

IVAN SLÁDEK

PERIODY STOUPAJÍCÍ A KLESAJÍCÍ KONCENTRACE SO<sub>2</sub>  
A VZTAH VĚTRU A OBSAHU SO<sub>2</sub> V OVZDUŠÍ PRAHY

Abstract: PERIODS OF INCREASING AND DECREASING CONCENTRATION OF SO<sub>2</sub>, AND THE RELATION OF WIND TO THE CONTENT OF SO<sub>2</sub> IN THE ATMOSPHERE IN PRAGUE.

In a whole series of areas as well as in Prague itself, SO<sub>2</sub> has become the dominant factor in air pollution, and in this way a specific though undesirable component of the geographical setting. In the present paper the author presents the results of his studies of the daily regime of SO<sub>2</sub> in the town atmosphere of Prague, and the influence of the velocity and direction of wind upon the content of SO<sub>2</sub> in the lower strata of the atmosphere. In these studies he applied a new method introducing new terms, such as: „period of increasing concentration of SO<sub>2</sub>“ and „period of decreasing concentration of SO<sub>2</sub>“. He describes the method in much detail.

In the atmosphere of Prague the author discovered four phases in the daily cycle of concentration of SO<sub>2</sub>: morning increase, forenoon decrease, evening increase and night decrease. He tries to give the reasons for this cycle and compare them with similar occurrences known in other towns. At the same time he studies also the part played by the wind velocity in the formation of individual daily phases. As far as the direction of the wind is concerned, there is a simple dependence: winds blowing from industrial districts bring along higher concentration of SO<sub>2</sub> than winds blowing from residential quarters including the town city even in winter when coal heating has been prevalently used up to now in households in Prague.

## 1. Úvod

Používání odlučovačů nebo nahrazení uhlí kapalnými a plynnými palivy může podstatně omezit emisi popílků do ovzduší. V řadě vyspělých zemí se těmito technickými zásahy podařilo zabezpečit — pokud jde o popílek — poměrně vysokou čistotu ovzduší, a to i v oblastech dříve proslulých znečištěním ovzduší (Pittsburgh v USA, anglická „Black Country“). Příklady snížení spadů, respektive koncentrací popílků — žel méně výrazné — bychom našli i u nás.

Naproti tomu emise SO<sub>2</sub> u nás roste a tato tendence nebude změněna ani nahrazením uhlí mazutem ze sovětské ropy, který má vyšší obsah síry na 1 kcal než například některé jakostní druhy mosteckého uhlí. Tak mostecké uhlí, spalované závodní teplárnou chemických závodů v Záluží v Krušných horách, má výhřevnost 3.800 kcal/1 kg a 1,1 proc. váh. síry v nevysušeném vzorku, topný olej TM ČSN 65.7991, vyráběný Slovnaftem v Bratislavě, má 9.400 kcal/1 kg a 3 proc. váh. síry. Odsířování spalin nebo paliva dosud nikde ve světě nepřekonalo stadiurní výzkumu a pokusů. Z těchto důvodů se SO<sub>2</sub> stal v řadě oblastí nejdůležitějším faktorem znečištění ovzduší a tím i důležitou součástí geografického prostředí. Tak je dána také potřeba výzkumu různých aspektů obsahu SO<sub>2</sub> v atmosféře.

V této práci jsou studovány otázky denního režimu znečištění městského ovzduší kyslíčnickem siričitym a vliv směru a rychlosti větru na obsah SO<sub>2</sub> v přízemní vrstvě atmosféry.

Poznatky o denním režimu koncentrace  $\text{SO}_2$  mohou pomoci objasnit souhrn činitelů, především meteorologických a společenských, která tento režim podmiňuje, a mohou být užitečné i při řešení otázek následků znečištění ovzduší. Například z hlediska vlivu  $\text{SO}_2$  na vegetaci s určitým denním režimem respirace a asimilace pravděpodobně není lhotečné, jsou-li rostliny vystaveny působení vysokých koncentrací  $\text{SO}_2$  časně ráno nebo v poledne.

Denním režimem znečištění ovzduší v různých oblastech světa se zabývaly četné práce, například Munn a Katz (15), Böer (2), Garnett (5), Sládek (21) a jiní. Pokud je mi však známo, nebyla dosud ke studiu tohoto problému použita metoda period stoupající nebo klesající koncentrace, podobná metodě, kterou jsem dále použil.

## 2. Zpracovaný materiál

Východním materiálem byly jednak hodinové průměry koncentrace  $\text{SO}_2$  a hodinové hodnoty rychlosti a směru větru, jednak rychlosti větru za poloviny PSK a PKK (značky budou vysvětleny v odd. 3), za období od 1. prosince 1963 do 28. února 1965. Všechny tyto veličiny byly měřeny na dnes již zrušené meteorologické observatoři Ústavu hygieny v Praze.

Observatoř ( $50^\circ 4' \text{ s. š.}$ ,  $14^\circ 28' \text{ v. d.}$ , 244 m n. m.) byla umístěna na východním okraji jádra města, v obytné čtvrti se zástavbou vilového charakteru s velkými zelenými plochami. Až na teplárnu Vinohradské nemocnice, vzdálenou od observatoře asi 0,5 km v azimutu  $100^\circ$ , nejsou v blízkosti observatoře větší zdroje  $\text{SO}_2$ . Terén v okolí observatoře se mírně svažuje k jihovýchodu do údolí Botiče.

Je třeba upozornit, že poznatky zjištěné na základě měření koncentrace  $\text{SO}_2$  na jediném místě v Praze nelze bez ověření zobecňovat na celé město. Bylo by zajímavé porovnat výsledky uvedené v této práci s výsledky z funkčně odlišných částí města — průmyslových, obchodního centra města a také z míst odlišných z hlediska klimatu a reliéfu zemského povrchu. Takové porovnání však dnes není možné, neboť neexistují měření koncentrace  $\text{SO}_2$  z různých částí Prahy.

Údaje o směru a rychlosti větru, kterých jsem v této práci použil, byly získány vyhodnocením záznamu univerzálního anemografu značky Metra. Robinsonův kříž anemografu byl umístěn nad vrcholem střechy budovy ve výšce 20 m nad povrchem terénu. Univerzální anemograf, pokud jde o dráhu větru, má práh citlivosti kolem 1,5 m/s, takže je třeba počítat s tím, že při nízkých rychlostech větru může být údaj přístroje zatížen značnou chybou.

Na rozdíl od meteorologických konvencí byla v této práci za bezvětří považována rychlost větru nižší než 0,1 m/s. Toto nestandardní vymezení bezvětří umožnilo využití staršího strojního zpracování údajů, provedeného pro jiný účel. Podle mezinárodní dohody z r. 1926 je bezvětří rychlost větru 0,5 m/s nebo nižší při měření ve výšce 6 m nad okolními předměty a podle mezinárodní dohody r. 1946 rychlost 0,2 m/s nebo nižší při měření ve výšce 10 m nad okolními předměty.

Pro každou hodinu zpracovaného období byla obvyklým způsobem podle záznamu dráhy větru stanovena průměrná rychlost větru. Podle záznamu směru větru byl pro každou hodinu s průměrnou rychlostí větru  $\geq 0,1 \text{ m/s}$  stanoven směr větru.

Koncentrace  $\text{SO}_2$  byla měřena polarograficko-coulometrickým analyzátozem podle Nováka. Přístroj je popsán v literatuře (16). Otvor, jímž byl do analyzátoru nasáván vzduch, byl umístěn 2 m nad povrchem pudy ve stěně dřevěného domku

o půdorysu 6×6 m a výšce asi 3 m cca 18 m západně od budovy, na níž byl anemograf. Po celou dobu měření byla činnost přístroje pečlivě a odborně kontrolována Z. Ublem z Ústavu hygieny. Jde dosud (1969) patrně o nejdokonalejší měření koncentrace SO<sub>2</sub> v ČSSR, zahrnující souvislé roční období a umožňující konfrontaci znečištění ovzduší s meteorologickými daty z téhož místa. Hodinové průměry koncentrace SO<sub>2</sub> byly stanoveny podle kontinuálního záznamu analyzátoru.

