

NEKAJ KARAKTERISTIK ONESNAŽENJA ZRAKA V LJUBLJANI

SOME CHARACTERISTICS ABOUT ATMOSPHERIC POLLUTION AT LJUBLJANA

551.510.42

BOJAN PARADIŽ

Hidrometeorološki zavod SRS, Ljubljana

SUMMARY:

Ljubljana - a city with 200.000 inhabitants - is located in a large basin in the central region of Slovenia. This part of Slovenia is well sheltered from winds of general circulation by the Alps and the Dinaric mountains. Therefore predominant winds are weak or absent. These characteristics are even more pronounced in the Ljubljana basin. Calms are very frequent and in winter strong and long lasting inversions usually accompanied by fog very often develop. In such unfavorable weather conditions very high concentrations of atmospheric pollution were observed. (The maximal mean value was 2.4 mg of SO<sub>2</sub> per cubic meter.) The most polluted was the broader center of the city. In summer the air is better. It is more polluted only in the immediate surroundings of roads with busy traffic.

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

The winter daily course of SO<sub>2</sub> concentration is very characteristic. At night minimal values were observed. Maximal values, - which are four times larger, - were found during late morning and noon hours. A comparison of SO<sub>2</sub>

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

## UVOD

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

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

## VETROVNE RAZMERE, INVERZIJE IN MEGLA V LJUBLJANI

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### MERITVE ONESNAŽENJA ZRAKA V LJUBLJANI

Za Ljubljano so na voljo podatki o meritvah za običajne škodljive primese v zraku kot so SO<sub>2</sub>, prah in dim, razpolagamo pa tudi s podatki za količino mesečnih usedlin za razna merilna mesta (slika 1). Vse našteje sestavine onesnaženja prihajajo v zrak predvsem z dimnimi plini iz različnih industrijskih kurišč, iz kurišč za ogrevanje in ne nazadnje iz izpuhov motornih vozil. V Ljubljani ni industrije, ki bi v večjem obsegu spuščala v zrak tudi druge škodljive primese, zato lahko za oceno onesnaženja zraka v Ljubljani uporabimo kar podatke o koncentracijah SO<sub>2</sub> in dima.

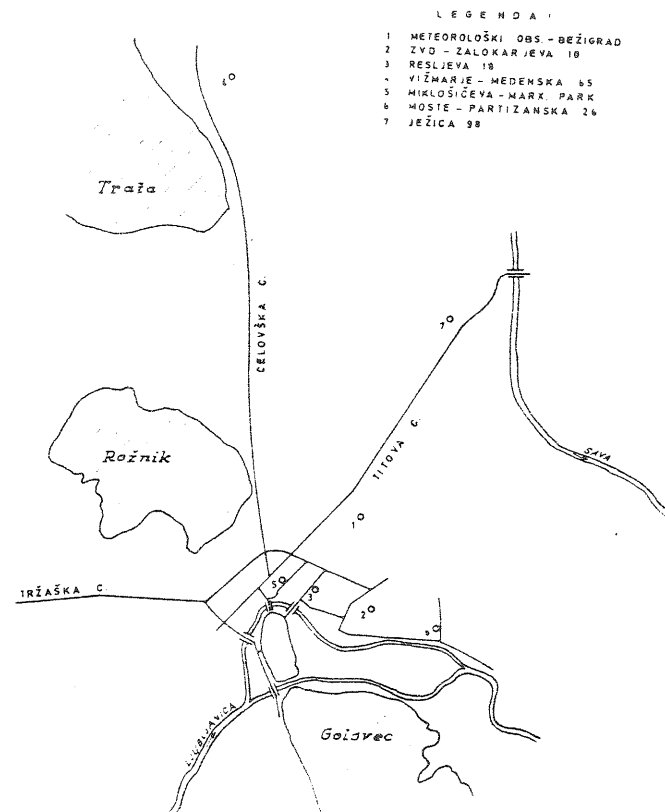
Za koncentracijo SO<sub>2</sub> so v Ljubljani na voljo poprečne polurne vrednosti, poprečne 2 in 24 ume vrednosti in poprečni mesečni indeksi:

A. Poprečne polurne koncentracije SO<sub>2</sub> so določene z registrirno aparaturo ULTRAGAS 3 Wästhoffa /2/. Rezultati so z meteorološkega observatorija od 13. januarja do 11. februarja 1968.

