

# Nepriaznivé dôsledky prítomnosti škodlivých látok v ovzduší

JOSEF HASA, EDITA KACHAŇÁKOVÁ, VOJTECH PÁLENÍK

**Súčasnú zloženie zemskej atmosféry je dôsledkom dlhodobého vývoja, ktorý charakterizuje pokles obsahu vodíka a vzácnych plynov a vzrast koncentrácie dusíka a kyslíka. Dynamickú rovnováhu jednotlivých zložiek ovzdušia v posledných desaťročiach stále viac ovplyvňuje antropogénna činnosť. V jej dôsledku sa do ovzdušia dostávajú škodlivé látky, ktoré negatívne pôsobia či už na prírodu, alebo na zdravie človeka, príp. obidvoje.**

Najvýznamnejšou činnosťou človeka, ktorá ovplyvňuje zloženie atmosféry, je spaľovanie fosílnych palív na výrobu elektrickej a tepelnej energie. Pritom sa dostáva do ovzdušia nezanedbateľné množstvo produktov spaľovania, ktoré obsahujú široké spektrum plyných, kvapalných a tuhých látok. Najväčšie hmotnostné zastúpenie majú oxidy uhlíka, síry a dusíka a tuhé častice, ktorých súčasťou sú popri zlúčeninách kremíka, hliníka, vápnika, uhlíka, horčíka a alkalických kovov aj malé množstvá stopových prvkov (olovo, kadmium, arzén, zinok, nikel, berýlium a ďalšie) a rôznych organických zlúčenín (polyaromatické uhľovodíky). Spektrum organických látok je mimoriadne bohaté pri spaľovaní tuhých odpadov, ktoré v závislosti od zloženia odpadov môžu obsahovať niektoré veľmi nebezpečné organochlórové zlúčeniny (polychlórované bifenyly, chlórované dibenzodioxíny a dibenzofurány).

Okrem spaľovacích procesov sa na kontaminácii ovzdušia zúčastňujú emisie z technologických procesov v rôznych odvetviach priemyslu a poľnohospodárstva. Množstvo látok prenikajúcich do ovzdušia z týchto zdrojov síce nedosahuje množstvá emitované zo spaľovacích procesov, je však čo do zloženia rôznorodnejšie a variabilnejšie. K veľmi závažným znečisťujúcim látkam, ktoré sa do ovzdušia dostávajú z technologických procesov, patrí chlór, zlúčeniny chlóru a fluóru, sírouhlík, sírovodík a ďalšie. Znečisťovanie ovzdušia nastáva aj pri používaní spotrebných podmetov, ako napr. náterových látok, rozprašovačov a pod.

Antropogénne kontaminanty ovzdušia zostávajú určitý čas súčasťou atmosféry. Pritom sa transportujú ovzduším, niekedy aj do značných vzdialeností od zdroja. Ich pôsobenie treba však považovať za regionálne aj globálne. Jednotlivé látky prítomné

v atmosfére môžu navzájom reagovať, často pri katalytickom pôsobení rôznych faktorov, ako je slnečné žiarenie, prítomnosť častíc s veľkým povrchom atď. Depozíciou pôvodných aj transformovaných kontaminantov nastáva kontaminácia ďalších zložiek životného prostredia, a to predovšetkým vody, pôdy a bioty.

Dôsledky týchto procesov sú veľmi rôznorodé. Tri z nich však môžeme považovať za najvýznamnejšie. Je to intoxikácia prostredia, ktorá vedie ku kontaminácii potravinového reťazca človeka, acidifikácia prostredia, ktorá vedie k závažným zmenám vo vývoji niektorých ekosystémov, a klimatické zmeny, ktoré majú globálny charakter.

## Intoxikácia prostredia

Medzi najzávažnejšie toxikanty ovzdušia patria zlúčeniny niektorých kovov a prechodných prvkov, ako aj početná skupina organických látok. Z toxických prvkov prítomných v ovzduší sú najvýznamnejšie olovo, kadmium, ortuť, chróm, nikel, vanád, berýlium, z organických látok predovšetkým polyaromatické uhľovodíky, organické látky s obsahom chlóru (chlórované dibenzodioxíny, dibenzofurány a iné), niektoré aldehydy (formaldehyd), organické zlúčeniny dusíka a síry atď. Menej významné z hľadiska toxicity sú plyné kontaminanty (oxidy uhlíka, dusíka, síry) s výnimkou niektorých zlúčenín, nachádzajúcich sa v priemyselných exhalátoch (sírovodík, sírouhlík, merkaptány a pod.).

