

Rasprave i prikazi

DK 551.510.42.
551.584. 2

OVISNOST ZAGADJENOSTI ZRAKA
U ZAGREBU
O METEOROLOŠKIM FAKTORIMA

Zagreb, 1974

Izradjeno u sektoru za meteorološka istraživanja i aerologiju
Republičkog hidrometeorološkog zavoda SR Hrvatske

Objavljivanje ovog rada financijski je pomogao
Republički fond za naučni rad SR Hrvatske

Suradnici:

Dr Dražen Poje, mr Nadežda Šinik, dipl.ing, mr Edita Lončar, dipl.ing,
Nada Pleško, dipl.ing, Gordana Hrabak-Tumpa, dipl.ing, Zvonko
Katušin, dipl.ing, mr Zdenka Bolanča, dipl.ing.

Tehnički suradnici:

Slavoljub Despotović i Radislav Čokić, viši meteorološki tehničari,
Veljko Stojanović i Ivan Huljek, tehnički crtači,
Miroslava Ajduković, daktilograf,
Dragutin Barić, grafičar

Lektura:

Dunja Vražić, prof.

English version:

Mr Nadežda Šinik, dipl. ing.

Tehnička suradnja:

Marko Zeljak, prof.

Adrese suradnika:

Republički hidrometeorološki zavod SR Hrvatske, Zagreb, Grič 3

Izdavač, tisak i uvez:

Republički hidrometeorološki zavod SR Hrvatske, Zagreb, Grič 3

REPUBLICAN HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE
of the
SOCIALISTIC REPUBLIC CROATIA

347-M8

No 11

Memoirs

DK 551 510 42
551 584 2

THE AIR POLLUTION IN ZAGREB
IN RELATION
TO METEOROLOGICAL FACTORS

Zagreb 1974

P R E D G O V O R

Republički hidrometeorološki zavod SRH angažirao se posljednjih godina i u akcijama za očuvanje i poboljšanje čovjekove sredine. Preko svojih brojnih stanica meteorolozi neprekidno prate stanje atmosfere i registriraju promjene u njoj, a na nekoliko mjesta redovno mjere i zagađenost zraka i oborina. U skladu s preporukama Svjetske meteorološke organizacije, na 4 stanice u SR Hrvatskoj prati se prirodna zagađenost zraka i oborina.

U gradu Zagrebu posljednjih je godina, na širem društvenom planu, povećan interes za zaštitu životne sredine, posebno za problem zagađenosti zraka, koji je u mnogim dijelovima grada veoma akutan. Pred dvije godine, zahvaljujući inicijativi tadašnjeg Komunalnog zavoda grada Zagreba, odnosno Urbanističkog zavoda grada Zagreba, posebno dipl.inž. M. Popović, ovaj Zavod je, na temelju ugovora Komunalnog zavoda grada Zagreba br. 08-189/1-1971 od 29.2.1971, proveo obimna istraživanja u utvrđivanju meteoroloških faktora koji djeluju na zagađenost zraka u centru Zagreba, te za investitora izradio elaborat sa dokumentacijom.

Istraživanje je obuhvatilo i dosadašnja mjerenja zagađenosti zraka SO_2 i dimom, čije smo rezultate sa stanica u Zagrebu dobili od Instituta za medicinska istraživanja i higijenu rada JAZU u Zagrebu. S druge strane, u okviru naučne i tehničke suradnje s ovim Zavodom, Institut za sigurnost rada u Zagrebu je, za potrebe ovog istraživanja, proveo opširna mjerenja zagađenosti zraka na 40-tak mjesta, kojima je rukovodio dr. T. Filipan. Uz ova specijalna mjerenja, istovremeno su provedena i mikroklimatska mjerenja te mjerenja visinskog vjetra, koje su obavili radnici Meteorološkog-aerološkog opservatorija Zagreb-Maksimir.

Smatrajući da su rezultati izneseni u elaboratu od šireg značenja za stručnu javnost, u ovom broju publikacija "Rasprave i prikazi" Zavoda iznosimo najznačajnija, preradjena poglavlja ovog elaborata.

Elaborat i studije rezultat su timskog rada svih radnika sektora za meteorološka istraživanja i aerologiju i drugih suradnika.

Vjerujemo da će rezultati istraživanja, izneseni u ovoj studiji, biti povod za daljnja sveobuhvatnija ispitivanja zagađenosti zraka u gradu Zagrebu, ne samo u pogledu proširenja postojeće stalne mreže stanica za specijalna mjerenja zagađenosti zraka i meteoroloških elemenata, već i određenih mjera i akcija, koje bi trebale dovesti do poboljšanja kvalitete zraka u gradu Zagrebu.

Direktor
Republičkog hidrometeorološkog zavoda SRH
Mile Šikić, dipl.ing.

S A D R Ž A J

Strana

Sažetak	1
Summary	7
List of tables	13
List of figures	16
UVOD	20
1. PROSTORNO-VREMENSKA RAZDIOBA ZAGADJENOSTI ZRAKA U ZAGREBU Gordana Hrabak-Tumpa, dipl.ing.	23
1.1 Historijat i metode motrenja koncentracije SO ₂ i dima	23
1.1.1 Historijat mreže stanica za mjerenje koncentracije SO ₂ i dima u atmosferi	23
1.1.2 Metode mjerenja koncentracije SO ₂ u atmosferi	24
1.1.3 Metode mjerenja koncentracije dima u atmosferi	25
1.2 Analiza koncentracije SO ₂ i dima na području Zagreba	26
1.2.1 Opće napomene	26
1.2.2 Analiza šestgodišnjeg niza mjerenja koncentracije SO ₂	27
1.2.2.1 Srednje dnevne vrijednosti koncentracije SO ₂	27
1.2.2.2 Maksimalne srednje dnevne vrijednosti koncentracije SO ₂	42
1.2.3 Analiza 5-godišnjeg mjerenja koncentracija dima	46
1.2.3.1 Srednje dnevne vrijednosti koncentracije dima	46
1.2.3.2 Maksimalne srednje dnevne koncentracije dima	51
1.3 Trend promjena koncentracija SO ₂ i dima u toku promatranog perioda	54

2.	METEOROLOŠKA DOKUMENTACIJA Nada Pleško, dipl.ing.	57
2.1	Stanice i podaci	57
2.2	Karakteristike razdoblja 1966-1971.	59
2.2.1	Magla	59
2.2.2	Trajanje sijanja sunca	61
2.2.3	Temperatura	63
3.	KLIMATSKI POTENCIJAL ZAGADJENOSTI ZRAKA Nada Pleško, dipl.ing. mr Nadežda Šinik, dipl.ing. mr Edita Lončar, dipl.ing.	65
3.1	Općenito	65
3.2	Magla i zagađenost zraka	67
3.2.1	Prostorna razdioba broja dana s maglom u Zagrebu	68
3.2.2	Trajanje magle	76
3.2.3	Ovisnost koncentracije SO ₂ o karakteristici kama magle u Zagrebu	78
3.3	Upliv zagađenosti zraka na insolaciju	81
3.4	Temperatura zraka i zagađenost	86
3.4.1	Prostorna razdioba sezonskih temperatura zraka u Zagrebu	86
3.4.2	"Toplinska kapa" nad Zagrebom	91
3.4.3	Prizemne inverzije nad Zagrebom	98
3.4.3.1	Učestalost pojavljivanja prizemnih inverzija	98
3.4.3.2	Debljine prizemnih inverzija	99
3.4.3.3	Trajanje prizemnih inverzija	101
3.5	Provjetravanje grada	102
3.5.1	Brzina strujanja i "provjetravanje"	103
3.5.2	Ovisnost koncentracije SO ₂ o smjeru vjetra	108
3.5.3	Prijenos čestica nad gradom	115
3.5.4	"Box-model" Zagreba	122
3.5.5	Dnevni režim aeracije	125
3.6	Uloga oborina u pročišćavanju gradskog zraka	143
3.7	Zavisnost koncentracija SO ₂ u Zagrebu o vertikalnom gradijentu temperature i brzini vjetra	144
3.8	Tipovi vremena i zagađenost zraka	149
3.8.1	Analiza tipova vremena i srednje koncentracije SO ₂ u Zagrebu	150
3.8.2	Analiza tipova vremena i srednje koncentracije dima u Zagrebu	154