Platné „Směrnice o nejvyšších přípustných koncentracích nejzávažnějších škodlivin v ovzduší“ (Hygienické předpisy, svazek 30, vydalo ministerstvo zdravotnictví 1967) udávají pro SO<sub>2</sub> při izolovaném působení — nikoli v komplexu jiných škodlivin — nejvyšší přípustnou průměrnou hodnotu koncentrace na určitém místě v časovém úseku 30 minut 0,50 mg/m<sup>3</sup> a v časovém úseku 24 hodin 0,15 mg/m<sup>3</sup> (0 °C, 760 torr). Nejvyšší přípustné koncentrace pro jiné časové úseky nejsou stanoveny a přípustnost koncentrace škodlivin ve směsi posuzuje individuálně hygienik.

V souladu s výsledky četných prací (Například Hašek<sup>8</sup>, Jutze a Tabor<sup>9</sup>) lze mít za to, že rozdělení četností průměrných půlhodinových a hodinových koncentrací plyných látek se liší velmi málo, což bylo shodně zjištěno za rozmanitých stanovištních podmínek.

### 3. Periody stoupající a klesající koncentrace SO<sub>2</sub>

V literatuře (21) byl popsán denní chod koncentrace SO<sub>2</sub> na observatoři Ústavu hygieny v Praze pomocí průměrných hodnot koncentrace SO<sub>2</sub> pro každou hodinu dne. Nedostatkem takového postupu je, že denní chod koncentrace SO<sub>2</sub> není studován jako spojitý proces, nýbrž jako soubor izolovaných stavů — hodinových průměrů. Tento nedostatek mají také všechny mně známé práce o denním chodu znečištění ovzduší.

Abych se přiblížil možnosti studovat denní cyklus koncentrace SO<sub>2</sub> v jeho kontinuálním průběhu, zavádím pojmy „perioda stoupající koncentrace SO<sub>2</sub>“ (dále PSK) a „perioda klesající koncentrace SO<sub>2</sub>“ (dále PKK).

4. ÚNORA 1965

Hodina	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.
φ mg SO <sub>2</sub> /1000 l vzduchu	25	29	28	23	19	29	31	29	24	19	19	17	21	24	25	26	27	30	31	32	40	38	27	19
	PSK			PKK			PSK			PKK			PSK					PKK						

#### 1. Příklad vymezení PSK a PKK.

Vymezení PSK a PKK znázorňuje obr. 1. Mějme řadu tří nebo více časově sobě následujících hodinových průměrů koncentrace SO<sub>2</sub>: h<sub>1</sub>, h<sub>2</sub>, h<sub>3</sub>, . . . , h<sub>n</sub>. Platí-li h<sub>1</sub> < h<sub>2</sub> < h<sub>3</sub> . . . < h<sub>n</sub>, pak PSK je období 30. minuty hodiny, jejíž průměrná koncentrace SO<sub>2</sub> je h<sub>1</sub>, do 30. minuty hodiny s průměrnou koncentrací SO<sub>2</sub> h<sub>n</sub>. Analogicky je definována PKK, v níž ovšem hodinové průměry koncentrace tvoří klesající řadu.

Takto definované PSK a PKK, jak je vidět na obr. 1., nevyplňují beze zbytku celé období měření koncentrace SO<sub>2</sub>. Časovými úseky, nezahrnutými do PSK nebo PKK, se dále nebudeme zabývat.

Uvedené definice PSK a PKK jsou ovšem jen konvenční. Období vzestupu či poklesu koncentrace SO<sub>2</sub> by bylo jistě možno vymežit i jinak. Při definování PSK a PKK jsem však musel vycházet jen z hodinových průměrů koncentrace SO<sub>2</sub>,



protože jiné údaje o koncentraci  $\text{SO}_2$  jsem neměl k dispozici. To je také důvod, proč jsem zvolil nejkratší délku PSK a PKK dvě hodiny. Tato délka odpovídá třem hodinovým průměrům koncentrace  $\text{SO}_2$ , následujícím za sebou ve vzestupném nebo sestupném pořadí. Při zkrácení minimální délky PSK a PKK na 1 hodinu (tato délka period by odpovídala 2 hodinovým průměrům koncentrace) by totiž možná chyba v určení počátku a konce vzestupu či poklesu koncentrace, která vzniká tím, že počátky a konce obou druhů period jsou konvenčně kladeny do 30. minuty hodin s průměrnou koncentrací  $h_1$  a  $h_n$ , byla neúnosně velká v poměru k délce period.

Předností stanovení minimální délky PSK a PKK na dvě hodiny však je, že PSK a PKK vystihují dlouhodobější několikahodinové trendy vývoje koncentrace  $\text{SO}_2$ , které jsou patrně rozhodující pro utváření denního režimu koncentrace  $\text{SO}_2$ .

#### 4. Fáze denního režimu koncentrace $\text{SO}_2$

PSK a PKK byly vymezeny v celém období od 1. prosince 1963 do 28. února 1965. Sečteme-li, kolik hodin v každém čtvrtletí trvaly PSK a PKK v 1., 2., . . . , 24. hodině dne (tj. v časových úsecích 0–1 hod., 1–2 hod., . . . , 23–24 hod.),

Tab. 1. — Součty trvání PSK a PKK v jednotlivých hodinách dne  
(Čísla v tabulce udávají počet hodin)

Hod.	Zima 63/64		Zima 64/65		Jaro 1964		Léto 1964		Podz. 1964	
	PSK	PKK	PSK	PKK	PSK	PKK	PSK	PKK	PSK	PKK
1.	16,5	44,5	14,0	49,5	22,0	29,0	9,0	12,5	31,0	22,5
2.	26,0	33,0	19,0	41,0	20,5	22,0	9,5	13,0	30,0	20,0
3.	37,0	22,0	22,5	35,5	22,5	19,5	8,5	8,5	31,5	24,5
4.	53,5	16,0	32,5	23,5	36,5	13,5	12,5	5,0	44,0	21,0
5.	68,5	11,0	53,0	10,0	53,5	11,0	23,5	2,5	53,5	15,0
6.	67,5	10,0	67,0	2,5	58,5	11,5	31,0	1,0	55,0	16,0
7.	62,5	13,0	68,0	2,5	45,0	23,5	23,5	7,0	49,0	22,5
8.	58,0	19,0	59,0	11,5	29,5	31,0	11,0	17,0	40,5	30,0
9.	41,0	29,5	44,0	24,0	23,0	41,0	5,5	21,5	29,5	40,5
10.	25,0	40,5	28,5	37,5	16,0	50,0	4,0	23,5	18,0	48,0
11.	18,0	52,5	18,5	46,0	12,5	46,5	4,0	20,5	12,0	47,5
12.	16,0	51,5	18,5	42,5	13,5	38,0	3,0	15,0	11,0	45,0
13.	18,0	50,0	25,0	34,0	14,5	34,5	1,5	13,0	17,0	40,0
14.	25,0	34,0	30,0	29,0	13,5	32,0	2,0	11,5	28,5	31,0
15.	39,5	18,0	33,0	24,5	13,0	28,0	4,0	8,5	40,0	23,0
16.	51,0	12,5	43,0	16,0	22,5	21,5	5,5	4,5	46,0	18,5
17.	51,0	19,5	49,5	14,5	42,0	16,5	6,5	3,0	49,0	18,0
18.	38,5	34,5	45,0	22,0	51,0	15	7,0	3,5	43,0	23,5
19.	21,0	48,5	35,0	33,5	42,0	18,0	7,5	5,5	32,5	29,0
20.	9,0	58,0	23,0	51,5	29,5	29,5	10,5	6,5	25,0	34,0
21.	12,5	62,5	14,0	64,5	19,5	42,0	13,0	6,5	17,0	43,5
22.	14,5	60,5	9,0	66,5	13,5	48,0	10,5	8,5	15,0	45,0
23.	14,0	58,0	7,0	65,5	15,5	44,5	7,5	9,5	17,0	41,0
24.	13,0	53,5	9,0	59,0	21,0	38,5	6,5	9,0	22,0	35,0

zjistíme, že součty trvání obou druhů period se v průběhu dne výrazně a ve všech částech roku podobným způsobem mění. V tab. 1 je vidět, že velikost součtů trvání PSK dosahuje 2 maxim, a to jednoho v časných ranních hodinách a druhého v pozdních odpoledních až večerních hodinách a dvou minim, z nichž jedno připadá na dobu kolem poledne a druhé na pozdní večer nebo na noc. Také součty trvání PKK mají 2 maxima a 2 minima, která připadají přibližně na stejnou dobu, jako opačné extrémy součtu trvání PKK. Jak u součtů trvání PSK, tak u součtů trvání PKK nelze mluvit o hlavních a vedlejších maximech a minimech, neboť obě maxima i obě minima jsou přibližně stejně výrazná. Pozoruhodná je plynulost, s jakou se součty trvání PSK a PKK mění během dne.

