

PROUČAVANJE ONEČIŠĆENJA ATMOSFERE
NA PODRUČJU GRADA ZAGREBA
II. ODREĐIVANJE KONCENTRACIJE
SUMPORNOG DIOKSIDA I DIMA

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

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU

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

(Primljeno 30. I 1965)

Izvršena je analiza rezultata jednogodišnjeg mjerenja dnevnih koncentracija SO_2 i dima u atmosferi Zagreba na 4 mjerna mjesta. Nađene su vrlo velike razlike u koncentraciji sumpornog dioksida između ljeta i zime, a to pokazuje da su glavni izvori onečišćenja atmosfere kućna ognjišta. Koncentracije dima pokazuju sličan godišnji tok, ali s manjim ekstremima. Koncentracije SO_2 zimi daleko premašuju čak i blaže higijenske standarde, a naročito su visoke u gusto naseljenim stambenim dijelovima grada. Preporučene su mjere za asanaciju.

U toku godine dana, 1. IV 1962. – 1. IV 1963, izvršena su prva mjerenja stupnja onečišćenja atmosfere grada Zagreba, i to pomoću sedimentatora (1). Rezultati su pokazali da grad Zagreb spada među industrijske gradove s vrlo nečistom atmosferom i da bi taj problem bilo vrijedno detaljnije studirati. Zbog toga smo prešli na drugu fazu proučavanja onečišćenja atmosfere grada Zagreba.

Za detaljnije proučavanje onečišćenja atmosfere primijenili smo tzv. »volumetrijske aparate«. Dok sedimentator sakuplja mjesečne uzorke tvari koje se talože slobodnim padom ili ih donosi vjetar ili kiša, pa prema tome daje *indeks* onečišćenja neke gradske četvrti za neki mjesec u godini, dotle se volumetrijskim aparatom sakupljaju svakodnevnih 24-satnih uzorci sumpornog dioksida i dima iz poznatog volumena zraka, pa prema tome dobivamo *koncentraciju* tih supstancija u atmosferi. To su komponente koje se mogu naći u atmosferi svakog naselja, jer su to produkti sagorijevanja goriva, a miješaju se sa zrakom i putuju zajedno s njim,

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

tako da dugo persistiraju u atmosferi, pa su s gledišta zdravlja stanovnika mnogo interesantnije od sedimenta.

Volumetrijski aparat je britanski standardizirani uređaj (2), koji se primjenjuje u mnogim evropskim zemljama, pa upotreba tog uređaja omogućuje direktno uspoređivanje naših rezultata s rezultatima dobivenim u drugim zemljama.

Na području grada Zagreba postavili smo 4 takva uređaja, i to:

1. u rijetko naseljenom dijelu grada s nešto industrije (Baštijanova ulica, Zdravstvena stanica Tvornice »Rade Končar« – kratica RK),
2. u predjelu javnih zgrada sa slobodnim prostorima, okruženom gusto naseljenim stambenim dijelovima grada, u blizini željezničke pruge (Kačićeva ulica, Visoka škola za fizičku kulturu – kratica V. Š.),
3. u gusto naseljenom dijelu grada s javnim zgradama (III–V mjesec Ulica Socijalističke revolucije, Gradski zavod za zapošljavanje radnika; od VI mjeseca dalje Patačićkina ulica, Gradski vodovod – kratica Z–V),
4. u rijetko naseljenom dijelu grada, područje obiteljskih kuća sa slobodnim površinama (Ulica Moše Pijade, Institut za medicinska istraživanja – kratica IMI).

Lokacija mjernih mjesta prikazana je na slici 1. Uređaji na mjernim mjestima 1, 2 i 3 stavljeni su u pogon 1. III 1963, a na mjernom mjestu 4 u toku travnja. Prethodno su na jednom pokusnom uređaju razradivane metode, tehnike rada i stjecana su iskustva.

MATERIJAL I METODE

Aparatura i postupak za uzimanje uzoraka

Volumetrijski aparat se sastoji od:

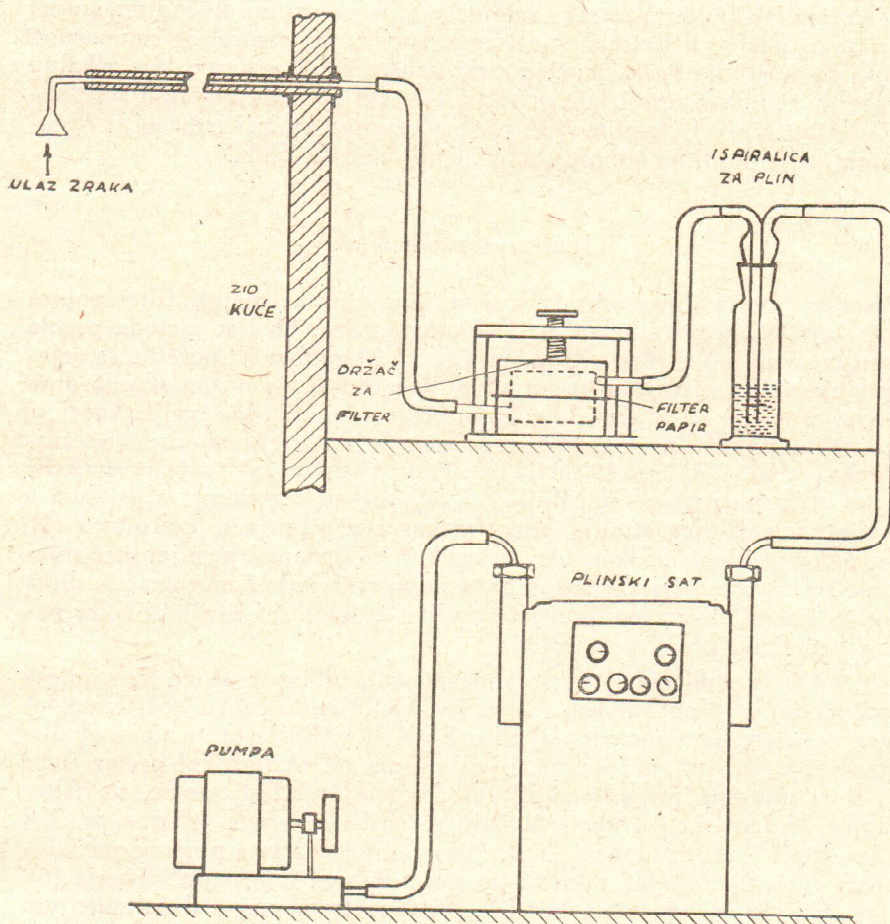
1. okrenutog staklenog ili plastičnog lijevka ϕ 4 cm,
2. držača za filter papir iz mesinga, otvora ϕ 5.08 cm (2"), 2.54 cm (1") ili 1.27 cm (1/2"),
3. plinske ispiralice s ubrušenim grlom od 100 ml,
4. plinskog sata »Air Pollution Meter« UGI Ltd., garantirano tačne registracije za male brzine protoka zraka,
5. pumpe za zrak, konstantne snage sisanja, DYMK II, Austen,
6. plastičnih cijevi (pvc) otvora ϕ 0.8 cm za spajanje pojedinih dijelova aparature.

Zrak ulazi kroz okrenuti lijevak koji se nalazi izvan kuće, otprilike 1 m udaljen od zida kuće, a spojen je s plastičnom cijevi s uređajem koji se nalazi u prostoriji (slika 2). Plastična je cijev provučena kroz zaštitnu i nosivu aluminijsku cijev koja prolazi najčešće kroz prozorski



Sl. 1. Plan Zagreba s naznačenom lokacijom mjernih mjesta

okvir. Zrak nastavlja put kroz komad filter papira Whatman No. 1, na kojem se sakuplja dim (zapravo sve raspršene čestice u zraku), a koji se nalazi u držaču. Držač za filter-papir direktno je spojen s ispiralicom u kojoj se nalazi u pravilu 50 ml (volumen nije bitan) 0.3%-otopine H_2O_2 pH 4.5. Pri prolazu zraka kroz ispiralicu SO_2 se oksidira u H_2SO_4 i kao takav sakuplja u otopini. Iz ispiralice zrak ulazi u plinski sat koji registrira protekli volumen zraka, i zatim u pumpu iz koje izlazi slobodno u atmosferu. Pumpa proisava zrak kroz sistem konstantnom brzinom koja prema pojedinim pumpama varira između 1.2 i 1.5 l/min, tako da se u toku 24 sata sakupi dim i SO_2 iz otprilike 2 m³ zraka.