4.	SPECIJALNA MJERENJA METEOROLOŠKIH ELEMENATA I ZAGADJENOSTI ZRAKA NA PODRUČJU ZAGREBA Zvonko Katušin, dipl.ing. i dr Dražen Poje	159
4.1	Izbor lokacija i metode mjerenja	159
4.2	Izbor vremenske situacije	163
4.2.1	Kratak opis	164
4.3	Meteorološki elementi	166
4.3.1	Temperatura zraka	166
4.3.1.1	Opservatorij Grič	171
4.3.1.2	Svačićev trg	173
4.3.1.3	Mjerenja unutar stambenih blokova	174
4.3.2	Relativna vlaga	175
4.3.3	Vjetar	175
4.3.3.1	Mjerenja prizemnog sloja	176
4.4	Zagadjenost zraka	179
4.4.1	Sumporni dioksid (SO ₂)	179
4.4.2	Dušični dioksid (NO ₂)	190
4.4.3	Ugljični monoksid (CO)	195
4.4.4	Ugljični dioksid (CO ₂)	198
4.4.5	Napomene i prijedlozi	201
5.	NEKI REZULTATI KEMIJSKIH ANALIZA UZORAKA OBORINA I ZRAKA mr Zdenka Bolanča	202
5.1	Uvod	202
5.2	Rezultati analiza nekih kationa i aniona u uzorcima oborina i zraka	203
5.2.1	Odnos između električne provodljivosti i suma kationa i aniona	203
5.2.2	Rezultati mjerenja pH u dnevnim i mjesečnim uzorcima oborina	206
5.2.3	Rezultati analiza nekih aniona i kationa u uzorcima oborina	209
5.2.4	Rezultati analiza u uzorcima zraka	213

6.	SUGESTIJE I PRIJEDLOZI U VEZI MREŽE I ORGANIZACIJE MJERENJA ZAGADJENOSTI ZRAKA U ZAGREBU dr Dražen Poje	215
6.1	Ciljevi	215
6.2	Faktori	216
6.3	Sistem za praćenje zagađenosti zraka	217
6.3.1	Planiranje mreže stanica	217
6.3.2	Nova mreža meteoroloških stanica na području grada Zagreba	218
6.3.3	Mreža za mjerenje zagađenosti zraka u Zagrebu	221
6.3.3.1	Stanice za mjerenje SO i dima	221
6.3.3.2	Stanice za mjerenje drugih polutanata	223
6.4	Obrada i analiza podataka	224
6.5	Izvori zagađenosti zraka u Zagrebu	225
7.	DALJNJE AKCIJE	226
	Literatura	227

S A Ž E T A K

1. Nakon prikaza lokacije mjernih mjesta za SO_2 i dim u Zagrebu, te metoda mjerenja koja obavlja Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU, iscrpno je analiziran niz podataka koncentracije SO_2 i dima za razdoblje od 1966.-1971. na središnjem području Zagreba. U tabelama 1-2 do 1-4 prikazane su srednje dnevne koncentracije SO_2 za svaku od ukupno 7 stanica i za svaki mjesec. Kod svih stanica postoji dobro izražen godišnji hod, s maksimalnim količinama SO_2 u zimskim mjesecima do $660 \mu\text{gm}^{-3}$, te minimalnim u ljeti s najnižom srednjom mjesečnom vrijednošću od $4 \mu\text{gm}^{-3}$. Prostorna razdioba SO_2 i dima u Zagrebu za siječanj i srpanj te pojedina godišnja doba, prikazane su na slikama 1/2 do 1/7, pa je uočljivo da izolinije slijede gustoću naseljenih područja grada. Omjeri srednjih koncentracija SO_2 hladnog prema toplom dijelu godine (tabela 1-5), pokazuju da u gusto naseljenom središnjem dijelu postoji velika razlika u iznosima koncentracije SO_2 hladnog prema toplom dijelu godine, dok je u industrijskom dijelu grada ta fluktuacija zraka manja. Tabele 1-6 i 1-7 pokazuju iznose maksimalnih srednjih dnevnih koncentracija SO_2 na pojedinim stanicama, koji se kreću čak do $1530 \mu\text{gm}^{-3}$. U tabelama 1-8, 1-9 i 1-10 prikazane su srednje dnevne koncentracije dima (μgm^{-3}) po godinama i mjesecima. I ovdje se uočava dobro izražen godišnji hod, s maksimumom u zimskim i minimumom u ljetnim mjesecima. Najviše vrijednosti dosežu čak $547 \mu\text{gm}^{-3}$, minimalne vrijednosti do $9 \mu\text{gm}^{-3}$. Maksimalne dnevne vrijednosti po mjesecima i stanicama prikazane su u tabeli 1-11 i 1-12. Ekstremi u središnjem dijelu dosežu $843 \mu\text{gm}^{-3}$. Iz slika 1/9 i 1/10 vidljiv je trend promjena srednjih godišnjih koncentracija SO_2 i dima za pojedine stanice u promatranom razdoblju: posljednjih godina usporen je porast srednje vrijednosti SO_2 , uzevši grad u cjelini, dok za dim nema znatnijih promjena. Na pojedinim stanicama u Zagrebu pokazuje se, međjutim, smanjenje, a na drugim povećanje zagađenosti zraka.

2.1 Studija o klimatskim prilikama u Zagrebu u razdoblju od 1966-1971. godine radjena je na odnosu 5 običnih meteoroloških stanica i 2 opservatorija (sl.2/1). Budući da je grad smješten na vrlo raznolikom terenu, počevši od južnih obronaka planine Medvednice, ispresijecanih

brojnim dolinama, pa sve do niskog i vlažnijeg područja oko rijeke Save - postojeća mreža meteoroloških stanica je nedovoljno gusta. Zato su kartografski prikazi gruba slika radziobe pojedinih meteoroloških elemenata.

2.2 Šestgodišnji nizovi frekvencije magle, trajanja sijanja Sunca i temperature zraka komparirani su sa sekularnim nizovima na Opservatoriju Zagreb-Grič (centar grada) i opservatoriju Zagreb-Maksimir (istočna periferija).

Magla u promatranom razdoblju, zbog klimatskog trenda i povećane zagađenosti zraka, pokazuje veću učestalost (Zagreb-Maksimir) nego što je normalno za klimu Zagreba (sl. 2/2). Podaci o magli u centralnom dijelu grada (Zagreb-Grič) nisu dovoljno reprezentativni, zbog nepovoljne pozicije Opservatorija. Varijacija insolacije u razdoblju od 1966.-1971. godine. poklapa se s ranijim oscilacijama u sekularnim nizovima, kada se atmosfera još nije mogla smatrati jače zagađenom. Komparirani su podaci Opservatorija u centru i na periferiji s podacima o trajanju sijanja Sunca na planini Medvednici. Trendovi su istog predznaka (sl. 2/3) i pokazuju smanjenje insolacije u promatranom razdoblju i u zagađenom gradu, i na čistoj planini.

Temperaturni nizovi 1966.-1971. (sl. 2/4) u okviru su normalnih ranijih oscilacija temperature, s tim što je periferija u godišnjem prosjeku hladnija od centra grada za 1-1.5°C.

3.1. Ovdje se daju uvodne napomene o klimatskom potencijalu zagađenosti zraka općenito, te posebno za elemente: temperaturu zraka, vjetar, stabilnost atmosfere, maglu i oborine.

3.2 Proučene su prostorne razdiobe frekvencija magle, kao i njihovo prosječno i maksimalno trajanje u centru i na periferiji grada.

Centralni dijelovi grada su tokom godine (sl.3/1) češće u magli (80 dana godišnje) od ostalih. Izuzetak su samo krajnji južni dijelovi grada uz rijeku Savu, gdje je godišnja frekvencija magle još veća nego u centru. Magle su najčešće zimi (sl. 3/2), a potom u jesen (sl. 3/5). Centralni dijelovi grada imaju i najdugotrajnije magle, posebno zimi (sl. 3/6).

3.2.3 Ispitana je ovisnost koncentracija SO₂ o gustoći i trajanju magle, kao i minimalnoj temperaturi zraka. Faktor linearne korelacije između koncentracija SO₂ i veličine, koja sadrži naprijed navedene elemente, iznosi 0.72. U Zagrebu zimi, na dane s maglom, (sl. 3/8) treba najčešće očekivati koncentracije SO₂ iznad 365 µgm⁻³.

3.3 Usporedjene su prosječne dnevne vrijednosti insolacije po mjesecima na Opservatorijima Grič i Maksimir (sl. 3/10, 3/11 i 3/12). U jutarnjim satima na periferiji se češće formira kratkotrajna magla, pa je insolacija u centru tokom jutra nešto veća. Ukupno tokom godine "čišća" periferija ima 20 sati sijanja Sunca više od centra grada.

3.4 Prostorna razdioba srednjih sezonskih temperatura zraka ukazuje na stalno postojanje "toplinskog otoka" nad gradom (sl. 3/13, 3/14, 3/15 i 3/16). U svakom od godišnjeg doba, razlike između najhladnije stanice na periferiji i najtoplijeg Opservatorija (Zagreb-Grič) u centru, iznose prosječno 2°C .

