

PROJEKT UFIREG

PROJEKT UFIREG – CENTRAL EUROPE. MĚŘENÍ ULTRAJEMNÝCH ČÁSTIC A ANALÝZA DOPADU EXPOZICE NA LIDSKÉ ZDRAVÍ

¹Jiří Novák, ¹Jan Šilhavý, ²Vladimír Ždímal, ²Jakub Ondráček, ²Naděžda Zíková, ³Miroslav Dostál, ³Anna Pastorková

¹Český hydrometeorologický ústav, Praha, novakj@chmi.cz

²Ústav chemických procesů AV ČR, v. v. i., Praha

³Ústav experimentální medicíny AV ČR, v. v. i., Praha

ABSTRAKT

UFIREG je zkratka Evropského projektu “Ultrafine Particles – an evidence based contribution to the development of regional and European environmental and health policy“ jehož předmětem je měření expozice a analýza vlivu ultrajemných částic (UFP) v ovzduší na lidské zdraví. Výsledky výzkumu mají sloužit politice ochrany životního prostředí v Evropě, t. j. akčnímu plánu Clean Air Plan for Europe. Projekt trvá od 1. 7. 2011 do 31. 12. 2014 a je finančně podporován z Evropského fondu pro regionální rozvoj (Operační program Nadnárodní spolupráce Střední Evropa). Týmy pracovníků projektu UFIREG měří koncentrace ultrajemných prachových částic v ovzduší pěti evropských měst (Dráždany a Augsburg v Německu, Praha v Česku, Lublaň ve Slovinsku a Chernivtsi na Ukrajině) a budou analyzovat jejich vliv na lidské zdraví. Expozice UFP budou korelovány s denní úmrtností a výskytem onemocnění vyžadujících hospitalizaci.

V Praze probíhá měření na předměstské měřicí stanici Suchdol, která je součástí sítě Automatizovaného imisního monitoringu v gesci Českého hydrometeorologického ústavu. Kromě hmotnostních koncentrací aerosolových částic frakcí PM_{10} a $PM_{2,5}$ jsou ve stanici monitorovány jak meteorologické veličiny, tak koncentrace relevantních plynných škodlivin. Článek přináší stručný popis metod monitorování jemně velikostně rozlišených ultrajemných, jemných i hrubých částic pomocí soustavy spřažených aerosolových spektrometrů: skenovacího třídiče pohyblivosti částic (SMPS) a aerodynamického třídiče částic (APS). Tyto spektrometry umožňují stanovovat početní rozdělení velikosti částic v souhrnném rozmezí 10 nanometrů – 10 mikrometrů v časovém rozlišení 5 minut.

Článek rovněž poskytuje stručný úvod do spektra možných negativních zdravotních důsledků expozice UFP. Více na www.ufireg-central.eu a www.ufireg.cz.

Klíčová slova: Ufireg, ultrajemné částice, UFP, SMPS, APS, monitorování.

ÚVOD

Hlavním cílem projektu UFIREG (Ultrafine Particles – an evidence based contribution to the development of regional and European environmental and health policy) je přispět ke zlepšení kvality ovzduší a ochrany lidského zdraví a především poskytnout doporučení pro politiku ochrany životního prostředí a to nejen na regionální úrovni, ale z hlediska celé Evropy. Projekt je zaměřen na monitorování ultrajemných částic a analýzu dopadu jejich inhalace na lidské zdraví, zejména na kardiovaskulární a respirační onemocnění [1–5]. Projekt UFIREG se vztahuje a využívá přínosu projektu UFIPOLNET, který byl také financován EU (UFIPOLNET – distribuce ultrajemných částic v sítích měření znečištění ovzduší) a byl ukončen v roce 2008. V rámci projektu UFI-

PROJECT UFIREG – CENTRAL EUROPE. MONITORING OF ULTRAFINE PARTICLES AND ANALYSIS OF HEALTH EFFECTS OF EXPOSURE TO UFP

UFIREG is the acronym for the European project “Ultrafine Particles – an evidence based contribution to the development of regional and European environmental and health policy“.

