

IVAN SLÁDEK

S

## KLIMATICKÉ ASPEKTY ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ

**Abstract:** CLIMATOLOGICAL ASPECTS OF AIR POLLUTION. This paper gives a short information about the behaviour of chimney plumes, seasonal, daily and weekly cycles of air pollution and about vertical and horizontal distribution of air polluting materials. It deals with relationships between these phenomena on the one side and weather and climatic conditions (and partially properties of sources of emission and other factors, too) on the other. Some more facts relating to these topics can be found in the paper Effect of Meteorological Factors on Air Pollution in some of following issues of this journal.

## 1. Úvod

Československo je jedním z prvních států, v nichž je všestranná ochrana přírody zakotvena přímo v ústavě (Ústava ČSSR, čl. 15, odst. 2). Máme také několik zákonů na ochranu čistoty ovzduší, které vzbuzují pozornost a uznání zahraničních odborníků. Bohužel však všeobecně známá fakta o znečištění ovzduší v některých oblastech našeho státu svědčí o tom, že tato legislativní opatření sama o sobě nestačí zajistit žádoucí stupeň čistoty ovzduší. V emisi některých škodlivin do ovzduší, přepočtené na jednotku plochy území nebo na jednoho obyvatele jsme dokonce dosáhli světového prvenství.<sup>1</sup>

Mnohokrát bylo obsáhle zdůvodněno, že problematika znečištění ovzduší u nás si naléhavě vyžaduje bezodkladného řešení. Povolání autoři, např. Wexler (24), M. E. Berljand (1), F. Pasquill (14), u nás M. Hašek (7), vyzdvihli úlohu, která si při tomto řešení připadá meteorologii a klimatologii. Během posledních desetiletí se tyto obory zapojily do výzkumu otázek znečištění ovzduší i do praxe ochrany čistoty ovzduší do té míry, že v odborné literatuře zdomácněl termín „klimatologie znečištění ovzduší“.

F. Rein definoval klimatologii znečištění ovzduší takto: „Klimatologie znečištění je tou částí meso- nebo mikrometeorologie, která se zabývá dlouhým režimem výskytu příměsí ve spodních vrstvách atmosféry a dlouhodobým režimem meteorologických jevů, podmiňujících znečištění a rozptyl příměsí“. (Citováno podle Munzara [13].)

Znečištění ovzduší věnuje v posledních letech značnou pozornost také Světová meteorologická organizace, která např. v mezinárodním měřítku koordinuje měření tzv. pozadí znečištění ovzduší (background air pollution).

Ponechme stranou otázku, zda klimatologie či meteorologie znečištění ovzduší je autonomní vědní obor nebo oblast aplikace meteorologických a klimatologických poznatků a metod na otázky znečištění. Samotný fakt, že vývoj i současný stav uplatnění meteorologie a klimatologie na poli boje se znečištěním ovzduší takovou otázkou nastoluje, je dokladem závažnosti úlohy, kterou věda o počasí a podnebí může na tomto poli sehrát.

<sup>1</sup>) Srov. např. Spurný [22], Felt [4].

V tomto článku a v článku „Vliv meteorologických činitelů na znečištění ovzduší“, který na něj naváže v některém z následujících čísel Sborníku Čs. společnosti zeměpisné, chci z hlediska geografa — klimatologa stručně popsat současný stav a výsledky studia vlivu meteorologických a klimatických podmínek (a částečně též vlivu dalších faktorů, např. vlastností a rozmístění zdrojů příměsí) na prostorové a časové rozdělení velikosti znečištění atmosféry.

## 2. Šíření exhalací vypouštěných komíny

Rozhodujícím typem zdrojů látek znečišťujících ovzduší je v našich podmínkách tovární komín. U tohoto typu zdrojů je šíření exhalací nejlépe probádáno.

Z komínů vystupují exhalace určitou vertikální rychlostí. Zpravidla jde o exhalace značně teplé — teplota kouřových plynů u běžných kotelen leží většinou v rozmezí 100—250 °C. Rozdíl teploty exhalací a okolního vzduchu je tedy značný. Proto dochází působením Archimédovy síly a také výstupní rychlosti kouře ke vznosu exhalací. Pohyb kouřové vlečky nad komínem je výsledkem skládání dvou pohybů — vertikálního vznosu kouře a horizontálního unášení exhalací větrem.

Kouřová vlečka se nad komínem ohýbá ve směru větru. V určité vzdálenosti od komína se osa kouřové vlečky stává prakticky vodorovnou. Rozdíl nadmořských výšek zemského povrchu u paty komína a bodu, v němž již je možno osu kouřové vlečky považovat za vodorovnou (podle některých autorů, když úhel vzestupu vlečky nepřevyšuje cca 10°) se nazývá efektivní výška komína.<sup>2</sup> Rozdíl efektivní výšky komína a stavební výšky komína se nazývá převýšení kouřové vlečky.

V okamžiku, kdy kouřová vlečka vystoupí do efektivní výšky komína, končí první etapa vývoje kouřové vlečky, v níž se exhalace chovají jako aktivní element a nastává etapa rozptylu pasivních exhalací.

