

# Znečištění ovzduší persistentními organickými polutanty produkovanými dopravou

Publikováno: 13. 3. 2007

Jedním ze závažných problémů dopravy je kontaminace ovzduší emisemi, zejména ve velkých městech s vysokou hustotou automobilové dopravy. Výfukové plyny motorových vozidel obsahují stovky chemických látek v různých koncentracích, s různými účinky na zdraví člověka. Vedle „klasických“ sledovaných polutantů jako jsou např. oxidy dusíku, oxid uhelnatý, oxid uhličitý nebo oxid siřičitý je v poslední době zaměřena pozornost také na persistentní organické polutanty (POPs) jako jsou polyaromatické uhlovodíky (PAHs), polychlorované bifenyly (PCBs), polychlorované dibenzo-p-dioxiny (PCDDs) a dibenzofurany (PCDFs).

Hlavním zdrojem PAHs je nedokonalé spalování pohonných hmot při provozu vozidel. V benzinových motorech jsou emise PAHs ve volné formě jako podíl těkavých uhlovodíků (VOCs). Při spalování v dieselových motorech je část PAHs vázána na pevné částice (PM), část je opět ve volné formě součástí VOCs. Přítomnost PCDDs a PCDFs ve výfukových plynech závisí na přítomnosti sloučenin chlóru v palivech a mazivech. Teplotní rozmezí tvorby ve spalovacích motorech vozidel je mezi 250 - 400° C s optimem kolem 300° C. Největším zdrojem těchto látek v dopravě bylo do roku 2001 spalování olovnatých benzinů, které jako další aditivum obsahovaly chlorované uhlovodíky. K 1. 1. 2001 byla však výroba, distribuce a použití těchto benzinů zakázáno. Naměřená množství se však značně liší (řádově od 1000 pg.km<sup>-1</sup> do jednotek pg.km<sup>-1</sup>). U bezolovnatého benzínu byly naměřeny hodnoty řádově v desetinách až jednotkách pg.km<sup>-1</sup> pro motory s katalyzátorem, v desítkách až stovkách u motorů bez katalyzátorů. U dieselových motorů byly naměřeny hodnoty v desítkách až stovkách pg.km<sup>-1</sup> pro osobní automobily, v desítkách pg.km<sup>-1</sup> pro nákladní automobily. Kromě druhu paliva a typu motoru je pro tvorbu PCDDs a PCDFs důležitý i režim jízdy. Tak např. při jízdě do kopce je jejich produkce cca 10 x vyšší, než při jízdě s kopce [1].

Pro PCBs je k dispozici mnohem méně naměřených dat, ale uvažuje se u nich podobné chování jako u PCDDs a PCDFs. Podmínkou pro jejich vznik je rovněž nedokonalé spalování organických látek za přítomnosti chlóru. K dalším zdrojům POPs patří např. úniky při přepravě materiálů (havárie, úkapy, odpar pohonných hmot), likvidace odpadů (plasty, pneumatiky, pražce, odtěžený materiál při rekonstrukci železničního svršku a povrchů vozovek), nezanedbatelným zdrojem zůstává i uvolňování těchto polutantů z konstrukčních materiálů dopravních cest (asfaltová a dehtová pojiva, emulgátory, regulátory).

