

RAZPRAVE
PAPERS

Letnik 21
1,2

VSEBINA - CONTENTS	Stran
B. Zupančič: Presoja metod za računanje poprečne dnevne temperature Estimation of methods for the calculation of mean daily temperature	5
J. Urbančič: Vpliv akumulacijskih jezer na pojavljanje megle v okolici Influence of accumulation lakes on the occurrence of fog in the surroundings	13
Z. Petkovšek: Določanje emisije SO ₂ in izračun emisijskega potenciala za nekatere kotline v Sloveniji SO ₂ emission determination and calculations of emission potential for some basins of Slovenia	25
J. Pristov: Vremenski pogoji ob visokem onesnaženju zraka Weather conditions for the pollution of air	33
Ocene del:	45

PRESOJA METOD ZA RAČUNANJE POPREČNE DNEVNE TEMPERATURE
ESTIMATION OF METHODS FOR THE CALCULATION OF MEAN DAILY
TEMPERATURE

Boris ZUPANČIČ
Meteorološki zavod SRS, Ljubljana

551.501.724:
551.524.31

SUMMARY

On the basis of 20 annual thermographic measurements acquired from eight stations in Slovenia, comparisons of mean temperatures have been made, by using five different equations. It has been established that climatologic mean $T_2 = (T_{07} + T_{14} + 2T_{21})/4$, which was used, is appropriate, and that it represents the true value precisely enough. Therefore, it does not have to be replaced for not being well represented; the reasons speaking for the use of synoptic observation times, are more weighty. Besides the fact that the expression $T_5 = T_1/3 - K(T_1/3 - T_{min})$, $T_1 = T_{07} + T_{14} + T_{19}$ represents the true value in the best way, values of coefficients K also indicate the rough temperature classification. Data acquired at more numerous meteorological observation stations should by all means be used for this purpose, as the treatment has shown that for the classification the limits of classes are not yet precisely determined.

POVZETEK

Na osnovi 20-letnih termografskih meritev na osmih postajah Slovenije smo naredili primerjavo poprečnih temperatur, dobljenih po petih različnih enačbah. Ugotovili smo, da je uporabljeno klimatološko poprečje $T_2 = \frac{T_{07} + T_{14} + 2T_{21}}{4}$ dobro in dovolj natančno predstavlja pravo vrednost, torej ga zaradi reprezentativnosti ni potrebno menjati, vendar so vzroki, da se preide na sinoptične opazovalne termine, bolj tehtni. Poleg tega, da nam izraz $T_5 = \frac{T_1}{3} - K(\frac{T_1}{3} - T_{min})$, pri čemer je $T_1 = T_{07} + T_{13} + T_{19}$ najbolje predstavlja pravo vrednost, nam dajo vrednosti koeficientov K tudi grobo temperaturno klasifikacijo. Vsekakor bi morali v ta namen uporabiti podatke še več meteoroloških opazovalnic, saj se je v obdelavi pokazalo, da so za grupiranje po razredih meje le-teh še nejasne.

UVOD

Že nekaj let prevladuje pri nas mnenje, da bi morali klimatološke termine ob 7., 14. in 21. uri zamenjati s sinoptičnimi ob 7., 13. in 19. uri. Države zahodne in severne Evrope so v glavnem to že spremenile. Vzroka za prehod na te termine sta predvsem dva. Eden je ta, da je opazovanje ob zadnjem terminu, ob 21. uri, močno dvomljivo, saj je za opazovalce - amaterje prepozen. Ker so

temperaturne spremembe okoli tega opazovanja še sorazmerno velike, so lahko napake znatne, saj se vrednost v tem terminu jemlje z dvakratno utežjo. Drugi, pomembnejši vzrok pa je sprememba pogleda na celotno klimatologijo. Če hočemo obravnavati klimo kot srednji režim vremena in ne samo kot srednje stanje posameznih meteoroloških elementov, moramo izhajati iz analize meteoroloških polj, to pa zahteva sinhrona opazovanja. Predvsem pri mezoklimatskih raziskavah bi bili podatki s klimatoloških opazovalnih postaj dragoceno dopolnilno gradivo podatkom glavnih sinoptičnih postaj in aerološkim opazovanjem.

PRIMERJAVA POSAMEZNIH METOD

Osnova primerjav je bilo poprečje, dobljeno iz urnih vrednosti. Te lahko dobimo za postaje, kjer opazujejo vsako uro ali pa so opremljene s termografi. Poprečje se imenuje pravo dnevno poprečje, ter nam pomaga pri oceni vseh drugih metod. Razlika med tem in poprečjem, dobljenim iz drugih kombinacij opazovalnih terminov, je korekcija pravi sredini. Z izborom terminov moramo zadostiti predvsem dvema pogojema. Vsote absolutnih vrednosti mesečnih korekcij morajo biti minimalne pa tudi letna sprememba korekcij mora biti čim manjša. Primerjave rezultatov, izračunanih z izrazi z različnimi opazovalnimi termini so pokazale /2, 3, 4/, da so najboljši rezultati pri odčitavanju temperature ob 7., 15. in 23. uri, sledi pa ji kombinacija terminov 7., 14. in 21. uri z dvakratnim upoštevanjem večernega opazovanja. Seveda so termini z najboljšimi rezultati za opazovanja zelo neugodni. Tudi pri nas je bila narejena primerjava na dveletnem nizu podatkov med pravim poprečjem, klimatološkimi opazovalnimi termini z enkratnim in dvakratnim upoštevanjem večernega opazovanja ter z ekstremnimi temperaturami /5/. Rezultati so pokazali, da je za računanje poprečnih mesečnih temperatur, ki so najbolj rabljene izvedene vrednosti dnevni opazovanj, najustrenejši izraz za klimatološko poprečje. V državah severne in zahodne Evrope so za računanje poprečne dnevne temperature vpeljali izraz:

$$\bar{T} = \frac{T_1}{3} - K\left(\frac{1}{3} - T_{\min}\right),$$

kjer je: $T_1 = T_{07} + T_{13} + T_{19}$ in K - koeficient, karakterističen za posamezna področja in mesec /6/.

Pri naši obdelavi smo uporabljali termografske podatke dvajsetletnega niza od 1951 do 1970 na postajah: Ljubljana, Maribor, Novo mesto, Slovenj Gradec, Koper, Ajdovščina, Rateče in Kredarica. Iz tega niza smo najprej poiskali za vsako od teh opazovalnih postaj poprečne mesečne temperature in standardne deviacije za naslednje izraze:

$$\bar{T}_0 = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} T_i$$

$$\bar{T}_1 = \frac{T_{07} + T_{13} + T_{19}}{3}$$

$$\bar{T}_2 = \frac{T_{07} + T_{14} + 2T_{21}}{4}$$

$$\bar{T}_3 = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2}$$

$$\bar{T}_4 = \frac{T_{07} + T_{19} + T_{\max} + T_{\min}}{4}$$

Z istim nizom smo izračunali tudi mesečne vrednosti koeficienta K . Če najprej pogledamo v tabeli 1 vrednosti za koeficiente K , vidimo največjo podobnost med postajama Maribor in Novo mesto. Čeprav so poprečne mesečne temperature bližje onim v Ljubljani, so vrednosti K -ja drugačne. Vzrok je potrebno iskati v sami lokaciji opazovalnice, saj se v Ljubljani močno pozna vpliv mesta, predvsem na dvig minimalnih temperatur. Podobne vrednosti in letni potek imata Koper in Ajdovščina, Rateče kot predstavnik višje ležeče opazovalnice in Kredarica kot visokogorska postaja pa imata povsem specifične vrednosti in letni potek K -ja. Pri tako majhnem številu postaj je seveda težko definirati meje posameznih razredov mesečnih vrednosti K -ja, ki so predvsem funkcija nadmorske višine in same lege opazovalnice. S primerjavo različnih metod za računanje poprečne dnevne temperature smo ugotovili, da je od izbranih štirih možnosti še najboljši izraz \bar{T}_2 . Pri tej primerjavi še nismo uporabili izraza:

$$\bar{T}_5 = \frac{T_1}{3} - K\left(\frac{1}{3} - T_{\min}\right),$$

saj so bile ravno na tem nizu računane vrednosti K -jev. Statistično smo primerjali enakost dobljenih mesečnih poprečij s pravim poprečjem pri 5% tveganju s testno statistiko:

$$T = \frac{\bar{T}_i - \bar{T}_0}{S} \sqrt{n-1},$$

$i = 1, 2, 3, 4$; S - je vzročna standardna deviacija.

Ta testna statistika ima pri pravilni hipotezi Studentovo porazdelitev s $k = n-1$ prostostnimi stopnjami. Tako izračunani nezadovoljivi izrazi pri omenjeni stopnji tveganja so:

Ljubljana: za V., VI., VII., VIII., IX. mesec ne ustreza izraz \bar{T}_1
za VIII., IX., X. mesec ne ustreza izraz \bar{T}_3

Maribor: za IV., V., VI., VII., VIII., IX. mesec ne ustreza izraz \bar{T}_1
za IX. mesec ne ustreza izraz \bar{T}_4

Novo mesto: za IV., V., VI., VII., VIII., IX. mesec ne ustreza izraz \bar{T}_1

Slovenj Gradec: IV., V., VI., VII., VIII., IX. mesec ne ustreza izraz \bar{T}_1
za IX., X. mesec ne ustreza izraz \bar{T}_3

Koper: za V., VI., VII. mesec ne ustreza izraz \bar{T}_1

Ajdovščina: za V., VI., VII., VIII., IX. mesec ne ustreza izraz \bar{T}_1
za IX. mesec ne ustreza izraz \bar{T}_4

Rateče: za V., VI., VII., VIII., IX. mesec ne ustreza izraz \bar{T}_1
za X. mesec ne ustreza izraz \bar{T}_3
za IX. mesec ne ustreza izraz \bar{T}_4

Za postajo Kredarica so pri danem tveganju sprejemljive vse metode. To je razumljivo, saj so dnevne in mesečne temperaturne amplitude majhne. Letni potek razlik $\bar{T}_1 - \bar{T}_0$ in $\bar{T}_2 - \bar{T}_0$ (sl. 1) je tudi razumljiv, ker so termini opazovanja isti v celem letu, čeprav se pri nas čas sončnega vzhoda ali zahoda v letu spreminja približno za tri ure in pol. Značilen za vse postaje je tudi letni potek razlik $\bar{T}_3 - \bar{T}_0$, ki ima lepo izražena dva maksimuma, enega okoli meseca marca, drugega oktobra, poleti pa ima minimum. Poprečne vrednosti \bar{T}_4 so na vseh postajah pre nizke, imajo pa podoben potek kot \bar{T}_1 , z izrazitejšim maksimumom meseca julija.

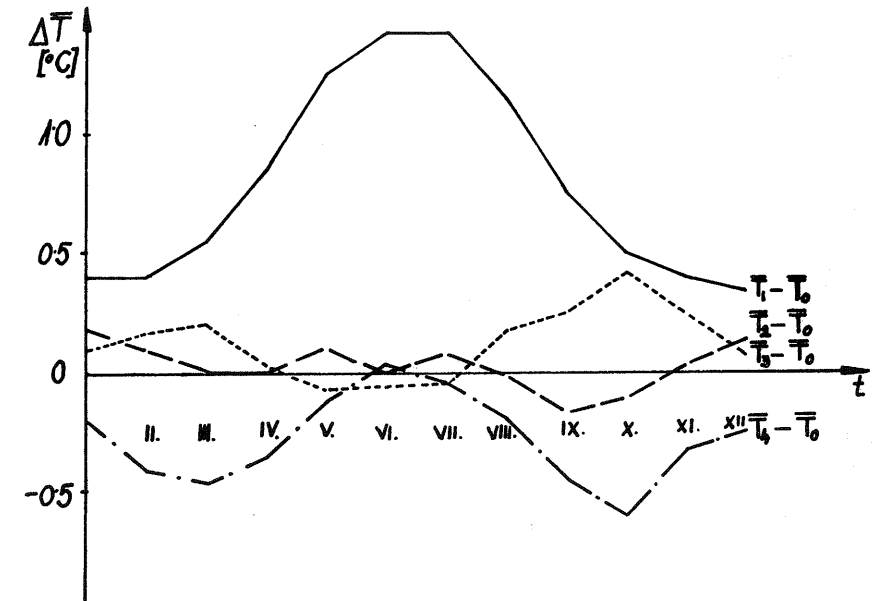
Takrat se vrednosti \bar{T}_4 tudi najbolj približajo pravemu poprečju. Letni potek razlik za Maribor si lahko ogledamo na sliki 1. Na koncu smo na triletnem nizu podatkov od 1971 do 1973 opazovalnice v Ljubljani s prej izračunanimi koeficienti K naredili primerjavo med že omenjenimi izrazi in izrazom \bar{T}_5 . Na sliki 2 in v tabeli 2 se lepo vidi, da se izraz \bar{T}_5 najbolj približa pravim vrednostim. Z različnimi vrednostmi koeficienta K za posamezne mesece se lahko odpravijo značilna letna nihanja razlik med preostalimi izrazi računanja in pravim poprečjem.

