leq 24$	$K > 24$	$K < 21$	$21 \leq K \leq 29$	$K > 29$	$FI > 20$	$FI \leq 20$	$DI < 26$	$DI \geq 26$	$SSI \geq 3$	$SSI < 3$
maj	15 z nevihtami	5	-	-	12	3	3	-	6	-	4	-
	16 brez neviht	-	5	7	8	1	-	5	-	8	-	5
junij	21 z nevihtami	4	-	-	13	8	4	-	6	-	6	-
	9 brez neviht	-	5	3	5	1	-	5	-	5	-	6
julij	15 z nevihtami	6	-	5	4	6	7	-	8	-	6	-
	16 brez neviht	-	6	7	7	2	-	7	-	7	-	4
avgust	23 z nevihtami	8	-	5	11	7	9	-	12	-	13	-
	8 brez neviht	-	6	-	5	3	-	6	-	3	-	4
septem.	12 z nevihtami	1	-	1	3	8	1	-	5	-	2	-
	18 brez neviht	-	8	7	9	2	-	6	-	3	-	1

Odstopanja v tabeli 3 veljajo za podatke jutranjih sondaž. Tudi pri nadaljni obravnavi smo upoštevali le podatke jutranjih sondaž, ker so za prognozo neviht, ki jo dajemo dopoldne, ti bolj primerni.

Za število K smo mejno vrednost razširili na mejno območje od vrednosti 21 do 29. Kadar število K zavzame vrednosti med 21 in 29, so nevihte možne, lahko pa jih tudi ni. S to omejitvijo smo sicer zmanjšali število primerov, ko prognoza neviht samo na podlagi števila K ne bi bila pravilna. Vendar pa bi bilo število prognoz, ko bi prognozirali le možnost neviht, a teh ne bi bilo, kljub temu še znatno.

Napake pri prognoziranju na osnovi števila K nastanejo deloma iz enakih vzrokov, kakor že zgoraj omenjena odstopanja, deloma pa tudi vsled tega, ker smo morali kar v 52 primerih (od 153, kolikor smo jih obravnavali) upoštevati podatke "nadomestne" radiosondažne postaje. To pomeni, da ni bilo podatkov, ki bi jih morali upoštevati glede na vodilni tok, ki smo ga določili s podatkov 700 mb ploskve.

Število K je zato kot prognostični parameter za nevihte zelo nezanesljivo in nam lahko služi pri prognozi le kot pripomoček k splošni sinoptični situaciji.

TABELA 4 Veljavnost prognoze neviht na osnovi posameznih parametrov in veljavnost prognoze prognostičnega oddelka HMZ v Ljubljani (v %)

TABLE 4 Validity of thunderstorm forecast on the basis of particular parameters and validity of the forecast given by the forecast department of Hydrometeorological Institute of Slovenia (percentage)

Mesec		P_1	P_2	P_3	P_4
maj	za nevihtne dni	67	67	67	53
	za brez nevihtne	69	62	62	87
	skupaj	68	64	64	71
junij	za nevihtne dni	81	76	81	67
	za brez nevihtne	44	44	33	55
	skupaj	70	66	66	63
julij	za nevihtne dni	60	60	67	67
	za brez nevihtne	62	75	56	75
	skupaj	61	68	61	71
avgust	za nevihtne dni	65	56	70	78
	za brez nevihtne	25	50	25	63
	skupaj	55	55	58	74
septem.	za nevihtne dni	92	92	92	42
	za brez nevihtne	59	78	55	95
	skupaj	70	83	70	73
skupaj	za nevihtne dni	72	69	74	64
	za brez nevihtne	55	66	51	79
	skupaj	65	67	64	71

V tabeli 4 so podane veljavnosti prognoze ob upoštevanju mejne vrednosti števila K 24 (P_1), za posamezne mesece ločeno za prognozo nevihtnih dni in dni brez neviht ter na koncu za celo obdobje, vse v procentih.

Da bi dobili boljše rezultate, smo upoštevali poleg števila K, še Showalterjev indeks SSI. Ta nam da dokaj dobre vrednosti za statično stabilnost /2/. V tabeli 3 pa zopet vidimo, da so majhna odstopanja od mejne vrednosti le v maju in septembru, največja pa v avgustu, torej v mesecu z največ nevihtnimi dni. Vzroki so verjetno isti kot pri številu K. Kombinacijo števila K in indeksa SSI smo dobili na naslednji način. Če sta imela oba vrednost, ki bi dala za prognozo nevihte in so te tudi bile, je bila prognoza pozitivna (pravilna), če pa neviht ni bilo, je bila prognoza negativna (nepravilna). Na enak način, le obratno smo računali veljavnost prognoze za tiste dni, ko ni bilo neviht. Če pa je eden od parametrov "prognoziral" nevihte, drugi pa ne, smo upoštevali tistega, ki je bil glede odstopanja od mejne vrednosti bližje dejanskemu stanju. Seveda smo upoštevali razliko od mejne vrednosti pri indeksu SSI dvakratno, ker je tudi poprečen razpon med vrednostmi števila K in SSI indeksa dvakrat večji pri številu K. Za primer vzemimo 11. VI., ko so bile po vsej Sloveniji nevihte. Število K za vidensko radiosondažo je bilo 29, SSI pa 3,1. Ker odstopa slednji od mejne vrednosti le za eno desetinko v negativno stran, število K pa je za 5 večje od mejne vrednosti, smo menili, da nam kombinacija obeh parametrov "prognozira" nevihte. V tabeli 4 (P_2) najdemo rezultate veljavnosti prognoz, ki smo jih dobili na ta način. Vidimo, da v splošnem niso dosti boljše, kakor one, ko smo upoštevali le število K.

Izračunali smo tudi veljavnost prognoze, ko smo upoštevali vse tri parametre /K, SSI, FI/ in temperaturno razliko DI. Kombinacijo vseh štirih smo dobili na enak način kot zgoraj, le da smo v primeru, ko sta po dva in dva dala nasprotno prognoze, to kombinacijo šteli kot prognozo neviht, ker je ta kombinacija kazala na možnost nastanka neviht. Tudi tu vidimo, da rezultati, ki so podani v tabeli 4 (P_3), niso nič boljši, v splošnem še nekoliko slabši od prejšnjih dveh načinov.

Za primerjavo smo v tabeli 4 (P_4) podali tudi veljavnost prognoz za isto obdobje, ki jih je dal prognostični oddelek HMZ v Ljubljani več ali manj samo s sinoptičnimi metodami. Tudi tu smo prognozo "nevihte so možne" upoštevali kot prognozo, da nevihte bodo nastale.

Ko primerjamo dobljene rezultate, lahko ugotovimo, da je prognoza neviht za področje Slovenije s pomočjo empiričnih parametrov K, SSI, FI in DI dokaj nezanesljiva in ti lahko služijo le kot pripomoček k prognozi, ki jo dobimo ob upoštevanju splošne sinoptične situacije. Rezultati bi bili gotovo boljši, če bi za vsako situacijo imeli na razpolago tiste radiosondažne meritve, ki jih potrebujemo glede na vodilni tok. V kolikor pa teh ni, bi jih morali pred računanjem parametrov določiti z interpolacijo, ali pa jih po vnaprej izdelanem modelu prognozirati.

LITERATURA

- /1/ G. Götz, "Sturmwarnung am Balatonsee". Veröffentlichungen der Ungarischen Zentralanstalt für Meteorologie, Band XXX.
- /2/ Joseph G. Galway, "The lifted Index as a Predictor of Latent Instability". Bull. Amer. Meteor. Soc., Vol. 37, December 1956.
- /3/ V. Žitnik, "Aplikacija Whitingove metode za prognozo neviht na alpsko področje Slovenije". Razprave - Papers VI., Ljubljana.

UPORABNOST LABILNOSTNIH FAKTORJEV ZA PROGNOZO NEVIHT IN
TOČE V SLOVENIJI

USEFULNESS OF LABILITY FACTORS FOR THUNDERSTORM AND HAIL
FORECASTS IN SLOVENIA

551.509.326

JANKO PRISTOV

Hidrometeorološki zavod SRS, Ljubljana

SUMMARY:

Thunderstorm and hail forecasts are the most successful if they include the forecast of the vertical stratification and based on it the forecast of vertical velocity distribution /1/.

Slovenia (Yugoslavia) has not its own upper air sounding station. Therefore it is hard to give a forecast of the vertical stratification; especially for lower levels, where it is even different in different regions of Slovenia.

In the months from May through September 1969 64 % of all days had thunderstorms and on 24 days hail was observed at least at one location.

Different lability factors were calculated from data of the following upper-air sounding stations; Udine (Italy), Zagreb (Yugoslavia) and Vienna (Austria) and studied in connection with thunderstorm and hail occurrence. The results show that for thunderstorm forecast no equal limits of these lability factors can be used for all three stations. Therefore the deviations from mean values were taken into account, and they are different for each station. Deviations from mean values

were calculated for various groups; very frequent, frequent, rare and single thunderstorms over Slovenia, and the same was done for the days with hail. The results show that these methods can be quite useful for thunderstorm forecasts, but they fail at hail forecasts.

To get more useful lability factors for hail forecast the original ones were corrected using the height of 0° C isotherm and the data of 300 mb surface. Again only the deviations from mean values were useful. The corrected lability factors were better for hail forecast, however they were worse than the original ones for thunderstorm forecast.

For the west region of Slovenia the data of the Udine station were very useful. They represent well the peculiarities of the coastal climatic region. For the central and northeastern regions the forecast based on upper air data is much more difficult. On the west and northwest sides of these regions lie high mountain barriers and the vertical stratification on their both sides usually differs. But it is just from these sides that the air masses came in thunderstorm days. Therefore a model has to be created for forecasting the lability of the atmosphere above different regions of Slovenia.

UVOD

V razdobju po drugi svetovni vojni se postopno vedno bolj uveljavlja obramba pred točo in so z njo pričeli tudi v Sloveniji. Za uspešno in ekonomično obrambo je potrebna zanesljiva napoved toče, ki pa je v klimatsko tako neenotnem področju, kot je Slovenija, zelo težavna.

Preizkusili smo metodo, ki jo uporabljajo na Kavkazu v Sovjetski zvezi /1/ in je bila izdelana na osnovi fizikalne razlage nastanka toče /2/. S pomočjo te metode smo izračunali maksimalno vzponsko hitrost (spodnja meja zone akumulacije), višino in temperaturo na višinah maksimalne vzpanske hitrosti, višino zgornje meje, na kateri se še pojavlja zadostna vertikalna hitrost, da lahko nastaja toča (zgornja meja zone akumulacije) in kot končno vrednost, poprečni premer zm toče, ki doseže zemeljsko površino /3/. Rezultati niso bili vzpodbudni, bodisi zato, ker je bilo osnovnih podatkov razmeroma malo (32 primerov) ali da ti podatki niso reprezentativni za področje Slovenije. Zaradi pomanjkanja celotnih radiosondažnih podatkov sosednjih postaj smo uporabili podatke s posameznih baričnih ploskev. S pomočjo labilnostnih faktorjev ter ob pogostnem pojavljanju neviht ali toče v Sloveniji smo ugotavljali uporabnost teh podatkov za prognozo neviht ali toče.

POGOSTNOST POJAVLJANJA NEVIHT IN TOČE V SLOVENIJI

Ob ugotavljanju nevihtnih dni ali dni s točo v Sloveniji smo risali dnevne padavinske kartice za razdobje od maja do septembra 1969. Na karticah so vnešeni podatki s cca 350 postaj, na katerih merijo padavine in opazujejo vremenske pojave. Poleg množine padavin so vnešene tudi nevihte (pričetek in konec nevihte) in ali je bila na postaji zabeležena toča ali ne.

Pričakujemo, da nam ti podatki prikažejo realno sliko o pojavljanju neviht v Sloveniji z ozirom na prognozo, ki ne more napovedati točnega kraja, kje bo nevihta, temveč samo področje, na katerem se bodo pojavile bodisi posamezne ali pogostne nevihte. Podatki so pokazali, da je bilo v Sloveniji v razdobju od maja do septembra 1969 od skupno 153 dni kar 86 dni z nevihtami, kar je 56 % vseh primerov.

V kolikor upoštevamo samo glavne tri poletne mesece: junij, julij in avgust vidimo, da je bilo od 92 dni kar 59 dni z nevihtami ali 64 % vseh primerov.

Seveda ne smemo teh podatkov istovetiti s klimatološko karto pogostnosti neviht. Ta /4/ nam kaže, da je v Sloveniji poprečno 30 do 50 nevihtnih dni letno in upošteva, da je na določenem kraju tolikšno število neviht, medtem ko pri nas zadostuje, da je v skrajnem primeru samo ena nevihta na celotnem področju, s tem je pri nas definiran nevihtni dan.

Slovenija ni enotno področje za prognozo neviht in se zato dogodi, da se v nekaterih vremenskih situacijah pojavljajo nevihte na enem in v drugih vremenskih situacijah na drugem področju. Slovenijo smo temu primerno razdelili v 4 področja. Podatki so pokazali, da so najpogostnejše nevihte v severozahodni in osrednji Sloveniji, kjer jih je bilo 93 % od skupnih nevihtnih dni, najmanj pa jih je bilo v južni Sloveniji z 78 % vseh nevihtnih dni; torej je razlika med najbolj in najmanj nevihtnim področjem le 15 %.

Iz podatkov je razvidno, da se prične atmosfera v septembru že umirjati in to najbolj v vzhodni Sloveniji, kar potrjuje fizikalno razlago /5/ o prenosu nevihtne aktivnosti v jeseni nad zahodne in severozahodne kraje Slovenije.

Za določevanje nevihtne aktivnosti smo ugotovili, da imamo v Sloveniji dovolj gsto mrežo opazovalnih postaj (neopažene ostanejo lahko res samo posamezne neizrazite nevihte, vse ostale pa že zaradi groma, pa čeprav jih ne vidijo, evidentirajo naše postaje), ne moremo pa trditi isto za točo. Problem evidentiranja toče bo rešen šele z novim sistemom za obrambo pred točo, ko bo postavljen radar in bodo dovolj na gsto strelne oziroma opazovalne postaje nad pretežnim delom severovzhodne Slovenije. V drugih krajih Slovenije bo evidentiranje še vedno nepopolno.

V letu 1969 smo v Sloveniji zabeležili 24 dni, ko je padala toča, torej je bil v povprečju vsak 3,5. nevihtni dan tudi dan s točo. Zanimiva je tudi ugotovi-

tev, da je bilo največ dni s točo v južni Sloveniji, to je tam, kjer je najmanj nevihtnih dni.

V tej razpravi obravnavamo le pojavljanje toče, ne pa njen obseg in intenzivnost. S tem poenostavljenim načinom prognoze toče želimo opozoriti branilce na verjetnost toče, druge podatke pa naj bi obramba dobila s pomočjo radarjev. Intenzivnost toče bi se dala prognozirati s pomočjo prognostične krivulje stratifikacije nad branjenim področjem in ne s pomočjo labilnostnih faktorjev.

LABILNOSTNI FAKTORJI ZA PROGNOZO NEVIHT

Za vsak dan dvakrat (ob 01 in ob 13 uri) smo izračunali labilnostne faktorje: K, DI, FI in SSI, za postaje Zagreb, Videm (Udine) in Dunaj (Wien), neglede na to ali je bila nevihta zabeležena ali ne, v kolikor smo imeli osnovne podatke.

Labilnostni faktorji so določeni na sledeči način:

$$K = T_{850} - T_{500} + TR_{850} - (T - TR)_{700} \quad \text{K faktor /6/}$$

$$FI = (T - TR)_{850} + (T - TR)_{700} + (T - TR)_{500} \quad \text{Vlažnostni indeks Lebedjeva /7/}$$

$$DI = T_{850} - T'_{500} \quad \text{temperaturna razlika Showalterjev indeks /8/}$$

$$SSI = T_{500} - T'_{500}$$

Kjer so:

T = temperatura na izobarni ploskvi, ki je označena z indeksom;
 TR = temp. rosišča na z indeksom označeni izobarni ploskvi;
 T'_{500} = temperatura, ki jo dobimo s pomočjo emagrama ali drugega adiabatnega papirja, na ta način, da delec zraka dvignemo iz 850 mb ploskve po suhi adiabatni do kondenzacijskega nivoja in nato po vlažni adiabatni do 500 mb ploskve.

Oljemo si kaj nam ti labilnostni faktorji predstavljajo:

FI nam poda vlažnost ozračja in je njegova vrednost neodvisna od labilnosti atmosfere. Čim manjši je ta faktor, bolj je atmosfera vlažna in čim večji je, bolj je suha.

DI nam predstavlja samo vertikalno temp. razliko, neglede na vlažnost ozračja. Tudi ta faktor sam ne predstavlja celotne labilnosti ozračja.

Oba faktorja nam predstavljata potreben, ne pa zadosten pogoj. Združena nam v določeni meri predstavljata nek labilnostni faktor, vendar ju je bolje uporabljati za razlago ostalih dveh labilnostnih faktorjev, kot sta K in SSI. Ta dva faktorja vsebujeta vertikalno temperaturno razliko med ploskvama in imata upoštevano vlago.

Prednost teh faktorjev je zelo enostavno računanje, to velja še posebno za K faktor, pomanjkljivost pa je v tem, da nista natančna. To že sledi iz njih predpostavk, ker upoštevata le vrednosti na glavnih izobarnih ploskvah, ne upoštevata pa karakterističnih točk krivulje stratifikacije.

Razponi faktorjev, ki so se pojavili v primerjalnem razdobju maj - september 1969:

K	razpon od 0 do 36	(v izjemnem primeru pade celo do -8)
DI	razpon od 17 do 33	
SSI	razpon od -11 do 14	
FI	razpon od 1 do 63	

Te vrednosti nam dosti ne povedo, ker so razponi zelo veliki in se vrednosti labilnostnih faktorjev, predvsem v pozni pomladi in v zgodnjem poletju, hitro spreminjajo.

Zaradi lažjega prikazovanja se v nadaljnjem izvajanju ne bomo zadrževali na posameznih primerih, temveč bomo vedno govorili o poprečnih. Poprečne vrednosti nam sicer velikokrat zabrišejo dejansko stanje, s pravilno grupacijo vrednosti pa upamo, da bodo prišle do izraza komponente, ki lahko koristijo pri prognozi neviht in še posebno pri prognozi toče.

Naše poprečne vrednosti so računane ločeno za vsako radiosondažno postajo, za vse podatke celotnega opazovalnega razdobja, ki so bili na razpolago. Povdariti moramo, da ni za vse tri postaje enako število izhodiščnih podatkov, vendar upamo, da so vsaj v grobem med seboj primerljivi.

Izhodiščne podatke vzamemo ob 13. uri, ker so ti podatki mnogo bližje času, ko se pojavijo nevihte. Borko /9/ je pokazal, da je za Brnik maksimum neviht med 13. in 14. uro. Podatki ob 01 uri so vedno v oklepaju in so izhodiščne vrednosti za prognozo neviht v jutranjih urah.