Uvedené látky nepredstavujú významné riziko z hľadiska ich akútnej toxicity vzhľadom na ich relatívne nízke koncentrácie

v komunálnom ovzduší. Významnejšie sú ich chronické a oneskorené účinky súvisiace s bloakumulačnou schopnosťou týchto látok. Z chronických účinkov je významný ich negatívny vplyv na nervový systém (napr. olovo, ortuť), na dýchacie orgány (napr. berýlium, chróm, nikel, vanád), na krvotvorbu (olovo), na obličky (kadmium), dráždivé účinky na pokožku a sliznice (berýlium, chróm, arzén, nikel a ďalšie). Závažné sú aj oneskorené účinky. Zaraďujeme medzi ne karcinogenitu, mutagenitu a genotoxicitu. Medzi karcinogény patria berýlium, chróm, nikel, polyaromatické uhľovodíky, chlórované dibenzodioxíny, polychlórované bifenyly (PCB) a ďalšie.

Pre expozíciu obyvateľstva vo väčšine prípadov nie je najvýznamnejšia priama inhalácia týchto látok, ale dôležitejší je ich prívod potravou. Kontaminácia potravín nastáva väčšinou sedimentáciou týchto látok z ovzdušia. Depozícia kontaminantov v pôde, vode a vegetácii vedie k ich postupnému prieniku do potravinového reťazca človeka. Predbežné údaje denného príjmu niektorých kontaminantov u nás ukazujú, že kontaminácia dosiahla značný rozsah a blíži sa k limitným hodnotám, ktoré odporúča Svetová zdravotnícka organizácia (tzv. prijateľný denný príjem). Táto situácia nastala napr. u kadmia, olova, PCB, benz/a-pyrénu. Pri ďalších látkach odhadovaný príjem prekročil dve tretiny odporúčaných hodnôt (napr. ortuť). Hoci príjem týchto látok inhalačnou cestou nie je významný (s výnimkou fajčiarov), je podiel ovzdušia na kontaminácii potravinového reťazca nepochybne veľmi závažný (tab. 1).

Situácia je u nás predovšetkým komplikovaná v okolí zdrojov úniku týchto látok do ovzdušia. Tak napr. v Rudňanoch z prevádzok železorudných baní uniká ročne 3,4 ton ortute do ovzdušia. V prašných úletoch, ktorých sa ročne emituje vyše 2000 ton, uniká aj do ovzdušia 2,6 ton arzénu, vyše 10 ton antimónu, viac ako 40 ton oxidov mangánu a iné. Už r. 1978 tu uskutočnili pracovníci Ústavu pre výskum rúd v Prahe merania. V Rudňanoch vtedy nameraná hodnota ortute prekračovala 472-krát normu najvyššej prípustnej koncentrácie. Pri nijakom meraní sa tu vtedy nezistilo menej ako desaťnásobné prekročenie NPK. Táto situácia sa nezlepšila, ba v niektorých smeroch aj zhoršila, ako ukázal kontrolný deň MLVD r. 1988. Odstránenie uvedených toxických látok z týchto emisií veľmi komplikujú vzduchotechnické podmienky ich výronu. Zastarané zariadenia, v ktorých sa rudy spekajú, príp. aglomerujú, nemožno tak hermetizovať, aby sa exhaláty mohli odsávať z jedného miesta do čistiacich zariadení. Pretože na udržanie únosného pracovného prostredia treba mať intenzívne vetrať, odvádzajú sa z nich tieto toxické exhaláty zriedené ovzduším do životného prostredia.

