

SUMPOR-DIOKSID I SULFATI U ZRAKU ZAGREBAČKIH PRIGRADSKIH PODRUČJA REMETINEC I SAMOBOR

M. GENTILIZZA i V. VABIĆ

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

(Primljeno 10. XI 1980)

Svrha ovog rada bila je utvrđivanje razina masenih koncentracija sulfata i sumpor-dioksida u zraku dvaju zagrebačkih prigradskih područja Remetinec i Samobor. Istodobna mjerenja sumpor-dioksida i sulfata vođena su tijekom nekoliko mjeseci. U odnosu na razine masenih koncentracija u gradskim područjima, izmjerene masene koncentracije sumpor-dioksida su bile vrlo niske (primjerice u Samoboru, srednja vrijednost za ukupno mjerno razdoblje iznosi $27 \mu\text{g m}^{-3}$, s rasponom od 0 do $77 \mu\text{g m}^{-3}$), dok su masene koncentracije sulfata bile na istoj razini ($\bar{x} = 14 \mu\text{g m}^{-3}$, s rasponom od 3 do $47 \mu\text{g m}^{-3}$).

Iz godine u godinu sve više privlači interes istraživača proučavanje ponašanja sumpor-dioksida u zraku. Budući da je proizvod konverzije sumpor-dioksida u zraku sulfat ion, podaci o sulfatima u lebdećim česticama mogu poslužiti kao indikacija stupnja konverzije sumpor-dioksida. Zbog toga je poželjno paralelno s mjerenjem masene koncentracije sumpor-dioksida u zraku provoditi i mjerenja masene koncentracije sulfata.

Općenito uzevši, u literaturi ima relativno malo podataka o razinama masenih koncentracija sulfata u pojedinim zemljama, odnosno područjima, iznimka su samo SAD (1).

Iz literature je poznato da je kao rezultat velikih napora u reduciranju lokalnih izvora emisije sumpor-dioksida došlo posljednjih godina do bitnih smanjenja masenih koncentracija sumpor-dioksida u zraku u SAD (2). Međutim, istodobno je došlo samo do neznatnog smanjenja, odnosno čak mjestimično i do povećanja masenih koncentracija sulfata u zraku.

Dok je omjer između razina masenih koncentracija sumpor-dioksida gradskog i seoskog područja u SAD 5:1, odnosno 10:1, za sulfate iznosi taj omjer samo 2:1. Zbog toga ne iznenađuje u posljednje vrijeme sve češća ispitivanja djelovanja sulfata na zdravlje (3).

Na osnovi kontinuiranog praćenja masenih koncentracija sumpor-dioksida u zraku na području grada Zagreba utvrđeno je da i kod nas

nakon postepenog isključivanja ugljena iz upotrebe postoji trend smanjivanja masenih koncentracija sumpor-dioksida (4). Za razliku od sumpor-dioksida, masena koncentracija sulfata nije kod nas kontinuirano praćena, pa ne znamo da li postoji trend povećanja, odnosno smanjenja masene koncentracije.

Masena koncentracija sulfata u zraku određivana je s drugom svrhom, tj. pri eksperimentalnim istraživanjima ponašanja sumpor-dioksida u zraku (5, 6, 7) u industrijskim i gradskim područjima.

Većina atmosferskih onečišćenja zastupljena je u zraku prigradskih područja u mnogo manjoj masenoj koncentraciji negoli u zraku gradskih područja, te zbog toga prigradska područja vrlo često pri epidemiološkim istraživanjima služe kao kontrola.

U prigradskim područjima nisu kod nas do sada mjereni sulfati, pa je svrha ovog rada bila da se utvrde razine masenih koncentracija sulfata i sumpor-dioksida u zraku dvaju prigradskih područja.

UZORCI I METODE

U Remetincu su se sakupljali i analizirali uzorci sumpor-dioksida, dima i sulfata u lebdećim česticama oko mjesec dana svake sezone, tj. tijekom proljeća (1979. g.), ljeta (1979. g.), jeseni (1979. g.) i zime (1980. g.).

U razdoblju od tri mjeseca (od veljače do travnja 1979. g.) istodobno su sakupljani i analizirani uzorci sumpor-dioksida i dima, te sulfata u lebdećim česticama u Samoboru. Tijekom dva zimska mjeseca (XII. 1979. — II. 1980.) u Samoboru ponovno su se sakupljali i analizirali uzorci sumpor-dioksida, dima i sulfata u lebdećim česticama u zraku.

Uzorci sumpor-dioksida i dima sakupljali su se tijekom 24 sata iz oko 2 m³ zraka. Uzorci sumpor-dioksida sakupljani su u 50 cm³ 1 vol. % -tne otopine vodik-peroksida pomoću »volumetrijskog aparata« i analizirani prema standardnoj britanskoj metodi (8).