Sl. 2. Volumetrijski aparat za sakupljanje 24-satnih uzoraka sumpornog dioksida i dima (aerosola) iz atmosfere

Analiza uzoraka sumpornog dioksida

Koncentracija sumpornog dioksida određuje se titracijom nastale sumporne kiseline sa 0,004 N otopinom natrijeva tetraborata do pH 4.5 uz indikator BDH 4.5. U tom području pH isključen je, naime, utjecaj ugljičnog dioksida. Postupak je jednostavan, pa se lako može primijeniti za rutinska mjerenja.

Zamjena ispiralica i filter papira vršila se svakog dana između 12 i 14 sati.

Nedostatak je ove metode što nije specifična za sumporni dioksid nego na rezultate utječu svi kiseli ili alkalni sastojci atmosfere, ali kako ih SO_2 po količini većinom višestruko nadmašuje, to oni ostali obično mnogo ne smetaju. Ipak se u ljetnim mjesecima, kad su koncentracije sumpornog dioksida relativno niske, može ponekad dogoditi da uzorak daje alkalnu reakciju s indikatorom, zbog prisutnosti većih količina alkalnih supstancija u atmosferi. U takvim slučajevima rezultati su bili izraženi u negativnim vrijednostima koncentracije sumpornog dioksida.

Analiza uzoraka dima

Koncentracija dima određuje se na temelju zacrnljenja filter-papira kroz koji je bio prosisan poznati volumen zraka. Ova se metoda počela primjenjivati u Vel. Britaniji prije više od 50 godina. U početku se ocjenjivanje vršilo vizuelnim uspoređivanjem uzoraka s nizom standardnih mrlja, a ocjena se izražavala rednim brojem standardne mrlje, kojoj je uzorak bio najbliži po zacrnljenju. Kasnije je baždarenjem određen težinski ekvivalent standardnih mrlja (3). Fotoelektrično mjerenje propuštene svjetlosti primijenjeno je rutinski za ocjenjivanje koncentracije dima u okviru trogodišnjeg studija atmosferskog onečišćenja u Leicesteru (4). Na nivou nacionalne kontrole, u Velikoj se Britaniji primjenjuje mjerenje reflektirane svjetlosti kao baza za ocjenjivanje koncentracije dima (5), jer na refleksiju manje utječu razlike u debljini i kvaliteti filter papira negoli na propusnost svjetla.

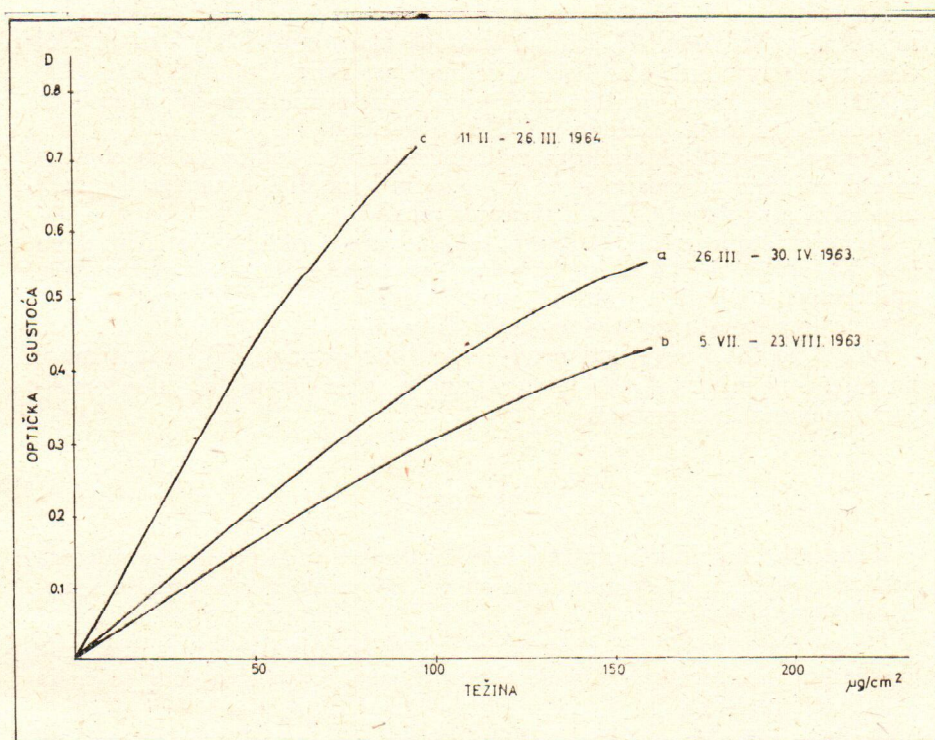
U SAD je uobičajeno da se koncentracija dima izražava kao indeks onečišćenja (soiling indeks), i to u tzv. COH-jedinicama (coefficient of haze = koeficijent zacrnljenja) ili u Ruds-ima (Reflectance units of dirt shade = intenzitet onečišćenja u jedinicama refleksije), već prema tome da li je mjerena propuštena ili reflektirana svjetlost uzorka na filter papiru. U jednom i drugom slučaju se omjer mjerene veličine za čisti filter papir i uzorak množi sa sto, pa se dijeljenjem s prosisanom količinom zraka u hiljadama linearnih stopa dobiva indeks onečišćenja (6).

Budući da nismo raspolagali reflektometrom nego denzitometrom (Baldwin Radiological Densitometer Mk. 3) mjerili smo optičku gustoću uzoraka, i pomoću vlastitih baždarnih krivulja preračunavali na težinsku koncentraciju. Rezultate smo izražavali i u COH-jedinicama/1000 LF.

Baždarna krivulja

Odnos težinske koncentracije i optičke gustoće odredili smo paralelnim uzimanjem uzoraka za denzitometrijsko i gravimetrijsko mjerenje. Uzorak za denzitometrijsko mjerenje uzet je na standardni način, tj. na filter-papir Whatman No. 1, uz brzinu strujanja zraka 0.7 do 2.3 l/min, a uzorak za gravimetrijsko mjerenje na filtrir-papir Polleman-Schneider plavi ϕ 5.08 cm uz brzinu strujanja zraka 20 do 45 l/min. Uzorci su prosisavani tako dugo dok zbog istaloženih čestica brzina strujanja zraka kroz filter za gravimetrijski uzorak nije pala na 90% početne (2 do 6 dana).

Gravimetrijski filter sušen je prije i nakon uzimanja uzorka u eksikatoru iznad CaCl₂ 24 sata, a isto tako i plastična kutija u kojoj je nakon sušenja vagan na 0.01 mg tačno. Iz porasta težine i prosisanog volumena zraka izračunata je koncentracija prašine u zraku u $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Paralelnom uzorku izmjerena je optička gustoća, pa je iz prosisanog volumena zraka, koncentracije prašine u zraku i izložene površine filtra izračunana težina



Sl. 3. Odnos optičke gustoće i težine uzoraka dima na Whatman br. 1. filter papiru

sakupljene prašine po jedinici površine u $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, koja odgovara tom denzitetu.

Izvršeno je nekoliko serija takvih ispitivanja u toku III i IV, te VII i VIII mjeseca 1963. i II i III mjeseca 1964. Rezultati su bili prilično raspršeni, pa je odlučeno da se postupak baždarenja ponovi iduće godine. Zbog toga za sada nije tražen matematički izraz za funkcionalnu ovisnost težinske koncentracije o optičkoj gustoći, nego su povučene relativno najbolje krivulje kroz eksperimentalne tačke za svaki period baždarenja, i te su krivulje poslužile za ocjenjivanje težinske koncentracije u ovom mjernom intervalu (slika 3).

Optičke gustoće uzoraka sakupljenih od V do uključivo IX mjeseca preračunali smo u težinske koncentracije na temelju baždarne krivulje *b*, uzoraka sakupljenih u XII, I i II na temelju baždarne krivulje *c*, uzoraka sakupljenih u prelaznim godišnjim dobama iz baždarne krivulje *a* (slika 3).

REZULTATI

Na tablicama 1. do 4. dane su za svako mjesto srednje i maksimalne mjesečne vrijednosti SO_2 i dima izražene kao $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i naveden je broj dana u mjesecu kad je nađena vrijednost prelazila 150, 500, 1000, 2000 i 3000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dane su i srednje i maksimalne mjesečne vrijednosti za koncentraciju dima izraženu u COH-jedinicama.