3.4.2 "Toplinska kapa" nad Zagrebom proučena je na osnovi podataka temperature na Opservatorijima Grič i Maksimir. Grič se nalazi 38 m iznad Maksimira, pa je ispitana mogućnost izdvajanja efekta zimskih inverzija (sl. 3/17, 3/18 i 3/19) od termalnog efekta centra grada. Najvjerojatniji intenzitet toplinske kape prikazuje grafikon 3/20, izradjen za četiri karakteristična mjeseca. Termalni je efekt grada najintenzivniji noću (do 5°C), a zimi se osjeća tokom cijelog dana.

3.4.3 Visoke koncentracije SO_2 i dima javljaju se u situacijama sa slabim strujanjem i prizemnim inverzijama. Statistički su analizirane prizemne inverzije nad Zagrebom u razdoblju od 1.IX 1959. do 31.XII 1971. Posebno su prikazane učestalosti pojavljivanja, te vjerojatne debljine i vjerojatnosti trajanja takvih slojeva zraka (tab. 3-2 do 3-4).

3.5 Mogućnosti aeracije Zagreba ispitane su posebno u vezi s brzinom vjetra (poglavljje 3.5.1) i smjerom vjetra (poglavljje 3.5.2). Uz danu brzinu strujanja zraka u gradu, koncentracije zagađenosti mogu varirati, ali *ne prelaze* jednu određenu granicu (sl. 3/21 i 3/22), koja se snižava porastom brzine vjetra (tab. 3-5). Usporedba tabela 3-5 i 3-7 pokazuje da zimske prizemne koncentracije SO_2 , uz najčešće vjetrove ($\leq 3 \text{ ms}^{-1}$), mogu doseći $800 \mu\text{gm}^{-3}$.

U poglavljju 3.5.2 prikazana je ovisnost zagađenosti centra o smjerovima vjetra tokom zime. Ispitan je zimski uzorak svih slučajeva kada se, tokom 24 sata kroz koje se mjere koncentracije SO_2 , smjer vjetra uglavnom nije mijenjao. Pokazalo se da: a) najčešći vjetrovi (NE i W - vidi sl. 3/23 do 3/26) pretežno pušu tokom cijelog dana, i b) uz NE vjetrove javljaju se najmanja prizemna zagađenja. Aeracija vjetrovima sa zapada dva puta je slabija (sl. 3/27).

Planina Medvednica uzrokuje specijalni dnevni režim strujanja zraka nad gradom. U poglavljima 3.5.3-3.5.5 ispitan je prijenos čestica preko grada tokom godine i tokom dana. Za pet meteoroloških stanica izračunati su, pomoću formule (3.1), rezultatni putovi vjetra (RPV) za godišnja doba i za termine 07, 14 i 21 sat. Preko Zagreba izvučene su linije ("strujnice") tako, da su vektori RPV njihove tangente. One prikazuju rezultatni prijenos čestica s kojim treba računati u području Zagreba (sl. 3/28 do 3/31 i 3/33 do 3/36). Prijenos čestica od Medvednice prema Zagrebu prevladava tokom cijele godine u jutro, na večer i noću, a oko podne smjer se mijenja za 180° (od Zagreba prema Medvednici).

Primjena "box modela" na Zagreb u poglavljju 3.5.4, rezultira zaključkom da bi aeracija u gradu bila do maksimuma iskorištena, u slučaju kad bi se grad širio prema istoku duž padina Medvednice.

Vektorski satni srednjaci smjera i brzine vjetra na opservatoriju u Maksimiru pokazuju, da promjena smjera vjetra nastupa na večer poslije zalaza Sunca, kada počinju puhati osvježavajući vjetrovi s Medvednice, koji traju tokom noći s promjenljivim intenzitetom, i počinju slabiti u jutro nakon izlaza Sunca (sl. 3/38).

3.6 Uzorak od 447 dana pokazuje da oborine s količinom < 5 mm uopće ne djeluju na prizemne koncentracije SO_2 , dok veće oborine "čiste" zagađeni zrak.

3.7 Ispitivana je zavisnost srednjeg dnevnog nivoa zagađenosti (SO_2) u Zagrebu o srednjem dnevnom vertikalnom gradijentu temperature i o srednjoj dnevnoj brzini vjetra. Između koncentracije SO_2 u Zagrebu zimi i omjera navedenih meteoroloških parametara veza je linearna (sl. 3/39), a koeficijent korelacije iznosi 0.85.

3.8 Promatra se odnos između srednjih dnevnih koncentracija SO_2 i dima za interval mjerenja od 13 sati n-tog do 13 sati n+1-og dana, i tipa vremena od 07 sati n+1-og dana. Zimi, a donekle i ljeti zbog stacionarnosti tipova vremena, najuočljivije je da visoke koncentracije SO_2 i dima pripadaju ne samo anticiklonalnim tipovima vremena i tipovima vremena sa slabim strujanjem, nego i tipovima vremena s južnom komponentom strujanja (prednja strana doline i ciklone) (slika 3/40).

4. U proljeće 1972. godine provedena su, na 40-tak raskršća u središnjem dijelu Zagreba, specijalna mjerenja zagađenosti zraka (CO , CO_2 , NO_2 i SO_2), te meteoroloških parametara temperature, vlage, naoblake i pojave u ukupno 8

dana. Zagadjenost je mjerena na jednoj lokalnoj stanici u centru grada od 6 do 21 sat (uzorci svakog sata), a na ostalim punktovima u razdobljima od 6.30 do 8.30, 13.30 do 15.30 te 18.30 do 20.30 sati. Meteorološki parametri mjereni su tokom čitavog dana od 06 sati do 21 sat. Mjerenja su provedena u uvjetima dosta stabilnih vremenskih stanja, kad se mogao očekivati relativno povišeni nivo zagadjenosti zraka. Analiza podataka temperature pokazuje u pravilu "toplinski otok" nad središnjim dijelom grada, kao i ovisnost razdiobe temperature zraka u gradu o termičkom stanju atmosfere i lokalnoj cirkulaciji vjetrova, te orijentiranosti ulica obzirom na tu cirkulaciju. U prosjeku ne postoje razlike temperature zraka prema referentnoj točki na Svačićevom trgu, dok je opservatorij na Griču za 0.6°C hladniji od središnjeg dijela grada. (Najveće razlike u podnevnim satima, tabela 4-1). Što se tiče relativne vlage, razlike prema referentnoj točki i Griču su ispod 10%. Unutar grada razlike brzine vjetra ne premašuju 1 m/s . U dva maha izvedena su tokom 24 sata i mjerenja prizemnog sloja zraka učestalim pilotbalonskim sondažama, koje su takodjer pokazale lokalnu cirkulaciju termogenog karaktera, ali i cirkulaciju uvjetovanu smještajem grada na obroncima planine. Mjerenja zagadjenosti zraka pokazala su međusobno različitu sliku razdiobe pojedinih polutanata tokom dana i u pojedinim dijelovima grada. Obzirom na to da se je opći nivo koncentracije sumpornog dioksida od početka do kraja perioda (III-VI 1972.) postepeno smanjivao, to su podaci svih dana mjerenja SO_2 reducirani na prvi dan mjerenja, kad je nivo bio najviši. Ovako dobivene vrijednosti prikazane su u tabeli 4-2, u kojoj su navedene i maksimalne satne vrijednosti na pojedinim mjernim točkama, reducirane takodjer u omjeru u kojem su, na referentnom mjestu, maksimalni iznosi odstupali od dnevnog srednjaka. Najviši dnevni srednjak nivoa koncentracije dosegao je iznos od $300\ \mu\text{gm}^{-3}$, a reducirani srednjak iznos od $606\ \mu\text{gm}^{-3}$.

Mjerenja dušičnog dioksida su takodjer, zbog nejednakog nivoa u promatranom razdoblju, reducirana na iznos maksimalno izmjerenih vrijednosti, pa su dobivene srednje dnevne vrijednosti do $362\ \mu\text{gm}^{-3}$. Na sl. 4/11 prikazana je prostorna razdioba reduciranih srednjih dnevnih vrijednosti. Maksimalne satne koncentracije ovog polutanata dosegle su vrijednost od $410\ \mu\text{gm}^{-3}$, a reducirane vrijednosti iznos od $572\ \mu\text{gm}^{-3}$.

Mjerenja ugljičnog monoksida pokazuju najviše vrijednosti u relativno zatvorenim saobraćajnim čvorištima, i to do $35\ \text{mgm}^{-3}$, a na otvorenim saobraćajnicama do $13\ \text{mgm}^{-3}$. Maksimalna izmjerena vrijednost CO iznosi $45\ \text{mgm}^{-3}$, dok na rubnim područjima grada ne prelazi $6\ \text{mgm}^{-3}$.