Údaje v tab. 1 dobře odpovídají dennímu chodu koncentrace SO<sub>2</sub> na observatoři Ústavu hygieny v Praze, jak jej popsal Sládek (21). Z tab. 1 je zřejmá existence čtyř fází denního chodu koncentrace SO<sub>2</sub>, ostatně dobře známá i z četných míst v Severní Americe, Japonsku, západní Evropě a odjinud: ranní vzestup, dopolední pokles, večerní vzestup a noční pokles.

Pro každé čtvrtletí zpracovaného období byly stanoveny absolutní četnosti výskytu začátků obou druhů period v 1. až 24. hodině dne — výsledky jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2. Četnosti začátků a konců PSK a PKK

Hod.	Zima 63/64				Zima 64/65				Jaro 1964				Léto 1964				Podz. 1964			
	Zač.		Konec		Zač.		Konec		Zač.		Konec		Zač.		Konec		Zač.		Konec	
	PSK	PKK	PSK	PKK	PSK	PKK	PSK	PKK	PSK	PKK	PSK	PKK	PSK	PKK	PSK	PKK	PSK	PKK	PSK	PKK
1.	11	9	2	16	7	5	1	18	4	2	4	18	5	8	3	3	7	4	1	15
2.	15	7	5	23	10	15	6	19	9	12	12	10	1	3	2	7	10	14	18	8
3.	15	5	3	11	11	7	8	14	12	2	5	9	3	2	4	7	19	9	8	6
4.	27	5	6	11	23	2	6	19	26	7	5	12	10	1	1	3	18	2	4	12
5.	13	1	4	5	27	0	3	10	18	4	5	4	16	0	3	3	14	5	9	7
6.	4	8	15	6	11	0	7	5	10	12	13	4	6	1	4	1	12	10	12	6
7.	12	6	11	2	9	5	11	0	6	14	30	5	3	12	20	0	9	13	21	4
8.	9	11	19	3	10	13	26	0	10	15	17	9	1	8	9	0	9	15	14	7
9.	2	19	26	6	5	14	19	2	4	20	10	6	2	6	5	5	3	18	20	5
10.	4	14	12	5	5	22	22	7	4	13	12	9	2	7	2	4	5	11	11	9
11.	5	13	11	10	5	10	8	8	4	3	3	14	2	2	2	11	2	8	8	11
12.	7	16	5	9	12	9	9	18	7	13	6	19	0	3	1	5	9	12	5	14
13.	7	7	5	17	12	9	2	17	5	10	4	11	3	4	1	5	9	9	1	17
14.	17	5	5	27	12	10	12	12	5	13	8	17	2	1	0	6	23	4	8	14
15.	21	2	4	12	18	3	12	10	7	4	5	8	1	4	3	6	15	7	7	13
16.	12	5	6	6	21	3	7	13	20	7	3	16	3	1	2	4	12	5	8	8
17.	7	17	13	2	9	11	10	4	24	6	2	7	3	1	2	1	12	8	10	6
18.	5	22	24	7	7	13	15	5	7	5	11	7	4	3	4	2	9	15	23	6
19.	2	15	18	2	4	20	16	5	9	12	23	4	4	3	3	0	7	8	14	6
20.	5	17	8	11	4	27	16	6	8	18	19	3	8	1	3	2	8	18	16	10
21.	6	11	1	8	3	10	9	5	4	14	13	4	2	4	3	3	1	16	9	5
22.	6	10	7	17	4	14	8	15	4	11	7	9	4	5	9	2	10	10	6	18
23.	4	11	4	9	3	7	3	8	11	10	4	19	2	2	3	3	3	10	3	10
24.	4	6	6	17	7	7	3	18	9	10	5	13	3	6	4	6	17	7	7	19

Tab. 3. — Vymezení typického trvání fází denního režimu koncentrace SO<sub>2</sub>

Fáze	Typické trvání fází od hodiny do hodiny			
	JARO 1964	LÉTO 1964	PODZIM 1964	ZIMA 1964/65 1963/64
Ranní vzestup koncentrace SO <sub>2</sub>	3.30— 6.30	4.30— 6.30	2.30— 6.30	3.30— 8.30
Dopolední pokles koncentrace SO <sub>2</sub>	8.30—11.30	6.30—10.30	8.30—12.30	9.30—13.30
Večerní vzestup koncentrace SO <sub>2</sub>	16.30—18.30	19.30—21.30	13.30—17.30	14.30—17.30
Noční pokles koncentrace SO <sub>2</sub>	19.30—22.30	0.30— 2.30	19.30—23.30	19.30— 1.30

Pomocí tab. 2 jsem časově vymezil typické trvání zmíněných čtyř fází denního režimu koncentrace SO<sub>2</sub> v každém ročním období takto: za typické trvání fáze vzestupu koncentrace SO<sub>2</sub> považuji období od 30. minuty hodiny s maximální četností začátků PSK do 30. minuty hodiny s největším počtem konců PSK; podobně za typické trvání fáze poklesu koncentrace SO<sub>2</sub> pokládám období od 30. minuty hodiny s nejvyšším počtem začátků PKK do 30. minuty hodiny s největším počtem konců PKK. Tímto způsobem bylo získáno vymezení typického trvání hlavních fází denního režimu koncentrace SO<sub>2</sub>, uvedené v tabulce 3.

Jak je vidět z tab. 3, jsou po sobě následující fáze ve většině případů odděleny přechodným obdobím, kdy nelze mluvit o výrazném převládání procesu zvyšování ani snižování koncentrace SO<sub>2</sub>. Seřadíme-li roční doby podle celkové délky fází, uvedených v tab. 3, dostáváme stejné pořadí, jako podle průměrné koncentrace SO<sub>2</sub> (nejvyšší v zimě): zima 18 hodin, podzim 16 hodin, jaro 11 hodin, léto 10 hodin. V ročních dobách s nižším znečištěním ovzduší SO<sub>2</sub> je tedy denní režim koncentrace SO<sub>2</sub> méně výrazný, než v ročních dobách s vysokou průměrnou koncentrací SO<sub>2</sub>. To má pravděpodobně příčiny dvojího druhu — jednak menší stabilitu ovzduší v létě a na jaře vzhledem ke zbývajícím obdobím, jednak vyšší emisí SO<sub>2</sub> do atmosféry v zimě a na podzim v důsledku větší spotřeby uhlí než je na jaře a v létě.

##### 5. Vliv rychlosti větru na jednotlivé fáze denního režimu koncentrace SO<sub>2</sub>

Všechny PSK a PKK, které se zcela nebo nadpoloviční většinou svého trvání kryjí s typickou dobou trvání fází denního cyklu koncentrace SO<sub>2</sub>, vymezenou v tab. 3, byly rozříděny do dvou skupin podle toho, zda během PSK a PKK rychlost větru stoupala nebo klesala. Za kritérium pro toto třídění byl vzat rozdíl mezi průměrnou rychlostí větru v první a druhé polovině periody. Jednu skupinu PSK a PKK tvoří ty periody obou druhů, u nichž byla diference mezi průměrnými rychlostmi větru první a druhé poloviny periody kladná a druhou skupinu PSK a PKK tvoří periody, u nichž byla tato diference záporná. Přitom PSK a PKK, které měly absolutní hodnotu tohoto rozdílu menší než 0,5 m/s nebyly zařazeny do žádné z obou skupin, a to s ohledem na přesnost měření rychlosti větru. Velmi malé rozdíly průměrných rychlostí větru v 1. a 2. polovině period

T a b. 4. — Rozdělení PSK a PKK do skupin period se vzrůstající a klesající rychlostí větru.  
 (Čísla v tabulce udávají počet PSK nebo PKK. Týká se jen PSK a PKK beze zbytku obsažených v „typických“ fázích denního režimu koncentrace SO<sub>2</sub> vymezených v tab. 3.)

