

RAZPRAVE
PAPERS

Letnik 24

1

VSEBINA - CONTENTS

Stran

Z. Petkovšek:	Preizkus metode stagnacijskih obdobj za prognozo period visokega onesnaženja zraka	
	Test of the method of stagnation periods for forecasting high air pollution episodes	5
M. Sijerkovič:	Istraživanje nastupa lokalnog vjetera bure metodom mezoanalize	
	Investigation of the beginning of the local wind, the bora, by the mesoanalysis method	15
L. B. Kajfež:	Pogostnost in razkroj talnih in dvignjenih temperaturnih inverzij v treh krajih Jugoslavije	
	Frequency and destruction of ground-based and lifted inversions at three places in Yugoslavia	27
J. Rakovec:	Oblačnost in nekateri drugi parametri na štirih postajah v Evropi	
	Cloud amount and some other parameters at four stations in Europe	37

PREIZKUS METODE STAGNACIJSKIH OBDOBLJ ZA PROGNOZO PERIOD
VISOKEGA ONESNAŽENJA ZRAKA

TEST OF THE METHOD OF STAGNATION PERIODS FOR FORECASTING
HIGH AIR POLLUTION EPISODES

551.510.42:551.509.58

Zdravko PETKOVŠEK
Katedra za meteorologijo, VTO Fizika FNT, Ljubljana

SUMMARY

The stagnation-period method introduced by Lowry and Reiquam using an air pollution index, is tested here in some variations on the one year data for Ljubljana. Besides the surface meteorological data, the temperature at the 850 mb level above Ljubljana and data from the nearest hill 300 m above the bottom of the basin are taken into account. The air pollution data which are the basis for the determination of stagnation periods are taken from two observation points: Bežigrad (near the town centre) and Vižmarje (rural).

The treatment presented includes two methods of comparison: the first using tables with a time-scale, and the second via correlation coefficients. According to the criteria that the daily values of pollution exceed the mean value of the treated period, the stagnation period is defined; the tables (like that in Fig. 1) include basic stagnation periods (O_{SO}) and distinct values of different elements, and indexes composed from them for two separate four-month periods of the wintertime. From these data similar comparative stagnation periods (P_{SO}) are formed. The comparison technique is based on the percentage determination of cases in which the basic and comparison periods are in agreement.

The second method of comparison is based on correlations between concentrations of SO_2 at each of the two stations and meteorological parameters, their combinations or sums of values in stagnation periods. Eleven series of calculations using computers were performed and in Table 2 some such indexes are presented that give high correlations. Evidently some correlations are very high and could be used as a forecasting tool for air pollution episodes if later research on longer sets of data confirm their representativeness.

POVZETEK

Metodo stagnacijskih obdobij, ki sta jo vpeljala Lowry in Reiquam z uporabo indeksa onesnaženja, smo tu preizkusili z različnimi variantami indeksov na podatih enoletne dobe za Ljubljano. Razne te indekse in vsote, ki so tvorjene iz njih v posameznih stagnacijskih obdobjih, primerjamo s koncentracijami SO₂ v zraku po določenih kriterijih; v prvem delu ob tabelah zaporednih razporeditev, v drugem pa prek korelacijskih koeficientov.

UVOD IN OSNOVE METODE

Poseben pristop proučevanja onesnaženja zraka v kakem kraju ali na kakem področju z namenom, da bi prišli do možnosti prognoze period visokega onesnaženja zraka, je prek t.i. "stagnacijskih obdobij".

Stagnacijsko obdobje predstavljajo zaporedni dnevi, v katerih so dnevne koncentracije nekega polutanta neprekinjeno nad določeno mejo. Pogosto se vzame, da je ta meja poprečna koncentracija (\bar{C}) izbranega polutanta za določeno obdobje, npr. 1 leto. Toda v krajih, kjer so spremembe koncentracij po sezonah zelo velike (kot so npr. pri nas koncentracije SO₂), in so pomembne le v zimski dobi /1/, je smiselno vzeti dobo za računanje poprečja le zimске tri ali štiri mesece.

Določimo zato "osnovno stagnacijsko obdobje" (O_{SO}) za zaporednimi dnevi, v katerih so izmerjene koncentracije SO₂ večje od njihovega štirimesečnega poprečja ($C > \bar{C}$). V nizu dni, ki ga proučujemo, dobimo takó obdobje oz. osnovna stagnacijska obdobja, ki trajajo 1, 2, 3 in več dni ter dejansko predstavljajo nekajdnevne periode sorazmerno visokih dnevni koncentracij onesnaženja z SO₂.

Pojavljanje in trajanje teh osnovnih stagnacijskih obdobij primerjamo z istočasnostjo in trajanjem t.i. primerjalnih obdobij (P_{SO}), ki jih tvorimo na podoben način nekaterih meteoroloških količin ali njihovih kombinacij, za katere menimo, da so v povezavi s pojavljanjem visokih koncentracij onesnaženja zraka. To je smiselno tedaj, ko so metode prognoziranja teh količin ali parametrov bolj znane ali preprostejše kot neposredne prognoze onesnaženja in bi se tako lahko uporabile za prognozo visokih koncentracij polutanta ali njegovih stagnacijskih period. Take količine so npr. veter, padavine, razne temperaturne razlike ali temperaturna stratifikacija oz. stabilnost ter iz njih izvedeni razni parametri ali indeksi. Z vsakim od teh lahko tvorimo že omenjena primerjalna stagnacijska obdobja.

Statistične metode in že izdelani programi za računalnike nam omogočajo med drugim tudi izračun korelacij med osnovnimi in primerjalnimi obdobji. Visoki korelacijski koeficienti - kjer so dovolj reprezentativni - pa nato opravičujejo postopek posredne prognoze osnovnih stagnacijskih obdobij ali samih visokih koncentracij onesnaženja po ustreznih elementih ali njihovih kombinacijah oz. indekseh.

Tako sta npr. Lowry in Reiquam /2/ definirala indeks onesnaženja, ki ga tu v prevodu in bolj splošno zapišemo

$$I = (T_p - T_o)_N + (T_p - T_o)_D + K \quad (1)$$

kjer so: T_p temperatura zraka na neki pritiskovi ploskvi, T_o temperatura zraka pri tleh, N - ob času nočne radiosondaže (OO GMT) in D - ob času dnevne sondaže (12 GMT). V njuni enačbi je p = 900 mb in je K prava konstanta (K = 14) ter je tudi s številko zapisana.

Očitno sloni njun indeks na vertikalnih temperaturnih razlikah, ki do neke mere ponazarjajo stabilnost atmosfere v spodnji plasti; dodala pa sta konstanto 14, da so bile v področju, ki sta ga proučevala in ob stagnacijskih obdobjih SO₂, vrednosti indeksa pozitivne (I > 0) in sta te vrednosti tudi seštevala. Vsota vrednosti indeksov I za neko stagnacijsko obdobje, naj bi ponazarjala akumulacijo onesnaženja v zraku. Ker pa se izpad SO₂ z naraščanjem koncentracije hitro večja /3/, je taka postavka kar preveč groba in celo naivna.

Glede na svojo definicijo indeksa in dodatne vplive vetra in padavin na zmanjšanje koncentracij onesnaženja ali na zaključek nekega stagnacijskega obdobja, sta Lowry in Reiquam postavila kriterije: konec stagnacijskega obdobja je tedaj, ko je zadovoljeno vsaj enemu od naslednjih pogojev:

$$\begin{aligned} I &\leq 0 \\ v &\geq v_m \quad (\text{npr. } v_m = 3 \text{ m/s}) \\ R &\geq R_m \quad (\text{npr. } R_m = 1,3 \text{ mm}), \end{aligned} \quad (2)$$

kjer je v hitrost vetra pri tleh in je R dnevna količina padavin.

PREIZKUS METODE ZA LJUBLJANO PREK TABEL

V načelu privzemamo pojem in metodo stagnacijskega obdobja po Lowryju in Reiquamu zavedajoč se, da v kotlinskih razmerah njun indeks ne more dati najboljših rezultatov. Glavni vzrok temu so znane zaporne plasti močnih temperaturnih inverzij, ki zlasti pozimi zelo pogosto ločujejo kotlinsko atmosfero hladnejšega zraka od višjih zračnih plasti. Zato temperaturne razlike med tlemi in kako izobarno ploskvijo, ki je znatno višja od zaporne plasti, ne morejo predstaviti stvarne stratifikacije /4/. Naša najnižja standardna izobarna ploskev 850 mb, ki je še ca. 500 m više od 900 milibarske in je na višini okrog 1500 m. Je torej pet- ali večkrat višja od glavne zaporne plasti večine kotlin in Ljubljanske. Kolikor zato delamo z indeksom po enačbi (1), je pri nas p = 850 mb in so temperature T_p določene iz temperaturnih polj na tej ploskvi nad Ljubljano.

O _{SO}	TV8	N	D	DT	TV28	C _{Bež.}	C _{Viž.}	TV32
309	-8.0	-4.0	-6.4	-0.8	-18.4	0.18	0.07	0.
310	-9.5	-4.0	-5.6	-1.4	-19.1	0.16	0.06	0.
311	-10.9	-2.9	-2.4	-0.9	-16.2	0.11	0.05	4.8
312	-10.9	-4.6	-4.9	-0.8	-20.1	0.08	0.01	0.9
313	-8.8	-4.8	-10.7	-1.6	-24.3	0.16	0.04	0.
314	-7.2	-2.7	-3.4	0.1	-13.3	0.19	0.07	7.7
315	-7.6	-3.1	-5.0	0.2	-15.7	0.23	0.07	5.3
316	-9.3	-0.8	-6.4	-0.3	-16.5	0.11	0.03	0.
317	-8.4	-3.4	-6.1	-2.1	-17.9	0.14	0.05	0.
318	-9.3	-3.3	-8.7	-2.3	-21.3	0.10	0.04	0.
319	-9.0	-4.0	-5.2	-2.2	-18.2	0.06	0.06	0.
320	-7.4	-5.4	-11.4	-2.2	-24.2	0.21	0.14	0.
321	-7.4	-6.9	-10.6	-3.4	-24.9	0.21	0.13	0.
322	-4.7	-5.7	-6.8	-1.7	-17.2	0.35	0.12	3.8
323	-5.7	-7.2	-9.9	-2.7	-22.8	0.20	0.12	0.
324	-5.7	-8.7	-10.2	-4.7	-24.6	0.15	0.10	0.
325	-1.4	-4.9	-9.9	-2.4	-16.2	0.14	0.04	0.
326	-3.5	-3.5	-5.1	-2.5	-12.1	0.15	0.08	8.9
327	-3.4	-3.4	-7.0	-2.1	-13.8	0.20	0.08	7.2
328	-1.8	-4.3	-6.4	-2.6	-12.5	0.23	0.11	8.5
329	1.2	-3.3	-11.0	-0.3	-13.1	0.29	0.10	7.9
330	-4.0	-3.5	-4.7	-4.0	-12.2	0.21	0.11	8.8
331	0.6	-3.9	-5.2	-4.2	-8.5	0.24	0.15	12.5
332	2.6	2.6	-1.6	4.6	3.6	0.26	0.15	24.6
333	-1.2	-0.2	-4.5	0.8	-5.9	0.27	0.23	15.1
334	1.2	3.2	-2.5	3.4	1.9	0.28	0.11	22.9
335	0.	2.5	-7.2	0.	-4.7	0.17	0.09	0.
336	-9.6	-7.6	-8.9	-9.6	-26.1	0.14	0.02	0.
337	-9.9	-5.4	-4.4	-9.9	-19.7	0.14	0.02	0.
338	-4.3	-2.8	-6.3	-4.3	-13.4	0.19	0.06	0.
339	-1.4	-3.4	-2.6	-1.4	-7.4	0.20	0.26	0.
340	-0.7	-2.2	-3.1	-0.7	-6.0	0.28	0.10	0.
341	-0.2	-3.2	-4.6	-0.2	-8.0	0.37	0.21	0.
342	-0.9	-1.9	1.7	-0.9	-1.1	0.30	0.14	0.
343	-3.2	-0.7	-3.6	-3.2	-7.5	0.32	0.	0.
344	-0.1	1.4	0.2	-0.1	1.5	0.52	0.19	22.5
345	-3.6	0.4	0.6	-3.6	-2.6	0.25	0.	0.
346	-0.4	-3.4	-7.3	-0.4	-11.1	0.33	0.13	0.
347	2.7	-3.8	-4.7	2.7	-5.8	0.44	0.18	15.2
348	4.8	-2.7	-4.4	4.8	-2.3	0.77	0.35	18.7
349	5.2	-2.3	-3.2	5.2	-0.3	0.83	0.43	20.7
350	6.4	0.4	-0.4	6.4	6.4	0.86	0.41	27.4

