

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 iskanku 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 $K = TV 8 + 21$

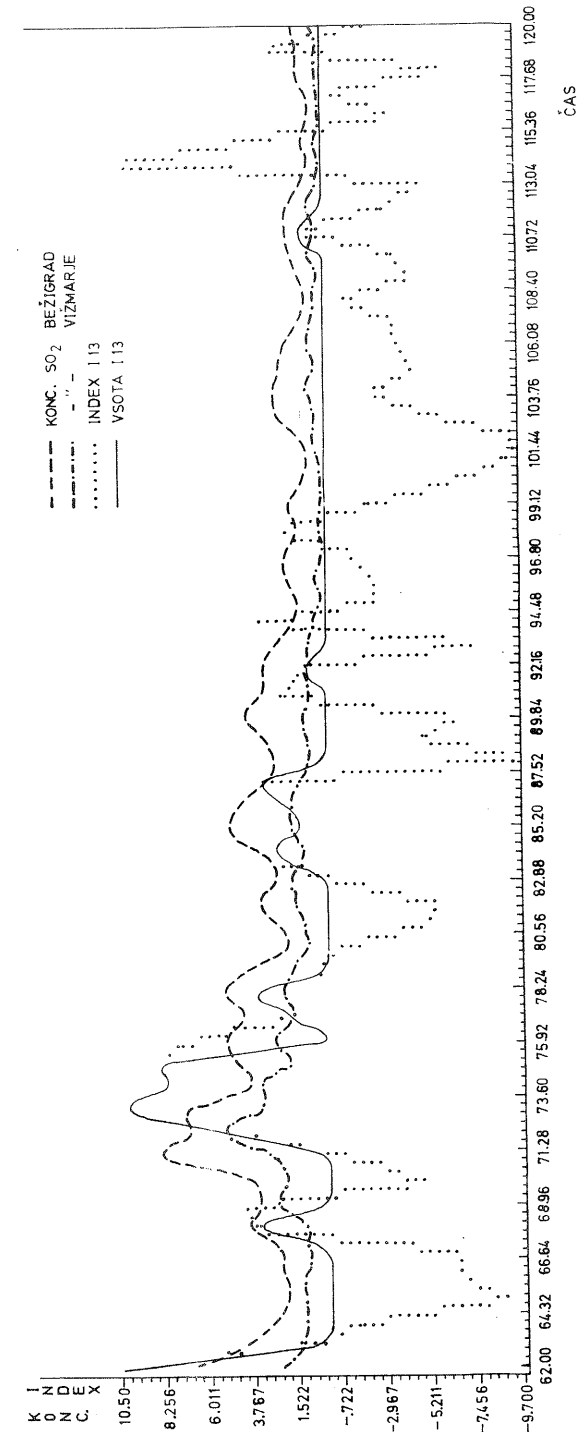
TV 67 razširjen indeks onesnaženja določen z $I = TV 28 + 19 + DT + LA$ pri čemer je DT razlika temperatur na Šmarni gori in v Ljubljani ob 01^h in LA razlika teh temperaturnih razlik glede na prejšnji dan

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 poprečne korelacije 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.