Uzorci dima sakupljani su pomoću istog aparata na filtrir-papiru Whatman br. 1. Intenzitet refleksije uzoraka dima mjereno je pomoću EEL reflektometra, a masena koncentracija dima očitana je iz internacionalne baždarne krivulje (9).

Uzorci lebdećih čestica sakupljani su na membranskim filtrima pomoću pumpe za proisavanje velikih volumena zraka (oko 200 m³ zraka u 24 sata), a određivani su gravimetrijski.

Masena koncentracija u vodi topljivih sulfata u lebdećim česticama određivana je titracijom s barij-perkloratom u prisutnosti torin indikatora pomoću EEL titratora (9, 10), nakon što je dio uzorka ekstrahirano vodom u Soxhletovu aparatu, a kationi uklonjeni iz ekstrakta pomoću ionske izmjene (11).

Vrijednosti meteoroloških parametara (oborine, vrijeme sijanja sunca, brzina i smjer vjetra) dobivene su od Republičkog hidrometeorološkog zavoda SRH, Centar za meteorološka istraživanja. Na oba mjerna mjesta količina oborina mjerena je u mm. Vremenski interval sijanja sunca tijekom dana dat je u satima na mjernom mjestu Remetinec, dok su u Samoboru registrirani sunčani dani, koji su se utvrđivali indirektnom metodom, tj. na osnovi mjerenja gustoće naoblake.

REZULTATI

Kretanje dnevnih masenih koncentracija sumpor-dioksida, sulfata, lebdećih čestica i dima, kao i nekih meteoroloških parametara u Remetincu prikazano je za proljeće na tablici 1, za ljeto na tablici 2, za jesen na tablici 3, te za zimu na tablici 4. Na spomenutim tablicama prikazane su i srednje masene koncentracije i raspon za pojedina onečišćenja zraka po razdobljima mjerenja. Na ovom mjernom mjestu tijekom razdoblja mjerenja bila je povremeno aparatura za određivanje brzine i smjera vjetra u kvaru, pa zbog toga nisu u tablicama 1. i 2. te vrijednosti navedene.

Na tablici 5. prikazano je kretanje dnevnih masenih koncentracija sumpor-dioksida, sulfata, lebdećih čestica i dima, kao i nekih meteoroloških parametara u Samoboru za razdoblje veljača-travanj 1979, a na tablici 6. za razdoblje prosinac 1979—veljača 1980. I na ovim su tablicama za odgovarajuće razdoblje također prikazane srednje masene koncentracije i raspon za pojedina onečišćenja zraka.

Na tablici 7. prikazan je odnos sumpor-dioksida i sulfata u različitim područjima.

DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Već su prvi rezultati mjerenja sumpor-dioksida i sulfata tijekom proljeća u Remetincu (tablica 1) dali naslutiti, da su razine masenih koncentracija sulfata prilično visoke, a razine srednjih dnevnih masenih koncentracija sumpor-dioksida i dima niske. Nastavak istraživanja tijekom ljeta (tablica 2), jeseni (tablica 3), a naročito tijekom zime (tablica 4) doveo je do istih rezultata.

Iz navedenih tablica je vidljivo da su najviše vrijednosti masenih koncentracija sumpor-dioksida i sulfata zabilježene tijekom zimskog razdoblja, što je vjerojatno u vezi s loženjem. Tako je primjerice srednja masena koncentracija sulfata za spomenuto razdoblje $17 \mu\text{g m}^{-3}$, s rasponom od 4 do $40 \mu\text{g m}^{-3}$, a za sumpor-dioksida $66 \mu\text{g m}^{-3}$ s rasponom od 10 do $156 \mu\text{g m}^{-3}$, dok je u ljetnom razdoblju srednja masena koncentracija sulfata $10 \mu\text{g m}^{-3}$ s rasponom od 2 do $17 \mu\text{g m}^{-3}$, a za sumpor-dioksid $16 \mu\text{g m}^{-3}$ s rasponom od 0 do $54 \mu\text{g m}^{-3}$.

Tablica 1.

Kretanje dnevnih masenih koncentracija onečišćenja zraka i nekih meteoroloških parametara u Remetincu

Mjerno mjesto: Remetinec

Proljeće 1979.