TABELA 1 Poprečne vrednosti vaktorjev za dneve, ko so se v Sloveniji kjerkoli pojavile nevihte

TABLE 1 Mean factor values for days with thunderstorms anywhere in Slovenia

postaja	f a k t o r j i							
	K		FI		DI		SSI	
Zagreb	26,5	(28,2)	16,1	(13,8)	26,1	(26,4)	1,8	(2,2)
Dunaj	21,9	(22,4)	21,8	(21,1)	25,2	(25,1)	3,4	(4,0)
Udine	22,1	(28,2)	22,6	(13,6)	27,0	(26,5)	3,5	(1,5)

TABELA 2 Poprečne vrednosti faktorjev za dneve, ko se je kjerkoli v Sloveniji pojavila toča

TABLE 2 Mean factor values for days with hail anywhere in Slovenia

postaja	f a k t o r j i							
	K		FI		DI		SSI	
Zagreb	28,0	(30,3)	17,2	(13,8)	27,0	(26,6)	1,2	(1,7)
Dunaj	24,6	(23,6)	19,4	(23,3)	26,0	(25,6)	3,5	(3,8)
Udine	22,9	(27,8)	21,5	(16,4)	27,1	(26,4)	2,5	(0,6)

Primerjava podatkov iz tabel 1. in 2. kaže zelo veliko raznolikost med različnimi radiosondažnimi postajami. Že iz teh dveh tabel vidimo, da veljajo za različne postaje tudi različni labilnostni koeficienti za ponazarjanje neviht v Sloveniji.

Radiosondažne postaje po splošnih merilih niso preveč oddaljene in bi nam dobro ponazarjale cirkulacijo in zračne mase, v kolikor ne bi veljali zaradi gorskih preprek posebni cirkulacijski pogoji.

Najbolje je, da si ogledamo podatke in njihovo povezavo z nevihtami pri nas za vsako postajo ločeno. Že dnevna sprememba (razlika med nočnimi in opoldanskimi opazovanji) je med temi postajami močno različna.

TABELA 3 Razlike vrednosti faktorjev ob 13. in 01. uri za primere z nevihtami (vrednosti ob 13. uri manj vrednosti ob 01. uri)

TABLE 3 Differences between factors calculated for data at 01:00 p.m. and 01:00 a.m. for cases with thunderstorms (value at 01:00 p.m. minus value at 01:00 a.m.)

	K	FI	DI	SSI	število primerov
Zagreb	-1,7	+2,3	-0,3	-0,4	51
Dunaj	-0,5	+0,7	+0,1	-0,6	69
Udine	-6,1	+9,0	+0,5	+1,5	33

TABELA 4 Razlike vrednosti faktorjev ob 13. in 01. uri za primere s točo

TABLE 4 Differences between factors calculated for data at 01:00 p.m. and 01:00 a.m. for cases with hail

	K	FI	DI	SSI	število primerov
Zagreb	-2,3	+3,4	+0,4	-0,5	18
Dunaj	+1,0	-3,9	+0,4	-0,3	23
Udine	-4,9	+5,1	+0,7	+1,9	11

Iz tabel 3. in 4. vidimo, da ima najmanjše spremembe faktorjev med 01. in 13. uro radiosondažna postaja Dunaj. "K faktor" se v poprečju pri nevihtah malenkostno zmanjša, dočim se pri toči nekoliko poveča, obratno je pri SSI faktorju, ko se v obeh primerih malenkostno zmanjša, kar pomeni večjo labilnost atmosfere. V primeru različnega pomena K in SSI faktorja, ko eden kaže stabilizacijo, drugi labilizacijo ozračja, ugotovimo lahko samo to, da so spremembe malenkostne in se labilnost atmosfere ni bistveno spremenila. Istočasno se je namreč malenkostno spremenila vlažnost ozračja in temperaturna razlika med 500 in 850 mb ploskvijo. Videz je, da SSI hitreje sledi spremembi vlage na 850 mb ploskvi kakor "K faktor", ki znatno upošteva vlago tudi na 700 mb ploskvi. Nad Zagrebom se je v obeh primerih labilnost izražena s "K faktorjem" od noči do opoldneva zmanjšala in to celo več takrat, ko je bila toča, kot pri nevihtah. Zanimivo pa je, da se je v obeh primerih SSI faktor nekoliko zmanjšal, kar bi pomenilo povečanje labilnosti.

Najbolj zanimiva sprememba faktorjev od 01. do 13. ure pa je pri podatkih iz Udin. Razmeroma zelo visokemu labilnostnemu faktorju K in nizkemu faktorju SSI v jutranjih urah, kar oboje ustreza veliki labilnosti, sledi čez dan močna stabilizacija ozračja. To velja tako za K, kakor tudi za SSI faktor. Iz podatkov vidimo, da se nekoliko poveča temperaturna razlika med 500 in 850 mb ploskvijo, vendar se ozračje hkrati močno osuši. Kaže, da nastane nad tem področjem, ob nevihtah in tudi toči v Sloveniji, znatna subsidenca v opoldanskih urah, ki zvečer ponovno izgine. To nam tudi razloži dejstvo, zakaj so v Primorju nevihte v večernih in nočnih urah, v notranjosti Slovenije pa večinoma v popoldanskem času. Tu vsekakor vidimo vpliv morske klime z dodatnim vplivom bližnjih gora. Na to bomo morali posebno paziti pri napovedi neviht ali toče na Primorskem. Za prognozo neviht ali toče moramo obravnavati labilnostne faktorje, ločeno za vse radiosondažne postaje. Ker smo videli, da so znatne razlike med nočnimi in opoldanskimi opazovanji, smo za naslednje grupe poiskali ločeno poprečne vrednosti in jih primerjali s poprečjem vseh opazovanj. Na ta način dobimo boljše kriterije za uporabo terminskih labilnostnih faktorjev v zvezi s prognozo toče.

TABELA 5 Poprečne vrednosti faktorjev za grupe neviht in poprečne vrednosti vseh opazovanj

TABLE 5 Mean factor values for various groups of thunderstorms and mean values of all observations

Pogostne nevihte (več kot 3/4 postaj)

	K		FI		DI		SSI	
Zagreb	30,2	(29,1)	17,0	(18,6)	27,8	(26,7)	0,3	(2,5)
Dunaj	29,2	(27,0)	17,3	(19,6)	26,8	(25,8)	1,7	(2,4)
Udine	27,2	(29,4)	21,0	(9,8)	28,2	(27,8)	1,0	(-0,3)

Zmerno pogostne nevihte (od 1/4 do 3/4 postaj)

Zagreb	26,4	(30,0)	16,0	(13,7)	25,6	(26,3)	2,7	(1,8)
Dunaj	21,0	(22,4)	24,5	(21,6)	25,4	(25,6)	4,3	(4,1)
Udine	24,2	(28,0)	19,2	(14,7)	27,7	(24,0)	2,0	(4,1)

Redke nevihte (nad 10 postaj do 1/4 postaj)

Zagreb	25,0	(28,6)	15,4	(12,0)	25,4	(26,0)	2,0	(4,1)
Dunaj	22,6	(23,3)	19,6	(15,0)	25,2	(24,7)	4,6	(4,3)
Udine	22,6	(29,4)	21,5	(14,4)	25,9	(25,9)	3,6	(1,6)

Posamezne nevihte (pod 10 postaj)

Zagreb	25,4	(27,0)	16,3	(11,5)	26,1	(26,0)	2,8	(2,4)
Dunaj	20,3	(22,3)	21,1	(17,7)	25,9	(24,4)	4,3	(4,9)
Udine	19,4	(27,7)	20,5	(12,3)	25,1	(26,5)	4,1	(1,1)

Toča (vsaj na eni postaji)

Zagreb	28,0	(30,3)	17,2	(13,8)	27,0	(26,6)	1,2	(1,7)
Dunaj	24,6	(23,6)	19,4	(23,3)	26,0	(25,6)	3,5	(3,8)
Udine	22,9	(27,8)	21,5	(16,4)	27,1	(26,4)	2,5	(0,6)

Poprečne vrednosti celotnih opazovanj ne glede na termin

Zagreb	25,4	16,5	25,9	3,0
Dunaj	19,8	24,3	24,9	4,4
Udine	22,7	21,6	25,7	3,5

TABELA 6 Odstopanja vrednosti K in SSI faktorjev posameznih grup od poprečnih vrednosti

TABLE 6 Deviations of K and SSI factors of each group from mean values

	Zagreb		Dunaj		Udine	
	K	SSI	K	SSI	K	SSI
pogostne	4,3	-1,6	8,3	-2,2	5,6	-3,0
zmerno	2,8	-0,8	1,9	-0,2	3,4	-0,5
pogostne						
redke	1,4	-1,1	3,1	0,0	3,3	-0,9
posamezne	0,8	-1,4	1,5	+0,2	0,8	-0,9
toča	3,8	-1,6	4,3	-0,8	2,6	-1,9

Podatki v tabeli 5 nam kažejo, da je pri pogostnih nevihtah "K faktor" zelo visok (v poprečju okoli 29) in da se le malo razlikuje med nočnim in dnevnim opazovanjem. Slične rezultate dobimo pri vseh treh postajah, kar je posebej za Udine nekaj izjemnega, ker ima v splošnem zelo velike razlike med nočno in dnevno vrednostjo. Te nevihte nastajajo ob izrazitih frontalnih površinah z močno cirkulacijo in zato ne pridejo toliko do izraza lokalni vplivi. Prav tako, kakor nam kaže "K faktor" v teh primerih največjo labilnost, nam poda največjo labilnost tudi SSI faktor, ki ima v teh primerih na vseh treh postajah najnižjo vrednost.

Podobne vrednosti, kot pri pogostnih nevihtah, so tudi v grupi s točo, a so že opazne razlike, ne toliko pri podatkih Zagreba, kakor pri podatkih Udin in Dunaja.

Podatki Zagreba nesporno kažejo tudi pri toči labilnost, tako SSI, kakor tudi "K faktor", ki pa se le neznatno razlikuje od vrednosti pri pogostnih nevihtah. Razlika je pri podatkih Dunaja, ki še vedno odstopajo od drugih z znakom povečane labilnosti, vendar v znatno manjši meri, kot pri pogostnih nevihtah. Ob upoštevanju, da je bila pri pogostnih nevihtah skoro vedno tudi toča, in da prav primeri pogostnih neviht znatno doprinesejo k poprečni vrednosti labilnostnih faktorjev, vidimo, da nam podatki nepogostnih neviht ne dajo zadostne indikacije, da bi lahko napovedovali točo.

Še slabše podatke za prognozo toče nam da "K faktor" postaje v Udinah, ki je znatno manjši kot "K faktor" pri zmernih nevihtah in je poprečni "K faktor" celo manjši, kot pri redkih nevihtah. Za prognozo toče v notranjosti Slovenije si s tem labilnostnim faktorjem ne moremo pomagati, kajti pogoji za nastanek toče v Primorju so drugačni, kot v notranjosti Slovenije. Znatno bolj karakterističen podatek je SSI faktor Udin, ki ima nižjo vrednost, kot pri zmernih nevihtah in to predvsem zaradi večje temperaturne diference med 500 in 850 mb ploskvijo in manjše vlažnosti v ozračju. Za zmerno nevihte je karakterističen povečan "K fak-

tor¹ za Zagreb in Udine, dočim pri podatkih iz Dunaja tega ne zaznamo, ker je ta labilnostni faktor Dunaja večji za redke nevihte. Povdariti je treba, da nastane toča večinoma pri pogostnih in zmernih nevihtah, vendar so redki primeri toče tudi pri posameznih in celo pri redkih nevihtah. Zgodilo se je, da so bile pri stabilni vremenski situaciji, ko so to potrdili tudi labilnostni faktorji, zabeležene tri nevihte, ena od teh pa je povzročila celo slabo točo. Takšno točo po tej naši metodi ne moremo prognozirati in bo zato prognozo toče treba kategorizirati po verjetnostnih stopnjah. Ob pregledu podatkov smo zasledili, da nam pri pogostnih nevihtah in deloma tudi pri toči dajeta faktorja K in SSI kar zadovoljive rezultate, ki so prikazani z odstopanjem od poprečnih vrednosti v tabeli 6. V ostalih grupah nevihtnih dni nam več pove K kot SSI faktor. K faktor je v vseh naših grupah pozitiven in precej enakomerno upada z upadanjem neviht, za SSI faktor pa to ne drži. Uporaben je pri pogostnih nevihtah in deloma pri nevihtah s točo, drugod pa več ali manj odpove in se v skrajnem primeru pojavi celo pozitivno odstopanje od poprečne vrednosti, ali pa nima postopen upad negativne vrednosti z zmanjševanjem nevihtne aktivnosti. Povdariti moramo, da so ti faktorji lahko le zelo dober pripomoček prognostiku, ki bo od situacije do situacije lahko uspešno koristil podatke labilnostnih faktorjev za posamezne postaje ali pa tudi ločeno za nočni in dnevni termin, kar je izredno važno za uspešno napoved.

LABILNOSTNI FAKTORJI ZA PROGNOZO TOČE

Labilnostni faktorji, ki smo jih obravnavali do sedaj, so bili prvotno sestavljeni samo za nevihte, neglede na to ali bo padla tudi toča ali ne. Mi pa hočemo ločiti verjetnost toče od verjetnosti neviht, ali bolje povedano, želimo napovedati tudi nevihte brez toče in, ločeno, nevihte s točo.

Za napovedovanje toče oziroma neviht s točo smo sestavili nekoliko korigirane labilnostne faktorje. Za naše raziskave smo vzeli samo transformiran K in transformiran SSI faktor, ki jih označujemo s TK in TSSI. Ostala dva faktorja FI in DI sta nam pomagala stvar le razložiti in ker sama ne predstavljata prognostične vrednosti, ju v nadaljevanju ne bomo obravnavali, čeprav smo jih računali.

Pri transformiranju labilnostnih faktorjev smo upoštevali, da se že nastala toča ob padanju skozi atmosfero s pozitivno temperaturo tali in zato lahko doseže tla že v obliki dežja.

Vrhovi zone akumulacije, to je celica, v kateri so pogoji za nastanek toče, segajo znatno nad 500 mb ploskev. Po izračunanih vrednostih Žitnika /3/ je največja višina zone akumulacije 8,100 m, vrhovi oblačnih sistemov pa segajo še znatno više. V teh primerih bi bilo torej koristno uporabljati 400 mb ploskev, kot gomijo mejo za določevanje labilnostnih faktorjev (normalna višina 400 mb ploskve je 7.100 m). Zaradi risanja 300 mb karte v dnevni službi smo bili prisiljeni uporabljati za računanje labilnostnih faktorjev to ploskev (normalna višina 9.100 m), ker nam podatki 400 mb ploskve niso bili dostopni.

Spremenjeni labilnostni faktorji se glasijo:

$$TK = T_{850} - T_{500} - T_{300} / 2 + TR_{850} - (T - TR)_{500} / 2 - H/2$$

$$TSSI = T_{300} - T'_{300} - H/8$$

T = temperatura na ploskvi označeni z indeksom

H = višina izoterme 0°C in je izražena v hektometrih

Iz podatkov izobarnih ploskev te višine ne dobimo direktno in smo zato upoštevali zelo poenostavljen približek, da je

$$H = H_{850} + T_{850} / 0,6 \quad \text{v primerih, ko je } T_{850} \text{ manjši od } 6^{\circ}\text{C}$$

in

$$H = H_{700} + T_{700} / 0,6 \quad \text{za primere, ko je } T_{850} \text{ večji ali enak } 6^{\circ}\text{C}$$

Te kriterije smo upoštevali za vse primere v obravnavanem razdobju in smo izračunali nove vrednosti na podoben način kot pri tabeli 8.

TABELA 7 Poprečni korigirani labilnostni faktorji TK in TSSI za grupe neviht in poprečne vrednosti teh opazovanj

TABLE 7 Mean values of corrected liability factors TK and TSSI for various groups and mean values of all observations

	Zagreb		Dunaj		Udine	
	TK	TSSI	TK	TSSI	TK	TSSI
Pogostne						
ob 13.	31,4	5,8	29,1	7,7	30,7	8,4
ob 01.	(32,0)	7,8	(27,7)	(9,1)	(36,2)	(5,5)
Zmerno pogostne						
ob 13.	27,6	10,2	21,0	11,6	27,0	10,4
ob 01.	(29,9)	(9,7)	(19,7)	(10,4)	(30,0)	(8,7)
redke						
ob 13.	28,0	10,1	23,3	12,3	24,6	10,4
ob 01.	(33,4)	(8,1)	(25,2)	(11,1)	(33,1)	(7,3)
posamezne						
ob 13.	30,2	9,4	24,0	11,9	24,2	10,8
ob 01.	(31,1)	(9,0)	(27,0)	(12,3)	(32,8)	(8,8)
toča						
ob 13.	30,4	7,8	30,1	9,3	30,3	9,3
ob 01.	(32,7)	(8,2)	(25,5)	(9,9)	(33,7)	(6,4)
poprečna vrednost	28,2	9,7	24,9	11,3	24,9	10,1

TABELA 8 Odstopanja vrednosti TK in TSSI faktorjev posameznih grup od povprečnih vrednosti

TABLE 8 Deviations of TK and TSSI factors of each group from mean values

	Zagreb		Dunaj		Udine	
	TK	TSSI	TK	TSSI	TK	TSSI
pogostne	3,5	-2,9	3,5	-2,9	8,9	-3,2
zmeme	0,6	+0,2	-4,6	-0,3	3,6	-0,5
redke	2,5	-0,6	-0,6	-0,4	4,0	-1,2
posamezne	2,5	-0,5	0,7	+0,8	3,4	-0,3
toča	3,4	-1,7	2,9	-1,7	7,1	-2,2

Primerjava tabele 7 s tabelo 8 nam pokaže, da smo dosegli znaten skok vrednosti TK in TSSI med pogostnimi in zmernimi nevihtami, kar ni bilo pri labilnostnih faktorjih K in SSI. Ti labilnostni faktorji, TK kakor tudi TSSI, se na vseh treh postajah, pri pogostnih nevihtah in pri nevihtah s točo, znatno razlikujejo od faktorjev za zmeme, redke in posamezne nevihte. Da je labilnostni faktor večji pri pogostnih nevihtah kot pri nevihtah s točo, se nam zdi razumljivo z ozirom na to, da spremlja pogostne nevihte skoraj vedno tudi toča, in zato izkazujemo velike labilnostne faktorje. Ob izrazito frontalni površini segajo vrhovi oblakov do tropopavze. Večkrat se pripeti, da povzročajo posamezne ali redke nevihte tudi toča in se zato ne začudimo, če imajo ti primeri manjši labilnostni faktor, kot je pri pogostnih nevihtah, vendar je še vedno znatno večji, kot pri zmernih, redkih ali posameznih nevihtah.

Povdariti moramo, da smo sedaj obravnavali poprečne podatke in tako tudi poprečne dnevne vrednosti. Za prognozo pa nas zanimajo predvsem podatki ob 01 in so nam podatki ob 13. uri več ali manj za razlago nastale situacije. Dejanski podatki kažejo, da je pri Zagrebu TK faktor zjutraj nekoliko večji kot opoldne, obratno je pri TSSI faktorju za isto postajo. TSSI faktor je namreč v primerih s točo v opoldanskem času znatno manjši, kot v nočnem terminu. V grupah brez toče pa je ravno obratno. Vidimo, da so te razlike nastale v glavnem med dnevom, ko so že ustvarjeni pogoji za nastanek oblakov in da bo poleg teh kriterijev treba upoštevati še prognostične vrednosti krivulje stratifikacije. Podobno, vendar celo izrazitejše velja za podatke Dunaja. Tu se vrednosti ob 13. uri močno razlikujejo med grupo, ki je bila toča in grupami brez nje. Tudi pri nočnih opazovanjih so te razlike že zaznavne, vendar predvsem pri TSSI faktorju, dočim se pri TK faktorju v nekaterih grupah že izgube.