B. Poprečne 24 ume koncentracije SO<sub>2</sub> so na voljo za merilno mesto na meteorološkem observatoriju za Bežigradom od leta 1965 dalje, od leta 1967 dalje na Zavodu SRS za varstvo pri delu, Zalokarjeva 10. Od leta 1968 dalje pa so tudi podatki za merilni mesti na Resljevi cesti 18 in v Vižmarjih - Medenska cesta 65. Do leta 1968 smo za določanje koncentracije SO<sub>2</sub> uporabljali znano jodometrično metodo, od leta 1968 dalje pa uporabljamo standardno angleško peroksidno metodo /3/.

C. Indeksi poprečnih mesečnih koncentracij SO<sub>2</sub> v zraku so na voljo za merilno mesto na meteorološkem observatoriju od leta 1965 dalje. Od leta 1966 dalje pa tudi za merilno mesto na Miklošičevi c., v Mostah, na Ježici in v Vižmarjih. Uporabljena je naslednja znana merilna metoda, ki jo uporabljajo tudi v avstrijski meteorološki službi /4/. En mesec izpostavimo na zraku tkanino, stalno omočeno z raztopino K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, ki se z SO<sub>2</sub> veže v K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Količino SO<sub>2</sub> določimo po standardni Ba SO<sub>4</sub> metodi. Metoda ne daje absolutnih vrednosti

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



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

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

koncentracije, rezultati pa so uporabni za relativno primerjavo onesnaženja z  $\text{SO}_2$  med različnimi merilnimi mesti.

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

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

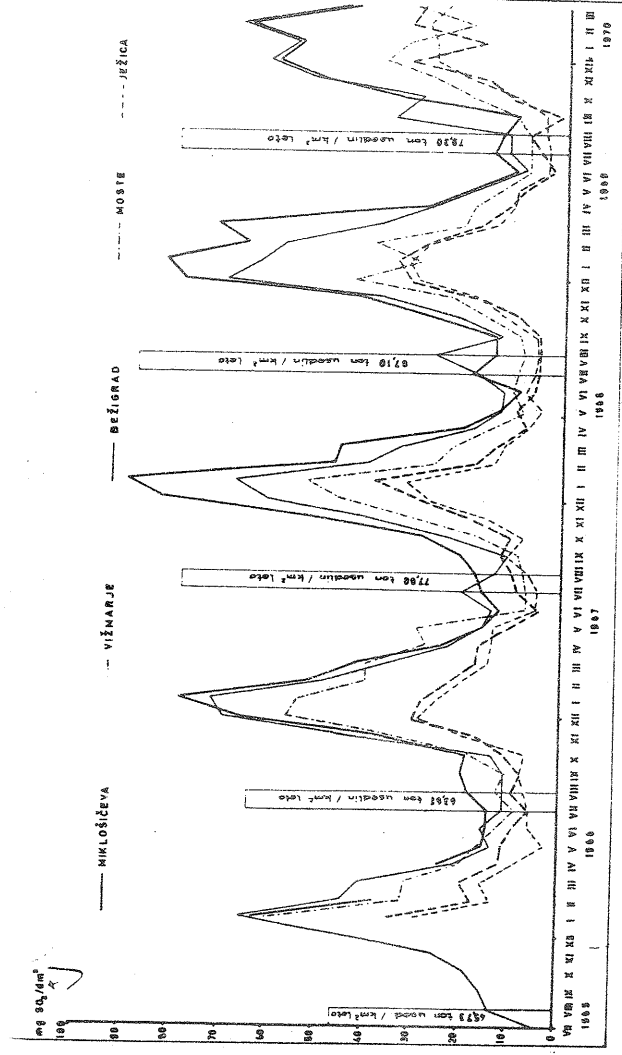
b. Število prašnih delcev v ml zraka po konimetru smo merili na meteorološkem observatoriju ob klimatoloških terminih v letih 1965, 1966, 1967 in v januarju 1968.