Pro výpočet emisí POPs byla použita Metodiky pro stanovení emisí látek znečišťujících ovzduší z dopravy [2], která vychází z údajů o evidenci množství prodaných pohonných hmot. Po odečtení nedopravních zdrojů, tj. spotřeby v zemědělství, lesnictví, stavebnictví a armády (týká se hlavně nafty), je množství prodaného paliva distribuováno pomocí přepravních výkonů mezi jednotlivé druhy dopravy: individuální doprava (ID), silniční veřejná osobní doprava (AD), silniční nákladní doprava (SND), autobusy MHD, železniční doprava - motorová trakce (ŽD), vodní doprava (VD), letecká doprava (LD). Tyto druhy dopravy jsou celkem rozděleny do 23 kategorií, podle používaného paliva a vybavení katalyzátory. Pro každou z uvedených kategorií je použit průměrný emisní faktor (Ef) polutantu, který je vždy uváděn v hmotnostním množství na jednotku energie (g.MJ<sup>-1</sup>), délky přepravy (g.km<sup>-1</sup>), hmotnosti spotřebovaného paliva, (g.kgpal<sup>-1</sup>) nebo výkonu motoru (g.kWh<sup>-1</sup>). Zatím co emisní faktory limitovaných složek (CO, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, NO<sub>x</sub>, PM) jsou povinně měřeny u silničních vozidel - nové, importované, pravidelné technické kontroly (periodické technické prohlídky železničních vozidel a plavidel se v ČR neprovádí), emise POPs z dopravy nejsou limitovány žádnými předpisy. Proto se na rozdíl od limitovaných složek u vozidel běžně neměří a z tohoto důvodu existuje do současné doby

velmi málo spolehlivých měření emisních faktorů těchto polutantů. Situaci navíc stěžuje fakt, že dosud získané hodnoty mají poměrně velký rozptyl a chemické rozbory pevných částic, na které jsou POPs rovněž vázány se provádějí ještě v daleko menším rozsahu a získané informace nemají reprezentativní charakter. Při výpočtu a bilancování množství emisí POPs produkovaných dopravou bylo vycházeno zejména z COPERT III [3] a práci Ústavu pro výzkum motorových vozidel [4].

| Kategorie vozidel                                 | PAH [ $\mu\text{g}\cdot\text{km}^{-1}$ ] | PCDD [ $\text{pg}\cdot\text{km}^{-1}$ ] | PCDF [ $\text{pg}\cdot\text{km}^{-1}$ ] | PCB [ $\text{pg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{paliva}$ ] |
|---|--|---|---|---|
| Osobní vozidla benzínová                          | 260,29                                   | 10,3                                    | 21,2                                    | 126,5   |
| Osobní vozidla benzínová splňující EURO standardy | 143,84                                   | -                                       | -                                       | 126,5   |
| Osobní dieselová vozidla                          | 1277,44                                  | 0,5                                     | 1,0                                     | -   |
| Osobní vozidla na LPG                             | 49,46                                    | -                                       | -                                       | -   |
| Lehká nákladní vozidla benzínová                  | 378,11                                   | 10,3                                    | 21,2                                    | 126,5   |
| Lehká nákladní vozidla naftová                    | 1601,16                                  | 0,5                                     | 1,0                                     | -   |
| Těžká nákladní vozidla naftová                    | 241,86                                   | 3                                       | 7,9                                     | -   |

V kategoriích benzínových vozidel, splňujících emisní limity EURO a naftových vozidel jsou emise PAHs tvořeny z více než 90 % naftalenem. U starších benzínových vozidel, které nesplňují normy EURO, převažuje fenantren, který tvoří okolo 50 %, naftalen zde tvoří méně než 10 % [3]. Porovnáním emisních faktorů PAHs z různých zdrojů zjistíme, že nejsou tak výrazné rozdíly mezi novějšími a staršími vozidly jako u VOC. Vozidla splňující předpisy EURO emitují přibližně 2-krát méně PAHs na 1 kg spáleného paliva než starší vozidla. I přes tuto skopečnost však dochází k mírnému nárůstu těchto emisí, což je způsobeno růstem spotřeby paliv a přepravních výkonů silniční dopravy.

| Druh dopravy | Rok   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|              | 1993  | 1995   | 1996   | 1997   | 1998   | 1999   | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   | 2010   |
| ID           | 6 130 | 7 110  | 8 250  | 8 540  | 8 590  | 9 220  | 9 450  | 9 720  | 9 790  | 11 460 | 12 670 |
| AD           | 210   | 190    | 200    | 180    | 270    | 270    | 310    | 350    | 320    | 430    | 460    |
| SND          | 2 220 | 4 000  | 5 210  | 5 810  | 5 160  | 5 570  | 6 060  | 7 300  | 8 230  | 8 430  | 8 670  |
| MHD          | 120   | 140    | 170    | 170    | 190    | 220    | 250    | 290    | 300    | 320    | 360    |
| ZD           | 200   | 230    | 250    | 210    | 210    | 190    | 160    | 190    | 170    | 200    | 180    |
| VD           | 30    | 30     | 40     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 40     |
| Celkem       | 8 910 | 11 700 | 14 120 | 14 930 | 14 440 | 15 490 | 16 250 | 17 870 | 18 830 | 20 860 | 22 380 |