Tabela 1 Mesečne vrednosti koeficientov K dobljene iz opazovalne dobe 1951-1970 za posamezne postaje

Table 1 Monthly values of coefficients K, obtained from the observation period 1951-1970 for separate stations

Postaja Mesec	Ljubljana	Maribor	Novo mesto	Slovenj Gradec
jan.	0.11	0.10	0.12	0.06
feb.	0.13	0.08	0.13	0.10
mar.	0.11	0.11	0.11	0.09
apr.	0.11	0.14	0.14	0.13
maj	0.15	0.18	0.17	0.17
jun.	0.17	0.21	0.19	0.19
jul.	0.16	0.20	0.20	0.19
avg.	0.17	0.18	0.16	0.16
sep.	0.15	0.13	0.12	0.15
okt.	0.13	0.10	0.11	0.13
nov.	0.13	0.10	0.08	0.10
dec.	0.08	0.11	0.11	0.10

Postaja Mesec	Koper	Ajdovščina	Rateče	Kredarica
jan.	0.09	0.10	0.16	0.03
feb.	0.08	0.09	0.13	0.05
mar.	0.06	0.09	0.10	0.07
apr.	0.11	0.12	0.14	0.10
maj	0.16	0.17	0.18	0.11
jun.	0.20	0.19	0.19	0.13
jul.	0.17	0.17	0.18	0.10
avg.	0.12	0.14	0.16	0.09
sep.	0.07	0.10	0.10	0.10
okt.	0.07	0.09	0.12	0.08
nov.	0.10	0.09	0.13	0.04
dec.	0.09	0.10	0.16	0.05



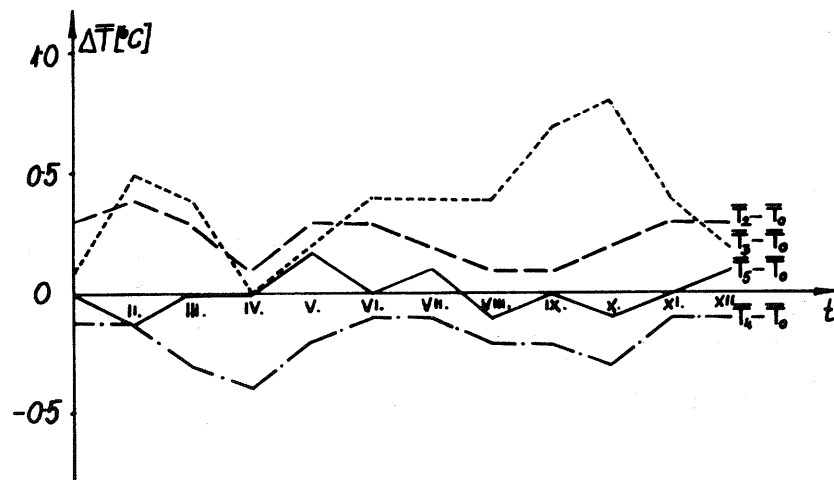
Slika 1 Letni potek razlik $\bar{T}_1 - \bar{T}_0$, $\bar{T}_2 - \bar{T}_0$, $\bar{T}_3 - \bar{T}_0$, $\bar{T}_4 - \bar{T}_0$ za opazovalno postajo Maribor, za obdobje od 1951 do 1970

Fig. 1 Annual course of differences $\bar{T}_1 - \bar{T}_0$, $\bar{T}_2 - \bar{T}_0$, $\bar{T}_3 - \bar{T}_0$, $\bar{T}_4 - \bar{T}_0$ for the observation grid Maribor, for the period 1951-1970

Tabela 2 Poprečne mesečne in letne temperature računane z različnimi izrazi za obdobje od 1971 do 1973 v Ljubljani

Table 2 Mean monthly and annual temperatures, calculated with the use of different expressions, for the period 1971-1973, in Ljubljana

	jan.	feb.	mar.	apr.	maj	jun.	jul.	avg.	sep.	okt.	nov.	dec.	\bar{T}_L
\bar{T}_0	-1.2	1.8	5.1	9.6	14.9	17.7	19.9	19.6	13.7	8.5	3.7	-0.3	9.4
\bar{T}_2	-0.9	2.5	5.4	9.7	15.2	18.0	20.1	19.7	13.8	8.7	4.0	-0.1	9.6
\bar{T}_3	-1.1	2.3	5.5	9.6	15.1	18.1	20.3	20.0	14.4	9.3	4.1	-0.2	9.8
\bar{T}_4	-1.3	1.7	4.8	9.2	14.7	17.6	19.8	19.4	13.5	8.2	3.6	-0.4	9.2
\bar{T}_5	-1.2	1.7	5.1	9.6	15.1	17.7	20.0	19.5	13.7	8.4	3.7	-0.2	9.4



Slika 2 Letni potek razlik $\bar{T}_2 - \bar{T}_0$, $\bar{T}_3 - \bar{T}_0$, $\bar{T}_4 - \bar{T}_0$, $\bar{T}_5 - \bar{T}_0$ za obdobje od 1971 do 1973 v Ljubljani

Fig. 2 Annual course of differences $\bar{T}_2 - \bar{T}_0$, $\bar{T}_3 - \bar{T}_0$, $\bar{T}_4 - \bar{T}_0$, $\bar{T}_5 - \bar{T}_0$ for the period 1971-1973 in Ljubljana

LITERATURA

- /1/ Arhiv Meteorološkega zavoda SRS, Ljubljana.
- /2/ BAKER, D.G.: Effect of observation time on mean temperature estimation, Journal of applied Meteorology, Vol. 14, N. 4, June 1975.
- /3/ MITCHELL, J.M.: Effect of Changing Observation Time on Mean Temperature, Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 39, N. 2, Februar 1958.
- /4/ CONRAD, V., POLLAK, L.W.: Methods in climatology, Cambridge 1962.
- /5/ KMECL, A.: Primerjava in analiza srednjih vrednosti temperature, relativne vlage in vetra s srednjimi vrednostmi po registrirnih instrumentih, Naloga za strokovni izpit, Ljubljana 1960 (neobjavljeno).
- /6/ KRAMMER, M.: Vergleich verschiedener Methoden, Temperaturmittel zu berechnen, Wetter und Leben, N. 2, 1976.

VPLIV AKUMULACIJSKIH JEZER NA POJAVLJANJE MEGLE V OKOLICI
INFLUENCE OF ACCUMULATION LAKES ON THE OCCURRENCE OF FOG IN
THE SURROUNDINGS

Jelko URBANČIČ
Meteorološki zavod SRS, Ljubljana

551.573:
551.588.4

SUMMARY

Larger water surfaces (accumulation lakes) exercise an influence upon the temperature and humidity circumstances in the surroundings, which may have an influence on the frequency of fog. Evaporation, emission of sensible heat and latent heat have been estimated on the basis of study of turbulent transmission of humidity and sensible heat. These quantities are emitted into the surroundings through advection, diffusion, and by taking into consideration the falling out. The relief of the surroundings is represented by the plain.

POVZETEK

Večje vodne površine (akumulacijska jezera) imajo vpliv na temperaturne in vlažnostne razmere v okolici, kar lahko vpliva na pogostost pojavljanja megle. Na podlagi študija turbulentnega prenosa je ocenjena emisija vlage ter zaznavne in latentne toplote iz jezera.

Širjenje teh količin v okolico je obravnavano z advekcijo, difuzijo in upoštevanjem izpada. Pri tem je relief okolice predstavljen z ravnino.

Rezultati študije kažejo, da je v obravnavanih razmerah, ki predstavljajo optimalne pogoje za nastanek megle v jeseni, vpliv večje vodne površine na nastanek megle v bližnji okolici (5 km) zanemarljiv.

PREGLED SIMBOLOV

A	površina
EXP	oznaka za eksponentno funkcijo e
F_{\uparrow}	evaporacija (tok vodne pare navzgor)
F_{\downarrow}	tok vodne pare k tlom
F_H	tok zaznavne toplote
H	zaznavna toplota
K	koeficient turbulentne izmenjave (turbulentna difuzivnost)

Q	skupna emisija lastnosti (vlaga, entalpija ...)
T	temperatura
X	horizontalna razdalja
c_p	specifična toplota vlažnega zraka pri stalnem pritisku
d	debelina plasti
$\frac{d}{dt}$	totalni odvod
$\frac{\partial}{\partial t}$	parcialni odvod
e	delni tlak vodne pare v zraku
e_w	nasičeni delni tlak vodne pare v zraku
f	relativna vlaga
k	Karmanova konstanta $k = 0,41$
ln	naravni logaritem
m	masa
p	pritisk
q	specifična vlaga
t	čas
u	horizontalna hitrost
x	horizontalna dimenzija
z	vertikalna dimenzija
z_0	parameter hrapavosti
ϵ	konstanta, razmerje molekulskih mas vode in zraka (= 0,622)
ρ	gostota
va	indeks va pomeni vodo v tekoči fazi
vv	indeks vv pomeni vodno paro

UVOD

Z umetnimi jezери za hidroelektrarne in namakanje ustvarimo pogosto nekaj kvadratnih kilometrov velike vodne površine, ki s svojimi lastnostmi že lahko vplivajo na temperaturo in vlažnost zraka v okolici /1, 2, 6/. Najbolj značilna posledica vplivov takega jezera je sprememba temperaturnih ekstremov in zvišanje poprečne dnevne temperature zraka v neposredni okolici jezera v jesenskih in zimskih terminih, ko je temperatura vode v jezeru višja od temperature zraka

itd. /2/. Lahko se spremeni tudi absolutna vlaga v zraku, medtem ko so spremembe relativne vlage v splošnem nekoliko manjše /1/. Temperatura in vlaga sta pomembna faktorja pri nastanku megle, zato bomo proučili tudi posreden vpliv vodnih površin na pojavljanje megle.

Ocena izhlapevanja in emisije entalpije iz jezera temelji na raznih tujih proučevanjih razmer v prizemni plasti. V kotlinah Slovenije se radiacijska megla pojavlja pretežno pri majhnih hitrostih vetra /6, 8/. Glede na to, da nam ni znano, v kakšnih vremenskih razmerah so bili izmerjeni razni empirični koeficienti, ki nastopajo v enačbah za transport vodne pare in entalpije, obstaja sum, da so bili izmerjeni pri večjih hitrostih vetra, kot nastopajo pri nas v kritičnih situacijah. S primerjavo izračunane evaporacije in tiste, izmerjene s posodo A, se da za silo preveriti natančnost teh proučevanj.

Jeseni in pozimi se v kotlinah Slovenije pogosto pojavlja radiacijska megla. Vodne površine takrat navadno vplivajo na povečanje temperature in vlage v bližnji okolici. Na nastanek megle vpliva več parametrov. Med njimi je daleč najpomembnejša relativna vlaga /7/, tako da lahko druge parametre zanemarimo in rečemo, da je sprememba relativne vlage v okolici najbolj značilen indikator vpliva vodnih površin na pojavljanje megle.