Dan	$\rho/\mu\text{g m}^{-3}$				oborine mm	sijanje sunca u satima
	SO ₂	SO ₄ ²⁻	lebdeće čestice	dim		
2/ 3. 4.	—	9,1	114,5	—		
3/ 4. 4.	76,0	9,1	128,5	74		
4/ 5. 4.	0	3,7	46,8	—	8,7	
5/ 6. 4.	0	4,6	43,8	—	6,4	
6/ 7. 4.	0	6,0	90,8	19	5,6	
12/13. 4.	—	11,1	151,0	—		9,5
13/14. 4.	46,8	18,3	158,9	79		10,0
14/15. 4.	31,4	19,1	130,7	29		9,5
15/16. 4.	43,3	19,1	130,7	20		7,8
16/17. 4.	12,6	15,4	85,0	4	1,1	
17/18. 4.	48,7	6,7	56,9	29	0,4	
18/19. 4.	0	8,5	70,1	4		4,8
19/20. 4.	—	10,1	93,1	51		4,9
20/21. 4.	29,9	19,8	86,4	35		4,4
21/22. 4.	0	19,8	86,4	35		8,5
22/23. 4.	—	19,8	86,4	19		9,8
23/24. 4.	0	8,3	80,1	27		6,0
24/25. 4.	16,8	9,2	78,8	14	8,6	2,9
25/26. 4.	38,0	5,2	52,3	14	3,2	7,6
26/27. 4.	20,6	5,2	52,3	—	0,5	9,3
7/ 8. 5.	22,9	16,2	116,9	18		0,5
8/ 9. 5.	29,7	16,2	116,9	31		5,1
9/10. 5.	28,5	15,8	125,7	31		10,2
10/11. 5.	21,7	14,5	80,8	23		7,5
11/12. 5.	26,6	20,1	138,0	25		7,8
12/13. 5.	22,9	17,1	70,6	10		9,9
13/14. 5.	21,7	17,1	70,6	13		10,7
14/15. 5.	47,1	10,7	98,4	8		12,3
15/16. 5.	48,9	10,7	98,4	10		12,2
16/17. 5.	—	11,5	116,0	8		12,3
17/18. 5.	48,9	11,5	116,0	10		11,6
N	26	31	31	26		
\bar{x}	26	13	96	25		
Raspon	0 76	4 20	44 159	4 79		

ρ — masena koncentracija

\bar{x} — aritmetička sredina

Tablica 2.

Kretanje dnevnih masenih koncentracija onečišćenja zraka i nekih meteoroloških parametara u Remetincu

Mjerno mjesto: Remetinec

Ljeto 1979.

Dan	$q/\mu\text{g m}^{-3}$				oborine mm	sijanje sunca u satima
	SO ₂	SO ₄ ²⁻	lebdeće čestice	dim		
25/26. 6.	0	11,9	111,0	20		10,4
26/27. 6.	54,2	9,0	75,0	14	0,2	8,9
27/28. 6.	37,8	12,7	115,9	17		8,0
29/30. 6.	0	14,0	153,8	1	4,8	7,1
5/ 6. 7.	—	7,4	104,2	—		7,3
11/12. 7.	25,3	1,6	161,3	12		7,2
12/13. 7.	12,4	8,2	59,0	9		4,9
13/14. 7.	12,4	8,2	59,0	9	6,7	6,9
14/15. 7.	12,4	9,5	62,1	9	1,2	8,6
15/16. 7.	12,4	9,5	62,1	9		9,1
16/17. 7.	19,4	10,4	62,9	10	15,2	5,1
17/18. 7.	11,6	10,4	62,9	20		6,1
18/19. 7.	8,9	7,7	46,9	20		10,8
19/20. 7.	13,1	7,7	46,9	11		12,0
20/21. 7.	6,8	11,3	98,5	14		10,8
21/22. 7.	14,7	8,8	39,8	8		5,4
22/23. 7.	17,9	8,8	39,8	6		2,5
23/24. 7.	0	8,9	50,0	10		7,4
24/25. 7.	14,8	17,0	82,7	10		10,7
25/26. 7.	28,6	8,2	105,0	14		11,6
N	19	20	20	19		
\bar{x}	16	10	80	12		
Raspon	0 54	2 17	40 161	1 20		

q — masena koncentracija

\bar{x} — aritmetička sredina

Tablica 3.

Kretanje dnevnih masenih koncentracija onečišćenja zraka i nekih meteoroloških parametara u Remetincu

Mjerno mjesto: Remetinec

Jesen 1979.