Slika 1 Izsek tabele s prikazom osnovnih in primerjalnih stagnacijskih obdobij. Legenda je pri tabeli 1; dodatno: N je za prvi in D za drugi člen enačbe (1)

Fig. A part of the table showing basic and comparative stagnation periods. Legend is with Table 1. N is for the first and D for the second part of Eq.(1)

Dvom v neposredno uporabo prvotnega indeksa v naših razmerah in želja po iskranju ustrežnejših količin ali kombinacij, ki bi po tej metodi le privedle do visokih korelacij z onesnaženjem, nas je vodila, da smo v obsežno statistično obdelavo vključili vrsto meteoroloških elementov in poskušali z različnimi variantami in razširitvami enačbe (1). Tako smo dobili vrsto količin in indeksov, za katere smo primerjali njihova posebna in osnovna stagnacijska obdobja in pozneje računali korelacije med njimi in izmerjenim onesnaženjem z SO₂ v Ljubljani za Bežigradom in v Vižmarjih.

Osnova za primerjave so bili podatki meteoroloških parametrov in onesnaženja za leto 1976 /5/, pri čemer pa smo zaradi nepomembnosti poletne dobe glede onesnaženja zraka z SO₂, obravnavali le prve štiri in zadnje štiri mesece tega leta - torej dve povsem ločeni štirimesečni dobi.

Pri obravnavi ob tabelah smo definirali in določili osnovno stagnacijsko obdobje O_{SO} za vsako štirimesečno dobo posebej z dobo zaporednih dni ob pogoju, da so bile koncentracije SO₂ v obeh merskih točkah (za Bežigradom in v Vižmarjih) hkrati večje od povprečja vsake štirimesečne dobe. Na tabeli, katere del je prikazan na sliki 1, označuje O_{SO} sklenjena debela črta na skrajni levi strani slike. Pri tem primerjamo nato po datumih istočasnost pojavljanja O_{SO} in P_{SO} primerjalnih elementov ali količin in njihovih kombinacij, ki so enako kot za O_{SO} izračunane in tabelirane z računalnikom.

Po navedenih kriterijih dobimo v prvih treh mesecih prve dobe (v četrtem mesecu nič več!) devet dva ali več dni trajajočih osnovnih stagnacijskih obdobij; ob koncu leta v novembru in decembru (v septembru in oktobru spet nič!) pa šest obdobij. Primer izseka iz obsežnih tabel primerjanih količin je prikazan na sliki 1. Pri primerjavi O_{SO} in P_{SO} po tabelah delamo tako, da določimo ujemanje $U = 1$, če nastopata ali če ne nastopata obe primerjani obdobja hkrati; za dneve, ko eden nastopa in drugi ne ali obratni, pa je $U = 0$. Za vsako štirimesečno obdobje posebej potem preprosto izračunamo odstotek dni ujemanja za vsako kombinacijo P_{SO} in O_{SO}. Najvišje odstotke ujemanja kažejo količine, ki so zapisane v zgornjem delu tabele 1.

Tabela 1 Odstotki ujemanja nekaterih primerjalnih količin ali indeksov z osnovnimi stagnacijskimi obdobji za dve dobi leta 1976

Table 1 Percentage of agreement of some comparative quantities or indexes with the basic stagnation periods for two time intervals in 1976

primerjalna količina	prvi štirje meseci	zadnji štirje meseci
TV 8	74	81
TV 28	76	80
TV 32	78	72
TV 67	78	76
TV 13	53	38
TV 19	69	60

Pri tem so:

TV 8 dnevna razlika temperatur zraka pri tleh za Bežigradom ob 01^h: T (prejšnji dan) - T (danes)

TV 28 indeks onesnaženja po en. (1) za $K = TV 8$

TV 32 indeks onesnaženja po en. (1) za $K = TV 8 + 21$

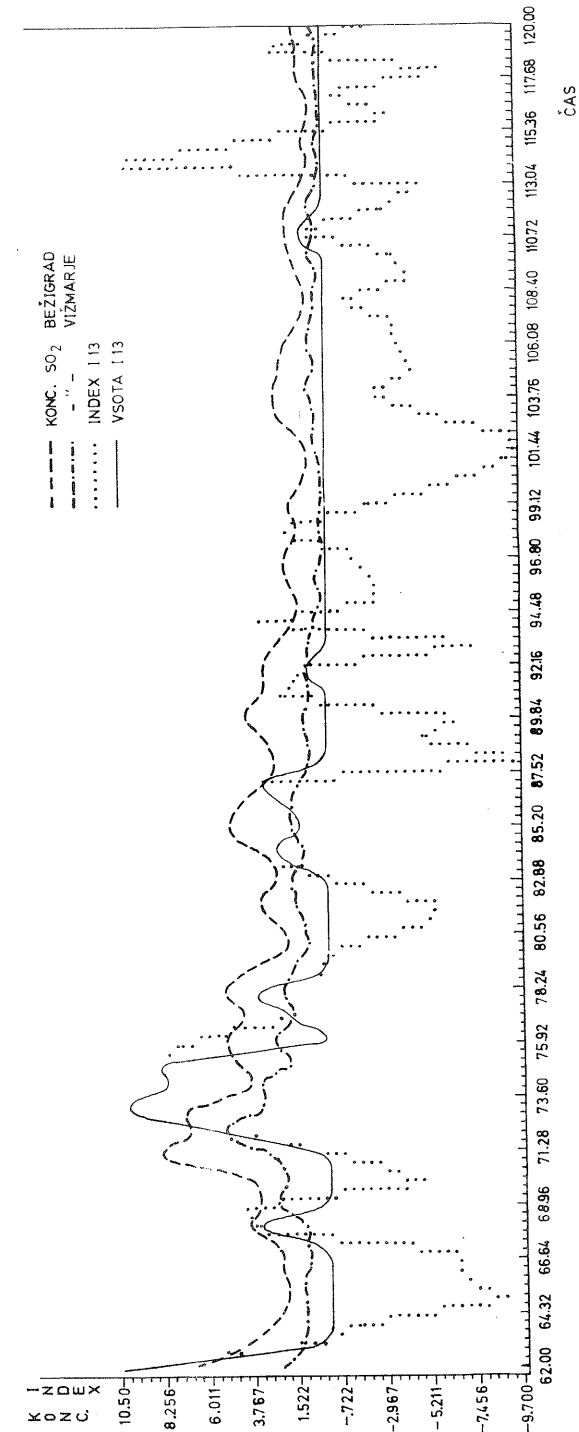
TV 67 razširjen indeks onesnaženja določen z $I = TV 28 + 19 + DT + LA$ pri čemer je DT razlika temperatur na Šmarni gori in v Ljubljani ob 01^h in LA razlika teh temperaturnih razlik glede na prejšnji dan

TV 13 hitrost vetra za Bežigradom ob 01^h

TV 19 hitrost vetra za Bežigradom ob 13^h

Visoke vrednosti v zgornjem delu tabele nas ne smejo zavesti in so lahko (glede na sorazmerno kratko zajeto dobo) tudi dokaj naključne. Težko je namreč najti prepričljivo fizikalno razlago za močno soodvisnost 24-urnih razlik polnočnih temperatur in onesnaženja zraka z SO_2 , ko se obenem pojavljajo precej nižje povezave s hitrostmi vetra pri tleh. V samem zadnjem primeru je razlaga lažja: vetrovi v Ljubljani pri tleh so itak šibki /6/, njihova poprečna hitrost je majhna in zato tudi majhni odkloni od tega poprečja ne morejo biti reprezentativni ali pomembni za spremembo koncentracij onesnaženja z SO_2 pri tleh.

Ujemanje, ki smo ga opisali in prikazali v tabeli 1, je določeno s primerjavo po posameznih dneh neodvisno. Pri indeksih pa lahko tvorimo njihove vsote, ki naj bi predstavljale že omenjeno akumulacijo onesnaženja. Zato smo programirali tako, da je računalnik tudi "izrisal" celoten potek spreminjanja koncentracij SO_2 za Bežigradom in v Vižmarjih skupaj z vrednostmi indeksa in indeksovih



Slika 2 Izmerjene koncentracije SO_2 za Bežigradom (---), v Vižmarjih (-.-), indeks onesnaženja (···) in njegove vsote (—) za marec 1976 v relativnih skalah

Fig 2 Measured concentrations of SO_2 at Bežigrad (---), at Vižmarje (-.-), pollution index (···), and sums (—) for March 1976; scale is relative

vsot po stagnacijskih obdobjih. Primer tega prikaza za indeks po enačbi (1) za $K = 13$ je prikazan na sliki 2. Prav iz pozitivnih vrednosti vsot so razvidna primerjalna stagnacijska obdobja, določena z danim indeksom. Že vizualna primerjava potekov teh stagnacijskih obdobj kaže, da ujemanje indeksa in vsot s potekom koncentracij na posameznih merskih postajah ni posebno dobro.

RAČUNANJE KORELACIJSKIH KOEFICIENTOV

Z uporabo statističnega programa STATJOB /7/ smo računali korelacijske koeficiente za korelacije med stopnjo onesnaženja zraka z SO_2 na obeh merskih postajah Bežigrad in Vižmarje in med indeksi, njihovimi vsotami in meteorološkimi elementi. Tu smo zaradi preprostejšega dela obravnavali ločeno štiri dvomesečna obdobja in ne dve štirimesečni, kot doslej.

Pri takem statističnem delu se pokažejo širše možnosti raznih variant, ki jih lahko grupiramo takole:

1. Spreminjanje indeksa onesnaženja po enačbi (1) s spreminjanjem konstante in dodajanjem novih členov,
2. Spreminjanje pogojev, ki povedo, kdaj se začne ali konča neko primerjalno stagnacijsko obdobje s spreminjanjem mejne vrednosti indeksa, meje za veter in meje za padavine,
3. Spreminjanje mejnih vrednosti pri tvorjenju vsot indeksov, ker ima vsak dan svojo vsoto, ki je le prvi dan obdobja enaka indeksu samem.

Ko dobimo skupino korelacij, nam njihova analiza pokaže, v katero smer je smiselno iskati nove kombinacije, da bi dobili boljše korelacije. Tako smo izvedli skupaj 11 serij obsežnih obdelav. Količine in kombinacije, ki so dale v posameznih obravnavnih dobah sorazmerno visoke korelacije z izmerjenimi koncentracijami, so prikazane v tabeli 2. Za primerjavo so v spodnjih delih pri posameznih dobah, navedene tudi korelacije z vrednostmi nočnih in dnevnih temperatur za Bežigradom, čeprav dajejo včasih nizke korelacijske koeficiente.

Iz tabele 2 sledi, da v celoti korelacijski koeficienti med posameznimi dobami tudi za enake primerjalne količine precej variirajo. To je gotovo tudi zato, ker zajemajo obdelave samo enoletno dobo. Tudi ugotovitve zato verjetno niso splošno veljavne, vendar opozarjamo na nekatere značilnosti, ki sledijo iz celotne obdelave in te korelacijske tabele.