Kretanje mjesečnih srednjih vrijednosti u toku godine za sva mjerna mjesta zajedno prikazano je za SO_2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] na slici 4, za dim [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] na slici 5, a za dim u COH-jedinicama na slici 6.

Na mjernom mjestu 2. (VŠ) nije bilo moguće u toku najhladnijih dana (18. XII 1963. do 18. II 1964) sakupljati uzorke SO_2 zbog smrzavanja apsorpcione otopine u ispiralici, pa nema podataka o koncentracijama SO_2 na tom mjestu za taj vremenski interval.

Relativno češći negativni rezultati za koncentraciju SO_2 u septembru na mjernom mjestu 4 (IMI) vjerojatno su uzrokovani lokalnim emisijama institutskih digestora.

DISKUSIJA

Rezultati dnevnih koncentracija SO_2 i dima u toku pojedinog mjeseca pokazuju prilična kolebanja, koja su ovisna o intenzitetu emisije i meteorološkim faktorima.

U prelaznim godišnjim dobama intenzitet emisije dosta pravilno pada s porastom temperature. Tok je tek tu i tamo poremećen zbog utjecaja kiše ili vjetra (slika 7).

Srednje mjesečne vrijednosti SO_2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] a i dima – ako je izražen u COH-jedinicama – pokazuju sličan godišnji tok s izrazitim maksimumom u zimskim mjesecima (slike 4 i 6).

Tablica I.
Srednje i maksimalne mjesečne vrijednosti sumpornog dioksida i dima u atmosferi

Mjerno mjesto 1. Bašijanova ulica (RK)

Godina i mjesec	Koncentracija sumpornog dioksida u $\mu\text{g}/\text{m}^3$				Koncentracija dima u $\mu\text{g}/\text{m}^3$				Din (COH/1000 LF)		
	Srednja vrijednost	Maksimalna vrijednost	Broj dana kada vrijednost prelazi		Srednja vrijednost	Maksimalna vrijednost	Broj dana kada vrijednost prelazi		Srednja vrijednost	Maksimalna vrijednost	Broj dana kada vrijednost prelazi 4
			150	500			1000	2000			
1963. Mart	185	476	16			208	418	26	2.6	4.5	3
April	93	190	4			118	277	5	1.9	3.6	
Maj	69	153	1			214	471	24	2.1	4.0	1
Juni	51	92				154	344	17	1.8	4.9	1
Juli	76	426	1			244	446	28	2.8	4.1	2
August	30	110				212	431	18	2.1	3.8	
Septembar	63	131				274	444	27	2.6	4.1	1
Oktobar	107	262	7			172	355	18	3.2	6.1	6
Novembar	98	283	7			181	432	21	3.0	5.9	5
Decembar	280	706	22	4		100	207	4	5.8	16.7	15
1964. Januar	625	1669	24	11	3	268	723	13	3.9	9.7	13
Februar	347	721	28	6		145	360	13	4.1	8.4	13

Tablica 2.

Srednje i maksimalne mjesečne vrijednosti sumpornog dioksida i dima u atmosferi

Mjerno mjesto 2. Kačićeva ulica (V. Š)

Godina i mjesec	Koncentracija sumpornog dioksida u $\mu\text{g}/\text{m}^3$				Koncentracija dima u $\mu\text{g}/\text{m}^3$				Dim (COH/1000 LF)		
	Srednja vrijednost	Maksimalna vrijednost	Broj dana kada vrijednost prelazi		Srednja vrijednost	Maksimalna vrijednost	Broj dana kada vrijednost prelazi		Srednja vrijednost	Maksimalna vrijednost	
			150	500			1000	2000			3000
1963. Mart	262	631	25	2					4.6	8.6	19
April	152	287	13						1.7	5.2	1
Maj	83	147	1						1.0	1.6	
Juni	84	344							0.9	1.4	
Juli	73	180	1						1.1	1.7	
August	61	308	2						1.2	1.8	
Septembar	141	585	5	2					1.5	2.1	
Oktobar	109	217	7						2.0	4.1	1
Novembar	103	326	7						2.1	3.4	
Decembar*	338	605	15	3					2.9	4.6	5
1964. Januar	—	—	—	—					5.9	22.7	15
Februar**	489	850	12	5					7.3	14.3	25

* 1-18. XII

** 18-29. II

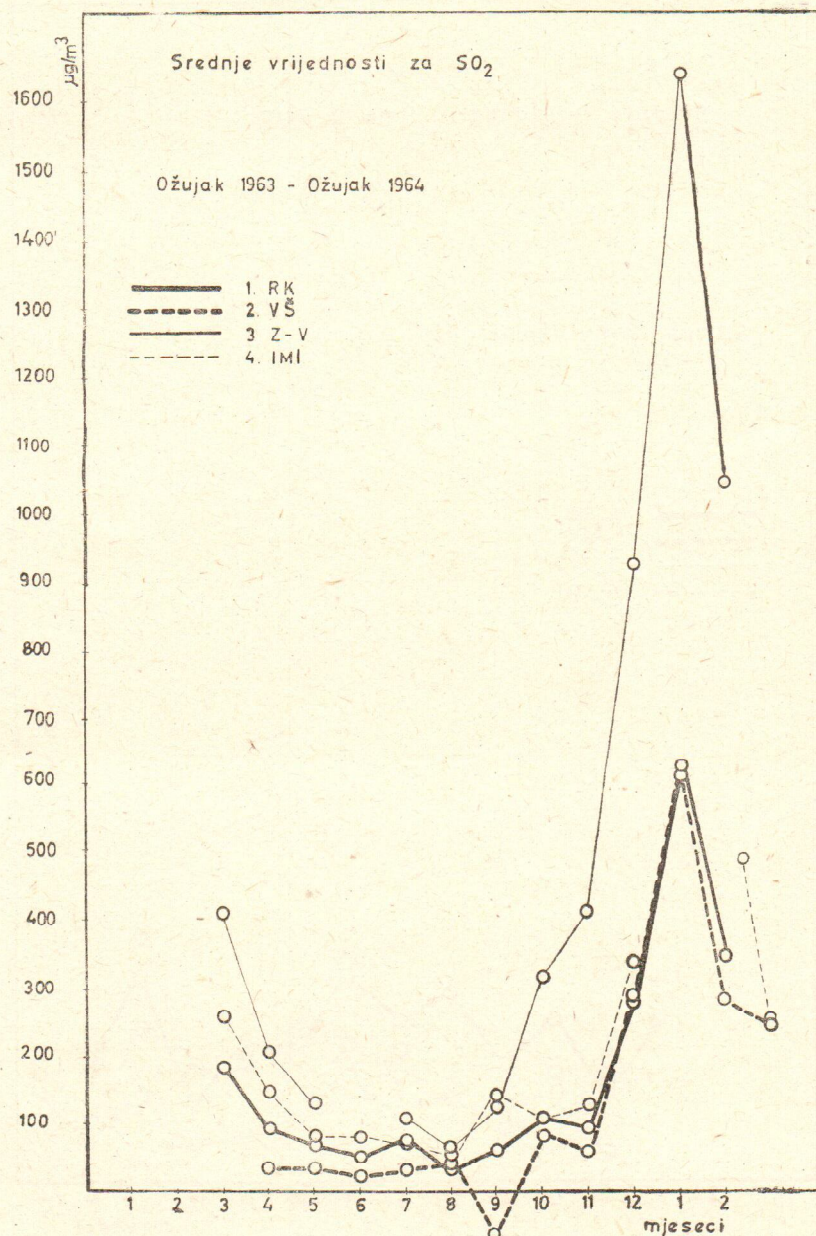
Tablica 3.
Srednje i maksimalne mjesečne vrijednosti sumpornog dioksida i dima u atmosferi
Mjerno mjesto 3. Ulica Socijalističke revolucije – Patačkina ulica (Z-V)