	Zima 63/64 (XII—II)		Zima 64/65 (XII—II)		Jaro 64 (XIII—V)		Léto 64 (VI—VIII)		Podzim 64 (IX—XI)		Součet XII 63—II 65	
	Stoup. rychl.	Kles. rychl.	Stoup. rychl.	Kles. rychl.	Stoup. rychl.	Kles. rychl.	Stoup. rychl.	Kles. rychl.	Stoup. rychl.	Kles. rychl.	Stoup. rychl.	Kles. rychl.
Ranní vzestup koncentrace SO <sub>2</sub>	7	8	13	7	4	4	1	1	3	14	28	34
	1	3	1	2	2	—	—	—	5	2	9	7
Dopolední pokles koncentrace SO <sub>2</sub>	1	1	2	3	—	3	2	—	2	1	7	8
	12	4	18	3	5	1	14	—	14	2	63	10
Večerní vzestup koncentrace SO <sub>2</sub>	1	11	2	6	1	6	—	—	4	17	8	40
	2	1	1	1	2	—	—	—	3	2	8	4
Noční pokles koncentrace SO <sub>2</sub>	5	4	2	4	3	3	1	1	—	4	11	16
	9	11	8	12	3	3	2	—	5	6	27	32

Tab. 5. — Rozdělení PSK a PKK do skupin period se vzrůstající a klesající rychlostí větru.  
 (Číslo v tabulce udává počet PSK nebo PKK. Týká se PSK a PKK, u nichž více než polovina trvání připadá na „typické“  
 fáze denního režimu koncentrace SO<sub>2</sub>, tzn. včetně případů zahrnutých do tab. 3.)

	Zima 63/64 (XII—II)		Zima 64/65 (XII—II)		Jaro 64 (XIII—V)		Léto 64 (VI—VIII)		Podzim 64 (IX—XI)		Součet XII 63—II 65	
	Stoup. rychl.	Kles. rychl.	Stoup. rychl.	Kles. rychl.	Stoup. rychl.	Kles. rychl.	Stoup. rychl.	Kles. rychl.	Stoup. rychl.	Kles. rychl.	Stoup. rychl.	Kles. rychl.
Ranní vzestup koncentrace SO <sub>2</sub>	PSK	11	14	18	13	6	6	1	1	6	16	50
	PKK	2	4	1	2	2	—	—	—	5	2	8
Dopolední pokles koncentrace SO <sub>2</sub>	PSK	1	1	4	4	1	3	3	—	3	2	10
	PKK	23	7	25	3	14	3	17	—	24	2	103
Večerní vzestup koncentrace SO <sub>2</sub>	PSK	1	15	3	11	1	16	—	—	5	26	68
	PKK	2	3	1	2	2	1	—	1	5	5	10
Noční pokles koncentrace SO <sub>2</sub>	PSK	6	4	2	5	5	4	1	2	1	5	20
	PKK	19	13	16	19	3	6	3	—	10	9	51



(0,1—0,4 m/s) není možno považovat za znak vzestupu či poklesu rychlosti větru během period, neboť tyto rozdíly podle mého odhadu nepřevyšují chybu, již jsou údaje o rychlosti větru zatíženy.

Výsledkem popsaného třídění jsou tabulky 4 a 5. Tento typ tabulek, nazývaný v matematické statistice kontingenční (tetrachorická) tabulka  $2 \times 2$ , umožňuje statisticky testovat významnost závislosti sledovaných kvalitativních znaků — vzestupu či poklesu koncentrace  $\text{SO}_2$  na vzestupu či poklesu rychlosti větru (20).

Na základě výsledků testu  $\chi^2$  (chí — kvadrát) pro tabulku  $2 \times 2$ , který byl aplikován na poslední oddíly tabulek 4 a 5 („Součty XII 63 — II 65“), byly udělány tyto závěry :

1. U fází denního cyklu koncentrace  $\text{SO}_2$  dopolední pokles a večerní vzestup zamítáme nulovou hypotézou o neexistenci vztahu mezi vzestupem či poklesem rychlosti větru a zvyšováním či snižováním koncentrace  $\text{SO}_2$  a považujeme existenci závislosti mezi jmenovanými znaky za prokázanou. Tato závislost je vysoce významná — na hladině  $p = 0,005$ .

2. U fází ranní vzestup a noční pokles nezamítáme nulovou hypotézu o nezávislosti a konstatujeme, že závislost mezi sledovanými znaky nebyla statisticky prokázána. (Byla zvolena hladina významnosti 5 %.)

Nezávislost mezi vzestupem či poklesem koncentrace  $\text{SO}_2$  na jedné straně a rychlosti větru na druhé straně ve dvou fázích denního cyklu koncentrace  $\text{SO}_2$  je možno hypoteticky vysvětlit tím, že ranní růst emise  $\text{SO}_2$  a její přerušování nebo velký pokles v noci jsou v těchto částech dne činiteli, které zatlačují do pozadí meteorologické vlivy na velikost koncentrace  $\text{SO}_2$  v přízemní vrstvě ovzduší.

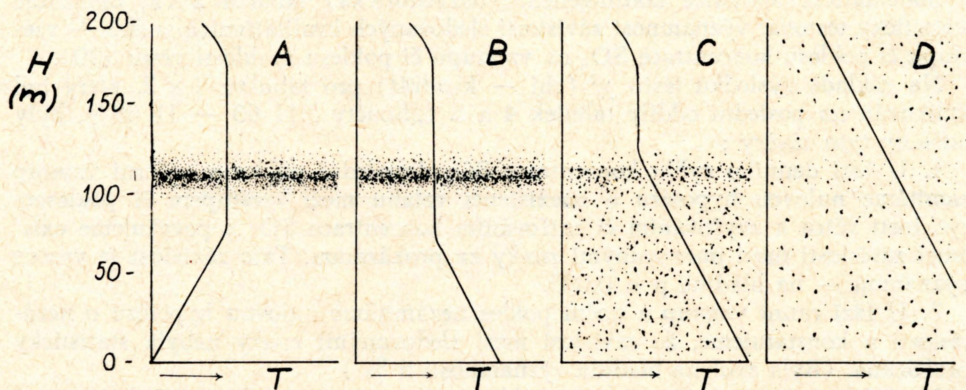
## 6. Příčiny denního režimu koncentrace $\text{SO}_2$

Ranní vzestup koncentrace  $\text{SO}_2$  je ze všech fází denního režimu znečištění ovzduší  $\text{SO}_2$  nejvýraznější. Je zřetelně vyjádřen i v létě, kdy je denní režim koncentrace  $\text{SO}_2$  nejméně výrazný. Z tab. 4 a 5 je možno usuzovat, že rychlost větru nepatří k důležitým příčinám výskytu ranního vzestupu koncentrace  $\text{SO}_2$ , protože s výjimkou podzimu byl počet PSK a PKK se stoupající rychlostí větru téměř stejný, jako počet PSK a PKK s klesající rychlostí větru. V zimě 1964—1965 bylo dokonce téměř dvakrát více PSK se stoupající rychlostí větru, než PSK s klesající rychlostí větru.

