

## Suspendované částice (aerosol)

Suspendované částice představují různorodou směs organických a anorganických částic kapalného a pevného skupenství, různé velikosti, složení a původu. K označení suspendovaných částic je v odborném i denním tisku používáno střídavě mnoho pojmů, které se překrývají, některé se vztahují ke způsobu vzorkování jiné k místu depozice v dýchacím ústrojí. Setkáváme se tak s pojmy tuhé znečišťující látky (TZL - což je termín z legislativy emisí), pevný aerosol, prašný aerosol, poléťavý prach, v zahraniční literatuře pak suspendované částice (suspended particulate matter SPM), celkové suspendované částice (total suspended particles TSP), černý kouř (black smoke), jemné částice (fine particles) a další.

V platné legislativě (*Narřízení vlády č. 350/2002 Sb. ve znění následných právních úprav 429/2005 Sb.*) je zaveden termín **suspendované částice**, dále definovaný takto: „suspendované částice jsou pevné nebo kapalně částice, které v důsledku zanedbatelné pádové rychlosti přetrvávají dlouhou dobu v atmosféře“.

Částice v ovzduší představují významný rizikový faktor s mnohočetným efektem na lidské zdraví. Na rozdíl od plynných látek nemají specifické složení (velikost i složení částic je ovlivněno zdrojem, ze kterého pochází), nýbrž představují směs látek s různými účinky. Současně působí i jako vektor pro plynné škodliviny.

### 1. ZDROJE :

Suspendované částice dělíme na primární a sekundární. **Primární částice** jsou emitované přímo ze zdrojů a můžeme je dále dělit na ty, které pochází **z antropogenních zdrojů** (spalování fosilních paliv, doprava, technologické procesy, antropogenní aktivity) a **z přírodních zdrojů** - mořský aerosol, sopečná činnost, kosmický spad ....).

**Sekundární částice** jsou ty, které vznikají v ovzduší na základě probíhajících chemických (chemické reakce) a fyzikálních (nukleace, kondenzace) procesů a dále ty, které se do ovzduší dostávají resuspenzí (zvířením) v důsledku lidské činnosti (doprava....) nebo meteorologických faktorů (vítr).

Malé částice podléhají koagulaci a kondenzaci, zvětšují se, ale jejich konečná velikost zpravidla nepřesáhne 2  $\mu\text{m}$ . Tyto částice setrvávají v ovzduší relativně dlouho, udává se cca 7 až 30 dnů. Částice vzniklé mechanickým dispergováním jsou naopak obvykle větší než 2  $\mu\text{m}$  a jejich životnost v ovzduší je kratší.

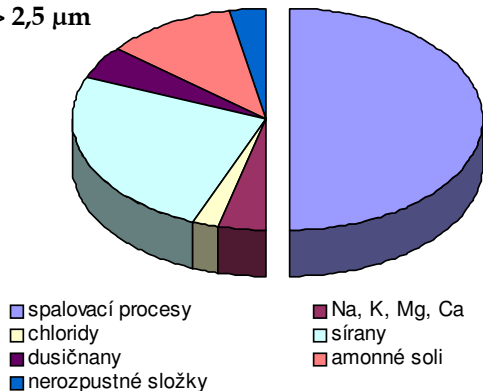
Z hlediska původu, složení i chování se jemná frakce částic do 2,5  $\mu\text{m}$  a hrubší frakce většího průměru významně liší. pH jemných částic je často v kyselé oblasti, jemné částice jsou do značné míry rozpustné a zahrnují sekundárně vzniklé aerosoly kondenzací plynů, částice ze spalování fosilních paliv včetně dopravy a znovu kondenzované organické či kovové páry. Převažují zde částice vznikající až sekundárně reakcemi plynných škodlivin ve znečištěném ovzduší. Obsahují jak uhlíkaté látky, které mohou zahrnovat řadu organických sloučenin s možnými mutagenními účinky, tak i soli, hlavně sulfáty a nitráty. Mohou též obsahovat těžké kovy, z nichž některé mohou mít karcinogenní účinek. V ovzduší jemné částice perzistují dny až týdny a vytvářejí více či méně stabilní aerosol, který může být transportován stovky až tisíce km. Tím dochází k jejich rozptýlení na velkém území a

stírání rozdílů mezi jednotlivými oblastmi. Velmi důležité z hlediska expozice obyvatel je pronikání jemných částic do interiéru budov, kde lidé tráví většinu času.