Le pri postaji Udine ostanejo podobni znaki, kot pri prejšnjih labilnostnih faktorjih. Nočna labilnost je v vseh grupah in pri obeh faktorjih, tako TK kakor tudi TSSI, znatno večja kot dnevna. To smo tudi že razložili in se zato temu ne čudimo. Lepo pa izstopajo znatno večji labilnostni faktorji pri primerih s točo, kot brez nje.

Metoda transformiranih faktorjev je preskušena le na podatkih petih mesecev in zato njena vrednost kljub razmeroma dobrim rezultatom še ni potrjena. Število dni s točo je bilo premajhno, da bi lahko metodo sprejeli ali ovrgli. Vrednost se bo pokazala predvsem ob koriščenju pri vsakdanji praksi. Te rezultate bomo vsekakor upoštevali pri prognozi toče v Sloveniji, vsaj dokler ne bomo napravili zadovoljivega modela za prognozo vertikalnih gibanj.

* * * * *

Delo je del raziskovalne teme Izboljšanje prognoze neviht in določitev metode za prognozo toče. Nalogo je financirala Gospodarska zbornica SRS.

LITERATURA

- /1/ Glušková N.I.: Metod prognoza grada i livnja. Trudi vipusk 3, Visokogornij geofizičeskij institut 1966
- /2/ Bibilašvili N.Š., Lapčeva V.F., Ordžonikidze A.A., Sulakvelidze G.K.: Osobenosti koagulaciono rasta gradi, svjazannie s izmenenjem skorasti vertikalnih potokov po visote. A.N. SSSR. ser. geofiz. № 4. 1960
- /3/ Pristov J., Žitnik L.: Izboljšanje prognoze neviht in določitev metode za prognozo toče. 1970 (Gospodarska zbornica SRS - neobjavljeno)
- /4/ Petkovšek Z.: Nevihtna karta in nevihtna pogostnost v Sloveniji za dobo 1951 - 1960. Razprave - Papers VII, DMS, Ljubljana 1966
- /5/ Pristov J.: Količinska kratkoročna napoved padavin II. del 1966 (Skład Borisa Kidriča - neobjavljeno)
- /6/ George J.J.: Weather Forecasting for Aeronautics. New York - London, 1960
- /7/ Götz G.: Sturmwarnung am Balatonsee. Veröffentlichungen der Ungarischen Zentralanstalt für Meteorologie, Band XXX, Budapest 1966
- /8/ Galway G.J.: The Lifted Indeks as a Predictor of Latent Instability. Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 37, 1956
- /9/ Borko M.: Nekaj ugotovitev v zvezi s pojavom neviht v Brniku. Razprave - Papers X. DMS, Ljubljana 1968

NEKAJ KARAKTERISTIK ONESNAŽENJA ZRAKA V LJUBLJANI

SOME CHARACTERISTICS ABOUT ATMOSPHERIC POLLUTION AT LJUBLJANA

551.510.42

BOJAN PARADIŽ

Hidrometeorološki zavod SRS, Ljubljana

SUMMARY:

Ljubljana - a city with 200.000 inhabitants - is located in a large basin in the central region of Slovenia. This part of Slovenia is well sheltered from winds of general circulation by the Alps and the Dinaric mountains. Therefore predominant winds are weak or absent. These characteristics are even more pronounced in the Ljubljana basin. Calms are very frequent and in winter strong and long lasting inversions usually accompanied by fog very often develop. In such unfavorable weather conditions very high concentrations of atmospheric pollution were observed. (The maximal mean value was 2.4 mg of SO₂ per cubic meter.) The most polluted was the broader center of the city. In summer the air is better. It is more polluted only in the immediate surroundings of roads with busy traffic.

In Ljubljana emission of air pollution is relatively small. This can be proved by small amount of sediments in winter (3 tones per square kilometer per month). High concentration of air pollution is caused mainly by very unfavorable weather conditions which almost cut off the natural dilution of pollutants.

The winter daily course of SO₂ concentration is very characteristic. At night minimal values were observed. Maximal values, - which are four times larger, - were found during late morning and noon hours. A comparison of SO₂

concentration with meteorological parameters shows that the influence of emission is modest at night and predominant after 04:00 a.m. This emission is brought mainly by sources of heating and by traffic. The comparison of data from different locations shows that the traffic pollutes only the immediate surroundings of busy roads.

UVOD

Ljubljana je upravni in trgovinski center SR Slovenije z dokaj razvito predelovalno industrijo. Na področju mesta pa ni velikih industrijskih objektov z veliko emisijo onesnaženja. Mesto šteje 200.000 prebivalcev in leži v nižjem delu obsežne Ljubljanske kotline. Znano je, da so klimatske razmere v kotlinah za naravno čiščenje onesnaženega mestnega zraka zelo neugodne. Zaradi slabih vetrov, ki so izrazito slabi zlasti pozimi, pogostnih in močnih temperaturnih inverzij, ob katerih se pojavi navadno megla, pa so razmere za naravno čiščenje onesnaženega zraka v Ljubljani še posebno neugodne. Zato smo že pred pričetkom meritev onesnaženja zraka predvidevali, da je pozimi zrak v Ljubljani precej onesnažen. Meritve, ki so se pričele na meteorološkem observatoriju v Ljubljani leta 1965 so to potrdile. Celo več, izkazalo se je, da je pozimi zrak zelo močno onesnažen. Kljub temu, da v Ljubljani ni velikih industrijskih virov onesnaženja, povzročajo zlasti srednji in številni manjši viri za ogrevanje ter promet tolikšno onesnaženje, da je n.pr. 13.1.1967 povprečna dnevna koncentracija SO_2 v zraku dosegla celo 2.4 mg/m^3 na dan. To je zelo visoka vrednost, ki 16 krat presega higijenski standard še dovoljene koncentracije SO_2 v zraku.

Obravnavanje snovi je bilo dokaj težavno, saj manjka veliko potrebnih podatkov, razpoložljivi pa niso vedno dovolj kvalitetni in vsestranski. Predvsem ni bilo mogoče zadosti dobro določiti krajevne razporeditve onesnaženja, manjkajo razporeditve pri karakterističnih vremenskih razmerah, dnevni potek onesnaženja v poletnih mesecih in še marsikaj. Najtežje pa je bilo z ugotavljanjem vzrokov za visoke koncentracije onesnaženja v Ljubljani. Vzroke smo lahko določili le s posrednimi metodami, važnejše zato ne več, bolj ali manj neodvisnih načinov. Z nadaljnimi meritvami in raziskavami, bo vsekakor potrebno ugotovitve preveriti, jih dopolniti in po potrebi popraviti.

VETROVNE RAZMERE, INVERZIJE IN MEGLA V LJUBLJANI

Osrednja Slovenija je z Alpami in Dinarskim gorovjem zaščiten pred direktnim vplivom prevladujočih zahodnih vetrov splošne cirkulacije. Zato je razumljivo, da prevladujejo v kotlinah kakršna je Ljubljanska, še posebno šibki vetrovi. Z razpoložljivimi instrumenti, ki sicer zadoščajo v običajnih razmerah pa pri zelo slabih vetrovih ni mogoče dovolj natančno ugotoviti vetrovnih raz-

mer. To pa je običajno ravno takrat, ko nastopajo največje koncentracije onesnaženja v Ljubljani.

S podatki o številu terminov z brezvetrjem in povprečnimi mesečnimi hitrostmi vetra lažko spoznamo, kako slabi so vetrovi v Ljubljani. Do l. 1963 so se za merjenje hitrosti vetra uporabljali instrumenti s pragom občutljivosti med 1 in 1.5 m/sec , od l. 1964 dalje pa s pragom občutljivosti okrog 0.5 m/sec . Vrednosti zato podajamo ločeno za obdobje 1959 - 1963 in 1964 - 1969.

TABELA 1 Pogostnost terminov z brezvetrjem (v %) in srednje mesečne hitrosti vetra v Ljubljani za dobo 1959 - 1969. (Za podatke s pragom občutljivosti anemometra med 1 in 1.5 m/sec - $C_{1,5}$ in $v_{1,5}$ in za podatke s pragom občutljivosti anemometra okrog $0,5 \text{ m/sec}$ - $C_{0,5}$ in $v_{0,5}$)

TABLE 1 Frequency of observations at standard observation times with calms (percentage) and mean wind velocities in Ljubljana during the period 1959 - 1969 (For data with anemometer's sensitivity threshold between 1 and 1.5 mps - $C_{1,5}$ and $v_{1,5}$ and for data with anemometer's sensitivity threshold about 0.5 mps - $C_{0,5}$ and $v_{1,5}$)

Obdobje	mesec	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	SR.VR.
1959-63	$C_{1,5}$	61	52	52	46	44	43	48	54	55	57	62	64	53
1961-63	$v_{1,5}$	0.8	0.9	1.3	1.2	1.4	1.2	1.2	1.0	0.9	0.7	1.0	0.8	1.0
1964-69	$C_{0,5}$	44	39	20	17	10	15	21	21	22	32	20	34	24
1964-69	$v_{0,5}$	0.6	1.1	1.5	1.8	1.9	1.5	1.3	1.2	1.1	0.9	1.1	0.7	1.2

Velik odstotek terminov z brezvetrjem in nizke poprečne mesečne hitrosti zgovorno pričajo o slabi prevetrenosti Ljubljane. Iz razlike med $C_{1,5}$ in $C_{0,5}$ pa vidimo, da je letno skoraj $1/3$ vseh klimatoloških terminov s hitrostjo vetra med pragoma občutljivosti obeh anemometrov, t.j. med 0.5 m/sec in približno 1.2 m/sec .

Za podrobnejše podatke o vertikalni temperaturni inverziji v Ljubljanski kotlini ni na voljo radiosondažnih ali podobnih meritev temperaturnega poteka z višino. Za določitev inverzije in njene jakosti pa se lahko uporabijo podatki z meteorološkega observatorija v Ljubljani (300 m) in meteorološke postaje na Šmarni gori (667 m), ki je postavljena na južnem pobočju le nekaj metrov pod samotnim vrhom 8 km severno od observatorija.

Po podatkih J. Pučnika /1/ je v tabeli št. 2 za nekatere mesece podana pogostnost inverzij v Ljubljanski kotlini. Inverzije so ugotovljene s pomočjo temperaturnih razlik med Šmarno goro in Ljubljano za klimatološke termine ob 07,14 in 21 uri (obdobje 1948 - 1954).

TABELA 2 Pogostnost inverzij v Ljubljanski kotlini za dobo 1948 - 1954 (po J. Pučniku /1/)

TABLE 2 Frequency of inversions in the Ljubljana basin during the period 1948 - 1954 (After J. Pučnik /1/)

mesec	termin	pogostnost v %	število dni minimalno	z meglo maksimalno	največja temp.razlika
I.	07	69	17 (1954)	26 (1949)	10.6 °C
	14	42	2 (1953)	18 (1949)	5.6 °C
	21	52	9 (1954)	21 (1949,51)	-
II.	07	66	12 (1954)	14 (1949)	11.8 °C
	14	38	6 (1954)	14 (1949,52)	6.1 °C
	21	57	7 (1954)	25 (1949)	6.5 °C
III.	07	66	15 (1954,55)	27 (1948)	10.5 °C
	14	28	1 (1950)	18 (1948)	3.7 °C
	21	39	3 (1954)	22 (1948)	7.1 °C
VIII.	07	67	18 (1952)	27 (1950)	4.8 °C
	14	13	1 (1949)	10 (1950)	1 °C
	21	30	0 (1951)	18 (1948)	-
IX.	07	70	18 (1952)	24 (1948,49,51)	7.7 °C
	14	17	2 (1952,53)	9 (1950)	-
	21	40	7 (1953)	24 (1949)	3.8 °C

Iz tabele vidimo, da so temperature inverzije v Ljubljani vse leto sorazmerno zelo pogostne. Seveda so poleti inverzije manj izrazite. Pozimi pa so inverzije zelo močne ter trajajo ves dan in tudi po več dni skupaj. Maksimalna temperaturna razlika med Šmarno goro in Ljubljano ob 07. uri, ki je bila 11.8 °C, gotovo ne predstavlja resničnega ekstrema v dobi 1948 - 1954. Po podatkih s termogramov z obeh postaj, ki so na voljo za januar 1968 namreč vidimo, da nastopajo ekstremne vrednosti temperaturnih razlik navadno med 8. in 13. uro in skoraj nikoli ob 07. uri (srednja mesečna razlika je največja ob 11. uri, ekstremna vrednost 11.9 °C pa je bila ob 08. uri). Presenečajo nas avgustovske opoldanske "inverzije", pa čeprav so temperaturne razlike med Šmarno goro in Ljubljano manjše od 1 °C. Upoštevati moramo namreč južno pobočno lego postaje in s tem intenzivno ogrevanje okolice postaje, zlasti še pri slabih južnih vetrovih. V takih razmerah temperaturne razlike med Ljubljano in Šmarno goro zagotovo ne predstavljajo temperaturne razporeditve v prosti atmosferi.

Pri slabem vetru in velikem številu temperaturnih inverzij so v Ljubljani, seveda, idealni pogoji za pogosten nastanek megle, po kateri je Ljubljana tudi

znana. V tabeli 3. je za obdobje 1960 - 1969 navedeno število meglenih dni po posameznih mesecih.

TABELA 3 Poprečno število dni z meglo v Ljubljani za dobo 1960 - 1969

TABLE 3 Mean number of days with fog in Ljubljana during the period 1960 - 1969

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	Σ
20.0	14.3	8.8	6.2	5.5	6.9	7.9	11.5	16.7	18.6	15.4	18.0	149.8

MERITVE ONESNAŽENJA ZRAKA V LJUBLJANI

Za Ljubljano so na voljo podatki o meritvah za običajne škodljive primese v zraku kot so SO₂, prah in dim, razpolagamo pa tudi s podatki za količino mesečnih usedlin za razna merilna mesta (slika 1). Vse našteje sestavine onesnaženja prihajajo v zrak predvsem z dimnimi plini iz različnih industrijskih kurišč, iz kurišč za ogrevanje in ne nazadnje iz izpuhov motornih vozil. V Ljubljani ni industrije, ki bi v večjem obsegu spuščala v zrak tudi druge škodljive primese, zato lahko za oceno onesnaženja zraka v Ljubljani uporabimo kar podatke o koncentracijah SO₂ in dima.

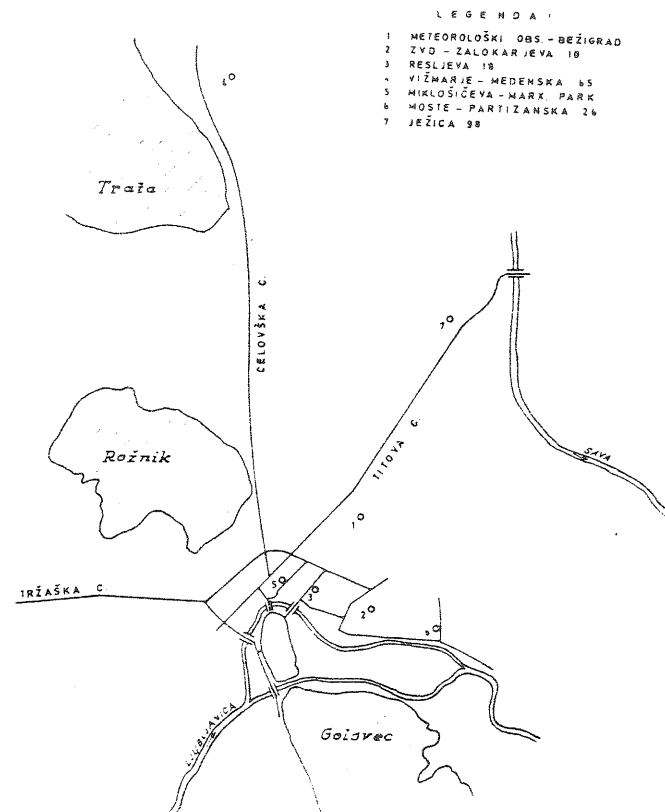
Za koncentracijo SO₂ so v Ljubljani na voljo poprečne polurne vrednosti, poprečne 2 in 24 ume vrednosti in poprečni mesečni indeksi:

A. Poprečne polurne koncentracije SO₂ so določene z registrirno aparaturou ULTRAGAS 3 Wästhoffa /2/. Rezultati so z meteorološkega observatorija od 13. januarja do 11. februarja 1968.

B. Poprečne 24 ume koncentracije SO₂ so na voljo za merilno mesto na meteorološkem observatoriju za Bežigradom od leta 1965 dalje, od leta 1967 dalje na Zavodu SRS za varstvo pri delu, Zalokarjeva 10. Od leta 1968 dalje pa so tudi podatki za merilni mesti na Resljevi cesti 18 in v Vižmarjih - Medenska cesta 65. Do leta 1968 smo za določanje koncentracije SO₂ uporabljali znano jodometrično metodo, od leta 1968 dalje pa uporabljamo standardno angleško peroksidno metodo /3/.

C. Indeksi poprečnih mesečnih koncentracij SO₂ v zraku so na voljo za merilno mesto na meteorološkem observatoriju od leta 1965 dalje. Od leta 1966 dalje pa tudi za merilno mesto na Miklošičevi c., v Mostah, na Ježici in v Vižmarjih. Uporabljena je naslednja znana merilna metoda, ki jo uporabljajo tudi v avstrijski meteorološki službi /4/. En mesec izpostavimo na zraku tkanino, stalno omočeno z raztopino K₂CO₃, ki se z SO₂ veže v K₂SO₄. Količino SO₂ določimo po standardni Ba SO₄ metodi. Metoda ne daje absolutnih vrednosti

MERILNA MESTA
ZA UGOTAVLJANJE ONESNAŽENJA
V LJUBLJANI / L. 1969 /



Slika 1 Merilna mesta za ugotavljanje onesnaženja v Ljubljani (leto 1969)

Fig. 1 Locations of air pollution measuring stations in Ljubljana in 1969

koncentracije, rezultati pa so uporabni za relativno primerjavo onesnaženja z SO_2 med različnimi merilnimi mesti.

Za oceno koncentracije trdnih delcev v zraku razpolagamo s podatki za poprečno 24 urno koncentracijo dima, s konimeterskimi podatki in z usedlinami:

a. Poprečne dnevne koncentracije dima določimo po standardni angleški metodi /3/. Zrak črpamo skozi filterski papir, iz čme sledi na filtru določimo z reflektometrom koncentracijo dima v zraku. Vrednosti za koncentracijo dima so na voljo od leta 1968 dalje, za merilno mesto na meteorološkem observatoriju in na ZVD Zalokarjeva 10, od leta 1969 dalje pa tudi za merilni mesti na Resljevi cesti in v Vižmarjih.

