

Meranie hmotnostnej koncentrácie a bilancia úletu tuhých znečisťujúcich látok

Michal Kelemen, Tatiana Matášovská

Abstrakt

Článok sa zaoberá meraním koncentrácie prachu v pracovnom prostredí a bilancovaním úniku resp. úletu prachu do okolia, ktoré bolo realizované v podmienkach priemyselnej prevádzky (s technologickými procesmi produkujúcimi tuhé znečisťujúce látky). Poukazuje na problémy, ktoré vznikajú pri samotnom procese merania a vyhodnocovania. Cieľom merania bolo stanovenie maximálnych koncentrácií prachových častíc v prevádzke a stanovenie úletu prachu do okolia počas technologických procesov.

Kľúčové slová: meracie systémy, koncentrácia prachu, respirabilná frakcia prachu

Úvod

Zvýšená koncentrácia tuhých znečisťujúcich látok (polietavý prach) spôsobuje vážne zdravotné problémy u ľudí a taktiež je hrozbou pre celý ekosystém.

Polietavý prach predstavuje sumu častíc rôznej veľkosti, ktoré sú voľne rozptýlené v ovzduší. Ich pôvod je v rôznych technologických procesoch, uvoľňujú sa najmä pri spaľovaní tuhých látok, sú obsiahnuté vo výfukových plynových motorových vozidlách. Do ovzdušia sa však dostávajú aj vírením častíc usadených na zemskom povrchu (sekundárna prašnosť).

Pre praktické meranie je účelne rozdeliť prach na dve veľkostné frakcie (resp. zložky) – a to na respirabilnú a nerespirabilnú. Zmyslom tohto triedenia je napodobniť triedenie prachu v organizme pri jeho vdychovaní. Respirabilnou frakciou nazývame tú časť prachu, ktorá pri vdychovaní preniká až do pľúcnych alveol a zdržuje sa v nich.

Cieľom tohto článku je popísať princíp merania koncentrácie respirabilnej frakcie prachu na princípe rozptylu svetla. Táto metóda umožňuje kontinuálne meranie koncentrácie prachu v prostredí v čase.

V článku je ďalej popísané meranie, ktoré bolo realizované v priemyselnej prevádzke obsahujúcej niekoľko primárnych zdrojov prašnosti.

Počas merania v prevádzke dochádzalo k zmene teploty okolia (primárny zdroj prašnosti dosahoval teploty nad 1000°C) a k zmene rýchlosti prúdenia prachových častíc. Tieto faktory významne vplyvajú na výsledok merania koncentrácie prachových častíc a stanovenie úletu prachu do okolia. Zmena týchto veličín je spôsobená jednotlivými operáciami technologického procesu, ktorý sa realizuje v prevádzke. Obmedziť sa len na meranie samotnej koncentrácie prachu v ovzduší by predstavovalo dopustiť sa značných chýb. Tieto ďalšie veličiny je nevyhnutné, preto zaznamenať a pri vyhodnotení zohľadniť ich vplyv na výsledky merania. Ďalším sprievodným javom, ktorý občas zneprijemňoval meranie bola zvýšená koncentrácia niektorých zdraviu škodlivých látok chemických látok.

V praxi sa tieto merania realizujú najčastejšie v komínoch, kde nie je problém určiť prietoknú plochu prachových častíc.

Naše merania boli však realizované v priamo prevádzke nad zdrojmi prašnosti, pričom tieto zdroje sú otvorené a nič teda nebráni úniku prachových častíc do okolia [1, 2].

1. Princíp optického prachomera OP1

Pre meranie koncentrácie prachu bol použitý prachomer OP1 (obr. 1), pracujúci na princípe rozptylu svetelného žiarenia prachovými časticami. Tento prístroj registruje len respirabilný podiel prachu, t.j. častice prachu s priemerom od asi 0,8 μm do 9 μm . Neregistruje teda dymové častice ani lietajúce grafitové šupinky s väčším rozmerom [3].

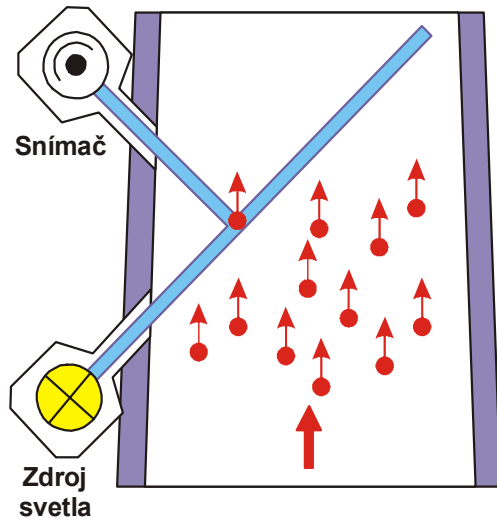


Obr.1 Prachomer OP1 pracujúci na princípe rozptylu svetelného žiarenia prachovými časticami

Fig.1 Dust monitor OP1 working on light scattering principle via dust particles

Snímanie rozptýleného svetla umožňuje meranie malých koncentrácií prachu vo vzduchu. Táto metóda sa prakticky používa pre meranie koncentrácie dymových plynov, pre určovanie viditeľnosti v cestných tuneloch a pre monitorovanie uniku tuhých znečisťujúcich látok z výrobných procesov a pod.