Dan	$\rho/\mu\text{g m}^{-3}$				oborine mm	sijanje sunca u satima	vjetar	
	SO ₂	SO ₄ ²⁻	lebdeće čestice	dim			brzina m/s ⁻¹	smjer
1/2. 10.	16,1	18,6	101,9	18		7,9	1,9	ENE
2/3. 10.	24,5	9,8	93,2	19			2,6	ENE, WSW
3/4. 10.	17,9	9,8	93,2	29		8,3	2,0	NE, N
4/5. 10.	17,3	14,5	87,1	35		5,1	1,5	SW, SSW
5/6. 10.	7,8	14,5	87,1	27	2,0		2,0	SSW, W
6/7. 10.	22,7	4,1	60,7	14	13,5		1,8	ENE, NE
7/8. 10.	20,9	4,1	60,7	11			1,8	ENE, NE
8/9. 10.	31,1	7,9	66,3	18			—	—
9/10. 10.	31,6	11,7	75,8	23		0,4	—	—
12/13. 10.	16,7	10,8	114,6	45	0,5	4,0	2,1	NE
13/14. 10.	19,1	3,8	23,4	6	1,1	5,7	2,7	ENE, S
14/15. 10.	17,9	3,8	23,4	35		6,9	1,9	S, ENE
15/16. 10.	11,9	5,5	62,4	33	2,6	5,8	1,4	SW, ENE
16/17. 10.	14,9	2,7	98,4	13		2,7	1,2	ENE, SW
17/18. 10.	27,3	13,0	136,1	22	2,7	2,0	1,3	WSW, SSE
19/20. 10.	39,5	0,7	139,6	20		5,8	1,3	N, W
20/21. 10.	29,0	0,7	139,6	36		8,1	0,9	SW, W
21/22. 10.	36,6	15,5	110,3	52		5,6	1,3	W, SSW
26/27. 10.	26,2	12,4	107,7	47		7,7	—	—
27/28. 10.	26,2	12,4	107,7	47			—	—
28/29. 10.	26,2	12,4	107,7	47	13,0	0,4	—	—
29/30. 10.	—	17,3	100,0	—	7,0		—	—
30/31. 10.	—	9,4	86,8	—	18,5		—	—
31/1. 10.	—	9,4	86,8	—			—	—
N	21	24	24	21				
\bar{x}	23	10	88	28				
Raspon	8 40	1 19	23 140	6 52				

ρ — masena koncentracija

\bar{x} — aritmetička sredina

Tablica 4.

Kretanje dnevnih masenih koncentracija onečišćenja zraka i nekih meteoroloških parametara u Remetincu

Mjerno mjesto: Remetinec

Zima 1980.

Dan	$\rho/\mu\text{g m}^{-3}$			dim	oborine mm	sijanje sunca u satima	vjetar	
	SO ₂	SO ₄ ⁻	lebdeće čestice				brzina m/s ⁻¹	smjer
7/ 8. 1.	33,7	12,8	71,7	59	0,8		0,9	ESE
8/ 9. 1.	58,2	12,8	71,7	77	0,2		1,0	WSW, W
9/10. 1.	116,3	12,8	71,7	50	0,2	1,8	1,1	SSW
11/12. 1.	156,3	29,9	147,9	70	0,3		—	—
12/13. 1.	103,7	29,9	147,9	73			—	—
13/14. 1.	78,5	29,9	147,9	66		3,7	—	—
14/15. 1.	72,2	26,9	90,3	70			—	—
15/16. 1.	93,3	26,9	90,3	68	10,5		—	—
16/17. 1.	72,8	23,6	109,0	64	2,4		—	—
17/18. 1.	134,8	23,6	109,0	58	0,4		—	—
18/19. 1.	74,9	15,3	72,7	43			—	—
19/20. 1.	83,1	15,3	72,7	55			1,9	ENE
20/21. 1.	80,3	15,3	72,7	61	2,1		1,3	ENE, NE
21/22. 1.	140,2	39,7	141,7	83			1,1	ENE, WSW
22/23. 1.	84,9	39,7	141,7	63			1,6	ENE, WNW
23/24. 1.	76,9	9,5	54,7	57	5,3	1,0	1,5	ESE, WNW
24/25. 1.	57,5	9,5	54,7	40	3,6		1,5	ENE, WSW
25/26. 1.	78,9	9,5	54,7	29	3,8		1,7	WSW, ENE
26/27. 1.	62,1	9,5	54,7	38			2,0	NW, WSW
27/28. 1.	106,3	9,5	54,7	31		6,0	2,3	ENE, NW
28/29. 1.	10,0	9,1	104,5	3		5,0	1,8	NE, SSE
29/30. 1.	101,6	9,1	104,5	63		1,9	2,0	SSE, NE
30/31. 1.	56,8	9,1	104,5	18	2,0	0,8	3,3	S, WSW
31/ 1. 2.	42,1	4,1	72,5	14		0,6	3,3	SS, SSW
1/ 2. 2.	64,8	4,1	72,5	27	4,2	2,7	2,7	ENE, E
2/ 3. 2.	62,8	4,1	72,5	35	3,8	4,0	1,2	W
3/ 4. 2.	63,5	4,1	72,5	82		4,4	1,4	W, NE
4/ 5. 2.	57,5	6,3	90,3	40			1,8	ENE, NE
5/ 6. 2.	24,8	6,3	90,3	51	11,8		1,8	NE, S
16/17. 2.	28,9	10,2	89,8	53		2,2	—	—
17/18. 2.	41,8	10,2	89,8	29	1,5		—	—
18/19. 2.	41,8	13,2	72,9	23			—	—
19/20. 2.	57,2	13,2	72,9	36			—	—
20/21. 2.	42,8	20,7	91,7	43		4,3	—	—
21/22. 2.	46,1	22,0	123,2	48		4,6	—	—
22/23. 2.	32,9	18,6	118,6	33			—	—
23/24. 2.	46,1	29,2	123,1	33			—	—
24/25. 2.	32,9	29,2	123,1	64		6,6	—	—
25/26. 2.	59,2	18,3	198,1	48		7,0	—	—
26/27. 2.	42,8	29,6	143,4	57		5,0	—	—
27/28. 2.	26,3	29,6	143,4	51			—	—
28/29. 2.	32,9	31,7	225,9	71			—	—
N	42	42	42	42				
\bar{x}	66	17	101	50				
Raspon	10 156	4 40	55 226	3 83				

ρ — masena koncentracija \bar{x} — aritmetička sredina

Tablica 5.