Godina i mjesec	Koncentracija sumpornog dioksida u $\mu\text{g}/\text{m}^3$					Koncentracija dima u $\mu\text{g}/\text{m}^3$					Dim (COH/1000 LF)			
	Srednja vrijednost	Maksimalna vrijednost	Broj dana kada vrijednost prelazi				Srednja vrijednost	Maksimalna vrijednost	Broj dana kada vrijednost prelazi			Srednja vrijednost	Maksimalna vrijednost	Broj dana kada vrijednost prelazi 4
			150	500	1000	2000			3000	150	500			
1963. Mart	412	1089	26	7	2	461	929	31	11	20	5.4	10.0	20	
April	210	476	21			156	516	8	1	2	2.0	6.4	2	
Maj	130	491	7			143	272	12			1.3	2.2		
Juni														
Juli	109	594	4	1		125	195	9			1.1	1.7		
August	65	153	2			177	312	19			1.9	3.7		
Septembar	129	234	12			308	526	26	2	5	2.8	4.5	5	
Oktobar	302	721	24	6		199	550	16	1	10	3.7	7.9	10	
Novembar	416	750	29	9		159	382	16			2.8	5.6	6	
Decembar	934	1689	27	25	10	151	384	13			4.9	7.9	18	
1964. Januar	1641	4873	27	27	16	324	850	21	7	27	7.0	16.6	27	
Februar	1048	2930	28	26	12	187	574	13	1	1	5.6	10.8	20	

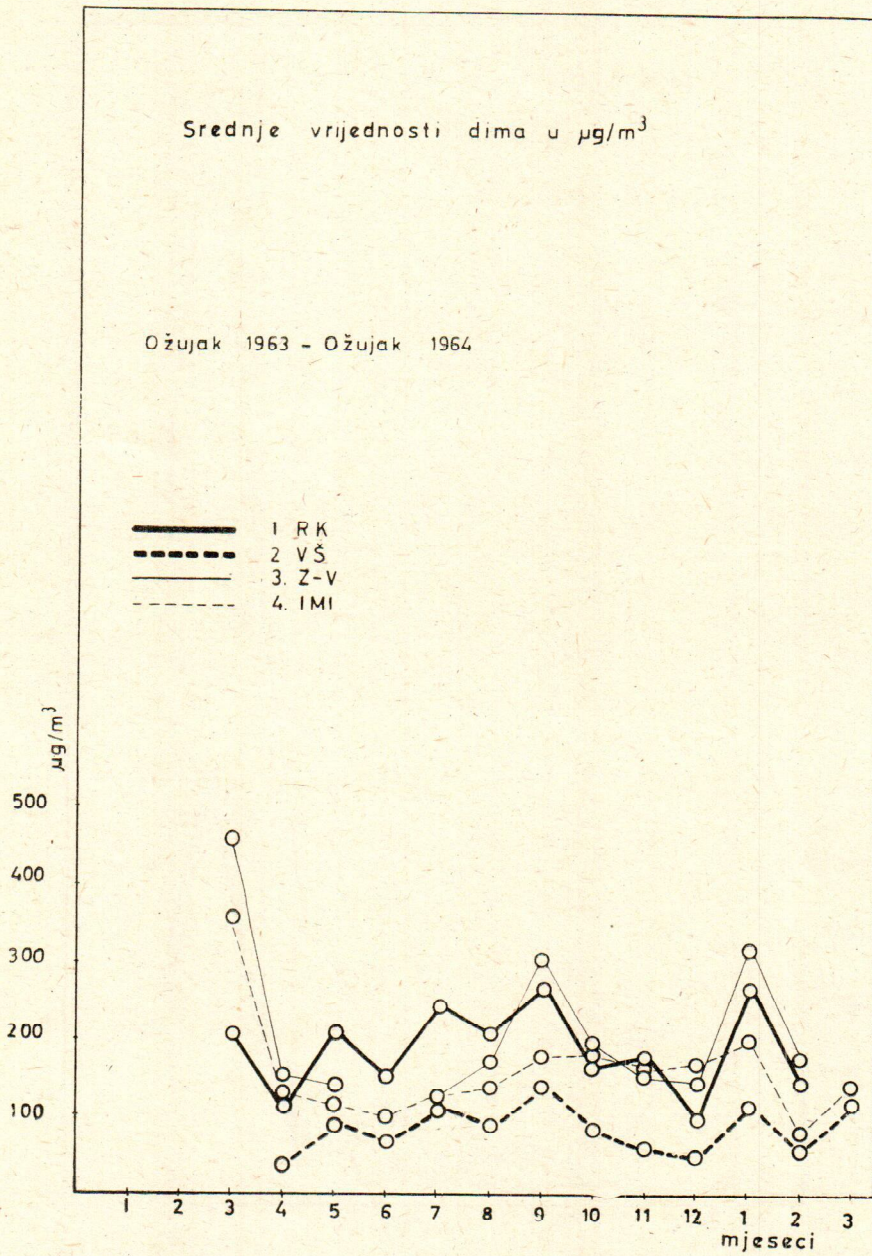
Tablica 4.
Srednje i maksimalne mjesečne vrijednosti sumpornog dioksida i dima u atmosferi
Mjerno mjesto 4. Ulica Moše Pijade (IMI)

Godina i mjesec	Koncentracija sumpornog dioksida u $\mu\text{g}/\text{m}^3$				Koncentracija dima u $\mu\text{g}/\text{m}^3$				Dim (COH/1000 LF)				
	Srednja vrijednost	Maksimalna vrijednost	Broj dana kada vrijednost prelazi				Srednja vrijednost	Maksimalna vrijednost	Broj dana kada vrijednost prelazi				
			150	500	1000	2000			3000	150	500	1000	
1963. Mart													
April*	39	191	1				38	87			0.5	1.1	
Maj	35	111					87	216	3		1.1	2.1	
Juni	21	101					66	188	1		0.9	1.9	
Juli	35	97					111	307	8		1.2	2.8	
August	42	152	1				87	209	4		1.1	2.2	
Septembar	—	59					140	396	11		1.4	3.5	
Oktobar	82	285	2				87	274	5		1.8	4.5	1
Novembar	63	253	1				60	199	1		1.1	2.5	
Decembar	286	874	18	3			51	191			2.4	5.9	4
1964. Januar	619	1651	28	14	4		117	462	10		5.0	11.9	12
Februar	284	548	26	3			58	159	2		4.2	6.0	15
Mart	245	534	28	1			123	290	6		2.3	4.3	1

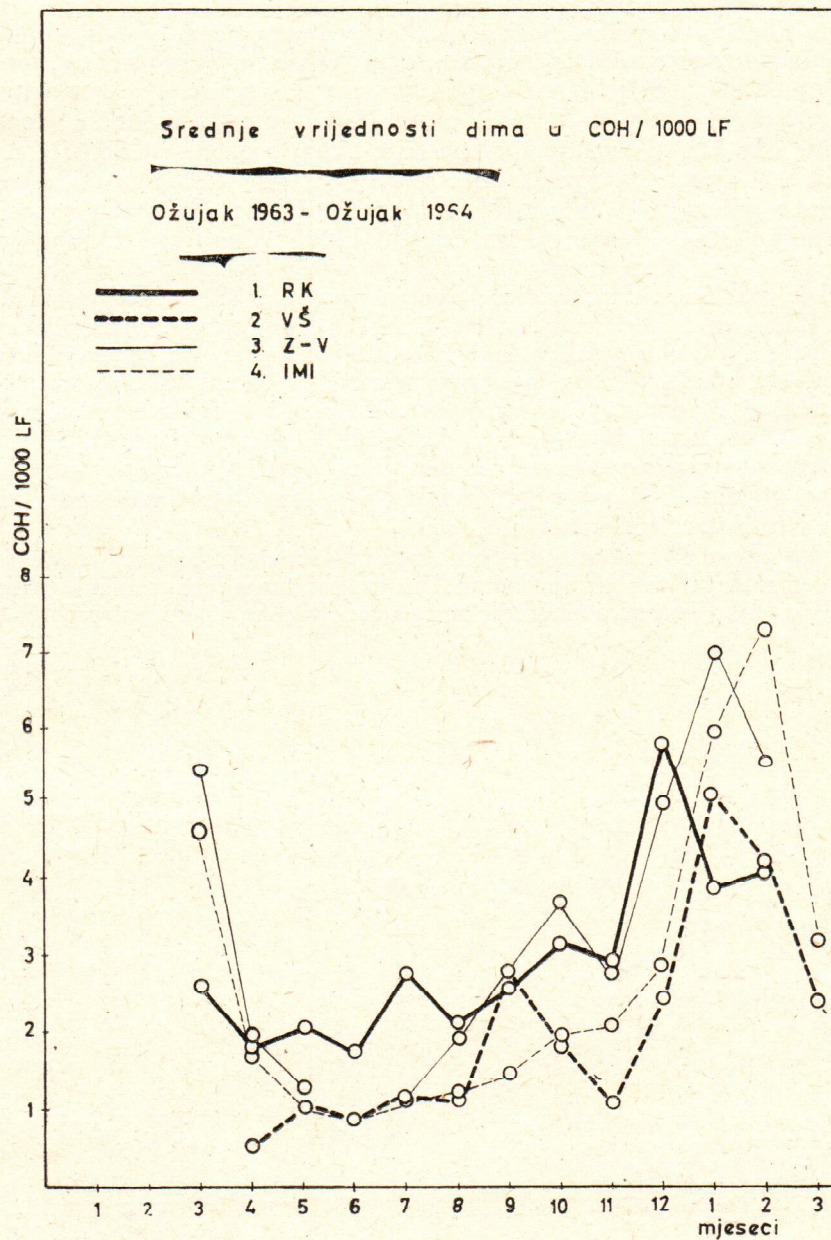
* Od 11. IV



Sl. 4. Kretanje srednjih mjesečnih vrijednosti SO₂ u toku godine za svako mjerno mjesto