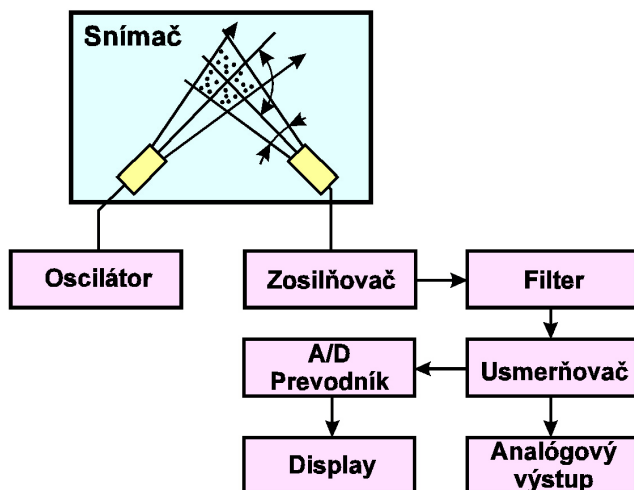
Princíp tejto metódy (obr. 2) spočíva v tom, že vysielač vysiela svetelný lúč, ktorý je časticami prachu v ovzduší späťne odrazený a zachytený vysoko citlivým snímačom. Porovnávaním vychádzajúceho svetla a rozptýleného svetla je možné určiť koncentráciu prachu v ovzduší. Ako zdroj svetla môže byť použitá LED dióda, laser alebo iné zdroje so širokým spektrom vlnových dĺžok [1,2,3].



Obr.2 Meranie koncentrácie prachových častíc pri rozptyle svetla [6]

Fig.2 Dust mass concentration measurement in light scattering process[6]

Prachomery pracujúce na tomto princípe obvyčajne pokrývajú rozsah hmotnostnej koncentrácie v rozmedzí od $0,1 \text{ mg/m}^3$ do 1000 mg/m^3 (stanovené pre PLA – angl. polystyrene-latex aerosol, ktorý je používaný pre kalibráciu prachomerov). Ide o polystyrenovo - latexové guľové častice s priemerom $1 \mu\text{m}$, ktoré sú rozptýlené v meranom prostredí. Prachomer však musí byť kalibrovaný v meranom prostredí pomocou vzduchu, ktorý je kontaminovaný konkrétnymi prachovými časticami. V súvislosti s tým je nutné si uvedomiť, že aj čierne častice prachu rozptyľujú svetlo (grafitové častice, prachové častice zo zeminy a pod.) [4,5].



Obr.3 Bloková schéma prístroja OP1 [4]

Fig.3 Block scheme of the device OP1 [4]

Celková schéma prístroja OP1 pre meranie koncentrácie prachových častíc je uvedená na obr. 3. Usporiadanie snímača prístroja je realizované tak, že sa sníma iba rozptýlené žiarenie od prachových častíc pod uhlom 70° k smeru primárneho žiarenia. Primárne žiarenie je generované infračervenou LED diódou s vlnovou dĺžkou 950 nm . Kombináciou tejto vlnovej dĺžky žiarenia a uvedeného uhla rozptylu

je zabezpečená selektivita na respirabilnú frakciu prachových častíc. Aby počas merania nedochádzalo k ovplyvňovaniu okolitým žiarením napr. denným svetlom, je primárne žiarenie modulované frekvenciou 1 kHz .

Na prijímacej strane je takto modulovaný signál vyhodnocovaný selektívne. Prijímacia infradióda, vybavená príslušnou optikou pracuje v prúdovom režime aby sa minimalizoval vplyv teploty. Modulovaný prúd I , generovaný infradiódou je úmerný intenzite rozptýleného žiarenia od prachových častíc. Tento prúd sa ďalej transformuje na napätie, ktorého hodnota sa zobrazuje na displeji. Tento údaj je priamo úmerný koncentrácii prachových častíc. Okrem toho je prístroj vybavený i analógovým napäťovým výstupom, umožňujúcim pripojenie registračného zariadenia, alebo počítača. Celkový príkon prístroja je 6 W [3, 4].