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

#### LETNI POTEK ONESNAŽENJA ZRAKA

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

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



Slika 2 Potek poprečnih mesečnih indeksov koncentracij  $\text{SO}_2$  v letnih količin usedlin v Ljubljani

Fig. 2 Course of mean monthly indexes of  $\text{SO}_2$  concentration and yearly amounts of sediments in Ljubljana

TABELA 4 Število dni s koncentracijo  $\text{SO}_2$  v posameznih velikostnih intervalih, maksimalne mesečne vrednosti in število dni (v %) s koncentracijo  $\text{SO}_2$  nad  $0,15 \text{ mg/m}^3$  na dan in nad  $0,40 \text{ mg/m}^3$  na dan

TABLE 4 Number of days according to different intervals of  $\text{SO}_2$  concentration, maximal monthly values and numbers of days with  $\text{SO}_2$  concentration above  $0.15 \text{ mg/m}^3$  per day above  $0.40 \text{ mg/m}^3$  per day

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

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

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

#### KRAJEVNA RAZPOREDITEV ONESNAŽENJA

Za podrobnejšo določitev krajevne razporeditve koncentracije onesnaženja v Ljubljani ni na voljo dovolj podatkov. Za različna mesta v Ljubljani razpolagamo za dovolj dolgo dobo le s podatki za indekse poprečnih mesečnih koncentracij  $\text{SO}_2$  - slika 2. Na sliki vidimo, da je najbolj onesnaženo širše središče mesta (Miklošičeva, meteorološki observatorij Bežigrad), veliko manj pa je onesnažena periferija (Vižmarje, Ježica). Omenjeno krajevno razporeditev koncentracij potrjujejo tudi meritve poprečnih 24 urnih koncentracij  $\text{SO}_2$ . Žal pa doslej ni dovolj podatkov, da bi lahko točneje odredili prehodni pas, v katerem se koncentracije znatneje zmanjšajo.

Na prvi pogled presenečajo vrednosti iz Most. Tam je bila pozimi 1965-66 koncentracija  $\text{SO}_2$  približno enaka koncentraciji v širšem središču mesta. Zadnja leta pa je koncentracija  $\text{SO}_2$  na nivoju koncentracij periferije mesta. Spremembo v Mostah lahko pripišemo elektrifikaciji bližnje zelo prometne železniške proge, zlasti pa izgradnji nove toplarne v Mostah, ki je pričela poskusno s prekinitvami obratovati v letu 1966 in od leta 1967 dalje redno obratuje. Ker toplama poleg vroče vode in tehnološke pare, proizvaja tudi znatne količine električne energije, se je emisija onesnaženja v Mostah znatno povečala, kar velja zlasti za emisijo  $\text{SO}_2$ , kajti zaradi učinkovitega filtra emisija trdnih delcev ni velika. Kljub močno povečani emisiji pa zaradi  $100 \text{ m}$  visokega dimnika pri močnih inverzijah, ko se javljajo najvišje koncentracije  $\text{SO}_2$ , toplarna področje Most neposredno skoraj ne onesnažuje. Večina industrijskih obratov pa tudi dobršen del ostalih ogrevanih površin v Mostah preskrbuje toplama s tehnološko paro in vročo vodo. Zato so v zadnjih letih na področju Most postopoma opustili več industrijskih kotlaren in skupinskih pa tudi individualnih kurišč za ogrevanje, ki so z nizkimi dimniki pred pričetkom obratovanja toplarne očitno precej onesnaževali področje Most.

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

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

Razporeditev koncentracij  $\text{SO}_2$  v Ljubljani je zaradi opisanih sprememb v Mostah pred in po pričetku obratovanja toplarne zelo poučna in potrjuje znano ugotovitev, da je uvajanje daljinskega ogrevanja tudi v naših klimatskih razmerah rešitev, s katero se lahko zagotovi boljši zrak v naseljih.

