

Stanovení velikostní distribuce částic resuspendovatelné složky vzorků z povrchového hnědouhelného dolu v resuspenzní komoře

Mgr. Martin Civiš^{1,2}, RNDr. Jan Hovorka, Ph.D.¹, RNDr. Devraj Thimmaiah, Ph.D.¹

¹Ústav pro životní prostředí, Přírodovědecká fakulta UK, Albertov 6, Praha 2, civis@email.cz, hovorka@nbox.cesnet.cz

²Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i., Na Slovance 2, Praha 8

Přijato: 10. 8. 2010, recenzováno: 10. 1. a 14. 1. 2011 (2 posudky)

Abstrakt

Byla zkonstruována cylindrická resuspenzní komora ($V=0,437\text{ m}^3$, $S=3,5\text{ m}^2$, $S/V=8,38\text{ m}^{-1}$) umožňující resuspenzi pevných vzorků s následným on-line měřením velikostní distribuce hmoty nebo počtu částic vzniklého aerosolu a odběr velikostně segregovaných frakcí na filtr. Zkoumanými vzorky byly hnědé uhlí, elektrárenský popílek, energosádrovec a skrývkové zeminy odebrané v severočeském hnědouhelném dole Nástup. Vzorky byly pneumaticky rozptýleny v objemu komory za definovaných teplotně vlhkostních podmínek (20 °C a relativní vlhkost 50 %). Ze získaných distribucí byly vytvořeny průměrné velikostní distribuce počtu a hmoty částic. Ze všech studovaných vzorků dosahují elektrárenský popílek a uhelný prach z důlních komunikací největších hmotnostních koncentrací po disperzi v resuspenzní komoře.

Particle size distribution of resuspendable components of samples taken at brown coal open pit mine in resuspension chamber

A cylindrical chamber for resuspension of solid particles was constructed ($V=0,437\text{ m}^3$, $S=3,5\text{ m}^2$, $S/V=8,38\text{ m}^{-1}$) for measuring particle size distribution, counting formed aerosol particles, and withdrawing particle fractions segregated by size. Samples of brown coal, fly-ash, flue gas desulfurization gypsum, and overburden material taken at north-western open pit Nástup were investigated. The samples were pneumatically dispersed in the chamber at defined temperature and humidity conditions (20 °C and relative humidity 50 %). Average particle size distributions were determined. According to measurements, fly-ash and coal powder originating from mine roads showed highest concentration by weight after dispersion in the resuspension chamber.

Bestimmung der Größenverteilung von Partikeln der resuspendierbaren Probenkomponente aus einem Braunkohlentagebau im der Resuspensionskammer

Es wurde eine zylindrische Resuspensionskammer gebaut ($V=0,437\text{ m}^3$, $S=3,5\text{ m}^2$, $S/V=8,38\text{ m}^{-1}$), die Resuspension von festen Proben mit anschließender On-line-Messung der Größenverteilung der Masse oder der Anzahl von Partikeln des entstandenen Aerosols und die Abnahme von größenmäßig abgeschiedenen Fraktionen auf dem Filter ermöglicht. Geprüfte Proben waren Braunkohle, Kraftwerkasche, REA-Gips und die aus dem nordböhmischen Braunkohlentagebau Nástup abgenommenen Abraumböden. Die Proben wurden in der Kammer unter definierten Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen (20 °C und relative Feuchtigkeit 50 %) pneumatisch zerstreut. Aus den gewonnenen Distributionen wurden durchschnittliche Größendistributionen der Partikelanzahl und –masse gebildet. Aus allen geprüften Proben erreichen die Kraftwerkasche und der Kohlestaub aus den Tagebaustraßen die größten Massenkonzentrationen nach der Dispersion in der Resuspensionskammer.

Klíčová slova: resupenze, hrubý aerosol.

Keywords: resuspension, coarse aerosol.

1 Úvod

Problematika resuspenze je řešena od konce třicátých let dvacátého století. Velice důležitým zdrojem hrubých částic atmosférického aerosolu je prach produkovaný mnoha různými povrchy a způsoby, jako jsou pouště bez vegetace, zemědělské plochy, povrchy silnic a cest, zdevastovaná krajina, sopečné erupce, staveniště a průmyslové zóny, nebo aerosoly produkované těžbou hornin či spalovacími procesy v průmyslu na celé naší planetě. Znečištění atmosférickým aerosolem vzhledem k výšce koncentrací, překračování limitních hodnot i prostorovému rozšíření patří k jednomu z největších problémů současné kvality ovzduší v industrializovaném světě, tedy i v České republice. Zatímco důsledky působení plyných polutantů na lidské zdraví jsou již dobře prozkoumány a zpracovány, o původu, chování a působení aerosolových částic je známo méně. Řada studií v minulosti [1,2] poukázala na nepříznivé účinky aerosolových částic na lidské zdraví a vegetaci. Z původních odběrů celkového vzorku aerosolu bez velikostního rozlišení částic – TSP (*Total Suspended Particles*) – přešla většina zemí k měření tzv. thorakální frakce

aerosolu PM_{10} (soubor částic na filtru, kterému je předřazeno zařízení separující s 50% účinností částice o aerodynamickém průměru 10 μm). V devadesátých letech minulého století byla publikována studie, která poukázala na vyšší korelaci mezi negativními účinky $PM_{2,5}$ na lidské zdraví, než má PM_{10} [3]. To vedlo také k regulaci emisí PM_x a k nastavení nejvyšší přípustných limitů pro imise aerosolových částic v USA a EU. V současné době jsou ve světě tendence přecházet k měření frakcí aerosolu $PM_{1,0}$ a k měření závislosti počtu částic na jejich velikosti.

TSP a postupně PM_{10} jsou v ČR kontinuálně monitorovány již řadu let Českým hydrometeorologickým ústavem a hygienickou službou. PM_{10} a $PM_{2,5}$ jsou emitovány do atmosféry zejména suspenzními procesy již deponovaných částic nebo větrnou abrazí různých povrchů. Resuspenze se tedy podílí zejména na formování hrubé frakce. Resuspenze je významným zdrojem aerosolu jak pro lokální, tak interkontinentální vzdušné masy.

Generování, záchyt a měření v kontrolovaném laboratorním prostředí může být velice důležitým nástrojem k určení emisních

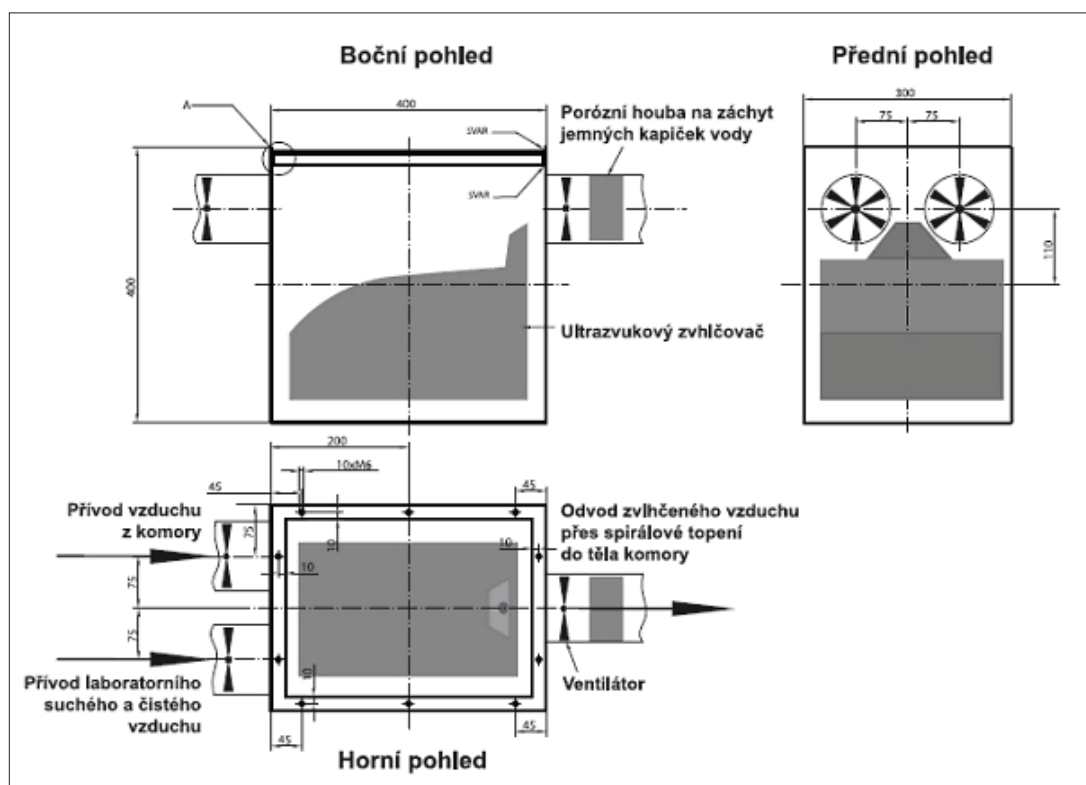
potenciálů různých zdrojů prachu i ke zjištění fyzikálních charakteristik, chemického složení nebo toxikologických rizik spojených s emisí částic do ovzduší ze specifických lokalit nebo zdrojových materiálů.