Proudění vzduchu má vírový charakter. V atmosféře existuje široká stupnice velikosti vírových pohybů — od největších, velikosti cyklóny, až po víry o poloměru řádu centimetrů nebo ještě menší. Největší vliv na postupné zvětšování průřezu kouřové vlečky mají víry řádově stejné velikosti, jako šíře vlečky. Velké víry, řádově větší než rozměr vlečky, vyvolávají stáčení vlečky jako celku, ale nepřispívají významně k jejímu rozptylu. Velmi malé víry, řádově menší, než průměr vlečky, vyvolávají pohyby exhalací uvnitř kouřové vlečky a rovněž nezpůsobují její intenzivní rozptyl.

Avšak kouřová vlečka se s rostoucí vzdáleností od komína rozšiřuje. To má za následek, že se při jejím rozptylování neefektivněji uplatňují vírové pohyby stále většího poloměru.

Vzdálenost od komína, v níž se exhalace dostanou do styku se zemským povrchem, závisí na efektivní výšce komína a na poměru horizontální rychlosti větru a rychlosti vertikálních fluktuací proudění a ovšem také na tvaru zemského povrchu. U zemského povrchu je, postupujeme-li od paty komína ve směru větru, takové rozložení koncentrací škodlivin, že se v bezprostřední blízkosti komína škodliviny emitované z tohoto komína (kromě těžkých pevných částic) vůbec nevyskytují, v určité vzdálenosti od komína se začínají objevovat první stopy škodlivin, se vzdáleností od komína koncentrace příměsí vzrůstají a dosahují maxima v našich podmínkách obvykle zhruba ve vzdálenosti desetinásobku až dvacetinásobku stavební výšky komína. Tato vzdálenost bude tím větší, čím

2) O různých definicích pojmu efektivní výšky komína pojednává např. G. H. Strom [23].

méně turbulentní bude proudění vzduchu. Při dalším zvětšování vzdálenosti od komína koncentrace příměsí opět postupně klesají.

Tvar kouřové vlečky a rozložení koncentrací škodlivin v závětrí komína závisí na vlastnostech turbulence. Na obr. 1 jsou znázorněny charakteristické typy tvaru kouřových vleček, odpovídající různým povětrnostním podmínkám.<sup>3</sup>

Vlečka typu looping<sup>4</sup> (přemetání) se vyskytuje při vysokém stupni turbulence, převážně termické. Tento tvar vlečky je tedy příznačný pro dobu s intenzivním ohřevem zemského povrchu nebo s advekcí studeného vzduchu nad relativně teplý povrch. Podobný tvar vlečky může být způsoben také mechanickou turbulencí za překážkami, stojícími v cestě vzdušného proudu před komínem. Jiný druh loopingu se vyskytuje, když vlečka dosahuje negativní vznosné síly, způsobené ochlazením při výparu kapiček vody, obsažených v exhalacích. Scorer (16), (17) ukazuje, že tento druh je důležitý při použití vlhkého procesu odsířování spalín.

Vlečka typu coning (vlnění) odpovídá přibližně neutrálnímu teplotnímu zvrstvení, kdy převládá mechanická turbulence. Vlečka má přibližně kruhový průřez.

Fanning (čeření) je typický pro teplotní inverzi v celé vrstvě, v níž se vlečka šíří. Difúze v horizontálním směru výrazně převažuje nad vertikální difúzí a proto má průřez vlečky tvar plochého oválu s delší osou ve vodorovné poloze.

Vlečka tvaru fumigating (zadýmování) se vyskytuje za podmínek, kdy nad vlečkou je vrstva teplotní inverze, zatímco v prostoru mezi zemí a vyvýšenou inverzí je vertikální teplotní gradient blízký adiabatickému či nadadiabatický. Takové podmínky se vyskytují při rozrušování inverzní vrstvy odspodu, např. po východu Slunce nebo při advekcí inverzně zvrstveného vzduchu nad teplý povrch.

K loftingu vlečky (unášení) dochází za existence labilní vrstvy nad kouřovou vlečkou a stabilní vrstvy při zemi. Exhalace difundují směrem nahoru, zatímco směrem k zemi je difúze potlačena.

Meteorologické podmínky, které mohou vést ke vzniku vysokých přízemních koncentrací škodlivin, emitovaných komíny, jsou zejména:

a) Velmi stabilní teplotní zvrstvení (teplotní inverze). Exhalace vyvýšených zdrojů se hromadí v úrovni efektivní výšky a jen pomalu pronikají nahoru a dolů od této hladiny. Proto k tomu, aby mohlo dojít k vytvoření vysokých přízemních koncentrací škodlivin, je třeba, aby inverze trvala bez přerušení větší počet hodin a aby byla spojena s nízkými rychlostmi větru. Historické katastrofy, způsobené vysokými koncentracemi nečistot, byly spojeny s inverzemi, trvajících několik dnů.

