

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 60/2004 Sb.*) je zaveden termín **suspendované částice**, dále definovaný takto: „suspendované částice jsou pevné nebo kapalné 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 μm . Tyto částice setrvávají v ovzduší relativně dlouho, udává se cca 7 až 30 dnů. Částice vzniklé mechanickým dispergováním jsou naopak obvykle větší než 2 μm a jejich životnost v ovzduší je kratší.

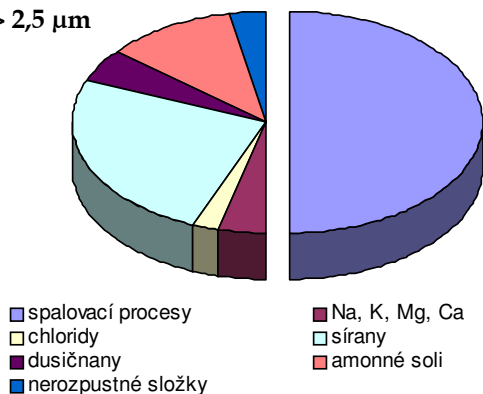
Z hlediska původu, složení i chování se jemná frakce částic do 2,5 μm a hrubší frakce většího průměru významně liší. pH jemných částic je často v kyselé oblasti, jemné částice jsou do značné míry rozpustné a zahrnují sekundárně vzniklé aerosoly kondenzací plynů, částice ze spalování fosilních paliv včetně 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.

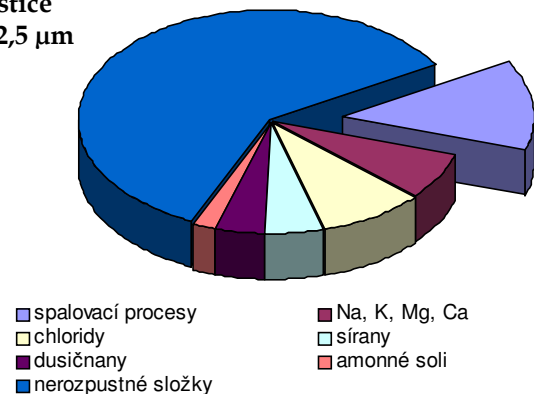
Hrubší částice naproti tomu bývají zásaditého pH, jsou z větší části nerozpustné a vznikají nekontrolovaným spalováním, mechanickým rozpadem materiálu zemského povrchu, při demolicích, dopravě na neupravených komunikacích a sekundárním vířením prachu. Podléhají rychlé sedimentaci během minut až hodin 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 PM₁₀

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

- V roce 2004

- měří suspendované částice frakce PM₁₀ v obou sítích celkem 125 stanic

- měří suspendované částice frakce PM_{2,5} v obou sítích celkem 19 stanic

(Je to více než evropský průměr)

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 92/2004 Sb.), akceptování evropské legislativy, kde jsou uvedeny i tyto základní pojmy :

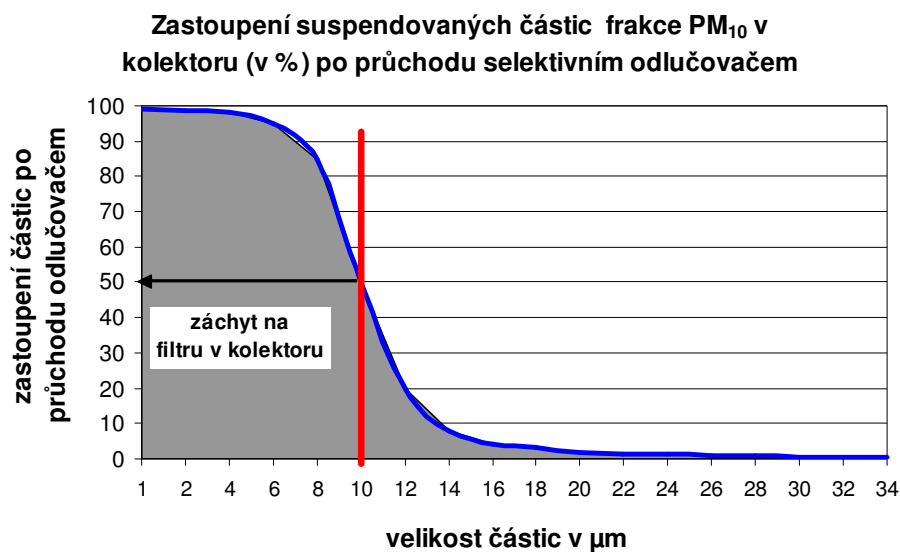
- **znečišťující látka** - jakákoliv látka vnesená do vnějšího ovzduší nebo v něm druhotně vznikající, která má přímo a nebo může mít po fyzikální nebo chemické přeměně nebo po spolupůsobení s jinou látkou škodlivý vliv na život a zdraví lidí a zvířat, na životní prostředí, na klimatický systém Země nebo na hmotný majetek