Během dvacátého století bylo v literatuře popsáno několik desítek zařízení na produkci nebo resuspenzi prachu. Tato zařízení byla konstruována pro celou řadu různých účelů: například k simulaci kontaminovaného vzduchu uvnitř prašné tovární budovy [4], pro kontrolu průmyslových procesů [5], ve farmaceutickém průmyslu – vývoj zařízení suchých inhalátorů, které maximalizují koncentraci jemného aerosolu z důvodu co nejvzdálenějšího doletu částic uvnitř dýchacího traktu po jejich inhalaci [6,7,8,9], vystavování laboratorních zvířat vysokým koncentracím minerálních aerosolů z důvodů studie respiračních nemocí [10], příprava vzorků pro chemické analýzy [11], měření ekofyziologických efektů akumulace prachu na listech stromů [12], simulace průniku pevných částic do budov [13,14]. Dále jsou již celou řadu let připravovány standardní prachy s různou velikostí částic a indexem lomu světla, které se používají zejména k testování efektivity zachytu částic na filtračních zařízeních nebo k testování optických přístrojů měřících rozptyl světla na částicích aerosolu. Nejznámější standardní prach je Arizona dust, jehož využití se datuje od začátku 40 let dvacátého století [15]. Zatím bylo bohužel vyvinuto jen velice málo zařízení, která se striktně zabývala produkcí a výzkumem prachu nebo minerálního aerosolu z hlediska jejich podílu na celkové koncentraci aerosolu v ovzduší.

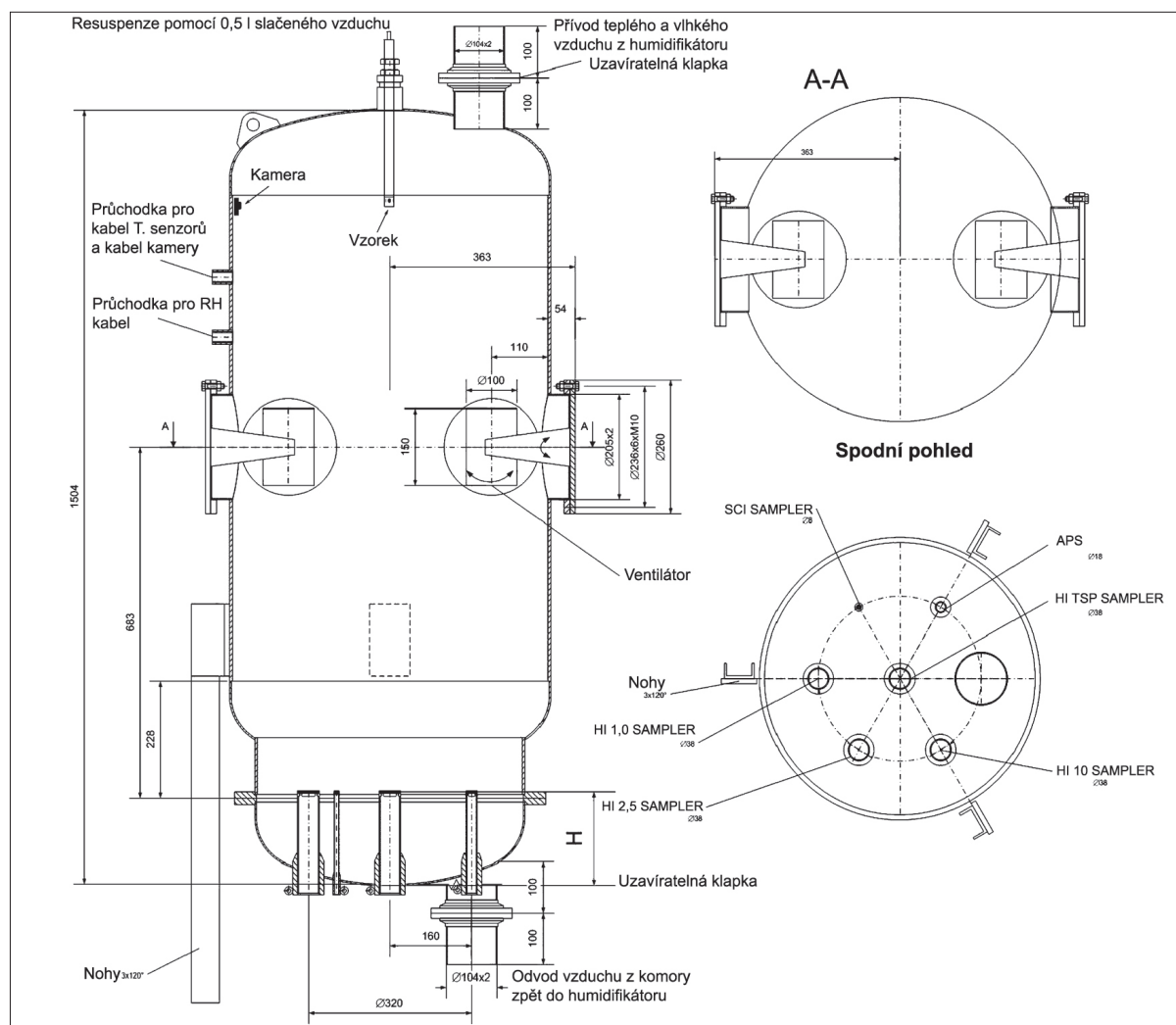
Prvními průkopníky, kteří vybudovali vlastní laboratorní zařízení na testování produkce prachu různých materiálů, byli koncem třicátých let dvacátého století Němci Andreasen, Hofman-Bang a Rasmussen [16]. Ke svým experimentům použili dlouhou tenkostěnnou trubici, ve které měřili čas usazování částic



Obr. 1: Resuspenzní komora v Laboratoři pro měření kvality ovzduší na Ústavu pro životní prostředí, PřF UK v Praze.



Obr. 2: Schéma vnější nádoby se zvlhčovačem (humidifikátorem).



Obr. 3: Schéma resuspenzní komory.

různých materiálů a tím podle Stokesova zákona odvozovali jejich velikost. Tento výzkum zahrnoval i první měření frakcionace částic za různých podmínek relativní vlhkosti vzduchu a vlhkosti matečného materiálu. Jejich zařízení se dá považovat za předchůdce celé řady moderních přístrojů na produkci prachu a sledování volného pádu částic různých velikostí [17,18,19,20]. Dále byla postupně konstruována další zařízení na tvorbu prachu, která byla založena na vibračním prosévání materiálu sítím [21,22], nebo vytváření prachu pomocí škrabky, porušující matečný materiál umístěný na rotujícím válci [23].

Většina laboratorních metod, zabývajících se produkcí prachu z matečných materiálů nebo resuspenzí ve vztahu k atmosférickému aerosolu (venku nebo ve vnitřních prostředích), používá fyzický odběr aerosolových vzorků na filtračních médiích a následné gravimetrické analýzy. V literatuře je jen velice málo informací o použití jiných technologií založených například na bázi optických senzorů [24] nebo pomocí TEOM (*Tapered-Element Oscillating Microbalance*) [25,26].