Kljub posameznim precejšnjim razlikam v korelacijah z meritvami za Bežigradom in v Vižmarjih, je že poprečje korelacij za obe merski mesti okrog 0,61 in razlika ni značilna, zato bi v bodoče glede tega verjetno zadostovalo eno mersko mesto.

Tabela 2 Korelacije med izmerjenimi koncentracijami SO_2 ter: indeksi ali njihovimi vsotami (ki kažejo visoke korelacije) ali temperaturnimi vrednostmi za Bežigradom ob 01. in 13. uri. Drugi simboli so taki kot pri tabeli 1

Table 2 Correlations between measured concentrations and indexes, or their sums (for high correlations only), or temperatures at Bežigrad at 01 and 13 CET. Other symbols the same as in Table 1

		Bežigrad	Vižmarje
I. doba: januar-februar (2 obdelavi)			
Indeks za $K = 0$,60	,63
Indeks za $K = DT$,66	,65
Vsota indeksov za $K = 11$,66	,68
T_B ob 01 ^h		-,16	-,45
ob 13 ^h		,09	-,21
II. doba: marec-april (4 obdelave)			
Indeks za $K = TV 8$,80	,77
$I = (T_p - T_o)_N + DT + TV 8$,84	,75
Indeks za $K = LA + TV 8$,83	,75
T_B ob 01 ^h		-,77	-,78
ob 13 ^h		-,41	-,49
III. doba: september-oktober (2 obdelavi)			
Indeks za $K = 0$,61	,71
Vsota indeksov za $K = 11$,73	,66
Vsota indeksov za $K = 21 + TV 8$,77	,72
T_B ob 01 ^h		-,63	-,75
ob 13 ^h		-,50	-,68
IV. doba: november-december (3 obdelave)			
Indeks za $K = TV 8 + LA$,78	,57
Vsota indeksov za $K = 10 + TV 8 + LA$,70	,49
Vsota indeksov za $K = 11 + TV 8 + LA$,69	,45
T_B ob 01 ^h		-,78	-,72
ob 13 ^h		-,76	-,45

Najvišje korelacije za razne indekse se pojavljajo v II. dobi (marec-april) in glede na koncentracije za Bežigradom presegajo vrednost 0,80 ter bi kot take torej lahko bile dober prognostični pripomoček. Le malo nižje so nekatere v III. in IV. dobi, medtem ko so v prvi dobi skoraj vse pod praktično prognostično vrednostjo.

Korelacije koncentracij s samimi temperaturami so v celoti precej nižje, vendar so znatno višje tiste za nočni od tistih za dnevni čas. Korelacije z drugimi elementi so bile še nižje. Iz tega očitno sledi, da je uvedba indeksov vendarle znaten korak k izboljšanju prognoze onesnaženja zraka z SO₂ po takšni statistični metodi.

Ko dobo na razpolago podatki za daljše dobo, bo mogoče tako iz manj obsežnega niza primerjalnih količin, to je, izmed prikazanih indeksov ali vsot, ki dajo visoke korelacije, izbrati najprimernejšega in ga operativno uporabljati kot preprosto pripomoček pri prognozi onesnaženja zraka z SO₂ ali njegovih stagnacijskih obdobjih.

Iz vsega sledi, da dajo nekatere variante teh metod včasih zelo dobre rezultate, da pa je treba za končno izbiro indeksa ali kombiniranega prognostičnega parametra, ki bo ustrezal našim razmeram in bo splošno veljaven, obdelati znatno daljši niz podatkov. To bo možno v bližnji prihodnosti, ko bodo vsi potrebni podatki za večletno dobo pripravljene za računalniško obdelavo.

LITERATURA

- /1/ Met. Zavod, Zavod za varstvo pri delu in Zavod za zdravstveno varstvo SRS: Onesnaženje zraka v Ljubljani, Ljubljana 1970-78.
- /2/ STERN A.S. et al: Fundamental of Air Pollution, Academic Press, London 1973
- /3/ NILU: Cooperative Technical Programme to Measure the Long-Range Transport of Air Pollution, Kjeller 1973
- /4/ PETKOVŠEK Z.: Model for the Evaluation of Mean Emission Potential of the Air Pollution with SO₂ in Basins, Archiv Met. Geoph. Biokl., Ser. B. 26, Wien 1978
- /5/ Arhiv podatkov Meteorološkega zavoda SRS, Ljubljana
- /6/ ČEPAR D.: STATJOB - jezik za statistične obdelave, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana 1974

Zahvaljujemo se abs. D. Kuharju za ureditev podatkov in izvedbo računalniškega programa.

ISTRAŽIVANJE NASTUPA LOKALNOG VJETRA BURE METODOM
MEZOANALIZE

INVESTIGATION OF THE BEGINNING OF THE LOCAL WIND, THE BORA,
BY THE MESOANALYSIS METHOD

551.555.4

Milan SJERKOVIĆ
Republički hidrometeorološki zavod SR Hrvatske, Zagreb

SUMMARY

The objective of this paper is research on the local wind known as the Bora beginning at the Adriatic sea-coast. For this investigation the mesoanalysis method, mainly based on hourly mesomaps, was used. The method is applied to a typical case of the Bora on the northern Adriatic coast. The analysis uncovered the characteristic differences in time, as well as in the manner of the appearance of the Bora. They depend on the topographical and orographical circumstances and also on the characteristic synoptic situation. It is characteristic that in a very short time interval after the appearance of the Bora (less than ten minutes) the mean speed can increase by more than a factor of two and the wind can change its direction by more than 45° .

POVZETEK

V članku je opisano raziskovanje začetka pojava lokalnega vetra - burje v Jadranskem primorju. Uporabili smo metodo mezoanalize, ki ima za osnovo predvsem urne mezokarte. Metoda je prikazana na enem karakterističnem primeru burje na severnem Jadranu. Analiza je pokazala, da se pri nastanku burje kažejo stalne razlike, tako v času, kakor v načinu njenega nastanka, kar je odvisno od topografskih in orografskih značilnosti okolice in tudi od sinoptičnih razmer. Pomembno je, da se lahko srednja hitrost vetra v zelo kratkem času po nastanku burje dvakrat poveča, smer pa spremeni tudi za več kot 45° .

UVOD

Bura je najpoznatiji i najjači lokalni vjetar u našim krajevima. Pojavljuje se na cijelom primorju kao poseban oblik polja vjetra, što nastaje uslijed djelovanja primorskih planina na kretanje hladnog zraka koje je usmjereno od unutrašnjosti prema Jadranu. Bura ima izrazito fiziološko djelovanje, a zbog velike jačine i naglosti pojave nerijetko prouzroči štetu i predstavlja opasnost u područjima gdje najčešće i najjače puše.

Zbog takvih osobina, bura je odavno predmet proučavanja velikog broja znanstvenika. Velika većina istraživanja provedena je klimatološkim i sinoptičkim metodama i omogućila su mnoge korisne spoznaje o tom značajnom lokalnom vjetru. Međutim, unatoč tome, još nisu dovoljno poznate brojne pojedinosti o načinu pojave bure, o njezinim promjenama u toku vremena, kao i karakteristike prostorne raspodjele bure i meteoroloških elemenata u toku njezina trajanja. Takva se saznanja mogu dobiti gotovo isključivo primjenom metoda mezoanalize, budući da bura prema svojim razmjerima spada u karakteristične atmosferske sisteme srednjih razmjera. U nas takvih istraživanja dosad nije bilo.

Neki mezosistemi povezani s burom otkriveni su pomoću drugih metoda, kao što je to pokazano u radovima Čadeža /1,2/, Lukšića /3/, Makjanića /4/, Paradiža /5/, Yoshinoa i suradnika /7/.

U radu Sijerkovića /6/ prvi put u nas definirana je metoda mezoanalize za istraživanje lokalnih vjetrova, što pruža mogućnost da se i bura proučava na taj način.

U ovom je radu, pomoću navedene metode mezoanalize, istražen nastup bure na sjevernom Jadranu u jednoj karakterističnoj vremenskoj situaciji.

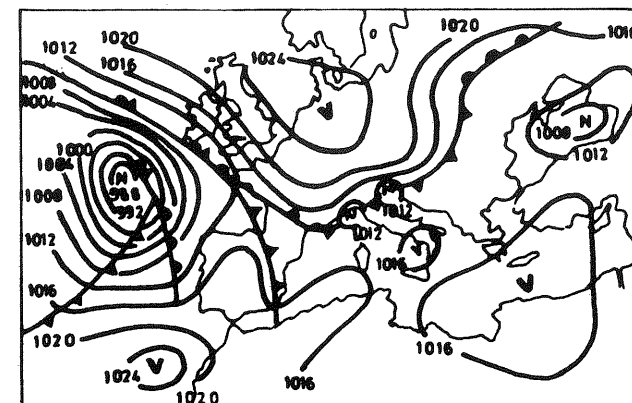
NASTUP BURE NA SJEVERNOM JADRANU

Karakteristike makrovremenske situacije

Za uočavanje osobitosti nastupa bure odabrana je vremenska situacija dana 12.X.1973. godine, koja je karakteristična za veliki broj pojava bure na Jadranu, pa stoga rezultati njezina istraživanja mogu imati općenitije značenje. Na sl. 1 i 2 prikazana je makrovremenska situacija neposredno prije početka bure na Jadranu.

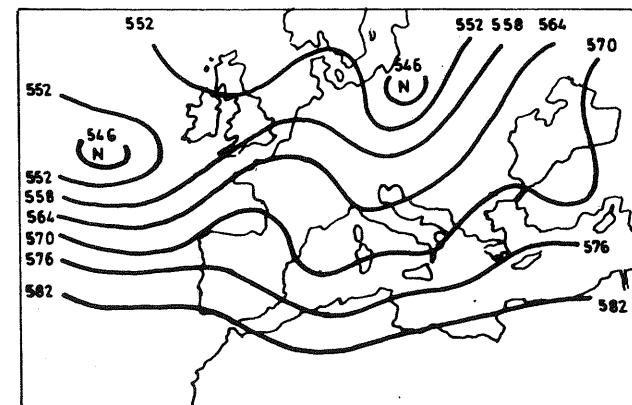
Bura je bila posljedica prodiranja maritimne polarne zračne mase, koje se glavnina kretala preko sjeverne i srednje Evrope na istok, što se uočava i prema položaju visinske ciklone na području Poljske. Manja količina hladnog zraka došla je i u zapadno Sredozemlje, uz stvaranje sekundarnih ciklona na polarnoj fronti. Pokretna anticiklona, stvorena u hladnoj zračnoj masi, premiještala se preko srednje Evrope na istok. U daljnjem toku vremena, hladna je fronta prešla preko naših krajeva, a sekundarna ciklona kretala se duž Jadrana. Prodiran-

je hladnog zraka bilo je praćeno jačanjem utjecaja anticiklone i pojavom bure na Jadranu.



Slika 1 Prizemna sinoptička karta, 12.X.1973, 13^h SEV

Fig. 1 Surface synoptic map, 12.X.1973, 1200 GMT



Slika 2 Karta AT 500 mbara, 12.X.1973, 13^h SEV

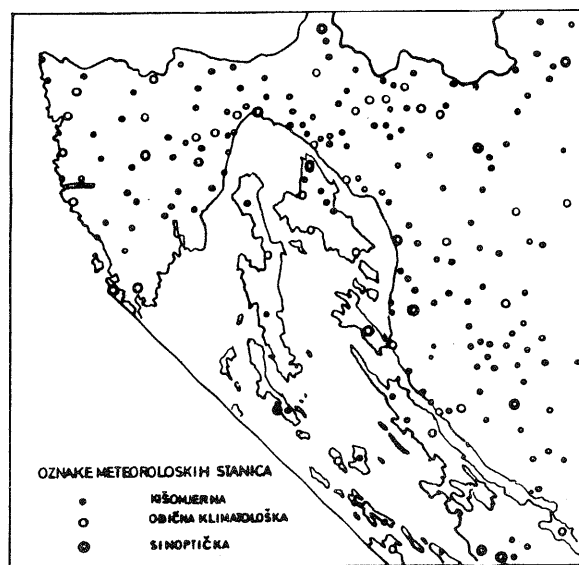
Fig. 2 500 mbar map, 12.X.1973, 1200 GMT

Područje mezoanalize

Pojava bure istraživana je na području sjevernog Jadrana, koje je poznato prema najčešćem puhanju bure u nas, kako je to pokazano i u radu /7/. Na izbor područja mezoanalize utjecalo je i to, što se tu nalazi najveći broj anemografa na našoj obali i razmjerno gusta mreža meteoroloških stanica s češćim motrenjima i registratorima najznačajnijih meteoroloških elemenata.

