

## ZDRAVOTNÍ RIZIKA VYPLÝVAJÍCÍ Z EXPOZICE PM<sub>10</sub> V JIHOMORAVSKÉM KRAJI

Vladimír Adamec<sup>1)</sup>, Roman Ličbinský<sup>1)</sup>, Dagmar Komárková<sup>2)</sup>, Josef Navrátil<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., Líšeňská 33a, 636 00 Brno  
vladimir.adamec@cdv.cz

<sup>2)</sup>Univerzita obrany, Kounicova 65, 612 00 Brno

### Abstract:

Decreasing air quality that is one of the main environmental components is connected with progress of human society and technologies. Transport, industry and agricultural activities are significant pollution sources that emit pollutants to the air. These pollutants negatively affect not only environment but also human health. Air pollution thus becomes in recent years serious menace to people and risk factor causing negative health effects. These effects are dependent on pollutant type, exposure dimension, duration and frequency. Health risk assessment is focused in recent years on effects of particulate matters (PM) that concentrations in the air gradually increase and human population is exposed by inhalation of polluted air every day. Epidemiological results focused on these particles demonstrate negative effects on human health represented by from just eye irritation due to acute effects of short term high concentrations to increase of morbidity and mortality due to long term exposure when especially sensitive people can be negatively affected by low PM concentrations. Toxicity and genotoxicity of particulate matters are connected with their physical and chemical properties. Toxicity effects based on physical properties can cause damage of pulmonary tissue leading up to the pulmonary fibrosis, overloading of heart due to limited oxygen input and cardiovascular diseases origin. Genotoxic effects are dependent on PM chemical composition because many organic and inorganic compounds are adsorbed on their surface. Increase of chronic bronchitis occurrence that is on the fifth position among worldwide mortality is also the result of increased PM concentrations and some specific studies indicate also possible cancer origin especially of respiratory organs. Presented study is focused on health risk assessment due to exposure of air particulate matters mainly PM<sub>10</sub> in South Moravian region during years 2004 – 2006. Health effects represent the occurrence of bronchitis among children and total mortality. Assessment of this effects is based on calculation of odds ratio OR and relative risk RR. There are used factors for the assessment like annual average concentration of PM<sub>10</sub> and tabulated regression coefficient of value 0,02629 in calculation of OR and maximum daily concentration of PM<sub>10</sub> and tabulated regression coefficient of value 0,0012 in calculation of RR. The worst situation of bronchitis occurrence among children is in Brno – střed, where 9.6 % of children could have this disease in 2004 caused by measured PM<sub>10</sub> concentration. The worst situation dealing with total mortality was in Znojmo in 2004, where the risk of death was 1.49 times higher for exposed population due to measured P<sub>10</sub> concentrations. Health risk assessment result results indicate relatively high loading of inhabitants living near chosen monitoring stations in South Moravian region.

**Keywords:** particulate matter, health risks, South Moravian region

### 1) Úvod

S vývojem lidstva a technologií dochází k postupnému snižování kvality ovzduší, které je jednou z hlavních složek životního prostředí. Mezi hlavní zdroje znečištění patří zejména doprava, průmysl a zemědělství, prostřednictvím nichž se škodlivé látky dostávají do ovzduší. Zdravotní dopady jsou pak závislé na typu škodliviny,

velikosti, délky a frekvence expozice. Znečištěné ovzduší se tak stává vážnou hrozbou pro lidstvo a rizikovým faktorem způsobující nepříznivé zdravotní účinky.

V posledních letech se hodnocení zdravotních rizik soustřeďuje na účinky pevných částic (PM) jejichž koncentrace v ovzduší se neustále zvyšují a populace je jimi exponována inhalací z ovzduší každý den.

