

PROUČAVANJE ONEČIŠĆENJA ATMOSFERE  
NA PODRUČJU GRADA ZAGREBA  
I. ANALIZA SEDIMENTA

MIRKA FUGAŠ, MIRJANA GENTILIZZA, F. VALIĆ  
i S. VERHOVNIK\*

*Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU*

i

*Škola narodnog zdravlja »Andrija Štampar«, Medicinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu,  
Zagreb*

*(Primitljeno 30. I 1965)*

U toku godine dana sakupljani su i analizirani mjesečni uzorci sedimenta na 11 mjernih mjesta na području grada Zagreba. Rezultati su analizirani s obzirom na kretanje stupnja onečišćenja atmosfere u toku godine, i s obzirom na prostornu raspodjelu sedimenta na području grada Zagreba. Usporedba rezultata s podacima o onečišćenju drugih evropskih gradova pokazala je da se Zagreb, po stupnju onečišćenja atmosfere, nalazi među industrijskim gradovima s vrlo nečistom atmosferom.

Kako bismo dobili prve orijentacione podatke o stupnju onečišćenja atmosfere grada Zagreba, i mogli bez većih investicija ocijeniti da li se onečišćenje atmosfere na području grada Zagreba može smatrati problemom, sakupljali smo i analizirali u toku godine dana mjesečne uzorke sedimenta na 11 karakterističnih mjesta na području grada, po standardnom britanskom postupku (1).

Izbor je pao na ovu metodu, jer je uređaj za sakupljanje sedimenta (sedimentator) jednostavne konstrukcije i bilo je moguće da se izradi u vlastitoj mehaničkoj radionici. Uređaj može stajati mjesec dana praktički bez nadzora. Kemijske metode za analizu mjesečnih uzoraka sedimenta temelje se na gravimetrijskim i volumetrijskim postupcima, koji se mogu izvesti u svakom analitičkom laboratoriju i za koje nisu potrebni specijalni skupi aparati. Ista metoda se upotrebljava i u mnogim drugim evropskim zemljama, pa je dobivene rezultate moguće uspoređivati.

\* sada Okrajni zavod za zdravstveno varstvo, Dispanzer za medicino dela, Maribor



Deset sedimentatora je postavljeno 1. IV 1962, a jedanaesti 1. VII. Sedimentatori su postavljeni na ova mjesta (slika 1):

1. Božidarevićeva ulica, Ortopedska klinika
2. Martićeva ulica, Tvornica »Elka«
3. Jankomir, tvornica »Jedinstvo«
4. Nova cesta, osnovna škola
5. Cankareva ulica, osnovna škola
6. Pantovčak, osnovna škola
7. Rapska ulica, osnovna škola
8. Ulica Proleterskih brigada, Radničko sveučilište »Moša Pijade«
9. Freudova ulica, Brodarski institut
10. Trg Republike – Gajeve ulica
11. Voćarska ulica 65, stambena kuća

Predjele grada u koje su smješteni sedimentatori možemo karakterizirati kao:

I. Industrijski dio grada:

- a) rijetko naseljen 3. i 7.
- b) gusto naseljen 2. i 5.

II. Trgovačko-poslovni gusto naseljeni dio grada:

- a) u centru 10.
- b) izvan centra 4.

III. Stambeni rijetko naseljeni dio grada:

- a) sa javnim zgradama, nedaleko industrijskih područja 1. i 8.
- b) područje malih obiteljskih kuća na obroncima Zagrebačke gore 6. i 11.