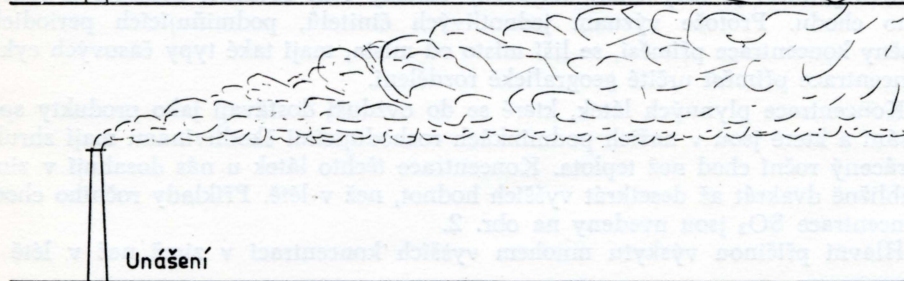
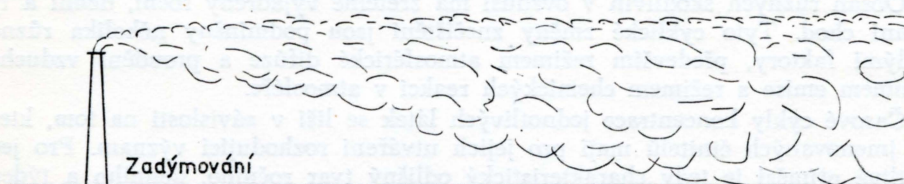
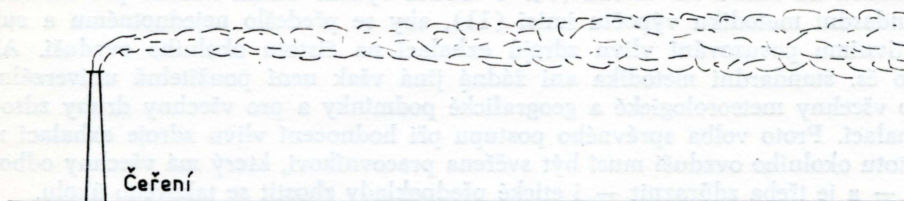
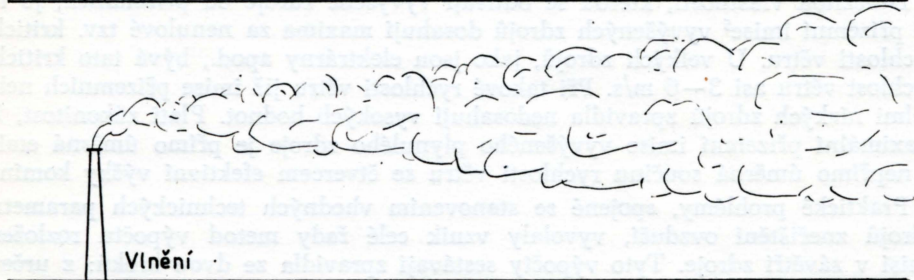
Nebezpečí vzniku vysokých přízemních koncentrací škodlivin za teplotních inverzí rychle klesá s rostoucí výškou komínů. Pro 200 m vysoké komíny elektráren (téměř všechny velké elektrárny, postavené u nás v posledních letech, mají komíny vysoké 200 m) zpravidla teplotní inverze není nebezpečnou situací. To ovšem neplatí o vysokých komínech, v jejichž okolí dosahuje terén nadmořské výšky osy kouřové vlečky nebo ještě větší.

b) Situace zadýmování (fumigation, fumigating) — viz obr. 1. Může hrát významnou úlohu zejména v pobřežních oblastech a ve velkých městech. Tento jev byl poprvé popsán E. W. Hewsonem teprve v r. 1945 (Munn [12]).

c) Situace přemetání (looping). Má za následek krátkodobé nárazy vysokých

<sup>3</sup>) Autora či autory této typizace je dnes obtížné zjistit, protože je často s menšími úpravami, popisována v mnoha pracích bez udání původu. Snad to byl P. E. Church, autor práce Dilution of Waste Stack Gases in the Atmosphere (Ind. Eng. Chem., 1949).

<sup>4</sup>) Anglické názvy typů vleček jsou běžně používány i ve slovanské a jiné neanglické odborné literatuře.



1. Typy kouřových vleček. (Kreslil V. Dlouhý.)

koncentrací škodlivin — alespoň u běžného druhu loopingu, jaký se vyskytuje při labilním zvrstvení a vyšších rychlostech větru. Looping těžkých vleček, o kterém již byla zmínka výše, může působit i dlouhodobější zamoření přízemní vrstvy ovzduší, avšak za odlišných meteorologických podmínek, než za jakých dochází k přemetání u teplých (lehkých) kouřových vleček — za nízkých rychlostí větru a stabilnějšího či stabilního teplotního zvrstvení.

Na výskyt vysokých koncentrací škodlivin, vypouštěných komíny, má vliv také konfigurace terénu, zástavby (aerodynamické vlivy) a vlastnosti exhalací (gravitační spad).

Důležitou vlastností, kterou se odlišují vyvýšené zdroje od přízemních, je to, že přízemní imise<sup>5</sup> vyvýšených zdrojů dosahují maxima za nenulové tzv. kritické rychlosti větru. U velkých zdrojů, jako jsou elektrárny apod., bývá tato kritická rychlost větru asi 3–6 m/s. Při takové rychlosti větru již imise přízemních nebo velmi nízkých zdrojů zpravidla nedosahují vysokých hodnot. Platí zákonitost, že maximální přízemní imise vyvýšeného plynulého zdroje je přímo úměrná emisi a nepřímo úměrná součinu rychlosti větru se čtvercem efektivní výšky komína.