The project was started in July 7, 2011 and will go to December 31, 2014., and it is supported by European regional development fund. The project aims at contributing to the environmental policy in Europe, which means the Clean Air Plan for Europe. The project members will measure ultrafine particles in five European cities (Dresden, Augsburg, Prague, Ljubljana and Chernivtsi) and analyse the impact of exposure to UFP on human health using correlation analysis of exposure to UFP and daily mortality and hospitalizations. In Prague, the measurements are carried out at a suburban station Suchdol which is a part of the Automated Immission Monitoring Network operated by the Czech Hydrometeorological Institute. In addition to the mass concentrations of aerosol particles in fractions $PM_{2,5}$ and PM_{10} , meteorological parameters are monitored at the station together with concentrations of relevant gaseous pollutants. The article presents a brief description of methods monitoring finely size-resolved ultrafine, fine and coarse particles using a set of coupled aerosol spectrometers: a Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS) and an Aerodynamic Particle Sizer (APS). These spectrometers allow to measure particle number size distributions in the overall size range from 10 nanometers to 10 micrometers with a time resolution 5 min.

The paper also provides a brief introduction to problems of adverse health effects of UFP exposure. More at www.ufireg-central.eu and www.ufireg.cz.

Key words: Ufireg, ultrafine particles, UFP, SMPS, APS, monitoring.

POLNET byl na čtyřech lokalitách umístěn prototyp monitoru ke zkoumání ultrajemných částic v šesti velikostních třídách částic od 20 do 800 nanometrů. Vzhledem k průniku a depozici ultrajemných částic v terminálních částech plic (plicních alveolech) a jejich možnému přestupu do intersticia a krevního oběhu s následným transportem do dalších orgánů (hrubší frakce obvykle nepronikají příliš hluboko) je zjevně důležité zabývat se ultrajemnou frakcí [6].

Stanovené limity pro hmotu částic (PM_{10} nebo $PM_{2,5}$) nejsou vhodné pro monitorování koncentrace UFP, neboť tyto částice mají obvykle v porovnání s hrubou frakcí (PM_{10} , $PM_{2,5}$) řádově nižší hmotu, a tudíž jsou v rámci současných limitů téměř nedetekovatelné. Proto je v případě UFP nejlepším indikátorem početní koncentrace částic (PN), měřená počtem těchto částic v krychlovém centimetru vzduchu. Početní koncentrace

je také vodítkem ke stanovení expozice UFP vznikajícími a nacházejícími se v ovzduší.

UFP vznikají fyzikálně-chemickými procesy ve volné atmosféře, proto jsou vedle UFP průběžně a současně sledovány i škodliviny dané předpisy EU, jako je SO₂, NO_x, CO, O₃, BTX, PM₁₀ a PM_{2,5}. Mezi těmito veličinami a UFP budou v rámci projektu hledány vazby a korelace, podobně jako s meteorologickými charakteristikami, které jsou také průběžně a paralelně měřeny.

MONITOROVÁNÍ ULTRAJEMNÝCH ČÁSTIC V OVZDUŠÍ

Aby bylo možné určit expozici ultrajemným částicím, nestačí monitorovat jejich celkové koncentrace, ale je třeba měřit rozdělení těchto částic podle velikosti. Je to totiž právě velikost částic, která je klíčovým parametrem pro odhad dávky, protože podíl částic, které se zachytí na různých tkáních dýchacího traktu, je silně nelineární funkcí rozměru částic [7] s minimem zachytu u částic o rozměrech několika set nanometrů. Zatímco se aerosolové částice o průměru 5 mikrometrů v dýchacím traktu deponují s pravděpodobností téměř 95 %, a v současné době sledované tzv. nanočástice o průměru 20 nanometrů se deponují asi z 80 %, tak z 300 nanometrových částic se deponuje pouze asi 15 % (model ICRP, průměrná data pro dospělé muže a ženy). Jak vidíme, údaj o celkové koncentraci částic PM₁₀, ani PM₁, by nám v tomto případě v odhadu podílu částic zachycených v dýchacím ústrojí člověka mnoho nepomohl. Pomoci nám ale mohou metody aerosolové spektrometrie, jejichž principy vysvětlíme dále.