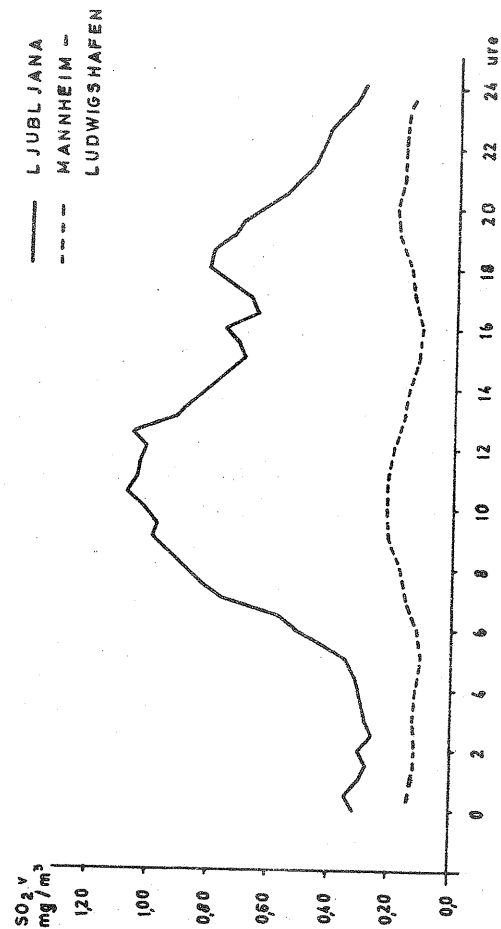
#### DNEVNI POTEK KONCENTRACIJE $\text{SO}_2$

Dnevni potek koncentracije  $\text{SO}_2$  zavisi od dnevnega poteka emisije  $\text{SO}_2$  in od dnevnega poteka meteoroloških parametrov, ki vplivajo na širjenje onesnaženja zraka, zlasti pa od smeri in hitrosti vetra in vertikalnega temperaturnega gradienta. Dnevni potek emisije in meteoroloških parametrov je različen v kurilni sezoni in različen izven nje, zato so osnovne karakteristike dnevnega poteka koncentracije  $\text{SO}_2$  v kurilni sezoni drugačne kot izven nje.

Žal so podrobni podatki za potek koncentracije  $\text{SO}_2$  na voljo le od 13.1.1968 do 11.11.1968, kar zadošča le za določitev dnevnega poteka v kurilni sezoni.

Primerjava poprečnih 24 urnih koncentracij  $\text{SO}_2$  v zraku med Ljubljano in drugimi kraji /6/ kaže, da sodi Ljubljana pozimi med najbolj onesnažene kraje na svetu. Zato je prav tako zanimiva in poučna primerjava dnevnega poteka koncentracij. Iz literature /7/ so znani podatki za področje Mannheima in Ludwigshafna, industrijskega območja z več kot pol milijona prebivalcev. Ti podatki so z razpoložljivimi v Ljubljani še najbolj primerljivi. Merjeni so z enakimi instrumenti ULTRAGAS 3, iz registrirane krivulje pa so prav tako kot v Ljubljani ovrednotene polume poprečne vrednosti. Žal pa so v Mannheimu in Ludwigshafnu upoštevani podatki za januar, februar in december 1965, v Ljubljani pa le za del januarja in februarja leta 1968. V Ljubljani je (glej tabelo 3) v decembru zrak manj onesnažen kot v januarju, navadno pa bolj kot v februarju. Pri poprečnih razmerah pa bi zato ob upoštevanju decemberskih podatkov za zimski potek dnevne koncentracije v Ljubljani dobili nekoliko nižje vrednosti od prikazanih, vendar ne toliko, da bi se lahko poprečni krivulji zimskih koncentracij (slika 3) med seboj bistveno manj razlikovali.