Výsledky epidemiologických studií, zaměřených na tyto částice, prokázaly negativní dopady na zdraví populace od pouhého očního podráždění, vlivem akutních účinků v důsledku krátkodobě vysokých koncentrací, až po zvýšení morbidity či mortality vlivem dlouhodobé expozice, kdy zejména u citlivých jedinců mohou vyvolat nepříznivé účinky i nízké koncentrace PM. Toxicita a genotoxicita suspendovaných částic souvisí zejména s jejich fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Na základě fyzikálních vlastností se toxicita projevuje v podobě poškození plicních tkání vedoucí až k fibrotizaci plic, dochází k přetěžování srdce v rámci omezeného přístupu kyslíku a ke vzniku kardiovaskulárních chorob. Genotoxické účinky jsou závislé zejména na chemickém složení PM, jelikož na jejich povrch je vázána celá řada škodlivin organické i anorganické povahy. Možným důsledkem zvýšených koncentrací PM v ovzduší je také nárůst počtu úmrtí následkem chronické bronchitidy, která je na páté příčce celosvětové úmrtnosti, některé studie poukazují dokonce i na možný vznik rakoviny, zejména respiračních orgánů. Podle některých výzkumů byl pozorován až 40% nárůst rakoviny plic při dlouhodobé expozici vysokým koncentracím výfukových plynů dieselových motorů. Nejvíce ohroženou skupinou jsou tak právě ti obyvatelé, žijící v blízkosti silničních komunikací se zvýšenou intenzitou dopravy, dále pak lidé s oslabeným imunitním systémem, astmatici, kardiaci a děti, které inhalují výfukové plyny téměř „přímo“ z výfuků [1, 2, 3, 4]. Podle nejnovějších průzkumů provedených Evropskou unií zemřelo v roce 2000 v celé EU na nemoci související se znečištěním ovzduší pevnými částicemi 310 000 lidí a jemný prach v průměru snižuje délku života každého Evropana o devět měsíců [5].

## 2) Materiál a metody

Cílem hodnocení zdravotních rizik je na základě dostupných informací kvantitativně vyjádřit míru konkrétního zdravotního rizika za dané situace. Základní meto-

dické postupy hodnocení zdravotních rizik byly vypracovány především Americkou agenturou pro ochranu životního prostředí (US EPA) a Světovou zdravotní organizací (WHO). V České republice byly tyto základní metodické podklady odhadu zdravotních rizik vydány Ministerstvem zdravotnictví a Ministerstvem životního prostředí ČR. Kvantifikace zdravotních rizik standardních škodlivin jako pevné částice, oxid uhelnatý, oxidy dusíku, oxid siřičitý, vychází z výsledků různých epidemiologických studií. Pro výpočet parametrů charakterizujících pravděpodobnost zdravotního rizika byl použit postup navržený v K. Aunanovou [6] s výpočtem hodnoty OR (resp. RR), který je rovněž doporučován WHO. Postup výpočtu využívá vztahu:

$$OR (RR) = e^{(\beta * C)}$$

kde: *OR* - odds ratio, je poměr pravděpodobnosti exponovaných osob v populaci s příslušnými zdravotními příznaky k počtu osob neexponovaných s týmiž příznaky  
*C* - příslušná imisní koncentrace, roční pro chronické, denní pro akutní rizika  
 $\beta$  - tabelovaný regresní koeficient, vztahující se k příslušné diagnóze

Vztažením k prevalenci příznaků při nulové expozici příslušné populace touto škodlivinou zjistíme prevalenci příznaků v prostředí s konkrétní zvýšenou koncentrací látky v ovzduší. Za tímto účelem byl použit vztah:

$$p_i = \frac{OR_i * p_0}{1 - p_0 + OR_i * p_0}$$

$$p = p_i - p_0$$

Kde:  $p_0$  - odhadnutá prevalence při nulové koncentraci škodliviny

$p_i$  - prevalence všech sledovaných příznaků při dané koncentraci škodliviny  
ve srovnání s nulovou prevalencí  
 $p$  - prevalence sledovaných příznaků vyvolaných expozicí PM.