Mjerenja ugljičnog dioksida pokazuju dosta visoke varijacije srednjih dnevnih vrijednosti, između 1000 i $1800\ \text{mgm}^{-3}$, dok su satne vrijednosti CO_2 na jednom

mjestu dosegle čak iznos od 2274 mgm^{-3} . Na područjima povišenih dijelova grada, gdje je promet relativno malen, vrijednosti CO_2 ne prelaze u dnevnom srednjaku iznos od 1000 mgm^{-3} .

Osim mjerenja na ulicama, provedena su u 3 maha i mjerenja zagađenosti zraka i meteoroloških parametara unutar stambenih blokova, te su pokazala općenito znatno niži nivo polutanata nego na susjednim ulicama.

5. Naš Zavod mjeri zagađenost zraka i oborina na opservatoriju Zagreb-Maksimir i na opservatoriju Zagreb-Grič a također i prirodnu zagađenost zraka i oborina na stanici Puntijarka (na planini Medvednici kraj Zagreba, na 1000 m NN) i na stanici Lastovo (južni Jadran). Nakon opisa metoda mjerenja, prikazani su rezultati tih mjerenja. Najmanju električnu provodljivost i najmanju sumu koncentracija aniona i kationa imaju uzorci oborina sa Puntijarke (tabela 5-1). Na sl. 5/3 prikazane su pH vrijednosti oborina za razdoblje od svibnja 1971. - travnja 1973. kod kojeg su vidljive niže vrijednosti u zimskim mjesecima u uzorcima sa opservatorija Maksimir i Grič. Do sada najniži izmjereni pH u uzorcima oborina sa naših stanica bio je 3.3, a izmjeren je u uzorku oborine od 3.II 1973. na opservatoriju Grič. U tabeli 5-2 prikazane su srednje vrijednosti koncentracije nekih iona u mjesečnim uzorcima oborina za stanice Maksimir i Puntijarka, iz kojih proizlazi veća čistoća uzoraka oborina na planinskoj stanici. Analožne vrijednosti koncentracije iona za zimsko i ljetno razdoblje 1972. godine uočljivo pokazuju veće razlike u koncentracijama iona uzoraka oborina istih stanica za zimsko razdoblje posebno u koncentracijama sulfata i nitrata. Analizirajući rezultate iz tabele 5-5 možemo zaključiti da veće koncentracije iona nalazimo u uzorcima oborina koji dolazi iza dužeg sušnog perioda. Tabela 5-6 pokazuje ovisnost koncentracije iona o količini oborina: visoke koncentracije iona izmjerene su u uzorcima oborina, koje su manje od 3 mm . Tabela 5-7 prikazuje rezultate mjerenja koncentracija iona u uzorcima zraka u Maksimiru i na Puntijarki, za koje je karakteristična osobito velika razlika u količini sulfata. Koncentracija sulfata u uzorcima zraka na opservatoriju Grič u zimskim mjesecima doseže gotovo $400 \text{ } \mu\text{gm}^{-3}$.

6. Iznose se osnovni postulati kojima treba udovoljavati mreža za praćenje zagađenosti zraka i daju prijedlozi za novu, proširenu mrežu meteoroloških stanica, te stanica za mjerenje SO_2 , dima i drugih polutanata na širem području grada Zagreba. Dosadašnja mreža stanica je nedovoljna i nepotpuna, a predlaže se i organizacija za kontrolu zagađenosti zraka i poduzimanje operativnih mjera.

S U M M A R Y

1. After the description of SO₂ and smoke measurements points locations in Zagreb as well as of the measurements methods used by IMI (Institute for Medical Investigations and Medicine of Work - JAZU) a detailed analysis of SO₂ and smoke data series during the period 1966-1971 at the central part of Zagreb is given. Tables 1-1 to 1-4 illustrate SO₂ daily mean concentrations for every of seven stations and for every month. All stations show a pronounced annual variation with SO₂ maximum amounts in winter months up to 660 μgm^{-3} and minima in summer months down to 4. The areal SO₂ and smoke distribution in Zagreb in January, July and in every season is illustrated on figures 1/2 to 1/7. One can note the isolines follow the density of the inhabited town regions. The SO₂ mean concentration quotients between the cold and the warm part of a year (Table 1-5) indicate a great difference between these two SO₂ values in the dense inhabited central part. This fluctuation is less pronounced in the industrial regions. Tables 1-7 and 1-8 perform the maxima of SO₂ daily means at every station with the greatest daily amounts up to 1530 μgm^{-3} . The annual and monthly smoke concentration daily means (μgm^{-3}) are figured in Tables 1-9 and 1-10. Here one can see a well pronounced annual variation with winter maximum and summer minimum as well. The greatest concentrations amount up to 547 μgm^{-3} , and the minima fall down to 9 μgm^{-3} . Daily maxima in every month and at every station are given in tables 1-11 and 1-12 with the extremes in the central part of Zagreb up to 843 μgm^{-3} . Figures 1/9 and 1/10 illustrate certain trend of SO₂ and smoke annual means during the considered period at every station: in recent years the increase of SO₂ mean values has been slowed down for the town on whole. The smoke concentrations do not show substantial changes. Still, a certain increase at some stations and the decrease at the others has been denoted in Zagreb.

2.1 A study of Zagreb climatic phenomena during the period 1966-1971 comprises the data of 5 common meteorological stations and 2 observatoriums (Fig. 2/1).

The town spreads from the hilly terrain of Medvednica mountain with lots of valleys down to the low and more humid region round the river Sava - so that the existing stations network is not sufficiently dense. Therefore the cartographic illustrations give only the rough picture of given meteorological element areal distribution.

2.2 Six years long series of fog frequencies, sunshine duration and air temperature have been compared with the secular series at the Zagreb-Grič (town centre) and Zagreb-Maksimir (town east outskirts) observatoriums.

During the period considered fog appeared more frequently (according to Zagreb-Maksimir) than it is normal for Zagreb climate (Fig. 2/2). Fog data in the town centre (Zagreb-Grič) are not enough representative due to the observatorium inconvenient position. Insolation variation during the period 1966-71 agrees with the oscillations in the secular series that had appeared in the past when the atmosphere could not had been considerably polluted. Sunshine duration data at the observatoriums in the town centre and at the town outskirts were compared with those at the mountain Medvednica peak. Their trends have the same sign (Fig. 2/3) and indicate the decrease of sunshine duration during the considered period both in the polluted town and on the much more clean mountain peak as well.

Temperature series 1966-71 (Fig. 2/4) remain in the range of normal temperature oscillations in the past. Still, the town outskirts are 1-1.5⁰C cooler than the centre in annual average.

3.1 This chapter consists of introductory remarks on air pollution climatic potential on the whole - and separately for the following elements: air temperature, wind, atmosphere stability, fog and precipitation.

3.2 Areal distribution of fog frequencies and its mean and maximum duration in the centre and in town outskirts have been analysed.

Town centre suffers from fog more often than the other town parts (80 days annually - Fig. 3/1). Only the outermost southern town region near the Sava river makes an exception and has more fog than centre. Fog occurs more frequently in winter (Fig. 3/2) and then in autumn (Fig. 3/5). It is of the longest duration in town centre, particularly in winter (Fig. 3/6).

3.2.3 The SO₂ concentration dependence on the fog density and duration as well as on the air minimum temperature has been studied. Linear correlation factor between SO₂ concentrations and a certain combination of the other elements mentioned has the value of 0.72. In winter days with fog (Fig. 3/8) SO₂ concentrations above 365 μgm⁻³ should be expected.

3.3 A comparison was made of the mean daily values of insolation in every month at the Grič and Maksimir observatories (Figs. 3/10, 3/11 and 3/12). In town outskirts the shortlasting fogs form more often, so that the morning insolation in town centre is greater. Still, the "cleaner" outskirts have annually 20 hours of sunshine more than the centre.

3.4 The mean seasonal air temperature areal distributions indicate a permanent existence of "heat island" above the town (Figs. 3/13, 3/14, 3/15 and 3/16). Temperature differences between the warmest centre observatory Zagreb-Grič and the coldest station at the town outskirts reach in every season 2°C on average.

3.4.2 "Heat island" over Zagreb has been investigated by means of the observatories Zagreb-Grič and Maksimir temperature data. Grič is situated 38 m above Maksimir so that the effect of winter inversions should be separated from the town thermal effect (Figs. 3/17, 3/18 and 3/19). The most probable "heat island" intensity in four particular months is illustrated by the graph 3/20. Thermal effect of the town is mostly developed by night (up to 5°C). During winter it lasts all day long.

3.4.3 High SO_2 and smoke concentrations appear in weather situations with weak flow and surface temperature inversions. A statistical analysis of surface inversions over Zagreb during the period of September 1, 1959 to December 31, 1971 has been performed with a special description of their thickness and duration frequency and probability (Tabs. 3-2 to 3-4).