Vse te ocene veljajo za jezero s površino 0,4 km². Predvsem nas zanima vpliv jezera na mezoklimo, nekako 5 km stran od brega. Pri tem privzamemo, da je vlaga nasičena pri $f = 100\%$, da megla še ni začela nastajati, da pa začne, kakor hitro se vlaga že neznatno poveča. Ta predpostavka pri $T 0^\circ C$ ne velja, zato so takrat ocene vpliva jezera na povečanje vlage v okolici verjetno večje kot v resnici.

EVAPORACIJA, ŠIRJENJE VODNE PARE V OKOLICO IN KONDENZACIJA VODNE PARE NA KOPNEM

Vpliv zajeze vodne površine na nastanek megle ima svojo fizikalno osnovo v turbulentni difuziji pare, zaznavne in latentne toplote. Ker nam robni pogoji difuzijsko enačbo močno zapletejo, izračunamo najprej emisijo pare in entalpije iz jezera in skušamo nato določiti širjenje teh količin ter spremenjene pogoje za nastanek megle. Glede na to, da je vpliv na meglo odvisen predvsem od meteoroloških parametrov in nato parametrov okolice (relief, vegetacija, gospodarska in druga dejavnost), je smiselno, da damo prednost meteorološkemu parametrom in tako skušamo najti realno kombinacijo, pri kateri je vpliv na meglo največji. Parametri okolice so večinoma slabo poznani in temeljijo na ocenah in modelih. Izpad (rosa, slana, ivje) je na primer odvisen od meteoroloških parametrov in vrste tal oz. vegetacije, zato ga bomo obravnavali z uporabo grobih predpostavk.

RAČUNANJE EVAPORACIJE

Evaporacijo (fluks pare navzgor) izračunamo z modelom širjenja s turbulentno difuzijo v vertikalni smeri. Po tem modelu /3/ bi evaporacijo izrazili z:

$$F_{\uparrow} = -\rho K \frac{\partial q}{\partial z} \quad (1)$$

odvod $\frac{\partial q}{\partial z}$ izrazimo s končnimi diferencami, upoštevamo logaritemski profil vetra in specifične vlage, izrazimo z njima koeficiente izmenjave, ter vlago podamo s parnim pritiskom, in to isto enačbo napišemo kot:

$$F_{\uparrow} = -\frac{\epsilon \cdot k^2 \cdot \rho \cdot u(z) \cdot (e_z - e_0)}{\rho \cdot \ln^2(z/z_0)} \quad (2)$$

Rezultati, izračunani po tej enačbi so v tabeli 1. Za emisijo zaznavne toplote dobimo podobno enačbo:

$$F_H = -\frac{\rho \cdot c_p \cdot k^2 \cdot u(z) \cdot (T_z - T_0)}{\ln^2(z/z_0)} \quad (3)$$

Sedaj nas zanima, kako se ta vlaga porazdeli po okolici. Ta proces lahko študiramo v vseh smereh s turbulentno difuzijo; postavimo, da se jezero obnaša kot linijski vir in je smer vetra normalna na to linijo. Rešitev difuzijske enačbe, ki popisuje ta proces, lahko zapišemo v tej obliki /3, 4, 5/:

$$\Delta q(x, z) = \frac{\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial Q}{\partial y} \right)}{(4 \cdot \pi \cdot x \cdot u \cdot K)^{1/2}} \text{EXP} \left(-\frac{u}{4x} \cdot \frac{z^2}{K} \right) \quad (4)$$

Iz oblike porazdelitve vlage, ki nam jo da ta enačba, sledi pogoj

$$d^2 > 4(x/u)K \quad (5)$$

Pogoj večinoma ne pomeni kake posebne ovire za uporabo tega modela. Pri tleh ima enačba (4) obliko:

$$\Delta q(x, 0) = \frac{2 \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial Q}{\partial y} \right)}{(4 \pi x u K)^{1/2}} \quad (6)$$

faktor 2 se v enačbi pojavi zaradi refleksije tal.

Relativna vlaga se izraža približno kot $f \approx \frac{e}{e_w}$

Iz tega sledi, da je:

$$\frac{df}{f} = \frac{de}{e} - \frac{de_w}{e_w} \quad (9)$$

Pri tem nam de pomeni povečanje dejanskega parnega tlaka, de_w pa povečanje nasičenega parnega tlaka, ki je funkcija temperature.

Kadar je df pozitiven, kar pomeni, da se relativna vlaga poveča in lahko nastane v tej plasti megla.

V tabeli 2 so numerične vrednosti povečanja relativne vlage.

Ponoči se lahko pri jasnem nebu kopna površina bolj ohladi kot vodna. Ko pride zračna masa iznad vodne površine nad kopno, začne privzemati lastnosti, ki vladajo tik nad površino. V taki zračni masi je nasičeni pritisk izključno funkcija temperature. Če pade temperatura zraka tik nad površino pod temperaturo rosišča, se začne vlaga izločati v obliki rose. Pri temperaturi pod 0°C pa se pri ustreznih razmerah dogaja sublimacija (in primrzovanje) v obliki slane, ivja itd.

Prav tako kot evaporacija ima tudi izpad vodne pare svojo fizikalno osnovo v difuziji. Zato veljajo tudi za izpad iste enačbe kot za evaporacijo. Z diferenciacijo enačbe 1 dobimo:

$$dF = -\rho \cdot K \cdot d \left(\frac{\partial q}{\partial z} \right)$$

kar razvijemo in integriramo ter dobimo enačbo:

$$q(z) - q(z_0) = [q_0(z) - q_0(z_0)] \cdot \text{EXP} \left[-\frac{k^2 X}{d \cdot \ln^2(z/z_0)} \right] \quad (7)$$

Enačba nam pravzaprav pomeni razliko gradientov v zračni masi, če se poveča parni tlak v njej zaradi vpliva jezera. Enačba (7) pa žal ne velja, če je difuzija dovolj velika, ker ne velja predpostavka o enakomerni porazdelitvi vlage, ki smo jo privzeli. Vpliv se nam torej zmanjša na faktor $1/e$ pri razdalji:

$$X = d \cdot \left[\frac{\ln(z/z_0)}{k} \right]^2 \quad (8)$$

To velja za nevtralno stratificirano atmosfero. Pri vrednosti $z = 2\text{m}$, $z_0 = 10\text{m}$ ima kvadrat izraza v oklepaju vrednost 56. Do razdalje $X = 5\text{ km}$ se pri višini inverzije $d = 40\text{ m}$ zaradi izpada zmanjša vpliv jezera na vlago na eno desetinko. Kakor hitro se pojavi nekaj deset metrov debela plast megle, ta model ne velja več. S sevanjem se zdaj ohlaja predvsem vrhnja plast megle in ne tla, kot smo prej predpostavljali. Tla imajo v tem primeru približno isto temperaturo kot zrak, kar močno oslabi proces izločanja vlage na površini.

OCENA MAKSIMALNEGA VPLIVA VODNIH POVRŠIN NA MEGLO V OKOLICI

Po enačbi (2) smo ocenili, da izhlapi v eni zimski noči kakih 100 ton vode iz jezera velikosti 1 km^2 . Marsikdo bo dvomil, da tako velike količine izhlapele vode tako malo vplivajo na povečanje vlage v okolici.

Napravimo si še en model, s katerim bomo skušali oceniti maksimalen vpliv jezera na okolico. Predpostavimo, da ni izpada.

Nadalje predpostavimo, da nad površino nastaja megla, ki ima vodnost $\rho_{va} = 0.1 \rho_{vv}$. Predpostavka temelji na subjektivni oceni in je bila postavljena na podlagi opazovanih podatkov na meteorološki postaji Brnik. Megla naj se enakomerno razleže po okolici, tako da je vodnost in debelina megle $d = 40\text{ m}$ ves čas konstantna. Privzamemo tudi, da naj jezero nič ne vpliva na temperaturo zraka v okolici. Te predpostavke so sicer izvor napak, vendar pričakujemo, da nam dajo prevelike vrednosti, ter da so vplivi na vlažnost zraka v okolici dejansko manjši. Sedaj izračunamo, kakšno površino bi pokrila megla, če bi nastajala ob gornjih pogojih:

$$A = \frac{V}{d} = \frac{m}{d \cdot \rho_{va}} \quad (10)$$

Po tej enačbi je površina, pokrita z meglo, en do dva velikostna reda večja od površine jezera. Tako bi megla, ki se v eni noči zgosti samo od vlage, ki je posledica izhlapele vode iz jezera površine $0,4\text{ km}^2$, segala do približno 2 km na vsako stran jezera. Rezultati tega modela so v tabeli 3.

Rezultati nam povedo, da je takšno akumulacijsko jezero premajhno, da bi tudi v ekstremnih pogojih emitiralo tako veliko količino vodne pare, kot je potrebna za nastanek megle nad večjim področjem. Tu smo zanemarili marsikaj, kar bi rezultat zmanjšalo, npr. temperaturni vpliv zaradi emisije zaznavne toplote in sproščanja latentne toplote pri kondenzaciji. To bi zmanjšalo oceno v tabeli 3 za približno faktor 3. Izpad zaradi kondenzacije nam to oceno zniža za enak ali pa še večji faktor. Predpostavka, da je cirkulacija zraka tako majhna, da se vlaga prenaša le po območju, kjer naj bi po teh računih nastala megla, je tako nerealna, da nam rezultati v tabeli 3 ne morejo služiti za kaj drugega kot za gornjo mejo vlažnostnega vpliva akumulacijskega jezera ob tako nerealnih razmerah. Zato lahko verjamemo rezultatom, ki smo jih dobili po drugih metodah.

Tabela 1 Vrednosti evaporacije ($10^{-6}\text{ kg s}^{-1}\text{ m}^{-2}$) pri temperaturi vode od 0 do 10°C , temperatura rosišča -10 do $+10^{\circ}\text{C}$, pri enakomernem vetru s hitrostjo $u = 0.5\text{ m s}^{-1}$

Table 1 Values of evaporation ($10^{-6}\text{ kg s}^{-1}\text{ m}^{-2}$), at the temperature of water between 0 and 10°C , the temperature of dew point between -10 and $+10^{\circ}\text{C}$, at stationary wind with the speed of $u = 0.5\text{ m s}^{-1}$

TEMPERATURA ROSIŠČA ($^{\circ}\text{C}$)	TEMPERATURA VODE ($^{\circ}\text{C}$)											
	PARNI TLAK (mb)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-10	2.9	6.2	7.1	8.0	9.0	10	11	12	14	15	16	18
-9	3.1	5.7	6.6	7.5	8.5	9.6	11	12	13	15	16	18
-8	3.3	5.3	6.1	7.1	8.1	9.1	10	11	13	14	15	17
-7	3.6	4.7	5.6	6.5	7.5	8.6	9.7	11	12	14	15	17
-6	3.9	4.2	5.1	6.0	7.0	8.1	9.2	10	12	13	14	16
-5	4.2	3.6	4.5	5.4	6.4	7.5	8.6	9.8	11	12	14	15
-4	4.5	3.0	3.9	4.8	5.8	6.8	8.0	9.2	10	12	13	15
-3	4.9	2.3	3.2	4.1	5.1	6.2	7.3	8.5	9.8	11	13	14
-2	5.3	1.6	2.5	3.4	4.4	5.4	6.6	7.8	9.0	10	12	13
-1	5.7	0.8	1.7	2.6	3.6	4.7	5.8	7.0	8.3	9.6	11	13
0	6.1	0	0.9	1.8	2.8	3.9	5.0	6.2	7.5	8.8	10	12
1	6.6		0	0.9	1.9	3.0	4.1	5.3	6.6	7.9	9.4	11
2	7.1			0	1.0	2.1	3.2	4.4	5.6	7.0	8.4	10
3	7.6				0	1.1	2.2	3.4	4.7	6.0	7.4	9.0
4	8.1					1.1	2.2	3.4	4.7	6.0	7.4	9.0
5	8.7					1.1	2.2	3.4	4.7	6.0	7.4	9.0
6	9.4					1.1	2.2	3.4	4.7	6.0	7.4	9.0
7	10.0					1.1	2.2	3.4	4.7	6.0	7.4	9.0
8	10.7					1.1	2.2	3.4	4.7	6.0	7.4	9.0
9	11.5					1.1	2.2	3.4	4.7	6.0	7.4	9.0
10	12.3					1.1	2.2	3.4	4.7	6.0	7.4	9.0