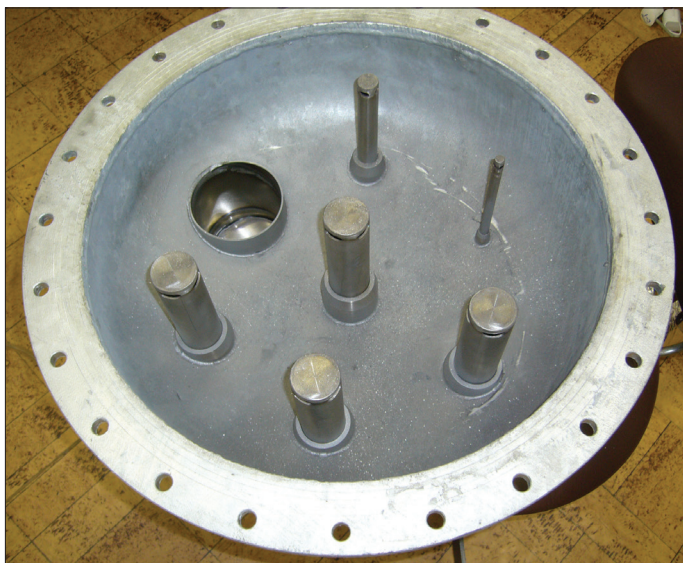
Předkládaná práce se zabývá konstrukcí resuspenzní komory sloužící k disperzi vzorků půd, prachů a standardních aerosolových materiálů ve vzduchu za předem stanovených teplotně-vlhkostních podmínek. Předlohou nám bylo zařízení postavené na pracovišti DRI (*Desert Research Institution, Reno*) v USA,

vedené profesorkou Chow [27], včetně metodiky přípravy vzorků k suspenzi (jejich sušení a vážení). Hlavním cílem této práce bylo použít zkonstruované zařízení k disperzi vzorků půd ze severočeského hnědouhelného dolu Nástup a stanovit tak velikostní distribuce počtu a hmoty částic jednotlivých vzorků.

2 Experiment

Resuspenzní komora byla vyrobena z žárově pozinkované oceli. Objem nádoby (V) je 0,437 m³, vnitřní povrch 3,5 m² a poměr S/V 8,38 m⁻¹ (viz obr. č. 1). Do středu stěn nádoby jsou proti sobě umístěny dva asynchronní ventilátory s regulovaným výkonem 15 W, sloužící k vytvoření turbulentního prostředí. Ventilátory jsou zavěšeny na otočných hlavách, které podle potřeby a nastavení umožňují vznos částic ve vzduchu (5 m.s⁻¹) nebo jejich zvýšenou depozici v turbulentním prostředí. V našem experimentu nebyly ventilátory používány.

V horní a dolní části komory byly umístěny průchodky o průměru 100 mm s mechanicky uzavíratelnou klapkou. K horní průchodce je dvoustěnnou tepelně izolovanou hliníkovou hadicí přiváděn vzduch procházející zvlhčovačem a spirálovým topením (o vlhkosti 20-80 % a teplotě 15-40 °C). K dolní průchodce je opět připojena stejná hadice pro odvod vzduchu z prostoru komory a přivádí jej tak cyklicky opět do

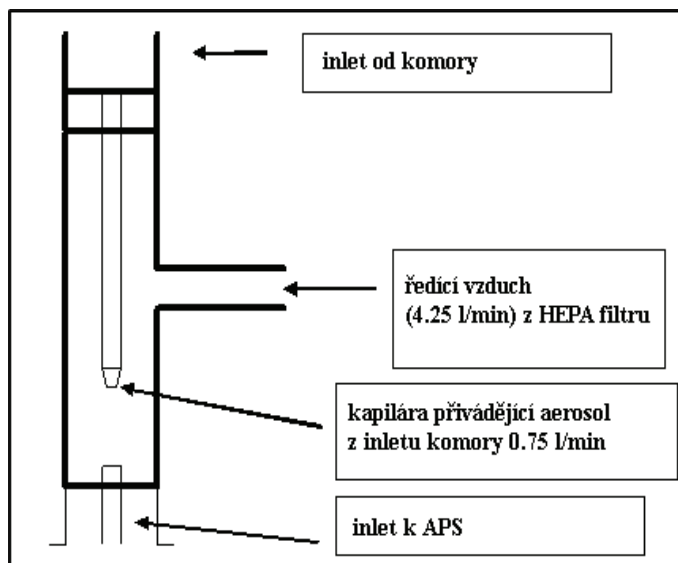


Obr. 4: Odběrové hlavice odnímatelné podstavy resuspenzní komory.

zvlhčovače. Díky této cirkulaci lze uvnitř komory dosáhnout požadovaných teplotně vlhkostních podmínek. Zvlhčování vzduchu je prováděno pomocí komerčního ultrazvukového zvlhčovače s destilovanou vodou, který je umístěn v samostatné pozinkované nádobě s jedním výstupním a dvěma vstupními otvory, z nichž každý obsahuje asynchronní ventilátor s regulovaným výkonem (15 W) a manuální uzavíratelnou klapku. Rozptýlené kapičky jsou následně zachytávány pomocí pórovité houby. Za jistých podmínek může docházet k průchodu ultrajemných částic houbou [28], avšak v našem případě jsou rozptýlené vodní kapičky dostatečně velké a tak může probíhat jejich účinný záchyt. Účinnost záchytu dosahovala až 100 % (testováno pomocí APS - *Aerodynamic Particle Sizer*). Na obr. č. 2 je vidět schéma nádoby se zvlhčovačem.

Vyčištění vzduchu od částic aerosolu je prováděno pomocí předřazeného HEPA filtru, vstupní vzduch je zbaven vlhkosti pomocí silikagelu. Na obrázku č. 3 je zachyceno detailní schéma resuspenzní komory.

Před suspenzí je potřeba zkoumané vzorky nejprve vysušit při teplotě 40 °C a následně přesívat Tyllerovým sítem s mezerami ok 0,037 mm (metodika převzatá z publikace



Obr. 5: Schéma ředící jednotky připojené k odběrové hlavě APS.

profesorky Chow [27]). Jednotlivé vzorky je pak možné odvážit do speciální skleněné trubice, která má ve spodní části 4 trysky. Trubice je následně vložena do průchodky umístěné ve středu horní podstavy komory. Po dosažení teplotně-vlhkostních podmínek je vzorek pneumaticky rozptýlen pomocí 0,8 l stlačeného suchého vzduchu z tlakové láhve (tlak na prvním stupni regulován na 9-10 atm), výsledná rychlost proudění z trysek dosahuje 6 m.s⁻¹. Proces vzniku suspenze je možné sledovat prostřednictvím kamery, která je umístěna uvnitř komory.

Podstava komory je odnímatelná po povolení obvodového šroubení a spoj podstavy a těla komory je utěsněn pryžovým těsněním. Podstava může obsahovat dle potřeby odběrové hlavice různých průměrů (viz obr. č. 4). Hlavice byly konstruovány k připojení zařízení APS, Harvard Impaktoru na odběr velikostních frakcí TSP, PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁ a Sioutas kaskádní impaktor. V našem experimentu jsme používali pouze analyzátor APS.

2.1 Odběr vzorků

V severočeském hnědouhelném dole Nástup byly odebrány vzorky o hmotnosti 1-2 kg z různých částí povrchu důlního díla:

Tab. 1: Seznam vzorků odebraných v severočeském hnědouhelném dole.