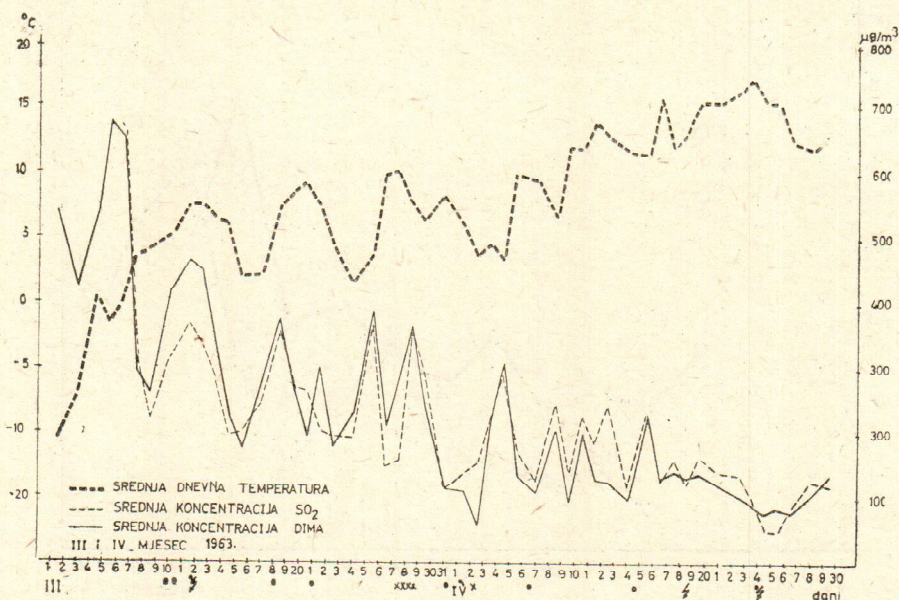
Sl. 5. Kretanje srednjih mjesečnih vrijednosti dima (aerosola) $[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ u toku godine za svako mjerno mjesto



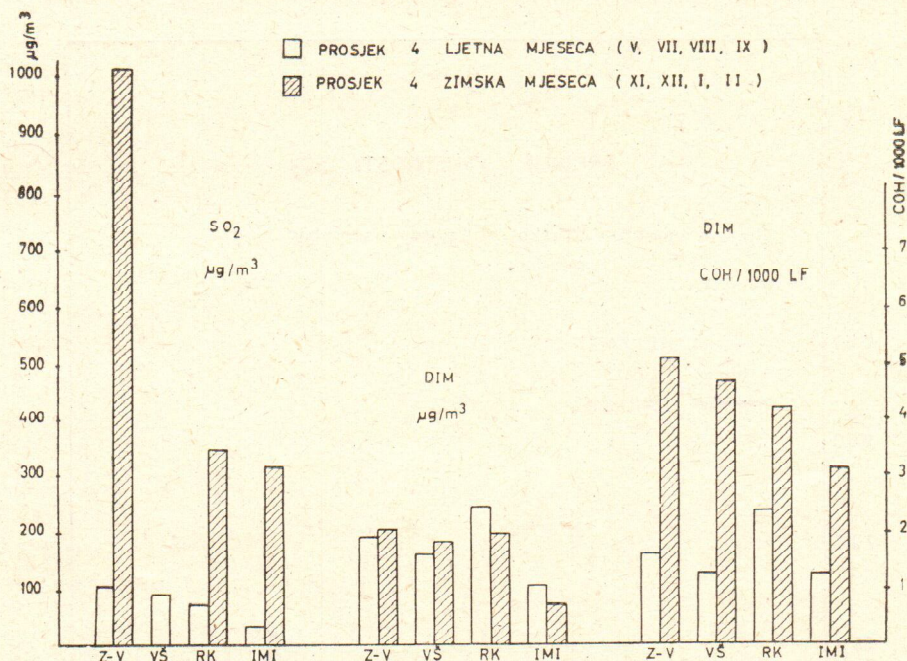
Sl. 6. Kretanje srednjih mjesečnih vrijednosti dima (COH/1000 LF) u toku godine za svako mjerno mjesto

Razlike u koncentraciji onečišćenja atmosfere između zime i ljeta naročito su očite ako prikazemo aritmetičke sredine vrijednosti dobivenih u 4 ljetna i 4 zimska mjeseca u obliku stupaca (slika 8). Odnos srednje koncentracije SO_2 u 4 ljetna i 4 zimska mjeseca je otprilike 1 : 10 za stambene dijelove grada (Z-V, IMI), a oko 1 : 6 za dio grada s nešto industrije (RK). Odnos srednje koncentracije dima, izražene u COH-jedinicama, u 4 ljetna i 4 zimska mjeseca je 1 : 2.6 do 1 : 3.8 za stambene dijelove grada (Z-V, VŠ i IMI), a oko 1 : 1.8 za dio grada s nešto industrije (RK). Manje razlike između ljeta i zime, kao i relativno viši nivo onečišćenja atmosfere ljeti u dijelu grada pod utjecajem industrijskih emisija, posljedica je potrošnje goriva za potrebe proizvodnje. Slični su odnosi između ljeta i zime u stambenim i industrijskim dijelovima grada nađeni za količine sulfata i katranskih supstancija u sedimentu u toku prošlog mjernog perioda (1). Odnos srednje težinske koncentracije dima, zapravo aerosola, u 4 ljetna i 4 zimska mjeseca nije jednoznačan, a na dva mjerna mjesta čak su koncentracije u ljetnim mjesecima prosječno više, što je vjerojatno posljedica intenzivne građevne djelatnosti u toku ljetnih mjeseci u tim dijelovima grada, ali razlike nisu statistički značajne.

Usporedimo li rezultate dobivene u gradskim područjima sličnog karaktera u Zagrebu i nekim britanskim gradovima slične veličine (slika 9 i 10), vidimo da su u Zagrebu mnogo veće razlike u koncentraciji SO_2