Tabela 2 Vrednosti spremembe relativne vlage (0.1%) pri temperaturi vode od 0 do 10° C in temperaturi zraka -10 do +10° C ter enakomernem vetru s hitrostjo $u = 0.5 \text{ m s}^{-1}$ in relativni vlagi v okolici $f = 100\%$

Table 2 Values of the transformation of relative humidity (0.1%) at the temperature of water between 0 and 10° C, the temperature of air between -10 and +10° C, stationary wind with the speed of $u = 0.5 \text{ m s}^{-1}$ and relative humidity in the surroundings $f = 100\%$

TEMPERATURA ROSIŠČA (°C)	TEMPERATURA VODE (°C)											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
-10	2.9	7.6	9.8	13	16	19	23	28	33	40	46	54
-9	3.1	5.5	7.3	9.5	12	15	19	23	27	32	38	45
-8	3.3	3.9	5.3	7.1	9.2	12	15	18	22	26	31	37
-7	3.6	2.7	3.8	5.1	6.8	8.9	11	14	17	21	26	30
-6	3.9	1.8	2.6	3.6	5.0	6.6	8.6	11	14	17	21	25
-5	4.2	1.1	1.7	2.5	3.5	4.8	6.3	8.2	11	13	16	20
-4	4.5	0.6	1.1	1.6	2.4	3.4	4.6	6.1	7.9	10	13	16
-3	4.9	0.3	0.6	1.0	1.6	2.3	3.2	4.4	5.9	7.6	9.8	12
-2	5.3	0.14	0.32	0.58	0.97	1.5	2.2	3.1	4.2	5.6	7.4	9.4
-1	5.7	0.03	0.14	0.30	0.56	0.92	1.4	2.1	2.9	4.0	5.4	7.1
0	6.1	0	0.04	0.13	0.30	0.53	0.88	1.3	2.0	2.8	3.9	5.2
1	6.6	0	0.03	0.12	0.27	0.49	0.81	1.3	1.9	2.7	3.7	5.2
2	7.1	0	0	0.03	0.11	0.25	0.45	0.76	1.2	1.8	2.5	3.7
3	7.6	0	0	0	0.02	0.09	0.21	0.41	0.69	1.1	1.6	2.5
4	8.1	0	0	0	0	0.02	0.08	0.19	0.37	0.64	1.0	1.6
5	8.7	0	0	0	0	0	0.01	0.06	0.17	0.34	0.64	1.0
6	9.4	0	0	0	0	0	0	0.01	0.06	0.15	0.30	0.59
7	10.0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.05	0.15	0.30
8	10.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.05	0.13
9	11.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.03
10	12.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00

Tabela 3 Maksimalna možna površina pokrita z meglo (km^2) pri predpostavljene relativni vlagi $f = 100\%$, zaradi prisotnosti jezera površine 0.4 km^2

Table 3 Maximum possible area covered with fog (km^2) at the assumed relative humidity $f = 100\%$, due to the presence of a 0.4 km^2 large lake

TEMPERATURA ZRAKA (°C)	TEMPERATURA VODE (°C)											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
-10	2.9	15	18	20	23	25	28	31	34	38	41	45
-9	3.1	13	15	17	20	22	25	28	31	34	37	41
-8	3.3	11	13	15	17	20	22	25	27	30	33	37
-7	3.6	9.4	11	13	15	17	19	22	24	27	30	33
-6	3.9	7.7	9.3	11	13	15	17	19	21	24	27	29
-5	4.2	6.1	7.6	9.2	11	13	15	17	19	21	24	26
-4	4.5	4.7	6.1	7.6	9.1	11	13	14	16	19	21	23
-3	4.9	3.4	4.7	6.0	7.5	9.0	11	12	14	16	18	21
-2	5.3	2.2	3.3	4.6	6.0	7.4	8.9	11	12	14	16	18
-1	5.7	1.0	2.1	3.3	4.6	5.9	7.3	8.9	10	12	14	16
0	6.1	0	2.1	3.3	4.5	5.9	7.3	8.9	10	12	14	16
1	6.6	0	1.0	2.1	3.2	4.5	5.8	7.3	8.7	10	12	14
2	7.1	0	0	1.0	2.1	3.2	4.5	5.7	7.2	8.6	10	12
3	7.6	0	0	0	1.0	2.1	3.2	4.4	5.7	7.1	8.5	10
4	8.1	0	0	0	0	1.0	2.0	3.2	4.4	5.7	7.0	8.5
5	8.7	0	0	0	0	1.0	2.0	3.1	4.4	5.6	7.0	8.5
6	9.4	0	0	0	0	0	1.0	2.0	3.1	4.3	5.6	7.0
7	10.0	0	0	0	0	0	0	1.0	2.0	3.1	4.3	5.6
8	10.7	0	0	0	0	0	0	0	1.0	2.0	3.1	4.3
9	11.5	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	2.0	3.1
10	12.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	2.0

ZAKLJUČEK

Podani matematično-fizikalni model za širjenje vplivov akumulacijskih jezer na temperaturne in vlažnostne razmere v okolici je uporaben predvsem pri prognoziranju mezoklimatskih sprememb, ki nastopajo v specifičnih sinoptičnih pogojih kot posledica gradnje akumulacijskih jezer. Model je obenem poenostavljena slika, s katero si laže predstavljamo fizikalno bistvo procesa. Njegova fizikalna osnova sloni na dogajanju v prizemni plasti, na transportu lastnosti s turbulentno difuzijo. Že pri opisu transporta vlage in zaznavne toplote smo molče naredili nekaj grobih predpostavk: horizontalna homogenost, poprečna hitrost in smer zračnega toka itd. Za večjo veljavnost enačb, ki nam popisujejo transport lastnosti, bi morali dobro poznati realne razmere. Pri opisu širjenja lastnosti, predvsem vlage, imata relief oziroma oblika in poraslost tal zelo pomembno vlogo, kar smo obravnavali z grobimi predpostavkami. Natančnejše ocene bi problem zelo zapletle, koristi pa od tega ne bi bile velike.

Mikrometeorološke spremembe v neposredni okolici jezera so odvisne predvsem od razmer nad vodno površino. V mezoskali pa se ta vpliv v kritičnih pogojih z oddaljenostjo od brega hitro zmanjša, predvsem na račun izpada vlage s kondenzacijo na površini, šele nato zaradi širjenja. Puhteča megla, ki nastane tik nad vodno površino, se zaradi tega ne more advektirati daleč od brega. Rezultati kažejo, da je v oddaljenosti 5 km od jezera velikostni red pričakovanega povečanja relativne vlage 0.1%, če pa upoštevamo še izpad vlage zaradi kondenzacije na površini, pa je ta vpliv še desetkrat manjši (tabela 2). Ti izračuni veljajo za razmere, ko je relativna vlaga blizu 100%, drugače pa je vpliv jezera na nastanek megle manjši.

Če se torej tako daleč od jezera pojavi megla, ne smemo zato kriviti jezera, ampak je nastanek megle posledica visoke vlage v zračni masi. Vzrok zanjo je samo določena sinoptična situacija, ki praktično ni odvisna od obravnavanih vodnih površin.

LITERATURA

- /1/ GREGORY, SMITH: Local Temperature and Humidity Contrasts around Small Lakes and Reservoirs Weather, Vol. 22, N. 12, December 1967.
- /2/ KONSTANTINOV, A. R.: Izparenje v prirode. Leningrad, 1963.
- /3/ PLATE, E. J.: Aerodynamic Characteristics of Atmospheric Boundary Layers. U.S. Atomic Energy Commission, 1971.
- /4/ CSANADY, G. T.: Turbulent Diffusion in the Environment. Reidel Publishing Company, 1973.
- /5/ PASQUILL, F.: Atmospheric Diffusion, 1962.
- /6/ PRISTOV, J., TRONTELJ, M.: Megla v nekaterih slovenskih alpskih dolinah glede na višinske vetrove in na posamezne vremenske situacije. Razprave-Papers XVIII, Ljubljana 1975.

- /7/ AMELIN, A. G.: Theory of Fog Condensation. Translated from Russian. Jerusalem, 1967. Original: Teoretičeskiye osnovy obrazovanja tumanija pri kondenzaciji pare. Moskva 1966.
- /8/ HOČEVAR, A., PETKOVŠEK, Z.: Koncept kompleksne meteorološke obdelave z elektronskim računalnikom in nekaj rezultatov za meglo na letališču Ljubljana-Brnik. Razprave-Papers XI, Ljubljana 1968.

DOLOČANJE EMISIJE SO₂ IN IZRAČUN EMISIJSKEGA POTENCIALA ZA
NEKATERE KOTLINE V SLOVENIJI

SO₂ EMISSION DETERMINATION AND CALCULATIONS OF EMISSION
POTENTIAL FOR SOME BASINS OF SLOVENIA

Zdravko PETKOVŠEK
Katedra za meteorologijo, VTO Fizika, FNT, Ljubljana

551.510.42

SUMMARY

The paper presents three different methods enabling the estimation of SO₂ emission generated by domestic and other non-industrial sources, without having to use the complicated emission register. Ljubljana has been taken as an example, and it is evident that similar results are obtained by all the three methods, and the simplest of them may be used. On the basis of supplementary studies (determination of the volume of basin atmosphere and a model for the increase rate of SO₂ concentrations in basins) the simple equation enables calculations of the mean emission potential (allowed emission) and its index; in the paper, this has been presented for nine basins of Slovenia.

POVZETEK

V delu so prikazane tri različne metode za oceno emisije SO₂ od splošne porabe oz. gospodinjstev brez pomoči zahtevnega katastra emisij. Na primeru Ljubljane je prikazano, da dajo vsi trije načini podobne rezultate in lahko uporabimo najpreprostejšega izmed njih. Na osnovi dodatnih proučevanj (določanja volumna kotlinske atmosfere in modela za izračun naraščanja koncentracij SO₂ v kotlinah) omogoča izvedena enačba izračun poprečnega emisijskega potenciala (dopustne emisije) in njegovega indeksa, kar je tu storjeno za devet kotlin Slovenije.

UVOD

Emisijo SO₂ v neki kotlini ni preprosto določiti. Tudi če bi imeli dober kataster onesnaževalcev (ki ga pa za nobeno naših kotlin ni), se pojavijo robni problemi upoštevanja virov glede na višino inverzije in glede na močne in visoke vire, ki pošiljajo emisijo izven kotlinskih jezer hladnega zraka.

V splošnem delimo vire emisije onesnaženja zraka na tri velike skupine onesnaževalcev; če tu izvzamemo promet, čigar doprinos k emisiji SO₂ je zanemarljiv, velja, da je skupna emisija SO₂ podana z dvema členoma

$$Q_s = Q_{in} + Q_{sp} \quad (1)$$

kjer je Q_{in} emisija od industrije in
 Q_{sp} emisija od splošne porabe.

Tu bomo ocenjevali emisijo SO_2 za čas mrzlih zimskih obdobij, v katerih nastopajo periode visokega onesnaženja zraka z večjimi posledicami za zdravje prebivalstva.

Določitev emisije z SO_2 v neki kotlini in primerjava te vrednosti z maksimalno dopustno emisijo (emisijskim potencialom) tiste kotline, nam omogoča oceno onesnaženosti kotline in s tem potrebno stopnjo strogosti sanacijskih ali preventivnih ukrepov, smer urbanistične politike itd. S tem dobimo torej osnovo za specifično in optimalno politiko varstva zraka v posameznih kotlinah.