Číslo	Lokalita	Poloha		Zdánlivá hustota [kg/m ³]	Podsítná frakce (%)	Navážka [mg]
1	homogenizační skládka	E 13,33299	N 50,40022	1,66	5,31	10
2	zakladač	E 13,33890	N 50,41228	2,65	0,96	10
3	dno dolu	E 13,32273	N 50,42746	1,66	2,41	10
4	silnice uhelný prach	E 13,32273	N 50,42746	1,66	16,81	10
5	samotný důl	E 13,32727	N 50,42886	1,66	1,05	10
6	komunikace důl	E 13,32727	N 50,42886	1,66	6,55	10
7	skládka popílku	E 13,28177	N 50,42273	2,22	10,32	10
8	zahrabávka sádry	E 13,27959	N 50,41076	2,94	3,28	10
9	popílek-čerstvý	E 13,27959	N 50,41076	2,32	16,32	10
10	skrývka	E 13,38563	N 50,40848	2,73	0,41	10
11	popílek Tušimice	E 13,37946	N 50,38382	2,65	6,77	10

dopravní komunikace, skládky hnědého uhlí, těžebních míst, skládky popílku, sádrovce a půdy určené k zakrytí skládek sádrovce a popílku za účelem zjištění těch částí dolu, které nejvíce přispívají k emisi částic aerosolu. Všechny vzorky byly nejdříve několik hodin vysušeny a následně přesítovány pomocí Tyllerova síta. Vzorky byly váženy před síťováním a po přesítování. Seznam těchto vzorků, spolu s geografickou polohou, zdánlivou hustotou, procenty zbylé hmotnosti po přesítování Tyllerovým sítem a navážkou vzorku použitou k suspenzi, je uveden v tabulce č. 1.

2.2 Analýza suspendovaných vzorků

Aerosol vznikl rozptýlením jednotlivých vzorků v těle resuspenzní komory a byl sledován pomocí APS (model 3321), které v integračním intervalu 2 s monitorovalo velikostní distribuce částic v rozmezí od 0,524 do 20 μm . V závislosti na suspendovatelném množství jednotlivých vzorků musí být analyzovaný aerosol před vstupem do APS ředěn čistým vzduchem (u našich vzorků byl použit koeficient ředění 6,7x). Odběrová hlava APS má tak ještě boční přívod ředícího vzduchu s nastavitelným průtokem s předřazeným HEPA filtrem (viz obr. č. 5).

Celkem bylo provedeno 5 disperzí každého vzorku v resuspenzní komoře za podmínek 20 °C a RH 50 %. Jednotlivé velikostní distribuce počtu a hmotnostní koncentrace částic byly měřeny s 2sekundovým časovým rozlišením po dobu 10 minut. Následně bylo vybráno prvních 5 minut (150 distribucí) z každé disperze (celkem 5 disperzí jednoho vzorku). Ty byly následně použity k vytvoření průměrné velikostní distribuce (z celkových 750 distribucí) počtu a hmoty částic jednotlivých studovaných vzorků.

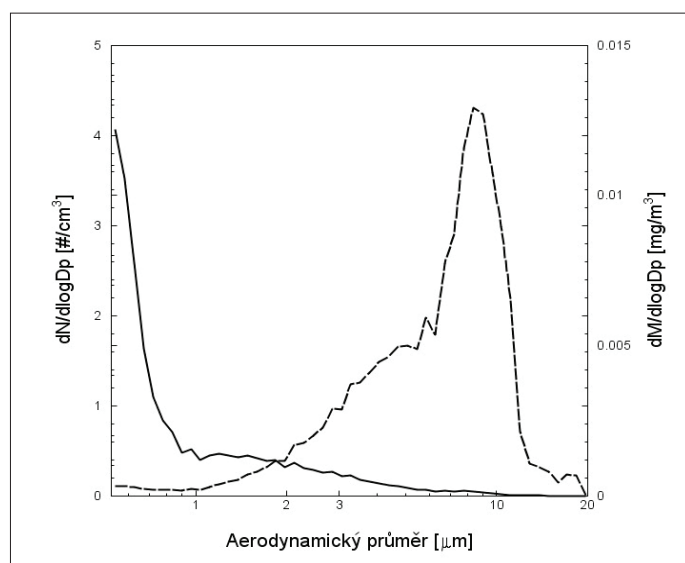
3 Výsledky a diskuse

Na obrázcích č. 6-16 jsou zobrazeny průměrné velikostní distribuce počtu a hmoty částic jednotlivých vzorků. Tabulky č. 2-4 pak ukazují statistické hodnoty pro průměrné velikostní distri-

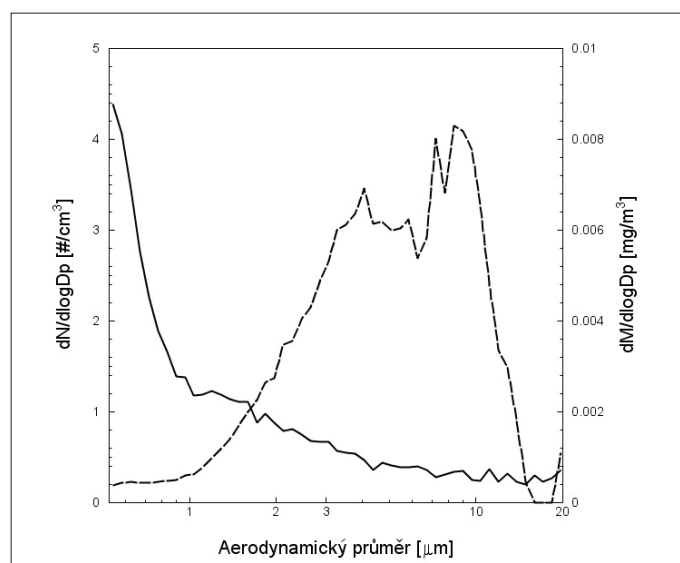
buce počtu a hmoty částic včetně aerodynamického průměru částice o mediánu počtu CMD (*Count Median Diameter*) nebo hmotnosti MMD (*Mass Median Diameter*) aerosolu.

Z průměrných velikostních distribucí počtu a hmoty jednotlivých vzorků dispergovaných v resuspenzní komoře bylo zjištěno, že největších průměrných početních a hmotnostních koncentrací dosahuje elektrárenský popílek (vzorky číslo 7 a 11), určený k zahrabání do již vytěžených částí hnědouhelného dolu. Pokud by se přesítovaný vzorek (10 mg) kompletně dispergoval v komoře, dosáhla by hmotnostní koncentrace vzorku 22,88 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Tuto hranici pro maximální možnou disperzi jsme brali jako 100 %. U vzorků elektrárenského popílku dosahoval podíl dispergované hmoty ku maximální možné dispergované hmotě 2,58 % u vzorku 7 a 2,71 % u vzorku 11. Z celkové hmotnosti vzorků (před přesítováním) se účinně disperguje pouze 0,26 % hmoty u vzorku 7 a 0,19 % u vzorku 11. Hmotnostní podíl ku maximální možné disperzi u ostatních vzorků dosahoval 0,34 % (vzorek 8 - sádrovec) nebo 1,88 % (vzorek 4 - povrch dolu). Z celkové hmotnosti vzorku sádrovce (před přesítováním) se tak účinně dostává do vznosu pouze 0,04 % hmoty, z povrchu dolu pak 0,32 % hmoty. U vzorku 7 dosahovala průměrná početní koncentrace hodnot až 70 částic na cm^3 . Velikostní distribuce obsahovala dva vrcholy: první kolem 0,5 μm a druhý kolem 1,3 μm . Průměrná hmotnostní koncentrace popílku pak dosahovala 0,59 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ a velikostní distribuce měla dva vrcholy - první u velikosti částic 4 μm a druhý u velikosti 10 μm . Popílek je pásovými dopravníky transportován přímo do vytěžených částí severočeského hnědouhelného dolu z tušimické tepelné elektrárny. Po dosažení úložiště je volně sypán na skládku, kde by měl být následně zahrabán skřívkovou zeminou (obr. č. 17).