V případě znalosti relativního rizika (RR), jenž se pro malé hodnoty obou prevalencí rovná hodnotě OR, což platí pro většinu standardních škodlivin nebo ze znalosti prevalencí  $p_0$  a  $p_i$  můžeme jednoduše vypočítat podíl exponované populace, která je postižena příslušným zdravotním příznakem. Výpočet nárůstu prevalence vlivem prašnosti lze tak získat ze vztahů:

$$p_i = RR * p_0$$

$$p = p_i - p_0$$

Pro výpočet odhadu rizika výskytu bronchitidy u dětí byl použit výpočet OR, do něhož vstupovaly roční koncentrace PM<sub>10</sub> (jelikož se jedná o chronické riziko) a regresní koeficient o hodnotě  $\beta = 0,02629$  (0,00273 – 0,05187, 95%). Na základě popsaného vztahu byla zjištěna prevalence všech výskytů bronchitid u dětí při dané koncentraci PM<sub>10</sub>. Výsledek byl poté snížen o hodnotu příslušné nulové prevalence, v tomto případě  $p_0 = 0,03$  [6]. Celková úmrtnost byla hodnocena na základě výpočtu RR, kde byly použity veličiny – maximální denní koncentrace PM<sub>10</sub> a regresní koeficient  $\beta = 0,0012$  (0,0006 – 0,0019, 95 %), jenž se vztahuje k celkové úmrtnosti. Poté byla zjištěna příslušná prevalence, která dále byla snížena o nulovou prevalenci 25,1 [6]. V rámci studie se však nepodařilo získat přesný počet obyvatel žijících na uvažovaných lokalitách, proto lze brát práci jako návod obecného postupu hodnocení zdravotních rizik vyvolaných z expozice PM<sub>10</sub>. Jako vstupní data pro hodnocení zdravotních rizik byly využity údaje o koncentracích PM<sub>10</sub> naměřené na vybraných stanicích sítě automatického

imisičního monitoringu v městě Brně (Tuřany, Kroftova, střed, Dobrovského) a dalších částech jihomoravského kraje (Mikulov – Sedlec, Hodonín, Kuchařovice, Znojmo) v průběhu let 2004 až 2006.

### 3) Výsledky a diskuse

Ze získaných dat vyplývá (tab. 1), že v Brně byly roční limity PM<sub>10</sub> v rámci sledovaných stanic, překročeny na stanici Brno – střed ve všech sledovaných rocích a nepatrně na stanici Brno – Kroftova v roce 2006. Příčinou překročení ročních limitů PM<sub>10</sub> na stanici Brno – střed je způsobeno pravděpodobně umístěním stanice v centru města v bezprostřední blízkosti křižovatky dvou frekventovaných komunikací. Dopravní zatíženost na stanici Brno – Kroftova je menší v porovnání se stanicí Brno – střed. Naopak průměrné roční koncentrace PM<sub>10</sub>, naměřené na vybraných stanicích mimo Brno, nepřekračují legislativní limity. Tento rozdíl je dán nižší hustotou osídlení a nižší dopravní intenzitou v těchto oblastech. Rozdílnost v naměřených průměrných ročních koncentracích PM<sub>10</sub> může záviset také na typu a umístěním měřicí stanice. Stanice Brno – střed a Brno – Kroftova, na kterých byly naměřeny vyšší koncentrace PM<sub>10</sub> než stanovuje limit, jsou stanice dopravní, umístěné do 50 m od komunikace s velkou intenzitou dopravy. Výjimkou je lokalita Znojmo, která je také stanice dopravní, ale k překročení PM<sub>10</sub> zde nedošlo. Důvodem může být delší vzdálenost od dopravní komunikace (70 m). Ostatní vybrané měřicí stanice jsou klasifikovány jako pozad'ové, Vliv antropogenních zdrojů PM<sub>10</sub> je u těchto stanic minimální spíše jsou ovlivněny zemědělstvím [8].

V roce 2005 byl oproti roku 2004 zaznamenán nárůst koncentrací PM<sub>10</sub> na lokalitách klasifikovaných jako pozad'ové zejména na stanicích Mikulov – Sedlec, Znojmo, Kuchařovice, Hodonín. Jedním z možných důvodů nárůstu koncentrací PM<sub>10</sub> na pozad'ových stanicích v roce 2005 oproti roku 2004 mohou být nižší teploty naměřené v roce 2005, kdy v topných mě-

sících byla průměrná teplota v roce 2004 + 0,26 °C, zatímco v roce 2005 bylo naměřeno pouze -0,48 °C. Větší zima pravděpodobně vedla k intenzivnějšímu vytápění v lokálních topeništích, které jsou také významným zdrojem PM<sub>10</sub>. Průměrná teplota v měsících leden, únor, březen, listopad a prosinec 2005 byla nižší v porovnání s rokem 2004 [9].