2. Kalibrácia optického prachomera OP1

O metodike kalibrácie prachomerov pojednáva smernica VDI2066. Podľa tejto smernice kalibrácia predstavuje proces prostredníctvom, ktorého sa nameranej veličine (napr. intenzita rozptýleného svetla) priradí konkrétna hmotnostná koncentrácia prachu v ovzduší [5].

Pri optických metódach existuje lineárny vzťah medzi týmito premennými iba v prípade, že rozmerová distribúcia častíc a materiálové vlastnosti prachu sú konštantné. Pretože vo všeobecnosti zloženie prachu a rozmerová distribúcia sú väčšinou neznáme, najčastejší spôsob ako kalibráciu realizovať sú komparačné (porovnávacie) merania priamo na vyšetrovanom mieste pre konkrétny vyšetrovaný prach. Pre kalibráciu optických a triboelektrických metód sa používa gravimetrické určenie hmotnostnej koncentrácie prachu [5].



Obr.4 Merací reťazec pre kalibráciu optického prachomera

Fig.4 Measurement chain for optical dust monitor calibration

Kalibrácia optického prachomera OP1 bola vykonaná gravimetrickým prachomerom nad zdrojom prašnosti. Gravi-

metrický prachomer zachytával vzorky polietavého prachu cez filter. Objem pretečeného vzduchu obsahujúceho prachové častice sa meral bilančným prietokomerom. Z rozdielu hmotnosti filtra po odbere a pred odberom sa určí čistá hmotnosť (navážka) zachyteného prachu (hmotnosti m_1 a m_2 boli stanovené analytickými váhami). Hmotnostná koncentrácia prachu M_C sa vypočíta z rovnice:

$$M_C = \frac{m_2 - m_1}{Q_V \cdot t} \quad (1)$$

kde

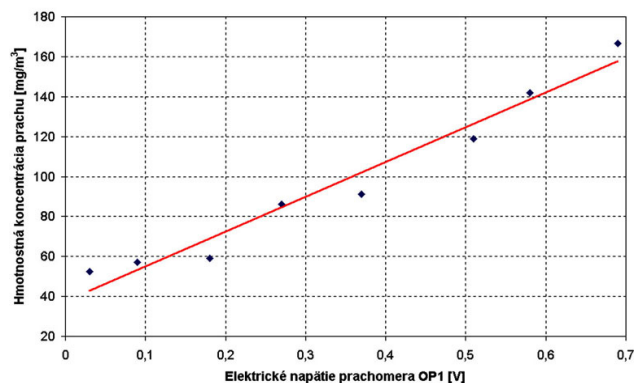
m_1, m_2 je hmotnosť filtra pred odberom a po odbere

Q_V – objemový prietok vzduchu obsahujúceho prachové častice

T – doba odberu vzorky

Pre stanovenie kalibračnej funkcie, (priemerná hodnota elektrického napätia prachomera OP1 verus koncentrácia prachu podľa merania gravimetrickým prachomerom) počas realizácie daného komparačného merania, by mali byť pracovné podmienky podľa možnosti konštantné. Pri jednotlivých komparačných meraniach by mali byť teda doby merania čo najkratšie, aby sa eliminovali vplyv zmeny jednotlivých faktorov počas daného merania. Doba jedného komparačného merania by nemala prekročiť 30min. V našom prípade sa koncentrácia prachových častíc menila v závislosti na konkrétnej technologickej operácii. Snahou bolo merať komparačné pri ustálených hmotnostných koncentráciách prachu pri rôznych úrovniach. Doby merania boli preto stanovované podľa zmeny výstupného signálu optického prachomera, pričom ak došlo k zmene signálu o viac ako 5%, tak odber kalibračnej vzorky bol ukončený.

Jednotlivé body kalibračnej krivky boli vynesené do grafickej závislosti a z týchto bodov bola určená analytická lineárna závislosť (obr. 5), ktorá bola integrovaná do procesu vyhodnocovania.