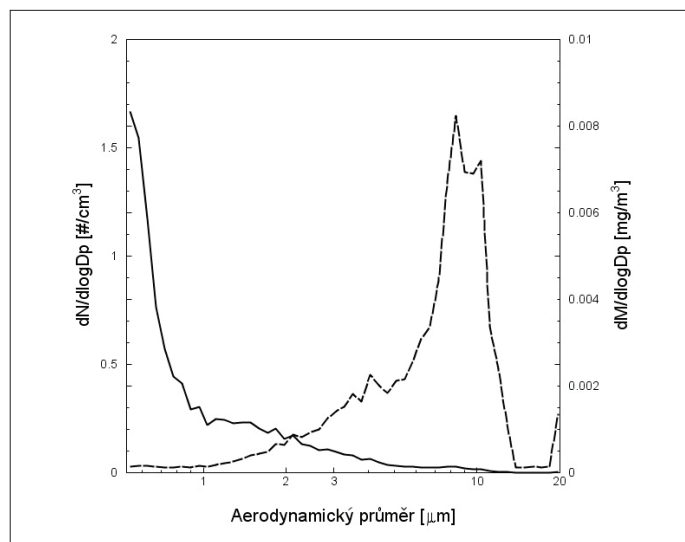
Průměrné početní koncentrace silničního uhlého prachu (vzorek č. 4) dosahovaly 60 částic na cm^3 s maximální početností kolem 1,6 μm a hmotnostní koncentrace pak 0,43 mg na m^3 s dvěma vrcholy s velikostmi částic 3,3 a 10 μm . Největších hmotnostních koncentrací dosahovaly dispergované vzorky elektrárenského popílku a vzorky hnědého uhlí odebrané na



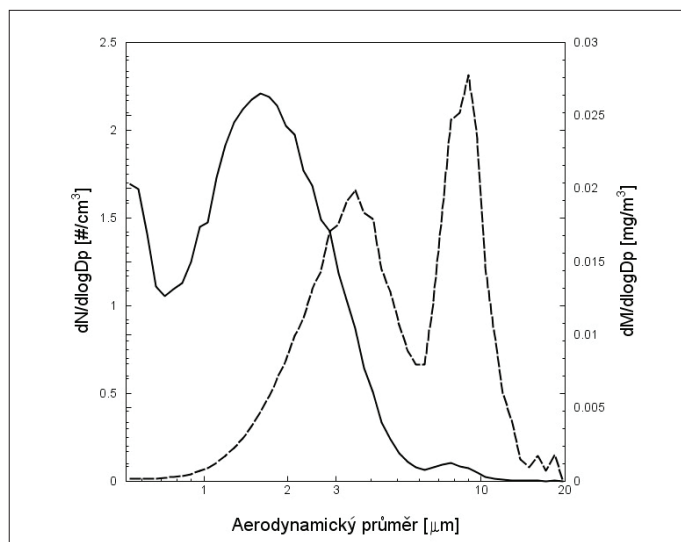
Obr. 6: Vzorek 1., homogenizované uhlí: a - velikostní distribuce počtu částic, b - velikostní distribuce hmoty částic.



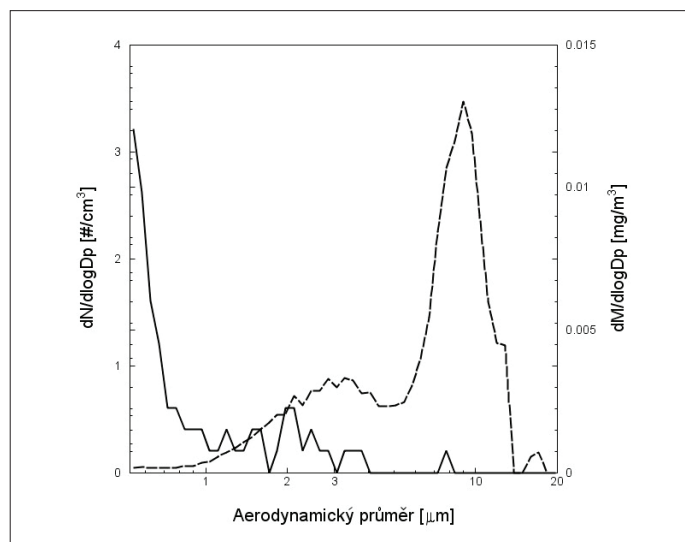
Obr. 7: Vzorek 2., prach odebraný na konstrukci zakládacích zařízení: velikostní distribuce počtu (plná čára) a hmoty (čárkovaná) částic aerosolu.



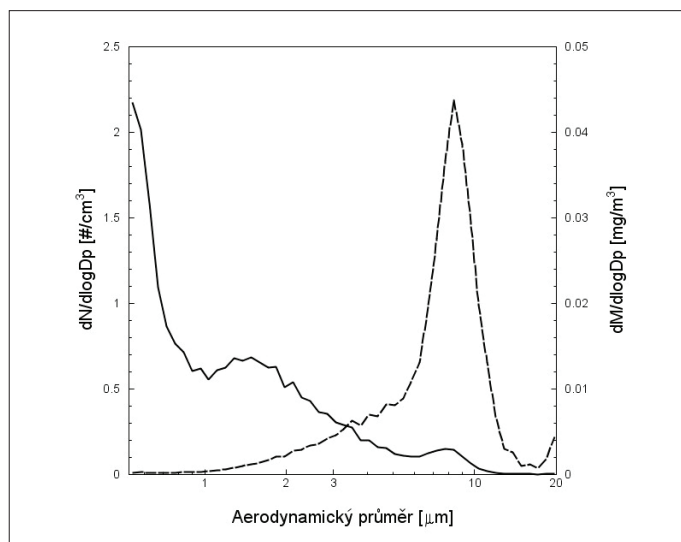
Obr. 8: Vzorek 3., dno hnědouhelného dolu: velikostní distribuce počtu (plná čára) a hmoty (čárkovaná) částic aerosolu.



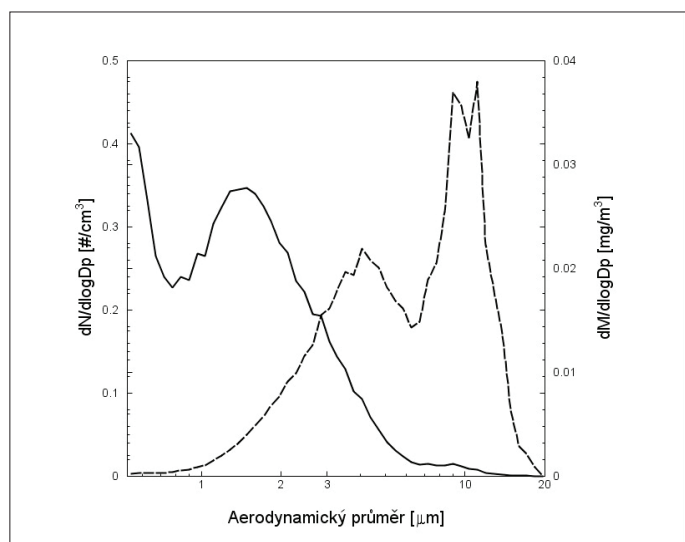
Obr. 9: Vzorek 4., povrch důlní komunikace: velikostní distribuce počtu (plná čára) a hmoty (čárkovaná) částic aerosolu.



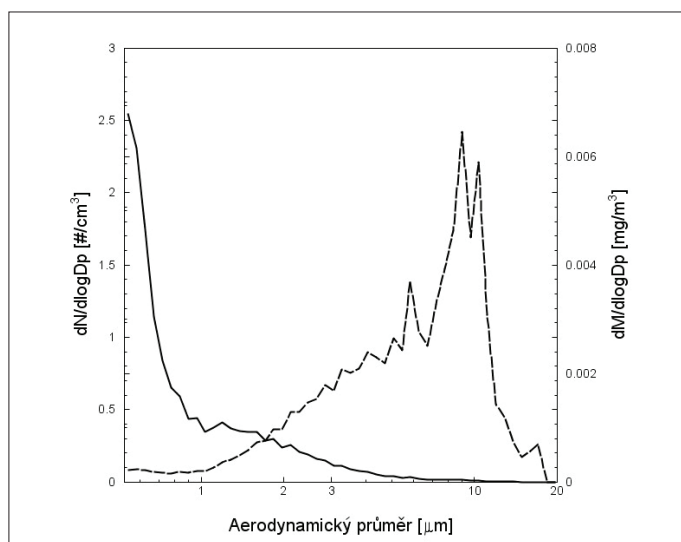
Obr. 10: Vzorek 5., samotný důl: a - velikostní distribuce počtu částic, b - velikostní distribuce hmoty částic.