EMISIJA OD INDUSTRIJE

Industrijsko emisijo lahko delimo na emisijo od kotlovnice in od proizvodnega procesa. Industrijsko emisijo SO_2 za posamezne večje industrijske objekte, po posameznih krajih in občinah, je za leto 1973 ocenil Zavod za zdravstveno varstvo Maribor /1/. Izkazalo se je, da močno prevladuje emisija od kotlovnice, saj je emisija SO_2 od proizvodnega procesa vredno upoštevati le v štirih krajih Slovenije. Iz omenjenih podatkov je načelno industrijsko emisijo za posamezne kotline sorazmerno preprosto oceniti. Industrijska emisija se med letom malo spreminja, vendar je emisija v mrzlih zimskih dneh za faktor 1,2 večja od letnega poprečja, kar vrednosti za potrebe določanja zimskih razmer ustrezno dvigne.

Poseben problem pa so močni in visoki viri, ki v primerih nizkih inverzij (in v relativno majhnem volumnu) pošiljajo svojo emisijo izven sistema kotlinskega jezera hladnega zraka in je v računih ne smemo upoštevati; pri visokih inverzijah pa ostane onesnaženje v sistemu. Tak je primer ljubljanske toplarne, katere emisija znaša po ocenah Urbanističnega inštituta /2/ skoraj polovico celotne emisije mesta Ljubljane. Pravilno upoštevanje tega učinka torej bistveno vpliva na rezultate. Naša posebna proučevanja /3/ so pokazala, da je vse do relativne višine inverzije 350 m, emisijo toplarne za razmere pod inverzijo potrebno izključiti. Nekatere podobne ugotovitve imamo za TE Šoštanj in Trbovlje, za mnoge kraje pa ne in jih je potrebno oceniti. Iz podatkov ZZV Maribor, če odštejemo toplarno, je npr. industrijska emisija mesta Ljubljane okrog 1 tona SO_2/h , v celotni kotlini pa seveda znatno več.

EMISIJA OD SPLOŠNE PORABE

Emisija od splošne porabe ima v glavnem nizke vire in ostane vsa v kotlinskem zraku, vendar pa jo je bistveno težje določiti. Da bi se čimbolj približali pravi vrednosti in določili metodo, bomo na primeru Ljubljane izvedli cenitev emisije od splošne porabe na tri različne načine, in sicer:

- po specifični emisiji na prebivalca,
- po celotni porabi goriv,
- po toplotnih potrebah ogrevanja bivalnih prostorov.

a) ZZV Maribor je na osnovi našega sodelovanja pri metodiki izvedel anketo porabe goriv v gospodinjstvih različnih struktur, in sicer v Novi Gorici kot predstavniku Primorske in v Mariboru. Iz tega sledi letna emisija za Novo Gorico 8 kg SO_2 na prebivalca na leto in v Mariboru 33 kg $SO_2/preb.$ leto.

Upoštevati moramo, da so v mestih šole, uradi, trgovine itd. in je tam na prebivalca precejšnje dodatno ogrevanje in s tem emisija, medtem ko marsikje zunaj mest še kurijo z drvmi in je emisija SO_2 na prebivalca znatno manjša. Če v prvem približku postavimo, da se oba vpliva v kotlini izenačita, nam zgornje številke predstavljajo poprečno emisijo na prebivalca ustreznega dela Slovenije v dobi ogrevanja. Ta doba je v Novi Gorici le malo krajša, toda intenziteta ogrevanja je očitno zelo različna - kar za faktor 4 se emisiji za oba kraja razlikujeta. Zato je očitno potrebno za razna področja določiti interpolirane ali celo ekstrapolirane vrednosti glede na klimatske razmere posamezne kotline ali področja.

Upoštevajoč trajanje kurilne dobe je poprečna emisija SO_2 na prebivalca na uro v Novi Gorici 1,8 g in v Mariboru 7,5 g. Zadnja vrednost se dobro ujema z vrednostjo za Berlin /4/, ki je 8,0 g $SO_2/preb.h.$ Tam uporabljajo čistejša goriva, toda praviloma ogrevajo cela stanovanja in sorazmerno velike prostore poslovnih, vzgojnih in drugih neindustrijskih dejavnosti.

Na osnovi porabe goriv v Univerzitetnem naselju v Ljubljani, ki ima kotlovnico na premog, pridemo do približno enake vrednosti na podoben način, in sicer malo nad 8 g $SO_2/preb.$ poprečno na uro. V mrzlih zimskih dneh, ki nas predvsem zanimajo, pa je emisija na uro seveda znatno večja od poprečja za dobo ogrevanja. Če se opremo na nekaj razpoložljivih podatkov in primerjav, sledi, da je v zimskih dneh pri temperaturi pod $0^{\circ}C$ poraba goriva in s tem emisija SO_2 približno za faktor 2,0 večja od poprečja. Tako dobimo končno oceno emisije za naše potrebe določanja potenciala onesnaženja v kotlinah na prebivalca - to je koeficient emisije od splošne porabe (K_{sp}): za Novo Gorico 3,6 g $SO_2/preb.h.$, za Maribor 15 g $SO_2/preb.h.$ in za Ljubljano 16 g $SO_2/preb.h.$ kot osnove, iz katerih določamo interpolirane vrednosti za razne druge kraje, kotline in področja.

Emisija SO_2 od splošne porabe za zimske dni dobimo torej preprosto kot produkt koeficienta emisije in števila prebivalcev (N_p)

$$Q_{sp} = K_{sp} \cdot N_p \quad (2)$$

Za mesto Ljubljana npr. dobimo na ta način $Q_{sp} = 3,2$ t SO_2/h , pri čemer smo odšteli prebivalce, ki jih ogreva toplarna. Celotna emisija mesta Ljubljane pa je tedaj v skladu z en. (1) in ugotovljeno industrijsko emisijo, v mrzlih zimskih dneh približno 4,2 t SO_2/h .

b) Na osnovi celotne porabe različnih goriv in njihove kvalitete je delal oceno emisije za Ljubljansko regijo Urbanistični institut SRS /2/. Med drugim je ugotovil, da je emisija toplarne pozimi 47% skupne emisije SO₂ Ljubljane. V mrzlih zimskih dneh je odstotek toplarne nižji, oziroma drugih večji. Če upoštevamo, da predstavlja toplarna tedaj le 38% skupne emisije in maksimalno emisijo toplarne, ki je ca. 60 t SO₂/dan, dobimo vrednost skupne emisije okrog 4 t SO₂/h, ki se dobro ujema s prej določeno vrednostjo.

c) Tretji način je določitev emisije SO₂ po toplotnih potrebah ogrevanja bivalnih prostorov. Ta je možna na osnovi izhodišč, ki jih je postavil IBE /5/, in sicer: potreba po toploti na enoto ogrevanih površin, ki je pri nas 0,295 G cal/m² na leto; dobo ogrevanja 210 dni in izkoristek kotlovnice 0,85. Pri prosto ocenjeni površini 12 m² na prebivalca (upoštevajoč tudi šole in vse druge nestanovanjske prostore) je toplotna potreba in poraba Ljubljane brez toplarne (za 200.000 preb.) 140 G cal/h. Iz te potrebe po toploti računamo količino porabljenih goriv. Ker pa so goriva različna po kalorični vrednosti in tudi po vsebnosti žvepla, moramo upoštevati razmerja porabe med njimi. Ta se z leti nekoliko spreminjajo v prid oljem na račun premoga. Če to upoštevamo, dobimo na osnovi ugotovljenih razmerij porabe za leto 1972 odstotke, ki so podani v prvi koloni tabele 1.

Tabela 1 Poraba goriv in emisije SO₂ v Ljubljani v letu 1972 po posameznih vrstah goriva pri splošni porabi

Table 1 Fuel consumption and SO₂ emission in Ljubljana in 1972, according to separate fuels in general consumption

Gorivo	rel. poraba %	poraba t/h	emisija SO ₂ t/h
trjavni premog	63	26	1,34
lignit	8	5	0,15
lahko olje	22	4	0,08
težko olje	7	1	0,06
	100		1,63

Produkt relativne porabe s skupno toplotno potrebo, povečane za faktor 1,18 zaradi izkoristka in deljen s kalorično vrednostjo goriv, nam da dejansko poprečno porabo posameznih goriv v Ljubljani v kurilni sezoni (brez industrije) - kar je podano v drugi koloni. Produkt dejanske porabe z dvojno vsebnostjo žvepla pa nam da poprečno emisijo SO₂, katere skupna vsota je približno 1,6 t/h. Če upoštevamo faktor 2,0 od poprečja na mrzel zimski dan, dobimo 3,2 t SO₂/h. Ko prištejemo emisijo od industrije, dobimo skupaj spet 4,2 t/h kot poprečno emisijo SO₂ v Ljubljani v mrzlih zimskih dneh. Praktična enakost emisije po treh načinih določevanja nam kaže, da smemo za oceno emisije od splošne porabe za razne kotline uporabljati preprosto metodo po enačbi (2). Pri določitvi koeficienta K_{sp} pa je treba seveda upoštevati tudi klimatske razmere vsake kotline pose-

bej; pri določevanju skupne emisije pa je treba izločiti tisto industrijsko emisijo, ki prebija zaporno inverzno plast in izhaja izven kotlinskega jezera hladnega zraka, ki ga obravnavamo.

Po prvi metodi smo zato določili emisijo SO₂ za devet kotlin Slovenije. Pri tem smo upoštevali strukturo porabe raznih goriv (po oceni) in odvisnosti faktorja K_{sp} od klimatskih razmer ter dobili vrednosti, ki so podane v tabeli 2. Številke same so dovolj zgovorne in ne potrebujejo komentarja, potrebno pa je dodati, da pri Ljubljanski kotlini niso bile upoštevane emisije od ljubljanske toplarne zaradi velike višine vira /3/ in Jesenic zaradi obrobne in visoke lege virov.

Tabela 2 Ocena parametrov parcialne in sumarne emisije SO₂ v mrzlih zimskih dneh po podatkih za leto 1973 za nekatere kotline Slovenije (brez upoštevavanja visokih in obrobni virov in brez prebivalcev, ki jih ogreva toplarna)

Table 2 The estimation of parameters of partial and summarized SO₂ emission in cold winter days, according to data obtained for 1973, for basins of Slovenia (not considering high and bordering sources, and not including the heating of inhabitants by heating stations)