Na sliki 3 vidimo, da so koncentracije  $\text{SO}_2$  v Ljubljani mnogo višje od koncentracij na področju Mannheima in Ludwigshafna, zlasti močno pa se razlikujejo maksimalne vrednosti. Majhna amplituda v M. in L. (maksimalna vrednost je za 1.4 krat večja od minimalne) pričča o precej enakomernem dnevnem poteku emisije, kar kaže na znatni vpliv industrije, ki permanentno obratuje. Zelo velika amplituda (maksimalna vrednost je za 4.1 krat večja od minimalne) in časovni potek koncentracije  $\text{SO}_2$  v Ljubljani pa kažeta že brez upoštevanja meteoroloških podatkov, da je v Ljubljani vpliv jutranje in dnevne, zlasti pa dopoldanske emisije na onesnaženje zraka zelo velik, mnogo večji od vpliva emisije zvečer in ponoči. To pa tudi kaže, da industrija, ki permanentno obratuje



Slika 3 Poprečni dnevni potek koncentracije SO<sub>2</sub> za Ljubljano (januar, februar 1968) in za Mannheim - Ludwigshafen (januar, februar, december 1965)

Fig. 3 Mean daily course of SO<sub>2</sub> concentration in Ljubljana (January and February 1968) and in Mannheim - Ludwigshafen (January, February and December 1965)

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

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

Dnevni potek koncentracije SO<sub>2</sub> z neobičajno veliko amplitudo opozarja, da je treba s higienskega stališča povsem drugače vrednotiti že tako visoke poprečne 24 urne koncentracije SO<sub>2</sub> v Ljubljani, kajti vrednosti podnevi, ki so jim ljudje najbolj izpostavljeni, so mnogo višje od dnevnih poprečkov, ki jih higieniki uporabljajo za ugotavljanje vpliva SO<sub>2</sub> na zdravje ljudi. Izrazit dnevni potek koncentracij pa velja upoštevati tudi pri zimskem prezračevanju zaprtih prostorov. Iz slike 3 in 4 ni težko spoznati, kateri čas je za prezračevanje najbolj ugoden.

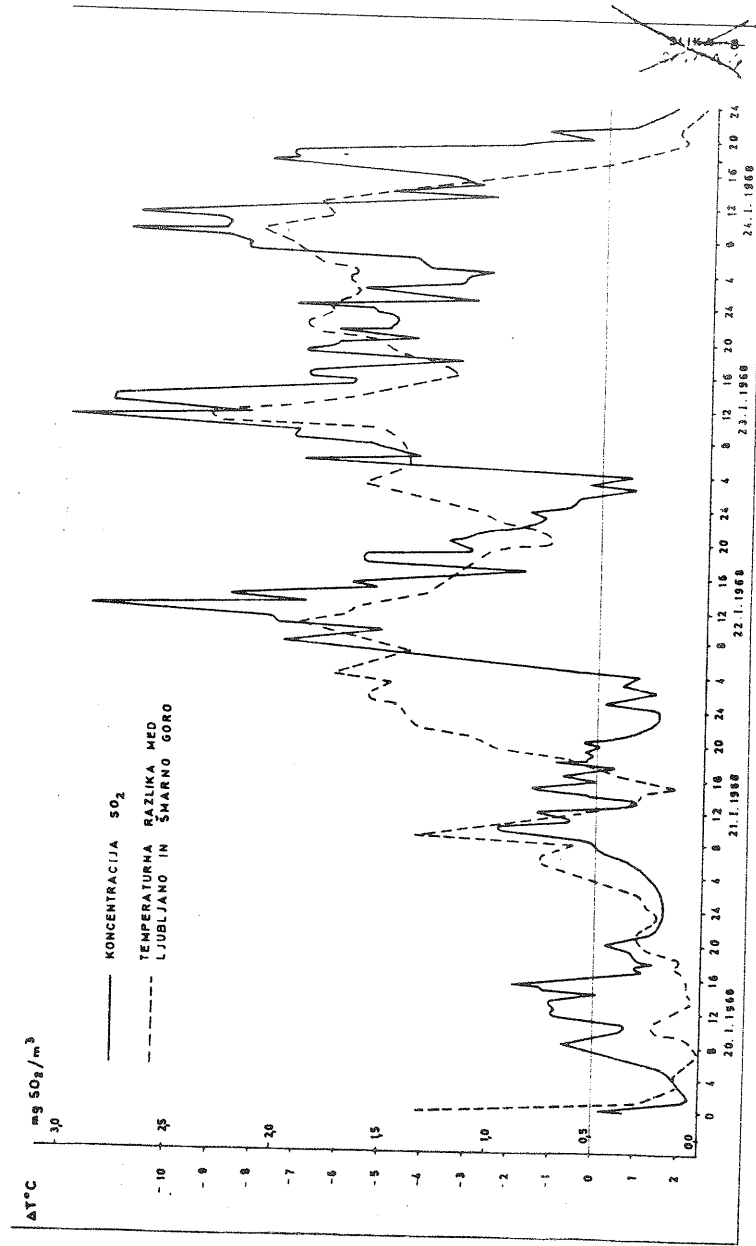
Vsi zaključki, ki smo jih naredili na podlagi dnevnega poteka koncentracije SO<sub>2</sub>, so narejeni na osnovi meritev na meteorološkem observatoriju za Bežigradom. Posamezni dnevni poteki koncentracij se pri raznih vremenskih razmerah (slika 4) močno razlikujejo po amplitudi ne pa tudi po glavnih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