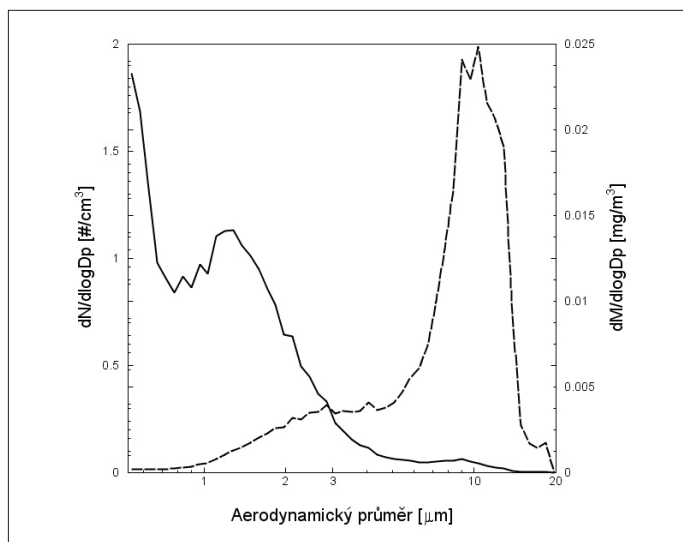
Obr. 11: Vzorek 6., komunikace na dně dolu: velikostní distribuce počtu (plná čára) a hmoty (čárkovaná) částic aerosolu.



Obr. 12: Vzorek 7., skládka popílku: velikostní distribuce počtu (plná čára) a hmoty (čárkovaná) částic aerosolu.



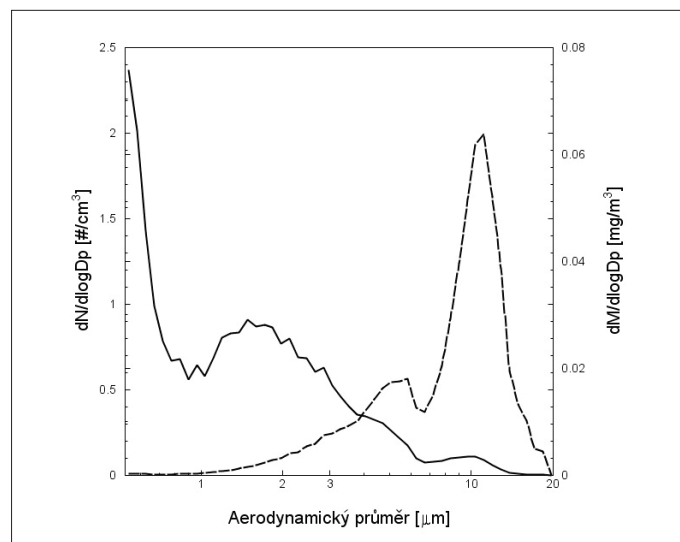
Obr. 13: Vzorek 8., skládka sádrovce: velikostní distribuce počtu (plná čára) a hmoty (čárkovaná) částic aerosolu.



Obr. 14: Vzorek 9., skládka popílku: velikostní distribuce počtu (plná čára) a hmoty (čárkovaná) částic aerosolu.

důlních komunikacích. Bohužel autoři tohoto článku nemají k dispozici informace o rozloze ploch odebraných vzorků (např. poměr plochy skládek elektrárenského popílku a ploch, které zaujímají důlní komunikace) a tak nemůže být proveden odhad mohutnosti jednotlivých zdrojů atmosférického aerosolu v dané lokalitě. Po důlních komunikacích jezdí těžká nákladní technika a tak je těžené uhlí (vzorek 5 - velikostní distribuce hmotnostní koncentrace) deponované na komunikacích rozměňováno z částic velikosti 10 μm na menší částice velikosti cca 3,3 μm (vzorek 4 - velikostní distribuce hmotnostní koncentrace) a v konečném důsledku tak pravděpodobně velkou měrou ovlivňují celkovou hmotnostní koncentraci atmosférického aerosolu právě tyto částice z důlních komunikací (obr. č. 18), než částice ze samotného těženého dolu nebo částice ze skládek popílku.

Nejmenší průměrná hmotnostní koncentrace částic suspendovaných v resuspenzní komoře byla zjištěna u vzorku sádrovce z procesu odsiřování. Průměrná hmotnostní koncentrace zde dosahovala pouze $0,08 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (0,34 % z celkové teoreticky



Obr. 16: Vzorek 11., popílek Tušimice: velikostní distribuce počtu (plná čára) a hmoty (čárkovaná) částic aerosolu.

možné navážky a pouze 0,01 % z celkové hmoty vzorku se disperguje), na celkovou hmotnostní koncentraci atmosférického aerosolu mají tak skládky sádrovce zcela určitě nejmenší vliv.

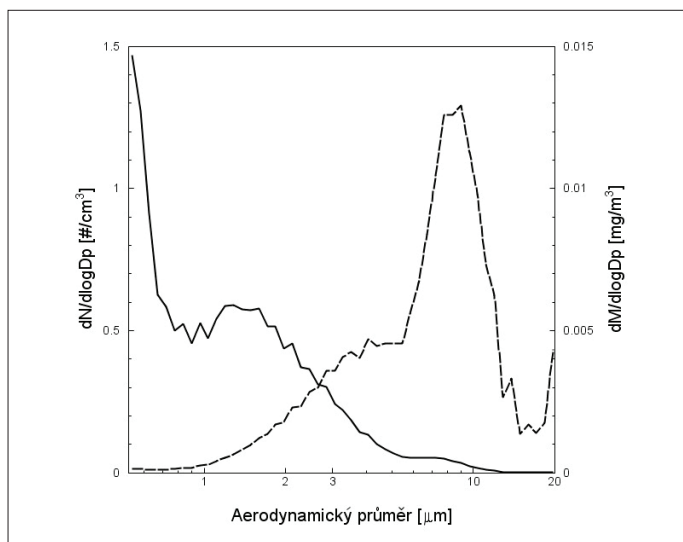
Obrázek č. 19 ukazuje mapku severočeského hnědouhelného dolu s vyznačením odběrových míst a je barevně odlišen procentuální podíl resuspendovatelné složky. Čím je označená lokalita „červenější“, tím lépe vzorek z dané lokality dispergoval.

Analýza pomocí APS zjistila, že popílek a hnědé uhlí z důlních komunikací dosahuje po suspenzi největších početních a hmotnostních koncentrací, a co se týče velikostní distribuce počtu částic, obsahuje i částice kolem 1 μm a menší. Tyto 2 vzorky představují v severočeském hnědouhelném dole významné zdroje aerosolových částic. Skládky popílku jsou pouze na několika málo místech v dole Nástup. Pokud není popílek včas překryt skrývkovou zeminou, představuje v konečném důsledku velký zdroj aerosolových částic. Dalším významným zdrojem je již zmíněný uhelný prach deponovaný na důlních komunikacích. Povrch důlních komunikací zaujímá několikanásobně větší plochu než povrch skládek popílku. Z tohoto hlediska budou pravděpodobně největším zdrojem hrubého atmosférického aerosolu z této lokality důlní komunikace. Zjištěné výsledky pouze kvantifikují míru disperze jednotlivých odebraných vzorků a umožňují čtenáři nastínit podíl jednotlivých vzorků na celkovém nesuspendovaném množství aerosolu z této lokality.

4 Závěr

V rámci doktorské práce M. Civiše byla zkonstruována komora umožňující laboratorní disperzi pevných syplých vzorků ve vzduchu za podmínek řízené teploty a relativní vlhkosti. Vzniklý aerosol lze on-line sledovat pomocí APS nebo odbíráním pomocí gravimetrických metod. Komora umožňuje studium velikostní distribuce atmosférického aerosolu a zároveň i jeho chemického složení.

V resuspenzní komoře byly dispergovány vzorky z různých částí severočeského hnědouhelného dolu při 20 °C a RH 50 %,



Obr. 15: Vzorek 10., skrývková zemina: velikostní distribuce počtu (plná čára) a hmoty (čárkovaná) částic aerosolu.

Tab. 2: Základní charakteristiky velikostních distribucí a podíly resuspendované složky vzorků homogenizovaného uhlí, prachu na zakladači, vzorků ze dna dolu a důlní komunikace.