IV. Predgrađe 9.

#### MATERIJAL I METODE

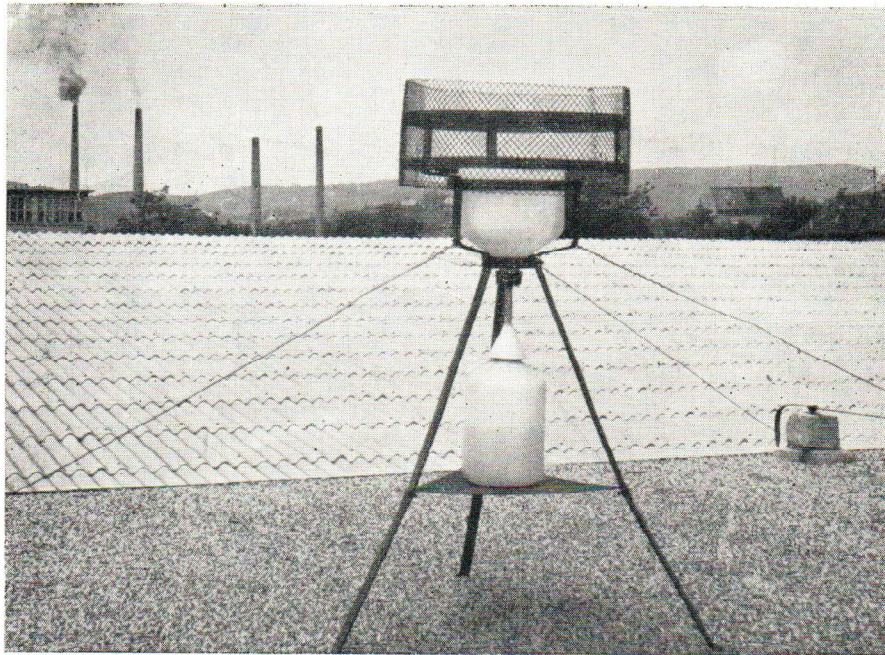
*Uređaj za sakupljanje sedimenta* (slika 2 i 3). Bitni dijelovi tog uređaja su sabirni lijevak promjera oko 300 mm i boca za sakupljanje sedimenta volumena 10 l. U našem slučaju lijevak i boca su bili od plastičnog materijala.

U bocu se stavi 10 ml 0.02 N otopine bakrenog sulfata da bi se spriječilo stvaranje algi, a u mjesecima kad se očekuje temperatura ispod 0° C još i 25 ml 96% alkohola za sprečavanje smrzavanja sakupljene kiše.

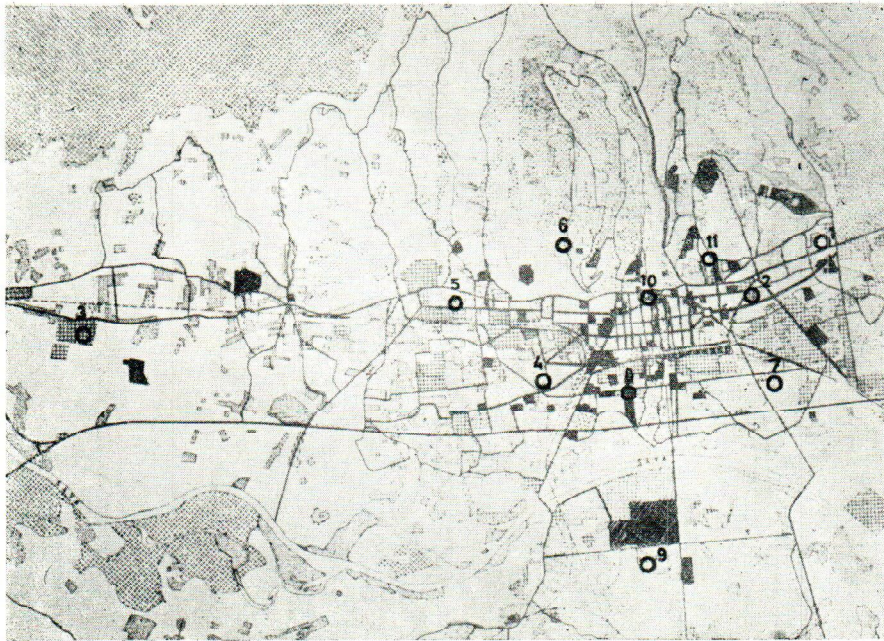
Na početku svakog mjeseca lijevak se dobro očisti, a sve što je bilo na lijevku – izuzevši lišće, insekte i druge krupnije predmete stranog podrijetla, koji se prije toga uklone – sapere se u bocu, pa se boca s uzorkom zamijeni čistom bocom.

Uzorak se sastoji od sedimentirane atmosfere prašine, kiše i kišom sapranih ili otopljenih materija iz atmosfere.





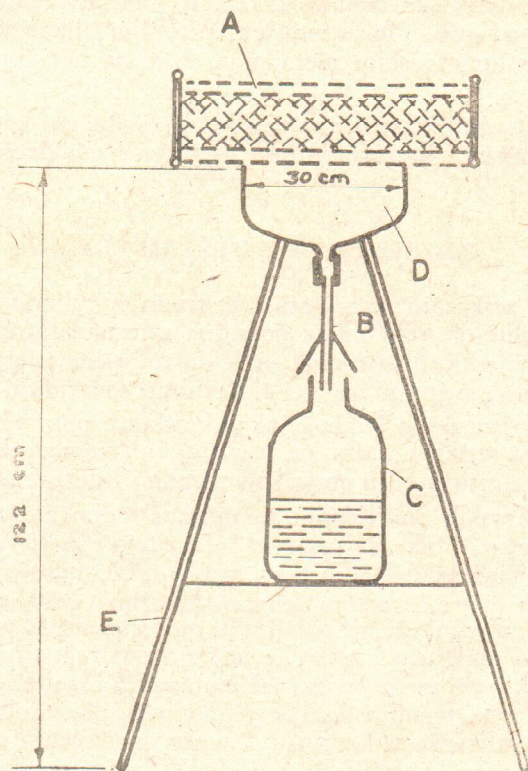
Sl. 3. Fotografija jednog od sedimentatora na terenu