Celkové emise PAHs mají od roku 1993 mírně vzestupnou tendenci. Toto je dáno především neustálým nárůstem dopravních výkonů individuální automobilové dopravy a silniční nákladní dopravy. Mění se skladba vozového parku ve prospěch nových vozidel splňujících přísnější emisní předpisy nestačí růst dopravních výkonů kompenzovat.

| Druh dopravy | Rok   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
|              | 1993  | 1995  | 1996  | 1997  | 1998  | 1999  | 2000  | 2001  | 2002  | 2003  | 2010 |
| ID           | 195,1 | 209,6 | 219,9 | 211,2 | 178,1 | 163,6 | 129,0 | 109,5 | 90,1  | 82,1  | 21,7 |
| AD           | 2,9   | 2,8   | 2,8   | 2,5   | 3,7   | 3,5   | 4,0   | 4,5   | 4,1   | 4,9   | 5,2  |
| SND          | 17,9  | 32,9  | 38,1  | 45,8  | 37,0  | 43,1  | 45,4  | 48,0  | 54,3  | 51,5  | 48,6 |
| MHD          | 1,5   | 1,7   | 2,0   | 2,0   | 2,1   | 2,0   | 2,2   | 2,3   | 2,2   | 2,6   | 2,6  |
| ZD           | 2,4   | 2,9   | 3,1   | 2,5   | 2,6   | 2,3   | 2,0   | 2,3   | 2,1   | 2,5   | 2,5  |
| VD           | 0,3   | 0,4   | 0,5   | 0,2   | 0,3   | 0,3   | 0,3   | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,5  |
| Celkem       | 220,2 | 250,2 | 266,4 | 264,2 | 223,8 | 214,8 | 182,9 | 166,9 | 153,1 | 143,9 | 81,0 |

| Druh dopravy | Rok   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              | 1993  | 1995  | 1996  | 1997  | 1998  | 1999  | 2000  | 2001  | 2002  | 2003  | 2010  |
| ID           | 403,2 | 433,3 | 454,6 | 436,6 | 368,2 | 338,0 | 266,6 | 226,2 | 186,1 | 169,5 | 44,5  |
| AD           | 3,4   | 3,4   | 3,3   | 2,9   | 4,2   | 4,1   | 4,6   | 5,1   | 4,8   | 5,6   | 5,8   |
| SND          | 32,8  | 61,3  | 69,9  | 84,5  | 67,6  | 80,0  | 84,3  | 88,7  | 101,6 | 94,8  | 88,4  |
| MHD          | 1,5   | 1,7   | 2,0   | 2,0   | 2,1   | 2,0   | 2,2   | 2,3   | 2,2   | 2,6   | 2,6   |
| ZD           | 2,4   | 2,9   | 3,1   | 2,5   | 2,6   | 2,3   | 2,0   | 2,3   | 2,1   | 2,5   | 2,5   |
| VD           | 0,3   | 0,4   | 0,5   | 0,2   | 0,3   | 0,3   | 0,3   | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,5   |
| Celkem       | 443,7 | 502,9 | 533,4 | 528,9 | 445,0 | 426,7 | 360,1 | 324,9 | 297,0 | 275,4 | 144,3 |