Denní imisní limit byl v lednu 2006 překročen na stanici Znojmo 25x, Brno – střed 24x, Brno – Tuřany a Mikulov 19x, Brno – Kroftova 16x, Kuchařovice 14x, Hodonín 13x a Brno – Dobrovského 9x [7]. Tato překročení byla způsobena dlouhou zimou s velmi nepříznivými rozptylovými podmínkami v důsledku teplotních inverzí. Velmi silně se teplotní inverze projevila hlavně v druhé polovině ledna a počátkem února roku 2006, kdy všechny stanice vysoko překračovaly platné imisní limity po dobu zhruba 20 dní. Maximální hodnoty 24hodinových průměrných koncentrací PM<sub>10</sub> se v Brně pohybovaly okolo 200 μg.m<sup>-3</sup> [10].

Na grafech 1 – 8 na obr. 1 jsou znázorněny průměrné koncentrace v jednotlivých čtvrtletích hodnocených let. Hodnoty průměrných koncentrací PM<sub>10</sub> jsou v prvním a čtvrtém čtvrtletí vyšší než hodnoty v druhém a třetím čtvrtletí, tudíž při nejnižších naměřených teplotách byly určeny nejvyšší koncentrace PM<sub>10</sub> a naopak. Toto kolísání hodnot průměrných koncentrací PM<sub>10</sub> může mít spojitost zejména s vertikální stabilitou atmosféry. Lepší ventilací v teplejším období (konvekce) jsou částice snadněji rozptýlovány, zatímco v chladnějších měsících (inverze) je ventilace omezená a dochází tak k „hromadění“ PM<sub>10</sub> ve spodních vrstvách atmosféry, poblíž místa svého vzniku. V zimě se na přítomnosti částic mohou také výrazně podílet lokální topeniště.

Hodnocení zdravotních rizik prokázalo, že možnost výskytu bronchitidy u dětí v Brně se pohybuje v intervalu od 0,028 do 0,096 a mimo Brno od 0,023 do 0,046. Při srovnání těchto intervalů lze vysledovat dvojnásobně vyšší horní hranici intervalu

v Brně než na sledovaných lokalitách mimo Brno. Nejnižší hodnota možnosti výskytu bronchitidy v Brně byla naměřena v roce 2006 pro lokalitu Brno – Dobrovského a nejvyšší hodnota v roce 2004 Brno – střed. Z toho vyplývá že 2,8 % exponovaných dětí v lokalitě Brno – Dobrovského v roce 2006 a 9,6 % exponovaných dětí v lokalitě Brno – střed v roce 2004 mohlo mít příznaky bronchitidy způsobené danou roční koncentrací. Lokalitě Hodonín (oblast mimo Brno) odpovídá nejnižší míra možnosti výskytu bronchitidy u dětí, kdy 2,3 % exponovaných dětí v této lokalitě v roce 2004 mohlo mít příznaky bronchitidy v důsledku expozice PM<sub>10</sub>. Naopak nejvyšší pravděpodobnost byla zaznamenána na lokalitě Znojmo, kde u 4,6 % exponovaných se mohla vyskytnout bronchitida zapříčiněná roční koncentrací PM<sub>10</sub>.