Na objektívne posúdenie celkovej situácie však nie je u nás dostatok podkladov. Údaje o emisiách týchto látok do ovzdušia sú stále neúplné. Nemožno teda uskutočniť podrobnú bilanciu

ich vstupu do prostredia. Čiastkové údaje o zložení našich fosilných palív (predovšetkým uhlia) však dovoľujú konštatovať, že kontaminácia ovzdušia stopovými toxickými prvkami je závažná. Týka sa to predovšetkým arzénu, chrómu, niklu, vanádu, berýlia, kadmia a olova. Popri toxických prvkoch nastávajú pri spaľovaní fosilných palív aj emisie organických látok, ako sú polyaromatické uhľovodíky. Tento proces je významný najmä pri spaľovaní komunálnych aj priemyselných odpadov, keď v prítomnosti látok obsahujúcich chlór môžu vzniknúť chlórované dibenzodioxíny a dibenzofurány.

Kumulatívne pôsobenie uvedených zložiek emitovaných spalín z tepelných elektrární až rádozo zvyšuje ich toxický vplyv na životné prostredie. Tento vplyv je výraznejší v sídelných a priemyselných aglomeráciách, v ktorých okrem exhalátov z energetických zdrojov sú v ovzduší rozptýlené emisie z technologických procesov. V tomto u nás veľmi často výraznom imisnom pozadí nastáva vzájomná interakcia zložiek z rozličných zdrojov so vznikom ďalších spodín. Typickým príkladom je polycharakter emisii v oblasti Žiaru nad Hronom, kde v závode SNP sa v závodnej energetike spaľuje hnedé uhlie s vysokým obsahom popola, síry a arzénu. Do ovzdušia sa emituje oxid siričitý, oxidy dusíka, popolček, dechty a zlúčeniny arzénu. Z výroby oxidu hlinitého sa emitujú veľké množstvá jemne dispergovaných častíc tohto oxidu spolu s oxidom vápenatým, uhličitanom sodným a ďalšími zložkami. Z vlastnej elektrolytickej výroby hliníka sa pri súčasnej zastaranej výrobe, v ktorej nie sú elektrolyzéry hermeticky uzavreté, emituje do ovzdušia fluorovodík, fluoridy, dechty a iné. Vzájomnou interakciou uvedených škodlivín sa vyskytuje v ovzduší veľký počet najmä katalytických radikálových reakcií, ktorých produkty, ich toxické účinky a vlastnosti sa doteraz úplne neurčil. Ich vplyv na zdravie obyvateľstva tejto oblasti je však jednoznačne negatívny.

Na objektívne zhodnotenie situácie bude nevyhnutné vykonať dôslednú inventarizáciu potenciálne nebezpečných chemikálií vstupujúcich do prostredia. Súčasne bude potrebné rozšíriť monitorovanie týchto látok. Súčasný stav monitoringu nie je zďaleka uspokojivý, pretože počet sústavne sledovaných látok je pomerne nízky a obmedzuje sa na najrozšírenejšie kontaminanty (predovšetkým oxidy síry, dusíka, uhlíka, uhľovodíky a tuhé častice). Sledovanie ostatných kontaminantov, vrátane toxických látok nie je systematické. Súvisí to s veľkou prístrojovou náročnosťou, prácnosťou a problémami s odberom a separáciou jednotlivých zložiek.

Na základe zistených objektívnych skutočností bude nevyhnutné pristúpiť k realizácii nápravných opatrení. Mali by byť predovšetkým preventívne, t.j. smerovať k obmedzeniu vzniku takýchto látok. Súčasne bude potrebné ďalej zdokonaľovať zariadenia slúžiace na zachytávanie uvedených škodlivých látok.

Tab. I. Predpokladaný denný prívod niektorých kontaminantov do ľudského organizmu v ČSSR

Kontaminant	Jednotka	Ovzdušie	Zdroj kontaminácie			Denný prívod		ADI
			voda	potraviny	fajčenie (10 cig.)	fajčiari	nefajčiari	
Olovo	mg	0,09	0,075	0,2–0,3	0,007	0,365–0,465	0,372–0,472	0,50
Arzén	mg	0,015	0,015	1,0	0,20	1,03	1,23	3,0
Kadmium	µg	0,10	2,0	30–40	10–20	32,1–42,1	42,1–62,1	52–70
Ortuť	µg	1,0	0,1	20–27	9–45	21,1–28,1	30,1–66,1	42
PCB	µg	0,3	1–4	15–50	?	16,3–54,3	?	60
Benzo/a/pyrén	µg	0,01	0,045	2,3	0,5–1,0	2,35	3,85	2,0