Da bi se dobila cjelovitija slika o pojavi bure, analiza je provedena na širem području, koje obuhvaća i dio unutrašnjosti Hrvatske (slika 3).

Na promatranom području postojalo je ukupno 210 meteoroloških stanica, od kojih 15 glavnih meteoroloških i 35 običnih meteoroloških, s 11 anemografa, 17 barografa i 21 termografa. Barografi i termografi bili su sa sedmodnevnim hodom. Mreža meteoroloških stanica, napose registriranih instrumenata, nije bila ravnomjerne gustoće i nije pružala optimalne uvjete za provođenje mezoanalize.



Slika 3 Područje mezoanalize s položajem meteoroloških stanica

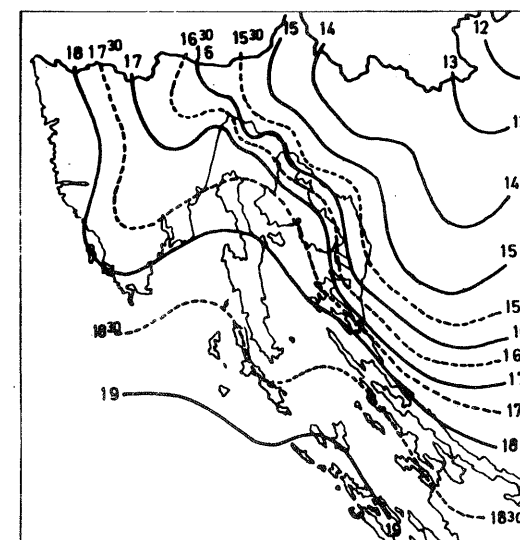
Fig. 3 Area for mesoanalysis with the position of meteorological stations

Analiza početka pojave bure

Vrijeme početka bure i način njezine pojave značajni su elementi svake bure i napose imaju značenje za lokalnu prognozu vremena. Premda su te karakteristike bure uvelike ovisne o općoj vremenskoj situaciji koja uvjetuje njezinu pojavu, može se pretpostaviti da će i na razmjerno malim područjima biti, u sličnim makrovremenskim situacijama, karakterističnih razlika, ovisno o položaju i topografskim prilikama.

Vrijeme nastupa bure može se pratiti pomoću izohrona. Izohrone se za ovu svrhu konstruiraju, kako je to pokazano u radu /6/, na temelju anemografskih podataka i drugih motrenja u mreži meteoroloških stanica. Pri tome se kao vrijeme nastupa bure smatra trenutak skretanja vjetrova na neki od smjerova iz sjeveroistočnog kvadranta, uz istovremeni porast brzine.

Na sl. 4 izohrone u unutrašnjosti pokazuju vrijeme skretanja vjetrova na sjeverne smjerove, što je pratilo prodiranje hladnog zraka.



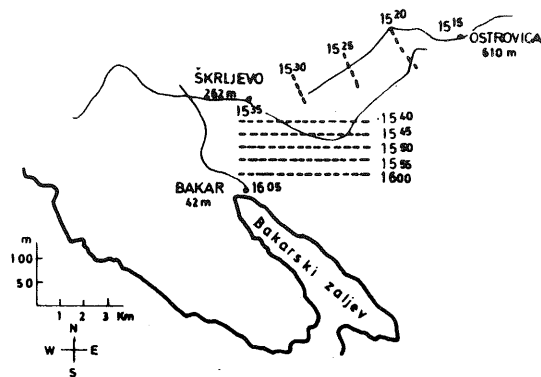
Slika 4 Izohrone prodora hladnog zraka i nastupa bure

Fig. 4 The isochrones of the cold air out-break and the beginning of the Bora

Na temelju opće orijentacije izohrona može se zaključiti da je prodiranje hladnog zraka, što je dovelo do pojave bure na Jadranu, bilo sa sjeveroistoka prema jugozapadnom dijelu područja. Položaj izohrona u najsjevernijim krajevima ukazuje na brzo premještanje hladnog zraka. U južnijim, planinskim krajevima

unutrašnjosti kretanja hladnog zraka bilo je usporeno, što je prema Čadežu/2/u vezi sa stvaranjem tzv. zona zastoja na navjetrenim stranama gorja.

Taj se utjecaj osjeća i u planinskim sedlima. Od Ostrovice do Bakra, zračne udaljenosti od oko 11 km, bilo je potrebno oko 50 minuta vremena između pojava bure u ta dva mjesta, što znači da se hladan zrak u tom dijelu područja kretao brzinom od oko 13 km na sat, dok je brzina vjetra skoro odmah nakon početka bure bila dvostruko veća.



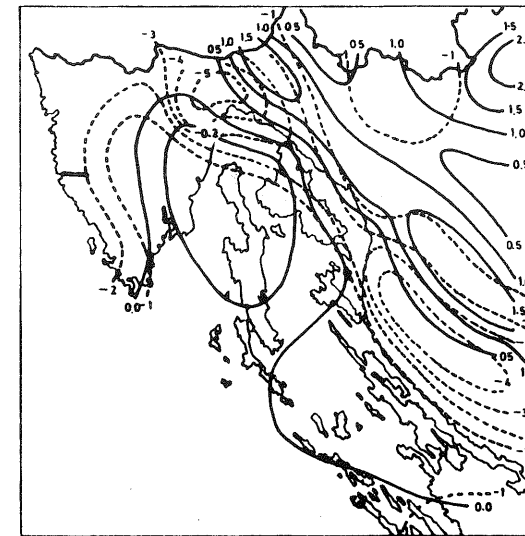
Slika 5 Nastup bure na presjeku Bakar-Škrljevo-Ostrovica

Fig. 5 Onset of the Bora on the cross-section Bakar-Škrljevo-Ostrovica

Na karakterističnom presjeku (sl. 5), s prikazom topografije terena u okolici Bakra (u smjeru S-N), Škrljeva i Ostrovice (u smjeru W-E), označen je shematizirani položaj izohrona nastupa bure u tom planinskom prijevoju.

Značajna je spoznaja, kad je riječ o vremenu pojave bure na promatranom području sjevernog Jadrana, da bura pokazuje karakteristične razlike u vremenu nastupa. Najprije se pojavila kraj Senja, a samo kratko vrijeme kasnije u sjevernom dijelu Riječkog zaljeva. Dakle, bura je najprije zapuhala ispod istaknutih prijevoja u tom dijelu Dinarskog gorja. Uočena je pojava u skladu s očekivanjem da će hladan zrak iz unutrašnjosti najprije prodirati preko nižih dijelova planinskog sustava.

Daljnje kretanje hladnog zraka, što je uzrokovalo pojavu bure, može se pratiti na kombiniranoj satnoj mezokarti međusatnih odstupanja tlaka ($p_0 - p_{-1}$; puna linija) i temperature zraka ($t_0 - t_{-1}$; crtkana linija) u 17^h (sl. 6).

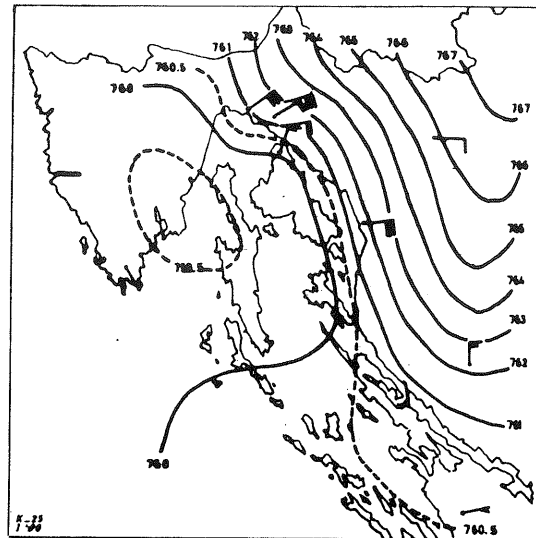


Slika 6 Kombinirana satna mezokarta međusatnih odstupanja tlaka i temperature, 12.X.1973, 17^h SEV

Fig. 6 The combined hourly mesomap of the pressure and temperature inter-hourly differences, 12.X.1973, 1600 GMT

Zamjećuju se dvije jezgre hladnog zraka. Jedna od njih nalazila se iznad sjevernog dijela Riječkog zaljeva i na sjeveroistoku Istre, odakle se premiještala na jugozapad. To se događalo dosta sporo, tako da je u Puli bura nastupila gotovo dva i pol sata kasnije u odnosu na krajeve koji su najprije bili zahvaćeni burom.

Druga jezgra hladnog zraka nalazila se u području Like, ispod sjevernih obronaka Velebita, koji je uzrokovao karakterističnu zonu zastoja, tako da je bura u Karlobagu, ispod planinskog prijevoja u južnom dijelu Velebitskog kanala, počela skoro istovremeno kad i na krajnjem jugu Istre. Međutim, podatak da je bura u Rabu, samo 28 km jugoistočno od Senja, nastupila oko dva i pol sata kasnije, ukazuje na mogućnost postojanja drugog razloga za zakašnjenje nastupa bure u jugoistočnom dijelu područja.

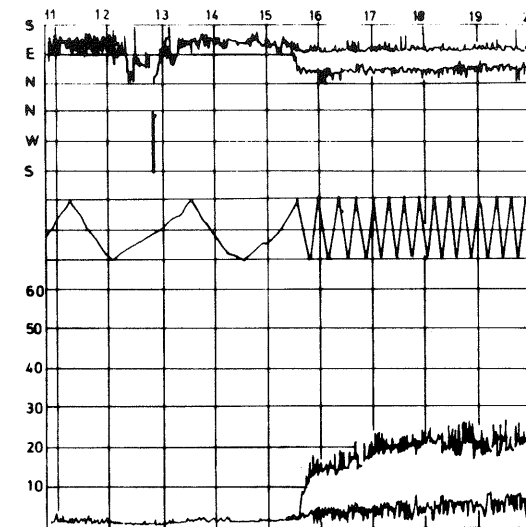


Slika 7 Kombinirane satne mezokarte tlaka i vjetra, 12.X.1973, 17^h i 18^h SEV
 Fig. 7 The combined hourly pressure and wind mesomaps, 12.X.1973, 1600 and 1700 GMT

Na sl. 7 uočava se prisutnost mezociklone u sjevernom Jadranu, čije je središte u toku jednog sata promijenilo svoj položaj od istočne obale Istre, prema jugozapadu, do južnog dijela Kvarnerića. To je premještanje mezociklone, koja

na redovitim sinoptičkim kartama nije bila uočena, vjerojatan razlog kasnijem nastupu bure u jugoistočnom dijelu promatranog područja. S druge strane, zanimljivo je zamijetiti da je bura u sjevernom dijelu područja puhala dok su se ti krajevi nalazili na prednjoj strani bliske mezociklone.

Daljnje pojednosti o nastupu bure i načinu njezine pojave mogu se dobiti na temelju analize anemografskih podataka. Ta je analiza pokazala da se bura na sjevernom Jadranu pojavila naglo i da su se u kratkom intervalu vremena dogodile značajne promjene vjetra. To se može uočiti i na isječku anemografske trake u Senju na početku pojave bure (sl. 8).