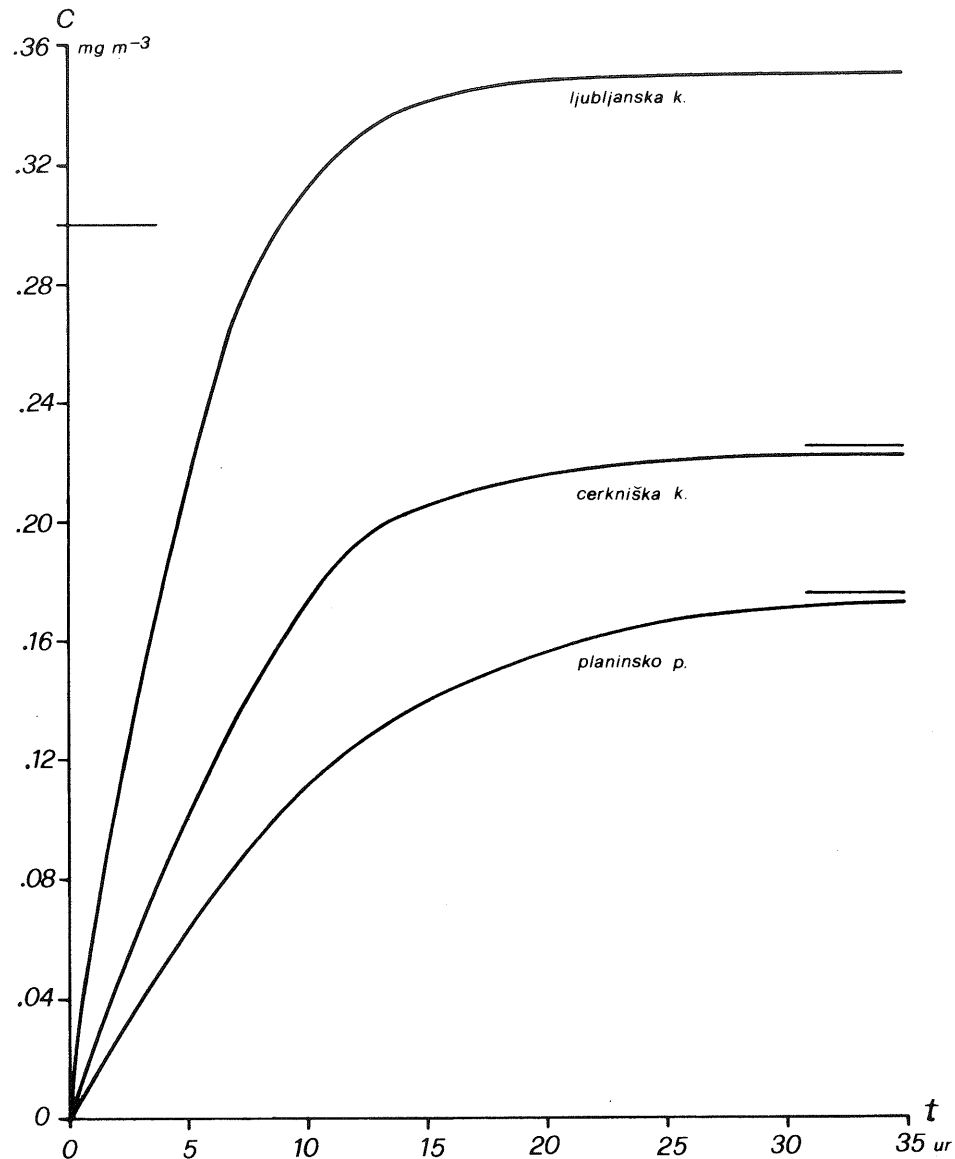
Kotlina	N _p	K _{sp} (g/h)	Q _{sp} (kg/h)	Q _{in} (kg/h)	Q _s (kg/h)
Ljubljanska	330000	16	5280	3980	9260
Celjska	62000	16	990	1100	2090
Mislinska	10500	13	136	32	168
Mežiška	20900	15	313	690	1000
Loška	2800	10	28	0	28
Cerkniška	5500	10	55	6	61
Planinsko p.	2000	10	20	0	20
Novomeška	16700	14	234	167	400
Krška	16200	12	194	2130	2320

IZRAČUN DOPUSTNE EMISIJE

Model za oceno poprečnega emisijskega potenciala onesnaževanja zraka z SO₂ omogoča izračun časovnega poteka naraščanja koncentracij v posameznih kotlinah /6/. Kot je razvidno s primerov na sliki 1, po njem koncentracije sprva hitro in nato vse počasneje naraščajo zaradi izpada, in se asimptotično približujejo maksimalni vrednosti. Maksimalna dopustna emisija (ali emisijski potencial onesnaženja) pa je določen s preprosto enačbo

$$Q_D = b \cdot V \quad (3)$$

pri čemer je V volumen kotlinskega jezera hladnega zraka, b pa faktor, ki je odvisen od izpada in od predpisanih maksimalnih dopustnih koncentracij (MDK) SO_2 v zraku. Te so pri nas $0,3 \text{ mg/m}^3$ ter ima faktor b vrednost 38 kg/h .



Slika 1 Naraščanje koncentracij SO_2 v treh kotlinah Slovenije po modelu, ki upošteva pretvorbo SO_2 v sulfate

Fig. 1 Increasing of SO_2 concentrations in three basins of Slovenia according to the model considering the transformation of SO_2 into sulphates

Tako izračunane vrednosti emisijskega potenciala onesnaževanja zraka z SO_2 za nekatere kotline Slovenije so med drugim podane v tabeli 3. Tu so torej poleg nekaterih izhodiščnih parametrov prikazani končni rezultati našega dela za oceno emisijskega potenciala onesnaževanja kotlin. Za druge kotline Slovenije bo to treba še storiti; pri tem pa je mnogo dela predvsem pri določitvi volumna kotlinskega jezera hladnega zraka v poprečnih oz. karakterističnih vremenskih razmerah /7/.

Tabela 3 Relativna višina kotlinskega jezera hladnega zraka, njegov volumen, dopustna in skupna emisija SO_2 ter indeks emisijskega potenciala onesnaževanja za nekatere kotline v Sloveniji

Table 3 Relative height of a basin cold-air lake, its volume, allowed and total SO_2 emission and index of emission potential of air pollution for some basins of Slovenia

Kotlina	H (m)	V_k (km^3)	Q_D (kg/h)	Q_S (kg/h)	I_E
Ljubljanska	200	180	6840	9260	1,43
Celjska	140	38	1440	2090	1,45
Mislinjska	130	3,1	118	168	1,42
Mežiška	120	1,3	50	1000	20,0
Loška	120	2,3	87	28	0,32
Cerkniška	80	2,8	106	61	0,57
Planinsko p.	80	1,5	57	20	0,35
Novomeška	120	11	418	400	0,95
Krška	90	20	1520	2310	1,52

Iz tabele 3 vidimo, kolikšne so dopustne emisije SO_2 v nekaterih kotlinah pri ocenjenih pogojih, če naj bi poprečne dnevne koncentracije SO_2 ostale pod dovoljenimi vrednostmi. Dopustne emisije se seveda v splošnem razlikujejo od dejansko ocenjenih. Bolj značilen kot razlike, je kvocient med njimi, imenujemo ga indeks dopustne emisije in ga definiramo

$$I_E = Q_S / Q_D \quad (4)$$

kjer je Q_S vsota dejanske in Q_D dopustna emisija neke kotline. Vrednosti tega indeksa za obdelane kotline vidimo v zadnji koloni tabele 3. Ta kaže, da je npr. v Mežiški kotlini emisija SO_2 kar dvajsetkrat prevelika. Velik del te emisije izhaja v t.i. dolini smrti kot obrobem predelu, kjer je res uničena vsa vegetacija; ta emisija pa zato celotne Mežiške kotline navadno močno ne prizadene. Emisija SO_2 v Ljubljanski, Celjski, Mislinjski in Krški kotlini je bila leta 1973 (za katero so podatki) približno za polovico prevelika; emisija v Novomeški kotlini je bila malo pod dopustno mejo, medtem ko so "čiste" od obravnavanih kotlin le Loška in Cerkniška ter Planinsko polje.

Dobljeni rezultati so toliko bolj zaskrbljujoči, če upoštevamo, da je bilo tu računano tako, kot da se onesnaženje enakomerno porazdeli po vsej kotlini. Ker dejansko temu ni tako, seveda koncentracije SO₂ v bližini virov - zlasti nizkih v mestih - včasih za nekajkrat presegajo dovoljene meje že samo pri tem plinu. Če bi upoštevali še druge specifične primese od tehnoloških procesov, motornih vozil i. d., bi bila slika o onesnaženju zraka v naših kotlinah še znatno slabša.

Le za nekatere kraje ali dele kotlin imamo podatke o onesnaženju zraka z SO₂ za nekaj let kar omogoča oceno onesnaženosti zraka tam, za mnoge pa ne. Na opisan način pa smo prišli prek izdelane metode do ocene kvantitativnih vrednosti dopustne emisijske obremenitve v specifičnih razmerah, kar je osnova za neposredne ukrepe za zmanjšanje emisije. Rezultati, ki so večinoma v skladu z meritvami koncentracij, nedvomno kažejo, da bo in za koliko bo po tej oceni treba emisijo onesnaževanja zraka z SO₂ v posameznih kotlinah zmanjšati, če naj bi pozimi v njih onesnaževanje zraka z SO₂ ne presegalo dovoljenih mej.

LITERATURA

- /1/ ZZVM: Ugotovitev vrste, kvalitete, jakosti in lokacije izvorov emisij onesnaževanja zraka v SR Sloveniji, SBK - 1101, Zavod za zdravstveno varstvo Maribor, 1974 in 1975.
- /2/ DEKLEVA, J.: Model kvalitete zraka kot osnova strategije za zmanjšanje onesnaženosti zraka v Ljubljanski regiji, Urbanistični inst. SRS, SBK - UI 461, Ljubljana 1975.
- /3/ PETKOVŠEK, Z.: Klimatski pogoji in onesnaženje zraka v kotlinah, Zbornik radova I. Jug. kong. hem. inž. i proc. tehn., III. knjiga, Beograd 1971.
- /4/ GUTSCHE, B. und LENSCHOW, P.: Untersuchung zur Luftverunreinigungssituation Berlins unter besonderer Berücksichtigung der politischen Lage der Gesamtstadt, Inst. für theoret. Meteor. Berlin, 1973.
- /5/ BABŠEK, B.: Možnosti zmanjšanja emisije (onesnaženja zraka) v SR Sloveniji s spremembo goriv, Industr. biro elektroprojekt, Ljubljana 1975.
- /6/ PETKOVŠEK, Z.: Model za oceno poprečnega emisijskega potenciala onesnaženja zraka z SO₂ za kotline, FNT - RSS, Ljubljana 1977.
- /7/ PETKOVŠEK, Z.: Reliefno-meteorološke karakteristike kotlin, FNT - RSS, Ljubljana 1977.

VREMENSKI POGOJI OB VISOKEM ONESNAŽENJU ZRAKA
WEATHER CONDITIONS FOR THE POLLUTION OF AIR

Janko PRISTOV
Meteorološki zavod SRS, Ljubljana

551.510.42:
551.590.39

SUMMARY

The method of forecasting the weather conditions enabling the formation of high concentrations of air pollution is essentially different from the one used for larger areas. Here, macroweather situations do not exercise such a great influence, and it is not so important whether the layers of free atmosphere are spread stably or unstably; the influence depends on circumstances which occur up to the height of a few hundreds of meters, and also on the configuration of basins.

The formation of high concentrations in basins mostly depends on cold-air lakes and their thickness, i. e. on the cooling degree of ground layers. Circumstances that are especially favourable for the formation of high concentrations, are young anticyclones or barically weak-gradient field, when the layer of cold air is in the process of being formed, as radiation is stronger than insolation. In winter, when cold-air lakes are very persistent, cyclonal circulation often - even with its frontal systems - does not remove cold-air lakes, but the upper layer of cold-air lake is usually considerably lowered only, which creates perfect conditions for the formation of high air pollution concentrations.

It has been ascertained that in Ljubljana, situated in a basin, high concentrations are formed at very weak winds, and at the most frequent mean daily temperature being around 0° C. High air pollution concentrations are frequently accompanied by fog, which, however, is not a necessary condition. In the main winter period the formation of high concentrations is more frequent in cyclonal than in anticyclonal situations, but the situation is opposite for all the other months. Cases when high air pollution concentrations have occurred in anticyclonal weather with expressive subsidiary inversion, are very rare.

POVZETEK

Pojavljanje visokih koncentracij onesnaženosti zraka je odvisno predvsem od posebnih meteoroloških pogojev, ki so za kotline močno različni od onih za velika področja.

Na podlagi obdelav vremenskih razmer in sinoptičnih situacij za razdobje 1969-1972 so ugotovljeni nekateri vzroki za pojavljanje močne onesnaženosti zraka v Ljubljani. Rezultati teh raziskav služijo kot osnova za sestavljanje posebnih vremenskih napovedi.

UVOD

Ljubljana leži na dnu razmeroma obsežne kotline, ki ima le neznamenit odtok zraka ob strugi reke Save. Ta odtok je tako majhen, da nastajajo v hladni polovici leta, predvsem ob deloma jasnem vremenu, bolj ali manj izrazita jezera hladnega zraka in predstavljajo idealne pogoje za visoke koncentracije onesnaženosti zraka.

Industrije, ki bi s svojimi tehnološkimi procesi močno onesnaževala ozračje, Ljubljana nima. Pojavlja pa se zadostna emisija SO₂ zaradi ogrevanja v mestu, da ob neugodnih vremenskih razmerah koncentracije onesnaženosti zraka presežejo dovoljene norme. Nas predvsem zanima prognoza takšnih vremenskih razmer.