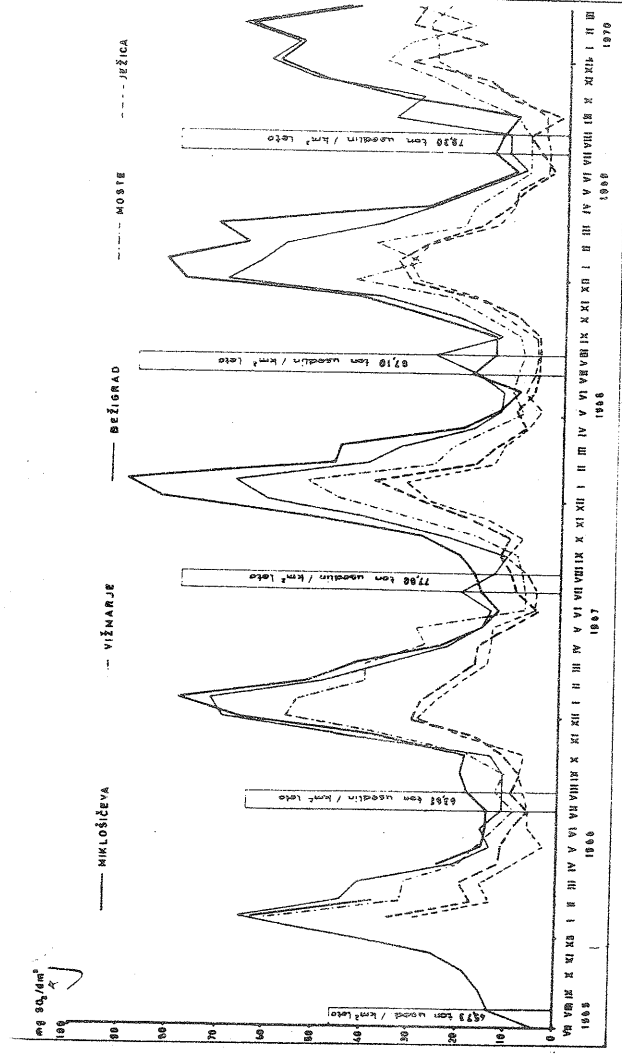
b. Število prašnih delcev v ml zraka po konimetru smo merili na meteorološkem observatoriju ob klimatoloških terminih v letih 1965, 1966, 1967 in v januarju 1968.

c. Za merilno mesto na meteorološkem observatoriju razpolagamo tudi s podatki za mesečno količino usedlin, ki se ulovijo skupaj s padavinami v višinskem ombrometru površine 500 cm^2 . Vsebino iz ombrometra speremo, prefiltriramo skozi filterski papir, posušimo pri temperaturi 105°C in zaščiteno pred vlaženjem iz zraka stehamo. Z upoštevanjem teže posušenega praznega filtra preračunamo usedline v tone/km^2 za mesec.

LETNI POTEK ONESNAŽENJA ZRAKA

V Ljubljani je izrazit letni potek koncentracije onesnaženja. Iz podatkov o indeksih poprečnih mesečnih koncentracij SO_2 v zraku (slika 2) vidimo, da je v toplejšem delu leta zrak še precej čist, zelo onesnažen pa je v hladni polovici leta. Kako močno je pozimi zrak onesnažen, vidimo tudi iz podatkov poprečnih dnevni koncentracij SO_2 , če obravnavamo te vrednosti po zdravstvenih kriterijih. Ti so bolj ali manj strogi. V SFRJ štejejo $0.15 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ za neškodljivo, še dopustno koncentracijo SO_2 v zraku. V ZR Nemčiji uporabljajo po priporočilu VDI Kommission Reinhaltung der Luft za dopustno koncentracijo SO_2 v zraku tolerantnejšo vrednost $0.4 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$. Obe navedeni, s higijenskega stališča še dopustni koncentraciji SO_2 v zraku, pa sta pozimi v Ljubljani velikokrat močno preseženi. Za koliko in kolikokrat je razvidno iz podatkov v tabeli 4.

Na sliki 2, kot tudi v tabeli 4, vidimo, da je navadno najbolj onesnažen mesec januar. Zaradi različnih vremenskih razmer, ki vplivajo na emisijo (kurjenje), še posebno pa na učinkovitost naravnega čiščenja onesnaženega zraka, se stopnja onesnaženja iz leta v leto spreminja. Po doslej razpoložljivih podatkih je bilo najbolj kritično v januarju 1967, ko je bila na meteorološkem observatoriju izmerjena v Ljubljani maksimalna koncentracija $2.37 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$, vrednost $0.4 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ pa je bila presežena kar v 65 % vseh dni v tem mesecu. Kritično je bilo tudi v januarju leta 1968, ko je bilo nad $0.4 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ v 68 % vseh poprečnih dnevni vrednosti, v januarju leta 1969 je bilo 71 % in



Slika 2 Potek povprečnih mesečnih indeksov koncentracij SO_2 v letnih količin usedlin v Ljubljani

Fig. 2 Course of mean monthly indexes of SO_2 concentration and yearly amounts of sediments in Ljubljana

TABELA 4 Število dni s koncentracijo SO_2 v posameznih velikostnih intervalih, maksimalne mesečne vrednosti in število dni (v %) s koncentracijo SO_2 nad $0,15 \text{ mg/m}^3$ na dan in nad $0,40 \text{ mg/m}^3$ na dan

TABLE 4 Number of days according to different intervals of SO_2 concentration, maximal monthly values and numbers of days with SO_2 concentration above 0.15 mg/m^3 per day above 0.40 mg/m^3 per day

LETO	MESEC	METEROLOŠKI OBSERVATORIJ - BEŽIGRAD												MERILNO MESTO:		
		OD 0.0	0.16	0.41	0.76	1.01	1.51	2.01	Max.	Nad 0.15	Nad 0.40	Max.	Nad	Merilno mesto	Število dni	
1965	XI	18	8	2	2	0	0	0	0.95	40%	13%	-	-	-	-	-
	XII	3	18	8	2	0	0	0	0.92	90%	32%	-	-	-	-	-
1966	I	10	17	4	0	0	0	0	0.95	68	13	-	-	-	-	-
	II	10	11	7	0	0	0	0	0.70	64	23	-	-	-	-	-
	III	11	19	1	0	0	0	0	0.43	64	3	-	-	-	-	-
1967	XI	9	19	2	0	0	0	0	0.69	68	6	-	-	-	-	-
	XII	2	19	5	3	1	1	0	1.51	94	32	-	-	-	-	-
	I	4	7	12	2	2	3	1	2.37	87	65	-	-	-	-	-
1968	II	7	18	3	0	0	0	0	0.59	68	10	-	-	-	-	-
	III	8	22	1	0	0	0	0	0.51	74	3	-	-	-	-	-
	XI	22	5	3	0	0	0	0	0.64	26	10	83	33	Zalokarjeva 10	33	
1969	XII	4	19	6	1	1	0	0	1.13	87	16	100	74	Nad	100	
	I	2	8	15	4	2	0	0	1.33	94	68	100	100	Nad	100	
	II	2	16	10	1	0	0	0	0.77	93	38	100	55	Nad	100	
1970	III	9	20	2	0	0	0	0	0.49	71	6	96	17	Nad	96	
	XI	12	8	8	1	1	0	0	1.06	60	33	83	43	Nad	83	
	XII	15	6	2	7	0	1	0	1.57	52	32	100	42	Nad	100	
1971	I	0	7	13	7	4	0	0	1.39	100	77	100	59	Nad	100	
	II	0	8	12	5	3	0	0	1.37	100	71	100	73	Nad	100	
	III	1	30	0	0	0	0	0	0.39	97	0	96	6	Nad	96	
1972	XI	22	8	0	0	0	0	0	0.28	27	0	90	0	Nad	90	
	XII	5	20	5	0	0	0	0	0.76	83	19	100	62	Nad	100	

februarju leta 1969 celo 77 % vseh dni s koncentracijami nad $0.4 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$.

Od novembra leta 1967 dalje so tudi podatki iz Zavoda SRS za varstvo pri delu (ZVD), ki leži na kompleksu ljubljanskih bolnišnic. Vidimo, da je ta predel še bolj onesnažen kot področja Bežigrada. Navadno so mesečni ekstremi nekoliko višji, mnogo več pa je dni s koncentracijami nad 0.15 in $0.40 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$. V letu 1968 so bili celo prav vsi dnevi v januarju s koncentracijo nad $0,4 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$.

KRAJEVNA RAZPOREDITEV ONESNAŽENJA

Za podrobnejšo določitev krajevne razporeditve koncentracije onesnaženja v Ljubljani ni na voljo dovolj podatkov. Za različna mesta v Ljubljani razpolagamo za dovolj dolgo dobo le s podatki za indekse poprečnih mesečnih koncentracij SO_2 - slika 2. Na sliki vidimo, da je najbolj onesnaženo širše središče mesta (Miklošičeva, meteorološki observatorij Bežigrad), veliko manj pa je onesnažena periferija (Vižmarje, Ježica). Omenjeno krajevno razporeditev koncentracij potrjujejo tudi meritve poprečnih 24 umih koncentracij SO_2 . Žal pa doslej ni dovolj podatkov, da bi lahko točneje odredili prehodni pas, v katerem se koncentracije znatneje zmanjšajo.

Na prvi pogled presenečajo vrednosti iz Most. Tam je bila pozimi 1965-66 koncentracija SO_2 približno enaka koncentraciji v širšem središču mesta. Zadnja leta pa je koncentracija SO_2 na nivoju koncentracij periferije mesta. Spremembo v Mostah lahko pripišemo elektrifikaciji bližnje zelo prometne železniške proge, zlasti pa izgradnji nove toplarne v Mostah, ki je pričela poskusno s prekinitvami obratovati v letu 1966 in od leta 1967 dalje redno obratuje. Ker toplama poleg vroče vode in tehnološke pare, proizvaja tudi znatne količine električne energije, se je emisija onesnaženja v Mostah znatno povečala, kar velja zlasti za emisijo SO_2 , kajti zaradi učinkovitega filtra emisija trdnih delcev ni velika. Kljub močno povečani emisiji pa zaradi 100 m visokega dimnika pri močnih inverzijah, ko se javljajo najvišje koncentracije SO_2 , toplarna področje Most neposredno skoraj ne onesnažuje. Večina industrijskih obratov pa tudi dobršen del ostalih ogrevanih površin v Mostah preskrbuje toplama s tehnološko paro in vročo vodo. Zato so v zadnjih letih na področju Most postopoma opustili več industrijskih kotlaren in skupinskih pa tudi individualnih kurišč za ogrevanje, ki so z nizkimi dimniki pred pričetkom obratovanja toplarne očitno precej onesnaževali področje Most.

Po enačbah za disperzijo dimnih plinov sledi, da toplama ob vetrovih iz vzhodnega kvadranta, bolj kot področje Most onesnažuje širši center in druge predele Ljubljane v smeri vetra, ki piha od toplame. Ker toplamiška vroča voda ogreva dobršen del prostorov v teh področjih pa je iz modelov za disperzijo dimnih plinov razvidno /5/, da je vpliv toplarne na onesnaženje v širšem središču mesta veliko manjši kot bi sicer bil, če bi vse področje v širšem središču mesta ogrevali z običajnimi individualnimi ali manjšimi skupinskimi kurišči za

ogrevanje z nizkimi dimniki. To velja tembolj, ker je iz smeri vzhodnega kvadranta (NE, E, SE) registriranih manj kot 20 % podatkov o vetru.

Razporeditev koncentracij SO_2 v Ljubljani je zaradi opisanih sprememb v Mostah pred in po pričetku obratovanja toplarne zelo poučna in potrjuje znano ugotovitev, da je uvajanje daljinskega ogrevanja tudi v naših klimatskih razmerah rešitev, s katero se lahko zagotovi boljši zrak v naseljih.

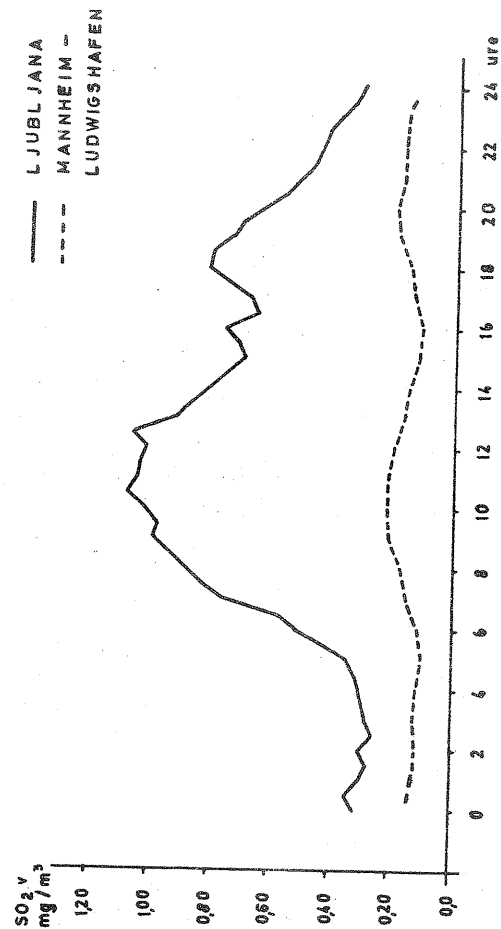
DNEVNI POTEK KONCENTRACIJE SO_2

Dnevni potek koncentracije SO_2 zavisi od dnevnega poteka emisije SO_2 in od dnevnega poteka meteoroloških parametrov, ki vplivajo na širjenje onesnaženja zraka, zlasti pa od smeri in hitrosti vetra in vertikalnega temperaturnega gradienta. Dnevni potek emisije in meteoroloških parametrov je različen v kurilni sezoni in različen izven nje, zato so osnovne karakteristike dnevnega poteka koncentracije SO_2 v kurilni sezoni drugačne kot izven nje.

Žal so podrobni podatki za potek koncentracije SO_2 na voljo le od 13.1.1968 do 11.11.1968, kar zadošča le za določitev dnevnega poteka v kurilni sezoni.

Primerjava poprečnih 24 umih koncentracij SO_2 v zraku med Ljubljano in drugimi kraji /6/ kaže, da sodi Ljubljana pozimi med najbolj onesnažene kraje na svetu. Zato je prav tako zanimiva in poučna primerjava dnevnega poteka koncentracij. Iz literature /7/ so znani podatki za področje Mannheima in Ludwigshafna, industrijskega območja z več kot pol milijona prebivalcev. Ti podatki so z razpoložljivimi v Ljubljani še najbolj primerljivi. Merjeni so z enakimi instrumenti ULTRAGAS 3, iz registrirane krivulje pa so prav tako kot v Ljubljani ovrednotene polume poprečne vrednosti. Žal pa so v Mannheimu in Ludwigshafnu upoštevani podatki za januar, februar in december 1965, v Ljubljani pa le za del januarja in februarja leta 1968. V Ljubljani je (glej tabelo 3) v decembru zrak manj onesnažen kot v januarju, navadno pa bolj kot v februarju. Pri poprečnih razmerah pa bi zato ob upoštevanju decemberskih podatkov za zimski potek dnevne koncentracije v Ljubljani dobili nekoliko nižje vrednosti od prikazanih, vendar ne toliko, da bi se lahko poprečni krivulji zimskih koncentracij (slika 3) med seboj bistveno manj razlikovali.

Na sliki 3 vidimo, da so koncentracije SO_2 v Ljubljani mnogo višje od koncentracij na področju Mannheima in Ludwigshafna, zlasti močno pa se razlikujejo maksimalne vrednosti. Majhna amplituda v M. in L. (maksimalna vrednost je za 1.4 krat večja od minimalne) priča o precej enakomernem dnevnem poteku emisije, kar kaže na znatni vpliv industrije, ki permanentno obratuje. Zelo velika amplituda (maksimalna vrednost je za 4.1 krat večja od minimalne) in časovni potek koncentracije SO_2 v Ljubljani pa kažeta že brez upoštevanja meteoroloških podatkov, da je v Ljubljani vpliv jutranje in dnevne, zlasti pa dopoldanske emisije na onesnaženje zraka zelo velik, mnogo večji od vpliva emisije zvečer in ponoči. To pa tudi kaže, da industrija, ki permanentno obratuje



Slika 3 Poprečni dnevni potek koncentracije SO₂ za Ljubljano (januar, februar 1968) in za Mannheim - Ludwigshafen (januar, februar, december 1965)

Fig. 3 Mean daily course of SO₂ concentration in Ljubljana (January and February 1968) and in Mannheim - Ludwigshafen (January, February and December 1965)

je, nima posebno velikega vpliva na onesnaženje zraka v Ljubljani, pač pa povzročajo največje onesnaženje zraka dnevni viri, ki pričnejo z emisijo zgodaj zjutraj.

Področje Mannheima in Ludwigshafna je veliko večje in bolj industrializirano kot ljubljansko. Zato je nemogoče, da bi bila mnogo višja koncentracija v Ljubljani pogojena z višjo emisijo. Zelo visok nivo koncentracije v Ljubljani povzročajo torej predvsem izredno neugodne vremenske razmere: pogostne temperaturne inverzije in slab veter, kar se kaže tudi v pogostni megli - poprečno 150 dni v letu.

Dnevni potek koncentracije SO₂ z neobičajno veliko amplitudo opozarja, da je treba s higienskega stališča povsem drugače vrednotiti že tako visoke poprečne 24 urne koncentracije SO₂ v Ljubljani, kajti vrednosti podnevi, ki so jim ljudje najbolj izpostavljeni, so mnogo višje od dnevnih poprečkov, ki jih higieniki uporabljajo za ugotavljanje vpliva SO₂ na zdravje ljudi. Izrazit dnevni potek koncentracij pa velja upoštevati tudi pri zimskem prezračevanju zaprtih prostorov. Iz slike 3 in 4 ni težko spoznati, kateri čas je za prezračevanje najbolj ugoden.

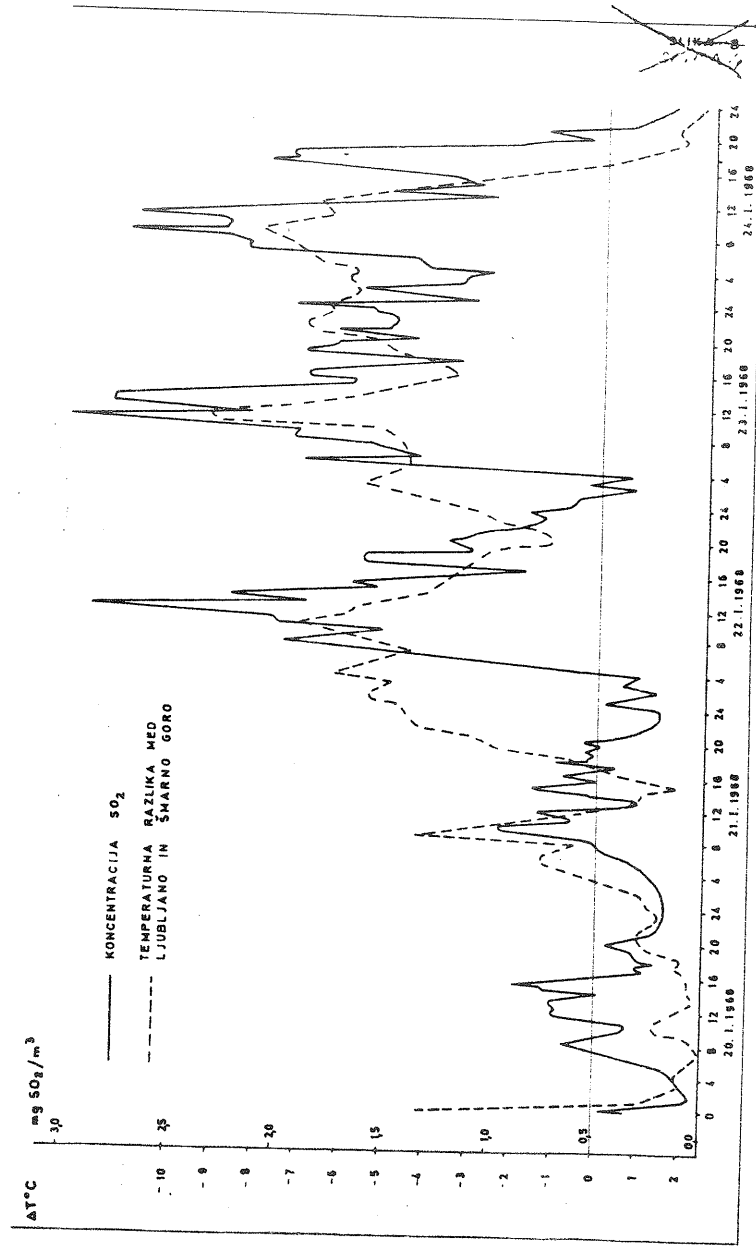
Vsi zaključki, ki smo jih naredili na podlagi dnevnega poteka koncentracije SO₂, so narejeni na osnovi meritev na meteorološkem observatoriju za Bežigradom. Posamezni dnevni poteki koncentracij se pri raznih vremenskih razmerah (slika 4) močno razlikujejo po amplitudi ne pa tudi po glavnih značilnostih, kajti v vseh merjenih primerih je viden nočni padec koncentracij in nagel dvig po 4 uri zjutraj. Zato ni verjetno, da bi bil na kakšni drugi lokaciji v Ljubljani dnevni potek tak, da bi narekoval spremembe zaključkov o vplivu nočne in dnevne emisije na onesnaženje zraka v Ljubljani. To potrjujejo tudi meritve o poprečnih 2 urnih koncentracijah na Zavodu SRS za varstvo pri delu na Zalo-karjevi cesti 10. v decembru in januarju 1968/69. Ti podatki so v tabeli 5.

