

Význam měření ultrajemných částic

Projekt UFIREG, output 6.3.2., červenec 2014.

Překlad dokumentu [Importance of UFP measurements](#)

Cílem projektu UFIREG je výzkum vlivu ultrajemných částic (UFP, o průměru menším než 100 nm) a dalších polutantů na naše zdraví. Hlavní důraz je kladen na implementaci a harmonizaci měření UFP ve městech účastnících se projektu (pro epidemiologické části studie), ale projekt směřuje rovněž k vývoji dlouhodobých strategií pravidelného měření UFP v rámci sítí monitorujících kvalitu ovzduší.

Z výsledků epidemiologických studií vyplývá, že prachové částice (PM) v okolním ovzduší jsou asociovány s negativními zdravotními důsledky, včetně úmrtí (Braniš, Brunekreef and Holgate, 2002; Dockery, 2009; Brook et al., 2010; Ruckerl et al., 2011). Většina těchto studií používá jako ukazatel expozice koncentraci hmotnosti PM, rovněž proto, že je dobře měřitelná. Nicméně je to ukazatel dost obecný, protože PM vznikají z mnoha různých zdrojů a mají odlišné morfologické, chemické i fyzikální parametry. Přesto je koncentrace hmotnosti relativně dobrým indikátorem pro směsi částic vyskytujících se v ovzduší. Pro charakterizování PM v okolním vzduchu se však používají více specifické indikátory. Často používaná klasifikace PM dle jejich velikosti umožňuje do jisté míry posoudit i jejich původ, transport a clearance z ovzduší a jejich depozici a clearance v našich plicích. Částečně je asociovaná i s chemickým složením částic a jejich zdrojem (WHO, 2004).

Průměr PM je v rozsahu 5ti řádů od několika nanometrů do 100 μm . Rozlišujeme hrubé (coarse) prachové částice o aerodynamickém průměru od 2.5 do 10 μm ($\text{PM}_{2.5-10}$) a jemné (fine) částice s aerodynamickým průměrem $\leq 2.5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$). Jak hrubé tak jemné frakce PM pravděpodobně indukují toxicitu a negativní zdravotní změny. Hrubé částice vnikají do horních částí dýchacích cest a plic a obvykle jsou deponovány výše než částice jemné (obzvláště $\text{PM}_{2.5}$), které pronikají hlouběji do plic a dostanou se až do alveolárních oblastí plic. Hygienické limity EC pro $\text{PM}_{2.5}$ a PM_{10} nahradily od roku 1996 dřívější limity pro TSP (celkový počet suspendovaných částic) (EC, 1996; EC, 2008). Za ultrajemné (UFP – ultrafine particles) jsou považovány částice s průměrem menším než 100 nm. Přispívají jen málo k



celkové hmotnosti PM v ovzduší, ale početně představují většinu celkového počtu částic a většinu jejich souhrnné povrchové plochy. Podle Hindse (1999) tvoří UFP více než 85% celkového počtu PM_{2.5}. V evropském projektu UFIREG – viz níže – jsou zásadně rozlišovány dvě velikostní kategorie ultrajemných částic: nukleační mode, t.j. částice o velikosti < 30 nm, a Aitkenův mode, t.j. částice o velikosti 20-100 nm (Hussein et al., 2004). Větší částice vznikají obvykle koagulací a aglomerací, akumulací či kondenzací částic menších (nukleační částice a Aitkenovy částice).

Protože UFP mají velmi nízkou hmotnost na jednotku objemu vzduchu (typicky méně než 1 µg/m³) je jejich přímé měření náročné. Při odběru na filtry je nutné používat dlouhé odběrové časy, aby se zachytilo dostatečně velké množství částic pro detekci s použitím komerční váhy. Dlouhá doba měření přináší zvýšené riziko ovlivnění jiným faktorem (např. plyn versus částice), což může významně ovlivnit detekci měřením hmotnosti (HEI Review Panel on Ultrafine Particles, 2013). Další metody detekce koncentrace UFP v ovzduší je měření *quasi-ultrafine* částic (o průměru < 0.180 µm (PM_{0.180}) nebo < 0.250 (PM_{0.250}) s použitím kaskádních impaktorů, měřením jednotlivých chemických sloučenin vázaných na PM_{0.1} (což je spodní hranice pro detekci jednotlivých sloučenin pro hmotnostní koncentraci UFP), a měření povrchové plochy částic. Nicméně, nejpoužívanější způsob měření koncentrace UFP je stanovení početní koncentrace částic v jednotce objemu vzduchu (particle number concentration - PNC). Vzhledem ke spolehlivosti metod měření PNC je to mnohem přesnější parametr než hmotnost částic (PM_{0.1}), chemické složení UFP, nebo měření plochy povrchu.