Praktické problémy, spojené se stanovením vhodných technických parametrů zdrojů znečištění ovzduší, vyvolaly vznik celé řady metod výpočtu rozložení imisí v závětrří zdroje. Tyto výpočty sestávají zpravidla ze dvou kroků: z určení efektivní výšky komína a z určení vlastního rozložení imisí. Zájemce o metody výpočtu imisí odkazují na moderní kompendium G. H. Stroma (23), z našich pramenů na knihu M. Haška (7). V ČSSR vydala Státní komise pro techniku standardní metodiku výpočtu imisí (11), aby se předešlo nejednotnému a subjektivnímu posuzování vlivu zdrojů exhalací na čistotu okolního ovzduší. Ani tato čs. standardní metodika ani žádná jiná však není použitelná univerzálně, pro všechny meteorologické a geografické podmínky a pro všechny druhy zdrojů exhalací. Proto volba správného postupu při hodnocení vlivu zdroje exhalací na čistotu okolního ovzduší musí být svěřena pracovníkovi, který má všechny odborné — a je třeba zdůraznit — i etické předpoklady zhostit se takového úkolu.

### 3. Roční, denní a týdenní cykly znečištění ovzduší

Obsah různých škodlivin v ovzduší má zřetelně vyjádřený roční, denní a týdenní chod. Tyto cyklické změny znečištění jsou podmíněny několika různorodými faktory, především režimem atmosférické difúze a proudění vzduchu, režimem emise a režimem chemických reakcí v atmosféře.

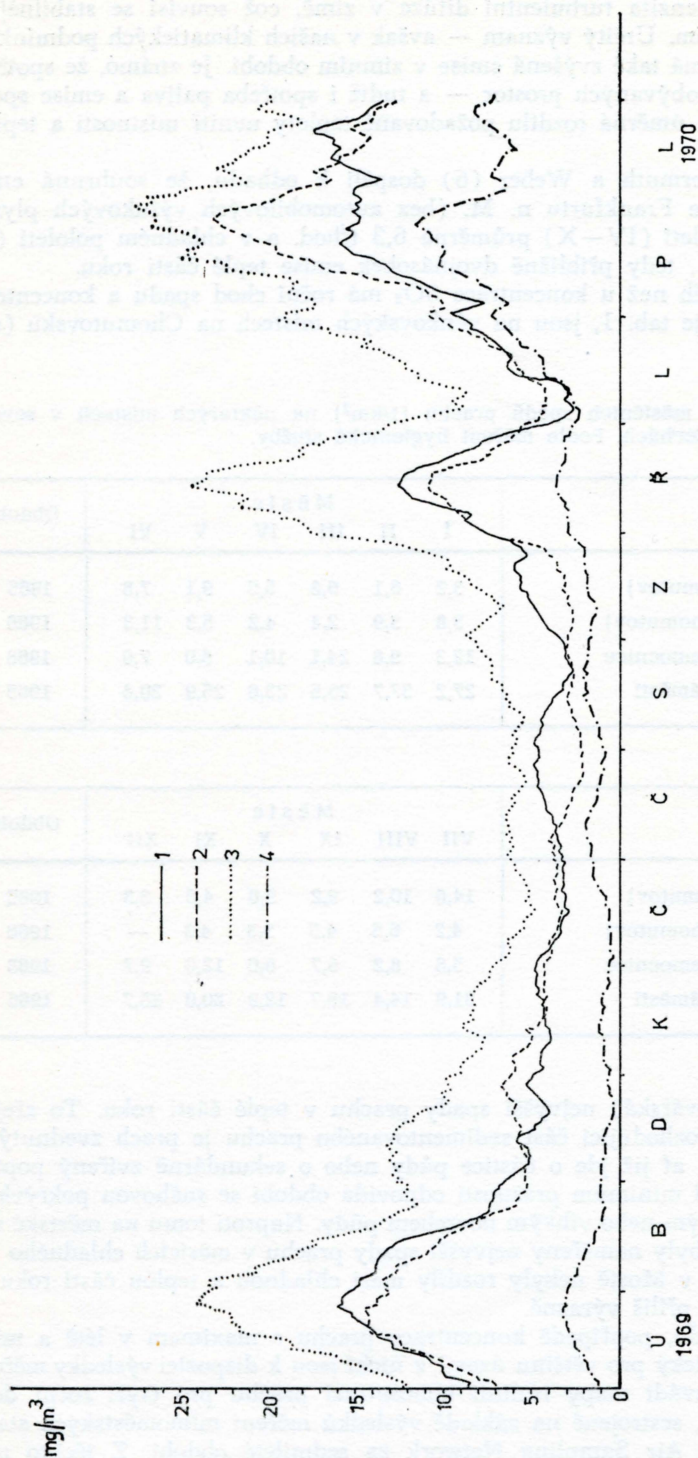
Časové cykly koncentrace jednotlivých látek se liší v závislosti na tom, které ze jmenovaných činitelů mají pro jejich utváření rozhodující význam. Pro jednotlivé příměsi je tedy charakteristický odlišný tvar ročního, denního a týdenního chodu. Protože význam jednotlivých činitelů, podmiňujících periodické změny koncentrace příměsí, se liší místo od místa, mají také typy časových cyklů koncentrace příměsí určité geografické rozdělení.

Koncentrace plyných látek, které se do ovzduší dostávají jako produkty spalování a které jsou v našich podmínkách rozhodujícími škodlivinami mají zhruba obrácený roční chod než teplota. Koncentrace těchto látek u nás dosahují v zimě přibližně dvakrát až desetkrát vyšších hodnot, než v létě. Příklady ročního chodu koncentrace  $\text{SO}_2$  jsou uvedeny na obr. 2.

Hlavní příčinou výskytu mnohem vyšších koncentrací v zimě než v létě je

<sup>5</sup>) Emise — množství příměsí {zpravidla váhové} které je za jednotku času vypouštěno ze zdroje do ovzduší. Imise — koncentrace příměsí v atmosféře.