Ranní maximum znečištění ovzduší je známo z mnoha míst světa. Práce o tom publikovali např. Böer (2), Böhm (3), Garnett (5), Garnett (6), Hašek (8), Halliday (7), Munn a Katz (15), Podzimek (18), Sládek (21). Jeho vznik bývá často vysvětlován Hewsonovým mechanismem „fumigation“ (zadýmování). Schema vzniku zadýmování je znázorněno na obr. 2. Kouř, který se v období s inverzním teplotním zvrstvením, a tedy s potlačenou vertikální výměnou v inverzní vrstvě nahromadil v úrovni ústí komínů, se při rozrušování inverze odspodu, což je obvyklé například po východu slunce, náhle a v málo zředěném stavu dostává do blízkosti zemského povrchu.

Vliv zadýmování na ranní vzestup koncentrace  $\text{SO}_2$  v Praze není možno objektivně zjistit pro nedostatek měření vertikálního teplotního gradientu. Domnívám se však, že zadýmování není hlavní příčinou ranního vzestupu koncentrace  $\text{SO}_2$  na daném místě měření, a to jednak pro časný začátek této fáze denního režimu koncentrace  $\text{SO}_2$ , jednak proto, že zjištěný proces vzestupu koncentrace  $\text{SO}_2$  trvá několik hodin, kdežto u zadýmování by šlo velmi pravděpodobně o krátkodobý náraz koncentrace  $\text{SO}_2$ , trvající nejvýše několik desítek minut. Zdá se, že nej-

schůdnějším vysvětlením ranního vzestupu koncentrace  $\text{SO}_2$  je v našem případě ranní vzestup emise  $\text{SO}_2$ , k němuž jako druhotná příčina v závěrečné fázi ranního vzestupu koncentrace  $\text{SO}_2$  přistupuje i proces zadýmování.



2. Vývoj procesu „zadýmování“. Osa pořadnic — výška nad zemským povrchem, osa úseček — teplota vzduchu, křivky — změna teploty vzduchu s výškou.
- V noci se vytvořilo v přízemní vrstvě ovzduší stabilní teplotní zvrstvení. Vertikální výměna je potlačena, kouř setrvává v hladině ústí komínů.
  - V době kolem východu slunce se začíná vzduch při zemském povrchu oteplovat, přízemní vrstva se labilisuje.
  - Horní hranice labilní vrstvy dosáhla hladiny, v níž jsou koncentrovány exhalace. V labilní vrstvě dochází k vertikálním pohybům vzduchu, sestupné proudy zanášejí kouř k zemi, kde krátkodobě prudce vzrůstá obsah příměsí v ovzduší. Přízemní koncentrace škodlivin může dosáhnout vysokých hodnot zejména, pokračuje-li intenzivní vypouštění kouře do prostoru mezi zemí a horní hranicí labilní vrstvy ovzduší.
  - Vlivem pokračujícího ohřívání přízemní vrstvy vzduchu se spodní hranice stabilní vrstvy dále zvyšuje, exhalace jsou rozptýlovány ve stále větším objemu vzduchu a přízemní koncentrace škodlivin klesá.

Pro další fázi denního režimu koncentrace  $\text{SO}_2$ , dopolední pokles, je ve všech ročních dobách typické snižování koncentrace  $\text{SO}_2$  za současného zvyšování rychlosti větru — názorně to ukazují tab. 4 a 5. Možným vysvětlením této fáze je společný vliv rostoucí lability ovzduší a rychlosti větru. To, že u period, kdy rychlost větru klesala, není převaha PSK, nýbrž mírná převaha PKK, může být následkem vzrůstu lability ovzduší, který nebyl spojen s růstem rychlosti větru. (V typickém případě právě labilita ovzduší napomáhá přenosu rychlosti větru z větších výšek do přízemní vrstvy atmosféry).

Pro domněnku, že dopolední pokles koncentrace  $\text{SO}_2$  je způsobován v podstatě meteorologickými faktory, nikoli změnami emise  $\text{SO}_2$  do ovzduší, svědčí i časové vymezení této fáze v různých ročních dobách, zejména časový posun začátku fáze během roku, který pravděpodobně není bez souvislosti s výměnou tepla mezi zemským povrchem a ovzduším.

Při večerním vzestupu koncentrace  $\text{SO}_2$ , jak ukazují tab. 4 a 5, výrazně převažuje opačný pochod, než při dopoledním poklesu koncentrace  $\text{SO}_2$ : vzestup koncentrace  $\text{SO}_2$  při současném poklesu rychlosti větru. Vliv na snížení intenzity

turbulentní difúze má zřejmě i vzrůst stability ovzduší v této denní době. Slabé vyjádření večerního vzestupu koncentrace  $\text{SO}_2$  v létě by mohlo být důsledkem nepoužívání domácích topenišť, jejichž aktivita zřejmě podléhá mnohem větší sezónní proměnlivosti, než aktivita průmyslových zdrojů emise  $\text{SO}_2$ .

V některých pracích je jako možná příčina večerního vzestupu koncentrace  $\text{SO}_2$  uváděn proces zadýmování, podobně jako u ranního vzestupu koncentrace  $\text{SO}_2$ . Rozpad stabilní vrstvy je v tomto případě někdy přičítán vlivu umělých zdrojů tepla ve městě, zejména topenišť v chladné části roku. Nejčastěji je však pokládán za důsledek vzniku ostrova teplého vzduchu ve velkoměstě pod vlivem ohřívání vzduchu teplem, jež stěny budov a jiné předměty na zemském povrchu akumulovaly ve dne. Tento vliv bývá zesilován skleníkovým efektem městských aerosolů. Vysvětlení večerního vzestupu koncentrace  $\text{SO}_2$  mechanismem zadýmování se však na našem stanovišti zdá nepravděpodobné pro příliš časný výskyt této fáze denního režimu koncentrace  $\text{SO}_2$ .

Podobně jako večerní vzestup je i noční pokles koncentrace  $\text{SO}_2$  v létě málo výrazný. Jak ukazují tabulky 4 a 5, dochází k nočnímu poklesu koncentrace  $\text{SO}_2$  nezávisle na tom, zda rychlost větru stoupá nebo klesá. Jako přijatelné vysvětlení této fáze denního režimu koncentrace  $\text{SO}_2$  se jeví pokles emise  $\text{SO}_2$ . Zvyšování stability ovzduší, obvyklé v době výskytu nočního poklesu koncentrace  $\text{SO}_2$ , brání exhalacím z vysokých komínů, aby pronikly do blízkosti zemského povrchu, avšak na druhé straně má potlačení vertikální výměny v ovzduší za následek setrvávání exhalací z nízkých zdrojů u země. Z hlediska čistoty ovzduší měst se stabilní teplotní profil pokládá všeobecně za nepříznivou okolnost.

V období mezi nočním poklesem a ranním vzestupem koncentrace  $\text{SO}_2$  není vzestupná ani sestupná tendence koncentrace  $\text{SO}_2$  natolik zřetelná, aby to opravňovalo mluvit o nějaké další fázi denního režimu koncentrace  $\text{SO}_2$ . Při pozorném prostudování tabulky 2 je však možno si všimnout, že v tomto období tvoří četnosti konců PSK a začátků PKK „špičku“, která je sice méně výrazná než ranní a večerní maxima, ale přesto zřetelná — zejména na podzim a na jaře, — v náznaku i v zimě. Současně s maximem četnosti začátků PKK a konců PSK se však vyskytují poměrně vysoké četnosti opačných jevů — konců PKK a začátků PSK. Jsou tedy časté případy, kdy se třetí, noční maximum koncentrace nevyskytne a koncentrace setrvává přibližně na stejné výši nebo dokonce v dané době dosáhne svého minima.

Zdá se, že případy výskytu nočního maxima koncentrace  $\text{SO}_2$  by mohly být spojeny se zadýmáním, způsobeným oteplováním vzduchu od předmětů na zemském povrchu spíše, než večerní vzestup koncentrace  $\text{SO}_2$ .

Výskyt třetí denní „špičky“ koncentrace  $\text{SO}_2$  v nočních hodinách nebyl, pokud je mi známo, kromě Prahy nikde zjištěn.