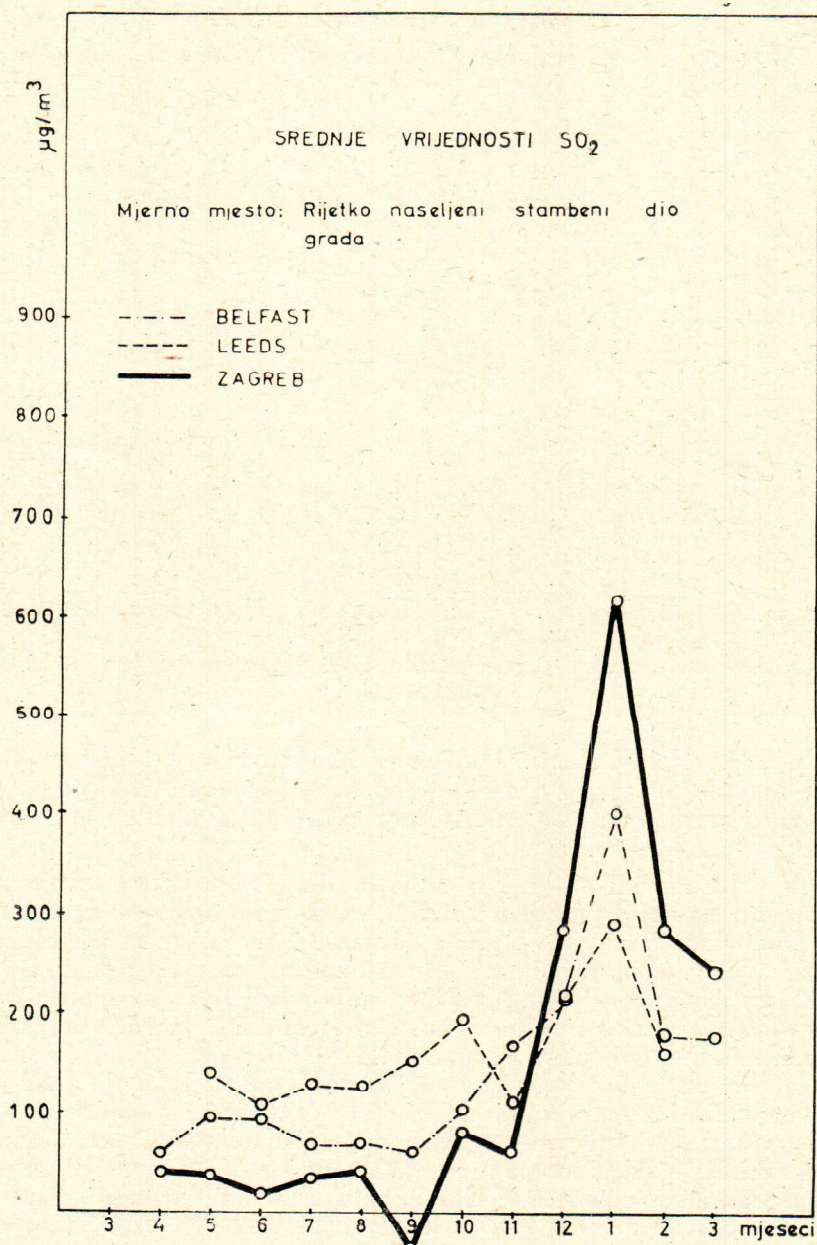
Sl. 7. Varijacije srednje dnevne temperature i srednjih dnevnih koncentracija SO_2 i dima svih mjernih mjesta u toku mjeseca marta i aprila 1963. (Oznake ispod apscise: · kiša, ' rosulja, × snijeg, ⚡ grmljavina)



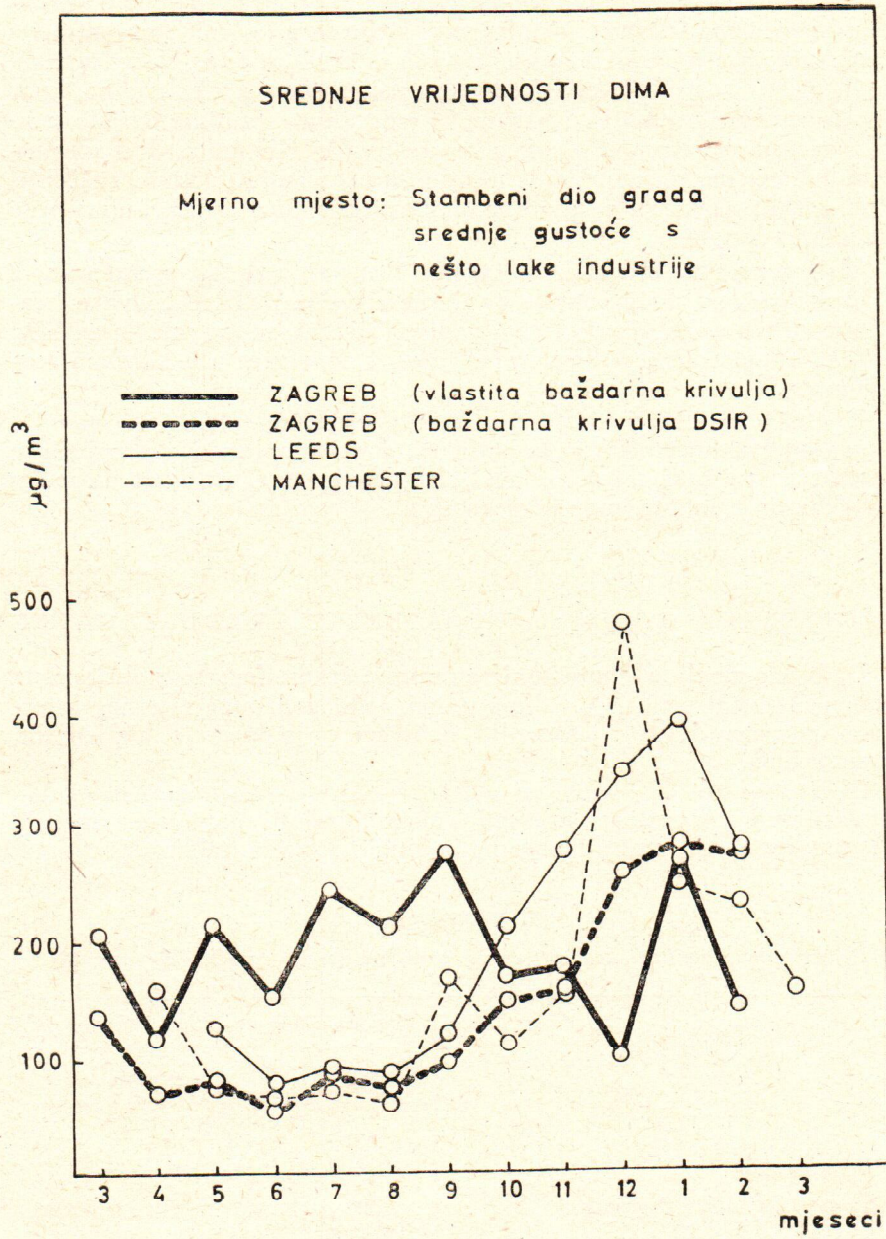
Sl. 8. Razlike u koncentraciji SO₂ i dima između 4 ljetna i 4 zimska mjeseca za pojedina mjerna mjesta

između zime i ljeta (slika 9). Ova pojava pokazuje da je visoko onečišćenje atmosfere Zagreba zimi pretežno posljedica loženja. Zbog toga i redovito nalazimo najviše koncentracije SO₂ u gusto naseljenom dijelu grada (Z-V), što se vidi iz slike 4.

Iz slike 10. se vidi da naše srednje mjesečne težinske koncentracije dima imaju sasvim drugačiji tok negoli one koje su dobivene u britanskim gradovima. Razlog su različite baždarne krivulje pomoću kojih su optičke vrijednosti preračunane u težinsku koncentraciju. U Velikoj Britaniji služi jedna krivulja za preračunavanje rezultata dobivenih u toku cijele godine, dok smo mi preračunavali rezultate iz 3 krivulje: zimske, ljetne i prelazne. U britanskim rezultatima dolazi više do izražaja udio dima, tj. »crnih čestica« u sakupljenoj prašini, samo je pitanje da li je opravdano tako izraženi rezultat nazvati težinskom koncentracijom i izraziti u (µg/m³), kad isti denzitet znači ljeti veću težinsku koncentraciju negoli zimi. Nije isključeno da je razlika u odnosu optičke gustoće i težine uzorka prašine između ljeta i zime manja u Velikoj Britaniji nego u Zagrebu, zbog blaže klime i bolje kvalitete ugljena, ali ona vjerojatno ipak postoji, pa se primjenom jedne baždarne krivulje ili potcjenjuje težinska koncentracija ljetnih uzoraka ili precjenjuje težinska koncentracija zimskih uzoraka.



Sl. 9. Godišnji tok koncentracije SO_2 u Zagrebu i britanskim gradovima Leedsu i Belfastu u rijetko naseljenim stambenim dijelovima grada



Sl. 10. Godišnji tok koncentracije dima u Zagrebu i britanskim gradovima Leedsu i Manchesteru u stambenim dijelovima grada s nešto lake industrije

Tok krivulje srednjih mjesečnih težinskih koncentracija dima u britanskim gradovima sličan je toku krivulje srednjih mjesečnih koncentracija dima izraženih u COH-jedinicama naših mjernih mjesta. Takav tok krivulje dobro ilustrira kolebanja koncentracije *dima* u toku godine, samo ostaje neriješeno pitanje u kakvim bi jedinicama rezultate trebalo izraziti, da li u relativnim brojevima kao što su COH-jedinice, ili u apsolutnim jedinicama, tj. $\mu\text{g}/\text{m}^3$, koje u ovom slučaju imaju relativno značenje. Naši rezultati izraženi u $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ne predstavljaju koncentraciju dima nego ukupnih aerosola.