Sl. 1. *Plan Zagreba s naznačenom lokacijom mjernih mjesta*



*Analiza uzorka.* Uzorak je po obliku suspenzija krutih čestica u kišnici ili u poznatom volumenu destilirane vode koji je upotrijebljen za ispiranje lijevka, ako nije bilo kiše. Izmjeri se volumen uzorka, pa se profiltrira kroz gučev lončić, da bi se odijelile netopive tvari od topivih. Neposredno nakon filtracije odredi se pH kišnice.



Sl. 2. Shematski crtež sedimentatora

A: zaštitna mreža, B: zaštitni lijevak, C: boca za sakupljanje sedimenta,  
D: sabirni lijevak, E: stalak

Talog je analiziran na:

- a) ukupnu količinu netopivih tvari (talog sušen kod  $100^{\circ}\text{C}$ ),
- b) materije topive u  $\text{CS}_2$  (katranske supstancije),
- c) količina sagorive tvari (gubitak pri spaljivanju taloga i žarenju pri  $800^{\circ}\text{C}$ ),
- d) količinu pepela (ostatak nakon spaljivanja i žarenja).



Filtrat je analiziran na:

- a) ukupnu količinu u vodi topivih tvari (isparni ostatak),
- b) količinu kalcija (2),
- c) količinu klorida,
- d) količinu sulfata (2).

Klasične gravimetrijske metode za kalcij i sulfate, koje su sadržane u britanskom standardu, bile su zamijenjene bržim i jednostavnijim, a ne manje tačnim volumetrijskim metodama, koje su uobičajene u analizi vode.

*Meteorološki podaci.* Paralelno su prikupljeni dnevni podaci o temperaturi, vlazi, pritisku i brzini i smjeru vjetrova na području grada.

#### REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati su prikazani kao godišnje srednje vrijednosti i granice raspona svih mjerenih veličina za pojedina mjerna mjesta na tablici 1, i kao srednje vrijednosti mjerenih veličina na svim mjernim mjestima za pojedine mjesece u godini na slici 4. Rezultati su izraženi u  $\text{mg}/\text{m}^3/\text{dan}$ .

Potkraj studenoga došlo je zbog jakog kratkotrajnog pljuska do prelijevanja kišnice iz sedimentatora, pa rezultati analize uzoraka sakupljenih u toku studenoga nisu uzeti u obzir kod obrade i interpretacije.