Kretanje dnevnih masenih koncentracija onečišćenja zraka i nekih meteoroloških parametara u Samoboru

Mjerno mjesto: Samobor

II—IV. 1979.

Dan	$\rho/\mu\text{g m}^{-3}$				oborine mm	sunčan dan	vjetar	
	SO ₂	SO ₄ ⁻⁻	lebdeće čestice	dim			brzina m's ⁻¹	smjer
14/15. 2.	14,9	15,4	97,2	30	12,1		1,8	SE, NW
15/16. 2.	20,5	12,9	100,3	21	2,4		2,3	N, W
17/18. 2.	0	6,3	48,3	13	13,8		2,3	NW, NE
18/19. 2.	0	9,7	58,8	13	13,2		2,9	NE, NW
19/20. 2.	28,9	16,3	93,0	19	0,5		1,8	NE, W
20/21. 2.	38,2	12,4	158,6	28		+	1,8	W, ENE
21/22. 2.	54,4	14,0	160,1	32		+	1,8	S, ENE
22/23. 2.	52,7	14,0	203,7	36		+	0,6	ENE
26/27. 2.	51,3	19,4	79,9	26	1,4		3,9	N
27/28. 2.	47,2	26,8	130,5	30	4,3		2,9	W, NW
28/ 1. 3.	58,7	24,6	146,4	48	1,6		1,8	ESE, N
1/ 2. 3.	76,8	26,1	182,1	43			1,8	N, E
5/ 6. 3.	49,4	11,3	112,9	29			1,7	WSW, NW
6/ 7. 3.	62,9	47,4	297,1	51			0	
7/ 8. 3.	34,5	24,2	178,8	28	7,2		1,2	NW, S
9/10. 3.	30,0	7,4	135,1	31			2,4	N, ENE
12/13. 3.	37,7	18,4	136,6	26			2,4	W, NW
13/14. 3.	36,1	18,0	153,5	28			2,9	W, SW
14/15. 3.	22,9	8,5	67,3	13			4,0	SW, ENE
15/16. 3.	11,5	6,3	110,0	12		+	3,4	W, ENE
19/20. 3.	41,8	8,0	166,6	20			2,9	E, N
20/21. 3.	25,0	3,4	51,3	9			4,5	S, SW
21/22. 3.	44,7	20,9	99,9	20			2,3	SW, W
22/23. 3.	52,4	4,1	52,6	11			2,4	W, SE
26/27. 3.	39,6	10,5	85,4	21			2,3	W, NW
27/28. 3.	0	6,2	52,3	15			3,4	NW, S
28/29. 3.	0	3,0	31,1	7			3,4	S, E
29/30. 3.	0	3,0	31,1	7			2,8	S
2/ 3. 4.	20,6	13,0	131,6	21			2,8	SE, ESE
3/ 4. 4.	40,5	11,3	211,9	21			2,2	ESE, S
5/ 6. 4.	0	5,3	46,8	11			2,3	S, SE
9/10. 4.	35,5	16,2	219,1	32			1,1	ESE
10/11. 4.	21,8	21,6	212,2	24			1,2	ENE
11/12. 4.	24,9	17,1	209,0	27			2,3	ENE, NW
13/14. 4.	27,8	19,6	201,5	24		+	1,2	E
14/15. 4.	17,7	19,6	201,5	24		+	1,8	E, ENE
15/16. 4.	17,7	19,6	201,5	24		+	1,8	SW, SE
16/17. 4.	12,0	6,8	47,5	18			2,9	SE, W
17/18. 4.	13,8	6,5	49,1	6			2,3	W, N
18/19. 4.	0	11,5	72,5	13			2,4	N, ENE
19/20. 4.	0	11,0	158,5	17			2,9	N, ENE
23/24. 4.	0	15,6	49,7	9			1,8	N, SE

Mjerno mjesto: Samobor II–IV. 1979.

Dan	$\rho/\mu\text{g m}^{-3}$				oborine mm	brzina m/s^{-1}	smjer
	SO ₂	SO ₄	lebdeće čestice	dim			
24/25. 4.	0	10,3	68,2	20		3,4	S
25/26. 4.	0	5,1	—	12	0,2	3,9	S, ESE
26/27. 4.	0	4,6	—	8	1,8	1,2	E, N
N	45	45	43	45			
\bar{x}	27	14	123	22			
Raspon	0 77	3 47	31 297	6 51			

ρ — masena koncentracija \bar{x} — aritmetička sredina

Tablica 6.