ADI — Acceptable daily intake — prijateľný denný príjem podľa Svetovej zdravotníckej organizácie

### Acidifikácia prostredia

Na acidifikácii prostredia sa zúčastňujú predovšetkým oxidy síry a dusíka, ktoré vznikajú pri spaľovaní fosílnych palív. Najvýznamnejší je oxid siričitý, ktorý vzniká oxidáciou síry prítomnej v palive, a oxid dusnatý, ktorý vzniká predovšetkým reakciou vzdušného dusíka a kyslíka v spaľovacom priestore za vysokých teplôt. Tieto látky podliehajú ďalšej oxidácii atmosférickým kyslíkom v ovzduší za katalytického pôsobenia tuhých častíc, obsahujúcich ťažké kovy. Vznikajúca kyselina sírová a dusičná sa suchou alebo mokrou depozíciou dostávajú na zemský povrch, kde výrazne modifikujú kyslosť vodného aj pôdneho prostredia.

V pôde nastáva pokles neutralizačnej kapacity, ktorá sa prejavuje poklesom hodnôt pH, znížením obsahu alkalických iónov a vzrastom koncentrácie hliníkových iónov, ktoré negatívne vplyvajú na koreňový systém rastlín. Tento proces má negatívny vplyv na vývoj vegetácie vzhľadom na pokles obsahu živín a fytotoxické pôsobenie hliníkových iónov. Z pôdy sa nielen vyplávajú živiny, ale dostávajú sa do nej v rozpustnej forme toxické kovy, ako olovo a kadmium, ktoré sa na povrchu pôdy pôvodne nachádzali ako nerozpustné zložky znečistenia ovzdušia. Najmarkantnejším prejavom týchto procesov je poškodzovanie a deštrukcia lesných ekosystémov, ktorá sa prejavuje najviac u ihličnanov. Tento proces sa pozoruje v celej strednej Európe, a to aj v oblastiach považovaných za relatívne čisté. Jeho príčiny nie sú úplne známe. Je však zrejmé, že popri uvedených zmenách pôdneho zloženia sa na ňom zúčastňujú aj plynné kontaminanty, patogénne činitele a klimatické vplyvy. Z plyných kontaminantov sa považujú za najvýznamnejšie fotochemické oxidanty, ktorých hlavnou zložkou je ozón. Táto látka sa zistila vo zvýšených koncentráciách aj v oblastiach s vysokou nadmorskou výškou, vzdialených od zdrojov priemyselných emisií, t. j. v oblastiach s vysokým poškodením lesných porastov. Zistilo sa, že ozón s ďalšími oxidantami poško-

dzuje bunkové membrány rastlín a ovplyvňuje tak ich priepustnosť. Priame pôsobenie oxidov síry a dusíka sa v tejto súvislosti nepovažuje za také významné vzhľadom na to, že poškodzovanie lesných porastov nastáva aj v oblastiach nízkymi koncentraciami týchto látok v ovzduší. Ich podiel na uvedených procesoch zrejme spočíva predovšetkým v spomenutých vplyvoch na zložení pôdy, ktoré má negatívny vplyv na vývoj rastlín. Klimatické vplyvy a účinnok patogénnych organizmov majú význam najmä v období iniciácie celého procesu. Stromy oslabené dlhými obdobiami sucha alebo veľkých mrazov sa stávajú citlivejšími na pôsobenie rôznych patogénnych organizmov. Takéto stromy sa potom nedokážu vyrovnáť so zmenami v pôde a v ovzduší, ktoré vyvoláva acidifikácia, a postupne odumierajú.

Ďalšími dôsledkami acidifikácie prostredia sú aj zmeny v zložení povrchových a podzemných vôd. Prejavujú sa najmä v oblastiach s nízkou neutralizačnou kapacitou pôdy, a to predovšetkým zvýšením kyslosti vôd a mobilizáciou niektorých toxických prvkov. Vplyvom týchto procesov nastáva výrazná redukcia vodných ekosystémov, ktorá vedie v niektorých prípadoch až k ich úplnému zániku. Uvedené procesy môžu aj vyvolať kontamináciu podzemných vôd niektorými toxickými prvkami (kadmium, olovo atď.), a tým znemožniť ich využitie ako zdrojov pitnej vody.