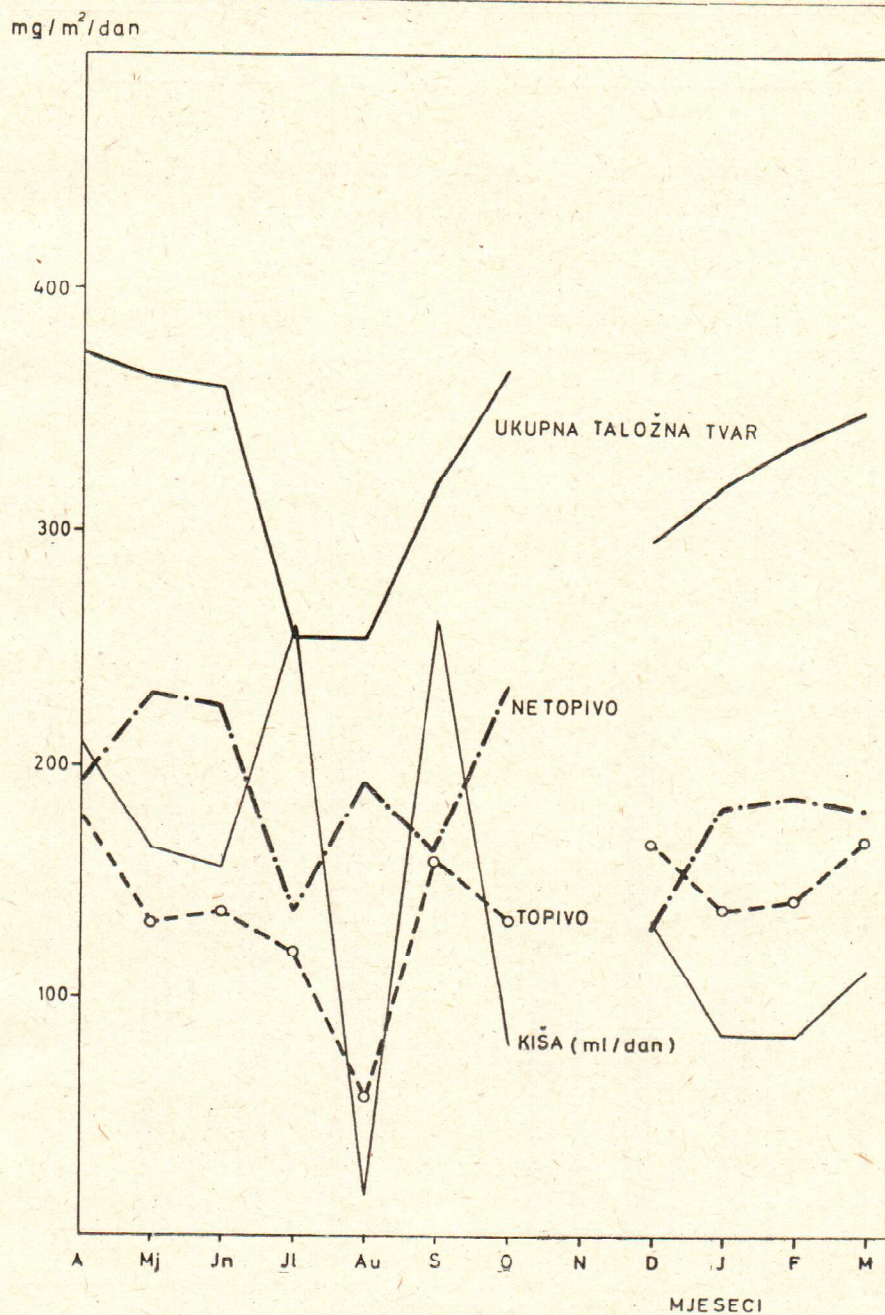
Uzorci atmosferskih onečišćenja sakupljeni sedimentatorom podložni su raznim utjecajima, tako da osim od intenziteta emisije okolnih izvora onečišćenja, količina sakupljenih tvari ovisi i o učestalosti i količini kiše, o smjeru i jačini vjetra, i raznim drugim faktorima, često potpuno lokalnim. Zbog toga se rezultati na pojedinim mjernim mjestima od mjeseca do mjeseca jako razlikuju i teško je uočiti neku zakonitost, pa se neki dalekosežniji zaključci mogu izvesti tek na temelju rezultata višegodišnjih mjerenja. Ipak, i na temelju analize jednogodišnjih rezultata dolaze do izražaja neke tendencije u kretanju stupnja onečišćenja u toku godine i razlike u prostornoj raspodjeli onečišćenja pod utjecajem meteoroloških faktora.

#### *Varijacije količine sedimenta u toku godine*

Mjesečni prosjeci rezultata svih mjernih mjesta za pojedine komponente prikazani na slici 4 pokazuju:

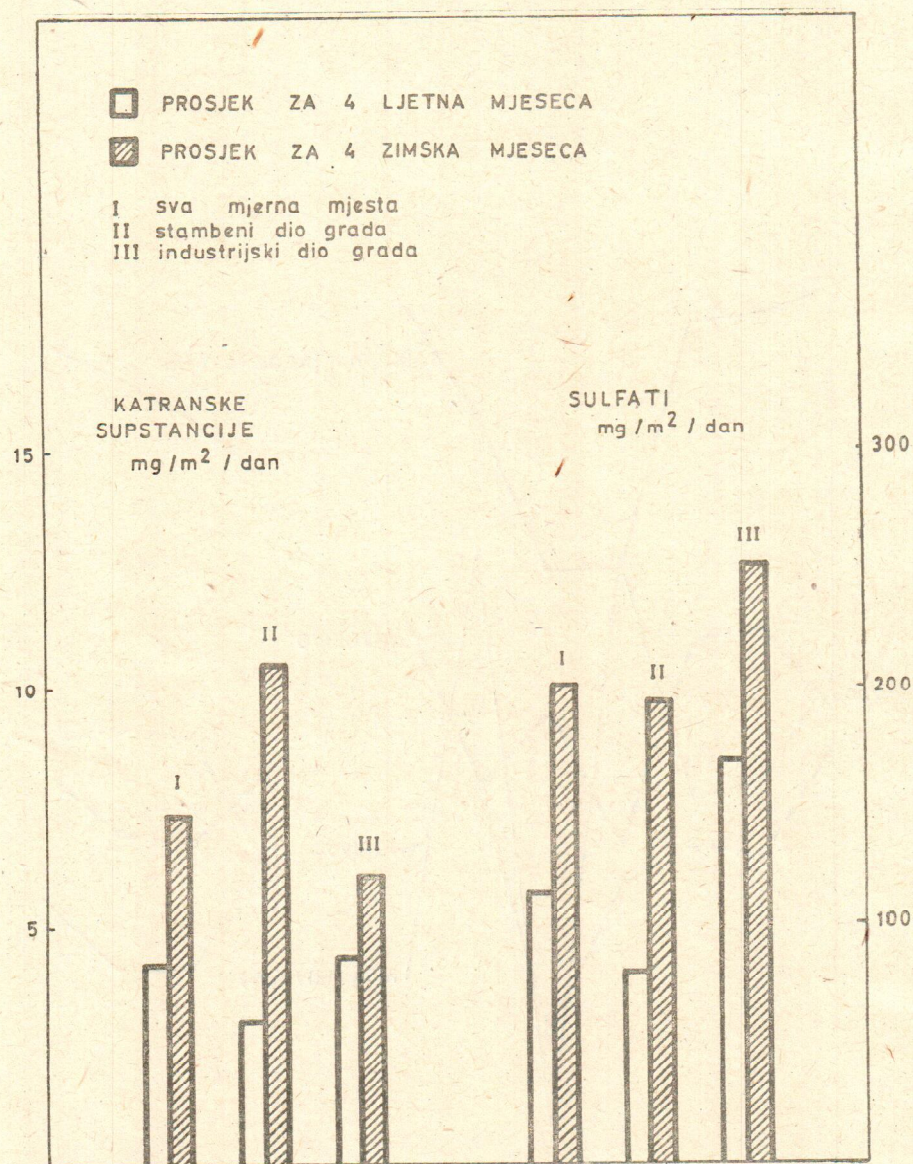
1. da topive tvari prate količinu padavina, pa je u onim mjesecima kad je palo više kiše, sakupljeno u prosjeku više otopljenih tvari. To pokazuje da većina otopljenih tvari dolazi u sedimentator s padavinama, a one potječu pretežno od plinovitih emisija, koje putuju mnogo dalje od izvora onečišćenja i persistiraju mnogo dulje u atmosferi nego krupne čestice;





Sl. 4. Srednje vrijednosti mjerenih veličina svih mjernih mjesta po pojedinim mjesecima u godini





Sl. 5. Prosjeci količina katranskih supstancija i sulfata sakupljenih u 4 ljetna i 4 zimska mjeseca na svim mjernim mjestima, te posebno u stambenim i industrijskim dijelovima grada



2. da se količina netopivih tvari mijenja upravo obrnuto od volumena sakupljenih padavina, tj. onih mjeseci kad je padalo najviše kiše sakupljeno je u prosjeku najmanje netopivih tvari, i obratno. To ukazuje na činjenicu da atmosferske padavine pokupe netopive tvari već u neposrednoj blizini izvora emisije, tako da ne stignu doprijeti do sedimentatora kao onda kad nema padavina, kad ih struja zraka ponese dalje.

Te pojave ujedno ilustriraju i ulogu kiše, odnosno općenito padavina u čišćenju atmosfere grada.

Budući da su ukupne taložne tvari suma topivih i netopivih, to na kretanje mjesečnih prosjeka ukupne taložne tvari utječu dva faktora suprotnih tendencija, pa je pitanje što nam taj podatak zapravo daje. Zbog toga, npr. DSIR (3) u svojim izvještajima objavljuje sadržaj netopivih tvari kao mjerodavni indikator onečišćenja atmosfere, a ne sadržaj ukupnih taložnih tvari kao u većini drugih evropskih zemalja.

Sulfati iz grupe topivih tvari, a isto tako i katranske supstancije iz grupe netopivih tvari, ne prate padavine u kolebanjima, nego pokazuju maksimum u zimskim mjesecima, što je i logično, jer su to produkti loženja. Iz slike 5 se vidi da je i za sulfate i za katranske supstancije razlika između prosječne količine tih tvari sakupljenih u 4 zimska i 4 ljetna mjeseca znatno jače izražena u stambenim dijelovima grada negoli u industrijskim. Ipak je količina sulfata sakupljena u industrijskim dijelovima grada veća i zimi i ljeti negoli u stambenim, dok je količina katranskih supstancija samo ljeti veća u industrijskim dijelovima grada, a zimi je veća u stambenim dijelovima. Viši sadržaj katranskih supstancija u zraku stambenih četvrti zimi može se protumačiti manje efikasnim sagorijevanjem ugljena u kućnim ložištima negoli u industrijskim, tako da se emitira relativno više produkata nepotpunog sagorijevanja kroz kućne dimnjake. Inače je količina sagorjelog goriva u toku cijele godine veća u industrijskim područjima zbog potrošnje goriva za potrebe pogona, pa su zato i razlike u onečišćenju zraka produktima sagorijevanja u 4 ljetna i 4 zimska mjeseca mnogo manje u tim dijelovima grada.