Pro prachové částice PM_{2.5} a PM₁₀ jsou v současnosti stanoveny pouze limitní hmotnostní koncentrace. Odborníky je kritizováno, že neexistují žádné limitní hodnoty pro jejich PNC v okolním ovzduší. Proč tedy je frakce nejmenších částic tak důležitá, když přispívá tak málo ke hmotnostní koncentraci PM v ovzduší?

Především je nepravděpodobné, že všechny částice, bez ohledu na velikost/chemické složení/zdroj, budou mít stejný účinek na zdraví lidí. V porovnání s frakcemi větších prachových částic mají UFP některé odlišné vlastnosti a reprezentují jednu z charakteristik městského aerosolu ne zcela úplně vyplývající z vlastností PM_{2.5} a PM₁₀. Korelace mezi těmito dvěma frakcemi (hmotnostní koncentrace PM – UFP) je nízká. Dále, UFP jsou často považovány za marker lokálně emitovaných primárních částic. Jsou často ve velkém počtu produkovány v městských oblastech při spalovacích procesech v motorech automobilů,

uhelnými elektrárnami a výtopnami a domácím topením (Morawska et al., 2008; Zhu et al., 2002). Dalším zdrojem UFP je sekundární nukleace z plyných prekurzorů (Brock et al., 2002; Holmes, 2007; Kulmala and Kerminen, 2008). Rovněž chemické složení UFP se liší od chemického složení větších částic. Hlavní komponentou UFP je uhlíkový materiál – elementární uhlík (EC) a organický uhlík (OC) vznikající při spalovacích procesech – a v menší míře komponenty sekundárních částic jako jsou sírany, dusičnany a čpavek.

Jak již bylo řečeno, UFP přispívají ke hmotnostnímu objemu PM_{10} či $PM_{2.5}$ velice málo, ale mají velký poměr povrchové plochy k hmotnosti a vysokou početní koncentraci. Vysoká početní koncentrace UFP spolu s vysokým poměrem plochy povrchu k hmotnosti rezultují ve velkém bio-aktivním povrchu, na který se mohou adsorbovat nebo na něm kondenzovat toxické polutanty (oxidující plyny, organické sloučeniny a přechodné kovy) (Oberdörster, 2001). Vlastnosti UFP, kterými se liší od větších částic, jsou důvodem jejich potenciálu negativně ovlivnit lidské zdraví. Nejdůležitější vlastnosti UFP shrnul Peters et al. (2011):

- Jsou ve větší míře deponovány v alveolárních částech plic než ve větších částech dýchacích cest.
- Jejich pohyb je učován spíše difuzí než aerodynamickými charakteristikami částic.
- Mají malou hmotnost ale vysoké počty a povrchovou plochu.
- V plicních alveolech nejsou příliš účinně rozpoznávány a odstraňovány makrofágy.
- Předpokládá se, že mají potenciální možnost translokace do buněk a tím i do dalších orgánů.

První důkazy jejich negativních účinků na zdravotní stav byly získány v experimentálních studiích *in vivo*. Usuzuje se, že z hlediska expozice je relevantnější počet UFP než jejich celková hmotnost, protože UFP mají větší celkový povrch. První epidemiologické studie negativních účinků UFP na zdraví byly studie panelové. Ve své většině prokazovaly asociaci výskytu akutních respiračních symptomů a ovlivnění respiračních funkcí s krátkodobou expozicí UFP (Peters et al., 1997; Penttinen et al., 2001). Ale jenom málo studií hodnotilo závažnější důsledky jako jsou denní úmrtnost či počty hospitalizovaných osob (např. Wichmann et al., 2001; Forastiere et al., 2005, Stölzel et al. 2007, Breitner et al., 2009).

V těchto studiích bylo pozorováno, že UFP mají negativní účinky na zdraví stejného rozsahu jako větší prachové částice. Výsledky studií však naznačovaly, že účinky UFP byly nezávislé na účincích $PM_{2.5}$ nebo PM_{10} (Pekkanen et al., 2002; Stolzel et al., 2007).