Metody monitorování ultrajemných částic

V projektu UFIREG jsou pro monitorování rozdělení velikostí aerosolových částic používány dva moderní aerosolové spektrometry, a to skenovací třídič pohyblivosti částic SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer, např. [8]) a aerodynamický třídič částic APS (Aerodynamic Particle Sizer, např. [9]), popis obou níže. Oba jsou umístěny v klimatizovaném kontejneru Automatizovaného imisního monitoringu AIM na stanici Praha-Suchdol. Zapojení spektrometrů se řídí doporučeními, která vycházejí z nedávno dokončeného evropského projektu 6. Rámcového programu EUSAAR (European Supersites for Atmospheric Aerosol Research), takže získané údaje jsou zcela srovnatelné s údaji měřeními na stanicích americké sítě NOAA, evropské EMEP, celoněmecké GUAN, či nejnověji evropské experimentální sítě ACTRIS. Vzorky jsou odebírány společnou odběrovou hlavou PM₁₀ (Leckel) s nominálním průtokem 16,7 lpm. Všechny vzorky jsou analyzovány v suchém stavu, takže každému spektrometru je předřazen membránový sušič na bázi Nafionu. Výstupní formát data je preferenčně nastaven na formát NASA-Ames, který zaručuje kompatibilitu s datovými úložišti, jako je např. EBAS (NILU).

Skenovací třídič pohyblivosti částic (SMPS)

Koncentrace a početní rozdělení velikostí aerosolových částic v submikronové části velikostního spektra, tedy částic menších než jeden mikrometr, je měřena skenovacím třídičem pohyblivosti částic (SMPS 3034, TSI, USA, upraveným v IfT Lipsko dle standard EUSAAR [10]). Přístroj má dvě hlavní části: 1) elektrostatický klasifikátor (model 3080, TSI, USA), kde se ze vzorkovaného proudu polydisperzního aerosolu, který je očis-

těn od hrubých částic a elektricky zneutralizován, postupně odebírají jednotlivé velikostní frakce aerosolových částic na základě jejich odlišné pohyblivosti v elektrostatickém poli pomocí diferenciálního analyzátoru pohyblivosti (Middle DMA, TSI, USA) s rozlišením 32 velikostních tříd na jeden řád.

2) kondenzační čítač částic (CPC 3772, TSI, USA), kterým se změří početní koncentrace každé z frakcí tak, že jsou částice nejprve zvětšeny kondenzací n-butanolu na jejich povrchu a pak detekovány opticky.

Společný řídicí program vytvořený v LabVIEW umožňuje kontinuální provoz spektrometru. Celý systém je upraven tak, aby splňoval nejnovější standardy (sušení aerosolového vzorku, jiná polarita elektrostatického pole atd.) pro měření velikostních distribucí početních koncentrací.

Vzorky jsou odebírány s frekvencí jeden vzorek za pět minut. Při průtoku obalového proudu 4 l/min. a odběru vzorku polydisperzního aerosolu průtokem 1 l/min. bylo dosaženo rozsahu velikostí částic od 10 do 500 nm.

Aerodynamický třídič částic (APS)

Rozdělení velikostí částic v oblasti nad půl mikrometru je stanovováno aerodynamickým třídičem částic (APS 3321, TSI, USA). Tento spektrometr pokrývá interval velikostí částic 0,5–10 mikrometrů, přičemž velikost částic určuje na základě jejich setrvačného chování. Proud vstupujícího aerosolu je v trysce urychlen (zrychlení větší než 106 m/s²), za tryskou jsou kolmo na ní umístěny dva paralelní laserové svazky asi 100 mikrometrů od sebe a je měřen čas, za který částice projde vzdálenost mezi svazky. Tento čas je po kalibraci přístroje přímo úměrný velikosti částice. V tomto případě je k řízení experimentu použit společný řídicí software na bázi LabView, který umožnil vzorkovat aerosol se stejnou frekvencí jako u výše uvedeného spektrometru SMPS, tedy jeden vzorek za pět minut.

V dané konfiguraci spektrometrů SMPS a APS jsou tedy s výše uvedeným časovým rozlišením stanovována velikostní spektra v souhrnném rozmezí 10 nanometrů – 10 mikrometrů.

MONITOROVACÍ MÍSTA

Na projektu spolupracují odborníci z oblasti znečištění ovzduší a ochrany lidského zdraví ze čtyř evropských zemí (Německo, Česká republika, Slovinsko a Ukrajina) ve schváleném období projektu, t. j. od 1. 7. 2011 do 31. 12. 2014. Data znečištění ovzduší a meteorologická data jsou měřena a zaznamenávána v pěti evropských městech: Drážďany a Augsburg (Německo), Praha (Česká republika), Ljubljana (Slovinsko) a Chernivtsi (Ukrajina). Všechna měřicí místa jsou umístěna v pozadových městských lokalitách.