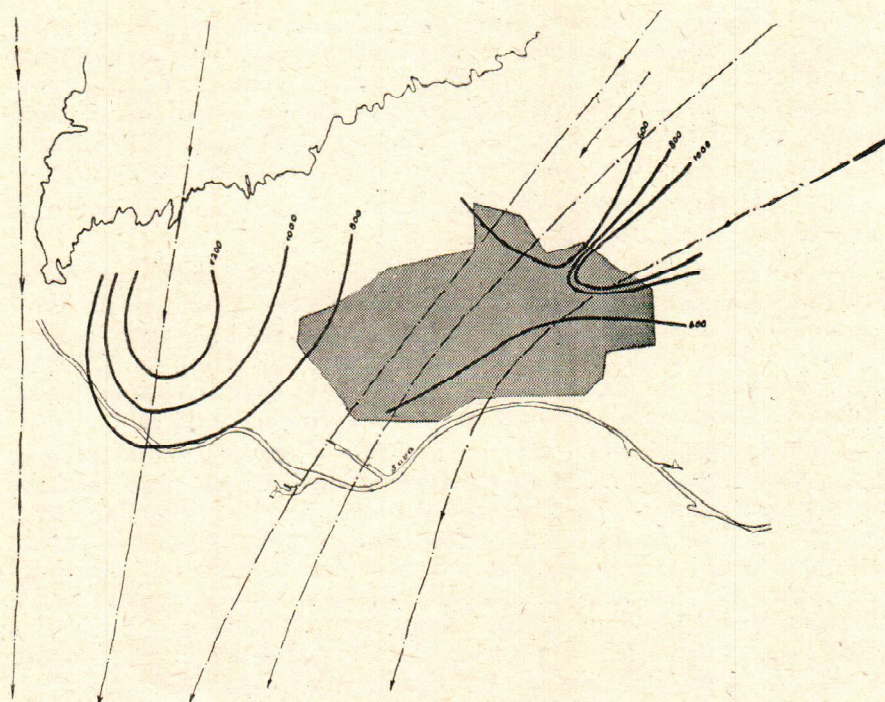
Razlika u sadržaju sulfata u 4 zimska i 4 ljetna mjeseca statistički je značajna za sva mjerna mjesta ( $P < 0.01$ ), a u sadržaju katranskih supstancija samo u stambenim dijelovima grada ( $P < 0.05$ ).

#### *Prostorna raspodjela sedimenta*

Prostorna raspodjela sedimenta pokazuje dva maksimuma, jedan u zapadnom, a drugi u jugoistočnom dijelu grada. To su područja gdje je pretežno locirana industrija.

Na temelju podataka o smjeru vjetrova, sakupljenih u toku posljednjih 25 godina, utvrđeno je da je prevladavajući smjer vjetra na području grada Zagreba N-NE. Prema tome, emisije glavnih izvora onečišćenja šire se prema jugozapadnoj periferiji grada, dok ostali dijelovi





Sl. 6. Prostorna raspodjela sedimenta u odnosu na dominantni smjer vjetra u veljači 1963.