2. Průběh koncentrace  $\text{SO}_2$  ( $\text{mg/m}^3$ ) v severozápadních Čechách v roce od února 1969 do ledna 1970. Podle měření Hydrometeorologického ústavu. Každá křivka představuje chod denních průměrů koncentrace  $\text{SO}_2$  ze skupiny několika stanic, sřazený prostými 21denními klouzavými průměry. Skupiny stanic, kterým odpovídají jednotlivé křivky: 1 — stanice ve vrcholových polohách střední části Krušných hor (na Chomutovsku), 2 — venkovské stanice Mostecké pánve na území okresů Chomutov a Most, 3 — městské stanice v Teplicích a Ústí nad Labem, 4 — stanice ve východní části Krušných hor a v Děčínských stěnách.
- (Křesťala E. Hošková.)

zřejmě snížená intenzita turbulentní difúze v zimě, což souvisí se stabilnějším teplotním zvrstvením. Určitý význam — avšak v našich klimatických podmínkách ne rozhodující — má také zvýšená emise v zimním období. Je známo, že spotřeba tepla na vytápění obývaných prostor — a tudíž i spotřeba paliva a emise spalin do atmosféry — je úměrná rozdílu požadované teploty uvnitř místnosti a teploty vně budovy.

Georgii, Dommermuth a Weber (6) dospěli k odhadu, že souhrnná emise SO<sub>2</sub> do ovzduší ve Frankfurtu n. M. (bez automobilových výfukových plynů) činí v teplém pololetí (IV—X) průměrně 6,3 t/hod. a v chladném pololetí (XI—III) 12,3 t/hod., tedy přibližně dvojnásobek emise teplé části roku.

Zcela jiný průběh než u koncentrace SO<sub>2</sub> má roční chod spadu a koncentrace prachu. Jak ukazuje tab. 1, jsou na venkovských místech na Chomutovsku (sta-

Tab. 1. Roční chod měsíčních spadů prachu (t/km<sup>2</sup>) na některých místech v severo-západních Čechách. Podle měření hygienické služby.

Stanice	M ě s í c						Období
	I	II	III	IV	V	VI	
Pětipsy (okr. Chomutov)	3,2	6,1	6,8	5,5	9,1	7,8	1965
Kovářská (okr. Chomutov)	3,8	3,9	2,4	4,2	5,3	11,3	1966
Chomutov — u nemocnice	12,3	9,8	24,1	10,1	8,0	7,9	1968
Most — Mírové náměstí	27,2	37,7	26,5	23,6	25,9	20,8	1965

Stanice	M ě s í c						Období
	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Pětipsy (okr. Chomutov)	14,6	10,2	9,2	9,6	4,5	3,3	1965
Kovářská (okr. Chomutov)	4,2	6,5	4,5	3,3	4,3	—	1966
Chomutov — u nemocnice	5,8	8,2	6,7	6,0	12,0	9,7	1968
Most — Mírové náměstí	31,9	14,4	16,7	12,9	20,0	25,7	1965

nice Pětipsy a Kovářská) nejvyšší spady prachu v teplé části roku. To zřejmě souvisí s tím, že rozhodující část sedimentovaného prachu je prach zvednutý se zemského povrchu, ať již jde o částice půdy nebo o sekundárně zviřený popílek a jiné látky. Zimní minimum prašnosti odpovídá období se sněhovou pokrývkou, popřípadě se zmrzlým nebo vlhkým povrchem půdy. Naproti tomu na městské stanici v Chomutově byly naměřeny nejvyšší spady prachu v měsících chladného pololetí a na stanici v Mostě nebyly rozdíly mezi chladnou a teplou částí roku co do velikosti spadů příliš výrazné.

Roční chod spadu, popřípadě koncentrace prachu s maximem v létě a minimem v zimě je typický pro většinu území, z nichž jsou k dispozici výsledky měření. McCormik (10) uvádí mapy isolinií koncentrací prachu pro čtyři roční doby a celé území USA, sestojené na základě výsledků měření mimoměstských stanic americké National Air Sampling Network za sedmileté období. Z těchto map

vyplývá, že téměř na celém území USA jsou v létě vyšší koncentrace prachu, než v zimě. Roční chod spadů prachu s maximem v chladné části roku byl u nás zjištěn ve větších městech a v blízkosti seskupení průmyslových zdrojů popílků, které mají v chladné části roku zvýšenou emisi.

Je nutno si uvědomit, že právě popsané rysy ročního chodu spadů prachu se týkají poměrně velkých prachových částic. Částice pevných aerosolů, menší než asi 20 mikronů totiž prakticky nesedimentují, tzn., že měření spadů prachu tyto částice nepostihuje. Rovněž různé metody měření koncentrace prachu nejsou stejně citlivé ke všem velikostním frakcím pevných částic, suspendovaných v ovzduší. To ztěžuje porovnání výsledků měření koncentrací pevných částic, získaných různými metodami.

Kyslíčník uhlíčitý se dostává do ovzduší při respiraci rostlin a proto se v přízemní vrstvě vzduchu vyskytují ve vegetačním období vyšší koncentrace tohoto plynu, než v období vegetačního klidu.