Drážďany. (Saský státní úřad pro životní prostředí, zemědělství a geologii – LfULG). Měřicí stanice DD-Winkelmannstrasse v Drážďanech je umístěna v městské pozadové lokalitě blízko studentských kolejí, parkovacích ploch, budov nákupního střediska a malého parku. Měřicí stanice je integrovanou částí měřicí sítě znečištění ovzduší Saska. Vedle stanovování ultrajemných částic je v této stanici měřeno mnoho plynných znečišťujících látek a meteorologických parametrů.

Augsburg. Aerosolová měřicí stanice v Augsburgu je umístěna v městské pozadové lokalitě areálu University of Applied Sciences (AUS). Tato lokalita je přibližně 1 km od středu města v ji-

hovýchodním směru. V poloměru 100 m je obklopena budovami areálu univerzity, tramvajovým depem a malou firmou. Nejbližší hlavní cesta v severovýchodním směru je vzdálena od stanice přibližně 120 m. V areálu AUS nejsou trvale měřeny plynné škodliviny. Proto budou data pro plynné znečišťující látky získávána ze dvou monitorovacích stanic Bavorské měřicí sítě ovzduší (LÜB: Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern) provozované Bavorskou agenturou pro životní prostředí (Landesamt für Umweltschutz: LfU). Místo LfU je situováno přibližně 4 km jižně od středu města v prostorech LfU a druhé místo (BP) je situováno na Bourges-Platz, přibližně 1 km severně od středu města.

Praha. Český hydrometeorologický ústav. Automatická monitorovací stanice (AMS) Suchdol reprezentuje předměstskou měřicí stanici v Praze, která je situována na vyvýšené planině severozápadní části Prahy nad řekou Vltava. Měřicí stanice je integrální součástí národní měřicí sítě České republiky a je umístěna v městské pozadové lokalitě v sousedství budov vědeckých ústavů v areálu Akademie věd České republiky. Vedle stanovení ultrajemných částic je ve stanici měřeno mnoho různých plynných škodlivin a meteorologických parametrů.

Ljubljana. Měřicí místo v městské části Bežigrad je umístěno v městské pozadové lokalitě, ovlivněné hlavně místní dopravou a částečně i městskou teplárnou a lokálními topeništi. Podmínky v nejvíce obydlené oblasti města jsou velmi dobře reprezentativní pro měření. V tomto místě budou měřeny plynné škodliviny, prachové částice a meteorologické parametry.

Chernivtsi. Měřicí místo je ve středu města Chernivtsi, které je situováno v údolí mezi dvěma kopci. Měřicí stanice je integrovanou částí měřicí sítě kvality ovzduší města Chernivtsi a je umístěna v městské pozadové lokalitě blízko stadionu, parkovacích ploch, domů a parku. Vedle stanovení ultrajemných částic je zde měřeno mnoho plynných škodlivin a meteorologických parametrů.

Viz 5th Newsletter na www.ufireg.cz.

EPIDEMIOLOGICKÁ ČÁST PROJEKTU

Sledování zdravotních důsledků expozice UFP v projektu UFIREG

V epidemiologické části projektu bude hlavním výstupem statistická analýza korelace denních hospitalizací a celkové mortality (všechny příčiny) s aktuální (tentýž den) a předchozí expozicí ultrajemným částicím. Statistické modely budou obsahovat klimatické faktory: teplotu, relativní vlhkost vzduchu, rychlost a směr větru, tlak vzduchu, průměrné koncentrace PM_{10} a $PM_{2,5}$ (v Praze vše měřeno na stanici v Suchdole). Epidemiologické a socio-demografické údaje budou získány z oficiálních statistických databází. Budou mít různé časové a prostorové rozlišení. U některých z nich lze získat denní údaje, zatímco u jiných pouze roční. Prostorová data mohou být k dispozici pro oblast poštovního směrovacího kódu, okresu (městského obvodu) nebo celého města. Cílem analýzy je zkoumat hospitalizace a úmrtnost na denní bázi. Nicméně, socio-demografické údaje jsou většinou k dispozici pouze na měsíční nebo roční bázi. Dvě hlavní databáze, odkud lze získat konkrétní informace o nemoci a úmrtnosti, jsou registry hospitalizací (v ČR Národní registr hospitalizovaných) a úmrtnosti (v ČR Informační systém Zemřelí (IS ZEM)). Obojí poskytuje Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR (<http://www.uzis.cz>). Diagnózy onemocnění