TABELA 5 Dnevni potek koncentracije SO₂ po meritvah dve urnih poprečkov (december, januar 1968/69) (Merilno mesto Zavod SRS za varstvo pri delu, Ljubljana, Zalokarjeva 10)

TABLE 5 Daily course of SO₂ concentration according to two hours means (December 1968, January 1969) (Observations made at the Institute for Safety at Work, Ljubljana, Zalokarjeva 10)

Čas.	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20
konc.	0.31	0.28	0.35	0.58	0.66	0.66	0.55	0.59	0.64	0.57

Čas.	20-22	22-24	ure
konc.	0.43	0.33	mg SO ₂ /m ³ 2 uri



Slika 4 Potek koncentracij SO_2 in temperaturnih razlik med Ljubljano in Šmarno goro (višinska razlika 360 m)

Fig. 4 Courses of SO_2 concentration and temperature differences between Ljubljana and Šmarna gora (difference in altitude 360 meters)

Pri primerjanju podatkov v tabeli 5 in na sliki 3 moramo upoštevati, da so vrednosti v tabeli 5 za december in januar ter za zimo, v kateri zrak ni bil tako močno onesnažen kot pozimi 1967/68. Dvourni poprečki pa tudi izravnavo amplitudo; minimalne vrednosti so višje, maksimalne pa nižje. Kljub temu pa je očitno, da je dnevni potek koncentracije SO_2 na Zalokarjevi cesti identičen s potekom za Bežigradom. Zato veljajo gornji zaključki najmanj za najbolj onesnaženo področje Ljubljane.

Opozoriti moramo še na večerni dvig koncentracije SO_2 s sekundarnim maksimumom okrog 18 ure, ki je viden na sliki 3, še posebno pa je očitno iz podatkov v tabeli 5. Vzrokov za ta maksimum je lahko več. Brez dvoma pa povzročata sekundarni maksimum tako emisija kot tudi vremenske razmere, ki postajajo za naravno čiščenje onesnaženega zraka ob tem času vse manj ugodne.

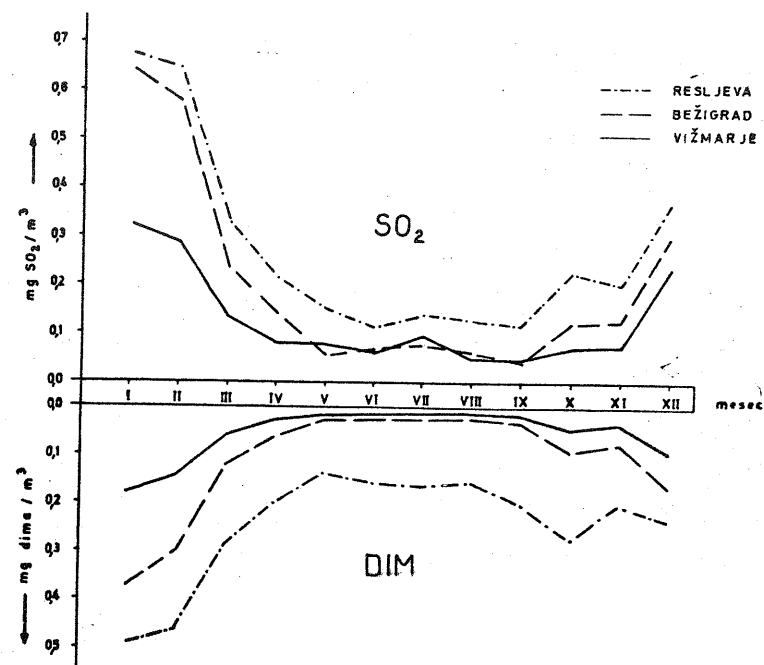
LETNI POTEK USEDLIN IN DIMA

Za letni potek usedlin je značilno, da so najvišje mesečne vrednosti v poletnih mesecih. Ker ni na voljo analize o vsebnosti posameznih elementov v usedlinah niti podatkov o velikosti delcev, ne moremo direktno določiti izvora usedlin in tako spoznati, koliko k skupni količini doprinašajo viri, ki zrak onesnažujejo in koliko drugi faktorji.

Po konimaterskih meritvah števila vesnih delcev v zraku (merimo povečini delce med 0.1μ in 5μ pa je letni potek prav obraten. Maksimalne vrednosti so pozimi in sicer v januarju, ko je bila maksimalna vrednost 790 delcev/ml, minimalne vrednosti pa so poleti - najvišja vrednost v juniju je bila 200 delcev/ml. Tudi letni potek koncentracije dima (slika 5) ima enak letni potek kot s konimetrom izmerjeno število delcev. To je tudi razumljivo, saj z obema instrumentoma (za merjenje števila delcev in količine dima) merimo delce mikroskega velikostnega reda, ki v zraku vesijo. Ker v Ljubljani ni industrije, ki bi s tehnološkimi postopki spuščala v zrak upoštevavanja vredne količine vesnih delcev, so vesni delci predvsem produkt raznega izgorevanja, ki ga je v zimskih mesecih zaradi kurjenja veliko več, s tem pa je pozimi tudi največ vesnih delcev v mestnem zraku.

Z upoštevanjem gornjega lahko letni potek količine usedlin vrednotimo drugače. Maksimalne letne količine usedlin v poletnih mesecih so posledica predvsem vetrovne erozije, ki lahko prenaša tudi večje in težje delce. V januarju in februarju, ko je zemlja povečini pokrita s snegom ali pa je zmrznjena, pa vetrovne erozije skoraj ni in usedline so posledica virov emisije, ki onesnažujejo in zelo močno onesnažijo mestni zrak.

Mesečna količina usedlin, ki znaša v najbolj onesnaženem mesecu januarju le 3 tone/ km^2 mesec, je zelo skromna, saj poznamo industrijske kraje, kjer mesečna količina usedlin preseže 100 ton/ km^2 mesec. Mesečna količina



Slika 5 Letni potek srednjih mesečnih koncentracij SO₂ in dima v Ljubljani za leto 1969

Fig. 5 Yearly course of mean monthly concentrations of SO₂ and smoke in Ljubljana during the year 1969

usedlin sicer ni direktni pokazatelj za emisijo SO₂ in dima - komponent onesnaženja, ki jih v Ljubljani največ obravnavamo -, vendar pa usedline le lahko štejejo za približni pokazatelj emisije onesnaženja. Zato pri tako skromni količini usedlin v najbolj onesnaženih mesecih v Ljubljani lahko trdimo, da je emisija v Ljubljani v primerjavi z emisijo v velikih industrijskih centrih zelo skromna. V industrijskem predelu Cincinnatija /6/ je zimska količina usedlin n.pr. 41 ton/km² mesec, v Ljubljani le 3 tone/km² mesec. Zato ni nobenega dvoma, da je emisija onesnaženja v Ljubljani mnogo manjša. Če je bila v Ljubljani maksimalna koncentracija SO₂ 2.4 mg/m³, v Cincinnatiju pa 1.2 mg SO₂/m³, ne more biti ob tem nobenega dvoma, da so glavni razlog za visoke koncentracije v Ljubljani predvsem zelo neugodne vremenske razmere, ki preprečujejo učinkovito prirodno čiščenje onesnaženega zraka v Ljubljanski kotlini.

GLAVNI POVZROČITELJI ONESNAŽENJA ZRAKA V LJUBLJANI

Čeprav pri obravnavanju dnevnega poteka koncentracij in količine usedlin še nismo uporabili tudi meteoroloških podatkov, smo prišli do nekaterih spoznanj, ki kažejo, da nastopajo visoke koncentracije v Ljubljani predvsem zaradi zelo neugodnih vremenskih razmer in da so glavni onesnaževalci predvsem viiri z dnevno emisijo, ki se prične zgodaj zjutraj, kar kot glavnega povzročitelja izključuje industrijo, ki permanentno obratuje. S primerjavo poteka koncentracij SO₂ in meteoroloških parametrov se lahko prepričamo o veljavnosti gornjih ugotovitev, ki so ob pričeku izvajanja sanacijskih in preventivnih ukrepov v Ljubljani zelo pomembne, kajti glavno pozornost bo treba posvetiti virom, ki povzročajo največje onesnaženje zraka v Ljubljani.

Ob pomanjkanju emisijskih podatkov smo zopet prisiljeni uporabiti posredno pot. Uporabili bomo dnevni potek koncentracije SO₂ in potek meteoroloških elementov, ki vplivajo na onesnaženje. Iz teh primerov lahko sklepamo tudi na potek emisije oziroma boljše na potek vpliva emisije na koncentracijo, kajti omenjena primerjava že upošteva vplive različnih višin dimnikov oziroma izpuhov vseh vrst onesnaževalcev.

Pri upoštevanju vremenskih parametrov smo zaradi negotovih podatkov pri kritičnih vremenskih razmerah prisiljeni narediti nekaj poenostavitev tako, da bomo upoštevali le vertikalni temperaturni gradient in še tega le z razliko temperatur med Šmamo goro in Ljubljano. Pri kritičnih razmerah je hitrost vetra praviloma tako majhna, da meritve smeri in tudi hitrosti niso sigurne, pa tudi sicer meritve v eni točki ne karakterizirajo vetrovnih razmer v kotlini, ker se ob dovolj izrazitih talnih inverzijah izvaja skoraj vsa izmenjava zraka le s premeščanjem zračnih gnot v sami kotlini. Na srečo pa je med vetrovnimi razmerami in vertikalnim temperaturnim gradientom dobra zveza, saj ni talnih inverzij pri trajnejšem močnejšem vetru in ni močnejših talnih inverzij, kadar poleg ostalih izpolnjenih pogojev ni mirnega ozračja. Tako je zlasti pri kritičnih raz-

merah, ko se javljajo največje koncentracije, vertikalni temperaturni gradient dober indikator vremenskih razmer, ki vplivajo na prirodno čiščenje onesnaženega zraka. S primerjavo časovnih potekov temperaturnih razlik med Ljubljano in Šmarno goro in koncentracijo SO_2 (slika 4) se lahko prepričamo, da je res tako. Vidimo, da se krivulji dobro ujemata. Pri pozitivnih temperaturnih razlikah, ki predstavljajo normalno temperaturno razporeditev z višino, so koncentracije SO_2 relativno majhne. Pri temperaturnih inverzijah (negativne temperaturne razlike) pa so koncentracije SO_2 zelo velike, mnogo večje kot v dnevih, ko inverzije ni oziroma je slaba in kratkotrajna. Tudi velike razlike v koncentracijah SO_2 med dnevi brez in z inverzijami, ob upoštevanju zelo pogostnega javljanja inverzij, nedvoumno kažejo, da so zlasti neugodne vremenske razmere v Ljubljani najpomembnejši povzročitelj visokih koncentracij onesnaženja.

Ujemajo se tudi drugačne zveze med vremenom in koncentracijo; tako na primer podatki za najvišjo mesečno koncentracijo, ki je navadno v januarju in številom inverzijskih dni v tem mesecu. Število dni z inverzijo ob 07. uri (69 %) sicer v januarju ne izstopa. Izstopa pa visok odstotek inverzij ob 14. uri (42 %), to pa pomeni, da inverzije v januarju pogosto trajajo ves dan, to pa se lahko dogaja le tedaj, če so inverzije dovolj močne.

V tabeli 2 vidimo, da je tudi v drugih mesecih veliko inverzijskih dni. Poleti so inverzije seveda slabše in čez dan praviloma izginejo. Inverzije, za beležene poleti ob 14. uri, imajo zaradi minimalne temperaturne razlike le simbolični pomen, najverjetneje pa jih v prosti atmosferi nad mestom ni. Sicer majhne negativne razlike v temperaturi med Ljubljano in Šmarno goro so najverjetneje posledica že omenjenih napak zaradi južne pobočne lege meteorološke postaje na Šmarni gori. Kljub temu pa so zjutraj, zvečer in ponoči v Ljubljani tudi v poletni dobi vremenske razmere za prirodno čiščenje onesnaženega zraka zelo neugodne. Negativne posledice zaradi emisije motomega prometa, se kažejo že sedaj z visokimi koncentracijami dima in SO_2 ob prometnejših cestah (slika 5). Z vse večjo gnečo na cestah, ki jo lahko pričakujemo že v bližnji prihodnosti, pa bodo koncentracije onesnaženja ob prometnih cestah tudi poleti močno presegle dovoljeno mejo in postajale vse bolj nadležne.

Že samo iz poprečnega zimskega dnevnega poteka koncentracij SO_2 smo lahko videli, da je vpliv nočne emisije na onesnaženje mestnega zraka majhen. Med dnevnim potekom koncentracij SO_2 in temperaturnih razlik med Ljubljano in Šmarno goro ob inverznih situacijah pa opazimo razliko v večernem in nočnem času. Z večernim nastajanjem oz. jačanjem inverzij, ki se pojavljajo pozimi že po 16. uri, se razmere za prirodno čiščenje onesnaženega zraka slabšajo. Pri enakomernem poteku emisije bi morala zato krivulja koncentracije kmalu slediti krivulji temperaturnih razlik. To pa se ne dogaja oz. se koncentracija okrog 18. ure zveča (sekundarni maksimum), nato pa vse do 4. ure zjutraj pada. Pomembno je, da koncentracija SO_2 pada kljub temu, da se slabšajo vre-

menske razmere za prirodno čiščenje onesnaženega zraka. Povečanje koncentracije po 4. uri zjutraj nastopi neodvisno od vremenskih razmer, seveda pa je višina koncentracij odvisna od jakosti inverzije, brez dvoma pa tudi od smeri in hitrosti vetra. Opisane razmere so zlasti lepo vidne na sliki 4 od 21.1. na 22.1.1968, ko se je iz normalnega temperaturnega poteka razvila močna inverzija, tej pa ni sledilo povišanje koncentracij, pač pa vztrajen padec vse do 4. ure zjutraj. Po tej uri je koncentracija ob neznatno poslabšanih vremenskih razmerah naglo porastla na več kot štirinajstkratno vrednost. Ob upoštevanju vremenskih razmer je tedaj še bolj gotovo, da je glavni povzročitelj zelo visokega zimskega onesnaženja jutranja in dnevna emisija in neugodne vremenske razmere. Jutranjo in dnevno emisijo pa povzročajo različni viri za ogrevanje poslovnih in javnih prostorov, stanovanj, industrijskih in obrtnih prostorov, ki jih uporabljamo podnevi. K dnevni emisiji onesnaženja pa mnogo prispeva tudi promet. Viri za ogrevanje in promet so torej v Ljubljani največji onesnaževalci mestnega zraka in pri ukrepanju mora tem veljati največja pozornost.

Iz poteka koncentracij SO_2 in vertikalnega temperaturnega gradienta pa je tudi mogoče kvalitativno sklepati o vertikalni razporeditvi koncentracije v prizemnem sloju zraka. Georgii /9/ je ugotavljal verikalno razporeditev SO_2 nad področjem Mannheima in Ludwigshafna. Ni znano pri kakšnih vertikalnih gradientih je izvajal meritve. Ugotovil pa je, da se koncentracija z višino naglo manjša. Drugačne rezultate pa sta dobila Davis in Newstein /10/ v času kritičnega onesnaženja v Philadelphiji. Ob prisotnosti temperaturnih inverzij sta najvišje koncentracije ugotovila okrog 100 m visoko. V ekstremnem primeru 25.1.1967 sta med 7. in 8. uro namerila: pri tleh $1.3 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$, v višini 100 m pa kar $8 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$. Ko pa se je inverzija med 10. in 12. uro razbila, se je zrak v prizemni plasti lahko že vertikalno mešal. Ob tem se je koncentracija pri tleh povišala na $4.2 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$, na 100 m višine pa se je od 8 zmanjšala na $4.7 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$.

Tudi v Sloveniji je videti, da so pri inverznih situacijah, maksimalne koncentracije v višjih zračnih plasteh. Poškodbe na rastlinstvu v vegetacijski dobi, ki se javljajo zaradi emisij večjih industrijskih objektov, so v takih krajih tudi v višjih predelih, če jih je le mogoče zasledovati, najbolj zaznavne (Mežiška dolina, Zasavje). To potrjujejo tudi prve meritve v Zasavju, kjer se tudi ob poletnih inverzijah javljajo v višini nad sto metrov nad dnem doline zelo visoke koncentracije, ki presegajo $5 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$.

Tudi nad Ljubljano maksimalne koncentracije ob inverzijah niso pri tleh. Na sliki 4 namreč vidimo, da so razmere ob razbijanju inverzije v Ljubljani slične onim v Philadelphiji. Kadar ni advektivnih vplivov, se prične inverzija razbijati pri tleh. To pomeni, da je tudi pri negativnih temperaturnih razlikah med Ljubljano in Šmarno goro, seveda, kadar se ta razlika hitro manjša, v nižjih plasteh že možno vertikalno mešanje zraka. Na sliki 4 vidimo, da naglemu manjšanju temperaturnih razlik sledi najprej močnejši dvig koncentracije, kar je posledica izravnave koncentracij v prizemnem sloju zraka. Iz tega pa sledi,

da so najvišje koncentracije ob inverzijskih situacijah tudi v Ljubljani v višjih plasteh. V kateri višini so maksimalne koncentracije in kolikšne so, je treba še podrobneje preučiti, saj je to pomembno za zračenje stanovanj v višjih nadstropjih blokov in stolpnic.

VPLIV PROMETA NA ONESNAŽENJE MESTNEGA ZRAKA

Po razpoložljivih podatkih ni mogoče podrobneje določiti vpliva posameznih karakterističnih skupin virov na onesnaženje mestnega zraka. Lahko pa vsaj orientacijsko določimo, koliko na onesnaženje zraka vpliva promet. Če bi hoteli določiti vpliv vozil na bencinski pogon, bi nujno potrebovali vsaj še podatke o koncentraciji svinca v zraku. Za dizelska prometna sredstva pa je poleg emisije dušikovih oksidov značilna emisija dima, zaznavna pa je tudi emisija SO_2 . Razpolagamo s podatki za SO_2 in dim, zato lahko zadovoljivo ugotovimo vpliv dizelskih prometnih sredstev na onesnaženje zraka. V ta namen primerjamo srednje mesečne vrednosti koncentracije SO_2 in dima na Resljevi cesti na meteorološkem observatoriju za Bežigradom in v Vižmarjih, vse za leto 1969 - slika 5.