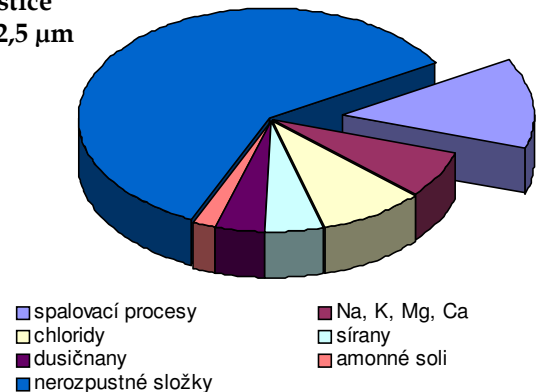
Hrubší částice naproti tomu bývají zásaditého pH, jsou z větší části nerozpustné a vznikají nekontrolovaným spalováním, mechanickým rozpadem materiálu zemského povrchu, při demolicích, dopravě na neupravených komunikacích a sekundárním vířením prachu. Podléhají rychlé sedimentaci během minut až hodin s přenosem řádově do kilometrových vzdáleností.

Složení částic se liší, určitý typický poměr hlavních složek u "městského prachu" však existuje.

Větší  
částice  
> 2,5 μm



Malé  
částice  
< 2,5 μm



## 2. HISTORIE MĚŘENÍ

### - Měření TSP

v síti HS od roku 1980 – 1985, v síti ČHMÚ od roku 1991

### - Měření suspendovaných částic frakce PM<sub>10</sub>

vybrané stanice HS od roku 1994, ostatní od roku 2004, síť ČHMÚ od konce roku 1996

### - V roce 2005

- měřilo suspendované částice frakce PM<sub>10</sub> v obou sítích celkem 125 stanic
- měřilo suspendované částice frakce PM<sub>2,5</sub> v obou sítích celkem 19 stanic

Automatické stanice měří krátkodobé (30/60 minutové hodnoty), manuální 24 hodinové koncentrace

## 3. PLATNÁ LEGISLATIVA ČR K 1.1.2005 :

Povinnost měření vychází ze zákona 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší ve znění následných právních úprav (novela 472/2005 Sb.), akceptování evropské legislativy, kde jsou uvedeny i tyto základní pojmy :

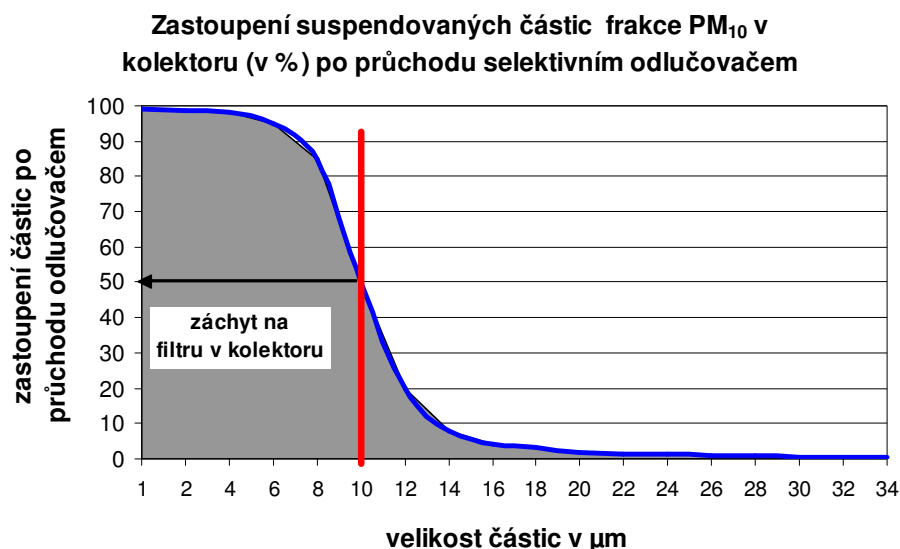
- **znečišťující látka** - jakákoliv látka vnesená do vnějšího ovzduší nebo v něm druhotně vznikající, která má přímo a nebo může mít po fyzikální nebo chemické přeměně nebo po spolupůsobení s jinou látkou škodlivý vliv na život a zdraví lidí a zvířat, na životní prostředí, na klimatický systém Země nebo na hmotný majetek
- **imisní limit** - hodnota nejvýše přípustné úrovně znečištění ovzduší vyjádřená v jednotkách hmotnosti na jednotku objemu při normální teplotě a tlaku