Ačkoliv počet studií prokazujících negativní zdravotní účinky UFP narůstá, nelze stále s definitivní jistotou uzavřít, že existují specifické zdravotní důsledky expozice UFP. I v nedávno publikované review výsledků studií zdravotního účinku UFP (HEI Review Panel on Ultrafine Particles, 2013), bylo konstatováno, že stále existují nesrovnalosti a omezené možnosti interpretace výsledků krátkodobých studií ovlivnění zdravotního stavu expozicemi UFP. Mimoto nebyla dosud realizována žádná studie účinků expozice dlouhodobé. Dále, jenom relativně málo studií přímo porovnálo účinky UFP s dalšími velikostními frakcemi prachových částic, takže kvantitativní aspekty nelze posoudit. Navíc, většina těchto studií byla realizována v západní Evropě a velice málo studií bylo realizováno v dalších teritoriích. Důsledkem je, že skrovné údaje o vlivech UFP na zdraví dosud nedovolují definovat ani jejich účinky ani limitní hodnoty expozice této frakci prachových částic (HEI Review Panel on Ultrafine Particles, 2013).

K podobným závěrům dospěl projekt REVIHAAP (WHO), který měl za cíl informovat o revizi politiky Evropské Unie v problematice kvality ovzduší z roku 2013 (WHO, 2013). Jeho závěrem bylo, že ačkoliv existuje množství důkazů, že UFP se mohou podílet na negativních zdravotních účincích PM, vědecky podložených výsledků je příliš málo než aby mohly sloužit jako vědecké východisko k posuzování početní koncentrace UFP a stanovení hodnot limitů. Dalším důvodem je naprostá absence dlouhodobých epidemiologických studií a údajů o případném vztahu koncentrace-účinek.

V obecné rovině projekt REVIHAAP vytyčil tři oblasti našich nedostatečných znalostí:

a) Je málo epidemiologických studií prokazujících účinek UFP na naše zdraví, b) není jednoznačně zjištěno, že účinek UFP je nezávislý na účinku $PM_{2.5}$ and PM_{10} a c) není známo, které fyzikální či chemické charakteristiky UFP jsou z hlediska zdravotních účinků nejvýznamnější. Hlavním důvodem malého množství epidemiologických studií efektu UFP je, že většina stanic monitorovacích sítí sledujících kvalitu ovzduší UFP rutinně neměří. Takže se zdá, že jde o typický problém vejce a slepice:

a) UFP nejsou rutinně monitorovány sítí stanic sledujících kvalitu ovzduší UFP, protože neexistují limity koncentrací této velikosti nejmenší frakce částic.



- b) Limitní hodnoty nemohou být stanoveny, protože neexistuje dostatek publikovaných studií.
- c) Nedostatek údajů o vlivu UFP na zdravotní stav je způsoben především tím, že UFP nejsou rutinně měřeny monitorovacími sítěmi (viz a).

Strategie monitorování kvality ovzduší navrhovaná projektem REVIHAAP by mohla vést k přerušení tohoto bludného kruhu. Jednou z hlavních implikací je potřeba intenzivnějšího monitorování, jak pravidelně prováděným měřením lokálními monitorovacími sítěmi, tak v rámci projektů za účasti odborníků na zdravotní problematiku. Bylo proto doporučeno použití v celoevropském měřítku tak zvaných “supersites” pro realizaci společných studií používajících stejné techniky monitoringu a hodnocení zdravotního stavu. V nich by měly být měřeny další parametry kvality ovzduší, jako chemické složení částic, plocha jejich povrchu, velikostní parametry, oxidační potenciál a další. Nové studie by měly současně měřit větší počet polutantů a definovat křivky závislosti účinku na koncentraci i pro další velikostní třídy PM (WHO, 2013).

Potřeba tzv. “multi-pollutant” přístupu byla rovněž zdůrazněna v review publikované panelem odborníků Health Effects Institute (HEI Review Panel on Ultrafine Particles, 2013). Řada epidemiologických studií negativních účinků na zdravotní stav nebere do úvahy možný současný vliv plyných polutantů (především těch obsažených ve výfukových zplodinách – CO, NO) nebo PM jiných velikostí. Panelisté poukázali na fakt, že jeden z faktorů limitujících porovnání a interpretaci dosud publikovaných epidemiologických studií krátkodobých účinků UFP je variabilita metodik měření a stanovení expozice a detekce negativních zdravotních účinků. Což pochopitelně komplikuje použití metaanalýzy dosavadních údajů - žádná zatím provedena nebyla, narozdíl od účinků PM_{2.5} a PM₁₀. Zařazení měření UFP do programů evropských monitorovacích “supersites” by napomohlo harmonizaci měřících metod a jejich dezignu (adjustaci pro další současně působící polutanty) a zvětšilo by možnosti porovnávat budoucí epidemiologické studie.