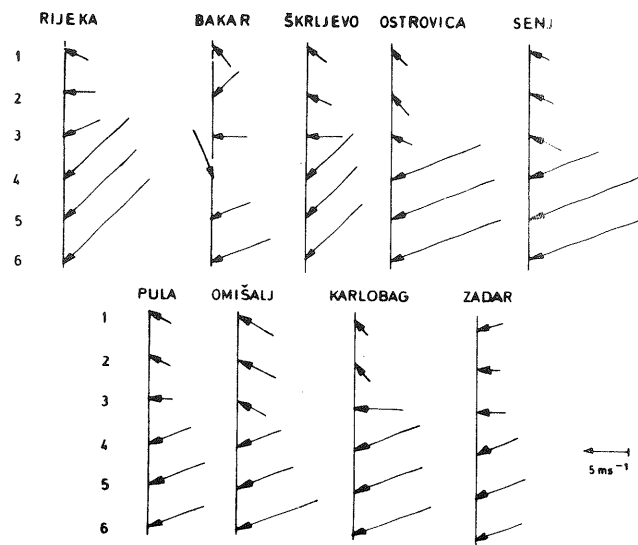


Slika 8 Isječak anemografske trake u Senju, 12.X.1973

Fig. 8 Copy of anemogram in Senj, 12.X.1973, 11-20 hours; indicated onset of the Bora

Na temelju anemografskih traka izvršena je analiza smjera i brzine vjetra u desetminutnim intervalima, u toku jednosatnih razdoblja koji sadrže prvih pola sata puhanja bure i pola sata prije desetminutnog intervala u kojem je bura postala prevladavajući vjetar. Podaci o tome prikazani su na sl. 9, na kojoj je strelicom naznačen prevladavajući smjer vjetra, dok je brzina vjetra predočena odgovarajućom duljinom strelice.

Na gotovo svim meteorološkim stanicama promjena je vjetra, u toku pola sata prije početka bure, bila postupna, uz skretanje vjetra suprotno od kretanja kazaljke na satu. Većinom je uočeno skretanje vjetra sa SE smjera, preko ESE i E, na smjer bure, ali je i u tome bilo stanovitih razlika. Na nekim je stanicama prijelaz na buru uslijedio nakon postojanog prethodnog smjera i dosta nag-



Slika 9 Desetminutne promjene vjetra pri nastupu bure

Fig. 9 Ten minute interval wind changes at the onset of the Bora

lo, tako da se promjena smjera od 45° ili veća dogodila u toku jednog desetminutnog intervala.

Na većini stanica opažen je manji porast brzine vjetra prije nastupa bure. Sa skretanjem vjetra na buru srednja je brzina osjetno porasla, u prosjeku 2-3 puta.

ZAKLJUČAK

Analiza jednog tipičnog slučaja bure na području sjevernog Jadrana pokazala je da se i na takvom, razmjerno malom području uočavaju karakteristične razlike u vremenu i načinu njezina nastupa.

Bura se najprije pojavila na onom dijelu obale koji se nalazi ispod nižih planinskih prijevoja u Dinarskom gorju, i to kraj Senja i u sjevernom području Riječkog zaljeva. Drugdje je nastupila znatno kasnije, što je bilo uvjetovano kretanjem hladne zračne mase u dva smjera, prema području Istre i prema Velebitu, kao i premještanjem mezociklone sa zapada prema istočnom dijelu sjevernog Jadrana.

Prije pojave bure uočeno je skretanje vjetra, većinom u suprotnom smjeru od kretanja kazaljke na satu, uz slab porast brzine. Nakon nastupa bure srednja je brzina vjetra porasla 2-3 puta, a promjena smjera od 45° ili veća dogodila se ponegdje u toku jednog desetminutnog intervala.

Rezultati analize vjerojatno nemaju općenitije značenje. Oni prije svega ukazuju na to da se primjenom metoda mezoanalize mogu dobiti vrlo korisni podaci o osobitostima nastupa bure, što je doprinos boljem poznavanju naravi, kao i lokalnoj prognozi tog značajnog vjetra.

LITERATURA

- /1/ ČADEŽ, M., 1948: Jezera hladnog zraka. Hidrometeorološki glasnik 1, SUHMZ, Beograd
- /2/ ČADEŽ, M., 1964: Vreme u Jugoslaviji. PMF u Beogradu-Meteorološki zavod, Rasprave 4
- /3/ LUKŠIĆ, I., 1969: Interesantan slučaj bure u Senju 9.XII.1968. "Vijesti" Hidrometeo. službe SRH, 3-4, Zagreb
- /4/ MAKJANIĆ, B., 1970: O dnevnom hodu bure. Jugosl. akad. znan. i umjetnosti, Rasprave, III ser., No. 16, Zagreb
- /5/ PARADIŽ, B., 1957: Burja v Sloveniji. 10 let HMS, Hidrometeo. zavod LR Slovenije, Ljubljana
- /6/ SIJERKOVIĆ, M., 1976: Istraživanje lokalnih vjetrova u Hrvatskoj metodom mezoanalize. Magistarski rad, Zagreb
- /7/ YOSHINO, M.M., i suradnici, 1976: Local Wind Bora. University of Tokyo Press

POGOSTNOST IN RAZKROJ TALNIH IN DVIGNJENIH TEMPERATURNIH
INVERZIJ V TREH KRAJIH JUGOSLAVIJE

FREQUENCY AND DESTRUCTION OF GROUND-BASED AND LIFTED
INVERSIONS AT THREE PLACES IN YUGOSLAVIA

551.524.4

Lučka B. KAJFEŽ

VTOZD Agronomski oddelek BF, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani

SUMMARY

Ground-based and lifted inversions are especially important in basins, where their atmosphere is often separated from the free atmosphere by strong temperature inversions. Development and destruction of these inversions occur in a different manner from that of the development and destruction of inversions over flat terrain.

Tethered balloon sounding was used to collect vertical temperature profiles at three sites in Yugoslavia. Frequencies and time distribution of inversions below 600 m, (i.e. ground-based), lifted, and both inversions at the same time are given. Some examples of inversion destruction and their main characteristics are considered for Sarajevo, Maribor and Stanežiče near Ljubljana.

POVZETEK

Talne in dvignjene inverzije so pomembne predvsem v kotlinah, kjer spodnjo plast ozračja pogosto loči od proste atmosfere močna temperaturna inverzija. Razvoj in razkroj teh inverzij se pojavljata v kotlinah na drugačen način kot nad ravnino.

Za meritve vertikalnih temperaturnih profilov so uporabili sondiranje s privezanim balonom v treh mestih: Sarajevo, Maribor in Stanežičah pri Ljubljani. Podani sta pogostost in časovna porazdelitev inverzij pod 600 m, to je talnih, dvignjenih in obojih inverzij hkrati.

UVOD

Temperaturne inverzije so v splošnem zelo pogost naravni pojav. V zvezi z visokimi koncentracijami onesnaženja so še zlasti v razgibanem reliefu, kot so alpske in predalpske doline in kotline, pomembne prizemne, to so talne in dvig-

njene temperaturne inverzije. Talne inverzije, ki imajo spodnjo mejo na tleh, pogosto enačimo z radiacijskimi inverzijami, ki nastajajo zaradi ohlajevanja zemeljskega površja, ki je posledica dolgovalovnega sevanja zemeljske površine. Najpogosteje nastajajo ob mirnem vremenu v jasnih nočeh, pozimi pa nastajajo tudi podnevi, če je površina prekrita s snegom. Običajno dosežejo višine nekaj deset metrov, redkeje nekaj sto metrov. Lahko nastanejo tudi z advekcijo toplega zraka nad hladno podlago. Dvignjene inverzije nastajajo na več načinov in sicer z razkranjem talne nočne inverzije po sončnem vzhodu, zaradi advekcije toplega zraka nad hladno podlago ali pa zaradi subsidence zraka.

Z radiacijskimi prizemnimi inverzijami se je ukvarjalo precej avtorjev. Pučnik /6/ in Petkovšek /4/, /5/ sta se ukvarjala s pogostnostjo in lastnostmi prizemnih inverzij v naših kotlinah, Lončarjeva /3/ je obravnavala inverzije v prizemnih plasteh v Zagrebu. Zanimive so tudi študije Bernhardta /1/ in Hoslerja /2/, ki navajata podatke za NDR in ZDA. Veliko avtorjev se je ukvarjalo tudi s proučevanjem nastanka in razkroja inverzij z matematičnimi modeli, katerih bistvo so prognostične enačbe v obliki algebranih zvez, ki so dobljene s številnimi poenostavitvami. Omenimo naj modela Yamade /9/ in Tennekesa /7/, ki dajeta dobre rezultate nad ravnino.

Splet pogojev, ki odločajo o nastanku in razkroju inverzije v razgibanem reliefu, je bistveno drugačen od tistega nad ravnino. Nad ravninami se inverzije razkrajajo, ko se konvektivno premešana plast zraka po sončnem vzhodu debeli. Rast višine te plasti in naraščanje temperature v plasti sta posledica divergence toka energije, tudi s penetrativno konvekcijo. V kotlinah pa se pojavi poleg konvektivno premešane plasti zraka ob tleh, ki se kontinuirano debeli, še spuščanje zgornje meje inverzije. Iz prvotne talne inverzije dobimo obliko dvignjene inverzije. Po meritvah Whitemana /8/ je za razkorj inverzije v kotlini vsekakor pomembnejše spuščanje zgornje meje plasti inverzije kot rast višine konvektivno premešane plasti. Po sončnem vzhodu se namreč zaradi sončnega obsevanja ustvarijo na dnu in na prisojnih pobočjih tanke plasti zraka s superadiabatnim temperaturnim gradientom, v katerih se sprožijo pobočni vetrovi ali konvekcija, ki na posameznih mestih predre v zgoraj ležečo stabilno zračno maso. Posledica tega je vstopanje zraka iz stabilne plasti v toplejšo spodaj ležečo plast. Zaradi nestisljivosti se mora torej zgornja meja inverzije spuščati. Ta proces se ves dan nadaljuje, stabilna plast se vse bolj krči, pobočni vetrovi se še krepijo, dokler se inverzija ne razkroji. Bistvena značilnost razkroja inverzije v kotlini je prav v prej opisanem odtoku zraka iz dna kotline s pobočnimi vetrovi prek nagnjenih pobočij.

TEMPERATURNE INVERZIJE V TREH NAŠIH KRAJIH

Temperaturne inverzije so na področju naših krajev vsakodneven pojav. Glede na vzroke nastanka so najpogostejše radiacijske inverzije, ki se pojavljajo večinoma kot talne in dvignjene inverzije ter subsidenčne inverzije, ki so večinoma inverzije v višini.

Pri študiju temperaturnih inverzij lahko uporabimo temperaturne krivulje, ki so jih izmerili na HMZS z vezanim balonom volumna 4 m^3 , napolnjenim z vodikom, ki je nosil temperaturno sondo - termistor firme Bendix. Za našo analizo smo uporabili podatke za tri jugoslovanske kraje - Sarajevo, Maribor in Stanežiče pri Ljubljani, nekaj analiz pa nam je na voljo tudi za druge naše kraje /10/.

V tabeli 1 imamo poleg časa in števila meritev podano tudi število inverzij in njihovo relativno pogostnost. Največ meritev imamo na voljo za Sarajevo, ki prav tako kot v Mariboru zajemajo zimsko obdobje. Merjenj je več v nočnih urah, ki so čas formiranja in razvoja radiacijskih inverzij in zato je število primerov povsod precejšnje. Pripomnimo naj, da je velika relativna pogostnost inverzij v Mariboru, ki je sicer bolj prevetren kot obe kotlini in so v splošnem inverzije tam manj izrazite, deloma pogojena tudi z vremenskimi situacijami, ki so vladale v obdobju meritev. Kot bomo videli pozneje, so v Mariboru prevladoval dvignjene inverzije, ki niso nastale z radiacijskim ohlajanjem tal.