ni/příčiny úmrtí jsou k dispozici v kódech Mezinárodní statistické klasifikace nemocí a přidružených zdravotních problémů (MKN-10) minimálně s půlročním zpožděním, tedy data za rok 2012 mohou být analyzována v druhé polovině roku 2013. Navíc bude analyzována také specifická nemocnost a úmrtnost, zaměřená na kardiovaskulární a respirační onemocnění.

Současné poznatky o negativních zdravotních účincích expozice UFP

Podrobný přehled rizik, které expozice UFP může představovat, je mimo možnosti tohoto sdělení. Následující dvě části jsou krátkým úvodem do problematiky a vycházejí z review Dr. Reginy Rückerl, která je členkou týmu UFIREG.

Úmrtnost – krátkodobé studie, většinou time-series nebo case-crossover, zkoumají asociaci změn v úrovni znečištění ovzduší a počtem denních úmrtí [11]. Studií sledujících vztah mezi koncentrací UFP (počet/cm³) a úmrtností je dosud málo. Chytrým přístupem je pozdější opakovaná analýza používající i data z pokračování studie v dalších letech a/nebo jinou metodu statistického zpracování. Pokud jde o Evropu, byla patrně první studií analýza z měření UFP v Erfurtu v letech 1995–1998 [12]. Byl prokázán vliv UFP na celkovou mortalitu (odlišný od vlivu $PM_{2,5}$) a mortalitu kardiovaskulární a respirační. Efekt byl potvrzen pro kardio-respirační úmrtnost a expozici UFP v předchozích 4 dnech při reanalýze dat z měření 1995–2001 s použitím jiného statistického přístupu [13]. Další potvrzení přinesla Breitnerová a kolektiv [14] a zmenšení vlivu UFP na mortalitu bylo připsáno snížení koncentrace UFP po přijetí opatření vedoucích k ozdravení ovzduší na území bývalé Německé demokratické republiky.

Úmrtnost – dlouhodobé studie, většinou kohortové, porovnávají úmrtnost mezi populačními skupinami žijícími v prostředí lišícím se koncentrací PM v okolním ovzduší. Za cenné jsou považovány dvě klasické studie americké – Harvard Six Cities Study [15] a následné reanalýzy, a American Cancer Society Study [16,17]. Obě studie prokázaly asociaci hladin $PM_{2,5}$ a kardiovaskulární či respirační nemocnosti. První velká evropská kohortová studie byla uskutečněna v Nizozemsku a prokázala zvýšenou kardiorespirační mortalitu u lidí žijících v blízkosti silnic s hustým automobilovým provozem [18]. Pro citace a přehled dalších studií viz [11].

Plicní funkce. Rizikovou skupinou vlivu znečištěného ovzduší jsou především děti s vyvíjejícími se plicemi. Řada studií prokazuje negativní vlivy $PM_{2,5}$ a PM_{10} na vývoj plic, respirační morbiditu dětí, počet hospitalizací, respirační syndromy, astmatické syndromy a plicní funkce. Obdobných studií a jejich přehledů o vlivu znečištění ovzduší PM na respirační zdraví dospělých je poměrně málo. Ještě méně je studií o vlivu UFP. Jako příklad lze uvést studii, kterou realizovali Peters a kolektiv [19] a která u dospělých astmatiků prokázala asociaci zmenšené funkce plic (PEF – vrcholová výdechová rychlost) a koncentrace $PM_{0,01-2,5}$. Pro citace a přehled dalších epidemiologických a experimentálních studií viz [11].