Zbog usporedbe prikazani su na slici 10 i naši rezultati preračunani u težinsku koncentraciju pomoću baždarne krivulje DSIR (5). Ovako izraženi rezultati pokazuju očekivani godišnji tok, ali su, za razliku od SO_2 , razlike u koncentraciji dima između ljeta i zime veće u britanskim gradovima.

Unatoč navedenim nedostacima, optička je metoda toliko jednostavnija i brža od gravimetrijske da ta činjenica donekle opravdava primjenu te metode za rutinsko mjerenje onečišćenja atmosfere, uz uvjet da način izražavanja rezultata bude jednoznačan.

HIGIJENSKA OCJENA ATMOSFERE U GRADU ZAGREBU

Da bismo mogli ocijeniti stanje atmosfere grada Zagreba s obzirom na nađene koncentracije SO_2 i dima u toku jednogodišnjeg mjernog intervala, potrebno bi bilo usporediti dobivene vrijednosti s higijenskim standardima.

U našoj zemlji ne postoje za sada higijenski standardi za maksimalne koncentracije SO_2 i dima, koje se još mogu tolerirati u atmosferi naselja. Moramo se, dakle, služiti podacima iz drugih zemalja (tablica 5).

Tablica 5.

Maksimalno dopuštene koncentracije u atmosferi naselja za SO_2 i aerosole (8)

Zemlja	Prosječne dnevne vrijednosti u $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	SO_2	aerosoli
Sovjetski Savez	150	150
Čehoslovačka	150	150
Savezna Republika Njemačka	500 (0.2 ppm)	
Kalifornija (SAD)	500 (0.2 ppm)	150 (stambeni dio) 250 (industrijski dio)

Vidimo da su standardi istočnih zemalja znatno stroži (oko 3 puta) od standarda zapadnih zemalja. Razlike su u kriterijima koji se u pojedinim zemljama primjenjuju. U Sovjetskom Savezu uzeta je kao granična ona koncentracija koju organizam još ne »registrira«, iako prekoračenje te granice još ne mora značiti nepovoljno djelovanje.

U zapadnim zemljama se graničnom koncentracijom smatra ona koju organizam još može eliminirati bez štetnih posljedica.

Usporedimo li koncentracije SO₂ izmjerene u Zagrebu na 3 mjerna mjesta za koja imamo kompletne rezultate s navedenim standardima (slika 11), vidimo da je u gusto naseljenoj stambenoj četvrti (Z-V) atmosfera samo 33% dana u godini zadovoljavala s obzirom na oba kriterija, 31% dana je zadovoljavala samo blaži kriterij (150–500 µg/m³), a 36% dana nije zadovoljavala ni jedan kriterij (> 500 µg/m³). U toku 3 zimska mjeseca (XII, I i II) samo je u tri dana izmjerena koncentracija bila manja od 500 µg/m³, a u intervalu između 15. i 27. I 1964, za vrijeme vrlo nepovoljnih meteoroloških uvjeta (temperaturna inverzija i magla) koncentracija je prelazila 1200 µg/m³ s maksimumom od 4870 µg/m³ 22/23. siječnja. Ova je vrijednost čak nešto viša od maksimalnih koncentracija nađenih u atmosferi Londona 1952. godine (8) za vrijeme »smoga«, koji je imao za posljedicu naglo povećanje broja oboljelih i umrlih na teritoriju Londona, nakon čega je donesen u Velikoj Britaniji »Zakon o čistom zraku«, na temelju kojeg su se počele provoditi radikalne mjere za suzbijanje onečišćenja atmosfere.

U rijetko naseljenom dijelu grada s nešto industrije (RK) bilo je u toku 3 zimska mjeseca (XII, I i II) 8% dana koji su zadovoljavali stroži kriterij (< 150 µg/m³), 28% dana nije zadovoljavalo ni blaži kriterij (> 500 µg/m³); maksimum u toku siječnja bio je 21/22, a iznosio je 1670 µg/m³.

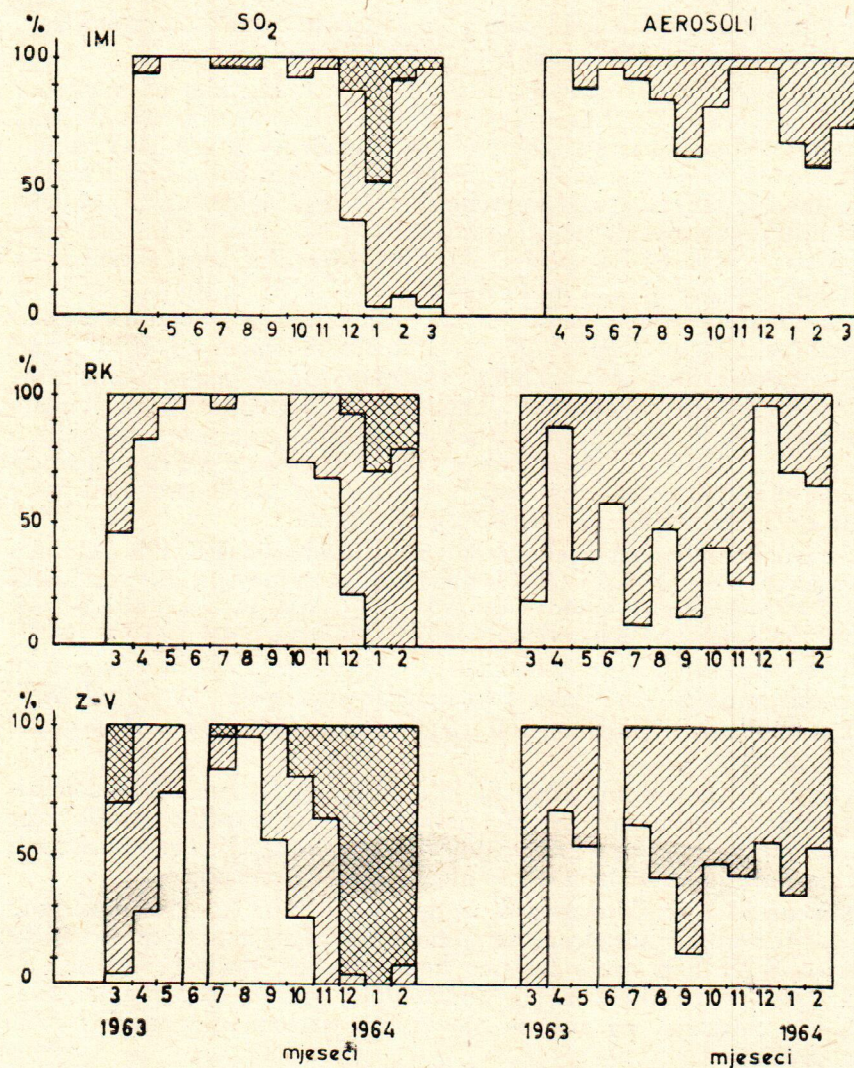
U rijetko naseljenom stambenom dijelu grada (IMI) bilo je u toku 3 zimska mjeseca 12% dana s koncentracijom ispod 150 µg/m³, 23% dana s koncentracijom iznad 500 µg/m³, a maksimum je bio 1650 µg/m³ 22/23. januara.

Koncentracija aerosola prelazila je u gusto naseljenom stambenom dijelu grada i rijetko naseljenom s nešto industrije otprilike u 50% dana u toku godine granicu od 150 µg/m³. U rijetko naseljenom stambenom dijelu grada je 20% dana u godini ova granica prekoračena.

Navedeni higijenski standardi za aerosole odnose se na težinske koncentracije aerosola određene vaganjem, a ne preračunavanjem iz optičke gustoće. S obzirom na to što smo imali posebne baždarne krivulje za zimu, ljeto i prelazno doba, naši su rezultati aproksimacija pravih težinskih koncentracija, pa smo ih mogli orijentaciono usporediti s ovim standardima.