## 7. Vliv rychlosti a směru větru na koncentraci $\text{SO}_2$

Korelační koeficienty v tabulce 6 ukazují záporný vztah mezi obsahem  $\text{SO}_2$  v ovzduší a rychlostí větru ve všech měsících roku. Velikost korelačních koeficientů je však nižší, než by bylo možno očekávat podle výsledků z jiných míst (srovnej například Leone et al., 12) a svědčí o malé těsnosti vztahu mezi koncentrací  $\text{SO}_2$  a rychlostí větru. Na rozdíl od výsledků uvedených v citované práci nevykazuje korelace mezi rychlostí větru a koncentrací  $\text{SO}_2$  plynulý roční chod, i když korelační koeficienty jsou v chladných měsících většinou vyšší než v měsících teplé části roku. Zajímavé je, že korelační koeficienty vypočítané z hodinových hodnot

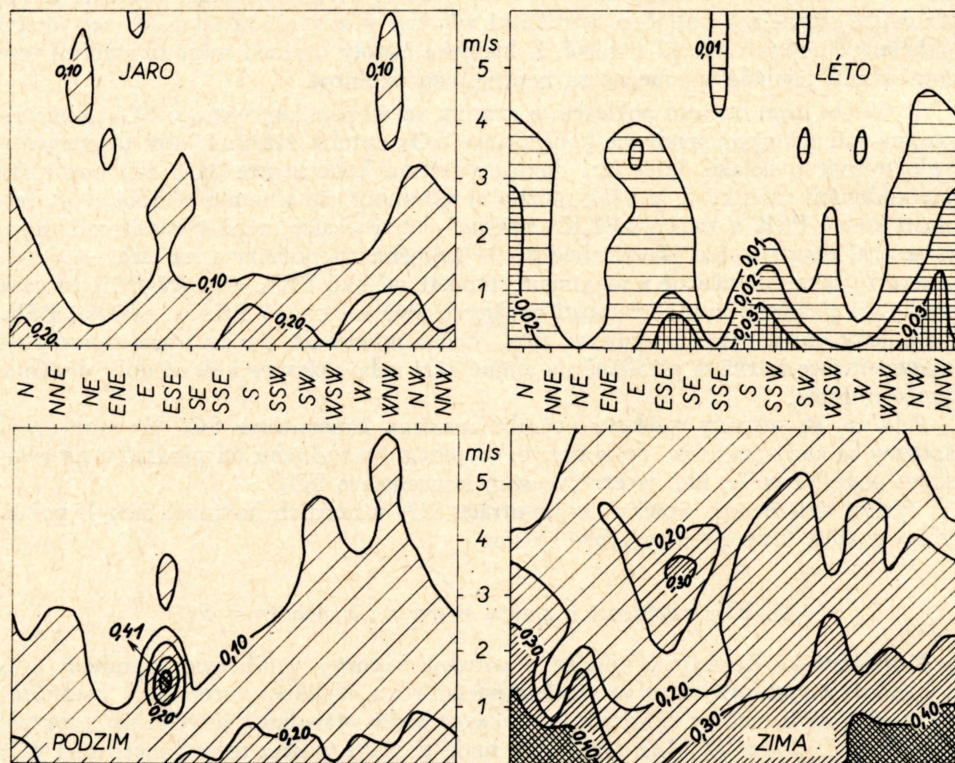


jsou většinou menší, než korelační koeficienty vypočítané z denních průměrů koncentrace  $\text{SO}_2$  a rychlosti větru. (Respektive to platí o absolutních hodnotách korelačních koeficientů.)

Představu o tom, jak se mění koncentrace  $\text{SO}_2$  s rychlostí větru je možno si udělat z tabulek 7 a 8. Hodnoty uvedené v tab. 7 jsou průměrné koncentrace  $\text{SO}_2$ , odpovídající příslušnému intervalu rychlosti větru.

Je-li průměrná koncentrace  $\text{SO}_2$ , která odpovídá intervalům rychlosti větru, vyjádřena v procentech koncentrace  $\text{SO}_2$  při nejnižším intervalu rychlosti větru, je vidět, že rychlost poklesu koncentrace  $\text{SO}_2$  s rostoucí rychlostí větru se v zimě, na jaře a na podzim liší velmi málo, kdežto v létě je poněkud vyšší než v ostatních ročních dobách. Z tab. 7 je vidět, že pokles koncentrace  $\text{SO}_2$  se zvyšováním rychlosti větru je v oboru rychlostí pod cca 2 m/s mnohem prudší, než při rychlostech vyšších než cca 2 m/s. Možným vysvětlením tohoto jevu by bylo, že pro nízké rychlosti větru jsou charakteristické jiné poměry stability v přízemní vrstvě ovzduší, než pro vyšší rychlosti větru.

Závislost koncentrace  $\text{SO}_2$  na rychlosti a směru větru znázorňují izoplety na obr. 3. Izoplety byly získány lineární interpolací mezi aritmetickými průměry koncentrace, odpovídajícími třídám rychlosti větru 0,1–1,0 m/s, 1,1–2,0 m/s atd. pro každý ze šestnácti směrů větru.



3. Isoplety koncentrace  $\text{SO}_2$  v závislosti na rychlosti a směru větru. Jaro — III, IV, V 1964, léto — VI, VII, VIII 1964, podzim — IX, X, XI 1964, zima — XII 1963, I, II 1964. (Kreslil I. Sládek.)

Tab. 6. — Korelační koeficienty pro rychlost větru (všechny směry) a koncentraci SO<sub>2</sub>

Prosinec Leden Únor Březen Duben	1963 1964 1964 1964 1964	Květen			Říjen			1964		
		—0,45**/—0,59** —0,11**/—0,58** —0,15**/—0,21 —0,41**/—0,58** —0,34**/—0,14	1964 1964 1964 1964 1964	Květen Červen Červenec Srpen Září	—0,30**/—0,49** —0,28**/0,01 —0,25**/0,34 —0,02/ + —0,36**/—0,73**	Říjen Listopad Prosinec Leden Únor	1964 1964 1964 1965 1965	—0,36**/—0,39* —0,16**/—0,41* —0,20**/ —0,30**/ —0,28**/		

Před zlomkovou čarou — korelační koeficient vypočtený z hodinových průměrů koncentrace SO<sub>2</sub> a rychlosti větru, za zlomkovou čarou — korelační koeficient vypočtený z denních průměrů koncentrace SO<sub>2</sub> a rychlosti větru.

\*\* Vztah rychlosti větru a koncentrace SO<sub>2</sub> významný na hladině  $p = 0,01$ .

\* Vztah rychlosti větru a koncentrace SO<sub>2</sub> významný na hladině  $p = 0,05$ .

+ Denní průměr koncentrace SO<sub>2</sub> ve třech případech = 0,01 mg/m<sup>3</sup>, jinak = 0,00 mg/m<sup>3</sup>

Tab. 7. Vztah koncentrace SO<sub>2</sub> a rychlosti větru (všechny směry větru, XII 1963 — XI 1964)

Rychlost větru (hod. průměr)	III, IV, V		IV, VII, VIII		IX, X, XI		XII, I, II		Rok	
	mg/m <sup>3</sup>	%	mg/m <sup>3</sup>	%	mg/m <sup>3</sup>	%	mg/m <sup>3</sup>	%	mg/m <sup>3</sup>	%
0,0—1,0 m/s	0,17	100	0,02	100	0,18	100	0,37	100	0,19	100
1,1—2,0 m/s	0,11	65	0,01	50	0,13	72	0,25	68	0,12	63
2,1—3,0 m/s	0,09	53	0,01	50	0,12	67	0,24	65	0,11	58
3,1—4,0 m/s	0,08	47	0,01	50	0,11	61	0,21	57	0,10	53
4,1—5,0 m/s	0,07	41	0,00	0	0,09	50	0,19	51	0,10	53
5,1 a více m/s	0,05	29	0,00	0	0,09	50	0,14	38	0,08	42

Tab. 8. Absolutní maxima koncentrace SO<sub>2</sub> (hodinové průměry v mg/100 m<sup>3</sup>, všechny směry větru) v závislosti na rychlosti větru