Acidifikácia prostredia má negatívny vplyv nielen na prírodné ekosystémy, ale aj na konštrukčné materiály, stavebné prvky a celé stavebné konštrukcie. Prispieva k ich zvýšenej korózii, čím vyvoláva nielen veľké národohospodárske straty, ale prispieva aj k poškodzovaniu a ničeniu nenahraditeľných umeleckých pamiatok.

Vplyvy vyvolané acidifikáciou prostredia sú závažné predovšetkým preto, že majú dlhodobý charakter. Zásadné zmeny v zložení pôdy, vody a ďalších zložiek životného prostredia nemožno dosiahnuť jednorazovými opatreniami, ale iba dlhodobou koncepciou činnosťou. Tak napr. množstvá oxidu siričitého a oxidov

dušika, ktoré sa v hlavnej miere zúčastňujú na tvorbe „kyslých dažďov“ mimoriadne intenzívne devastujúcich prírodné prostredie, možno obmedziť spaľovaním palív, predovšetkým spaľovaním vo fluidnej vrstve. Aj pri spaľovaní tuhých komunálnych a priemyselných odpadov je veľmi dôležitý spôsob a podmienky ich spaľovania. Nemenej významné je zachytávanie tuhých a plyných spodín spaľovania s použitím vysokoúčinných odlučovačov, desulfurizačných a denitrifikačných zariadení. Ťažisko riešenia problému spočíva, pravda, predovšetkým v zmene surovínovej základne energetiky, v obmedzovaní spotreby energie a v jej racionálnejšom využívaní.

Popri uvedenom je aj nevyhnutné uplatňovať opatrenia zlepšujúce situáciu v rámci jednotlivých zložiek životného prostredia. V tejto súvislosti je dôležité zvýšenie neutralizačnej schopnosti pôd, ktorú znižujú vymývaním vápnika a horčíka práve kyslé dažde. Ich alkalizáciou vápencom, dolomitom alebo odpadovým magnezitom možno priaznivo ovplyvňovať celkovú bonitu a teda aj úrodnosť pôd a prispieť tak k zachovaniu zdravých lesných ekosystémov.

## Klimatické zmeny

V súvislosti s klimatickými zmenami sa považuje za najvýznamnejší vplyv niektorých plyných kontaminantov na zloženie ozónovej vrstvy atmosféry a absorpčné vlastnosti atmosféry. Ozónová vrstva, ktorá tvorí časť stratosféry a obsahuje 90 % ozónu prítomného v zemskej atmosfére, je významná pre absorpciu slnečného ultrafialového žiarenia. Toto má negatívny vplyv na vývoj ľudskej populácie (karcinogenita kože), na vývoj vegetácie a niektorých živočíchov (genetické vplyvy, výnosy), ako aj na životnosť niektorých materiálov (plasty, guma). Zmeny v zastúpení ozónu v tejto vrstve sú preto veľmi významné.

Koncentráciu ozónu ovplyvňujú predovšetkým fotochemické reakcie katalyzované niektorými látkami, ktoré prenikajú do stratosféry z prízemnej vrstvy atmosféry. Medzi najvýznamnejšie v tomto smere patria chlórfluóruhlovodíky (CF-uhlovodíky) (tzv. freóny), metán, oxid uhličitý a oxid dusný. Chlórfluóruhlovodíky vplyvom slnečného žiarenia odštiepujú chlór, ktorý reaguje s ozónom a znižuje tak jeho koncentráciu. Podobne pôsobí aj oxid dusný. Naproti tomu oxid uhličitý a metán zvyšujú koncentráciu ozónu. Celkový dopad na hodnotu koncentrácie ozónu závisí od dynamiky vývoja jednotlivých vplyvov. Vzhľadom na to, že z uvedených plyných majú jednoznačne antropogénny charakter len CF-uhlovodíky a sú pomerne stabilné (životnosť asi 100 rokov), je ich množstvo v ovzduší veľmi významné pre zmeny koncentrácie ozónu. Modelové výpočty ukazujú, že pri súčasnom tempe zvyšovania koncentrácie CF-uhlovodíkov v atmosfére