- **cílový imisní limit** - koncentrace znečišťující látky ve vnějším ovzduší, stanovená za účelem odstranění, zabránění nebo omezení škodlivých účinků na lidské zdraví a na životní prostředí celkově, které je třeba dosáhnout, pokud je to možné ve stanovené době
- **mez tolerance** - procento imisního limitu nebo část jeho absolutní hodnoty, o které může být imisní limit překročen

Nařízení vlády č. 350/2002 Sb., kterým se stanoví imisní limity a podmínky a způsob sledování, posuzování, hodnocení a řízení kvality ovzduší ve znění následných právních úprav (429/2005 Sb.) - definice základních pojmů :

- **suspendované částice** - pevné nebo kapalné částice, které v důsledku zanedbatelné pádové rychlosti přetrvávají dlouhou dobu v atmosféře
- **suspendované částice frakce PM<sub>10</sub>** - částice, které projdou velikostně selektivním vstupním filtrem vykazujícím pro aerodynamický průměr 10 μm s odlučovací účinností 50 %,
- **jemné suspendované částice frakce PM<sub>2,5</sub>** - částice, které projdou velikostně selektivním vstupním filtrem vykazujícím pro aerodynamický průměr 2,5 μm s odlučovací účinností 50 %,

K přesnému zjištění těchto frakcí slouží odběrové aparatury, které zachycují částice v určitém rozměrovém rozmezí. Při měření frakce PM<sub>10</sub> je tak např. zachycováno 50 % částic aerodynamického průměru 10 μm s rychle narůstajícím procentem zachytu



menších částic a naopak rychle klesajícím záchytem částic s větším průměrem. Grafický model vzorkování definované frakce PM<sub>10</sub> (adekvátně platí i pro PM<sub>2,5</sub>)

#### 4. IMISNÍ LIMITY A MEZE TOLERANCE PRO SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE (PM<sub>10</sub>) - NAŘÍZENÍ VLÁDY Č. 350/2002 SB. VE ZNĚNÍ NÁSLEDNÝCH PŘÁVNÍCH ÚPRAV (429/2004 SB.) - PŘÍLOHA Č. 2

Hodnoty imisních limitů jsou vyjádřeny v μg.m<sup>-3</sup> a vztahují se na standardní podmínky - objem přepočtený na teplotu 293,15 K a atmosférický tlak 101,325 kPa.

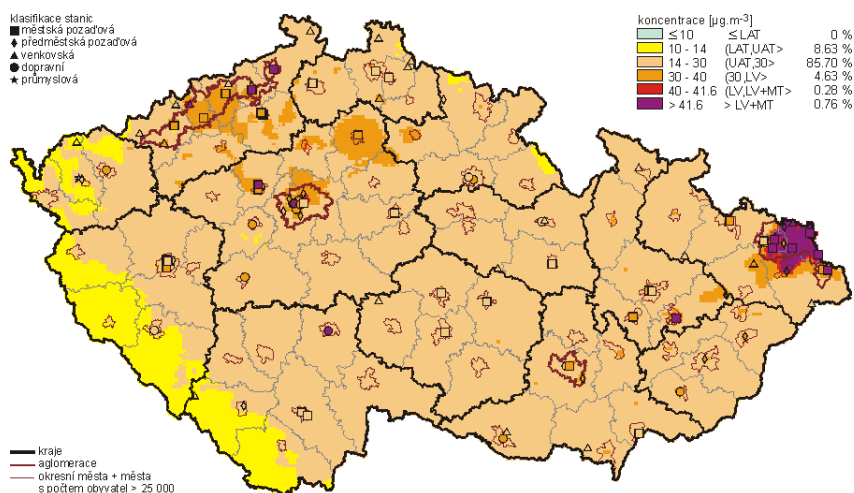
Účel vyhlášení	Parametr / Doba průměrování	Hodnota imisního limitu	Mez tolerance	Datum, do něhož musí být limit splněn
1. Ochrana zdraví lidí	Aritmetický průměr / 24 hodin	50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ PM <sub>10</sub> , nesmí být překročena více než 35krát za kalendářní rok	15 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (30 %)*	-
2. Ochrana zdraví lidí	Aritmetický průměr / Kalendářní rok	40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ PM <sub>10</sub>	4,8 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (12 %)*	-