Denní chod koncentrace mnohých příměsí připomíná denní chod napětí vodních par. U plynných příměsí, které se do ovzduší dostávají s kouřovými plyny, je nejobvyklejším typem denního chodu chod s ranním a večerním maximem a nočním a odpoledním minimem. U některých látek bylo zjištěno také třetí maximum koncentrace uprostřed noci — např. u kyslíčníku uhelnatého v Paříži, kde je toto třetí maximum vysvětlováno zvýšenou frekvencí automobilového provozu v době návratu obyvatel města z různých kulturních a zábavních podniků v době snížené difúze. Noční minimum koncentrace škodlivin — s výjimkou látek, které fotochemicky vznikají teprve v atmosféře — nelze vysvětlit jinak, než malou emisí.

Ranní maximum odpovídá vysoké emisi při poměrně nízké intenzitě difúze. Často je vysvětlováno mechanismem zadýmování (viz obr. 2 v práci I. Sládka (20), zveřejněné v tomto časopise), avšak rozbor denního chodu koncentrace  $\text{SO}_2$  v Praze, který provedl I. Sládek (20), nasvědčuje tomu, že vliv tohoto mechanismu není všude tak důležitý, jak někteří autoři soudí.

Minimum koncentrace uprostřed dne je vysvětlitelné — tak jako u kontinentálního letního typu denního chodu napětí vodních par — vysokou intenzitou difúze.

Večerní maximum odpovídá období s klesající intenzitou rozptylu při stále ještě značné emisi.

V obdobích se špatným rozptylem příměsí se vyskytuje jiný typ denního chodu koncentrace příměsí, sledující chod jejich emise, který se od právě popsaného typu liší absencí poledního minima, na jehož místě se vyskytuje jediné denní maximum. J. Podzimek (15) takový průběh koncentrace u kondenzačních jader nazývá zimním chodem.

Maximální koncentrace uprostřed dne se pochopitelně vyskytují u takových látek, které jsou produkty fotochemických reakcí v atmosféře, např. u ozónu v Kalifornii.

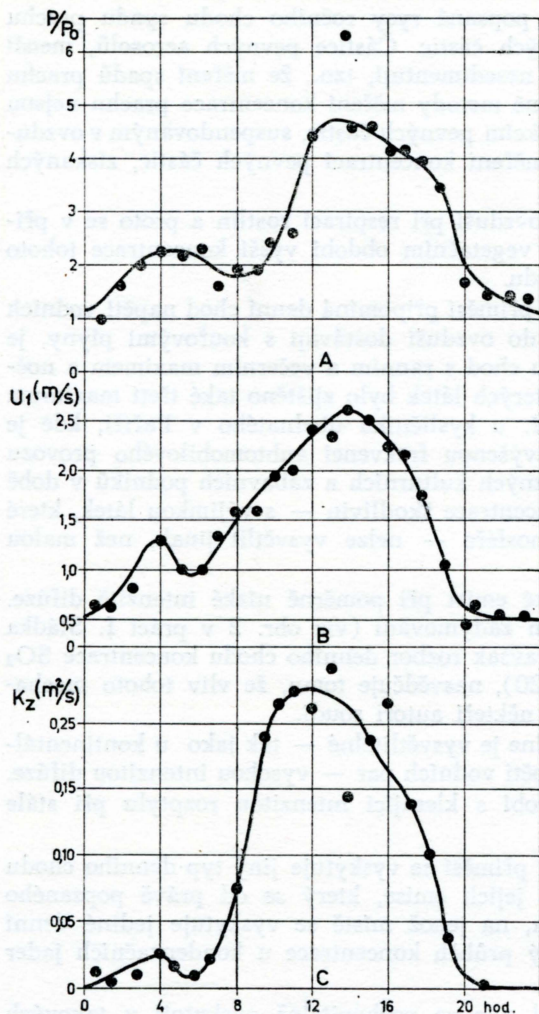
Velmi sporé jsou publikované údaje o denním chodu koncentrace hrubších frakcí prachu. Velmi rozšířená metoda měření koncentrace prachu, založená na použití membránových filtrů, není citlivá k obsahu velkých částic prachu. Podle údajů K. P. Machoňka (9) lze soudit, že normální denní chod koncentrace těžkých prachových částic, jejichž zdrojem je povrch půdy, sleduje denní chod rychlosti větru a koeficientu vertikální turbulentní difúze. Názorně to ukazuje obr. 3.

U příměsí, které se do ovzduší dostávají v důsledku činnosti lidské společnosti se nezřídka vyskytuje výrazný týdenní chod koncentrace s minimem, připadajícím na neděli. V jedné rekreační oblasti USA byl naproti tomu zjištěn týdenní chod



koncentrace látek, které se do ovzduší dostávají s automobilovými výfukovými plyny, s výrazným maximem v sobotu a neděli (Schuck a spoluaut. [18]).

Příklady týdenních cyklů koncentrace příměsí v ovzduší jsou uvedeny v tab. 2.



3. Denní průběh sedimentace radioaktivního prachu ve výšce 1 m nad zemí (A), rychlosti větru ve výšce 1 m (B) a koeficientu vertikální turbulentní difúze (C). Hodinové průměry koeficientu vertikální turbulentní difúze  $K$  byly vypočítány metodou Budyka.  $P/P_0$  je poměr spadu prachu k minimální hodnotě spadu, která připadá na první hodinu dne. U spadů prachu, rychlosti větru i koeficientu vertikální turbulentní difúze jde o průměr z měření v několika letních dnech bez srážek a se suchým povrchem půdy. (Podle K. P. Machoňka [9] kreslil V. Dlouhý.)