Za analizo pogostnosti posameznih tipov inverzij moramo upoštevati odvisnost pojavljanja inverzij od dnevnega časa. Zato prikazujemo v tabeli 2 časovno razporeditev števila meritev in relativne pogostnosti posameznih vrst inverzij za posamezne kraje. Izbrali smo 4 časovne intervale po šest ur. Pri podatkih tabele 2 moramo za vsak kraj upoštevati tudi vremenske situacije v obdobju merjenj, ki nedvomno povzročijo dodatne razlike med posameznimi kraji. Tako npr. vidimo iz podatkov HMZS, da v Sarajevu v obdobju merjenj ni bilo izrazitih anticiklonalnih situacij, ki so ugodne za nastanek radiacijskih talnih in dvignjenih inverzij ob razkroju talnih. Relativna pogostnost je zato v Sarajevu nekoliko nižja od pričakovane, pa tudi časovna razporeditev je v primerjavi s Stanežičami, ki ravno tako ležijo v kotlini, drugačna. Tudi visoka relativna pogostnost dvignjenih inverzij v časovnem intervalu od 00 do 06 potrjuje, da je prevladoval v času meritev advektivni tip vremena. Razmeroma visoka relativna pogostnost talnih inverzij v primerjavi z dvignjenimi v intervalu od 18 do 00 sicer kaže, da so se formirale talne radiacijske inverzije po sončnem zahodu, vendar so bile dokaj neizrazite in niso presegale višine 150 metrov. V nadaljevanju noči so se velikokrat razkrojile, pojavile pa so se dvignjene inverzije v višinah od 200 do 300 metrov.

Tudi v Mariboru se dvignjene inverzije pojavljajo v vseh časovnih intervalih, in to relativno precej pogosto. Podobno kot v Sarajevu, so zajemale anticiklonalne situacije le nekaj dni, prevladovala so ciklonalne situacije s stratusno oblačnostjo, večkrat je tudi rosilo ali rahlo deževalo. Dvignjene inverzije tako niso bile samo posledica razkroja talnih inverzij, marveč tudi advekcije toplega zraka pred prihodom tople fronte. Tako je npr. relativna pogostnost talnih in dvignjenih inverzij v intervalu od 00 do 06 enaka. Talne inverzije so spet prevladovala v času po sončnem zahodu, v intervalu od 18 do 00.

Bistveno drugačno sliko dobimo v Stanežičah, kjer je velika večina inverzij po nastanku radiacijskih in kjer prevladujejo talne inverzije v vseh obdobjih, razen v intervalu dopoldanskih ur, ko se talna inverzija po sončnem vzhodu razkrajajo in preide v dvignjeno inverzijo. To potrjuje tudi relativna pogostnost primerov istočasnih talnih in dvignjenih inverzij v intervalu od 06. do 12. ure. Glede na

zimski čas je razumljiva tudi nekoliko visoka relativna pogostnost inverzij v obdobju od 12. do 18. ure, saj se v hladnem obdobju leta pojavijo talne inverzije že pred sončnim zahodom. Talnih inverzij je največ v nočnem času, ko dvignjenih inverzij praktično ni. Vse to je posledica anticiklonalnih vremenskih situacij s pretežno jasnim nebom.

Talne inverzije, ki so nastale v večini primerov v navedenih krajih zaradi radiacijskega ohlajanja, so dosegale različne višine. Izrazito močne inverzije z vertikalnim gradientom do 8 K/100 m ponavadi niso presegle višine 50 m. Maksimalne višine talnih inverzij so bile v navedenih krajih med 300 in 350 m, povprečne vrednosti pa niso presegle 200 m. Glede na vremensko situacijo prevladujejo v Sarajevu nizke inverzije v obeh delih dneva z redkimi izjemami, nekako do višine 150 m. V Mariboru in Stanežičah se inverzije pojavljajo izraziteje vse do višine 250 m. Podobne rezultate dobimo tudi za druga mesta /10/, za Gorenjo vas npr. Petkovšek /4/ ugotavlja maksimalne pogostnosti višin inverzij v nižjih plasteh, okrog 100 m in niže.

Dvignjene inverzije v obravnavanih krajih so nastale na več načinov. Tiste, ki so nastale z razkrojem talne inverzije so trajale malo časa. Trajale so nekaj ur in so se pred sončnim zahodom razkrojile. V nasprotju z njimi so bile inverzije tipa tople advekcije večdnevne in veliko bolj intenzivne. Tak tip je prevladoval v Mariboru in je bil pogojen z vremensko situacijo. Nekaj dvignjenih inverzij v Sarajevu bi lahko pripisali tudi učinkom lokalne cirkulacije.

RAZKROJ INVERZIJ

Pri razkroju inverzij v naših primerih nas je zanimalo spuščanje zgornje meje inverzije, kar je največkrat povezano s splošnim ogrevanjem zraka dopoldne in dviganju ob pobočjih.

Pri analizi temperaturnih krivulj smo opazili, da se spuščanje plasti inverzije, ki naj bi se pojavilo šele po sončnem vzhodu /8/ hkrati s pojavljanjem konvektivno premešane plasti tik ob tleh, včasih pojavlja že pred sončnim vzhodom. Petkovšek je za Gorenjo vas /4/ ugotavljal spuščanja v zimskem obdobju kaki dve uri pred sončnim vzhodom, med 5. in 7. uro, v drugih krajih /10/ pa smo spuščanje opazili še prej, včasih že pred polnočjo, v Sarajevu in Stanežičah med 3. in 5. uro zjutraj. Spuščanje je povezano tudi z ogrevanjem zraka ob tleh ponoči, kar potrjuje ugotovitve Tenekesa /7/. Praviloma se spuščanje začne in nadaljuje v dopoldanskih urah. Redke so izjeme, ko čez dan višina zgornje meje inverzije narašča. Tedaj so to primeri večdnevni močnih in debelih talnih inverzij, ponavadi ob oblačnem vrenemu, ko razkroj ovira zmanjšana insolacija, tok zaznavne toplote in konvekcija pa sta neznatna.

Zanimive so hitrosti spuščanja ali dviganja zgornje meje inverzije dopoldan oz. po sončnem vzhodu. Hitrost dviganja in spuščanja se zelo spreminja od primera do primera, saj je vpliv trenutne vremenske situacije zelo močan. Zato navajamo le povprečne vrednosti, ki so okvirne tudi zaradi malo podatkov. Povprečne hi-

trosti dviganja plasti inverzije ponoči znašajo za Maribor 18 m na uro, za Stanežiče 25 m na uro in za Sarajevo 27 m na uro. Primerjajmo s podatki za Gorenjo vas - 23 m na uro. Omenimo naj še, da so hitrosti ponoči neenakomerne, največje so v prvih urah nastajanja inverzije, ko so tudi do trikrat večje kot v nadaljevanju noči.

Hitrosti spuščanja plasti inverzije so nekoliko manjše, in sicer je poprečje za Maribor 13 m na uro, Stanežiče 23 m na uro in Sarajevo 27 m na uro; maksimalne vrednosti pa so bile do 80 m na uro.

V obravnavanih krajih so bile meritve opravljene v hladni polovici leta, zato večkrat opazimo, da se je proces razkroja prenesel iz dopoldanskih ur na popoldne. Prvotna temperaturna inverzija se razkroji takrat v navedenih krajih šele med 13. in 15. uro, ko se pojavi ponavadi do višine 10 ali 20 m že nova talna inverzija. Navadno se enodnevne inverzije razkroje do 13. ure, redkeje že do 9. ure. V topli polovici leta pa je razkroj končan do 9. ure. Našteto deloma potrjujejo tudi opazovanja megle v Ljubljanski kotlini /5/.

Oglejmo si nekaj konkretnih primerov razkroja temperaturnih inverzij v navedenih krajih. Izbrali smo tri značilne, in sicer dva primera razkroja v Stanežičah in enega v Sarajevu. Temperaturni profili so prikazani na slikah 1, 2 in 3. Dodan je še časovni potek višine spodnje in zgornje meje inverzije ob razkroju v istih treh primerih (slika 4).

Na sliki 1 opazimo tipično spuščanje zgornje meje inverzije (h_i) in hkrati pojavljanje konvektivno premešane plasti z višino (h_c). Tako naraščanje h_c kot zmanjševanje h_i je nekoliko hitrejše v prvih urah razkroja inverzije in se kasneje upočasni. Razkroj se prične pred 9. uro in se konča po 13. uri, torej traja 5 ur in dvignjena inverzija se razkroji do 15. ure, ko se ob tleh pojavi že nova talna inverzija do višine 20 m (slika 4a).

Podobno se je razkrojila tudi inverzija naslednji dan (slika 2). Ob 5. uri imamo še talno inverzijo, katere zgornja meja je 300 m. Dve uri kasneje že nastopi spuščanje zgornje meje in pojavi se konvektivno premešana plast do višine 50 m. Dvignjena inverzija se razkroji po 13. uri in njeno trajanje znaša okrog 7 ur (slika 4b).

Zanimiv je tudi sarajevski primer (slika 3), ko imamo ob 7. uri talno inverzijo do višine 280 m. Ob 9. uri nastane dvignjena inverzija na višini 30 m z zgornjo mejo na 200 m. V nadaljevanju kaže razkroj določene nepravilnosti, saj med 9. in 11. uro h_i naraste, vendar se dvignjena inverzija po 13. uri vseeno razkroji. Trajanje dvignjene inverzije znaša tako več kot 6 ur (slika 4c).

ZAKLJUČEK

Z analizo podatkov vertikalne razporeditve temperature za tri naše kraje: Maribor, Stanežiče in Sarajevo, smo ugotovili, da je relativna pogostnost posameznih vrst temperaturnih inverzij različna za posamezne kraje in je bistveno odvisna predvsem od splošne vremenske situacije in od dnevnega časa. Tako prevladujejo pri anticiklonalnem tipu vremena talne inverzije večino dnevnega časa, z izjemo dopoldanskih ur. Pri ciklonalnih tipih vremena pa prevladujejo dvignjene inverzije, ki nimajo radiacijskega nastanka. Ugotavljali smo tudi hitrosti naraščanja in spuščanja zgornje meje inverzije in ugotovili večje hitrosti v kotlinah kot nad ravnino. Tudi razkroj inverzij je pogojen z več faktorji, med katerimi so najpomembnejši sama vrsta inverzij, splošna vremenska situacija in pa v razgibanem reliefu še posebej lokalna cirkulacija. Tako smo za kotline ugotovili spuščanje glavne inverzije že pred sončnim vzhodom in pa značilen razkroj talnih inverzij z vmesno fazo dvignjene inverzije. Tako se enodnevnne talne inverzije v Stanežičah in Sarajevu razkrojijo v 6 do 7 urah po sončnem vzhodu v hladni polovici leta. Naše ugotovitve se tako ujemajo z opazovanji in analizami za nekatere druge kraje, ki jih navajajo različni avtorji /4,6,8/.

LITERATURA

- /1/ BERNHARDT K.: Some results of the lower troposphere inversion statistics in middle Europe. WMO symposium on boundary layer physics applied to specific problems of air pollution 1978. WMO-No.510.
- /2/ HOSLER F.: Low-level inversion frequency in the contiguous United States. Monthly Weather Review Vol.89No.9.
- /3/ LONČAR E.: Prognoza razbijanja inverzije na področju grada Zagreba. Razprave. Posebna številka - Meteorologija in gospodarstvo.
- /4/ PETKOVŠEK Z.: Širjenje onesnaženja v kotlinah - II. faza. FNT 1975.
- /5/ PETKOVŠEK Z.: Širjenje onesnaženja v kotlinah - III.faza. FNT 1977.
- /6/ PUČNIK J.: Temperaturne inverzije v Ljubljanski kotlini. Razprave XIV. 1972.
- /7/ TENNKES H.: A model for the dynamics of the inversion above a CBL. J. Atmos. Sci. 30.No.4.
- /8/ WHITEMAN D.C.: Observations of vertical atmospheric structure in a deep mountain valley. Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie. Ser.A, 26, 39-50.
- /9/ YAMADA T.: Prediction of the Nocturnal surface inversion height. J. Applied Meteor. Vol. 18 No.4.
- /10/ KAJFEŽ L.: Talne in dvignjene temperaturne inverzije. Diplomsko delo. FNT. Ljubljana 1980.