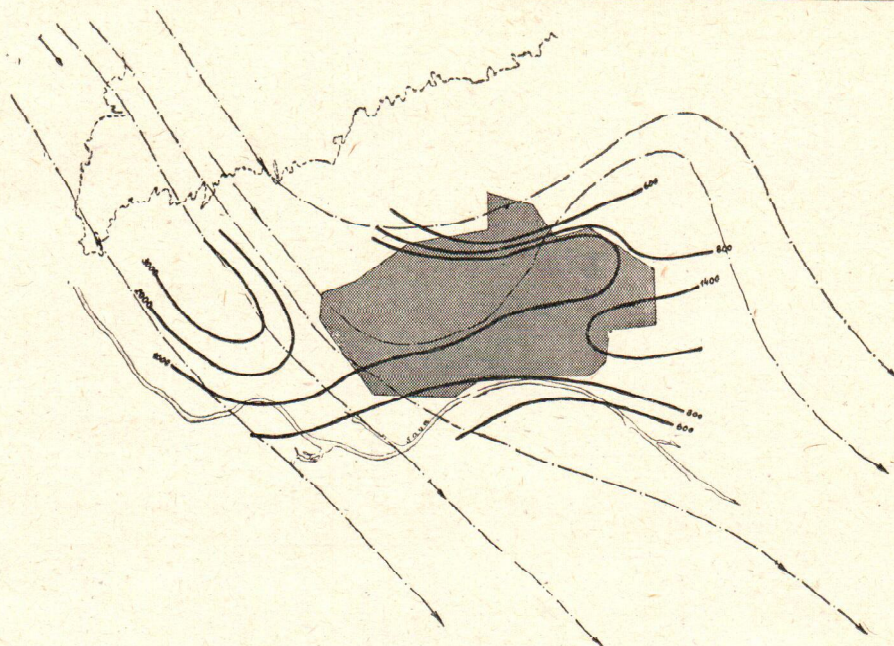
grada nisu zahvaćeni. Takva situacija prevladava 10 mjeseci u godini. U toku mjeseca svibnja, a nešto u toku listopada, dominira NW, koji onečišćenje emitirano u zapadnom industrijskom području nosi prema centru grada. Ove dvije tipične situacije prikazane su na primjeru mjeseca veljače i svibnja na slikama 6 i 7.

#### Ocjena stupnja onečišćenja grada

Za ocjenu stupnja onečišćenja atmosfere grada primijenili smo skalu koju upotrebljava gradski laboratorij u Parizu (4), a prema kojoj smatramo područja kojih je godišnji prosjek ukupne taložne tvari:

- 0–500 g/100 m<sup>2</sup>/mjesec (0–167 mg/m<sup>2</sup>/dan) malo onečišćenim,
- 500–1000 g/100 m<sup>2</sup>/mjesec (167–333 mg/m<sup>2</sup>/dan) primjetno onečišćenim,
- 1000–1500 g/100 m<sup>2</sup>/mjesec (333–500 mg/m<sup>2</sup>/dan) znatno onečišćenim,
- i više od 1500 g/100 m<sup>2</sup>/mjesec (500 mg/m<sup>2</sup>/dan) intenzivno onečišćenim.





Sl. 7. Prostorna raspodjela sedimenta u odnosu na dominantni smjer vjetra u svibnju 1962.

Prema tome možemo pojedine dijelove Zagreba klasificirati ovako:  
*malo onečišćeno područje:* Voćarska ulica

*primjetno onečišćeno područje:* Freudova, Pantovčak i Božidarevićeva  
 (u donjem dijelu intervala) Cankareva, Nova cesta, Proleterskih  
 brigada (na gornjoj granici intervala)

*znatno onečišćeno područje:*  
 Rapska, Martićeva, Trg Republike

*intenzivno onečišćeno područje:*  
 Jankomir (u blizini tvornice cementa)

Ako tako klasificirane rezultate usporedimo s podacima za neke velike evropske industrijske gradove, vidimo da Zagreb spada među znatno onečišćene industrijske gradove. Od gradova kojih podatke navodimo premašuje ga po stupnju onečišćenja samo njemački grad iz ruskog područja Gelsenkirchen (tablica 2).

Do sličnog se zaključka dolazi i ako se naši rezultati usporede s podacima za britanske gradove. Budući da su ti podaci dani kao godišnji prosjek netopive tvari u  $\text{mg}/\text{m}^2/\text{dan}$  (3), i to po gradskim područjima, to su ovi podaci, u usporedbi s našima, izneseni u posebnoj tablici (tablica 3).



Tablica 2.  
Podaci o stupnju onečišćenja atmosfere za neke evropske industrijske gradove

Ukupna taložna tvar u g/100 m <sup>2</sup> na mjesec	Industrijsko predgrađe Pariza (4, 5) 1959/60		Genova (6) 1954/60		Milano (7) 1956/57.		Zagreb 1962/63		Gelsenkirchen (8) 1957/58	
	broj m. m.	raspon	broj m. m.	raspon	broj m. m.	raspon	broj m. m.	raspon	broj m. m.	raspon
0-500	—	—	6	1	1	1	1	—	—	—
500-1000	12	—	8	4	4	6	6	—	—	—
1000-1500	3	—	1	—	—	3	3	5	—	—
više od 1500	—	—	3	—	—	1	1	3	8	—

Broj mjernih mjesta s godišnjim prosjekom taložne tvari unutar navedenih intervala