Důležitým aspektem je harmonizace a kontrola kvality měření UFP. V nedávném projektu AirMonTech (<http://www.airmontech.eu/>) bylo zjištěno, že měřící techniky PNC nejsou zatím tak pokročilé a harmonizované jako techniky měření PM₁₀, PM_{2.5} nebo černého uhlíku. Navíc, kvalita existujících údajů nemusí být přímo porovnatelná. AirMonTech je evropský projekt,



jehož cílem je kompilace znalostí a informací potřebných pro harmonizaci měření znečištění ovzduší a dalšího vývoje jeho monitorování.

Jedno z klíčových doporučení AirMonTech je, že řada dalších polutantů nebo charakteristik známých polutantů může být rovněž významná pro zdravotní stav populace a měla by být zahrnuta do strategie monitorování kvality ovzduší. Prioritními kandidáty pro rozšíření zkušebního monitorování jsou “real-time” metody měření černého uhlíku, koncentrace velikosti povrchu, početní koncentrace UFP a některé další charakteristiky. Program monitorovacích sítí vyžadovaný dokumentem Air Quality Directive by měl být dostatečně široký, aby byl v souladu minimálně s EU standardy jak v pozadových tak v hotspot místech (sites), a umožnil stanovení expozice populace pro studie zdravotního stavu. Bylo důrazně doporučeno integrovat permanentní “research sites” měřící velkou řadu polutantů na pečlivě vybraných místech do sítí monitorujících kvalitu ovzduší. Bylo explicitně řečeno, že národní monitorovací sítě mají za úkol kromě monitorování i např. objasňování negativních zdravotních účinků, detekci zdrojů polutantů a snižování celkového znečištění.

Souhrn

Ultrajemné částice (UFP) jenom lehce přispívají k celkové hmotě PM_{10} či $PM_{2.5}$ ale mají velký poměr celkového povrchu k jejich hmotnosti a velkou početní koncentraci. Odlišnost vlastností UFP od vlastností větších PM představuje závažný aspekt z hlediska jejich potenciálního negativního vlivu na lidské zdraví. Epidemiologické studie poskytly důkazy, že negativní zdravotní účinky UFP se liší od negativních zdravotních účinků větších částic. Ale, jak zdůraznily závěry projektu REVIHAAP (WHO, 2013), vědecky podložených důkazů je dosud příliš málo na to, aby mohly být vypracovány, navrženy a stanoveny jejich limitní hodnoty, jejich PNC v ovzduší. Navíc, v dosud provedených epidemiologických studiích jsou určité limitující nedostatky a studie dlouhodobých účinků neexistují. Dále je za závažný nedostatek současných studií považován fakt, že koncentrace UFP byly v jednotlivých studiích měřeny různými metodami. Důvodem je, že monitorování koncentrace UFP v okolním ovzduší není většinou zahrnuto do programu sítí monitorujících kvalitu ovzduší, a dosavadní měření byla provedena aniž tyto metody byly harmonizovány.

Ze závěrů některých evropských projektů (REVIHAAP, AirMonTech) vyplývá potřeba monitorovat UFP v sítích monitorovacích stanic kvality ovzduší a v rámci výzkumných projektů lékařů specialistů. Tzv. “supersites” by měly napříč Evropou realizovat studie používající stejné měřicí a epidemiologické metody. Byla zdůrazněna i potřeba standardizovaných měřicích technik a zahrnutí i dalších polutantů do strategie monitorování kvality ovzduší. Shromáždění většího objemu dat umožní sledovat i prostorovou a časovou proměnlivost koncentrací UFP (která může být značná). Takový postup poskytne informace o případných trendech, a v neposlední řadě i databázi kvalitních údajů pro budoucí epidemiologické studie negativních zdravotních účinků UFP. Dostatečné množství údajů o UFP umožní i stanovení případného vztahu koncentrace–účinek a stanovení limitních PNC v ovzduší.