Číslo vzorku	1		2		3		4	
Jméno vzorku	Homogenizované uhlí		Prach na zakladači		Dno dolu		Důlní komunikace	
	Počet	Hmota	Počet	Hmota	Počet	Hmota	Počet	Hmota
	[cm ⁻³]	[mg·m ⁻³]	[cm ⁻³]	[mg·m ⁻³]	[cm ⁻³]	[mg·m ⁻³]	[cm ⁻³]	[mg·m ⁻³]
Průměr	49,84	0,15	63,8	0,17	21,84	0,08	56,8	0,43
Median	49,84	0,13	67,93	0,14	21,9	0,06	58,48	0,42
Standard. směr. odchylka	7,74	6,73	19,14	0,1	2,56	0,07	19,09	0,19
Průměr částice [μm] CMD/MMD	1,28	6,73	3,05	12,86	1,28	2,13	3,28	11,97
Průměrná velikost částice [μm]	0,77	1,71	0,89	11,97	0,83	3,78	3,05	5,42
Max počtu částic [cm ⁻³]	73,56	4,32	65,12	0,97	32,36	0,84	95,87	1,54
Podsítná frakce [%]	n.a.	5,31	n.a.	0,96	n.a.	2,41	n.a.	16,81
Podíl resuspendované hmoty [%]	n.a.	0,03	n.a.	0,01	n.a.	0,01	n.a.	0,32

n.a. = nepočítá se

Tab. 3: Základní charakteristiky velikostních distribucí a podíly resuspendované složky vzorků z lomové stěny, důlní komunikace, skládky popílku a zahrabávky sádry.

Číslo vzorku	5		6		7		8	
Jméno vzorku	Lomová stěna		Důlní komunikace		Skládka popílku		Zahrabávka sádry	
	Počet	Hmota	Počet	Hmota	Počet	Hmota	Počet	Hmota
	[cm ⁻³]	[mg·m ⁻³]	[cm ⁻³]	[mg·m ⁻³]	[cm ⁻³]	[mg·m ⁻³]	[cm ⁻³]	[mg·m ⁻³]
Průměr	30,91	0,15	34,85	0,36	68,74	0,59	31,19	0,08
Median	30,35	0,12	35,77	0,34	67,93	0,54	30,98	0,06
Standard. směr. odchylka	4,92	0,1	7,44	0,19	17,79	0,25	7,46	0,07
Průměr částice [μm] CMD / MMD	5,10	1,98	1,28	3,28	3,05	2,12	3,05	1,84
Průměrná velikost částice [μm]	1,84	3,78	3,6	4,07	2,64	2,45	0,89	3,05
Max počtu částic [cm ⁻³]	46,02	0,79	58,48	1,75	132,14	1,74	45,42	1,75
Podsítná frakce [%]	n.a.	1,05	n.a.	6,55	n.a.	10,32	n.a.	3,28
Podíl resuspendované hmoty [%]	n.a.	0,01	n.a.	0,1	n.a.	0,26	n.a.	0,01

n.a. = nepočítá se

Tab. 4: Základní charakteristiky velikostních distribucí a podíly resuspendované složky vzorků čerstvého popílku, vzorků ze skrývky a popílku elektrárny Tušimice.

Číslo vzorku	9		10		11	
Jméno vzorku	Čerstvý popílek		Skrývka		Popílek Tušimice	
	Počet	Hmota	Počet	Hmota	Počet	Hmota
	[cm ⁻³]	[mg·m ⁻³]	[cm ⁻³]	[mg·m ⁻³]	[cm ⁻³]	[mg·m ⁻³]
Průměr	37,69	0,27	27,98	0,18	44,06	0,62
Median	37,98	0,22	27,73	0,14	27,73	0,53
Standard. směr. odchylka	7,46	0,2	4,31	0,15	14,11	0,37
Průměr částice [μm] CMD / MMD	3,05	2,64	3,05	12,86	3,28	2,64
Průměrná velikost částice [μm]	2,64	2,46	1,17	2,83	0,89	4,07
Max počtu částic [cm ⁻³]	107,14	1,62	41,19	1,44	80,39	2,83
Podsítná frakce [%]	n.a.	16,32	n.a.	0,41	n.a.	6,77
Podíl resuspendované hmoty [%]	n.a.	0,19	n.a.	0,00	n.a.	0,18

n.a. = nepočítá se



Obr. 17: Skládka elektrárenského popílku, vzorek 7.



Obr. 18: Komunikace na dně hnědouhelného dolu, vzorek 6.

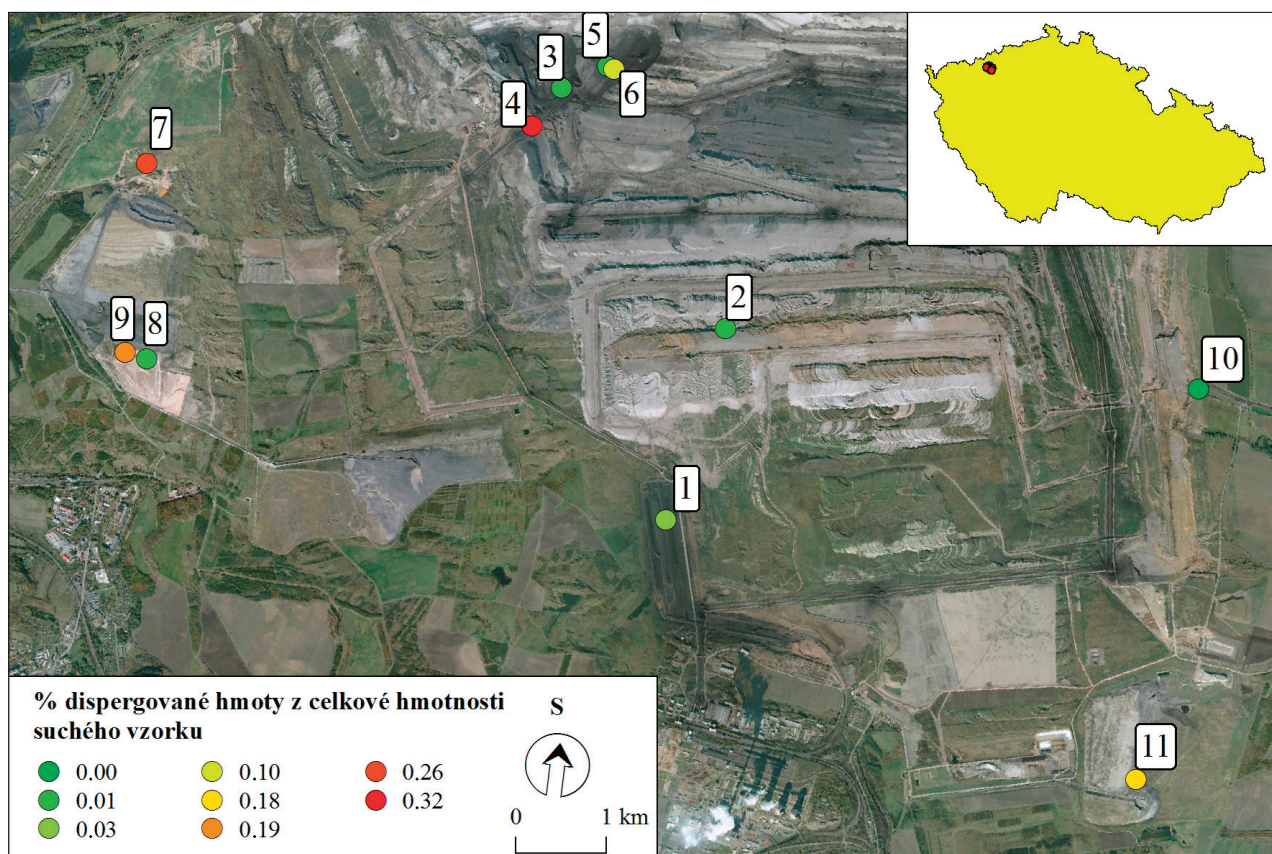
jež byly následně podrobeny analýze pomocí APS s časovým rozlišením 2 s. Byly tak vytvořeny průměrné profily velikostních distribucí počtu a hmotnostní koncentrace jednotlivých vzorků. Bylo zjištěno, že elektrárenský popílek a uhlý prach z důlních komunikací dosahují největších hmotnostních koncentrací po disperzi. Naopak sádrovec dosahuje nízkých hmotnostních koncentrací po disperzi v resuspenzní komoře. Skrývková zemina dosahuje ze všech studovaných vzorků úplně nejnižších hmotnostních koncentrací po suspenzi. Ze studovaných vzorků mohou nejlépe přispívat k celkové koncentraci atmosférického aerosolu prachové částice z důlních komunikací a právě těžených lokalit spolu s odkrytými skládkami popílku. Plošně zaujímají důlní komunikace mnohonásobně větší plochu v porovnání s několika bodovými skládkami elektrárenského popílku a tak pravděpodobně nejvýznamnějším zdrojem hrubého atmosférické-

ho aerosolu v dané lokalitě bude právě uhlý prach z důlních komunikací.