Emise PCDDs a PCDFs z dopravy se pohybují celkově řádově v miligramech. Nejvíce jsou produkovány staršími vozidly, nesplňující normy EURO. Sestupný trend v produkci těchto emisí dopravou je dán obměnou vozového parku především v individuální dopravě. Vzhledem k velmi nízkým hodnotám dioxinů u emisí starších vozidel nejsou pravděpodobně tyto emise vázány na tzv. halogenové vynašeče, spíše vznikají ze stopových obsahů chlóru v benzínu [3]. Tento předpoklad podporuje i fakt, že součástí databáze jsou i emisní faktory naftových vozidel, kde se halogenové přísady nepoužívaly.

| Druh dopravy | Rok   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              | 1993  | 1995  | 1996  | 1997  | 1998  | 1999  | 2000  | 2001  | 2002  | 2003  | 2010  |
| ID           | 169,0 | 192,4 | 212,0 | 218,8 | 204,7 | 224,4 | 226,5 | 222,4 | 218,2 | 237,7 | 247,2 |
| AD           | 0,3   | 0,4   | 0,4   | 0,3   | 0,4   | 0,4   | 0,4   | 0,4   | 0,5   | 0,5   | 0,4   |
| SND          | 10,0  | 19,1  | 21,2  | 26,0  | 20,3  | 24,7  | 26,1  | 26,9  | 31,3  | 28,4  | 25,7  |
| MHD          | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| ZD           | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| VD           | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| Celkem       | 179,3 | 211,9 | 233,6 | 245,1 | 225,5 | 249,6 | 253,0 | 249,8 | 250,0 | 266,6 | 273,2 |

Emise PCBs byly kalkulovány pouze pro benzínová vozidla, neboť nebyla zjištěna žádná měření emisních faktorů PCB naftových vozidel. Hlavní podíl na produkci PCB z dopravy má individuální automobilová doprava. Trend vývoje produkce PCB je od roku 1993 do roku 1997 vzestupný a poté se stabilizoval kolem hodnoty 273 mg.

Emise z letecké dopravy nejsou součástí uvedené emisní bilance, neboť není znám podíl PAHs, PCDDs, PCDFs na emisích uhlovodíků vzniklých spalováním leteckých paliv.

## Závěr

Emise PAHs a ostatních POPs jsou v dopravě součástí celkových emisí uhlovodíků. Obsah PAHs v palivech je limitován vyhláškou MPO č. 227/2001 Sb. v motorové naftě (EN 590 ČSN 65 6506) a smíšeném palivu (ČSN 65 6508). Maximální hodnota PAHs byla stanovena pro období 1. 1. 2003 – 31. 12. 2004 na 11,0 % hm. Od 1. 1. 2005 nejsou mezní hodnoty stanoveny. Jednotlivé POPs nejsou nijak limitovány ani standardně měřeny a to i přes skutečnost, že negativně ovlivňují kvalitu ovzduší a tím i lidské zdraví. Tato problematika je v současné době velmi aktuální, protože v posledním desetiletí došlo k výraznému nárůstu těchto polutantů. Emise POPs u mobilních zdrojů negativně ovlivňuje především vysoké stáří vozového parku v ČR a s tím spojený i jeho technický stav. Je proto nutné zpracování inventury emisí těchto látek, pocházejících ze spalování pohonných hmot a přijmout taková redukční opatření, která povedou k jejich snížení.

## Literatura

- [1] Draft Exposure and Human Health Reassessment of 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-Dioxin

(TCDD) and Related Compounds, Chapter 4: Combustion Sources of CDD/CDF: Power/Energy Generation. <http://www.epa.gov>

- [2] DUFEK J., ADAMEC V., KLUSTOVÁ P., CHOLAVA R., HUZLÍK J., MAREŠOVÁ V., MARVANOVA S.: Stabilizace a postupné snižování zátěže životního prostředí z dopravy v České republice. Výzkumná zpráva. Centrum dopravního výzkumu, Brno 2002, 80 s.
- [3] COPERT III - Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport. Methodology and Emission Factors. Version 2.1. EEA 2000, s. 86
- [4] KROBL L. Přehled emisních faktorů silničních motorových vozidel. Výzkumný ústav motorových vozidel Praha, 2001.