Rychlost větru (m/sec)	0,0—0,6	0,7—1,2	1,3—1,8	1,9—2,4	2,5—3,0	3,1—3,6	3,7—4,2	4,3—4,8	4,9—
Leden 64, 65	88	73	65	64	58	40	39	33	33
Únor 64, 65	79	64	68	83	63	53	40	38	33
Březen 64	103	83	49	43	33	30	23	20	19
Duben 64	53	48	43	33	33	29	24	29	19
Květen 64	30	20	20	18	17	14	17	14	8
Červen 64	17	11	40*)	60*)	10	12	3	3	1
Červenec 64	26	24	7	13	3	4	5	1	3
Srpen 64	3	4	3	2	5	4	6	0	0
Září 64	45	28	23	15	15	10	10	10	10
Říjen 64	58	43	33	28	28	29	23	20	20
Listopad 64	73	58	43	44	39	38	38	23	28
Prosinec 63, 64	113	93	88	63	43	38	34	23	23
Rok (XII 63-II 65)	113	93	88	83	63	53	40	38	33

\*) Vitr od blízké teplárny Vinohradské nemocnice



Obr. 3 ukazuje, jak různě se u jednotlivých směrů větru mění koncentrace  $\text{SO}_2$  se změnou rychlosti větru. U těchže směrů, u nichž se při nízkých rychlostech větru vyskytují relativně vysoké hodnoty koncentrace  $\text{SO}_2$ , jsou často při vyšších rychlostech větru naopak nižší koncentrace  $\text{SO}_2$  než u ostatních směrů větru.

Na obr. 3 je možno u některých směrů, zejména u ESE, sledovat jev, který je v rozporu s převládající tendencí: zvyšování koncentrace  $\text{SO}_2$  se vzrůstem rychlosti větru. Vzrůst koncentrace  $\text{SO}_2$  se zvyšováním rychlosti větru při směru ESE — a vlivem fluktuace směru větru i u sousedních směrů — zřejmě souvisí s exhalacemi komína teplárny Vinohradské nemocnice, vzdáleného asi 0,5 km v azimutu  $100^0$  od místa měření koncentrace  $\text{SO}_2$ . Při nízkých rychlostech větru kouřová vlnka tohoto zdroje stoupá do velkých výšek a neovlivňuje přízemní koncentraci  $\text{SO}_2$  na observatoři Ústavu hygieny. Naproti tomu při vyšších rychlostech větru je kouř srážen k zemi a způsobuje na observatoři výskyt vysokých hodnot koncentrace  $\text{SO}_2$ .

Jak je vidět z tab. 9, jsou nejvyšší průměrné koncentrace  $\text{SO}_2$  při směrech větru WNW, NW, NNW, N, NNE, NE a S a SSW, zatímco u směrů ENE, E, ESE a SE jsou poměrně nízké.

Naměřené koncentrace  $\text{SO}_2$  nelze jednoznačně pokládat za následek činnosti zdrojů emise  $\text{SO}_2$ , který leží v sektoru odpovídajícím zjištěnému směru větru. Přítomnost  $\text{SO}_2$  v ovzduší nezávisí na směru větru na místě měření koncentrace  $\text{SO}_2$ , nýbrž na trajektoriích kouře, které se od tohoto směru mohou značně lišit — zejména při nízkých rychlostech větru.

Tab. 9. Průměrná koncentrace  $\text{SO}_2$  ( $\text{mg}/100 \text{ m}^3$ ) pro jednotlivé směry větru (XII 1963 — XI 1964)

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
III, IV, V	18	13	9	8	9	8	11	10
VI, VII, VIII	2	1	1	1	1	2	2	1
IX, X, XI	16	11	11	9	11	9	13	11
XII, I, II	41	42	39	20	21	22	23	25
	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
III, IV, V	20	17	14	8	12	13	17	15
VI, VII, VIII	3	2	1	1	1	1	2	3
IX, X, XI	18	17	15	13	14	15	19	18
XII, I, II	36	33	29	24	27	36	38	40

Přesto hodnoty průměrných koncentrací  $\text{SO}_2$  při jednotlivých směrech větru, které jsou uvedeny v tab. 9, zřejmě nejsou bez souvislosti s rozmístěním zdrojů emise  $\text{SO}_2$ . Tuto tezi potvrdí porovnání tab. 9 s nějakou mapou rozmístění průmyslu v Praze. Vysoké hodnoty koncentrace  $\text{SO}_2$  při směrech větru se severní komponentou proudění odpovídají tomu, že v severovýchodní části Prahy a v Holešovicích (elektrárna) jsou soustředěny největší průmyslové zdroje kouře v Praze.

Relativně nízké průměrné koncentrace  $\text{SO}_2$  při směrech větru východního kvadrantu lze vysvětlit polohou místa měření blízko východního okraje Prahy.

Vysoké koncentrace  $\text{SO}_2$  při směrech větru S a SSW nemusí být způsobovány exhalacemi Michelské plynárny, jejíž komín (200 m, nejvyšší v Praze) je od místa měření vzdálen 2 200 m pod azimutem  $187^0$ , přestože jde o mohutný a v sektoru S—SSW dominantní zdroj  $\text{SO}_2$ . Vysoké koncentrace  $\text{SO}_2$  při směrech větru S a SSW byly totiž naměřeny převážně za velmi nízkých rychlostí větru, tj. za podmínek, kdy zdroje typu Michelské plynárny s velkou tzv. efektivní výškou komína zpravidla nezpůsobují vysoké přízemní koncentrace škodlivin. Při směrech větru S a SSW se na místo měření může dostávat  $\text{SO}_2$  z málo vydatných, ale četných a nízkých zdrojů v údolí Botiče. Vysoké koncentrace  $\text{SO}_2$  při směrech větru S a SSW mohou být také důsledkem potlačení turbulentní difúze při stabilním teplotním zvrstvení, neboť jižní proudění je často spojeno s advekcí teplých a tudíž stabilních vzduchových hodnot.

Při směrech západního kvadrantu nedosahují průměrné koncentrace  $\text{SO}_2$  té výše, jako u směrů severního a jižního kvadrantu, přestože na západ od observatoře se rozkládá jádro Prahy s velkým množstvím zdrojů  $\text{SO}_2$  nejrůznějších druhů. To patrně souvisí s tím, že vítr vanoucí ze západního kvadrantu má vzhledem k ostatním směrům větru v průměru podstatně vyšší rychlosti než vítr ostatních směrů, a tedy i intenzita rozptylování  $\text{SO}_2$  při větrech západního kvadrantu je obvykle vyšší než při ostatních směrech. Avšak, jak ukazuje obr. 3, ani při nízkých rychlostech větru nebývá koncentrace  $\text{SO}_2$  při proudění vzduchu od středu Prahy vyšší než při větru od průmyslových Vysočan.

## 8. Závěr

Denní režim koncentrace  $\text{SO}_2$  na meteorologické observatoři Ústavu hygieny v Praze (XII 1963 — II 1965) je v této práci studován pomocí period stoupající koncentrace  $\text{SO}_2$  (PSK) a period klesající koncentrace  $\text{SO}_2$  (PKK). Za PSK (PKK) je považováno období, v němž nejméně tři časově za sebou následující hodinové průměry koncentrace  $\text{SO}_2$  tvoří stoupající (klesající) řadu. Počátek a konec obou druhů period je konvenčně kladen do 30. minuty hodin, jejichž průměry koncentrace  $\text{SO}_2$  jsou prvním a posledním členem této řady.

Denní chod koncentrace  $\text{SO}_2$  na daném místě je ve všech ročních dobách podobný známému schématu denního chodu koncentrace příměsí v ovzduší s ranním a večerním maximem. Ve všech meteorologických čtvrtletích jsou výrazně vyjádřeny čtyři fáze denního cyklu koncentrace  $\text{SO}_2$ : ranní vzestup, dopolední pokles, večerní vzestup a noční pokles. Typické trvání těchto fází na daném stanovišti je vymezeno v tabulce 3.