- **imisní limit** - hodnota nejvýše přípustné úrovně znečištění ovzduší vyjádřená v jednotkách hmotnosti na jednotku objemu při normální teplotě a tlaku
- **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 (60/2004 Sb.) - definice základních pojmů :

- **suspendované částice** - pevné nebo kapalné částice, které v důsledku zanedbatelné pádové rychlosti přetrvávají dlouhou dobu v atmosféře
- **suspendované částice frakce PM₁₀** - částice, které projdou velikostně selektivním vstupním filtrem vykazujícím pro aerodynamický průměr 10 μm s odlučovací účinností 50 %,
- **jemné suspendované částice frakce PM_{2,5}** - 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 PM₁₀ je tak např. zachycováno 50 % částic aerodynamického průměru 10 μm s rychle narůstajícím procentem záchytu menších částic a naopak rychle klesajícím záchytem částic s větším průměrem. Grafický model vzorkování definované frakce PM₁₀ (adekvátně platí i pro PM_{2,5})



4. IMISNÍ LIMITY A MEZE TOLERANCE PRO SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE (PM₁₀) - NAŘÍZENÍ VLÁDY Č. 350/2002 SB. VE ZNĚNÍ NÁSLEDNÝCH PRÁVNÍCH ÚPRAV (60/2004 SB.) - PŘÍLOHA Č. 2

Hodnoty imisních limitů jsou vyjádřeny v μg.m⁻³ 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	Aritmetický	50 μg.m ⁻³ PM ₁₀ , nesmí	15 μg.m ⁻³	1. 1. 2005

Účel vyhlášení	Parametr / Doba průměrování	Hodnota imisního limitu	Mez tolerance	Datum, do něhož musí být limit splněn
zdraví lidí - I.etapa	průměr / 24 hodin	být překročena více než 35krát za kalendářní rok	(30 %)*	
2. Ochrana zdraví lidí - I.etapa	Aritmetický průměr / Kalendářní rok	40 $\mu\text{g.m}^{-3}$ PM ₁₀	4,8 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (12 %)*	1. 1. 2005
1. Ochrana zdraví lidí - II.etapa ¹⁾	Aritmetický průměr / 24 hodin	50 $\mu\text{g.m}^{-3}$ PM ₁₀ , nesmí být překročena více než 7 krát za kalendářní rok	Bude odvozena ze získaných údajů a bude ekvivalentní limitním hodnotám pro I. etapu	1. 1. 2010
2. Ochrana zdraví lidí - II.etapa ¹⁾	Aritmetický průměr / Kalendářní rok	20 $\mu\text{g.m}^{-3}$ PM ₁₀	10 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (50 %) 1. ledna.2005**	1. 1. 2010

Poznámky:

¹⁾ Uvedené indikativní hodnoty podléhají přezkoumání s ohledem na nově přijaté směrné informace o účincích na zdraví a životní prostředí, technickou proveditelnost a zkušenosti s uplatňováním limitních hodnot v etapě I.