TABELA 5 Dnevni potek koncentracije SO<sub>2</sub> po meritvah dve urnih poprečkov (december, januar 1968/69) (Merilno mesto Zavod SRS za varstvo pri delu, Ljubljana, Zalokarjeva 10)

TABLE 5 Daily course of SO<sub>2</sub> concentration according to two hours means (December 1968, January 1969) (Observations made at the Institute for Safety at Work, Ljubljana, Zalokarjeva 10)

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

| Čas.  | 20-22 | 22-24 | ure                                      |
|-------|-------|-------|--|
| konc. | 0.43  | 0.33  | mg SO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> 2 uri |



Slika 4 Potek koncentracij  $\text{SO}_2$  in temperaturnih razlik med Ljubljano in Šmarno goro (višinska razlika 360 m)

Fig. 4 Courses of  $\text{SO}_2$  concentration and temperature differences between Ljubljana and Šmarna gora (difference in altitude 360 meters)

Pri primerjanju podatkov v tabeli 5 in na sliki 3 moramo upoštevati, da so vrednosti v tabeli 5 za december in januar ter za zimo, v kateri zrak ni bil tako močno onesnažen kot pozimi 1967/68. Dvourni poprečki pa tudi izravnavo amplitudo; minimalne vrednosti so višje, maksimalne pa nižje. Kljub temu pa je očitno, da je dnevni potek koncentracije  $\text{SO}_2$  na Zalokarjevi cesti identičen s potekom za Bežigradom. Zato veljajo gornji zaključki najmanj za najbolj onesnaženo področje Ljubljane.

Opozoriti moramo še na večerni dvig koncentracije  $\text{SO}_2$  s sekundarnim maksimumom okrog 18 ure, ki je viden na sliki 3, še posebno pa je očitno iz podatkov v tabeli 5. Vzrokov za ta maksimum je lahko več. Brez dvoma pa povzročata sekundarni maksimum tako emisija kot tudi vremenske razmere, ki postajajo za naravno čiščenje onesnaženega zraka ob tem času vse manj ugodne.