Tabela 1 Pregled krajev; čas in število meritev, število in relativna pogostnost inverzij

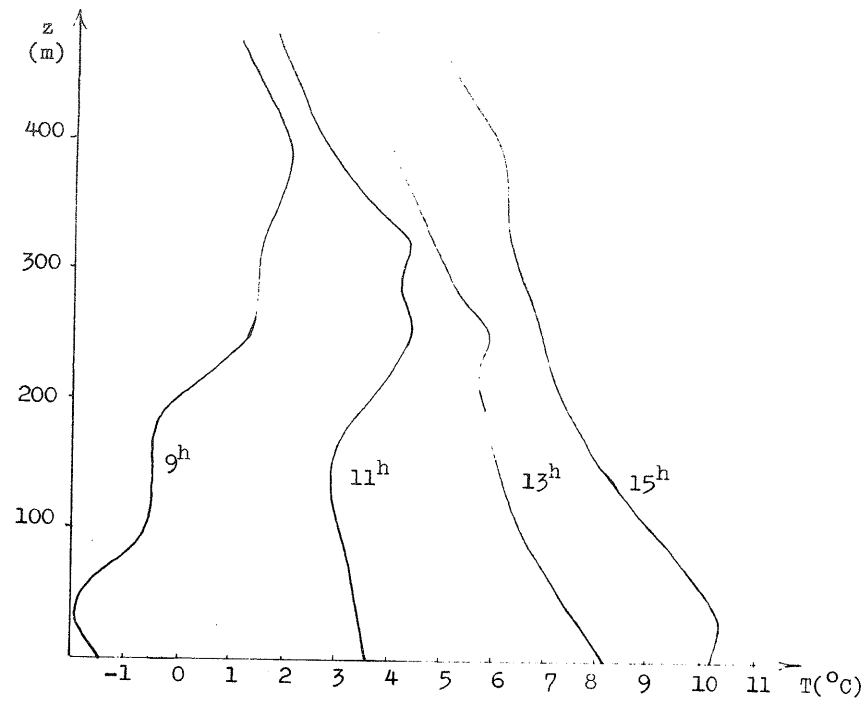
Table 1 Site, period and number of measurements, number and relative frequency of inversions

kraj	čas meritev	število meritev	število inverzij	rel. pogost. inverzij
SARAJEVO	10. 1. - 6. 2.74	271	172	63%
MARIBOR	26.12. - 1. 2.77	89	79	89%
STANEŽIČE	7.11. - 22.11.74	108	80	74%

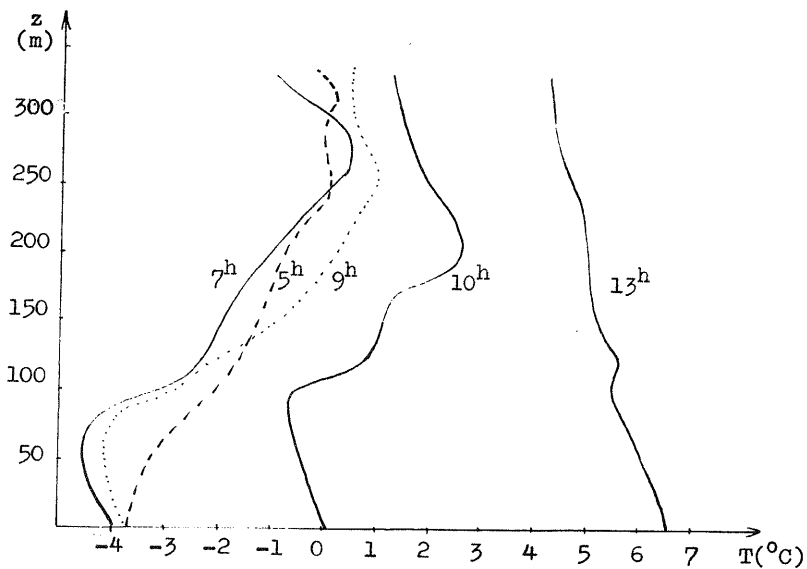
Tabela 2 Število meritev (N), relativna pogostnost vseh inverzij (%I), talnih (%T), dvignjenih (%D), hkrati talnih in dvignjenih (%TD) v časovnih intervalih za Sarajevo, Maribor in Stanežiče

Table 2 The time distribution of the number of measurements (N), the relative frequency of all inversions (%I), ground-based (%T), lifted (%D) and simultaneous ground-based and lifted inversions (%TD) for Sarajevo, Maribor and Stanežiče

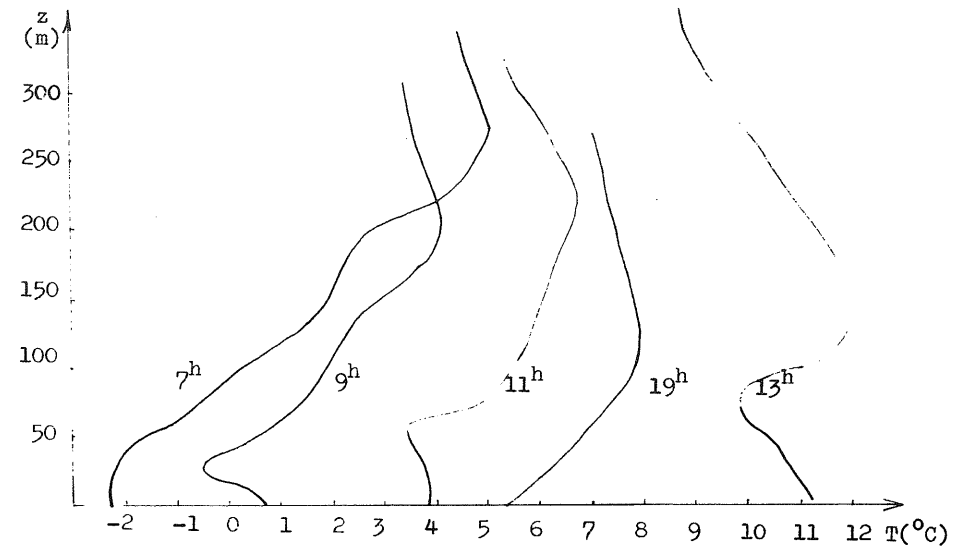
		N	%I	%T	%D	%TD
SARAJEVO	00-06	68	59	45	53	2
	06-12	68	63	35	56	19
	12-18	65	65	40	55	5
	18-00	70	67	62	36	2
MARIBOR	00-06	22	91	50	50	-
	06-12	19	89	59	35	6
	12-18	15	80	50	42	8
	18-00	33	91	73	23	4
STANEŽIČE	00-06	30	80	96	4	-
	06-12	25	76	21	63	16
	12-18	21	48	70	30	-
	18-00	33	82	96	4	-



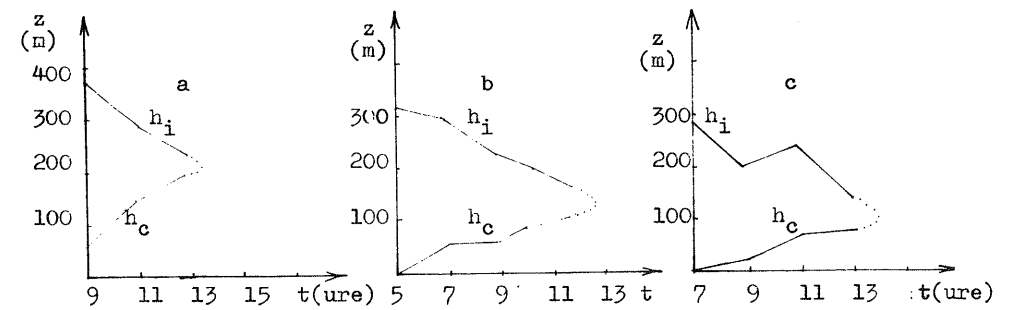
Slika 1 Vertikalna rasporeditev temperature v Stanežičah ob 9^h, 11^h, 13^h, 15^h
 Fig. 1 The vertical distribution of temperature at Stanežiče at 9, 11, 13, 15 LT



Slika 2 Vertikalna rasporeditev temperature v Stanežičah ob 5^h, 7^h, 9^h, 10^h, 13^h
 Fig. 2 The vertical distribution of temperature at Stanežiče at 5, 7, 9, 10, 13 LT



Slika 3 Vertikalna rasporeditev temperature v Sarajevu ob 7^h, 9^h, 11^h, 13^h, 19^h
 Fig. 3 The vertical distribution of temperature at Sarajevo at 7, 9, 11, 13, 19 LT



Slika 4 Spremembe h_i in h_c s časom za primere razkroja temperaturnih inverzij v (a,b) Stanežičah in (c) Sarajevu
 Fig. 4 Time variations of h_i the upper, and h_c the lower boundary of inversion layer for 3 typical inversion destructions at (a,b) Stanežiče and (c) Sarajevo

OBLAČNOST IN NEKATERI DRUGI PARAMETRI NA ŠTIRIH
POSTAJAH V EVROPI

CLUOD AMMOUNT AND SOME OTHER PARAMETERS AT
FOUR STATIONS IN EUROPE

551.509.314:551.589.5

Jože RAKOVEC
Katedra za meteorologijo
VTOZD Fizika FNT, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani

SUMMARY

The intention of the presented work was to examine if there is a possibility of getting rough information about cloud amount, with the help of parametric relation, such as one can obtain from the Yugoslav dry model of the atmosphere, that would not lame operational efficiency of the mentioned model. Some characteristics of cloud amount from selected observational stations in Europe are presented. As data basis the first ten days in January, April, July and October in the years 1968-1977 at 00 GMT at four stations were selected, making 1600 data sets on cloud amount, surface pressure, 500 mb height, vorticity at the 500 mb level and mean temperature from the ground up to the 500 mb level.

Regarding cloud amount, all the data together form a U distribution, but looking at particular places or months, there are considerable differences. There is a very poor regression between cloud amount and surface pressure, and if all the other mentioned predictors are included, the regression coefficient is still only about 0.3.

POVZETEK

Namen pričujočega dela je bil ugotoviti, ali je mogoče količino skupne oblačnosti na sorazmerno preprost način povezati s količinami, ki so na razpolago v numeričnem modelu atmosfere, kot se uporablja pri nas.

Prikazane so nekatere značilnosti skupne količine oblačnosti na nekaterih meteoroloških postajah v Evropi po opazovanjih ob 00 GMT. V poprečju so porazdelitve običajne U oblike, med posameznimi kraji pa tudi med letnimi časi pa so razlike precejšnje.

Pri iskanju regresijske zveze med količino oblačnosti ter pritiskom pri tleh, vrtinčnostjo na 500 mb ploskvi, višino te ploskeve in temperaturo v plasti od tal

do te ploskeve, se je pokazalo, da je korelacijski koeficient zelo nizek: okrog 0,3.

UVOD

Za statistično napovedovanje oblačnosti so raziskovalci uporabljali veliko število prediktorjev (Cooley et al. npr. 14 prediktorjev /1/, Carter in Glahn /2/ pa 15 prediktorjev), vendar so bili poskusi tudi z manjšim številom: Čuzavkova /3/ je proučevala zvezo med prizemnim pritiskom in višinami standardnih geopotencialnih ploskev v nižji troposferi, ter oblačnostjo.