S problemom prognoziranja vremenskih pogojev za pojavljanje visokih koncentracij onesnaženosti zraka se srečujejo v mnogih deželah, rešitev pa je za posamezne kraje lahko zelo različna. Za prognoze v kotlinah si ne moremo pomagati z metodami, ki so uporabne za velika področja, kot na primer višina mešanja /1/, potencial onesnaženosti /2/ ali na primer Pasquillovi kriteriji /3/. Mi želimo poiskati vzroke kdaj in zakaj se pojavljajo v kotlinah visoke koncentracije onesnaženosti zraka.

Papež /4/ je leta 1971 raziskoval dve podobni anticiklonalni situaciji, ki sta povzročili popolnoma različno stopnjo onesnaženosti zraka. Vzrok za razliko ob približno enakih sinoptičnih pogojih pripisuje različni debelini ohlajene prizemne zračne plasti.

Uporabne metode za prognoziranje visokih koncentracij onesnaženosti zraka v kotlinah v literaturi nismo našli in smo zato že pričetno delo o raziskavah lokalnih pogojev /5, 6/ samo nadaljevali z nekoliko bolj sinoptično metodo.

ONESNAŽENOST ZRAKA

Zavedamo se, kako težavna je problematika meritev onesnaženosti zraka za nekoliko širše območje, zato smo privzeli za našo oceno zelo poenostavljen način. Mi smo privzeli mejo 0.4 mg SO₂/m³ in smo za vse dni, ko je poprečna onesnaženost vsaj na enem izmed šestih merskih mest to mejo dosegla, predpostavili, da je v Ljubljanski kotlini visoka onesnaženost zraka.

Ob takšni predpostavki se z redkimi izjemami pojavljajo visoke koncentracije v Ljubljani le od meseca oktobra do marca. Pri obdelavi smo upoštevali razdobje od leta 1969 do 1972. Zabeležili smo 208 dni, ko so bile po naši predpostavki v Ljubljani visoke koncentracije onesnaženosti zraka. Od celotnega števila odpadajo tri četrtine ali boljše 158 dni na razdobje od decembra do februarja in le 50 dni na vse preostale mesece.

Vsekakor ta predpostavka o določitvi visoke koncentracije onesnaženosti zraka ni idealna, saj vemo, da so koncentracije močno odvisne od same emisije, ki pa je od dneva do dneva različna. Še posebno se poznajo sobote in nedelje, ko je močno zmanjšana emisija v centru mesta in povečana v stanovanjskih področjih, pravtako pa je vsekakor odvisna tudi od temperature zraka.

VREMENSKE SITUACIJE

Da bi našli razlago, v kakšnih vremenskih situacijah se pojavljajo visoke koncentracije onesnaženosti zraka, smo vsak dan razvrstili sinoptično situacijo v posamezni tip. Določili smo 9 tipov, od tega 4 ciklonalne in 5 anticiklonalnih, s tem da spada k zadnjim tudi šibkogradientno pritiskovo polje /8/.

Klasificirali smo 729 situacij in smo določili za vsako, ali je bilo onesnaženje pod ali nad dovoljeno mejo. Iz tega smo dobili procentualne vrednosti, za vsako izmed situacij, o pojavljanju visoke onesnaženosti zraka.

Tabela 1 Pogostost sinoptičnih situacij s procenti primerov, ko je bila poprečna dnevna onesnaženost zraka nad 0.4 mg/m³

Table 1 Frequency of synoptic situations, with percentage of cases, when mean daily air pollution exceeded 0.4 mg/m³

	oznaka	število primer.	% z visoko onesnaž.
Ciklon nad Slovenijo	0 C	7	43
Ciklon nad Sredozemljem ali nad zahodno Evropo in sega v Sredozemlje	1 C	112	37
Srednjeevropski ciklon, pretežni del Evrope je v ciklonalnem področju	2 C	54	28
Ciklonsko področje vzhodno ali jugovzhodno od Slovenije	3 C	24	29
Skupno ciklonalnih situacij		197	33.5
Greben azorskega anticiklona	0 A	56	41
Greben vzhodnoevropskega anticiklona	1 A	162	38
Anticiklon nad srednjo Evropo ali Alpami	2 A	252	28
Šibkogradientno anticiklonalno polje med dvema ciklonama	3 A	34	53
Most med dvema anticiklonoma	4 A	28	29
Skupno anticiklonalnih situacij		523	34

Želeli smo dobiti odvisnost pojavljanja onesnaženja zraka od različnih vremenskih tipov, vendar v kljub različnim procentom pojavljanja pri posameznih tipih kakršnekoli zakonitosti ne moremo dobiti. Vsekakor so večje razlike pri pojavljanju visokih koncentracij onesnaženosti zraka med posameznimi vremenskimi tipi pri ciklonalnih in še bolj pri anticiklonalnih situacijah, kot med vsemi ciklonalnimi in anticiklonalnimi situacijami.

Če privzamemo, da je v anticiklonalnih situacijah atmosfera v glavnem stabilna in v ciklonalnih znatno labilnejša, potem bi iz tega sledilo, da je v anticiklonalnih situacijah onesnaženost zraka znatno večja.

Ker pa podatki o onesnaženju ne potrjujejo te predpostavke, moramo pregledati vzroke za pojavljanje onesnaženosti zraka, še posebno pri ciklonalnih situacijah.

V najhladnejših mesecih leta, to je od decembra do februarja, je odstotek ciklonalnih situacij, pri katerih je v Ljubljani visoko onesnaženje zraka, razmeroma velik in je v januarju in februarju celo znatno večji kot pri anticiklonalnih situacijah.

Tabela 2 Pogostost ciklonalnih in anticiklonalnih situacij po posameznih mesecih v odvisnosti od onesnaženja zraka

Table 2 Frequency of cyclonal and anticyclonal situations, according to separate months in the dependence of air pollution

mesec	mesec						
	jan.	feb.	mar.	okt.	nov.	dec.	vsota
Število dni s ciklonalno cirkulacijo	34	42	46	11	44	21	198
% dni z visoko concen. onesnaženosti	71	59	6	0	14	43	
Število dni z anticiklonalno cirkulacijo	90	71	78	113	76	103	531
% dni z visoko concen. onesnaženosti	62	41	19	6	22	55	

To si je možno razlagati s tem, da so v najhladnejšem razdobju jezera hladnega zraka v kotlinah toliko hladnejša, da so znatno bolj trdoživa, kot v drugih mesecih. V tem razdobju je tudi insolacija razmeroma majhna in se zato pogosto zgodi, da so spremembe v zračni masi zaznavne le v višjih plasteh, pri tleh pa ostane še naprej mrzla zračna masa. Prav ob takšnih sinoptičnih situacijah, ko je temperaturna inverzija razmeroma nizko in je nad njo advekcija topljšega zraka ob ciklonalni cirkulaciji, so najbolj ugodni pogoji za visoke koncentracije onesnaženosti zraka. Nobena redkost namreč ni, da lahko pozimi sneži ali dežuje, pa so koncentracije onesnaženja zraka v kljub temu zelo visoke.

Zelo majhen procent ciklonalnih situacij z visokimi koncentracijami onesnaženosti zraka v pomladanskih ali jesenskih mesecih si razlagamo s tem, da povzročijo vsaka večja sprememba vremena tudi zamenjavo zračne mase pri tleh in so zato tudi jezera hladnega zraka manj obstojna.

Kot vidimo nam same makrosinoptične situacije le malo pomagajo pri prognozi onesnaženja zraka, čim pa upoštevamo tudi druge elemente, lahko postanejo zelo koristne za prognozo onesnaženja.

VPLIV TEMPERATURE

Iz pogostosti pojavljanja primerov z visoko koncentracijo onesnaženosti zraka v posameznih temperaturnih intervalih zapazimo, da je več od polovice primerov pri pozitivnih temperaturah. Najbolj izstopajo primeri pri negativnih temperaturah v mesecu decembru, v januarju je enako število teh primerov pri pozitivnih kot pri negativnih poprečnih temperaturah zraka, medtem ko februarja že prevladujejo visoke koncentracije pri pozitivnih temperaturah.

Tabela 3 Število dni v Ljubljani s srednjo dnevno temperaturo, ko je bila poprečna dnevna koncentracija SO₂ nad 0.4 mg/m³

Table 3 Number of days, in Ljubljana, with mean daily temperature, when mean daily SO₂ concentration exceeded 0.4 mg/m³

°C	meseci	meseci							vsota	%
		jan.	feb.	mar.	okt.	nov.	dec.			
pod -6		6	4	0	0	0	8	18	7.3	
-5.9 do 4		10	1	0	0	1	7	19	7.7	
-3.9 do 2		14	9	0	0	3	17	43	17.4	
-1.9 do 0		10	9	1	0	1	17	38	15.4	
0.1 do 2		23	12	7	0	5	9	56	22.7	
2.1 do 4		14	14	5	1	2	3	39	15.3	
višje od 4		3	4	5	6	13	3	34	14.2	

V glavnih zimskih mesecih je znatno več teh primerov pri temperaturah v Ljubljani pod -6° C kot nad 4° C, medtem ko v drugih mesecih pod -6° C ni nobenega primera.

Mnogo bolj kot poprečne dnevne temperature, pa čeprav te močno vplivajo na emisijo onesnaženja, vpliva na pojavljanje onesnaženja vertikalna temperaturna razporeditev nad Ljubljano. Koncentracija onesnaženja je odvisna od debeline plasti hladnega zraka v prizemnem sloju in seveda od tega, če se takšna plast združuje ves dan ali ne.

Meritev višine inverzije, razen za krajše obdobje, za Ljubljano nimamo. Zato smo prisiljeni, da razmere poenostavimo.

Kot primerjalne vremenske podatke za Ljubljano vzamemo podatke Šmarne gore, ki leži v Ljubljanski kotlini in ima relativno višino glede na Ljubljano 366 m. Iz primerjave dveh podatkov dobimo, če je kjerkoli pod višino Šmarne gore temperaturna inverzija; ne moremo pa ugotoviti, na kateri višini je inverzija in tudi ne, ali je ena ali več inverznih plasti.

Splošno je poznano, da so temperaturne inverzije, vsaj če upoštevamo poprečne dnevne temperature, najpogostejše v jesenskih in zimskih mesecih. Nastajajo toliko časa v sezoni, dokler se atmosfera v nižjih plasteh zaradi izžarevanja močnejše ohladi, kot se čez dan zaradi sončnega sevanja segreva.

Nastajanje temperaturnih inverzij je odvisno tudi od trenutnega vremena. V poprečju so najpogostejše v oktobru, novembru, decembru in januarju, v februarju jih je ponavadi že manj, medtem ko so marca in aprila celodnevne temperaturne inverzije v prizemni plasti že prave izjeme.

Tabela 4 Število dni po mesecih s temperaturno inverzijo med Ljubljano in Šmarno goro, dobljeno na osnovi poprečnih dnevni vrednosti

Table 4 Number of days, according to months, with temperature inversion between Ljubljana and Šmarna gora

leto \ mesec	mesec					
	jan.	feb.	mar.	okt.	nov.	dec.
1969	12	9	2	26	3	5
1970	8	6	3	11	10	11
1971	13	7	0	19	11	22
1972	5	8	9	5	15	8
skupno	38	30	14	61	39	46

Podatki o onesnaženju zraka za Ljubljano pokažejo, da je oktobra še zelo malo dni z visoko onesnaženostjo, pa čeprav je veliko število dni z izrazito temperaturno inverzijo. Podobno kot v oktobru je še v prvi polovici novembra, nato pa se onesnaženost v primerih temperaturne inverzije močno poveča in je najbolj izrazita v decembru in januarju; v februarju, predvsem v drugi polovici, pa je temperaturnih inverzij že znatno manj.