#### LETNI POTEK USEDLIN IN DIMA

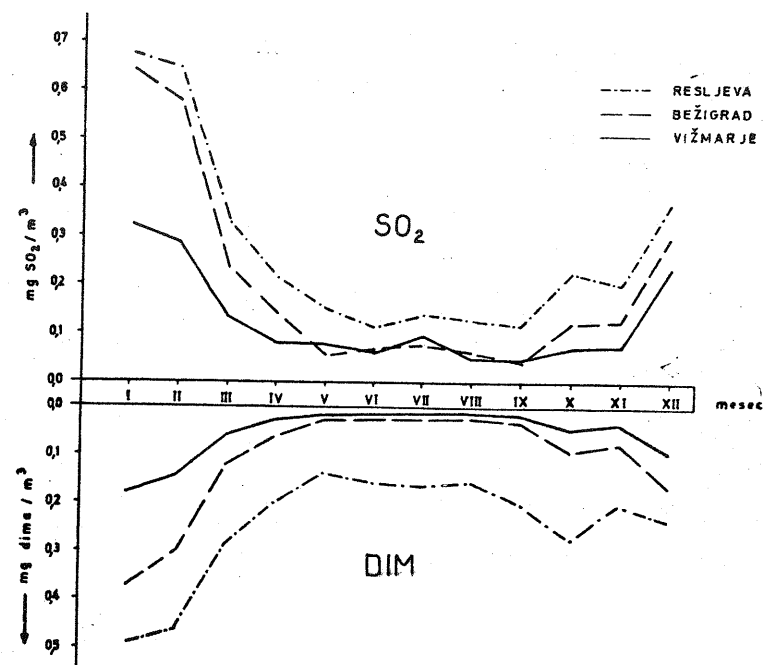
Za letni potek usedlin je značilno, da so najvišje mesečne vrednosti v poletnih mesecih. Ker ni na voljo analize o vsebnosti posameznih elementov v usedlinah niti podatkov o velikosti delcev, ne moremo direktno določiti izvora usedlin in tako spoznati, koliko k skupni količini doprinašajo viri, ki zrak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

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

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

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





Slika 5 Letni potek srednjih mesečnih koncentracij SO<sub>2</sub> in dima v Ljubljani za leto 1969

Fig. 5 Yearly course of mean monthly concentrations of SO<sub>2</sub> and smoke in Ljubljana during the year 1969

usedlin sicer ni direktni pokazatelj za emisijo SO<sub>2</sub> in dima - komponent onesnaženja, ki jih v Ljubljani največ obravnavamo -, vendar pa usedline le lahko štejejo za približni pokazatelj emisije onesnaženja. Zato pri tako skromni količini usedlin v najbolj onesnaženih mesecih v Ljubljani lahko trdimo, da je emisija v Ljubljani v primerjavi z emisijo v velikih industrijskih centrih zelo skromna. V industrijskem predelu Cincinnatija /6/ je zimska količina usedlin n.pr. 41 ton/km<sup>2</sup> mesec, v Ljubljani le 3 tone/km<sup>2</sup> mesec. Zato ni nobenega dvoma, da je emisija onesnaženja v Ljubljani mnogo manjša. Če je bila v Ljubljani maksimalna koncentracija SO<sub>2</sub> 2.4 mg/m<sup>3</sup>, v Cincinnatiju pa 1.2 mg SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>, ne more biti ob tem nobenega dvoma, da so glavni razlog za visoke koncentracije v Ljubljani predvsem zelo neugodne vremenske razmere, ki preprečujejo učinkovito prirodno čiščenje onesnaženega zraka v Ljubljanski kotlini.

#### GLAVNI POVZROČITELJI ONESNAŽENJA ZRAKA V LJUBLJANI

Čeprav pri obravnavanju dnevnega poteka koncentracij in količine usedlin še nismo uporabili tudi meteoroloških podatkov, smo prišli do nekaterih spoznanj, ki kažejo, da nastopajo visoke koncentracije v Ljubljani predvsem zaradi zelo neugodnih vremenskih razmer in da so glavni onesnaževalci predvsem viiri z dnevno emisijo, ki se prične zgodaj zjutraj, kar kot glavnega povzročitelja izključuje industrijo, ki permanentno obratuje. S primerjavo poteka koncentracij SO<sub>2</sub> in meteoroloških parametrov se lahko prepričamo o veljavnosti gornjih ugotovitev, ki so ob pričeku izvajanja sanacijskih in preventivnih ukrepov v Ljubljani zelo pomembne, kajti glavno pozornost bo treba posvetiti virom, ki povzročajo največje onesnaženje zraka v Ljubljani.