#### 4. Prostorové rozdělení znečištění ovzduší

V dostupné literatuře je jen velmi málo dokladů o vertikálním rozdělení znečišťujících látek v atmosféře. Údaje, které jsou k dispozici, se týkají pouze ovzduší velkoměst.

Je nasnadě, že velký vertikální gradient koncentrace lze očekávat u příměsí, které se do atmosféry dostávají v blízkosti zemského povrchu. Příkladem může být průměrné vertikální rozdělení kysličníku uhelnatého ve středu Frankfurtu n. M., které popisují H. W. Georgii, E. Busch a E. Weber. Jejich výsledky, převzaté z (5), jsou uvedeny v tabulce 3. Kysličník uhelnatý bývá považován za indikátor znečištění ovzduší, působeného provozem motorových vozidel.

Tab. 2. Týdenní cykly koncentrace příměsí v ovzduší.

Praha*)		Nashville (USA — Tennessee)**)	
Den	Průměrná koncentrace SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	Den	Průměrná koncentrace prachu (μg/m <sup>3</sup> )
Pondělí	0,14	Pondělí — úterý	176
Úterý	0,13	Úterý — středa	146
Středa	0,14	Středa—čtvrtek	176
Čtvrtek	0,16	Čtvrtek—pátek	200
Pátek	0,15	Pátek—sobota	120
Sobota	0,15	Sobota—neděle	117
Neděle	0,12	Neděle—pondělí	141

\*) Podle: I. Sládek (21). Měřeno před zavedením volných sobot.

\*\*) Podle: R. R. Dickson (3). Průměrné koncentrace prachu se vztahují na 24hodinová období mezi poledny.

Tab. 3. Změna koncentrace kysličníku uhelnatého s výškou ve středu Frankfurtu n. M. Koncentrace CO udána v ppm (parts per million; 1 ppm odpovídá jedné miliontině objemu, tj. 1,25 mg CO/m<sup>3</sup> vzduchu při 0 °C a 760 torr). Podle: Georgii, H. W., Busch, E., Weber, E. (5).

	Výška nad zemským povrchem (m)					
	3	10	16	22	28	33
Průměrná koncentrace CO	12,8	9,4	7,7	6,0	5,3	4,7
Absolutní maxima koncentrace CO	100,0	58,0	34,0	22,0	20,0	11,0

Podle měření A. Löbnera v Lipsku, o kterých se zmiňuje Kratzer (8), dosahuje koncentrace prachu maxima u povrchu země a s výškou rychle klesá. Bezprostředně nad úrovní střech, ve výšce 22 m, je druhá vrstva s vysokým obsahem aerosolů, které jsou do vzduchu exhalovány domovními komíny. Třetí vrstva vysoké koncentrace aerosolů, odpovídající výšce továrních komínů, je ve výšce 50–60 m.

Specifické podmínky reliéfu terénu a existence vysokých (200 m) komínů velkoelektráren v severozápadních Čechách jsou patrně hlavní příčinou toho, že na některých místech ve vrcholové části Krušných hor se často vyskytují vyšší koncentrace SO<sub>2</sub> než na venkovských stanicích Mostecké pánve. Je to zřetelně vidět na obr. 2.

O horizontálním rozdělení koncentrací příměsí v přízemní vrstvě ovzduší ve městech shrnuje řadu údajů Kratzer (8). Z těchto i jiných dat je možno vyvodit všeobecný závěr, že v typickém velkoměstě v dlouhodobém průměru klesá znečištění ovzduší od středu k okraji města.

J. P. Detrie (2) znázornil kartograficky emise SO<sub>2</sub> rozdělené podle původu (průmysl, domácí topeniště aj.) a imise SO<sub>2</sub> na území departementu Seine (Paříž a okolí). Z jeho kartogramů vyplývá, že oblasti nejvyšších průměrných zimních imisí v departementu Seine se zcela neshodují s rajóny s nejvyšší emisí. Zatímco nejvyšší emise připadají na předměstskou průmyslovou oblast, oblast nejvyšších přízemních imisí je posunuta směrem k centrální části Paříže, kde jsou

emise poměrně malé, ale kde rozhodující podíl na emisích — na rozdíl od průmyslových předměstí — mají domácí topeniště.

Je nasnadě, že určitý podíl na popsaném průměrném či typickém rozdělení imisí na území velkoměsta má místní cirkulace. Z klimatologie města je známo, že ve velkoměstě se za vhodných makrometeorologických podmínek (malé horizontální barické gradienty, malá oblačnost) vytváří v přízemní vrstvě ovzduší vánky směřující od periferie ke středu města.

Také v Podkrušnohoří se nejvyšší dlouhodobé průměry koncentrace  $\text{SO}_2$  nevyskytují v okolí velkých průmyslových závodů a elektráren s vysokými komíny, ale ve větších městech. Je tomu tak přesto, že např. množství  $\text{SO}_2$ , které emitují Tušimická a Pruněřovská elektrárna je několikanásobkem emise všech ostatních zdrojů  $\text{SO}_2$  v okrese Chomutov dohromady.

V některém z příštích čísel Sborníku Čs. společnosti zeměpisné bude v článku „Vliv meteorologických činitelů na znečištění ovzduší“ pojednáno o vztazích mezi znečištěním ovzduší na jedné a rychlosti a směrem větru, teplotním zvrstvením a srážkami na druhé straně a dále o metodách určení tzv. potenciálu znečištění ovzduší a o krátkodobé prognóze znečištění.