\* Ukupni period mjerenja

\*\* Ukupni broj mjernih mjesta

Tablica 3.  
Godišnji prosjek netopive tvari u mg/m<sup>3</sup>/dan po gradskim četvrtima

Četvrt grada	Industrijska		Trgovačka i gusto naseljena		Rijetko naseljena		Predgrađe	
	broj m. m.	raspon	broj m. m.	raspon	broj m. m.	raspon	broj m. m.	raspon
Zagreb . . . . .	4	268	2	191	4	115	1	106
Belfast . . . . .	1	204	1	272	1	55	1	69
Birmingham . . . . .	1	332	5	130	1	83	1	60
Bradford . . . . .	1	—	1	184	1	73	1	77
Derby . . . . .	1	—	1	180	5	155	2	70-84
Glasgow . . . . .	1	192	1	185	1	70	1	139
Liverpool . . . . .	1	756	13	141	5	143	1	50
London (uži) . . . . .	1	144	3	154	3	112	1	—
Nottingham . . . . .	1	—	3	154	3	112	1	—

\* Broj stanovnika u hiljadama



## ZAKLJUČAK

Jednogodišnje mjerenje onečišćenja atmosfere na području grada Zagreba pomoću sedimentatora pokazalo je da se Zagreb po stupnju onečišćenja atmosfere nalazi među evropskim industrijskim gradovima s vrlo nečistom atmosferom. Prema tome, ovo pitanje predstavlja ozbiljan problem koji bi trebalo detaljno studirati, utvrditi glavne izvore, karakter emisija koje ovi izvori otpuštaju u atmosferu, i razmotriti i predložiti rješenja za suzbijanje onečišćenja atmosfere na području Zagreba.

## Literatura

1. The Measurement of Atmospheric Pollution, Department of Scientific and Industrial Research, H. M. Stationery Office, London, 1957.
2. Standardne metode za fizičko, kemijsko i bakteriološko ispitivanje voda, Savezni zavod za zdravstvenu zaštitu, Beograd, 1961.
3. The Investigation of Atmospheric Pollution, Tables of Observations for the Year Ended March 1963, Department of Scientific and Industrial Research, Stecnage, 1963.
4. Étude de la pollution de l'atmosphère du nord-ouest du Département de la Seine, Opération «Boucle de la Seine», Paris, 1959, Laboratoire Municipal, Paris, 1960.
5. Étude de la pollution de l'atmosphère du nord-ouest du Département de la Seine, Opération «Boucle de la Seine», Paris 1960, Laboratoire Municipal, Paris, 1961.
6. Petrilli, F. L.: Bull. WHO, 26 (1962) 495.
7. Giovanardi, A.: Ingegneria Sanitaria, br. 2, 1959.
8. Faerben, K. P., Hoffman, A., Schmitz, G.: Öffentliche Gesundheitsdienst, 20 (1959) 494.

## Summary

AIR POLLUTION STUDIES IN THE CITY OF ZAGREB  
I. ANALYSIS OF DEPOSITED MATTER

In the course of a year (April 1, 1962 – March 31, 1963) monthly samples of deposited matter at eleven sites in the territory of Zagreb were collected and analysed.

The results have shown that there was no regularity in the changes of the air pollution level in the course of the year, but that there was a relationship between the amount of deposited matter and the amount of precipitation; this relationship was found proportional for soluble and inversely proportional for insoluble matter. This indicates the local character of the insoluble and gaseous origine of the soluble matter.

The amount of tarry matter found in residential parts of the town was conspicuously higher in winter than in summer, while in industrial parts the difference was not statistically significant.

Sulphates were found in considerably greater amounts in industrial than in residential areas all the year round, while in all areas their amount was significantly higher in winter than in summer. Sulphates in the atmosphere obviously originate from gaseous  $\text{SO}_2$  produced by fuel combustion. The same applies to tarry substances, only that they are the result of incomplete fuel combustion which is more frequent in household heating of residential areas.

Spatial distribution of the deposited matter shows two maxima: one in the eastern and one in the western industrial part of the town. By prevailing wind (N-NE) air pollutants are spread toward the south-western periphery of the town, with the excep-



tion of May and October when the north-western wind prevails and spreads pollutants from the western to the central parts of the town.

In comparison with data on other European towns, Zagreb appears to be, with regard to the degree of its atmospheric pollution, among industrial towns with heavy air pollution. The problem calls for further more detailed studies.

*Institute for Medical Research, incorporating  
the Institute of Industrial Hygiene, Zagreb  
and the »Andrija Štampar« School of Public Health,  
Medical Faculty, University of Zagreb, Zagreb*

*Received for publication  
January 30, 1965*