Ker nismo imeli namena ustvariti kakega dela MOS (Model Output Statistics) sistema, ki statistično povezuje rezultate numeričnih modelov atmosfere z vremenskimi pojavi, smo pregledali strukturo podatkov o oblačnosti za posamezne predele Evrope, za različne letne čase, in sicer za dobo desetih let (1968-1977) /4/. Ugotavljali smo, ali je možno vrednosti regresijsko povezati s kako količino, ki je na razpolago v numeričnem modelu atmosfere: izbrali smo prizemni pritisk (reduciran na morski nivo), višino 500 mb ploskve, vrtničnost toka na tej ploskvi ter srednjo temperaturo od tal do 500 mb ploskve. Uvedba večjega števila prediktorjev bi za regresijsko določanje oblačnosti ne bila primerna, ker bi tak sistem preveč krnil operativno sposobnost modela za prognozo.

PODATKI

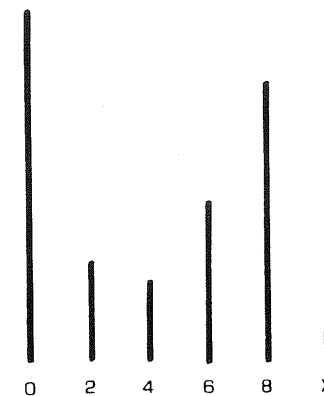
Na razpolago imamo arhiv švicarskih vremenskih biltenov (Wetterbericht ...Met. Zentralanstalt Zürich) /4/. Iz njih smo za dobo desetih let (1968-1977) izpisali vrednosti oblačnosti za prvih deset dni v januarju, aprilu, avgustu in novembru za štiri meteorološke postaje v Evropi: Brest na atlantski obali bi naj bil predstavnik vremena advektiranega z Atlantika, Berlin naj bi opisoval stanje nad bolj ravninskim delom Evrope, Beograd v zavetrju Alp, Rim pa v Sredozemlju, do koder seže polarna fronta le včasih.

Iz analizirane prizemne karte smo izpisovali poleg oblačnosti tudi na morski nivo reduciran pritisk. Iz višinske karte smo izpisali vrednosti geopotenciala 500 mb ploskve nad omenjenimi postajami ter vrednosti geopotenciala 2.5° g.d. vzhodno in zahodno ter 2° g.š. severno in južno od postaj. S tem, da smo izbrali stanje ob 00 GMT, smo izključili večji del konvektivne oblačnosti.

Vsega smo imali 1600 opazovanj sedmih količin. Ko smo izločili očitno napačne vrednosti nam je ostalo 1591 opazovanj.

Zanimiva je porazdelitev pogostnosti oblačnosti: pri vseh podatkih skupaj je U oblike, kot je to ponavadi, vendar manjkajo vrednosti lihih osmin oblačnosti. To je verjetno posledica načina vnašanja v karte; ne glede na to ali je vnašanje ročno ali s ploterjem (od junija 1974 dalje), lihih osmin ni mogoče zaslediti. Histo-

gram pogostnosti pojavljanja posameznih količin oblačnosti za vse podatke kaže slika 1.; močno sta zastopana povsem jasno in povsem oblačno nebo, zelo malo je primerov, ko nebo ni vidno (šifra "9/8", x na sliki 1).

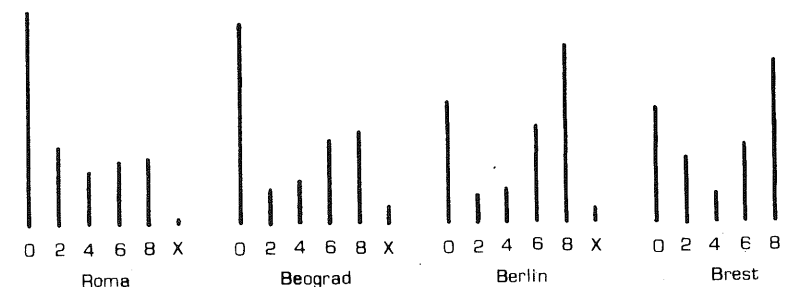


Slika 1 Pogostnost pojavljanja različnih stopenj oblačnosti za vse podatke, x-nebo ni vidno

Fig. 1 Frequency distribution of cloud amount for all data, x denotes cases, when observation was not possible

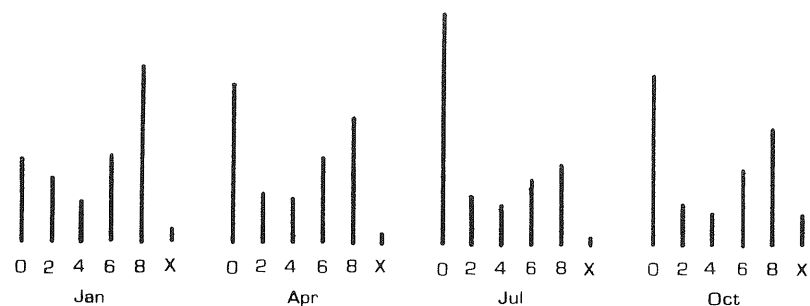
Na sliki 2 so prikazani histogrami porazdelitev za posamezne letne čase in za posamezne kraje posebej. Tu U porazdelitev ni več tako razvidna: pri krajih je najbolj izražena v Brestu, pri letnih časih pa najbolj v aprilu.

Iz slike 2 se tudi vidi, da ima od krajev največ jasnih dni Rim in za vse kraje skupaj jih je največ avgusta, največ povsem oblačnih dni pa je v Berlinu in od vseh januarja. Iz slike sledi še marsikaj, npr. tip vremena v posameznih krajih, vendar to presega okvir pričujoče obravnave.



Slika 2a Pogostnost pojavljanja posameznih stopenj oblačnosti po posameznih krajih

Fig. 2a Frequency distribution of cloud amount according to place

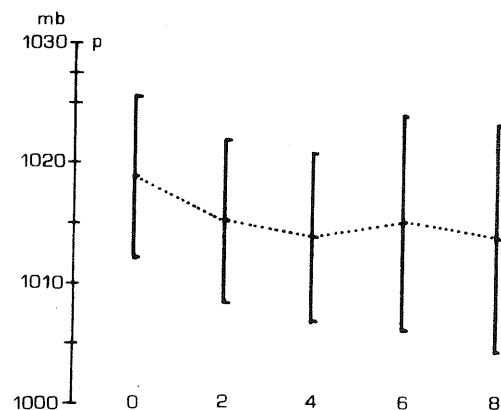


Slika 2b Pogostost pojavljanja posameznih stopenj oblačnosti po posameznih mesecih

Fig. 2b Frequency distribution of cloud amount according to month

REGRESIJSKA ZVEZE

Takoj ko pogledamo porazdelitev zračnega pritiska po stopnjah oblačnosti za vsa opazovanja (slika 3), vidimo, da regresijska zveza samo med oblačnostjo in pritiskom ne zadovoljuje. Srednja vrednost pritiska se v odvisnosti oblačnosti le malo spreminja, pa tudi standardne deviacije pritiska pri posameznih oblačnostih so večje od razlik med najvišjo in najnižjo srednjo vrednostjo pritiska. Zaradi tega je korelacijski koeficient le -0.23 . Po posameznih obdobjih je sicer nekoliko večji: oktobra -0.28 in aprila -0.33 , vendar je to še vedno precej premalo za uporabnost regresijskih enačb.



Slika 3 Porazdelitve pritiska pri tleh po posameznih stopnjah oblačnosti za vse podatke. Pikčasta črta povezuje srednje vrednosti pritiska pri posameznih stopnjah oblačnosti, navpične črte pa omejujejo območje \pm standardna deviacija

Fig. 3 Distributions of surface pressure according to cloud amount for all data. The dotted line connects the means, vertical lines show the RMS range

Zaradi nizkih vrednosti korelacijskega koeficienta vključimo v obravnavo dodatne prediktorje: geostrofsko vrtinčnost zračnega toka na 500 mb ploskvi, višino te ploskve in srednjo temperaturo plasti od tal do 500 mb ploskve. Geostrofska vrtinčnost je definirana z:

$$\zeta_g = \frac{1}{f} \nabla^2 \phi \quad (1)$$

Tu je ϕ geopotencial, $\phi = \int_0^z g dz$, f pa Coriolisov parameter. Računamo vrtinčnost po shemi:

$$\zeta^* = \frac{1}{fd^2} [\phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4 - 4\phi_0] \quad (2)$$

kjer je d razdalja med točkami kvadratne mreže, v kateri odčitavamo geopotencial 500 mb ploskve. ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 in ϕ_4 so geopotenciali 500 mb ploskve okrog obravnavane postaje, ϕ_0 pa nad postajo.

Višino 500 mb ploskve prikažemo z njenim geopotencialom, srednjo temperaturo plasti od tal do nje pa z izrazom, ki sledi iz barometrične enačbe:

$$\bar{T} = \phi_0 / [R \ln (500 \text{ mb} / p_g)] \quad (3)$$

kjer je p_g pritisk reduciran na morski nivo, R pa specifična plinska konstanta za zrak.

Vključitev tako določene vrtinčnosti v regresijo poveča korelacijski koeficient, npr. za oktobrska opazovanja od 0.28 na 0.30 (multipli korelacijski koeficient), za aprilsko pa še manj: le za 5 tisočink. Zato poskusimo še z dodatnimi prediktorji. Vrtinčnost, višina in srednja temperatura skupaj pa tudi ne prinesejo velikega povečanja. Če je bil npr. korelacijski koeficient med pritiskom in oblačnostjo 0.23 je sedaj multipli korelacijski koeficient med pritiskom, vrtinčnostjo, višino 500 mb ploskve in temperaturo pod to ploskvijo na eni, ter oblačnostjo na drugi strani, tudi le 0.31 pri vseh opazovanjih.

SKLEP

Izbrani prediktorji vnaprej morda obetajo kako zvezo z oblačnostjo (manjša oblačnost ob višjem pritisku, ob negativni vrtinčnosti - to je ob anticiklonalni ukrivljenosti toka in striženju hitrosti; naraščanju v levo, gledajoč v smer toka, ter ob višjem geopotencialu 500 mb ploskve, ob višji temperaturi). Ti prediktorji, ki so sicer dokaj preprosto določljivi v modelu za prognozo, ki ne vsebuje vlage, pa niso dovolj za regresijsko določanje oblačnosti. Izbira mreže, v kateri

smo določali vrtničnost, je pogojena z mrežo jugoslovanskega modela za prognozo. Je pa tudi sicer po našem prepričanju ustrezna: v večji mreži bi sicer morda bolje zajeli vrtničnost, toda oblačnost je precej lokalno določljiva količina, saj npr. avtokorelacijska funkcija skupne oblačnosti že na razdalji kakih 200 km pade na 0.5, na razdalji okrog 1000 km pa na samo 0.1 /5/.

Iz prikazanega sledi, da z izbranimi prediktorji ni mogoče diagnostično določati količine skupne oblačnosti. Za statistično regresijsko določanje oblačnosti je verjetno potrebno uporabljati tudi prediktorje, kot so opazovana oblačnost pred npr. 12 urami (kar bi bilo pri jugoslovanskem modelu mogoče), pa tudi prediktorje v zvezi z vlago (kar pa zasedaj ni mogoče), kot je to npr. pri MOS sistemu Carterja in Glahna /2/.

LITERATURA

- /1/ COOLEY, D.S. et al.: Combination of initial and prognostic data in statistical cloud prediction. Travelers Res.Center Inc., Techn.Doc.Rep. ESD-TDR-64-62. 1964.
- /2/ CARTER, G.M. and H.R. GLAHN: Objective prediction of cloud amount based on model output statistics. Mon.Wea.Rev 104 (1976), 1565-72.
- /3/ ČUŽAVKOVA, N.A.: Nekotorye rezul'taty analiza polej anomalij davlenija i oblačnosti. Trudy Gl.Uprav.Gidromet.Služby SSSR 73 (1971), 42-47.
- /4/ Wetterbericht der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt, Zürich, 1968-77.
- /5/ GANDIN, L.S. i sotr. (red.): Statističeskaja struktura meteorologičeskikh polej. Met.sl. VNR, Budapest, 1976, 365 str.