Ako za ocjenu rezultata izraženih u COH-jedinicama primijenimo kriterij da koncentracije veće od 4 COH/1000 LF predstavljaju jako onečišćenu atmosferu (9), onda je ta granica bila prekoračena na pojedinim mjernim mjestima ovaj broj dana u godini: (1) RK: 61, (2) VŠ: 66, (3)

- % REZULTATA ISPOD $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ □ % REZULTATA ISPOD $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 ▨ % REZULTATA IZMEĐU 150 i $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ▨ % REZULTATA IZNAD $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 ▩ % REZULTATA IZNAD $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ▩ % REZULTATA IZNAD $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Sl. 11. Učestalost koncentracije ispod $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (higijenski standardi Sovjetskog saveza i Čehoslovačke), između 150 i $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i iznad $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (higijenski standardi Savezne Republike Njemačke i Kalifornije, SAD) za SO_2 , odnosno ispod i iznad $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (higijenski standardi Sovjetskog saveza, Čehoslovačke i Kalifornije) za aerosole, u pojedinim mjesecima za pojedina mjerna mjesta

Z-V: 110 i (4) IMI: 33, i to pretežno u prosincu, siječnju, veljači i ožujku.

Iz svega navedenog vidimo da koncentracije SO₂ i dima u atmosferi Zagreba u toku zimskih mjeseci dosežu vrlo visoke vrijednosti, koje se ni uz relativno blaže kriterije zapadnih zemalja ne bi smjele tolerirati.

Uzmemo li u obzir da je u Zagrebu prevladavajući smjer vjetra N-NE, onda s obzirom na smještaj najvećeg dijela industrije u odnosu na položaj naših mjernih mjesta možemo reći da je utjecaj industrijskih emisija na dobivene rezultate, osim u slučaju RK, bio praktički beznačajan. To potvrđuju i vrlo niske vrijednosti dobivene ljeti, osim pojedinačnih slučajeva gdje je neka kratkotrajna lokalna emisija uzrokovala skok u koncentraciji pojedinog dana. Znači, dakle, da je već samo loženje uzrokovalo zimi tako visoke koncentracije kakve rijetko dosežu drugi industrijski gradovi Evrope.

U principu postoje dva načina za suzbijanje onečišćenja atmosfere koje potječe od loženja: ograničenje vrsta goriva koja se smiju upotrebljavati za loženje i promjena u načinu loženja.

Tako je npr. u Los Angelesu prosječna godišnja koncentracija SO₂, koja je 1956-1958. iznosila oko 4 pp100m (114 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) pala - kad je stupio na snagu lokalni propis o zabrani upotrebe goriva sa više od 0.5%/o sumpora - na približno 2 pp100m (10).

U Velikoj Britaniji je nakon stupanja na snagu Zakona o čistom zraku (1956) započela sistematska akcija uvođenja tzv. bezdimnih zona. Posebna inspekcija pregledava postepeno redom sva ložišta u kućanstvima i izdaje rješenje koja se ložišta moraju pregraditi da bi mogla sagorijevati bezdimno gorivo. 4/10 troškova pregradnje snosi država, 3/10 općina, a ostatak vlasnik stana. Kao bezdimno gorivo smatra se koks, polukoks, mineralno ulje, plin i električna struja (11).

U Holandiji, iako je nivo onečišćenja znatno niži nego u Velikoj Britaniji i kod nas [maksimum pod vrlo nepovoljnim meteorološkim uvjetima u 1962. bio je 1600 $\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ (12)], obraća se mnogo pažnje i sredstava pitanju suzbijanja onečišćenja atmosfere. Udio loženja u općem onečišćenju je također znatan i nastoji se smanjiti uvođenjem toplana za grijanje stambenih četvrti.

Grijanje stambenih četvrti sa centralnog mjesta je ne samo najefikasniji i najprikladniji način za suzbijanje onečišćavanja atmosfere grada zbog loženja, nego je to i suvremeno rješenje s gledišta komfora stanovanja. Takvo bi rješenje trebalo primijeniti i u Zagrebu, barem pri izgradnji novih dijelova grada.

ZAKLJUČAK

Na temelju rezultata jednogodišnjih mjerenja dnevnih koncentracija SO₂ i dima u atmosferi Zagreba na 4 mjerna mjesta može se zaključiti:

1. Da postoje vrlo velike razlike u koncentraciji sumpornog dioksida između ljeta i zime, što ukazuje na to da je glavni uzrok onečišćenju

zraka sumpornim dioksidom, u dijelovima grada gdje su vršena mjerenja, loženje.

2. Koncentracije SO_2 nađene zimi u gusto naseljenoj stambenoj četvrti prelazile su redovito maksimalno dopuštene koncentracije čak i prema blažim kriterijima koji se primjenjuju u nekim zapadnim zemljama. U toku siječnja 1964, za vrijeme 10-dnevnog intervala vrlo loših meteoroloških prilika, koncentracije su dosezale zabrinjujući visoke vrijednosti, kakve su inače ponekad u Londonu za vrijeme »smoga«.

3. Koncentracije dima, izražene kao koeficijent zacrnjenja, pokazuju sličan godišnji tok, iako s manjim ekstremima.

4. Koncentracije krutih čestica izražene u $\mu\text{g}/\text{m}^3$ varirale su oko istog nivoa i zimi i ljeti, ali s obzirom na primjenu različitih baždarnih krivulja za ljeto, zimu i prelazna doba, nisu zapravo značile koncentraciju dima nego ukupnih aerosola, pa se ne mogu direktno uspoređivati s onim rezultatima koji su izraženi kao koncentracija dima, dobivenim u drugim zemljama, nego samo orijentaciono s onima koji su izraženi kao koncentracije ukupnih čestica.

5. S obzirom na stanje atmosfere u Zagrebu trebalo bi hitno pristupiti mjerama za suzbijanje onečišćavanja atmosfere, a to se može u manjoj mjeri postići upotrebom kvalitetnijih vrsta goriva, a mnogo efikasnije primjenom rajonskog grijanja, što bi trebalo obavezno provesti barem pri izgradnji novih dijelova grada.

Literatura

1. Fugaš, M., Gentilizza, M., Valić, F., Verhovnik, S.: Arh. hig. rada, 16 (1965) 215.
2. The Measurement of Atmospheric Pollution, Department of Scientific and Industrial Research, H. M. Stationery Office, London 1957.
3. Report on observations in the year 1916/17, No. 3, str. 17, Meteorological Office, Advisory Committee on Atmospheric Pollution.
4. Atmospheric Pollution in Leicester, Department of Scientific and Industrial Research, H. M. Stationery Office, London 1945.
5. The Use of the Daily Instrument for Measuring Smoke and Sulphur Dioxide, National Survey of Air Pollution, Department of Scientific and Industrial Research, Stevenage 1961.
6. Schuman, C. E., Gruber, C. W.: J. Air Pollution Control Assoc., 10 (1960) 436.
7. Atmospheric Pollution Bulletin, National Survey of Air Pollution, Summary of Observations of Smoke and Sulphur Dioxide, Vol. 30, No. 12; Vol. 31, No. 1-12, Department of Scientific and Industrial Research, Stevenage, 1963, 1964.
8. Stern, A. C.: Air Pollution I. i II., Academic Press, London, 1962.
9. Shepard, R. J., Carey, G. C. R., Phair, J. J.: Arch. Indust. Health, 17 (1958) 236.
10. Katner, G. V. i Lunche, R. G.: Arch. Environ. Health, 8 (1964) 5.
11. Air Pollution, A Survey of Existing Legislation, World Health Organization, Geneva, 1963.
12. Burema, L., Biersteker, K., deGraaf, H.: Luchtverontreiniging en volksgezondheid in Rotterdam, Comissie Boden, Water en Lucht, Rotterdam, 1964.

*Summary*AIR POLLUTION STUDIES IN THE CITY OF ZAGREB
II. CONCENTRATIONS OF SULPHUR DIOXIDE
AND SMOKE

A one-year survey of daily SO₂ and smoke concentrations in air was carried out at four sampling points in Zagreb by means of a »volumetric apparatus«.

Considerable differences were found between summer and winter SO₂ concentrations, especially in densely populated areas, which shows that the air pollution was mainly caused by domestic heating.

Smoke concentrations expressed in COH-units had a similar yearly trend but with less expressed extremes. Weight concentrations of suspended particles estimated from the optical density by three different calibration curves (for winter, summer, and intermediate seasons) showed no significant seasonal variations.

In the course of the three coldest months (December, January, February) the level of 500 µg SO₂/m³, used in some western countries as the maximum permissible level, was permanently surpassed in the densely populated area and for about a third of the days in other parts of the town. The maximum value (4,870 µg SO₂/m³) found in the period of heavy air pollution in January exceeded the maximum values found during London fog in 1952.

It is suggested that district heating should be introduced at least in the parts of the town to be built in the future.

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

*Received for publication
January 30, 1965*