* 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

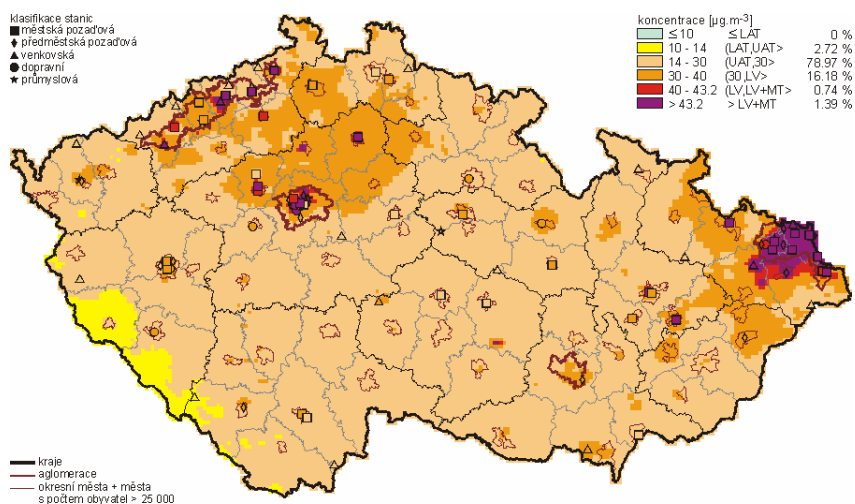
	2003	2004
Pro 24 hodin	10 $\mu\text{g.m}^{-3}$	5 $\mu\text{g.m}^{-3}$
Pro kalendářní rok	3,2 $\mu\text{g.m}^{-3}$	1,6 $\mu\text{g.m}^{-3}$

** mez tolerance se bude od 1. ledna 2006 lineárně snižovat - každých 12 měsíců tak, aby dosáhla 1. ledna 2010 nulové hodnoty. V letech 2006 až 2009 budou meze tolerance následující

	2006	2007	2008	2009
Pro kalendářní rok	8 $\mu\text{g.m}^{-3}$	6 $\mu\text{g.m}^{-3}$	4 $\mu\text{g.m}^{-3}$	2 $\mu\text{g.m}^{-3}$

*** K měření koncentrací suspendovaných částic frakce PM₁₀ lze použít také metodu stanovení celkového prašného aerosolu (total suspended particulates) při přepočtu za použití koeficientu 0,8. Hodnota koeficient přepočtu koncentrace suspendovaných částic frakce PM₁₀ na frakci PM_{2,5} se odhaduje na 0,8 až 0,9.

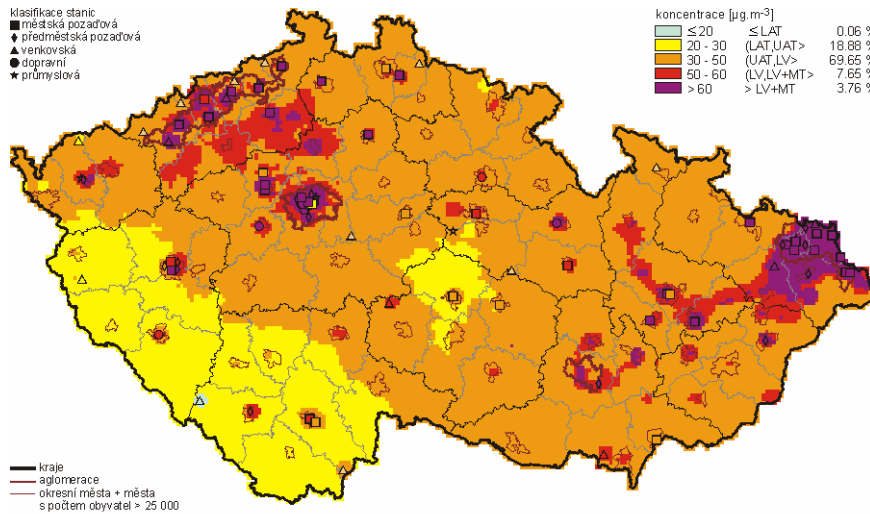
5. HODNOTY A TRENDY MĚŘENÝCH HODNOT



V roce 2003 (komplexní data za rok 2004 nejsou dosud k dispozici) znečištění ovzduší suspendovanými částicemi (frakcí PM₁₀) překračovalo imisní limity včetně meze tolerance. Imisní limit pro 24hodinové koncentrace PM₁₀ (50

$\mu\text{g}/\text{m}^3$) byl i v roce 2003 (podobně jako v roce 2002) překročen více než 35x téměř ve všech krajích. V oblastech, kde koncentrace PM_{10} v roce 2003 překročily imisní limity,

Klasifikace stanic
 ■ městská pozadová
 ▲ předměstská pozadová
 ▲ venkovská
 ● dopravní
 ▼ průmyslová