Kardiovaskulární choroby tvoří skupina onemocnění srdce a cév. Celosvětově jsou nejvýznamnějším onemocněním a jsou nejčastější příčinou úmrtí (v ČR ve věkové skupině nad 65 let). PM fungují jako spouštěč kardiovaskulárních poruch. PM částice iniciují a urychlují progresi atherosklerózy, která je příčinou řady kardiovaskulárních onemocnění. Ovlivňují změny srdeční

ho rytmu, jeho variabilitu, funkci srdce, vznik trombů, vasomotorický tonus, krevní tlak, komorovou repolarizaci, vyvolávají změny hemostázy, arytmie a infarkty. Zvyšují kardiovaskulární nemocnost, hospitalizace, návštěvu lékaře první pomoci, spotřebu léků a úmrtnost. Rizikovými skupinami jsou děti, senioři, lidé trpící diabetem nebo srdeční chorobou, kuřáci a lidé obézní. Přehled publikovaných studií viz [11].

Další rizika. Pokud se týká CNS, nejvýznamnějším onemocněním jsou cévní mozkové příhody, které jsou v ČR ve věkové skupině 40–65 let druhou nejpočetnější příčinou smrti. Z hlediska přímého přestupu UFP do mozku je významná chronická expozice, a neurologové obbracejí pozornost ke znečištění ovzduší z hlediska chronického onemocnění CNS. Další oblastí výzkumu jsou vlivy v období intrauterinního vývoje. Kromě embryotoxických projevů – obecně vrozených vývojových vad a růstové a vývojové retardace jsou prokazována i funkční poškození, jmenovitě dysregulace genové exprese.

STAV ŘEŠENÍ PROJEKTU

V roce 2012 byla provedena celková rekonstrukce měření ve všech měřicích místech projektu, v AMS Praha-Suchdol bylo doplněno měření (např. BTX, CO a PM_{2,5}) tak, aby celkové monitorování ovzduší splňovalo nejpřísnější požadavky projektu. V současné době dochází tedy k monitorování ovzduší, ale protože soubor naměřených dat je příliš malý pro jakékoliv zvláštní hodnocení naměřených výsledků, budeme odborníky s těmito výsledky projektu UFIREG v následujících letech, tedy v 2013 a 2014, průběžně seznamovat. Informace o výsledcích výzkumu budou pomáhat k pochopení významu ultrajemných částic.

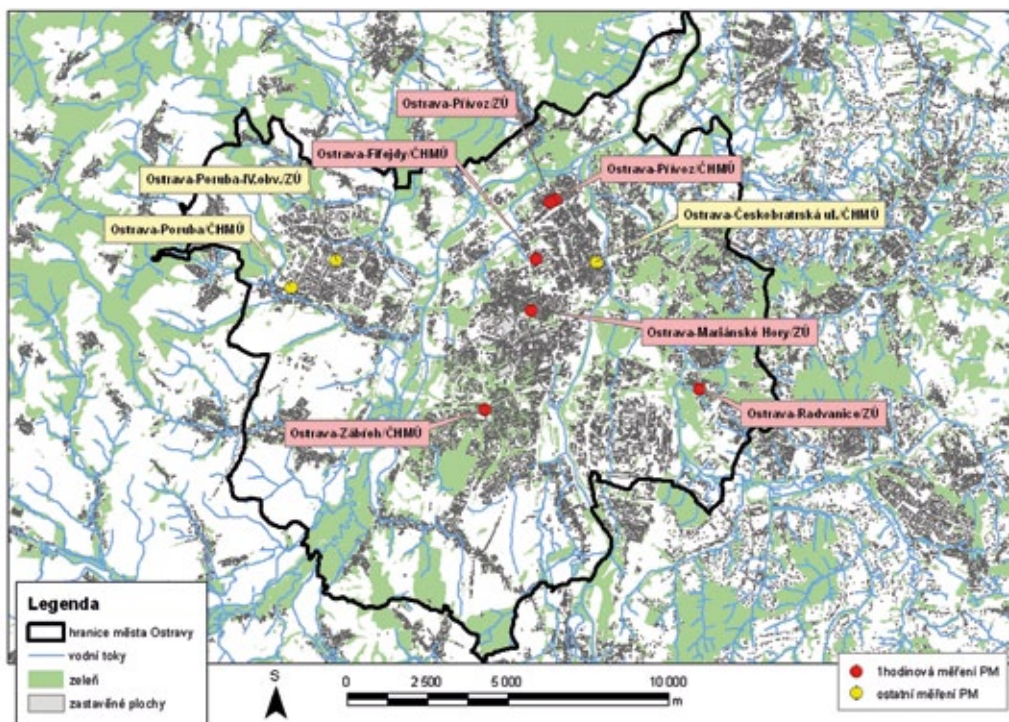
Poděkování

Tento článek byl vypracován v rámci řešení a za finanční podpory projektu Central Europe project 3CE288P3 Ultrafine particles – an evidence based contribution to the development of regional and European environmental and health policy, UFIREG. Skupina z Ústavu chemických procesů AVČR rovněž děkuje za podporu experimentálního monitorování UFP také projektu GA ČR číslo P209/11/1342.