Literatura

- Breitner S, Stolzel M, Cyrus J, Pitz M, Wolke G, Kreyling W, et al. 2009. Short-term mortality rates during a decade of improved air quality in Erfurt, Germany. *Environmental Health Perspectives* 117: 448-454.
- Brunekreef B, Holgate ST. 2002. Air pollution and health. *Lancet* 360: 1233-1242.
- Brock CA, Washenfelder RA, Trainer M, Ryerson TB, Wilson JC, Reeves JM, et al. 2002. Particle growth in the plumes of coal-fired power plants. *Journal of Geophysical Research* 107: AAC 9-1-AAC 9-14.
- Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA, Brook JR, Bhatnagar A, Diez-Roux AV, et al. 2010. Particulate Matter Air Pollution and Cardiovascular Disease: An Update to the Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation* 121: 2331-2378.
- EC. Council Directive 99/30/EC of 22 April 1999 relating to limit values for sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air. *Off. J. Eur. Communities: Legis.* 1999, 163, 41-60.
- EC. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. *Off. J. Eur. Communities: Legis.* 2008, 152, 1-44.
- Forastiere F, Stafoggia M, Picciotto S, Bellander T, D'Ippoliti D, Lanki T, et al. 2005. A Case-Crossover Analysis of Out-of-Hospital Coronary Deaths and Air Pollution in Rome, Italy. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 172: 1549-1555.
- HEI Review Panel on Ultrafine Particles. 2013. Understanding the Health Effects of Ambient Ultrafine Particles. *HEI Perspectives* 3. Health Effects Institute, Boston, MA.
- Hinds WC. 1999. *Aerosol Technology*. 2nd ed. New York: John, Wiley & Sons.
- Holmes NS. 2007. A review of particle formation events and growth in the atmosphere in the various environments and discussion of mechanistic implications. *Atmospheric Environment* 41: 2183-2201.

- Hussein T, Puustinen A, Aalto PP, Mäkelä JM, Häameri K. and Kulmala M. 2004. Urban aerosol number size distributions. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 4: 391–411.
- Kulmala M, Kerminen V. 2008. On the formation and growth of atmospheric nanoparticles. *Atmospheric Research* 90: 132-150.
- Morawska L, Ristovski Z, Jayaratne ER, Keogh DU, Ling X. 2008. Ambient nano and ultrafine particles from motor vehicle emissions: characteristics, ambient processing and implications on human exposure. *Atmospheric Environment* 42: 8113-8138.
- Oberdörster G. 2001. Pulmonary effects of inhaled ultrafine particles. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 74: 1–8.
- Pekkanen J, Peters A, Hoek G, Tiittanen P, Brunekreef B, de Hartog J, et al. 2002. Particulate air pollution and risk of ST-segment depression during repeated submaximal exercise tests among subjects with coronary heart disease: the Exposure and Risk Assessment for Fine and Ultrafine Particles in Ambient Air (ULTRA) study. *Circulation* 106: 933-938.
- Penttinen P, Timonen KL, Tiittanen P, Mirme A, Ruuskanen J, Pekkanen J. 2001. Ultrafine particles in urban air and respiratory health among adult asthmatics. *European Respiratory Journal* 17: 428-435.
- Peters A, Wichmann HE, Tuch T, Heinrich J, Heyder J. 1997. Respiratory effects are associated with the number of ultrafine particles. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 155: 1376-1383.
- Rückerl R, Schneider A, Breitner S, Cyrys J, Peters A. 2011. Health effects of particulate air pollution: A review of epidemiological evidence. *Inhalation Toxicology* 23: 555-592.
- Stolzel M, Breitner S, Cyrys J, Pitz M, Wolke G, Kreyling W, et al. 2007. Daily mortality and particulate matter in different size classes in Erfurt, Germany. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* 17: 458-467.
- Janssen NAH, Gerlofs-Nijland ME, Lanki T, Salonen RO, Cassee F, Hoek G, et al. 2012. Health effects of black carbon. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark.
- WHO. 2013. Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project. Technical Report. 309 p. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark.
- WHO. 2004. Health aspects of air pollution. Results from the WHO project “Systematic review of health aspects of air pollution in Europe”, 30 p. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark.
- Wichmann HE, Spix C, Tuch T, Woelke G, Peters A, Heinrich J, et al. 2000. Daily mortality and fine and ultrafine particles in Erfurt, Germany. Part I: Role of particle number and particle mass. Research Report 98. Health Effects Institute, Cambridge, MA.
- Zhu Y, Hinds WC, Kim S, Shen S, Sioutas C. 2002. Study of ultrafine particles near a major highway with heavy-duty diesel traffic. *Atmospheric Environment* 36: 4323-4335.