Resljeva cesta, ob kateri je merilno mesto, je zaradi obvoza težkih tovornjakov in pomembne poti avtobusov s pogostnimi zastoji prometa, z dizelskimi vozili najbolj obremenjena mestna ulica v Ljubljani. Merilno mesto na meteorološkem observatoriju za Bežigradom, je od Titove in prometne Topniške ceste oddaljeno v obe smeri nekaj nad 300 m. Merilno mesto v Vižmarjih pa je od prometnih cest precej oddaljeno.

Na sliki 5 vidimo, da je koncentracija SO_2 na Resljevi cesti vse leto za približno enako razliko nad vrednostmi za Bežigradom. Pozimi pa je večja razlika z merilnim mestom v Vižmarjih, ki je na periferiji mesta in ima v tem času tudi zaradi tega nižje koncentracije SO_2 . Podobne razmere so pri koncentraciji dima, le da so razlike med primerjanimi merilnimi mesti mnogo večje. Znatno višje vrednosti na Resljevi cesti lahko pripišemo vplivu prometa, to še zlasti poleti, ko onesnažujeta zrak le industrija in promet.

Tudi pri koncentracijah, ki jih povzroča promet, pridejo do veljave neugodne vremenske razmere v Ljubljani, saj so vrednosti ob Resljevi cesti zlasti za dim izredno visoke, v avgustu celo 13 krat višje kot v Vižmarjih. Dovoljena koncentracija dima v zraku je glede na kemični sestav dima med 0.05 in 0.15 mg/m^3 . Nižja vrednost je na Resljevi cesti z izjemo petih dni v letu 1969 vsak dan bolj ali manj izdatno presežena.

Primerjava rezultatov z različnih lokacij pa kaže, da promet onesnažuje le ozko območje okrog najbolj prometnih ulic. Rezultati primerjave pa so tako neugodni, da narekujejo takojšnje ukrepanje. Tranzitni promet v Ljubljani bi moral nujno čim dlje iz mesta, potrebno pa bi bilo storiti vse za čim večjo hitrost vozil v mestu. Ob zelo neugodnih zimskih razmerah pa bo verjetno

že kmalu potrebno omejevati promet z motornimi vozili, to še zlasti v primerih, če bo tudi v Ljubljani ugotovljeno javljanje večjih koncentracij nevarnega fotokemičnega smoga.

V Ljubljani so torej zelo neugodne vremenske razmere za prirodno čiščenje onesnaženega zraka. Prevladujejo slabi vetrovi, pogostne so zelo močne in trajne inverzije, ki jih navadno spremlja megla. Ob tako neugodnih vremenskih razmerah, se javljajo že pri skromnih emisijah zelo visoke koncentracije onesnaženja. Zrak je zelo onesnažen pozimi. Poleti pa je bolj onesnažen le v bližini prometnejših cest, drugo pa je še dokaj čist. Najbolj je onesnaženo širše središče mesta, manj pa periferija.

Pozimi je zelo značilen dnevni potek koncentracije. Nočne koncentracije so relativno majhne, dnevne pa zelo visoke. Glavni povzročitelji visokega onesnaženja v Ljubljani so poleg neugodnih vremenskih razmer predvsem vi-ri za ogrevanje in promet.

LITERATURA

- /1/ J. Pučnik: Temperature inverzije v Ljubljanski kotlini, neobjavljena razprava
- /2/ VDI-Richtlinien: Messung der Schwefeldioxid - VDI 2451
- /3/ National Survey of smoke and sulphur dioxide - Warren Spring laboratory - 1966
- /4/ Steinhauser F. Über die Änderungen der SO_2 -Ablagerungen aus der Luft in Wien von 1958 bis 1966, Wetter und Leben, 1967 heft 3-4
- /5/ B. Paradiž: Izgradnja toplotarne II na lokaciji ob kamniški proggi in onesnaženje zraka v Ljubljani, elaborat HMZ 1970
- /6/ B. Paradiž: Varstvo zraka v specifičnih klimatskih razmerah Slovenije; Gradivo seminarja o komunalnih napravah, DIT Slovenije - 1970
- /7/ E. Lahman, E. Morgenstem, L. Grupinski: Schwefeldioxid-Immissionen im Raum Mannheim - Ludwigshafen, Schriftenreihe des Vereins für Wasser, Boden und Lufthygiene - Stuttgart 1967

/8/ Air Pollution Handbook, McGRAW-HILL BOOK COMPANY, INC.
1956

/9/ W. Georghii: Die Verteilung von Spurengasen in reiner Luft,
Atmosphärische Spurenstoffe und ihre Bedeutung für den
Menschen - Birkhauser Verlag Basel 1967

/10/ K Davis, H. Newstein: The meteorology and vertical distribution of
pollutants in air pollution episodes in Philadelphia, *Atm.
Environm.* Nov. 1968.

ONESNAŽENJE ATMOSFERE MESTA MARIBORA S SO₂ IN DIMOM

POLLUTION OF ATMOSPHERE WITH SULPHUR DIOXIDE AND SMOKE IN
MARIBOR

551.510.42

SLAVKO VERHOVNIK

Zavod za zdravstveno varstvo, Maribor

SUMMARY:

In Maribor the pollution of atmosphere with sulphur dioxide and smoke was being measured for two years. Concentration of sulphur dioxide was determined by the H₂ O₂ method; that of smoke by the reflectometry. 24 hours' samples of air with sulphur dioxide and smoke were collected from nine locations. Locations were chosen in such a way as to represent specific parts of town: industrial zones, school districts, public buildings and residential areas.

The results led to the conclusion that large differences of sulphur dioxide concentration and smoke existed among different parts of town. Sulphur dioxide concentration above 150 milligrams per cubic meter (150 µg/m³) was found around school districts on 58 % of all days, around public buildings on 45 %, in industrial zones on 44 % and in residential areas on 20 % of all days.

There were also large differences of sulphur dioxide concentration and smoke between summer and winter. In winter time (November, December, January and February) the sulphur dioxide concentration was everywhere above 500 µg/m³ on 83 % of the days. In summer this percentage was only 13. During the winter period the smoke concentration was also everywhere above the prescribed value

($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) on 51 % of the days and in summer this percentage was only 1.

These large differences of sulphur dioxide concentration and smoke between winter and summer time occur because of a more intensive heating and unfavorable weather conditions in winter.

UVOD

Raziskovali smo onesnaženje atmosfere mesta Maribora s SO_2 in dimom. Zbirali smo 24-urne vzorce SO_2 in dima iz znanega volumna zraka. Dobili smo koncentracije SO_2 in dima v atmosferi. To sta komponenti, ki jih najdemo v atmosferi vsakega naselja, ker sta produkt zgorevanja goriva. Dolgo ostaneta v atmosferi, ker se mešata in se gibljeta z zrakom.

Volumetrijska aparatura je britanska standardizirana aparatura, ki jo uporabljajo v mnogih evropskih državah. Uporaba te aparature omogoča direktno primerjavo naših rezultatov z rezultati, dobljenimi v drugih državah.

MATERIAL IN METODE

Na področju mesta Maribora smo postavili 9 volumetrijskih aparatov za zbiranje dnevnih vzorcev SO_2 in dima. Mesta smo izbrali tako, da predstavljajo specifične predele mesta:

Stanovanski predel; mesto merjenja št. 1: Kmetijski pospeševalni in kontrolni zavod, Vinarska 14, št. 2: Mariborska mlekarna, Osojnikova 5, št. 3: Obratna ambulanta Železniškega zdravstvenega doma, Preradovičeva 19,

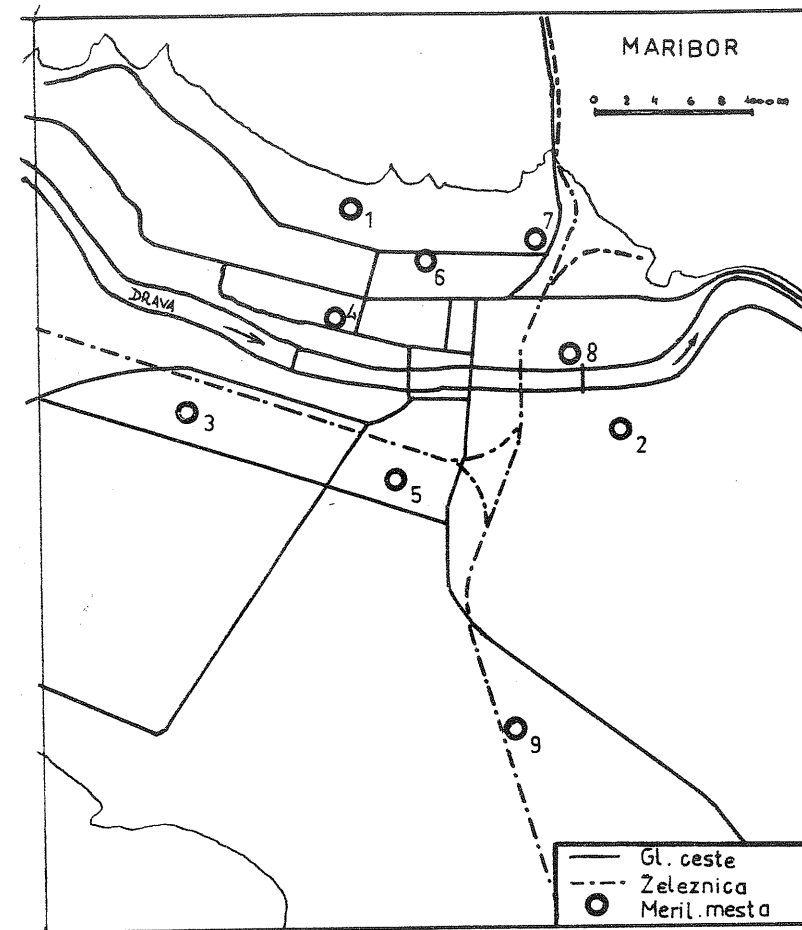
šole; mesto merjenja št. 4: Višja tehniška šola, Smetanova 17, št. 5: Višja stomatološka šola, Žitna 15,

javne zgradbe; mesto merjenja št. 6: Zavod za zdravstveno varstvo Maribor, Mladinska 3, št. 7: Obratna ambulanta Železniškega zdravstvenega doma, Partizanska 59,

industrija; mesto merjenja št. 8: Tovarna "Zlatorog", Industrijska 13, št. 9: Obratna ambulanta "Metalne", Zagrebška 20.

Lokacije merilnih mest so prikazane na sliki 1.

Na merilnih mestih 1 - 4 in 6 - 9 smo merili SO_2 in dim od 16.8.1965 do 31.8.1967, na merilnem mestu št. 5 smo merili od 24.9.1965 do 31.8.1967.



Slika 1 Skica merilnih mest mesta

Fig. 1 Locations of measuring stations

Aparatura je prikazana na sliki 2, postopek za odvzem vzorcev pa je naslednji /1,2/:

Zrak vstopa skozi obrnjen lijak, ki je izven zgradbe, oddaljen 0,9 - 1 m od zidu zgradbe in je spojen z aparaturom, ki je v prostoru (slika 2). Plastična cev je v nosilni aluminijski cevi, ki gre običajno skozi okenski okvir. Zrak gre skozi filter - papir Whatman No 1, ki je vpet v držalu. Na filter-papirju se zbira dim. Držalo s filter-papirjem je direktno spojeno z izpiralko, v kateri je praviloma 50 ml (volumen ni bistven) raztopine H_2O_2 . Pri prehodu zraka skozi izpiralko SO_2 oksidira v H_2SO_4 in se tako zbira v raztopini. Iz izpiralke gre zrak v plinsko uro, ki registrira pretočni volumen zraka in zatem v črpalko, iz katere gre v atmosfero.

Črpalka prečrpa zrak skozi sistem s hitrostjo 1,2 - 1,5 litrov na minuto, tako da se v 24 urah zbere dim in SO_2 iz približno $2 m^3$ zraka.

SO_2 določimo tako, da vodimo zrak skozi 0,3 % raztopino H_2O_2 pH 4,5, kjer SO_2 oksidira v H_2SO_4 . Kislost tako dobljene H_2SO_4 določimo s titracijo z lužinami. Kislost je ekvivalent SO_2 v zraku. Ta metoda ni specifična za SO_2 . Ker pa je koncentracija SO_2 običajno večja od koncentracij drugih kislin in alkalij, so rezultati, dobljeni s peroksid-metodo, realni.

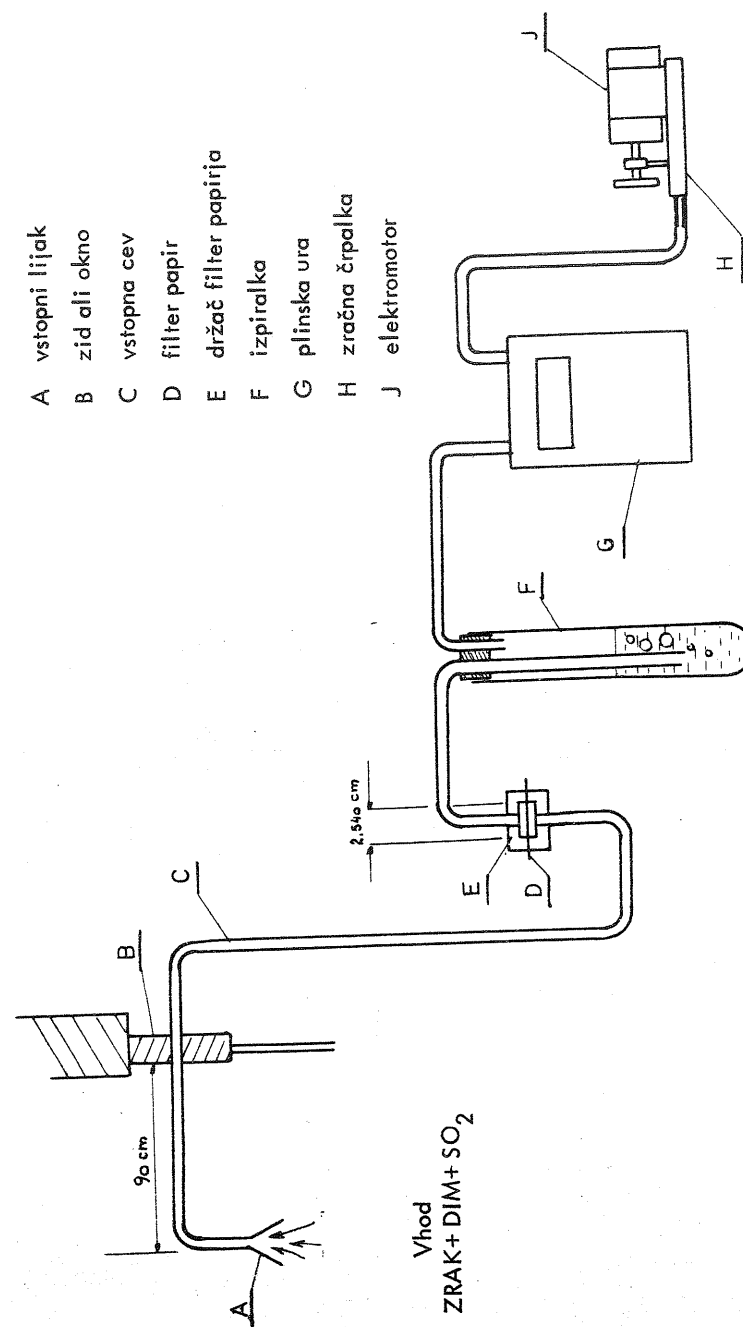
Dim določimo na naslednji način: določeno količino zraka filtriramo. Dim ostane na filtru in pobarva filter-papir sivo. Potemnitev filter-papirja je mera za koncentracijo dima.

To metodo so pričeli uporabljati v Veliki Britaniji že pred 50 leti. V začetku so ocenjevali vizuelno s primerjanjem vzorca s številnimi standardnimi madeži. Oceno so izražali z zaporedno številko standardnega madeža, kateremu je bil vzorec najbližji. Danes uporablja nacionalna kontrola v Veliki Britaniji meritev reflektirane svetlobe kot bazo za ocenjevanje koncentracije dima. Pri naših analizah vzorcev dima smo uporabili zgoraj navedeno angleško metodo reflektrometiranja (instrument Eel - reflektometer). Utežno koncentracijo smo dobili iz internacionalne standardne meritvene krivulje.

Na slikah 3 do 6 so prikazane, za vsak karakteristični predel mesta, srednje in maksimalne mesečne vrednosti SO_2 in dima, izražene v $\mu g/m^3$; navedeno je tudi število dni v mesecu, ko je bila najdena vrednost SO_2 večja od 150 in $500 \mu g/m^3$ oz. dima 150, 250 in $500 \mu g/m^3$. Podatki veljajo za obe leti skupaj.

HIGIENSKA OCENA ATMOSFERE V MARIBORU

Da bomo lahko ocenili stanje atmosfere Maribora z ozirom na ugotovljene koncentracije SO_2 in dima, moramo dobljene vrednosti primerjati s higienskimi standardi.



Slika 2 Skica aparature za odvzem SO_2 in dima

Fig. 2 Instrument for taking samples of sulphur dioxide and smoke

V naši državi do 10.8.1970 še nimamo predpisanih higienskih standardov za maksimalne koncentracije SO₂ in dima, katere še lahko toleriramo v atmosferi naselja. Pri oceni bomo zato uporabili norme drugih držav /3/.

Maksimalno dovoljene koncentracije v atmosferi za SO₂ in aerosole

Država	Poprečne dnevne vrednosti v µg/m ³	
	SO ₂	aerosoli
Sovjetska zveza	150	150
Čehoslovaška	150	150
Zvezna republ. Nemčija	500	
Kalifornija (ZDA)	500	150 (stanovanjski predel) in 250 (industrijski predel)

Vidimo, da so standardi vzhodnih držav znatno strožji od standardov zapadnih držav. Razlike so v kriterijih, ki se v posameznih državah uporabljajo. V SZ je kot mejna koncentracija tista, ki je organizem še ne "registrira", čeprav prekoračitev te meje še ne more pomeniti neugodno delovanje. V zapadnih državah velja za mejno koncentracijo tista, ki jo organizem še lahko eliminira brez škodljivih posledic.

Če primerjamo na vseh merilnih točkah izmerjene koncentracije SO₂ v Mariboru z navedenimi standardi, ugotovimo, da 58 % dni v 24 mesecih zadovoljuje strožji kriterij (do 150 µg/m³), 80 % blažji kriterij (do 500 µg/m³).

V industrijskem predelu je bilo 56 % dni, ko so bile koncentracije enake ali manjše od MIK (maksimalna imisijska koncentracija - dovoljena) po strožjem kriteriju, in 98 % dni, ko so bile koncentracije enake ali manjše od MIK po blažjem kriteriju.

V področju šol je bilo 42 % dni, ko so bile koncentracije enake ali manjše od MIK po strožjem kriteriju in 93 % dni, ko so bile koncentracije enake ali manjše po blažjem kriteriju.