Kretanje dnevnih masenih koncentracija onečišćenja zraka i nekih meteoroloških parametara u Samoboru

Mjerno mjesto: Samobor XII. 1979 — II. 1980.

Dan	$\rho/\mu\text{g m}^{-3}$					oborine mm	sunčan dan	vjetar	
	SO ₂	SO ₄	lebdeće čestice	dim	brzina m/s^{-1}			smjer	
25/26. 12.	40,7	9,2	109,1	40	1,1			0,5	NW
26/27. 12.	48,2	14,8	103,8	33	0,8			1,5	NW
27/28. 12.	55,9	17,6	107,5	37				2,4	SW, ESE
28/29. 12.	42,4	17,6	107,5	35	2,6			2,4	ESE, WNW
29/30. 12.	—	8,2	90,4	43	0,7			1,2	W, NW
30/31. 12.	—	8,2	90,4	43				1,2	NW
3/ 4. 1.	—	9,0	122,5	43		+		2,3	NW, SW
4/ 5. 1.	89,4	9,0	122,5	58				1,8	N, SW
7/ 8. 1.	127,8	26,7	157,9	59	0,6			0,6	SW
8/ 9. 1.	119,3	35,1	238,9	95		+		1,2	N, SW
9/10. 1.	102,8	23,0	182,0	60	1,8			1,2	N
10/11. 1.	84,7	20,1	119,1	50	5,8			1,1	N
11/12. 1.	172,3	29,5	175,3	86	4,0			3,4	N
14/15. 1.	121,9	45,7	229,8	68	0,1			2,3	N, ESE
15/16. 1.	111,2	40,6	156,3	57	13,8			0,6	W
16/17. 1.	158,7	32,8	143,0	61	6,8			2,4	W, N
17/18. 1.	122,5	32,4	170,6	67				1,5	W, NW
18/19. 1.	105,6	37,0	140,1	62				0,8	N, ESE
19/20. 1.	115,3	37,0	140,1	49	0,8			0,2	N
20/21. 1.	115,3	37,0	140,1	49	2,6			1,2	W, E
21/22. 1.	129,0	50,7	165,7	45				3,4	ESE, S
22/23. 1.	86,3	36,8	146,7	58				2,5	ESE, S
23/24. 1.	69,6	14,1	71,0	51	5,2			0,8	S
24/25. 1.	89,4	15,5	116,6	70	4,2			0,8	W, E
25/26. 1.	67,1	12,6	68,9	35	4,0			1,8	E, S

Mjerno mjesto: Samobor

XII 1979—II. 1980.

Dan					oborine mm	vjetar	
	SO ₂	SO ₄ --	lebdeće čestice	dim		brzina m/s ⁻¹	smjer
26/27. 1.	51,4	12,6	68,9	26		1,8	S, N
29/30. 1.	136,5	19,3	217,6	122		0,6	S, W
30/31. 1.	91,4	13,7	90,4	65		2,3	SW, W
31/ 1. 1.	28,2	10,2	36,6	8	0,3	3,9	W, S
1/ 2. 2.	38,5	14,7	137,0	15	3,8	2,9	S, SE
3/ 4. 2.	35,6	10,5	111,4	34	0,2	1,2	NW, S
4/ 5. 2.	68,8	4,2	138,0	35	5,2	1,4	S, ESE
5/ 6. 2.	54,4	9,8	87,0	51	10,5	0,2	N
6/ 7. 2.	58,6	10,7	133,7	34		1,9	N, W
7/ 8. 2.	44,4	8,1	79,4	35	10,2	1,2	W, E
8/ 9. 2.	45,6	7,0	52,3	30		0,6	E
11/12. 2.	42,4	7,3	79,4	30	4,1	0,6	N
12/13. 2.	33,5	7,2	137,8	27		1,2	ENE, SE
13/14. 2.	40,5	5,2	146,1	26		2,3	SE, SW
14/15. 2.	41,8	17,4	142,9	34		2,3	WNW, NW
15/16. 2.	22,1	14,9	142,9	32		1,2	NW, E
18/19. 2.	18,3	7,1	72,7	26		1,2	N
19/20. 2.	47,7	18,9	110,6	44		2,4	NE, E
20/21. 2.	62,7	19,8	154,9	39		1,8	E
21/22. 2.	54,8	21,8	162,6	49		1,8	W, ENE
N	42	45	45	45			
\bar{x}	76	19	127	47			
Raspon	18 172	4 51	37 239	8 122			