#### Literatura

1. BERLJAND, M. E.: Klimatologičeskije aspekty issledovanija zagryznenija atmosfery promyšlennymi vybrosami. In: Sovremennye problemy klimatologii (s. 280—291). Leningrad, Gidrometeoizdat, 1966. 450 s. Knihovna HMÚ Praha, sign. N 1015.
2. DETRIE, J.: Essai d'une cartographie des émissions de polluants par les foyers fixes dans le département de la Seine. Pollution atmosphérique, 1967, I, s. 20—26.
3. DICKSON, R. R.: Meteorological Factors Affecting Particulate Air Pollution of a City. Bulletin of American Meteorological Society, 1961, 8, s. 556—560.
4. FELT, J.: Likvidace nebo využití popela z elektráren? Energetika, 1969, 5, s. 201—202.
5. GEORGII, H. W., BUSCH, E., WEBER, E.: Untersuchungen über der Immissionskonzentrationen des Kohlenmonoxid in Frankfurt am Main. Berichte des Institutes für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt/Main, 1967, 11. 60 s. Recenze a výtah: Liman, S., Przegląd geofizyczny, 1969, 2, s. 222—224.
6. GEORGII, H. W., DOMMERMUTH, H., WEBER, E.: Untersuchung der  $\text{SO}_2$  — Konzentrationsverteilung einer Grosstadt in Abhängigkeit von meteorologischen Einflussgrößen. Berichte des Institutes für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt/Main, 1968, 14. 54 s.
7. HAŠEK, M.: Čistota ovzduší. Praha, Práce, 1968. 181 s.
8. KRATZER, P. A.: Klimat goroda. Moskva, Izdatelstvo inostrannoj literatury, 1958. 239 s.
9. MACHOŇKO, K. P.: Sutočnyje izmenenija zapylennosti prizemnogo sloja atmosfery. In: Voprosy jadernoje meteorologii (s. 253—258). Moskva, Gosatomizdat, 1962. 272 s.
10. McCORMICK, R. A.: Air Pollution Climatology. In: Air Pollution (edited by A. C. Stern), Vol. I, s. 275—321. New York, Academic Press 1968, 694 s.
11. Metodika výpočtu očekávaného znečištění přízemního ovzduší plynnými exhalacemi tepelných elektráren a jiných spalovacích procesů. Knižnice Státní komise pro techniku, svazek 6. Praha, 1968. 41 s. (Rozmnoženo cyklostylem.)  
Nezměněné vydání v německém jazyce: Methodik zur Berechnung der zu erwartenden Verunreinigung der bodennahen Atmosphäre durch gasförmige Exhalationen aus Wärmekraftwerken und anderen Verbrennungsprozessen. Praha, Státní komise pro techniku, 1968. 50 s. (Rozmnoženo cyklostylem.)
12. MUNN, R. E.: The Application of an Air Pollution Climatology to Town Planning. International Journal of Air Pollution, 1959, 1, s. 51—76.
13. MUNZAR, J.: Příspěvek ke studiu klimatu průmyslové oblasti severozápadních Čech ve vztahu k znečištění ovzduší. Rigorózní práce obhájená a uložena na přírodovědecké fakultě University J. E. Purkyně v Brně (katedra geografie), 1969, 110 s. [Rukopis.]
14. PASQUILL, F.: Atmospheric Diffusion. The Dispersion of Windborne Material from Industrial and other Sources. London, D. van Nostrand, 1962. 297 s.

15. PODZIMEK, J.: Fyzika oblaků a srážek. Praha, Nakladatelství ČSAV, 1959. 476 s.
16. SCORER, R. S.: Air Pollution. Oxford, Pergamon Press 1968. 151 s.
17. SCORER, R. S.: The Behaviour of Chimney Plumes. International Journal of Air Pollution, 1959, s. 198—220.
18. SCHUCK, E. A. aj.: Relationship between certain Meteorological Factors and Photochemical Smog. Air and Water Pollution — an International Journal, 1966, s. 689—712.
19. SLÁDEK, I.: Ke vlivu větru na obsah  $\text{SO}_2$  v dýchací zóně ovzduší v Praze. Československá hygiena, 1968, 10, s. 596—608. Viz též opravu: Československá hygiena, 1969, 6, s. 224.
20. SLÁDEK, I.: Periody stoupající a klesající koncentrace  $\text{SO}_2$  a vztah větru a obsahu  $\text{SO}_2$  v ovzduší Prahy. Sborník Československé společnosti zeměpisné, 1969, 4, s. 321—338.
21. SLÁDEK, I.: Příspěvek k poznání denního režimu znečištění ovzduší  $\text{SO}_2$  v Praze. Meteorologické zprávy, 1967, 3—4, s. 99—101.
22. SPURNÝ, K.: Stín pokroku — znečištění ovzduší. Ochrana ovzduší (pravidelná příloha časopisu Vodní hospodářství, řada B), 1969, 5, s. 65—66.
23. STROM, G. H.: Atmospheric Dispersion of Stack Effluents. In: Air Pollution (edited by A. C. Stern), Vol. I (s. 227—275). New York, Academic Press, 1968. 694 s.
24. WEXLER, H.: Úloha meteorologie ve znečištění ovzduší. In: Znečištění ovzduší (s. 38—47). Praha, Státní zdravotnické nakladatelství, 1966. 374 s.