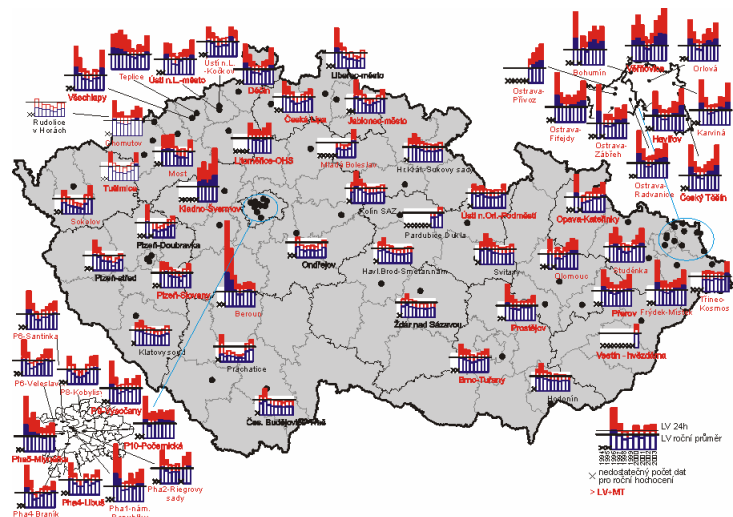
koncentrace [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]	limity	podíl
≤ 20	$\leq \text{LAT}$	0,06 %
20 - 30	(LAT/UAAT)	18,68 %
30 - 50	(UAAT/LV)	69,65 %
50 - 60	(LV/LV+MT)	7,65 %
> 60	> LV+MT	3,76 %

žije více než 37 % populace (11,5 % území ČR). Na všech stanicích byla překročena hodnota $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ročního průměru. Uváděné mapy superponují výsledky staničních měření na modelem spočtenou hodnotu „pozadí“. V žádném případě tato mapa nepodchycuje lokální,

Pole 36. nejvyšší 24hod. koncentrace PM_{10} v roce 2003

ostře ohraničené oblasti (např. malá sídla). Je zřejmé „soustředění“ vysokých koncentrací v Ostravsko-karvinské oblasti, v Severních Čechách a ve velkých městských aglomeracích (Praha, Brno).

Vývoj měřených hodnot od roku 1994 do roku 2003 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 leč vytrvalým nárůstem v dalším období.



36. nejvyšší 24hod. koncentrace a roční průměrné koncentrace PM_{10} v letech 1994-2003 na vybraných stanicích

Doporučení (citace ročenky ČHMÚ za rok 2003).

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 a zbývající část jsou sekundární anorganické i organické částice vzniklé chemickou transformací plyných složek jak antropogenního původu (SO_2 , NO_x a nemetanické těkavé organické látky), tak i emisemi z přírody. Řešení nadměrných koncentrací suspendovaných částic v evropských městech tedy bude nutno řešit jak kooperací v rámci Evropy, tak na místní či regionální úrovni, zejména opatřeními na lokálním vytápění a snižováním emisí spojených s dopravou včetně zlepšování úklidu komunikací.

Relativně vysoký podíl sekundárních částic ukazuje, že poměrně významného snížení koncentrací PM₁₀ bude možné dosáhnout dalším snižováním emisí složek vedoucích k tvorbě 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 PM₁₀.

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 trávicího ústrojí a jedinec je jim exponován také jejich požitím. Částice frakce PM₁₀ (tzv. thorakální frakce) se dostávají pod hrtan do dolních cest dýchacích, jemnější částice označené jako frakce 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 μm. S dalším zmenšováním se částice začínají chovat jako plynné molekuly a jejich retence v plicích klesá. Částice menší než 0,001 μm 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 oběhovému 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 PM₁₀ 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/m³, 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/m³ PM₁₀ a PM_{2,5}), 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 PM₁₀ o 10 µg/m³ 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 PM₁₀ o 10 µg/m³ 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 PM₁₀ o 10 µg/m³ o 0,74 %.**

Epidemiologické studie dále uvádějí vztahy mezi změnami denních imisních koncentrací PM₁₀ 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 PM₁₀ o 10 µg/m³** 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 PM₁₀ bývají uváděny i u průměrných ročních koncentrací nižších než 30 µg/m³. 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/m³. Podle epidemiologických studií uváděných WHO by **zvýšení dlouhodobé průměrné koncentrace PM₁₀ o 10 µg/m³ 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.