Aby mohla být sledována úloha rychlosti větru při utváření fází denního režimu koncentrace  $\text{SO}_2$ , byly PSK a PKK, jejichž celá délka trvání nebo její převážná část připadá na typickou dobu trvání jednotlivých fází, vymezenou v tabulce 3, rozděleny do dvou skupin. Jednu skupinu tvoří PSK a PKK s klesající rychlostí větru (průměrná rychlost větru v první polovině period vyšší nejméně o 0,5 m/s než ve druhé polovině). Druhou skupinu tvoří PSK a PKK se stoupající rychlostí větru (průměrná rychlost v první polovině nejméně o 0,5 m/s nižší, než ve druhé polovině). Potom byla odděleně pro každou ze čtyř hlavních fází koncentrace  $\text{SO}_2$  statisticky studována závislost mezi zvyšováním či snižováním koncentrace  $\text{SO}_2$  a stoupáním či klesáním rychlosti větru.

Ve dvou fázích denního cyklu koncentrace  $\text{SO}_2$  — ranní vzestup a noční pokles — nebyla prokázána existence závislosti mezi změnou koncentrace  $\text{SO}_2$  a změnou

rychlosti větru. Ve zbývajících dvou fázích denního cyklu koncentrace  $\text{SO}_2$  — do polední pokles a večerní vzestup — je tato závislost statisticky vysoce významná. Nezávislost změny koncentrace  $\text{SO}_2$  na změně rychlosti větru ve fázích ranní vzestup a noční pokles je vysvětlována tím, že ranní vzrůst a noční pokles emise  $\text{SO}_2$  do ovzduší zatlačují do pozadí vliv meteorologických činitelů na obsah  $\text{SO}_2$  v atmosféře.

Jednotlivé fáze denního režimu koncentrace  $\text{SO}_2$  autor hypoteticky vysvětluje takto: ranní vzestup koncentrace  $\text{SO}_2$  je způsobován převážně vzestupem emise  $\text{SO}_2$ , k němuž jako druhotná příčina přistupuje Hewsonovo „fumigation“ (zadýmání); dopolední pokles souvisí se zvyšováním labilitvy ovzduší a rychlosti větru, kdežto večerní vzestup s opačnými pochody; noční pokles odpovídá poklesu emise  $\text{SO}_2$ . Mezi nočním poklesem a ranním vzestupem koncentrace se někdy vyskytuje třetí, málo výrazné maximum koncentrace  $\text{SO}_2$ . Jeho možnou příčinou je zadýmání, vyvolané tím, že předměty na zemském povrchu předávají přilehlé vrstvě vzduchu teplo, které akumulovaly během dne.

Bylo zjištěno, že mezi koncentrací  $\text{SO}_2$  a rychlostí větru existuje ve všech měsících roku kromě srpna statisticky významná záporná korelace. Vztah mezi rychlostí větru a koncentrací  $\text{SO}_2$  je však různý při různých směrech větru. Při některých směrech větru se dokonce v průměru projevuje vzestup koncentrace  $\text{SO}_2$  se stoupající rychlostí větru, což je vysvětlováno vlivem blízké teplárny. V průměru všech směrů je změna koncentrace  $\text{SO}_2$ , která odpovídá jednotkové změně rychlosti větru, podstatně větší v oboru rychlostí 0,1–2,0 m/s než v oboru rychlostí větru vyšších než 2 m/s.

Větry vanoucí od průmyslových částí Prahy jsou spojeny s vyššími koncentracemi  $\text{SO}_2$ , než větry vanoucí od obytných čtvrtí včetně centra města, a to i v zimě při intenzivním používání domácích topenišť.

#### Literatura

1. ANÝŽ F.: Měření koncentrace polévatého prachu v okolí Mostu a jeho význam v meteorologii. Meteorologické zprávy 18, 1965, 1:9–14.
2. BÖER W.: Techničeskaja meteorologia. GIMIZ, Leningrad, 1966, 290 s.
3. BÖHM B.: Co může meteorologie dnes říci k šíření exhalací z komínů. Československá hygiena 9, 1964, 2: 111–120.
4. DETRIE J.: Essai d'une cartographie des émissions de polluants par les foyers fixes dans le département de la Seine. Pollution atmosphérique, 1967, 1.
5. GARNETT A.: Atmospheric Pollution: Geographical Factors. In: Air Pollution (Edited by Thring, M. W.). London, 1957. 248 s.
6. GARNETT A.: Some Climatological Problems in Urban Geography with Reference to Air Pollution. Transactions and Papers (Edited by Institute of British Geographers), 1967, 42: 21–43.
7. HALLIDAY E. C.: The Effect of Sunrise and Sunset on the Concentration of Atmospheric Pollutants. Air and Water Pollution International Journal, 1964, 1: 43–47.
8. HAŠEK M.: Čistota ovzduší. Práce, Praha 1968, 180 s.
9. JUTZE G. A., TABOR, E. C.: The Continuous Air Monitoring Program. Journal of Air Pollution Control Association 13, 1963: 278–280.
10. LARSEN R. J. ET AL.: Analyzing Air Pollutant Concentration and Dossage Data. Journal of Air Pollution Control Association, 17, 1967, 2: 50–62.
11. LEIGHTON P. A.: Geographical Aspects of Air Pollution. The Geographical Rewiew 56, 1966, 2: 151–189.
12. LEONE I. A. ET AL.: The Role of Wind Parameters in Determining  $\text{SO}_2$  Concentrations in Carlstadt, New Jersey. Air and Water Pollution International Journal 10, 1966, 2: 113–124.
13. MAGILL ET AL.: Air Pollution Handbook. New York 1956, 106 s.

14. MARSH K. J., FOSTER M. D.: An Experimental Study of the Dispersion of the Emissions from Chimney in Reading — I: The Study of Long-term Average Concentrations of Sulphur Dioxide. *Atmospheric Environment* 1, 1967, 5:527—559.
15. MUNN R. E., KATZ M.: Daily and Seasonal Pollution Cycles in the Detroit — Windsor Area. *International Journal of Air Pollution* 2, 1959, 1: 51—76.
16. NOVÁK J. V. A.: Polarograficko-coulometrické analyzátoři na stopové koncentrace SO<sub>2</sub>. In: Mezinárodní symposium o zneškodňování a využívání SO<sub>2</sub> a popílků ze spalín velkých tepelných elektráren — Liblice 1965. SKT Praha 1966, 534 s.
17. ORIEUX M. A., POUGET M. E.: La pollution atmosphérique à Marseille. Influence des vents dominants. *Pollution atmosphérique*, 1966, 32.
18. PODZIMEK J.: Denní a roční chod koncentrací kondenzačních jader. In: *Fyzika oblaků a srážek*. NČSAV, Praha 1959, 476 s.
19. PODZIMEK J.: Meteorologické, fyzikální a chemické základy vzniku mlh v průmyslových oblastech. *Věstník ČSAV*, 1964, 2: 291—292.
20. REISENAUER R.: *Metody matematické statistiky*. SNTL, Praha 1965, 208 s.
21. SLÁDEK I.: Příspěvek k poznání denního režimu znečištění ovzduší SO<sub>2</sub> v Praze. *Meteorologické zprávy* 20, 1967, 3/4: 99—101.
22. SPURNÝ K.: Dispersion of Industrial Aerosols in the Prague Atmosphere. *Journal of Hygiene, Epidemiology, Microbiology and Immunology* 5, 1961, 3: 373—384.
23. SPURNÝ K.: Chemické složení pevných průmyslových aerosolů v ovzduší Prahy. *Československá hygiena* 7, 1962, 7: 430—434.
24. SUTTON O. G.: *Micrometeorology*. London 1953, 334 s.
25. UBL Z.: Složení srážkových vod v závislosti na znečištění ovzduší. In: III. celostátní bioklimatologická konference v Praze 4. — 7. 10. 1961, Sborník dokumentů. NČSAV, Praha 1963.
26. UBL Z.: Chemické složení atmosferických srážek a čistota ovzduší. *Československá hygiena* 11, 1966, 9: 555—561.
27. VOTRUBEC C.: Praha — zeměpis velkoměsta. SPN, Praha 1965, 241 s.