Ob pomanjkanju emisijskih podatkov smo zopet prisiljeni uporabiti posredno pot. Uporabili bomo dnevni potek koncentracije SO<sub>2</sub> in potek meteoroloških elementov, ki vplivajo na onesnaženje. Iz teh primerov lahko sklepamo tudi na potek emisije oziroma bolje na potek vpliva emisije na koncentracijo, kajti omenjena primerjava že upošteva vplive različnih višin dimnikov oziroma izpuhov vseh vrst onesnaževalcev.

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

merah, ko se javljajo največje koncentracije, vertikalni temperaturni gradient dober indikator vremenskih razmer, ki vplivajo na prirodno čiščenje onesnaženega zraka. S primerjavo časovnih potekov temperaturnih razlik med Ljubljano in Šmarno goro in koncentracijo  $\text{SO}_2$  (slika 4) se lahko prepričamo, da je res tako. Vidimo, da se krivulji dobro ujemata. Pri pozitivnih temperaturnih razlikah, ki predstavljajo normalno temperaturno razporeditev z višino, so koncentracije  $\text{SO}_2$  relativno majhne. Pri temperaturnih inverzijah (negativne temperaturne razlike) pa so koncentracije  $\text{SO}_2$  zelo velike, mnogo večje kot v dnevih, ko inverzije ni oziroma je slaba in kratkotrajna. Tudi velike razlike v koncentracijah  $\text{SO}_2$  med dnevi brez in z inverzijami, ob upoštevanju zelo pogostnega javljanja inverzij, nedvoumno kažejo, da so zlasti neugodne vremenske razmere v Ljubljani najpomembnejši povzročitelj visokih koncentracij onesnaženja.

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

V tabeli 2 vidimo, da je tudi v drugih mesecih veliko inverzijskih dni. Poleti so inverzije seveda slabše in čez dan praviloma izginejo. Inverzije, za beležene poleti ob 14. uri, imajo zaradi minimalne temperaturne razlike le simbolični pomen, najverjetneje pa jih v prosti atmosferi nad mestom ni. Sicer majhne negativne razlike v temperaturi med Ljubljano in Šmarno goro so najverjetneje posledica že omenjenih napak zaradi južne pobočne lege meteorološke postaje na Šmarni gori. Kljub temu pa so zjutraj, zvečer in ponoči v Ljubljani tudi v poletni dobi vremenske razmere za prirodno čiščenje onesnaženega zraka zelo neugodne. Negativne posledice zaradi emisije motomega prometa, se kažejo že sedaj z visokimi koncentracijami dima in  $\text{SO}_2$  ob prometnejših cestah (slika 5). Z vse večjo gnečo na cestah, ki jo lahko pričakujemo že v bližnji prihodnosti, pa bodo koncentracije onesnaženja ob prometnih cestah tudi poleti močno presegle dovoljeno mejo in postajale vse bolj nadležne.

Že samo iz poprečnega zimskega dnevnega poteka koncentracij  $\text{SO}_2$  smo lahko videli, da je vpliv nočne emisije na onesnaženje mestnega zraka majhen. Med dnevnim potekom koncentracij  $\text{SO}_2$  in temperaturnih razlik med Ljubljano in Šmarno goro ob inverznih situacijah pa opazimo razliko v večernem in nočnem času. Z večernim nastajanjem oz. jačanjem inverzij, ki se pojavljajo pozimi že po 16. uri, se razmere za prirodno čiščenje onesnaženega zraka slabšajo. Pri enakomernem poteku emisije bi morala zato krivulja koncentracije kmalu slediti krivulji temperaturnih razlik. To pa se ne dogaja oz. se koncentracija okrog 18. ure zveča (sekundarni maksimum), nato pa vse do 4. ure zjutraj pada. Pomembno je, da koncentracija  $\text{SO}_2$  pada kljub temu, da se slabšajo vre-

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

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

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

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

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

#### VPLIV PROMETA NA ONESNAŽENJE MESTNEGA ZRAKA

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

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

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

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

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

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

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

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

#### LITERATURA

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

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

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

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