3.5 Zagreb natural ventilation possibilities has been investigated separately for the wind velocity (chapter 3.5.1) and for the wind direction (chapter 3.5.2). Pollution concentrations that appear in town by given wind velocity may vary but cannot exceed some upper limit (Figs. 3/21 and 3/22). This limit decreases with the wind velocity increase (Tab. 3-5). Tabl 3-5 in comparison with table 3-7 illustrates that the winter SO_2 concentrations near the ground by the most frequent winds ($\leq 3 \text{ ms}^{-1}$) may reach $800 \mu\text{g m}^{-3}$.

Chapter 3.5.2 describes the town centre pollution dependance upon various wind directions during the winter. Winter sample of cases with unchanged wind direction (in general) during those 24 hours used for SO_2 measurements has been examined. It came out: a) the most frequent winds (NE and W) - see Figs. 3/23 to 3/26 blow most frequently all day long - and b) the smallest pollution is best correlated to NE winds. Aeration by winds from west is weaker.

Mountain Medvednica causes a special daily air-flow regime over the town. Chapters 3.5.3 to 3.5.5. describe the particles transfer over Zagreb all the year and day round. Resultant wind runs (RPV) for seasons and at 07, 14 and 21h have been calculated at five meteorological stations by means of formula (3.1). Then certain "curves" (streamlines) have been drawn over Zagreb. RPV vectors are their tangents. They illustrate the resultant particles transfer that must be taken into account for Zagreb region (Figs. 3/28 to 3/31 and 3/33 to 3/36). Particles transfer from Medvednica to Zagreb prevails in the morning, evening and night during the whole year. Only about the noon this transfer changes the direction for 180° (now it is from Zagreb to Medvednica).

"Box model" is applied to Zagreb in chapter 3.5.4. It results in a conclusion that the most of natural ventilation in our town could be made in case of the town expand to the east along Medvednica slopes.

Hourly vectors means of wind direction and velocity at observatorium in Maksimir indicate that the wind changes its direction in the evening after sunset. Then the refreshing winds begin to blow from Medvednica to Zagreb and persist with changeable intensity during the night until they abate in the morning after sunrise (Fig. 3/38).

3.6 It was found on the basis of 447 days sample that the precipitation of 5 mm amount or less does not influence SO_2 concentrations near ground. Greater precipitation "clean" the air in Zagreb.

3.7 An investigation has been performed on the correlation between the daily mean level of pollution (SO_2) in Zagreb and the daily means of vertical temperature gradient (lapse rate) and those of wind speed. There is a linear correlation between the SO_2 concentrations in winter and the quotient of mentioned meteorological elements (Fig. 3/39) with the correlation coefficient as high as 0.85.

3.8 The chapter considers the relation between the weather type at 07^h on (n+1)th day and the corresponding daily mean SO_2 and smoke concentration for the measurements interval from 13^h of n-th day to 13^h of (n+1)th day. During winter and to a certain degree due to the stationarity of weather types in summer too it can be most easily noticed that the high SO_2 and smoke concentrations belong not only to anticyclonic weather types and to those with the weak airflow but also to weather types with southern component of airflow (front side of a trough and of a cyclone) (Fig. 3/40).

4. During spring 1972 special measurements of air pollutants (CO , CO_2 , NO_2 and SO_2) and of meteorological parameters (air temperature and humidity, cloudiness and phenomena) were performed at some 40 cross-roads in the centre part of Zagreb on eight days all together. Pollution was measured at certain station in town centre beginning at 6^h in the morning and continuing till 21^h (samples at every hour) and from 6.30 to 8.30, 13.30 - 15.30 and 18.30 - 20.30 at other stations. Meteorological parameters were measured in the daytime from 06^h to 21^h. Measurements were performed during a stable weather when one could expect a relatively higher level of air pollutants. Temperature data analysis shows as a rule a "heat island" over the central part of town and a dependence of air temperature areal distribution in Zagreb upon the thermal state of the atmosphere, local weather circulation and street orientation with regard to this circulation. On average, there is no difference of air temperature with respect to the referent point at Svačićev square. The Grič observatorium is 0.6⁰C colder than the central town region (the greatest differences at noon hours - Tab. 4-1). The differences of relative humidity with respect to the referent point and to Grič are below 10%. Inside the town wind speed differences do not exceed 1 ms⁻¹. On two occasions the measurements of near ground air layer were performed by frequent pilot balloon soundings during 24 hours. They showed a thermogene local circulation and also such one due to the town position on mountain slopes. Various air pollution measurements showed various patterns of given pollutants areal distribution during a day and in various town parts. Since the general SO_2 concentration level has decreased gradually from the beginning to the end of the period (March - June 1972), the data of all SO_2 measurement days were reduced to the very first day of measurement, when this level was the highest. The values so obtained are figured in Table 4-2 together with hourly maxima at given measurement points which were also reduced by the quotient of maximum values to the daily mean at referent point. The highest daily mean of the concentration level has reached the value 300 μgm^{-3} ; the reduced mean has the value 606 μgm^{-3} .

Nitrogen dioxide measurements have been also reduced to the maximum of measured values because of its uneven level in the period considered. That way calculated daily mean values come up to 362 μgm^{-3} . Fig. 4/11 illustrates the areal distribution of the reduced mean daily values. These pollutants hourly maximum concentrations reached 410 μgm^{-3} i.e. 572 μgm^{-3} reduced value.

Carbon monoxide measurements show the greatest values in less ventilated traffic intersections - up to 35 mgm^{-3} - and up to 13 mgm^{-3} in thoroughfares. Maximum measured CO value is 45 mgm^{-3} . In town centre boundary it does not amount above 6 mgm^{-3} .

Carbon dioxide measurements reveal considerable variation of mean daily values between 1000 and 1800 mgm^{-3} . The hourly values of CO_2 reached 2274 mgm^{-3} at one of measurements points. In the elevated town regions with relatively poor traffic CO_2 daily values do not exceed 1000 mgm^{-3} .

The measurements of air pollution and meteorological parameters which were carried out inside houses blocks on three occasions showed in general considerably lower level of pollutants than in neighbouring streets.

5. Our institute measures the air and precipitation pollution at the observatorium Zagreb-Maksimir and Zagreb-Grič. The background air and precipitation pollution measurements have been carried out from July 1971 on at the station Puntijarka (1000 m ASL on Medvednica mountain) and at the station Lastovo (south Adriatic). After measurements methods description the measurement results are given. Precipitation samples from Puntijarka (Tab. 5-1) have the smallest electric conductivity and the smallest sums of cations and anions concentration. Fig. 5/3 illustrates pH precipitation values for the period from May, 1971 to April, 1973 with the lower values in winter months in samples from Maksimir and Grič. The lowest measured pH in precipitation samples from our stations till now was 3.3 in precipitation sample on February 3, 1973 at Grič observatorium. Table 5-2 demonstrates some ions mean concentrations in monthly precipitation samples for the stations Maksimir and Puntijarka. The cleaner precipitation sample at mountain station can be denoted. Analogous ions concentrations at the same stations for winter and summer periods show well defined greater differences of ions concentrations in winter precipitation samples and this is particularly the fact with sulphate and nitrate concentrations. An analysis of results, given in Tab. 5-5, indicates greater ions concentrations in samples of precipitations after a dry period of longer duration. Table 5-6 figures the ions concentrations dependence upon the precipitation amount: high ions concentrations have been found in samples of precipitation less than 3 mm. The results of ions concentrations measurements in air samples from Maksimir and Puntijarka are presented in Table 5-7. Here one can see a particularly big difference in sulphate amounts. Sulphate concentrations in air samples at Grič observatorium during winter months may reach almost 400 μgm^{-3} .

6. The chapter presents the basic postulates which should be followed by stations network for air pollution measurements. It also gives the suggestions for a new, enlarged network of meteorological stations as well as for SO_2 and other pollutants stations over the wider region of Zagreb since hitherto stations network is inadequate and incomplete. An organization of air pollution monitoring and the required undertakings are suggested as well.