Poznámky:

\* mez tolerance se od 1. ledna 2003 snižovala tak, aby dosáhla k 1. lednu 2005 nulové hodnoty. V letech 2003 až 2004 byly meze tolerance následující

	2003	2004
Pro 24 hodin	10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
Pro kalendářní rok	3,2 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	1,6 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

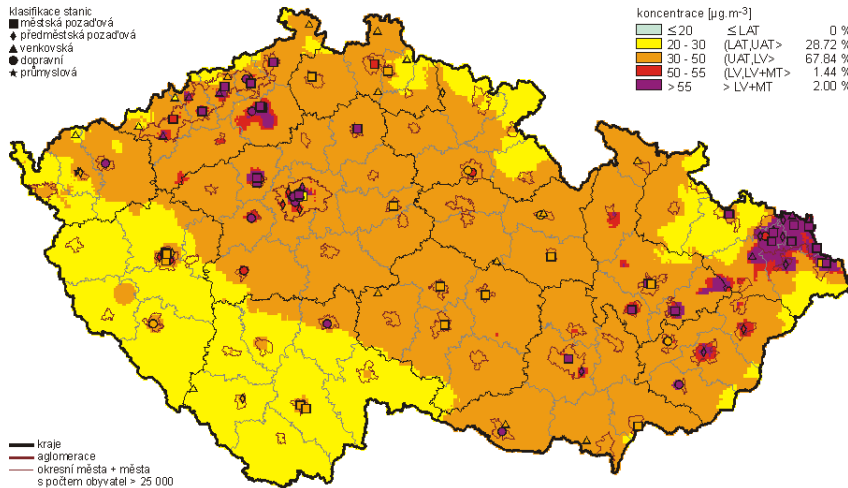
## 5. HODNOTY A TRENDY MĚŘENÝCH HODNOT



Pole roční průměrné koncentrace PM<sub>10</sub> v roce 2004

Znečištění ovzduší suspendovanými částicemi frakce PM<sub>10</sub> zůstává jedním z hlavních problémů zajištění kvality ovzduší dle požadavků a časových termínů legislativy. Nejvíce zatíženou souvislou oblastí je, stejně jako v předešlých letech, Ostravsko. Imisní limit 24hodinové koncentrace PM<sub>10</sub> zvýšený o mez tolerance byl v roce 2004 překročen více než 35x zejména na stanicích Moravskoslezského kraje dále na stanicích hlavního města Prahy Středočeského kraje a Ústeckého kraje. Z celkového počtu 94 stanic, kde byla měřena frakce PM<sub>10</sub> suspendovaných částic, došlo na 55 stanicích k překročení 24hodinového imisního limitu PM<sub>10</sub> ve více než 35 případech, z toho na 42 stanicích dokonce i k překročení imisního limitu a meze tolerance. V případě obou uvedených imisních charakteristik frakce PM<sub>10</sub> došlo v roce 2004 ke snížení počtu lokalit, na kterých bylo indikováno překročení imisního limitu. Důvodem toho však není faktické snížení znečištění, ale především meteorologické podmínky (r. 2003 byl extrémně suchý). Oblasti, kde koncentrace PM<sub>10</sub> překračují příslušné imisní limity, představují téměř 3,5 % plochy území státu a žije zde více než 34 % populace. Na všech stanicích byla překročena hodnota 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ročního průměru.