ζ — masena koncentracija

\bar{x} — aritmetička sredina

Tablica 7.
SO₂/SO₄-- u različitim područjima

Razdoblje mjerjenja	SO ₂ /SO ₄ --								
	prigradska područja						gradsko područje		
	Samobor			Remetinec			Zagreb		
	N	\bar{x}	Raspon	N	\bar{x}	Raspon	N	\bar{x}	Raspon
travanj 1979.	17	1,1	0 3,6	16	2,3	0 8,3	16	10,0	3,2 24,8
siječanj 1980.	22	4,4	2,4 9,9	24	5,5	2,1 11,2	15	13,8	6,7 26,5
veljača 1980.	16	4,1	1,5 16,3	18	5,0	0,9 15,8	16	13,7	6,8 27,8
ljetno 1979.				19	2,4	0 16,2	21	3,1	0,9 10,0

Vrijednosti nekih meteoroloških parametara date su u tablicama samo kao ilustracija bez namjere da se ide u dublju analizu, jer to nije područje našeg rada. No neki podaci nam sami po sebi sugeriraju određene zaključke. Primjerice u proljeće u Remetincu (tablica 1) vrlo lijepo se vidi kako oborine djeluju na smanjenje onečišćenja zraka. Tri dana uzastopce od 4 do 7. travnja vjerojatno zbog padanja kiše koncentracija sumpor-dioksida je nula, a prethodnog dana bila je $76 \mu\text{g m}^{-3}$, masena koncentracija lebdećih čestica je smanjena za oko tri puta, a niže su i vrijednosti sulfata.

Za dane za koje raspoložemo vrijednostima o brzinama i prevladavajućem smjeru vjetra možemo reći da uglavnom puše slab vjetar, i to vrlo često sjevernih smjerova, što konkretno za slučaj položaja Remetinec prema Zagrebu znači da prevladava smjer vjetra koji puše od Zagreba i koji vjerojatno nosi sa sobom iz tog pravca i određeno onečišćenje zraka.

Rezultati mjerenja sumpor-dioksida i sulfata u drugom prigradskom području u Samoboru tijekom veljače, ožujka i travnja 1979. (tablica 5) također su utvrdili visoke masene koncentracije sulfata. Iz te tablice se vidi da je srednja vrijednost masene koncentracije sulfata za ukupno mjerno razdoblje $14 \mu\text{g m}^{-3}$, s rasponom od 3 do $47 \mu\text{g m}^{-3}$, a sumpor-dioksida $27 \mu\text{g m}^{-3}$ s rasponom od 0 do $77 \mu\text{g m}^{-3}$. I tu je vjerojatno treći i četvrti dan mjerenja uslijed oborina došlo do smanjenja masenih koncentracija sumpor-dioksida, sulfata i lebdećih čestica. Interesantan je dan 6/7. ožujka kada je vjerojatno zbog potpune tišine (brzina vjetra 0 m s^{-1}) došlo do gomilanja atmosferskih onečišćenja, pa je tada izmjerena maksimalna masena koncentracija sulfata $47 \mu\text{g m}^{-3}$, lebdećih čestica $297,1 \mu\text{g m}^{-3}$ i dima $51 \mu\text{g m}^{-3}$.

Tijekom navedenih mjerenja nedaleko od mjerne stanice u Samoboru odvijali su se manji građevinski radovi, pa se posumnjalo da su možda ovi utjecali na rezultate. Zato su se ista mjerenja ponovila na istom mjestu u Samoboru nakon završetka građevinskih radova u blizini, tijekom dva zimska mjeseca. Međutim, nije zabilježeno očekivano smanjenje razina masenih koncentracija sulfata (tablica 6). Srednja masena koncentracija tijekom razdoblja mjerenja iznosila je za sulfate $19 \mu\text{g m}^{-3}$ s rasponom od 4 do $51 \mu\text{g m}^{-3}$.

Budući da su ova mjerenja vođena u Samoboru tijekom zime, zabilježen je mali broj sunčanih dana. Puhao je većinom slab vjetar, vrlo često zapadnog smjera, što bi s obzirom na položaj Samobora prema Zagrebu značilo da vrlo često i na ovom prigradskom području puše vjetar iz pravca Zagreba.

Izračunati odnos sumpor-dioksida i sulfata (tablica 7) tijekom travnja, siječnja i veljače najbolje ilustrira razliku gradskih i prigradskih područja. Dok je primjerice u siječnju odnos sumpor-dioksida i sulfata u gradskom području u Zagrebu 13,8, s rasponom 6,7–26,5, u Samoboru je 4,4 s rasponom 2,4–9,9, a u Remetincu 5,5 s rasponom 2,1–11,2. U ljet-

nom razdoblju je taj odnos između različitih područja vrlo sličan (u Zagrebu 3,1 s rasponom od 0,9 do 10,0, a u Remetincu 2,4 s rasponom od 0 do 16,2), jer je poznato da su masene koncentracije sumpor-dioksida u ljetnom razdoblju za razliku od zimskog razdoblja i u gradskim područjima niske.