Z výsledků odhadu pravděpodobnosti celkové úmrtnosti, která je vyvolána expozicí PM<sub>10</sub> na sledovaných lokalitách vyplývá, že interval počtu úmrtí v Brně se pohybuje od 1,12 do 1,28 a mimo Brno od 1,11 do 1,49. Je zde patrná vyšší horní hranice intervalu pro mimo brněnskou oblast. Nejnižší relativní riziko v Brně bylo na lokalitě Brno – Kroftova v roce 2004, kde u exponované populace bylo 1,12krát vyšší riziko počtu úmrtnosti vyvolané expozicí PM<sub>10</sub>, nejvyšší pak na lokalitách Brno – střed a Brno - Kroftova v roce 2006, kde u exponované populace bylo 1,28krát vyšší riziko počtu úmrtí z expozice PM<sub>10</sub>. Z pohledu celkové úmrtnosti v oblasti mimo Brno bylo zjištěno nejnižší relativní riziko 1,11 v Hodoníně v roce 2005. Z toho vyplývá, že u exponované populace bylo 1,11krát vyšší riziko počtu úmrtí vlivem expozice PM<sub>10</sub> než u neexponované. Naopak nejvyšší bylo stanoveno ve Znojmě v roce 2004, kde u exponované populace bylo 1,49krát vyšší riziko počtu úmrtí z expozice PM<sub>10</sub>. Toto riziko bylo nejvyšší vzhledem ke sledovaným rokům a i vybraným měřicím stanicím v Brně.

Každé hodnocení zdravotního rizika je nevyhnutelně spojeno s určitými nejistotami, danými použitými daty, expozičními

faktory, odhady chování dané exponované populace apod. Hlavním faktorem nejistoty v rámci této studie je absence měsíčních dat v roce 2004 na lokalitě Brno – střed za měsíc srpen, září a říjen. V těchto měsících došlo k předávání měřicí stanice Magistrátem Brna k užívání ČHMÚ, proto nemohly být naměřeny koncentrace  $PM_{10}$ . Řešením této absence bylo zprůměrováním měsíčních průměrných hodnot  $PM_{10}$  naměřených v lednu, únoru, březnu, dubnu, květnu, červnu, červenci, listopadu a prosinci roku 2004 v této lokalitě. Výsledný průměr byl dosažen za chybějící měsíční průměrné koncentrace v srpnu, září a říjnu. Výsledky studie vyplývají z naměřených koncentrací  $PM_{10}$  ve vnějším ovzduší a nejsou zde zahrnuty i další faktory ovlivňující zdraví člověka jako je např. kouření, dědičnost, stres, životní styl apod. Dalším faktorem ovlivňující výsledky hodnocení rizik je neznalost počtu exponované populace, což neumožnilo přesněji určit přímo počty ohrožených obyvatel v uvažovaných oblastech.

#### 4) Závěr

Na základě řady epidemiologických studií bylo prokázáno, že pevné částice  $PM_{10}$  způsobují nepříznivé efekty na zdraví člověka, podmíněné zejména jejich fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Při porovnání naměřených průměrných ročních koncentrací  $PM_{10}$  na vybraných lokalitách s legislativními limity bylo zjištěno jejich překročení pouze na dvou měřicích stani-

cích v Brně. Na lokalitě Brno – střed došlo k překročení imisních limitů ve všech třech sledovaných rocích o 5 až  $18,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Na lokalitě Brno – Kroftova nebyl v roce 2006 rovněž dodržen limit, ale jeho překročení činilo pouze  $0,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Rovněž maximální denní koncentrace  $PM_{10}$  překračovali denní imisní limit a to zejména v chladných obdobích roku. Nejvyšší maximální denní koncentrace byla naměřena ve Znojmě v roce 2004 a činila  $332,7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Koncentrace  $PM_{10}$  dosahují nejvyšší hodnot v průběhu roku v zimních měsících a naopak nejnižších v létě. Tento vývoj je ovlivněn zejména meteorologickými podmínkami. Pozornost při hodnocení zdravotních rizik vyplývajících z expozice  $PM_{10}$  byla soustředěna na výskyt bronchitidy u dětí a celkovou úmrtnost exponované populace. Ze získaných výsledků vyplynulo, že z hlediska výskytu bronchitidy u dětí je nejhorší situace na lokalitě Brno – střed, kde v roce 2004 pravděpodobně onemocnělo bronchitidou 9,6 % dětí vlivem expozice  $PM_{10}$ . V případě celkové úmrtnosti byla nepříznivá situace v roce 2004 ve Znojmo, kde u exponované populace bylo 1,49krát vyšší riziko počtu úmrtí vlivem expozice  $PM_{10}$ . Výsledky vyhodnocení zdravotních rizik vyvolaných expozicí  $PM_{10}$  indikuje poměrně vysokou zátěž obyvatel v okolí sledovaných monitorovacích stanic v Jihomoravském kraji.