Znečištění ovzduší suspendovanými částicemi frakce PM<sub>10</sub> zůstává jedním z hlavních problémů zajištění kvality ovzduší dle požadavků a časových termínů legislativy. Nejvíce zatíženou souvislou oblastí je, stejně jako v předešlých letech, Ostravsko. Imisní limit 24hodinové koncentrace PM<sub>10</sub> zvýšený o mez

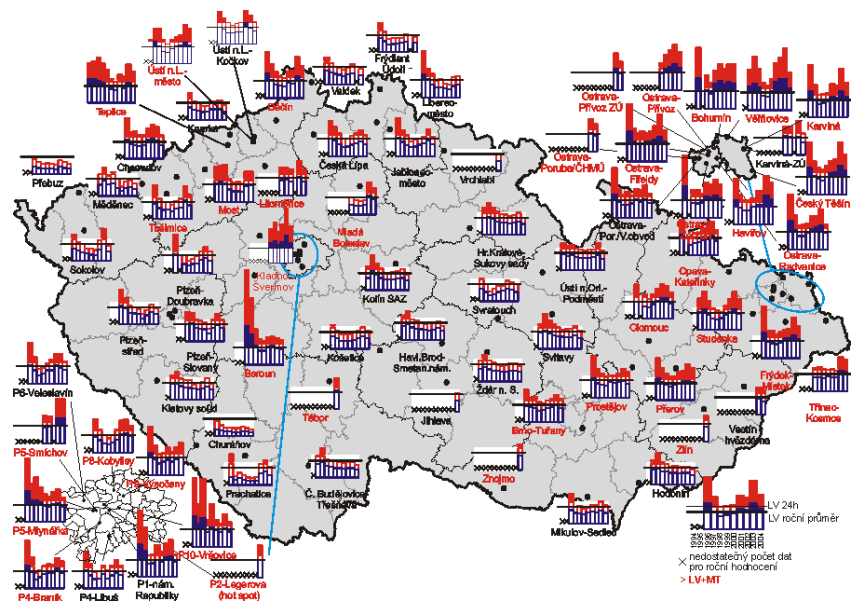


Uváděné mapy superponují výsledky staničních měření na modelem spočtenou hodnotu „pozadí“. V žádném případě tato mapa nepodchycuje lokální, ostře ohraničené oblasti (např. malá sídla). Je zřejmé „soustředění“ vysokých koncentrací v Ostravsko-karvinské oblasti, v Severních

Pole 36. nejvyšší 24hod. koncentrace PM<sub>10</sub> v roce 2004

Čechách a ve velkých městských aglomeracích (Praha, Brno).

**Vývoj měřených hodnot** od roku 1994 do roku 2004 shrnuje poslední mapa, kde jsou uvedeny průběhy ročních hodnot u jednotlivých stanic. Je zde zcela zřetelný počáteční pokles s minimem v roce 1997 následovaný pozvolným, ale vytrvalým nárůstem v dalším období.



36. nejvyšší 24hod. koncentrace a roční průměrné koncentrace PM<sub>10</sub> v letech 1994-2004 na vybraných stanicích

### Závěry a doporučení (citace ročenky ČHMÚ za rok 2004).

Znečištění ovzduší suspendovanými částicemi (frakcí PM<sub>10</sub>) překračuje stále imisní limity včetně mezí tolerance. Imisní limity pro 24hodinové koncentrace PM<sub>10</sub> byly i v roce 2004 překročeny více než 35x téměř ve všech krajích: v Moravskoslezském, Ústeckém, Středočeském, Olomouckém, Karlovarském, Libereckém, Plzeňském, Pardubickém, Jihomoravském a Zlínském a v hlavním městě Praze. V oblastech, kde koncentrace PM<sub>10</sub> v roce 2004 překročily imisní limity, žije více než 34 % populace (3,5 % území ČR).

Imisní limit pro suspendované částice, a to už s nulovou mezí tolerance, vstoupil v platnost 1. 1. 2005. A v roce 2005 byl tento limit překročen, čímž vzniká významný problém se všemi právními důsledky ve vztahu k české i evropské legislativě.

Překračování imisních limitů pro suspendované částice je závažným problémem ve většině evropských měst. Suspendované částice v atmosféře jsou komplikovaný fenomén a jejich aktuální hmotnostně vyjádřená koncentrace je jen zčásti dána příspěvkem lokálních emisí primárních částic, zejména dopravou. Další příspěvek k aktuální koncentraci je dán reemisemi (tedy zvířením již dříve emitovaných částic např. z povrchu vozovek, stavenišť apod.) a zbývající část jsou sekundární anorganické i organické částice vzniklé chemickou transformací plynných složek jak antropogenního původu ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  a nemetanické těkavé organické látky), tak i emisemi přírodními. Řešení nadměrných koncentrací suspendovaných částic v evropských městech je nutné řešit jak kooperací v rámci Evropy, tak na místní či regionální úrovni, zejména opatřeními na lokálním způsobu vytápění a snižováním emisí spojených s dopravou včetně zlepšování úklidu komunikací.