LIST OF TABLES

- Table 1-1 Mean daily SO₂ concentrations obtained and corrected "Traumatološka bolnica" (1966-1968), (μgm⁻³)
- 1-2 Monthly means of daily SO₂ concentrations (μgm⁻³)
- 1-3 Monthly means of daily SO₂ concentrations (μgm⁻³)
- 1-4 Monthly means of daily SO₂ concentrations (μgm⁻³)
- 1-5 SO₂ concentrations quotients - cold half of a year/warm half of a year
Smoke concentrations quotients - cold half of a year/warm half of a year
- 1-6 Monthly maxima of mean daily SO₂ concentrations (μgm⁻³)
- 1-7 Monthly maxima of mean daily SO₂ concentrations (μgm⁻³)
- 1-8 Monthly means of daily smoke concentrations (μgm⁻³)
- 1-9 Monthly means of daily smoke concentrations (μgm⁻³)
- 1-10 Monthly means of daily smoke concentrations (μgm⁻³)
- 1-11 Monthly maximum values of daily smoke concentration (μgm⁻³)
- 1-12 Monthly maximum values of daily smoke concentration (μgm⁻³)
- 3-1 Mean number of days with fog (1966-71)
- 3-2 Mean number of days with surface inversions, Zagreb-Maksimir, 01^h, 13^h, September 1, 1959 - December 31, 1971
- 3-3 Surface inversions upper limits relative frequency (%) in Zagreb at 01^h and 13^h, September 1, 1959 - December 13, 1971
- 3-4 Surface inversion layers duration probability above Zagreb (%); July 1, 1960-March 31, 1963
January 1, 1966-August 31, 1969

Table 3-5	Zagreb area average of daily mean SO_2 concentrations, $\bar{K}(\text{SO}_2)$ in dependence upon the daily mean wind velocity \bar{V} measured at Grič
3-6	Mean number of days with gale (≥ 40 kmph), Zagreb-Grič, 1931-1960
3-7	Mean wind velocity distribution (%) at 0-1 ^h and 12-13 ^h , Zagreb-Grič, 1950-65
3-8	Seasonal wind run P and its components (P_N and P_e), %, (1966-1971)
3-9	RPV components (derived by means of wind frequency and force), Grič - summer (1966-1971)
3-10	Monthly and seasonal values of $\bar{K}(\text{SO}_2)$ during the period 1966-1971
3-11	Monthly and seasonal values of $\bar{K}(\text{smoke})$ during the period 1966-1970 and January to March 1971
3-12	Frequency of weather types with duration ≥ 2 days for given $\bar{K}(\text{smoke})$ classes; 1966-1970 and January to February 1971
3-13	Frequency of weather types with duration ≥ 2 days for given $\bar{K}(\text{smoke})$ classes; 1966-1970 and March 1971
3-14	Frequency of weather types with duration ≥ 2 days for given $\bar{K}(\text{smoke})$ classes; 1966-1970
3-15	Frequency of weather types with duration ≥ 2 days for given $\bar{K}(\text{smoke})$ classes; 1966-1970
4-1	Air temperature at observation points mean deviation from that at referent points in Zagreb (spring 1972)
4-2	SO_2 concentrations in Zagreb centre according to special measurements, spring 1972 (μgm^{-3})
4-3	NO_2 concentrations in Zagreb centre according to special measurements, spring 1972 (μgm^{-3})
5-1	Cation and anion sums and electrical conductivity in precipitation samples, period July 1971 - March 1973
5-2	Ions concentrations mean values in monthly precipitation samples, period July 1971 - April 1973
5-3	Ions concentrations and electrical conductivity mean values in monthly precipitation samples, winter 1972/73

- Table 5-4 Ions concentrations and electrical conductivity mean values in monthly precipitation samples, winter 1972/73
- 5-5 Ions concentrations dependence upon the dry period duration
- 5-6 Ions concentrations dependence upon the precipitation amount, Zagreb-Maksimir
- 5-7 Ions concentrations mean values in air samples, period July 1971 - March 1973
- 5-8 Sulphate concentrations mean values in air samples

LIST OF FIGURES

- Figure 1/1 Monthly means of daily SO₂ concentrations in Zagreb region, 1966-1971 (μgm^{-3})
- 1/2 Mean daily concentrations of SO₂ (μgm^{-3}), 1966-1971, and those of smoke (μgm^{-3}), 1966-1970, January
- 1/3 Mean daily concentrations of SO₂ (μgm^{-3}), 1966-1971, and those of smoke (μgm^{-3}), 1966-1970, July
- 1/4 Mean daily concentrations of SO₂ (μgm^{-3}), 1966-1971, and those of smoke (μgm^{-3}), 1966-1970, spring
- 1/5 Mean daily concentrations of SO₂ (μgm^{-3}), 1966-1971, and those of smoke (μgm^{-3}), 1966-1970, summer
- 1/6 Mean daily concentrations of SO₂ (μgm^{-3}), 1966-1971, and those of smoke (μgm^{-3}), 1966-1970, autumn
- 1/7 Mean daily concentrations of SO₂ (μgm^{-3}), 1966-1971, and those of smoke (μgm^{-3}), 1966-1970, winter
- 1/8 Monthly means of daily smoke concentrations (μgm^{-3}) in Zagreb region, 1966-1970
- 1/9 Annual mean of daily SO₂ concentrations (μgm^{-3})
- 1/10 Annual mean of daily smoke concentrations (μgm^{-3})
- 2/1 Climatological stations network in Zagreb region
- 2/2 Annual number of days with fog at Zagreb-Grič, Zagreb-Maksimir and Zagreb-Pleso
- 2/3 Annual insolation duration at observatories Zagreb-Grič, Maksimir and Sljeme
- 2/4 Mean annual air temperature at Zagreb-Grič and Zagreb-Maksimir
- 3/1 Mean number of days with fog and mean SO₂ concentration (μgm^{-3}) in Zagreb region year (1966-1971)

- Figure 3/2 Mean number of days with fog and mean SO₂ concentration (μgm^{-3}) in Zagreb region, winter (1966-1971)
- 3/3 Mean number of days with fog and mean SO₂ concentration (μgm^{-3}) in Zagreb region, spring (1966-1971)
- 3/4 Mean number of days with fog and mean SO₂ concentration (μgm^{-3}) in Zagreb region, summer (1966-1971)
- 3/5 Mean number of days with fog and mean SO₂ concentration (μgm^{-3}) in Zagreb region, autumn (1966-1971)
- 3/6 Mean duration of fog (in hours), (1966-1971)
- 3/7 The longest fog duration (in hours), (1966-1971)
- 3/8 The correlation between daily SO₂ concentrations and Y value on days with fog during winter (XII, I, II), period 1966-1970
- 3/9 Mean monthly sums of insolation duration at Zagreb-Grič and Maksimir (1966-1971)
- 3/10 Mean monthly sums of insolation duration (in hours) at every hour, Zagreb-Grič (1966-1971)
- 3/11 Mean monthly sums of insolation duration (in hours) at every hour, Zagreb-Maksimir (1966-1971)
- 3/12 Monthly sums of insolation duration differences (in hours) between Zagreb-Grič and Zagreb-Maksimir at every hour (1966-1971)
- 3/13 Mean seasonal air temperature, °C, winter (1966-1971)
- 3/14 Mean seasonal air temperature, °C, spring (1966-1971)
- 3/15 Mean seasonal air temperature, °C, summer (1966-1971)
- 3/16 Mean seasonal air temperature, °C, autumn (1966-1971)
- 3/17 Air temperature differences between Zagreb-Grič and Maksimir during inversions at 01h
- 3/18 Air temperature differences between Zagreb-Grič and Maksimir during inversions at 13h
- 3/19 Auxiliary diagram for the city thermal effect determination
- 3/20 The most probable thermal effect of Zagreb centre (1969-71)

- Figure 3/21 Correlation between air pollution and wind velocity in Zagreb on the whole
- 3/22 Correlation between air pollution and wind velocity in Zagreb centre
- 3/23 Wind roses in Zagreb, spring (1966-1971)
- 3/24 Wind roses in Zagreb, summer (1966-1971)
- 3/25 / Wind roses in Zagreb, autumn (1966-1971)
- 3/26 Wind roses in Zagreb, winter (1966-1971)
- 3/27 Correlation between SO_2 concentration and wind velocity for NE and W - winds
- 3/28- SO_2 and smoke concentrations distribution
3/31 (μgm^{-3}) correlated to the stream field of resultant wind run (RPV) - spring, summer, autumn, winter (1966-1971)
- 3/32 Resultant run of particles over Zagreb during a year
- 3/33 7, 14, 21-Resultant wind run stream field (RPV) - spring
- 3/34 7, 14, 21-Resultant wind run stream field (RPV) - summer
- 3/35 7, 14, 21-Resultant wind run stream field (RPV) - autumn
- 3/36 7, 14, 21-Resultant wind run stream field (RPV) - winter
- 3/37 RPV vectors derived only by means of wind direction frequencies (——) and by means of wind frequencies and force (----), Zagreb-Grič, summer (1966-1971)
- 3/38a Hourly mean wind vectors - Zagreb-Maksimiri I-VI (1966-1971)
- 3/38b Hourly mean wind vectors - Zagreb-Maksimiri VII-XII (1966-1971)
- 3/39 Correlation between the concentration $\bar{K}(\text{SO}_2)$ and the value \bar{k} during winter (XII, I, II), period 1969-1971
- 3/40 Weather types seasonal relative frequency (%) during the smallest, the most frequent and the greatest concentrations $\bar{K}(\text{SO}_2)$ in Zagreb, period 1966-1971
- 4/1 Special measurements points locations in Zagreb, spring 1972
- 4/2 Daily variation of meteorological elements and air pollution, March 16, 1972 at Svačić square