nastane v priebehu ďalších päťdesiatich rokov pokles koncentrácie ozónu v ozónovej vrstve o 5—10 %. Veľkosť tohto poklesu závisí od emisií ďalších plyných a ovplyvňuje ho aj ročné obdobie a zemepisná šírka. Najvyšší pokles sa očakáva vo vysokých zemepisných šírkach (v oblasti pólů), kde ho aj potvrdilo priame meranie. Pozemné merania a údaje z družíc poukazujú na pokles koncentrácie ozónu nad Antarktídou. Dôsledky poklesu koncentrácie ozónu môžu byť veľmi závažné, pretože sa predpokladá, že 1-percentný pokles koncentrácie ozónu vyvolá 2-percentný vzrast rakoviny kože.

Plyny ovplyvňujúce zloženie ozónovej vrstvy majú aj absorpčnú schopnosť v oblasti infračerveného žiarenia. Absorpciou tohto žiarenia zo zemského povrchu prispievajú k jeho zohrievaniu. Modelové výpočty ukazujú, že pri súčasnom trende vývoja emisií týchto látok by sa mala v priebehu budúcich 50 rokov zvýšiť teplota zemského povrchu o  $3 \pm 1,5$  °C. Na tomto zvýšení teploty sa zúčastňuje polovicou oxid uhličitý a polovicou ostatné plyny. V dôsledku teplotnej zotrvačnosti oceánov sa však očakáva nižší vzrast, t.j. 1,5—2 °C. Tento predpokladaný nárast odpovedá pozorovanému trendu vývoja teploty zemského povrchu za uplynulých 100 rokov (vzrast asi o 0,5 °C). Hlavným dôsledkom zvýšenia teploty bude postupné roztápanie ľadovcov a tomu odpovedajúce zvyšovanie morskej hladiny. Predpokladá sa, že uvedeným zvýšením teploty v rozmedzí 1,5—4,5 °C sa zvýši úroveň morskej hladiny o 0,2—1,4 m. Takéto zvýšenie by významným spôsobom ovplyvnilo, okrem ďalších dôsledkov, rozvoj prímorských oblastí, kde sa koncentruje prevažná časť populačnej a ekonomickej aktivity.

Význam a závažnosť uvedených dôsledkov klimatických zmien spočíva v ich globálnom charaktere. Úspešne ich možno vyriešiť len koordinovanou činnosťou všetkých štátov v úsilí o obmedzenie produkcie látok, ktoré sa zúčastňujú na spomínaných efektoch. Prvé kroky v tomto smere sa už začali uskutočňovať prijatím dokumentov o ochrane ozónovej vrstvy atmosféry.

## Literatúra:

- Beňacká, O., 1988: Vplyv znečisteného ovzdušia na lesné ekosystémy. Čistota ovzdušia, 2, p. 1—29.
- Bezačinský, M., 1988: Spalovací procesy jako zdroj znečištění atmosféry. Sbor. Konf. Stopové prvky a toxické látky v životním prostředí. Dům techniky Ústí n. L., p. 29—41.
- Kachaňák, Š., Fratrič, I., Kachaňáková, E., 1983: Ochrana přírodního a životního prostředí před odpady z výroby hliníka v Žiari n. H.. Život. Prostr., 17, 4, p. 205—210.
- Krause, G. H. M., Arndt, U., Brandt, C. J., Bucher, J., Kenk, G., Matzner, E., 1986: Forest decline in Europe: Development and possible causes. Water, Air, and Soil Pollution, 31, p. 647—668.
- Staszová, M., 1988: Ekologická kontrola v Rudňanoch. Nové Slovo, 46, p. 5.
- Turek, B., Waldman, J., 1986: Hodnocení přívodu vybraných prvků do lidského organismu. Čs. Hyg., 31, 7—8, p. 421—427.
- 1986: Possible effects of man's activities on the ozone layer and climate. UNEP Coordinat. Commit. Ozone Layer, UNEP/WG 151, Geneva.