Zaradi vremenskih razmer in različne emisije, ki je močno odvisna tudi od temperature, lahko delimo hladni del leta v tri razdobja:

- 1 oktober - november
- 2 december - januar - februar
- 3 marec - april

Oktobra in novembra so visoke koncentracije onesnaženosti več ali manj izjemen pojav zaradi razmeroma še majhne emisije, ker so zelo nizke temperature le v izjemnih primerih. Te nizke temperature se najpogosteje pojavljajo ob prodorih hladnega zraka, ki pa so za visoke koncentracije onesnaženja zraka najmanj ugodni, ker je v takšnih primerih nekoliko vetrovno. Če pa je mirno in jasno vreme, nastajajo jezera hladnega zraka, vendar se inverzne plasti v dopoldanskem času zaradi toplih tal pogosto še razkrojijo.

V mesecih marec in april je onesnaženje razmeroma majhno, vendar iz drugih vzrokov. V teh mesecih je atmosfera znatno labilnejša zaradi vedno močnejše insolacije, pa tudi emisija SO₂ se znatno zmanjšuje.

Ostanejo torej trije, za onesnaženje ozračja najbolj pomembni meseci, za katere predpostavimo, da so atmosferske razmere v poprečju zelo podobne. Za te tri mesece velja pravilo z redkimi izjemami, da so koncentracije v Ljubljani nad dopustno mejo, kolikor je temperaturna inverzija pod višino Šmarne gore. V letih 1969, 1970 in 1971 je bilo samo 6 med seboj ločenih dni, ko temu pravilu ni bilo zadoščeno. V letu 1972 je bilo kar 12 takšnih dni, s to razliko, da je bilo v prvih sedmih dneh decembra toplo jesensko vreme in so bili zato dnevi z inverzijo in visokimi koncentracijami združeni.

Pojavljajo pa se tudi obratni primeri, ko so vertikalne temperaturne razlike velike, saj je na Šmarni gori več kot 2.5° C hladneje kot je v Ljubljani, torej je vertikalni temperaturni gradient pod -0.7° C/100 m.

Tudi ti primeri s tolikšnim temperaturnim gradientom in visoko koncentracijo trajajo ponavadi le en dan, pogosto pa so takrat padavine, bodisi dež ali tudi sneg. Vsekakor imamo v takšnih primerih nad naše kraje advekcijo toplejšega zraka, ki pogosto povzroča padavine.

OBLAČNOST IN MEGLA

Za dni, ko je bila v Ljubljani zabeležena dnevna koncentracija nad 0.4 mg SO₂/m³ smo želeli dobiti oblačnost na različnih višinah. Upoštevali smo poprečno dnevno oblačnost na osnovi klimatoloških terminov poleg Ljubljane in Šmarne gore še za postaji Ravnik na Nanosu in Kredarici.

Tabela 5 Procentualna porazdelitev poprečne dnevne oblačnosti po intervalih za posamezne postaje za dni, ko je bila v Ljubljani visoka koncentracija SO₂

Table 5 Distribution, in percentage, of mean daily cloudiness, according to intervals for separate stations for days with high concentration in Ljubljana

Postaja	Količina oblačnosti			
	manj od 3	3.1 do 6	6.1 do 9	nad 9
Ljubljana (299 m)	6.0	17.3	22.6	54.1
Šmarna gora (665 m)	30.5	13.0	15.5	41.0
Ravnik na Nanosu (915 m)	33.5	14.3	13.0	39.1
Kredarica (2514 m)	32.0	26.7	17.4	23.9

Ljubljana izstopa od drugih krajev z večjimi nadmorskimi višinami po tem, da ima največ oblačnih in najmanj jasnih dni, medtem ko so vsaj pri jasnih dneh druge tri postaje močno izenačene. Število oblačnih dni z višino postopno upada. To si razlagamo s tem, da ima Ljubljana veliko število dni z meglo ali nizko oblačnostjo, ki pogosto niti ne sega do višine Šmarne gore.

Na osnovi tabele 5, je mogoče oceniti, da je v Ljubljani pri visokih koncentracijah onesnaženosti zraka približno 15% dni, ko je celodnevna megla ali nizek stratus. Torej vidimo, da je le malo dni z visokimi koncentracijami onesnaženosti zraka ob jasnem anticiklonalnem vremenu z meglo po kotlinah.

Megla označuje v kotlinah in nižinah v prizemnih plasteh stabilno zračno maso, medtem ko pomeni megla v višjih legah le to, da je postaja v oblaku. Šmarna gora je nekako med obema možnostima. Kadar je debelina megle v Ljubljanski kotlini tolikšna, da zajame tudi Šmarno goro, nam predstavlja meglo, v nasprotnem primeru oblak, ali visoko meglo ali stratus, če pa so padavine, lahko tudi nimbostratus.

Čeprav kaže megla stabilno zračno maso v prizemnih plasteh ozračja, še ni zadosten pogoj, da se bodo pojavile visoke koncentracije onesnaženosti.

Že sama tabela nekajletne vrednosti pojavljanja megle pokaže (tabela 6), da je v glavnih zimskih mesecih znatno večje število dni z meglo, ko je visoka koncentracija, v drugih mesecih pa je razmerje veliko večje v korist dni z manjšo poprečno dnevno koncentracijo onesnaženosti.

Kadar je Šmarna gora v megli ali je njen vrh v oblaku, je v Ljubljani vedno več dni z nizko koncentracijo, kot z visoko koncentracijo onesnaženosti zraka. Izjema je v mesecu januarju. V jesenskih in pomladanskih mesecih je Šmarna gora v megli le ob nizki koncentraciji onesnaženja zraka v Ljubljani.

Tabela 6 Število dni z meglo za razdobje 1969-1972, v oklepaju je število dni, ko je bila koncentracija onesnaženosti v Ljubljani nad 0.4 mg SO₂/m³

Table 6 Number of days with fog for the period 1969-1972, figures between the brackets denote the number of days when air pollution concentration exceeded 0.4 mg SO₂/m³

Postaja	Mesec					
	jan.	feb.	mar.	okt.	nov.	dec.
Ljubljana	56(12)	36(17)	8(31)	5(63)	14(41)	48(20)
Šmarna gora	6(5)	4(10)	0(14)	0(6)	0(5)	2(11)

Iz navedenega lahko sklepamo, da megla na Šmarni gori ni kazalec povečane koncentracije onesnaženosti v kotlini, pa tudi megla v Ljubljani nima neposredne povezave z onesnaženjem, razen te, da v mesecih december, januar in februar močno prevladujejo dnevi z višjo onesnaženostjo. Nikakor pa ne moremo zagotovo trditi, da bodo visoke koncentracije onesnaženosti zraka, če se bo pojavila v teh mesecih megle.

ODVISNOST ONESNAŽENOSTI ZRAKA OD VETRA

Za Ljubljano je značilno, da ima v hladni polovici leta zaradi pogostih jezer hladnega zraka zelo malo vetra in da je prav to eden izmed vzrokov za visoke koncentracije onesnaženosti zraka.

Tabela 7 Procentualna porazdelitev poprečne hitrosti vetra po intervalih za dni, ko je bila v Ljubljani visoka koncentracija onesnaženosti zraka

Table 7 Distribution, in percentage, of mean wind speed, according to intervals, for days with high air pollution concentration in Ljubljana

Ljubljana		Kredarica	
Hitrost vetra		Hitrost vetra	
manjša od 0.5 m/s	48%	manjša od 0.5 m/s	16%
od 0.6 do 1 m/s	33%	od 0.6 do 5 m/s	24%
nad 1 m/s	19%	od 5.1 do 10 m/s	35%
		nad 10 m/s	25%

Iz tabele vidimo, da je v Ljubljani kar 48% vseh primerov, ko je poprečna hitrost vetra do 0.5 m/s in lahko govorimo o brezveterju. Nad 1 m/s je samo 19%

od vseh primerov in upravičeno lahko trdimo, da je ob visokih koncentracijah v Ljubljani skoraj brezveterje. Pri redkih izjemah doseže tudi pri visoki koncentraciji onesnaženosti zraka v Ljubljani poprečna hitrost vetra do 6 m/s.

Vidimo pa, da je v prosti atmosferi znatno bolj vetrovno, na kar lahko sklepamo iz podatkov Kredarice (tabela 7). Za mirno atmosfero vzamemo 16% vseh primerov, takrat je namreč na Kredarici poprečna dnevna hitrost pod 0.5 m/s, to pa je toliko, kolikor ima Ljubljana več dni s celodnevno meglo ali stratusom od višjeležečih postaj.

Več kot polovica primerov je, ko ima na Kredarici poprečni dnevni veter hitrost nad 5 m/s. Četrtnina od vseh primerov je, ko je hitrost vetra celo nad 10 m/s, kar je kar razgibana atmosfera.

Ti podatki potrjujejo domnevo, da je pri visokih koncentracijah onesnaženosti zraka razmeroma majhen procent anticiklonalnega vremena z izrazitimi subsidenčnimi inverzijami.

ZAKLJUČKI

Obravnavano gradivo zajema nekajletna razdobja v hladni polovici leta. Predpostavili smo razmeroma konstantno emisijo onesnaženosti zraka, čeprav je ta odvisna od dneva v tednu in od toplih oziroma mrzlih razdobj. To so zelo grobe predpostavke, a smo kljub temu dobili določene zaključke.

Ugotovili smo, da na pojavljanje koncentracij onesnaženosti zraka ne vplivajo v znatni meri makrometeorološke situacije, niti ne toliko, ali je prosta atmosfera stabilno ali labilno uslojena, temveč vplivajo vremenske razmere do višine nekaj sto metrov.

Prvenstveno je odvisno pojavljanje visokih koncentracij v kotlinah od jezer hladnega zraka in njihove debeline, torej od stopnje ohlajevanja prizemnih plasti. Posebno ugodne razmere za visoke koncentracije so v mladih anticiklonih ali v barično šibkogradientnem polju, ko jezero hladnega zraka šele nastaja.

V zimskem času, ko so jezera hladnega zraka zelo trdoživa, pogosto ciklonalna cirkulacija niti s svojimi frontalnimi sistemi ne zamenja zračne mase v kotlinah, temveč le zniža debelino hladnega zraka in s tem ustvarja ugodne razmere za pojavljanje visokih koncentracij onesnaženosti.

Za Ljubljano, ki leži v kotlini, je ugotovljeno, da se visoke koncentracije pojavljajo pri zelo šibkih vetrovih, z najpogostejšo temperaturo okoli 0° C. Visoke koncentracije onesnaženosti pogosto spremlja megla, vendar to ni potreben pogoj. V glavnem zimskem razdobju (januarja in februarja) je pogostost pojavljanja visokih koncentracij večja pri ciklonalnih, kot pri anticiklonalnih situacijah, medtem ko je v drugih mesecih obratno.

LITERATURA

- /1/ Mc CORNICK, R.A.: Meteorological Aspects of air pollution in Urban and Industrial districts. World Meteo. org. Tehnical note No 106, Geneva 1970.
- /2/ NIMEYER, L.E.: Farcosting air pollution potential. Mon. Wea. Riv. 88, 1960.
- /3/ PASQUILL, F.: The Estimation of the Dispersion of Windborne Material. The Meteorological Magazine No 1063, Vol. 90, 1961.
- /4/ PAPEŽ, A.: Vzťahy mezi synoptickimi situacemi o znečištenim vzduchu v Kapistech u Mostu. Meteorologicke Zpravy, Ročník XXIV - 1971.
- /5/ HOČEVAR, A., PETKOVŠEK, Z.: Doprinos k poznavanju razmer v jezeru hladnega zraka v Ljubljanski kotlini. Razprave - Papers XIII, Društvo meteorologov Slovenije, 1971.
- /6/ PARADIŽ, B.: Nekaj karakteristik onesnaženja zraka v Ljubljani. Razprave - Papers XII, Društvo meteorologov Slovenije, 1970.
- /7/ PETKOVŠEK, Z.: Meteorological and Relief Parameters Regarding Air Pollution in Basins. Proc. of third int. clear air Cong. Düsseldorf B 20-23, 1973.
- /8/ VIDA, M.: Poskus ocene vremenskih procesov v Sloveniji z ozirom na vremenske situacije. Razprave - Papers XVII, Društvo meteorologov Slovenije, 1974.