Poděkování

Tato práce vznikla v rámci projektu Grantové agentury Univerzity Karlovy „Stanovení resuspendovatelné frakce ve vzorcích půd a pouličního prachu s využitím resuspenzní komory“ č. 40307 a VaV SP/1a3/149/08 „Stanovení koncentrací atmosférického aerosolu s vysokým velikostním a časovým rozlišením za účelem odhadu jeho zdrojů a toxicity“ od MŽP.

Rád bych touto formou poděkoval panu Ing. R. Nedbálkovi, za umožnění odběru vzorků v severočeském hnědouhelném dole Nástup a panu Ing. Janu Brejchovi za stanovení hustot jednotlivých vzorků.



Obr. 19: Letecký snímek dolu Nástup s vyznačenými místy odebíraných vzorků. 1 - homogenizační skládka, 2 - zakladač, 3 - dno dolu, 4 - deponovaný prach na komunikaci, 5 - samotný důl, 6 - deponovaný prach na komunikaci, 7 - skládka popílku, 8 - zahrabávka sádry, 9 - popílek, 10 - skryvka, 11 - popílek Tušimice.

Literatura

- [1] DOCKERY D.W., POPE ET AL., C.A. III, XU, X., SPENGLER, J.D., WARE, J.H, FAY, M.E., FERRIS, B.G. AND SPEIZER, F.E.: *An association between air pollution and mortality in six U.S. cities*, New England Journal of Medicine, 329, pp. 1753-1808, 1993.
- [2] POPE C.A. III, THUN M.J., NAMBOODIRI M.M., DOCKERY ET AL., D.W., EVANS, J.S., SPENGLER, F.E. AND HAETCH, C.W.: *Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults*, American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 151, pp. 669-674, 1995.
- [3] SCHWARTZ J., DOCKERY D.W., NEAS L.M.: *Is daily mortality associated specifically with fine particles?* Journal of the Air & Waste Management Association, 46, pp. 927-939, 1996.
- [4] DAHMANN D., HARTFIEL K., MOCKLINGHOFF K.: *A procedure for the realistic determination of the dust-making inclination of waste*, Gefahr. Reinhalt. Der Luft, 57, pp. 503-507, 1997.
- [5] American Society for Testing and Materials: *Effectiveness of Dedusting Agents for Powdered Chemicals*, ASTM Designation D-D4331-84, ASTM Committee D22.04 on Workplace Atmospheres, ASTM: West Conshohocken, PA, pp. 448-452, 1984.
- [6] HINDLE M., BYRON P. R.: *Size distribution control of raw materials for dry powder inhalers using the aerosizer with the aero-disperser*, Pharmaceutical Technology, 19 (6), pp. 64-78, 1995.
- [7] CONCESSIO N. M., JÄGER-WALDAU R, HICKEY A. J.: *Aerosol delivery from an active emission multi-single dose dry powder inhaler*, Particulate Science Technology, 15, pp. 51-63, 1997.
- [8] NEWMAN S. P., BUSSE W. W.: *Evolution of dry powder inhaler design, formulation and performance*, Respiration Medicine, 96, pp. 293-304, 2002.
- [9] NEWMAN S. P.: *Dry powder inhalers for optimal drug delivery*, Expert Opin. Biol. Ther., 4, pp. 23-34, 2004.
- [10] MUHLE H., BELLMANN B., CREUTZENBERG O., HEINRICH U., KETKAR M., MERMELSTEIN R.: *Dust overloading of lungs after exposure of rats to particles of low solubility: comparative studies*, Journal Aerosol Science 21, pp. 374-377, 1990.
- [11] MORALES J. R., DINATOR M. I., LLONA F., SAAVEDRA J., FALABELLA F.: *Sample preparation for archeological materials for PIXE analysis*, Journal of Radioanalytical Nuclear Chemistry Letters, 187, pp. 79-89, 1994.
- [12] HIRANO T., KIYOTA M., AIGA I.: *Physical effects of dust on leaf physiology of cucumber and kidney bean plants*, Environmental Pollution 89, pp. 255-261, 1995.

- [13] LEWIS S.: *Solid particle penetration into enclosures*, Journal of Hazardous Materials 43, pp. 195-216, 1995.
- [14] CHEN Y. C., BARBER E. M., ZHANG Y., BESANT R. W., SOKHANSANJ S.: *Methods to measure dust production and deposition rates in buildings*, Journal of Agriculture engineering Research 72, pp. 329-340, 1999.
- [15] SAE Handbook: 1943 Edition, pp. 716, 1943.
- [16] ANDREASEN A.H.M., HOFMAN-BANG H., RASMUSSEN N.H.: *On the ability to be dusty of materials*, Kolloid-Zeitschrift 86, pp. 70-77, 1939.
- [17] CHENG L.: *Formation of respirable dust at belt conveyor transfer points*, American Industrial Hygiene Association Journal 34, pp. 540-546, 1973.
- [18] SUTTER S.L., JOHNSON J.W., MISHIMA J.: *Investigation of accident-generated aerosols: Releases from free-fall spills*, American Industrial Hygiene Association Journal 43, pp. 540-543, 1982.
- [19] HEITBRINK W.A., BARON P.A., WILLEKE K.: *An investigation of dust generation by free falling powders*, American Industrial Hygiene Association Journal 53, pp. 617-624, 1992.
- [20] LANNING J.S., BOUNDY M.G., LEITH D.: *Validating a model for the prediction of dust generation*, Particulate Science Technology 13, pp. 105-116, 1995.
- [21] DEICHMAN W.B., DUSTSHAKER A.: *Journal of Industrial Toxicology*, 26, pp. 334-335, 1944.
- [22] SONKIN L.S., LIPTON M.A., VAN HOESON D.: *An apparatus for dispersing finely divided dusts*, Journal of Industrial Hygiene and Toxicology 28, pp. 273-275, 1946.
- [23] GRAHAM J.A., MILLER F.J., DAVIES D.W., HITESHEW M.E., WALSH L.C.: *Inhalation studies of Mt. St. Helens volcanic ash in animals. I.*, Introduction and exposure system, Environmental Research 37, pp. 61-71, 1985.
- [24] LI X.W., OWEN J.A.: *A dust segregation rate test system*, Journal of Environmental Science and Health A 31, pp. 2533-2545, 1996.
- [25] BUSACCA A., STETLER L., HORNING L., BARRY R., WAGONER L., SAXTON K., ASHBAUGH L.L.: *Development of a PM_{10} 'dustiness index' to assess wind erodibility of soils of the Columbia Plateau*, Pacific Northwest, Wind Erosion International Symposium-Workshop, Manhattan, KS, 3. - 5. června 1997.
- [26] BREUM N.O.: *The rotating drum dustiness tester: variability in dustiness in relation to sample humidity, testing time, and surface adhesion*, Annual Occupational Hygiene 43, pp. 557-566, 1999.
- [27] CHOW J.C., WATSON J.G., HOUCK J.E., PRITCHETT L.C., ROGERS C.F., FRAIZER C.A., EGAMI R., BALL M.: *A laboratory resuspension chamber to measure fugitive dust size distributions and chemical compositions*, Atmospheric Environment 28, 3461-3481, 1994.
- [28] VINCENT J.H., AITKEN R.J., MARK D.: *Porous plastic foam filtration media: penetration characteristics and applications in particle size-selective sampling*, Journal of Aerosol Science, 24, pp. 929-944, 1993.