LITERATURA

- [1] Pope, C. A., Dockery, D. W., Spengler, J. D. a Raizenne, M. E. (1991). Respiratory health and PM10 pollution – A daily time series analysis. *Am. Rev. Respir. Dis.*, 144, 3, 668–674.
- [2] Pope, C. A., Thun, M. J., Namboodiri, M. M., Dockery, D. W., Evans, J. S. Speizer, F. E. a Haeth, C. W. (1995). Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U. S. adults. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, 151, 669–674.
- [3] Schwartz, J., Koenig, J., Slater, D. a Larson, T. (1993). Particulate air pollution and hospital emergency visits for asthma in Seattle. *Am. Rev. Respir. Dis.*, 147, 826–831.
- [4] Pope, C. A. (2000). What do epidemiologic findings tell us about health effects of 668 environmental aerosols? *J. Aerosol Med.*, 13(4), 335–354.
- [5] Kampa, M. and Castanas, E. (2008), Human health effects of air pollution. *Environmental Pollution*, 151, 362–367.
- [6] Oberdörster, G., Gelein, R. M., Ferin, J. and Weiss B. (1995). Association of particulate air pollution and acute mortality: involvement of ultrafine particles? *Inhal. Toxicol.*, 7, 111–124.
- [7] Hinds, W. C. (1998). *Aerosol Technology*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [8] Wang, S. C., Flagan, R. C. (1990). Scanning electrical mobility spectrometer. *Aerosol Sci. and Tech.*, 13, 2, 230–240.
- [9] Chen, B. T., Cheng, Y. S., Yeh, H. C. (1985). Performance of a TSI aerodynamic particle sizer *Aerosol Sci. and Tech.*, 4, 1, 89–97.
- [10] Wiedensohler, A., Birmili, W., Nowak, A., Sonntag, A., Weinhold, K., Merkel, M., Wehner, B., Tuch, T., Pfeifer, S., Fiebig, M., Fjåraa, A. M., Asmi, E., Sellegri, K., Depuy, R., Venzac, H., Villani, P., Laj, P., Aalto, P., Ogren, J. A., Swietlicki, E., Williams, P., Roldin, P., Quincey, P., Hüglin, C., Fierz-Schmidhauser, R., Gysel, M., Weingartner, E., Riccobono, F., Santos, S., Gruning, C., Faloon, K., Beddows, D., Harrison, R., Monahan, C., Jennings, S. G., O'Dowd, C. D., Marinoni, A., Horn, H.-G., Keck, L., Jiang, J., Scheckman, J., McMurry, P. H., Deng, Z., Zhao, C. S., Moerman, M., Henzing, B., de Leeuw, G., Löschau, G., and Bastian, S. (2012). Particle mobility size spectrometers: harmonization of technical standards and data structure to facilitate high quality long-term observations of atmospheric particle number size distributions. *Atmos. Meas. Tech.*, 5, 657–685.
- [11] Ruckerl, R., Schneider, A., Breitner, S., Cyrus, J., Peters, A. (2011). Health effects of particulate air pollution: A review of epidemiological evidence. *Inhal. Toxicol.*, 23, 555–592.
- [12] Wichmann, H. E., Spix, C., Tuch, T., Wölke, G., Peters, A., Heinrich, J., Kreyling, W. G., Heyder, J. (2000). Daily mortality and fine and ultrafine particles in Erfurt, Germany, part I: Role of particle number and particle mass. *Res. Rep. Health Eff. Inst.*, 5–86; discussion 87.
- [13] Stölzel, M., Breitner, S., Cyrus, J., Pitz, M., Wölke, G., Kreyling, W., Heinrich, J., Wichmann, H. E., Peters, A. (2007). Daily mortality and particulate matter in different size classes in Erfurt, Germany. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 17, 458–467.
- [14] Breitner, S., Stölzel, M., Cyrus, J., Pitz, M., Wölke, G., Kreyling, W., Küchenhoff, H., Heinrich, J., Wichmann, H. E., Peters, A. (2009). Short-term mortality rates during a decade of improved air quality in Erfurt, Germany. *Environ. Health. Perspect.*, 117, 448–454.
- [15] Dockery, D. W., Pope, C. A. 3rd, Xu, X., Spengler, J. D., Ware, J. H., Fay, M. E., Ferris, B. G. Jr., Speizer, F. E. (1993). An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *N. Engl. J. Med.* 329, 1753–1759.
- [16] Pope, C. A. 3rd, Thun, M. J., Namboodiri, M. M., Dockery, D. W., Evans, J. S., Speizer, F. E., Heath, C. W. Jr. (1995). Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 151, 669–674.
- [17] Pope, C. A. 3rd, Burnett, R. T., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D., Ito, K., Thurston, G. D. (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA* 287, 1132–1141.
- [18] G., Boogaard, H., Knol, A., de Hartog, J., Slottje, P., Ayres, J.G., Borm, P., Brunekreef, B., Donaldson, K., Forastiere, F., Holgate, S., Kreyling, W.G., Nemery, B., Pekkanen, J., Stone, V., Wichmann, H. E., van der S. Sluijs J. (2010). Concentration response functions for ultrafine particles and all-cause mortality and hospital admissions: results of a European expert panel elicitation. *Environ. Sci. Technol.*, 44, s. 476–482.
- [19] Peters, A., Döring, A., Wichmann, H. E., Koenig, W. (1997). Increased plasma viscosity during air pollution episode: A link to mortality? *Lancet* 349, 1582–1587.