Relativně vysoký podíl sekundárních částic ukazuje, že poměrně významného snížení koncentrací  $\text{PM}_{10}$  bude možné dosáhnout dalším snižováním emisí složek vedoucích k tvorbě jemné frakce sekundárních částic v atmosférickém aerosolu. Znamená to zejména snižování emisí oxidů dusíku a těkavých organických látek v souladu s požadavkem dosažení národních emisních stropů, ale tak, aby byly do termínů daných zákonem splněny imisní limity pro  $\text{PM}_{10}$ .

Při interpretaci výsledků hodnocení je nutné zdůraznit, že mapy znečištění ovzduší jsou vytvářeny na základě měření, které je s ohledem na požadavky legislativy směřováno především do velkých aglomerací. Podle odborného odhadu a na základě výsledků publikovaných prací však lze s vysokou pravděpodobností očekávat, že zvýšené i nadlimitní koncentrace řady látek se vyskytují i v malých obcích, kde se neměří a ve kterých u nás žije poměrně značná část populace. Jedná se zejména o koncentrace suspendovaných částic, polyaromatických uhlovodíků a těžkých kovů. Zásadní roli na znečištění ovzduší hraje geomorfologie území, dopravní zátěž a způsob vytápění. Při použití dřeva a uhlí pro vytápění dochází ke zvýšení emisí částic, polyaromatických uhlovodíků a těžkých kovů. Pokud je v lokálních topeništích spalován odpad, dochází navíc k emitování nebezpečných dioxinů.

## 6. ZDRAVOTNÍ ASPEKTY

**Účinek suspendovaných částic závisí na jejich velikosti, tvaru a chemickém složení.** V současné době se klade význam na zohlednění velikosti částic, která je rozhodující pro průnik a depozici v dýchacím traktu. Větší částice jsou zachyceny v horních partiích dýchacího ústrojí, obvykle se dostanou do trávícího ústrojí a jedinec je jim exponován také jejich požitím. Částice frakce  $\text{PM}_{10}$  (tzv. thorakální frakce) se dostávají pod hrtan do dolních cest dýchacích, jemnější částice označené jako frakce  $\text{PM}_{2,5}$  (tzv. respirabilní frakce) pronikají až do plicních sklípků. Největší podíl prachu se ukládá v plicích při velikosti částic mezi 1 až 2  $\mu\text{m}$ . S dalším zmenšováním se částice začínají chovat jako plynné molekuly a jejich retence v plicích klesá. Částice menší než 0,001  $\mu\text{m}$  jsou téměř všechny zase vydechovány. Účinky suspendovaných částic jsou dále ovlivněny jejich chemickým složením a adsorpcí dalších znečišťujících látek na jejich povrchu.

**Hodnocení akutních účinků a změn v denních koncentracích.** Suspendované částice **dráždí sliznici** dýchacích cest, mohou způsobit **změnu morfologie i funkce**

**řasinkového epitelu, zvýšit produkci hlenu a snížit samočisticí schopnosti dýchacího ústrojí.** Tyto změny usnadňují vznik infekce. Recidivující akutní zánětlivá onemocnění mohou vést ke vzniku chronické bronchitidy a chronické obstrukční nemoci plic s následným přetížením pravé srdeční komory a oběhovým selháváním. Tento vývoj je současně podmíněn a ovlivněn mnoha dalšími faktory jako je stav imunitního systému, alergická dispozice, expozice v pracovním prostředí, kouření apod. Efekt krátkodobě zvýšených koncentrací suspendovaných částic frakce PM<sub>10</sub> se projevuje **zvýrazněním symptomů u astmatiků a zvýšením celkové nemocnosti i úmrtnosti.** Citlivou skupinou jsou děti, starší osoby a osoby s chronickým onemocněním dýchacího a oběhového ústrojí.

Účinkům suspendovaných částic na zdraví je věnována stále velká pozornost, přesto se stále nepodařilo stanovit prahovou koncentraci, která by byla bez účinku. Za nejvýznamnější z hlediska vlivů na zdraví se považuje nejjemnější frakce suspendovaných částic < 2,5 μm/m<sup>3</sup>, na které se významně podílí sekundární vznik částic chemickými reakcemi původně plynných látek v ovzduší, jako je oxid dusičitý a siřičitý.