V predelu javnih zgradb je bilo 55 % dni, ko so bile koncentracije enake ali manjše od MIK po strožjem kriteriju in 96 % dni, ko so bile koncentracije enake ali manjše od MIK po blažjem kriteriju.

V stanovanjskem predelu je bilo 80 % dni, ko so bile koncentracije enake ali manjše od MIK po strožjem kriteriju in 98 % dni, ko so bile koncentracije enake ali manjše od MIK po blažjem kriteriju.

V mesecih novembru, decembru, januarju in februarju je bilo na vseh mer-

nih mestih kar 83 % dni s koncentracijo SO₂ nad MIK po strožjem kriteriju.

Maksimalno koncentracijo SO₂ v zraku smo zabeležili 10/11. 3.1966 v predelu šol (Žitna ulica) in je znašala 1481 µg/m³.

Pri ocenjevanju koncentracij dima bomo uporabili stopnje MIK Kalifornije, ki dovoljuje za stanovanjski predel poprečne dnevne vrednosti koncentracij dima 150 µg/m³ in za industrijski predel 250 µg/m³.

Če primerjamo na vseh merilnih točkah izmerjene koncentracije dima z MIK, ugotovimo, da 84 % dni v 24 mesecih zadovoljuje kriterije za dim.

V industrijskih področjih mesta je bilo 75 % dni s koncentracijo, ki je bila enaka ali manjša od MIK.

V predelu šol je bilo 75 % dni s koncentracijo enako ali manjšo od MIK.

V predelu javnih zgradb je bilo 79 % dni, ko so bile koncentracije enake ali manjše od MIK.

V stanovanjskih predelih je bilo 87 % dni, ko so bile koncentracije dima enake ali manjše od MIK.

V mesecih novembru, decembru, januarju in februarju je bilo na vseh mernih mestih 51 % dni, ko je bila koncentracija dima večja od MIK.

Maksimalno vrednost koncentracije dima smo zabeležili 4/5. 1.1966 v predelu šol (Žitna ulica) in je znašala 783 µg/m³.

SKLEPI

Na temelju rezultatov dvoletnih merjenj dnevni koncentracij SO₂ in dima v atmosferi Maribora na 9 mernih mestih lahko zaključimo:

1. Pojavljajo se velike razlike koncentracij SO₂ in dima med posameznimi mestnimi področji. V predelu šol je bilo 58 % dni s koncentracijo SO₂ nad 150 µg/m³, v predelu javnih zgradb 45 % dni, v industrijskem predelu 44 % dni in v stanovanjskem predelu 20 % dni s koncentracijo nad 150 µg/m³.

V industrijskem predelu je bilo 25 % dni s koncentracijo nad 250 µg/m³, v predelu šol je bilo 25 % dni s koncentracijo nad 150 µg/m³, v predelu javnih zgradb 21 % dni in v stanovanjskem predelu 13 % dni s koncentracijo nad 150 µg/m³.

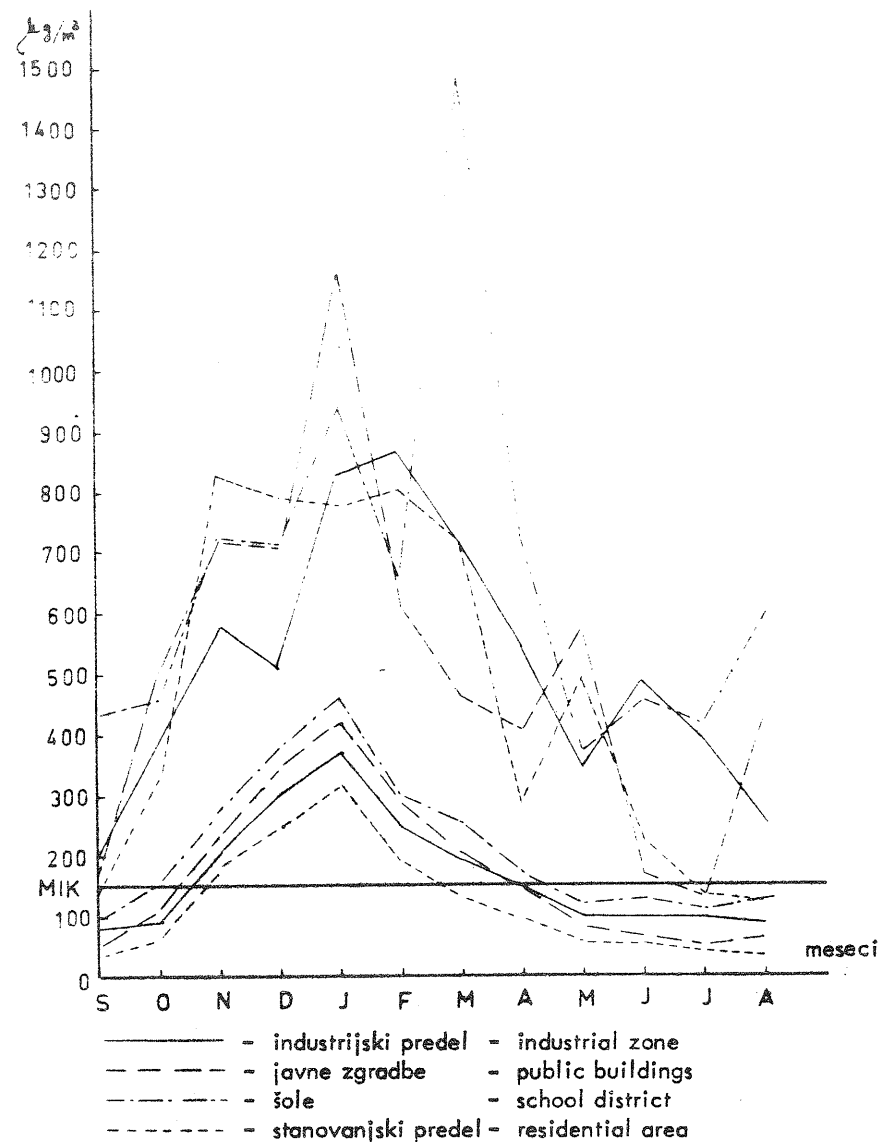
2. Pojavljajo se velike razlike koncentracij SO₂ in dima med poletnimi in zimskimi meseci. V mesecih novembru, decembru, januarju in februarju je bilo na vseh mernih mestih kar 83 % dni s koncentracijo SO₂ nad MIK po strožjem kriteriju. V mesecih maju, juniju, juliju in avgustu je bilo le 13 % dni s koncentracijo SO₂ nad MIK.

V mesecih novembru, decembru, januarju in februarju je bilo na vseh mer-
nih mestih 51 % dni, ko je bila koncentracija dima večja od MIK. V mesecih
maju, juniju, juliju in avgustu je bil le 1 % dni s koncentracijo nad MIK.

Vzrok za velike razlike koncentracij SO_2 in dima med poletnimi in zim-
skimi meseci je verjetno potrebno pripisati intenzivnejšemu kurjenju in neugod-
nim vremenskim pogojem pozimi.

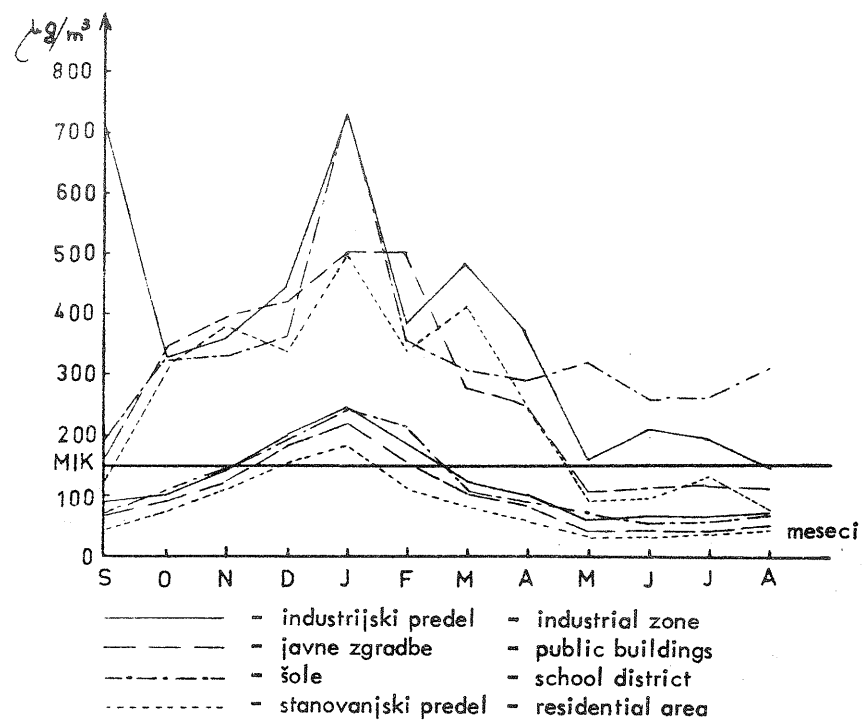
LITERATURA

- /1/ The Measurement of Atmospheric Pollution, Department of Scientific and
Industrial Research, H.M. Stationery Office, London 1957
- /2/ The Use of the Daily Instrument for Measuring Smoke and Sulphur Dioxide.
National Survey of Air Pollution, Department of Scientific and Industrial
Research, Stevenage 1961
- /3/ Mirka Fugaš, Mirjana Gentilizza, F. Valič, S. Verhovnik: Proučevanje
onečiščenja atmosfere na področju grada Zagreba - II. Odredjivanje kon-
centracije sumpornog dioksida i dima. Arhiv za higijenu rada i toksikolo-
giju, vol. 16, 1965, poseban otisak.



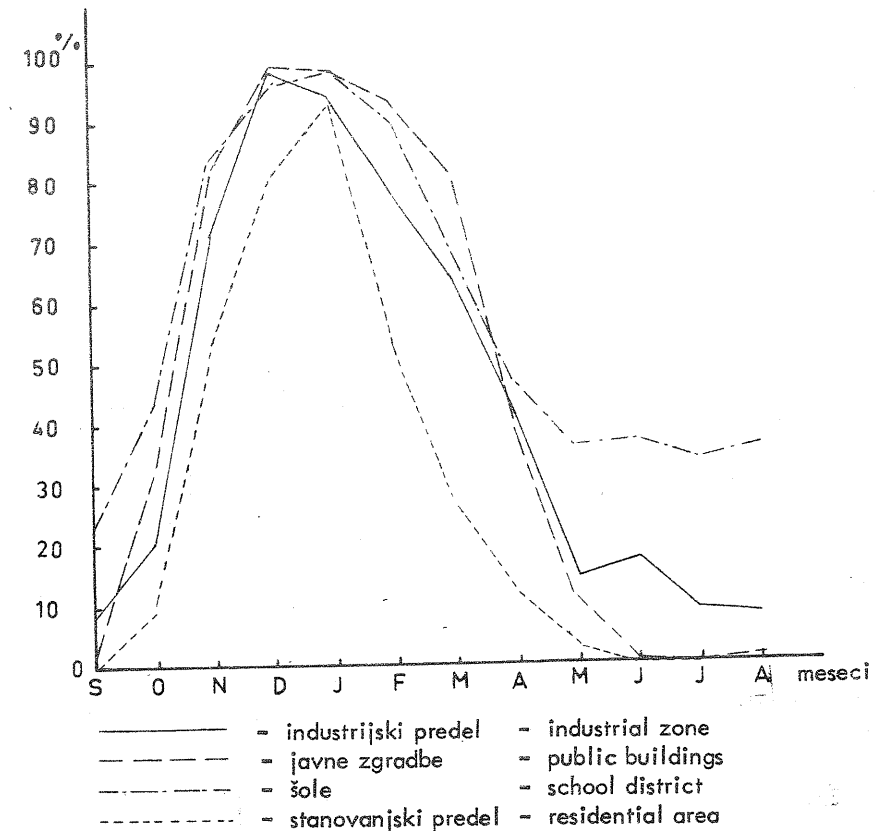
Slika 3 Letni potek srednjih in maksimalnih koncentracij SO_2 na različnih mer-
rilnih mestih za dobo 1965 - 1967

Fig. 3 Yearly course of mean and maximal concentrations of sulphur dioxide
on different locations during the period 1965 - 1967



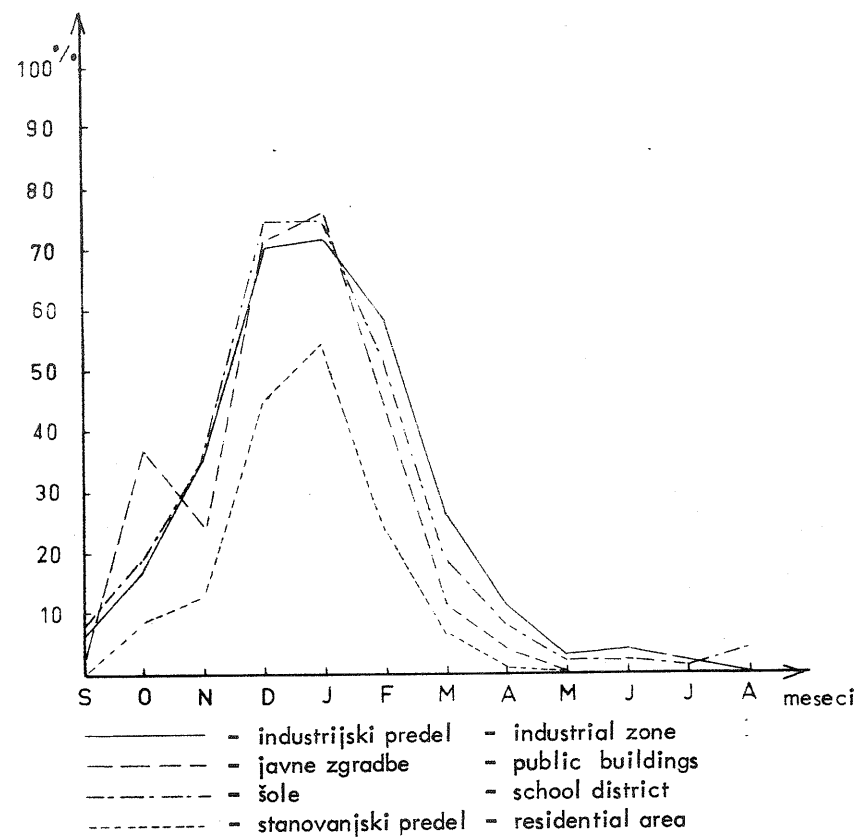
Slika 4 Letni potek srednjih in maksimalnih koncentracij dima na različnih merilnih mestih za dobo 1965 - 1967

Fig. 4 Yearly course of mean and maximal smoke concentrations on different locations during the period 1965 - 1967



Slika 5 Letni potek števila dni s koncentracijo SO₂ nad 150 µg/m³ na različnih merilnih mestih za dobo 1965 - 1967

Fig. 5 Yearly course of number of days with concentrations of sulphur dioxide above 150 µg/m³ on different locations during the period 1965 - 1967



Slika 6 Letni potek števila dni s koncentracijo dima nad $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na različnih merilnih mestih za dobo 1965 - 1967

Fig. 6 Yearly course of number of days with smoke concentrations above $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ on different locations during the period 1965 - 1967

METODA PRENOSA VELIKE MNOŽICE VEKTORJEV VREMENA NA HITRE
MEDIJE RAČUNALNIKOV

A METHOD FOR TRANSFER OF LARGE WEATHER VECTORS' POPULATION
TO HIGH SPEED INPUT MEDIA OF COMPUTERS

551.582.2 : 681.327.4/.6

A. HOČEVAR, M. JURGELE * in Z. PETKOVŠEK

Univerza v Ljubljani in

* Iskra Standard, Ljubljana

SUMMARY:

In this paper a method is given for transfer of large weather vectors' population (order of 10 millions) from low speed input media (cards) to high speed ones (magnetic tapes).

The program is written in FORTRAN IV language and transfers for instance, meteorologic data from cards to magnetic tapes in two-dimensional arrays, with dimensions 31 and 23. In such an array where data are packed if needed, to take as little space as possible, data are being gathered together for a whole month. If the month has less than 31 days, the array is completed with symbolic values.

The right time sequence of data is tested in such a way that the first and the last day of the month have to be on the right place of the time scale. The wrong time sequence and problems, connected with too many and not enough cards, are solved by the computer. Temporary arrays of same dimen-

sions are formed and completed by symbolic values. Detailed informations about them are printed on the printer. Thus mistakes can be eliminated later. The catching of the right time sequence again causes the transfer to follow the original schema without remarks (Fig. 1).

The problem with space started at the cards already. They could not be punched according to the numerical code of the computer but can be punched after additional code. Large numbers written in more than one column or other informations can be written in less columns with the help of rows, which aren't used in the numerical code of the computer. A suitable program for reading such informations was written and basic informations about it are given.

The final result of this work - a rational record of data on high speed input media - enables a quicker and cheaper further research on computers.

IZVLEČEK

Shema prenosa velike množice komponent vektorjev vremena (nekaj milijonov), ki je podana v tem delu, je zgrajena tako, da teče prenos brez zastojev ter da stroj upošteva in tudi sam rešuje možne nepravilnosti in jih signalizira. Vektorji so razporejeni v paketih po 31 krat n podatkov ter pakirani tako, da je prostor na hitrih medijih čim boljše izkoriščen. Poseben sistem omogoča čitanje kartic, ki so luknjane po posebnem kodu. Vse to omogoča, da je nadaljna obdelava podatkov z računalniki hitrejša in cenejša.

UVOD

Znanosti, ki se pri svojih raziskavah opirajo na velike množice podatkov, imajo dandanes vse večje možnosti za svoj razvoj. Med te vede spada tudi meteorologija. Medtem, ko so bile raziskave velikih množic podatkov še v pretekli dobi precej omejene zaradi počasnosti klasičnega načina dela, lahko podatke sedaj vsestransko obdelujemo z računalniki, seveda le, če so pripravljene tako, da jih stroj lahko tudi prečita.

Pri velikem številu podatkov - velikostnega reda deset milijonov, ki jih v meteorologiji ne redko kompleksno obdelujemo, pa možnost čitanja sama ni dovolj. Pojavlja se problem, kako hitro stroj podatke lahko čita in kako lahko z njimi ponovno in ponovno manipuliramo. Če so podatki na luknjanih karticah (ali na perforiranem traku), jih stroj sicer lahko čita, vendar gre tako čitanje sorazmerno počasi in je manipulacija s stotisoči kartic zelo neprikladna.

Čitanje 20.000 podatkov na minuto, kar je za klasično pojmovanje mnogo, je za velike množice podatkov še vedno prepočasno. Hitri mediji, kot sta magnetni trak ali disk, omogočata ob primernem sistemu stokrat hitrejši prenos. Zato je potrebno prenesti podatke s kartic ali trakov na te hitrejšo vhodno - izhodne medije; z njimi je delo mnogo hitrejšo, bolj prikladno in cenejše.

Ta prenos je v načelu sicer preprost. Če pa upoštevamo, da je možno:

- da podatki - kartice - niso v pravilnem časovnem zaporedju in jih lahko nekaj manjka ali jih je celo preveč,
- da hočemo imeti zapis na hitrem mediju zelo racionalen in tak, da bomo podatke lahko hitro urejali in kombinirali, ter
- da podatki na počasnih vhodnih medijih zaradi stiske s prostorom niso luknjani v direktno čitljivem kodu,

pa postane prenos podatkov s počasnih vhodnih medijev na hitre manj preprost problem in njegova rešitev je pogoj za uspešno nadaljnje delo. Prav reševanju tega problema pa je posvečeno to delo.