Obr. 1: Lokality s imisním měřením na území města Ostravy v letech 2006–2011 (autorka: RNDr. Vladimíra Volná)



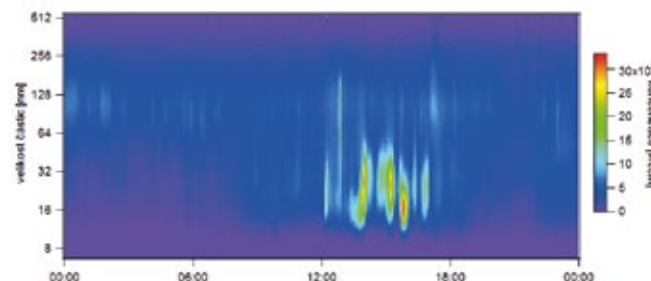
Obrázek k článku Znečištění ovzduší suspendovanými částicemi PM_{10} a $PM_{2,5}$ na území města Ostravy v letech 2006–2011 na str. 13–19.

Obr. 1: Příklad početního rozdělení velikosti aerosolových částic naměřených spektrometrem SMPS na stanici Suchdol (29. 10. 2012, 14:15). Naměřené rozdělení je bimodální s tím, že jeho první mód, tzv. Aitkenův, má vrchol někde mezi 20–30 nanometry a koresponduje s částicemi ze spalování z blízkého, stacionárního zdroje, pravděpodobně plynového topení přilehlých rodinných domů. Druhý mód, tzv. akumulární, má maximum pod 100 nanometry a je v atmosféře pozorován v podstatě stále, souvisí s dálkovým a regionálním transportem aerosolu a je výsledkem přeměn tohoto aerosolu po cestě

Obr. 2: Barevná mapa časového průběhu rozdělení velikosti částic dne 29. 10. 2012. Na vodorovné ose je vyneseno místní čas od půlnoci do půlnoci. Na svislé ose je průměr částic v nanometrech, od 7 do 500 nm. Barevná škála vyznačuje koncentraci dané velikostní třídy v počtu částic na krychlový centimetr vzduchu, to např. znamená, že koncentrace $10^4 \text{ \#}/\text{cm}^3$ je vyznačena světlou modří, zatímco koncentrace $3 \times 10^4 \text{ \#}/\text{cm}^3$ červenou barvou



Obr. 3: Kontejner automatické měřicí stanice Suchdol – Container of Automatic Measuring Station Suchdol



Obr. 4: Přístrojové vybavení stanice – Measuring equipment of station



Obrázky k článku Projekt UFIREG – Central Europe. Měření ultrajemných částic a analýza dopadu expozice na lidské zdraví na str. 31–34.