- figure 4/3 Distribution of meteorological elements and air pollution in the centre region of Zagreb, March 3, 1972 at 07^h
- 4/4 Distribution of air temperature differences between the points of measurements and Grič, spring 1972 (°C) at 21^h
- 4/5 Wind flow over Zagreb on March 16, 1972 at 09^h according to pilot balloon measurements near the ground (----), at 100 m (—) and at 300 m above the ground (——)
- 4/6 Daily variation of hourly SO₂ concentration means at Svačić square (spring 1972)
- 4/7a Daily variation of meteorological elements at observatorium Zagreb-Grič and Zagreb-Maksimir on March 16 and 17, 1972
- 4/7b Vertical distribution of temperature, relative humidity and wind on March 16 and 17, 1972 at 01 and 13^h in Zagreb-Maksimir
- 4/8 Variation of daily air pollution concentration means at Svačić square, spring 1972
- 4/9 Mean daily SO₂ concentrations in Zagreb, spring 1972 (µgm⁻³)
- 4/10 Mean daily variation of NO₂ concentration at Svačić square, spring 1972
- 4/11 Mean daily NO₂ concentrations in Zagreb - spring 1972 (µgm⁻³)
- 4/12 Variation of mean hourly CO (mgm⁻³) values at Svačić square - spring 1972
- 4/13 Mean daily CO concentrations in Zagreb - spring 1972 (mgm⁻³)
- 4/14 Variation of mean hourly CO₂ concentrations (mgm⁻³) at Svačić square - spring 1972
- 4/15 Mean daily CO₂ concentrations (mgm⁻³) and its maximum hourly values at given locations in Zagreb - spring 1972
- 5/4 Electric conductivity dependence upon the cation sums
- 5/2 Electric conductivity dependence upon the anion sums
- 5/3 pH values measured in monthly precipitation samples
- 5/4 pH values and precipitation intensity in the samples of Zagreb-Grič observatorium
- 5/5 Suggested stations network
- 6/1 The existing Δ and suggested \blacktriangle network of meteorological stations and the existing \blacksquare and suggested \bullet network of monitors of SO₂ measurements in Zagreb region

U V O D

Problem očuvanja čovjekove okoline posljednjih je godina u čitavom svijetu, pa tako i kod nas postao je-
dnim od najakutnijih problema čovječanstva. Od uskih, po-
jedinačnih upozorenja znanstvenika, dalekovidnih politi-
čara i pojedinaca, zadnjih je godina apel za poboljšanjem
životne sredine čovjeka u pogledu kvalitete zraka, vode i
tla postao općenitim zahtjevom na konferencijama učenja-
ka, skupovima političara i međunarodnim konferencijama,
koji je osobito na posljednjoj konferenciji UN u Stock-
holmu poprimio svjetske razmjere.

Povod ovim zahtjevima prvenstveno je u činjenici
sve većeg i opasnijeg narušavanja prirodnog ambijenta u
kojem čovjek živi. Mnogobrojna ispitivanja pokazala su da
je kvaliteta zraka, posebno u industrijskim i urbanim
sredinama, pala, uslijed sve većeg nivoa koncentracije
polutanata štetnih po zdravlje čovjeka i okoline, pogoto-
vo u hladno doba godine, na toliko niski nivo, da je za-
ista opravdana zabrinutost i nužnost akcije da se stanje
poboljša. U gradovima u kojima je promet naglo povećan,
kao što je to slučaj kod nas, unose se u zrak, osim već
klasičnih polutanata, sumpornog dioksida i dima, i velike
količine po zdravlje opasnih sastojaka kao što su ugljič-
ni monoksid, dušični dioksidi, hidrokarbonati, spojevi
olova itd.

Posljednjih deset godina provode se mjerenja za-
gadjenosti zraka i u nekim našim gradovima, pa tako i u
Zagrebu, te su već i prethodne analize rezultata tih mje-
renja bile dovoljno upozorenje da su potrebne sveobuhva-
tne akcije. To je nedavno dovelo i do Rezolucije o zaštiti
čovjekove okoline u Saboru Socijalističke republike
Hrvatske, koja ukazuje na potrebu općih, zajedničkih na-
pora i smišljenih akcija cjelokupne zajednice, a osnovan
je i Jugoslavenski savjet za zaštitu i unapredjivanje ži-
votne sredine.

Iako su pitanja u vezi sa zaštitom kvalitete zra-
ka regulirana u nas osnovnim zakonom već pred više godi-
na, a na području grada Zagreba i posebnom odlukom, ipak
sve do sada u Zagrebu nije bilo akcije na širem planu, ne
samo da se ustanovi u koliko je mjeri zrak zagadjen po-
jedinim polutanatima, već i da se utvrde i analiziraju
faktori o kojima, osim samog nivoa emisije, ovisi nivo
zagadjenosti zraka u pojedinim dijelovima grada.

Učenjaci, naime, već dosta dugo upozoravaju da sve veći rast gradskih naselja i industrijske proizvodnje do- vodi i do sve veće emisije i štetnih i bezopasnih sastojaka u atmosferi. Plinovite komponente i čestice, koje se emitiraju u atmosferu, dovode do promjene sastava i pro- zračnosti zraka nad gradom i njegovom okolinom, odnosno općenito do promjena svakog elementa njegove klime (*Geor- gii, 1970. Landsberg, 1970.*).

Tako je Landsberg našao da, uslijed urbanizacije, dolazi do stvaranja 5 do 10% više naoblake nad gradom ne- go li nad selom, a magle čak 100% zimi i 30% ljeti. Proces urbanizacije, prema istom poznatom meteorologu, povećava godišnji srednjak temperature zraka nad gradom za 0.5 do 1.0°C, zimi čak za 1 do 2°C, dok je brzina vjetera smanjena za 20 do 30%, a broj slučajeva sa tišinom povećan je za 5 do 20%. Osobito je značajno da, uslijed djelovanja grada, dolazi i do povećanja količine oborina nad gradom čak za 5 do 10%, dok je, uslijed povećanog broja raznih aerosola nad gradom, globalna radijacija smanjena za 15 do 20%, ul- travioletni dio sunčevog zračenja zimi čak za 30%, ljeti za 5%, a trajanje sijanja Sunca smanjeno za 5 do 15%.

O djelovanju meteoroloških faktora na stupanj za- gadjenosti zraka u nas se malo znalo, ili se pak tome nije pridavala nikakva pažnja. Za stručnjake raznih područja ovo je svakako bila nedovoljno poznata domena, pa nije ni čudo da se do sada, kod analize podataka o zagadjenosti zraka u Zagrebu, ta zavisnost uopće nije tretirala.

U ovom elaboratu izloženi su, prvi puta u nas, rezultati kompletne analize ne samo dosadašnjih mjerenja zagadjenosti zraka u Zagrebu, već i mnogobrojnih faktora meteorološke prirode, o kojoj ta zagadjenost ovisi.

Iako se raspolagalo dugogodišnjim nizovima mete- oroloških podataka, odabran je samo šestgodišnji niz, koji obuhvaća razdoblje od 1966.-1971. godine za koje postoji više-manje cjelovit niz podataka o koncentraciji SO₂ i di- ma u Zagrebu. Analiza meteoroloških podataka je na taj na- čin povezana s razdiobom osnovnih polutanata u Zagrebu i utvrđene su osnovne veze koje izmedju njih postoje.

Ovisnosti stupnja zagadjenosti o meteorološkim faktorima ispitivane su već za niz gradova u svijetu, no zbog različitosti klimatskih, topografskih, urbanih i in- dustrijskih faktora nijedna od tih studija nije mogla biti općenito primijenjena. To osobito vrijedi za urbane cjeli- ne na obroncima brda, kao što je Zagreb, gdje se na sistem strujanja, uvjetovan općom cirkulacijom atmosfere, super- ponira i lokalna cirkulacija brdo-dolina.

Treba već i ovdje istaći da je otkrivanje veoma kompleksnih zavisnosti nivoa zagadjenosti u gradu bilo otežano i činjenicom, što se za sada raspoložuje samo sred- njim dnevnim koncentracijama SO₂ i dima, koje obuhvaćaju

razdoblje od 13 sati jednog do 13 sati drugog dana. Razdoblje od 24 sata je za većinu meteoroloških faktora veoma dug period, pa je promatranje ovisnosti stupnja zagađenosti o meteorološkim parametrima u toku dana i noći uvjetovalo poseban tretman podataka. Uobičajeno je da se, u nedostatku dovoljno guste mreže stanica i pomanjkanju podataka o osnovnim polutanatima u atmosferi gradova, izvrše specijalna mjerenja zagađenosti zraka, zajedno s mjerenjem osnovnih meteoroloških parametara. Mjerenja bi trebala pokazati kako zagađenost zraka ovisi o vremenskim prilikama u raznim godišnjim dobima. U ovom elaboratu iscrpno su prikazani rezultati takvih mjerenja u Zagrebu na preko 40 mjesta, za četiri osnovna tipa polutanata u atmosferi grada.