#### 5) Použitá literatura

- [1] Transport-related health effects with a particular focus on children, 2004, THE PEP, WHO, UNECE.
- [2] DORA, C., PHILLIPS, M.(Eds.): Transport, environment and health. WHO, 2000.
- [3] KRZYZANOWSKY, M., KUNA-DIBBERT, B., SCHNEIDER, J. (Eds.): Health effects of transport-related air pollution, 2005, WHO Europe.
- [4] CICCONE G., FORASTIERE F., AGABITI N., BIGGERI A.: Road Traffic and Adverse Respiratory Effects in Children. *Occupational and Environmental Medicine*, 55, 11, 1998, p. 771-778.
- [5] WATKISS, P., PYE, S., HOLLAND, M.: CAFE CBA: Baseline analysis 2000 to 2020, CAFE Programme, 2005.
- [6] AUNAN, K.: Exposure-Response functions for health effects of air pollutants based on epidemiological findings, University of Oslo, 1995.

- [7] Český hydrometeorologický ústav. *PM10 - Suspendované částice frakce PM10 : Hodinové, denní, čtvrtletní a roční imisní charakteristiky* [online]. [cit. 2008-04-17]. Dostupný z WWW: <[http://www.chmu.cz/uoco/isko/tab\\_roc/2006\\_enh/cze/pollution\\_hdqy/hdqy\\_CZBBM\\_PM10.html](http://www.chmu.cz/uoco/isko/tab_roc/2006_enh/cze/pollution_hdqy/hdqy_CZBBM_PM10.html)>.
- [8] Český hydrometeorologický ústav. *Informace o kvalitě ovzduší v ČR.* [online]. [cit. 2008-04-10]. Dostupný z WWW: <[http://www.chmu.cz/uoco/isko/isko2/locality/pollution\\_locality.html](http://www.chmu.cz/uoco/isko/isko2/locality/pollution_locality.html)>.
- [9] Český hydrometeorologický ústav. *Podrobný přehled imisních hodnot* [online]. [cit. 2008-04-16]. Dostupný z WWW: <[http://www.chmi.cz/uoco/isko/tab\\_roc/2006\\_enh/cze/pollution\\_overview.html](http://www.chmi.cz/uoco/isko/tab_roc/2006_enh/cze/pollution_overview.html)>.
- [10] Český hydrometeorologický ústav. *Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2006.* Praha: 2007. Dostupný z WWW: <<http://www.chmi.cz/uoco/isko/groc/gr06cz/obsah.html>>.

## 6) Tabulková a grafická příloha

**Tab. 1 Průměrné roční koncentrace PM<sub>10</sub> na vybraných stanicích AIM v  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  [7]**

| Název stanice    | 2004                   | 2005               | 2006               |
|------------------|------------------------|--------------------|--------------------|
| Brno-Tuřany      | 31,4                   | 33,4               | 36,2               |
| Brno-Kroftova    | 28,8                   | 32,1               | 40,2 <sup>1)</sup> |
| Brno-střed       | 58,6 <sup>1), 2)</sup> | 47,9 <sup>1)</sup> | 45,0 <sup>1)</sup> |
| Brno-Dobrovského | 35,2                   | 34,0               | 26,5               |
| Mikulov-Sedlec   | 24,7                   | 28,5               | 28,0               |
| Hodonín          | 22,7                   | 25,5               | 27,5               |
| Kuchařovice      | 26,3                   | 29,1               | 30,3               |
| Znojmo           | 34,4                   | 37,5               | 35,7               |

Legenda:

<sup>1)</sup> naměřené koncentrace překračují legislativní limit

<sup>2)</sup> V srpnu, září a říjnu nebyla stanice v provozu vzhledem k předávání měřící stanice Magistrátem Brna do správy ČHMÚ. Průměrné koncentrace v těchto měsících byly nahrazeny aritmetickým průměrem dostupných dat v rámci tohoto roku.

**Obr. 1. Vývoj čtvrtletních průměrných koncentrací PM<sub>10</sub> na vybraných lokalitách**