OSNOVNI PROGRAM

Osnovno vodilo glavnega programa, kadar gre za delo z veliko množico podatkov je to, da med delom ne sme priti do zastoja. Kljub veliki hitrosti dela lahko trajajo operacije z desetmilijonskimi podatki več ur. Zato morajo biti predvidene vse možne neregularnosti, ki jih mora računalnik sam sproti rešiti in nadaljevati z delom. Pri tem se mora držati osnovne sheme, obenem pa preiti neregularnosti, jih vključiti v osnovno shemo in obenem nanje tudi opozarjati. Le tako so možne kasnejše hitre in racionalne korekcije in ureditev celotnega materiala.

Drugo vodilo je obseg hitrega spomina uporabljanega računalnika. Pri delu z veliko množico podatkov je ta spomin sorazmerno majhen ter je nujno potrebno delo v ciklusih, kot je bilo to pri nas tudi v zvezi z reševanjem meteoroloških problemov že obravnavano za podatke s sinoptičnih postaj /1/. Klimatološke postaje dajejo dnevno manj, to je, okrog 70 komponent vektorja vremena, velikost spomina večjih sodobnih računalnikov, ki sme biti največ do tretjine zavzet s podatki, pa je okrog 30.000 besed. Glede na to je za kompleksne klimatološke obdelave, vključno prostorsko razporeditev, primeren ciklus oziroma "paket" podatkov za en mesec.

Vzemimo, da imamo na počasnih vhodnih medijih (n.pr. na karticah) vektorje vremena $a = a(x_1, x_2, \dots, x_n)$, ki so časovno in krajevno definirani. Te želimo spraviti na hiter vhodni medij v paketih dvodimenzionalnega polja, katerega ena dimenzija bo velikosti 31, kolikor je največ dni v mesecu, druga pa velikosti n, kolikor je komponent tega vektorja, to je, kolikor imamo

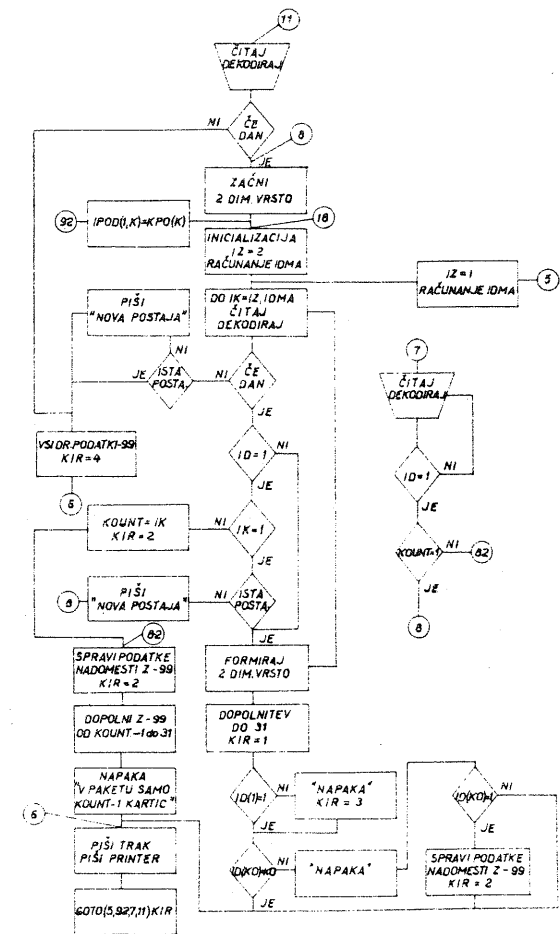
podatkov na dan. V vsakem takem paketu bo torej za en mesec podatkov, od katerih morata biti vektorja vremena vsaj za prvi in za zadnji dan na pravem mestu časovne premice. Podatki morajo biti za vse dni v mesecu. Za mesece, ki imajo manj kot 31 dni, se paket dopolni s simboličnimi vrednostmi. V primeru, da so te minimalne zahteve izpolnjene, bo tekel prenos gladko oziroma po osnovni shemi, sicer pa občasno po variantni. Šele ko bo prenos končan, je smiselno pričeti s celotno kontrolo datuma in vektorjev podatkov /1,2/ in z njihovim eventualnim kompletiranjem /3/ kot naslednjo stopnjo obdelave.

Vektorji vremena morajo biti zapisani na hitrem mediju po enotni shemi, možno pa je, da podatki, ki jih stroj čita, niso nizani v pravilnem časovnem zaporedju. Zato vključimo v program navodilo, kako naj računalnik izpiše odstop dejanske razporeditve podatkov od osnovne sheme. Paketi, ki so vedno dimenzij 31 krat n, so le pomožni, kadar so podatki neurejeni. Takih podatkov je praviloma malo, uredimo pa jih kasneje. Čim pride pri čitanju stroj spet na urejen material, mora iti prenos po osnovni shemi v redu naprej.

Shema poteka operacij z upoštevanjem zahtev v prejšnjem odstavku in možnosti za konkretno nalogo prenosa klimatskih podatkov z luknjanih kartic (po ena na dan za vsako postajo) na magnetni trak, je podana na sliki 1. Upoštevana je še informacija, da za mesec, za katerega vsi podatki manjkajo, ni kartic za vsak dan, ampak je samo ena za ves mesec, rubrika za dan na njej pa je prazna /4/.

Potek operacij je naslednji: Stroj čita prvo kartico. Če ni luknjana v direktno čitljivem kodu, jo najprej po podprogramu analizira, pretvori in nato posreduje v glavni program. Splošna rešitev tega problema je posebej podana v tretjem poglavju tega dela. Če je rubrika za dan prazna, napravi stroj paket 31 krat n simboličnih komponent ter začne čitati naslednjo kartico, kot da bi prejšnje sploh ne bilo. Če pa podatek za dan obstaja, formira iz podatkov te kartice prvo vrsto paketa, izračuna koliko dni ima tisti mesec ter toliko kartic tudi takoj prebere. Čitanje prekine, če naleti na datum 1, a o tem pozneje. Iz prebranih podatkov formira dvodimenzionalno polje ter ga dopolni do 31 krat n s simboličnimi podatki, če je dni v mesecu manj kot 31. Tako formirano polje v spominu prekontrolira glede na prvi in zadnji vektor in izpiše eventualne nepravilnosti oziroma odstopa od osnovne sheme (n.pr. "druga postaja", "v paketu je samo k=3 kartic" itd.). Nakar šele zapiše cela dvodimenzionalno zbirko na trak v enem paketu in kot en "record".

Stroj nato izračuna koliko dni ima naslednji mesec. Če je vse v redu, prečita toliko kartic, formira zbirko, jo po potrebi izpolni in spet zapiše na magnetni trak. Če prva brana kartica ni tudi prvi dan v mesecu in je prvi dan šele na kaki drugi kartici, recimo na deseti, stroj iz prvih devetih prebranih kartic napravi pomožen paket in opozori na napake, s podatki desete kartice - s prvim dnevom v mesecu pa začne nov paket, ki je dokončen, če je najprej vse v skladu z zahtevami programa in spet začasen, če ni.



Slika 1 Diagram poteka operacij

Fig. 1 Flow chart

Primer, da kartica prvega dne manjka, je rešen tako, da stroj po kontroli dvodimenzionalnega polja, za katerega je ugotovil, da ne vsebuje prvega dne, ob čitanju kartic vsako testira, če je na njej prvi dan. Čim pride do nje, napravi iz že prebranih kartic pomožen paket, s kartico prvega dne pa začne novo dvodimenzionalno polje oziroma nov paket. Vsako spremembo lokacije (številko postaje) nam da stroj po testiranju vsakega prvega dne v mesecu, ki jo izpiše na printerju skupno z vektorjem vremena za ta dan, kar je potrebno zaradi kontrole poteka operacij, ki kljub veliki hitrosti računalnika trajajo več ur.

Da bi zaščitili že prebrane in na magnetni trak prenešene podatke pred izgubo v primeru okvare računalnika ali izpada električne energije i.p., so leti združeni v posamezne enote, ki so med seboj ločene s posebno znamko - file mark. Pri morebitni okvari zato ni potrebno ponavljati čitanja vseh podatkov, ampak se z vključitvijo stikala na konzoli računalnika in z dodatno kartico /5/ preskoči vnaprej znano število enot zapisa na traku, saj je le to po zapisu vsakega file tiskano na linijskem printerju, nakar se prenos nadaljuje.

RACIONALIZACIJA PROSTORA

Magnetni trak ali disk sta hitra magnetna medija, ki omogočata sama po sebi največjo koncentracijo podatkov, vendar pa lahko z uporabo dodatnih trakov in sistemov zapišemo na tak medij deset in večkrat toliko podatkov kot brez njih. Pri veliki množici podatkov je to pomembno, saj lahko imamo na enem traku vse tisto, za kar bi jih sicer potrebovali deset. To pa je že zaradi prostora in prenosa, predvsem pa zaradi hitrejši ročne manipulacije velika prednost, ki je pri veliki množici podatkov ne smemo opustiti. Eden izmed tovrstnih posegov je pakiranje podatkov, drugi pa uporaba posebnih sistemov pisanja.

Vzemimo kot preprost primer, da je največje število decimalnega sistema, ki ga lahko zapišemo v prostor za besedo, šestmestno število

999999

Večina komponent vektorja vremena oziroma meteoroloških podatkov pa je eno ali dvomestnih (n.pr. oblačnost $x_7 = 4$, stanje tal $x_8 = 1$, smer vetra $x_9 = 27$ itd.), ki so v prostore za besede napisani takole:

b b b b 4 b b b b 1 b b b b 27

kjer pomeni b prazen prostor (blank). Vse te podatke lahko spravimo v prostor za eno samo besedo na primer takole:

b 4 b 1 2 7

in nova komponenta y_k ima vrednost 40127; z njo se je potreben prostor zmanjšal za faktor 3.

Postopek za tako pakiranje je zelo preprost in ga napišemo simbolično;

a za naš primer:

$$y_k = 10000 x_7 + 100 x_8 + x_9$$

kjer so x_7, x_8, x_9 pozitivna cela in največ dvomestna števila (integerji > 0).

Če tako pakirane komponente zapišemo na hitrejši medije, je teh torej lahko trikrat manj; v isti obliki pa gredo seveda ob čitanju nazaj v hitri spomin računalnika. Da dobimo spet prvotne podatke x_7, x_8, x_9 , ki so potrebni za nadaljnje delo, pa ne moremo preprosto po eksplicitnem zapisu enega izmed sestavin izločiti, ker vsebuje gornja enačba sedaj tri neznanke in ni rešljiva. Tu uporabimo lastnost računalnikov, da pri prenosu definirane integerje iz operativne enote v hitri spomin, vrednost, ki je za decimalno vejico, ignorira. Glede na to dobimo iz pakirane vrednosti y_k razpakirane komponente po enačbah, ki jih uporabimo po naslednjem vrstnem redu:

$$x_7 = y_k / 10000$$

$$x_8 = (y_k - 10000 x_7) / 100$$

$$x_9 = y_k - 10000 x_7 - 100 x_8$$

Negativnih vrednosti na ta način ne smemo pakirati, ker je pri razpakiranju predznak komponent nedoločljiv. Pomagamo si lahko tako, da vsem vrednostim take komponente vektorja prištejemo določeno pozitivno konstanto, ki je zagotovo večja od katerekoli negativne vrednosti te komponente. S tem dobimo same pozitivne vrednosti in lahko dalje ravnamo po gomjem načinu. Pri končni določitvi posameznih vrednosti konstanto seveda spet odštejemo. V izjemnih primerih je možno pakirati celo po več besed v eno samo in tako ustrezno zmanjšati zasedbo hitrega medija. Pri majhnem številu podatkov to ni smiselno, je pa zato tem bolj, če gre število podatkov v desetine milijonov oziroma tedaj, ko podatki presežejo obseg fizične enote medija.

Posamezni "record" - zapis na traku - sprejme v navadni obliki le so - razmeroma majhno število karakterjev = znakov (med 120 in 160), za njim pa ostane vedno 18 mm traku praznega, tako da je več traku praznega kot polnega. Zato je potrebno pri veliki množici podatkov uporabiti sistem, ki bo omogočal zapis celega paketa v en "record", s čemer je torej lukenj tridesetkrat manj. Pri našem delu na elektronskem računalniku CDC 3300 smo uporabili sistem BUFFER /5/ in s tem reducirali dolžino magnetnih trakov za faktor 4.

VREDNOTENJE DIREKTNO NEČITLJIVIH INFORMACIJ

Zaradi racionalizacije prostora, ki je pogosto potrebna tudi na počasnih medijih - karticah, so kartice včasih luknjane tako (na pr. z dodatnimi luknjami na posameznih pozicijah), da kombinacija luknjic ne ustreza nobenemu izmed numeričnih karakterjev računalnikovega koda. Taka dodatna kodiranc sporočila morajo biti, seveda, tako izbrana, da vrednosti enoumno določajo.

Obstajajo lahko za vsako kolono ali grupo kolon na kartici. Številke v posameznih kolonah ali grupah kolon so lahko identifikacijske količine (n.pr. dan, mesec, postaja) ali različne vrednosti (n.pr. pritisk, relativna vlaga na kartici Klima 1, oblačnost in vremenski pojavi na kartici Klima 2). Kodirni sistem je v našem primeru tako izbran, da pokličemo na pomoč enajsto in dvajseto horizontalno vrstico. Vse vrednosti na karticah Klima 1 in Klima 2 /6/ so numerične in so označene s kombinacijo števil od 0 do 9. Zaradi stiske razpoložljivega prostora se vrednosti, ki bi normalno zavzele več vertikalnih kolon, luknjajo na manj mestih, zato pa s pripadajočimi simboličnimi oznakami X, Y v vrstah 11 in 12. N.pr. vrednost 12,5, ki bi pri normalnem načinu zapisa zavzela štiri vertikalne kolone, se lahko zapiše v skrajšanem zapisu na dveh kolonah takole $\overset{x}{2}5$. Čitalec kartic v sklopu računalnika prebira kolono za kolono in vsako kombinacijo luknjanih mest prevede v svoj lastni računalniški kod na šestih binarnih mestih. Ta zapis ima svoje ime; Internal BCD zapis. Te prebrane veličine - karakterji so lahko v območju od $00_8 - 77_8$ in zavzemajo vse možne kombinacije, ki jih lahko zapišemo na šestih binarnih mestih. Številke zavzemajo spodnja mesta od $00_8 - 11_8$ (številke 0 do 9), ostali karakterji pa mesta od 11_8 navzgor. Vse vrednosti lahko razdelimo v tri grupe:

1. V tej grupi so vrednosti, ki so manjše ali enake 11_8 . To so čista števila in tiste, ki so enake 60_8 , to je neluknjanim mestom v koloni.
2. V tej grupi so vrednosti, ki so manjše ali enake 32_8 , a večje ali enake 21_8 . To so kombinacije luknjanih mest v horizontalnih vrsticah $0 + 12$, $1 + 12$, $2 + 12$, $3 + 12$, $4 + 12$, $5 + 12$, $6 + 12$, $7 + 12$, $8 + 12$, $9 + 12$. Te so v osnovnem kodu enake karakterjem + 0, A, B, C, D, E, F, G, H, I; lahko pa pomenijo n.pr., da so vrednosti, ki so tako označene, nezanesljive ali pa kakšno posebnost kodiranja.
3. V tej zadnji grupi so lahko karakterji večji ali enaki 41_8 , a manjši ali enaki 52_8 , to je enaki kombinacijam $0 + 11$, $1 + 11$, $2 + 11$, $3 + 11$, $4 + 11$, $5 + 11$, $6 + 11$, $7 + 11$, $8 + 11$, $9 + 11$. Te v osnovnem kodu pomenijo karakterje - 0, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, v našem kodu pa so to vrednosti, ki so večje od možnega zapisa veličine v pripadajočih kolonah, n.pr.

$$\overset{x}{2}5 = K5 = 12,5$$

$$\overset{x}{00} = -00 = 100$$

Ta porazdelitev preseje podatke v tri različne grupe in izloči kot napačne vse vrednosti, ki niso tako označene. Tako izloči n.pr. kombinacijo $\overset{3}{8}$, kajere pomen je nesmiseln, saj tretja in osma vrstica ne pomenita v osnovnem kodnem ključu numerično vrednost, niti ne karakter, ki bi padel v eno od zgornjih treh grup.

Stroj čita kartico postopoma, kolono za kolono, in posamezne podatke

razporedi v eno izmed treh dopustnih grup, če je podatek pravilen, sicer pa si v polju napak zapomni mesto, kjer je našel nepravilen karakter. Nato nadaljuje s čitanjem naslednje kolone po istem postopku vse do poslednje kolone na kartici. Čitanje kartice je tako končano. Sledi logična kontrola prečitanih podatkov, vendar le, če v polju napak ni nobene bistvene napake. Če pa je, se vsebina kartice izpiše skupno z oznako kolon, kjer so ugotovljene napake. Poleg tega pa se na luknjaču kartic napačna kartica duplira. Tako je tako kartico kasneje lažje popraviti, saj je ni potrebno iskati v osnovnem paketu. Logična kontrola preveri vse kolone drugo za drugo, če so pravilno izpolnjene in v skladu z uporabljenimi kodami luknjanja kartic /4/. Na primer: $\overset{x}{2}5$ za temperaturo suhega termometra je napačno, saj drugi x ne pomeni ničesar. Pri postopku logične kontrole je potrebno še upoštevati, da lahko nastopajo spremembe koda.

Vrednosti prebrane s kartice se tako zberejo v polju podatkov in so pripravljene za posredovanje v glavni program. V polju podatkov je morebitni manjkajoči podatek dopolnjen s simbolično vrednostjo, n.pr. 99 ali 88, odvisno od opazovalnega obdobja in navodil.

Prikazano celotno metodo prenosa velikega števila podatkov s počasnih vhodnih medijev (kartic) na hitre (magnetne trakove) smo uporabili pri meteoroloških podatkih. Podatke - cca 10 milijonov - za 38 postaj Slovenije, ki so na 400.000 karticah /6/, smo prenesli v paketih dimenzij 31 krat 23 na magnetni trak. Prenos je tekel praktično brez zastojev. Edine težave so povzročale fizično slabe kartice (zmečkane ali zaradi slabega luknjača slabo izluknjane kartice). Celoten prenos je trajal 9 ur in je omogočil, da bo vse nadaljnje delo s temi podatki skoraj 100 hitrejšo in preprostejše.

LITERATURA

- /1/ Hočevar A. in Z. Petkovšek: Koncept kompleksne meteorološke obdelave z elektronskim računalnikom in nekaj rezultatov za meglo na letališču Ljubljana - Brnik. Razprave - Papers XI. DMS. Ljubljana 1969
- /2/ Hočevar A.: Kontrola meteoroloških podatkov pri obdelavah z računalniki. Zbornik radova SHMZ. Beograd (v tisku)
- /3/ Petkovšek Z.: Sodobno kompletiranje meteoroloških podatkov. Zbornik radova SHMZ. Beograd (v tisku)

- /4/ Navodilo za vpisovanje klimatoloških podatkov v mehanografske ob-
razce. HMZ SRS. Ljubljana 1964 in 1966.
- /5/ Computer Systems Fortran, Reference Manual, Central Data Corpo-
ration. November 1968. Pub. no. 60057600 C.
- /6/ Arhiv klimatoloških podatkov SHMZ. Beograd.