Osnovna namjena svih učinjenih analiza je tumačenje dobivenih rezultata mjerenja zagađenosti zraka. Primjena analize u operativnom radu mora naći odraza i u poboljšanju i proširenju postojeće mreže stanice za mjerenje zagađenosti zraka i meteoroloških parametara. Samo dovoljno gustom i pouzdanom mrežom stanica, među kojima se moraju nalaziti i stanice za neprekidnu registraciju nivoa zagađenosti zraka, moguće je realizirati operativni sistem za kontrolu kvalitete zraka u Zagrebu i za borbu za poboljšanje kvalitete zraka. Iako za sada nismo u stanju primijeniti sva iskustva i metode koje se koriste u svijetu, možemo i u nas mnogo učiniti smišljenom i postupnom akcijom. I ovaj elaborat je samo prvi ozbiljan pokušaj da se, naučnom analizom raspoloživih podataka, dađe osnovna podloga za takav rad.

Spomenut ćemo ujedno da u elaboratu nisu, u pravilu, diskutirani dobiveni rezultati mjerenja obzirom na njihovu zdravstvenu štetnost. U Sl. listu SFRJ br. 35 od 13.III 1970. u članu 5 data je tablica s maksimalno dopuštenim koncentracijama (MDK) štetnih tvari u atmosferi naselja, koja glasi:

MDK u mgm^{-3} na 0°C , 760 Torr

		trenutna	prosječna dnevna
1.	dušični dioksid NO_2	0.085	0.085
73.	sumporni dioksid SO_2	0.5	0.15
81.	ugljični monoksid CO	3.0	1.0
105.	ugljični dioksid CO_2	0.15	0.05

Na osnovi ove tablice moguće je procjenjivati koliko pojedine srednje vrijednosti štetnih polutanata u atmosferi Zagreba odstupaju od dozvoljenih koncentracija.

L I T E R A T U R A

1. *Berljand, M.E.* 1967: Meteorologiĉeskie problemy obespeĉenija ĉistoty atmosfery, *Met. i Gidrol.* 11
2. *Berljand, M.E.* 1970: Meteorological factors determining the dispersion of atmospheric pollutants under urban conditions, WMO, Tech. Note No. 108., str. 196-199.
3. *Bezuglaja, E.J. i dr.* 1971: Utjecaj meteoroloških uvjeta na zagadjenost zraka u gradovima Sovjetskog Saveza, Zbornik "Meteorološki aspekti zagadjenosti atmosfere", str. 244.
4. *Boer, W.* 1964: Technische Meteorologie, Leipzig.
5. *Bornstein, R.D.* 1968: Observation of the urban heat island effect in New York City, *J.App. Met.*, vol. 7, str. 575-582.
6. *Bryan, R.* 1968: Air quality monitoring (Stern: "Air pollution") II dio str. 426-427; 440-443.
7. *Buck, M.; Stratmann, H.* 1967: Staub, vol. 27, str. 265.
8. *Chandler, T.J.* 1960: Wind as a factor of urban temperatures -, *Weather* 15, str. 204-213.
9. *Chandler, T.J.* 1965: The climate of London, Hutchinson and Co. Ltd, London.
10. *Coin, L.* 1970: La pollution de l'air en milieu urbain WMO, Tech. Note No. 108, str. 142-148.
11. *Conrad, V. and Pollak, L.W.* 1950: Methods in Climatology, str. 178-184.
12. Dispersion and Forecasting of Air Pollution, WMO Tech. Note No. 121, Geneva, 1972.

13. Duckworth, F.S. and Sandberg, J.S. 1954: The effect of cities upon horizontal and vertical temperature gradients, Bull. AMS, Vol. 35, str. 148-207.
14. Gajzdóg, L. 1970: Variations of sulphur dioxide concentration in dependence from the weather in Budapest, WMO Tech. Note, No. 108 ("Urban Climates"), str. 286-288.
15. Georgii, H.W. 1970: The effects of air pollution on urban climates, WMO Tech. Note, No. 108, str. 218.
16. Kawamura, T. 1966: Urban Climatology in Japan, Tokyo Journal of Climatology, 3, 1.
17. Kirigin, B. 1963: Prikaz klimatskih prilika planine Medvednice, Zagreb.
18. Kratzer, P.A. 1956: Das Stadtklima.
19. Landsberg, H.E. 1956: The Climate of Towns, In "Man's Role in Changing the Face of the Earth", V. of Chic. Press, str. 584-606.
20. Landsberg, H.E. 1970: Climates and urban planning, WMO Tech. Note, No. 108, str. 372.
21. Landsberg, H.E. 1970: Micrometeorological temperature differentiation through urbanization, WMO Tech. Note, No. 108, str. 129-136.
22. Leithe, W. 1968: Die Analyse der Luft und ihrer Verunreinigungen, Stuttgart.
23. Lejkin, I.N. 1970: Proektirovanie ventiljacionnih i promišlennih vibrosov v atmosferu, Moskva.
24. Ludwig, F.L. 1970: Urban temperature field; WMO Tech. Note, No. 108, str. 80-90.
25. De Marrais, G.A. 1961: Vertical temperature difference observed over an urban area, Bull. AMS, Vol. 42, str. 548-554.
26. Meade, P.J. 1963: Smog -its Origin and Prevention (S.W. Tromp; Medical Biometeorology, str. 142.

27. Meteorological Factors in air Pollution, WMO Tech. Note 114, Geneva 1970.
28. Morgan, B. 1971: Atmospheric surveillance in metropolitan areas, WMO, Spec. environ. report, No. 2, str. 43.
29. Oke, T.R. and Hannel, F.G. 1970: The form of the urban heat island in Hamilton, Canada; WMO Tech. Note, No. 108, str. 113-120.
30. Penzar, I. 1968: Insolacija, Radijacija, Naoblaka - poglavlja u Studiji klime grada Zagreba, rukopis, Zagreb.
31. Peters, K.; Straschil, H. 1956: Angew. Chem. Vol. 68, str. 291.
32. Poje, D. 1967: Makrovremenske situacije, koje donose velike oborine u Gorskom Kotaru i Lici, Rep. hidrom. zavod SR Hrvatske Zagreb, (elaborat).
33. Poje, D. 1970: Studija meteoroloških uvjeta za lokaciju NTE na području Zagreba i Siska, Republički hidromet. zavod SR Hrvatske Zagreb (elaborat).
34. Poje, D. 1972: Einige Merkmale des Einflusses des Gebirges Medvednica auf das Windregime. 12 Kongres za alpsku meteorologiju 10-14. IX 1972., Sarajevo.
35. Pooler, F. 1963: Airflow over a city in terrain of moderate relief, J. App. Met. 35, str. 446-456.
36. Rossano, A. 1968: The community air pollution survey (u Stern: "Air pollution", II dio, str. 597-627).
- ✓ 37. Savjetovanje o rješavanju onečišćenja atmosfere grada Zagreba proizvodima sagorjevanja goriva 19. i 20. studenog 1970, str. 9. 1972.
38. Sekiguti, T. 1970: Thermal situations of urban areas, horizontally and vertically, WMO Tech. Note, No. 108, str. 137-140.
39. Serebrovskij, F.L. 1971: Aeracija žilnoj zastrojki, Moskva.

40. Šinik, N. i Pleško, N. 1967: Sekularne varijacije klimatskih elemenata u primjeni na Atlas klime SFRJ, Zbornik radova povodom proslave 20 god. rada i razvoja hidrometeorološke službe Jugoslavije - 1947. do 1967.
41. Turner, D.B. 1964: A Diffusion Model for an Urban Area, Journal of Applied Meteorology, Vol. 3, No. 2, February, str. 83-91.
42. Velds, C.H. 1970: Relation between SO₂ concentration and circulation type in Rotterdam and surroundings, WMO Tech. Note, No. 108 ("Urban Climates"), str. 280-285.
43. Wanta, R.C. 1968: Air Pollution, ed. by Arthur C. Stern, Volume I, str. 215.
44. Whiter, A.J. 1956: The ventilation of oxford circus, Weather 11, str. 227-229.
45. Williams, P. Jr. 1964: Air Pollution Potential over the Salt Lake Valley of Utah as Related to Stability and Wind Speed, Journ. of App. Met, Vol. 3, No. 2, Febr. str. 92-97.
46. WMO Operations Manual for Sampling and analysis Techniques for Chemical Constituents in air and precipitation, 1971. Vol. 299.
47. Woollum C.A. 1970: Washington metropolitan area precipitation and temperature patterns, WMO, Tech. Note, No. 108, str. 127.