S higijenskog gledišta vrijednosti izmjerenih masenih koncentracija sumpor-dioksida i dima zadovoljavaju naše smjernice (12) za stroge granične masene koncentracije sumpor-dioksida i dima [za SO_2 , 95 percentil (c_{95}) iznosi $150 \mu\text{g m}^{-3}$, a za dim $90 \mu\text{g m}^{-3}$, tj. vrijednosti od koje je 5% izmjerenih vrijednosti veće]. Međutim, tijekom razdoblja mjerenja dolazilo je do prekoračivanja nepoželjnih masenih koncentracija lebdećih čestica (c_{95} od $150 \mu\text{g m}^{-3}$).

Što se tiče sulfata, treba napomenuti da zbog premalo podataka o djelovanju sulfata na zdravlje, još za sada uopće ne postoje granične koncentracije.

Na osnovi ovih dobivenih rezultata i rezultata naših prijašnjih radova može se zaključiti da su masene koncentracije sumpor-dioksida u prigradskim područjima značajno niže od onih u gradskim, a masene koncentracije sulfata su po svojim vrijednostima slične onima u gradu (7).

Možda se ova povišena razina masenih koncentracija sulfata u prigradskim područjima s inače niskim masenim koncentracijama sumpor-dioksida može protumačiti biogenim podrijetlom sulfata u atmosferi (13). Poznato je naime da su sulfati biogena podrijetla najčešće zastupljeni u ljeti i u jesen, no ne isključuje se mogućnost njihove prisutnosti i tijekom zime. Prema literaturnim podacima postoji i mogućnost transporta oblaka čestica sulfata kilometre i kilometre od njihova izvora (14) kao i mogućnost odvijanja sekundarnih reakcija, pa je možda i to uvjetovalo da su u prigradskim područjima zabilježene tako visoke masene koncentracije sulfata.

Pri epidemiološkim istraživanjima treba imati u vidu da prigradska područja koja su inače vrlo prikladna kao kontrolna s obzirom na izloženost sumpor-dioksidu, ne zadovoljavaju kao kontrolna s obzirom na izloženost sulfatima.

Literatura

1. Environmental Health Criteria 8: Sulfur Oxides and Suspended Particulate Matter, WHO, Geneva, 1979.
2. Altshuller, A. P.: Air Poll. Control Assoc., 26 (1976) 318.
3. Ellison, J., Waller, E. R.: Environ. Research, 16 (1978) 302.
4. Fugaš, M.: Zaštita atmosfere, 9 (1977) 19.
5. Fugaš, M., Gentilizza, M.: Atm. Environ., 12 (1978) 355.
6. Fugaš, M., Gentilizza, M.: Proceedings of the Fourth International Clean Air Congress, Tokyo 1977, Japanese Union of Air Pollution Prevention Association (JUAPPA), p. 625.

7. Gentilizza, M., Vadić, V., Fugaš, M.: *Zaštita atmosfere*, 13 (1978) 3.
8. The Measurement of Atmospheric Pollution Department of Scientific and Industrial Research, H. M. Stationary Office, London 1957.
9. Methods of Measuring Air Pollution, OECD, Paris, 1964.
10. Fritz, J. S., Yamamura, S. S.: *Anal. Chem.*, 27 (1955) 1461.
11. Dubois, L., Baker, C. J., Teichman, T., Zdrojewski, A., Monkman, J. L.: *Mikrochimica Acta* (Wien) (1969) 269.
12. Vidi: Savjet za čovjekovu sredinu i prostorno uređenje, SIV-a, Komisija za čistoću vazduha »Prijedlog graničnih koncentracija štetnih materija u vazduhu«, *Zaštita atmosfere*, 12 (1978) 45, kao i Dopune i izmjene tom prijedlogu.
13. Hitchcock, D. R.: *Air Pollut. Control Assoc.*, 26 (1976) 210.
14. Katz, M.: *Air Pollut. Control Assoc.*, 30 (1980) 528.

Summary

SULPHUR DIOXIDE AND SULPHATES IN THE AIR OF TWO ZAGREB SUBURBAN DISTRICTS: REMETINEC AND SAMOBOR

The levels of sulphate and sulphur dioxide mass concentrations were measured in the air of two Zagreb suburban districts: Remetinec and Samobor. The measurements were conducted simultaneously for several months.

Compared to the levels in urban areas the measured mass concentrations of sulphur dioxide in suburban districts were very low (in Samobor for instance, the mean value for the entire measuring period was $27 \mu\text{g}/\text{m}^{-3}$ with a range of $0\text{--}77 \mu\text{g}/\text{m}^{-3}$), while sulphate mass concentrations were on the same level: $\bar{x} = 14 \mu\text{g m}^{-3}$ with a range of $3\text{--}47 \mu\text{g m}^{-3}$.

*Institute for Medical Research
and Occupational Health, Zagreb*

*Received for publication
November 10, 1980*