Současné závěry o účincích suspendovaných částic na zdraví vycházejí především z výsledků epidemiologických studií posledních 10 let. Mezi nejčastěji popisované efekty patří **ovlivnění nemocnosti a úmrtnosti**, ke kterým dochází již při velmi nízké úrovni expozice. Mnoho prací ukazuje na **zvýšení celkové úmrtnosti o 3-12 %, při zvýšení denní koncentrace TSP o 100 μg (respektive o 50 μg/m<sup>3</sup> PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub>), u respiračních příčin smrti se udává zvýšení až o 17 %.** Úmrtnost stoupá neprodleně nebo se zpožděním 1 - 3 dny. Ve studii realizované ve 20 největších amerických městech v letech 1987 až 1994 bylo prokázáno (Samet a spol) že zvýšení koncentrace PM<sub>10</sub> o 10 μg/m<sup>3</sup> vede ke zvýšení celkové úmrtnosti o 0,51 %, a úmrtnost na kardiovaskulární a respirační příčiny se zvyšuje o 0,68 %. Tyto výsledky jsou velmi konzistentní se závěry z předchozích studií, které publikovali Dockery, Pope a Schwartz a ve kterých se zvýšení celkové úmrtnosti vztažené ke zvýšení koncentrace PM<sub>10</sub> o 10 μg/m<sup>3</sup> pohybovalo v rozmezí 0,4 - 1 %.

**Směrnice pro kvalitu ovzduší v Evropě WHO** vydaná v roce 2000 uvádí jako sumární odhad ze 17 epidemiologických studií denní **zvýšení celkové úmrtnosti v souvislosti se zvýšením denní průměrné koncentrace PM<sub>10</sub> o 10 μg/m<sup>3</sup> o 0,74 %.**

Epidemiologické studie dále uvádějí vztahy mezi změnami denních imisních koncentrací PM<sub>10</sub> a počtem hospitalizací pro respirační onemocnění, spotřebou léků k rozšíření průdušek, frekvencí výskytu příznaků onemocnění dýchacího traktu (např. kašel), a změnami plicních funkcí při spirometrickém vyšetření.

Jako **sumární odhad** z různých epidemiologických studií **vztažený ke zvýšení denní průměrné koncentrace PM<sub>10</sub> o 10 μg/m<sup>3</sup>** uvádí WHO konkrétně **zvýšení počtu hospitalizací z důvodu respiračních onemocnění o 0,8 %, nárůst použití léků k rozšíření průdušek při astmatických potížích o 3 %, zvýšení počtu lidí trpících kašlem o 3,6 % a lidí s podrážděním dolních dýchacích cest o 3,2 %.**

**Pro hodnocení dlouhodobých účinků** na základě ročních průměrných koncentrací existuje podstatně méně podkladů. Pozorované účinky se většinou týkají **snížení plicních funkcí** při spirometrickém vyšetření u dětí i dospělých, **výskytu symptomů**

**chronické bronchitidy a spotřeby léků pro rozšíření průdušek při dýchacích obtížích a zkrácení očekávané délky života.** Pro suspendované částice frakce PM<sub>10</sub> bývají uváděny i u průměrných ročních koncentrací nižších než 30 µg/m<sup>3</sup>. Epidemiologické studie z USA naznačují, že očekávaná délka života v oblastech s vysokou imisní zátěží může být o více než rok kratší ve srovnání s oblastmi se zátěží nízkou. Tato redukce očekávané délky života se přitom začíná projevovat již od průměrných ročních koncentrací jemných částic 10 µg/m<sup>3</sup>. Podle epidemiologických studií uváděných WHO by **zvýšení dlouhodobé průměrné koncentrace PM<sub>10</sub> o 10 µg/m<sup>3</sup> mělo být spojeno se zvýšením úmrtnosti o 10 % a nárůstem prevalence bronchitis u dětí o 29 %.**

Ke kvantitativnímu odhadu zvýšení rizika některých zdravotních ukazatelů u exponované populace jsou používány vztahy, publikované v řadě epidemiologických studií.