Obr.5 Kalibračná charakteristika prachomera OP1

Fig.5 Callibration characteristic of the dust monitor OP1

3. Meranie koncentrácie prachu nad zdrojom prašnosti v priemyselných podmienkach

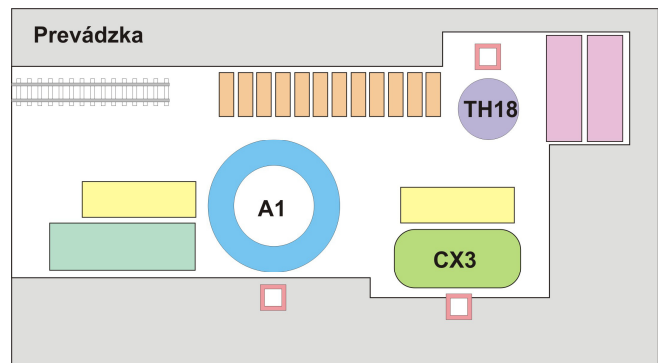
Meranie koncentrácie prachu bolo realizované kontinuálne s dobou vzorkovania 3s so záznamom okamžitej hodnoty koncentrácie prachu v reálnom čase. Zaznamenávaný bol výstup z prachomera OP1 vo forme elektrického napätia pomocou digitálneho multimetra s výstupom na RS232 linke, cez ktorú boli údaje zaznamenávané na disk počítača. Súčasne boli zaznamenávané informácie o aktuálnej teplote okolia a rýchlosti prúdenia. Pre meranie teploty bol použitý

termočlánok typu K a pre meranie rýchlosti prúdenia vzduchu bol použitý mechanický anemometer.

Jednotlivé meracie miesta sú vyznačené na mape meracích miest prevádzky (obr. 6). Pre vyznačenie polohy prachomera OP1 je použitý symbol (viď. obr. 6). Tieto merania boli realizované pri technologických operáciách, pri ktorých teplota v zariadení primárneho zdroja prašnosti dosahovala nad 1000°C a teplota okolia nad zariadením vo výške 20m dosahovala hodnoty nad 60°C. Pôvodný zámer bol merať priamo nad technologickým zariadením ale už aj vo výške 20m nad zariadením sa vyskytovali technické problémy s prevádzkou meracích prístrojov.

Z jednotlivých záznamov boli vyhodnotené priebehy hmotnostných koncentrácií prachu nad zdrojmi prašnosti podľa zvolených meracích miest. Ukážka z nameraných priebehov je zobrazená na obr.5. K týmto priebehom zodpovedali technologické listy prevádzky a teda je možné ku každej operácii priradiť konkrétny priebeh hmotnostnej koncentrácie prachu (obr. 7).

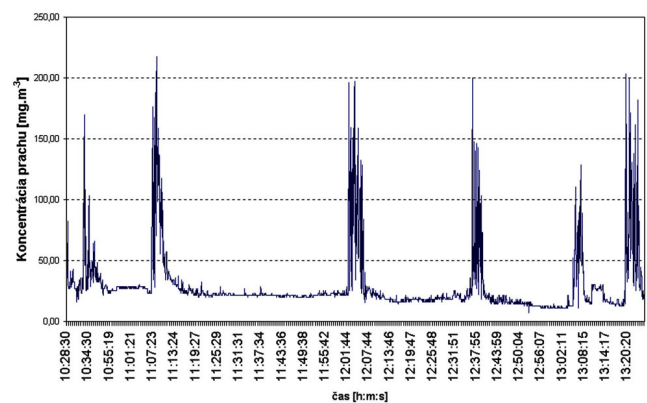
Z týchto záznamov je možné stanoviť maximálne hmotnostné koncentrácie prachu v pracovnom prostredí. Pri týchto meraniach bolo nutné zohľadniť vplyv teploty okolia. Zvýšená teplota okolia spôsobila zvýšenie nameraných hodnôt o konštantnú hodnotu, ktorá bola pri vyhodnovení zohľadnená.



□ - prachomer OP1

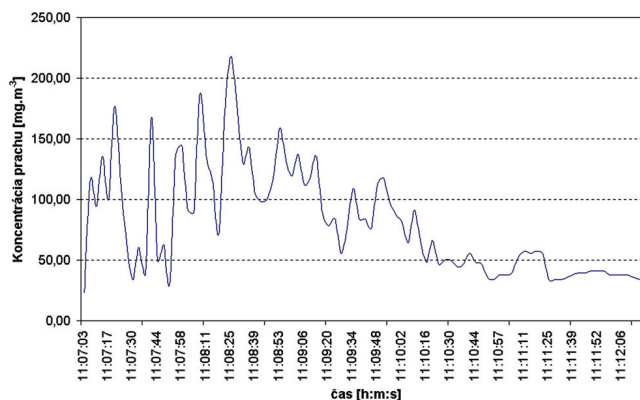
Obr.6 Mapa meracích miest v prevádzke

Fig.6 The map of the measuring places



Obr.7 Priebeh hmotnostnej koncentrácie prachu v čase počas technologického procesu (doba merania cca 3h).

Fig.7 Dependence of the dust mass concentration in time of the technological process (measuring time 3h)



Obr.8 Priebeh hmotnostnej koncentrácie prachu v čase počas technologickej operácie (doba merania cca 5min).

Fig.8 Dependence of the dust mass concentration in time of the technological process (measuring time 5min)

4. Bilancia úletu prachu z haly

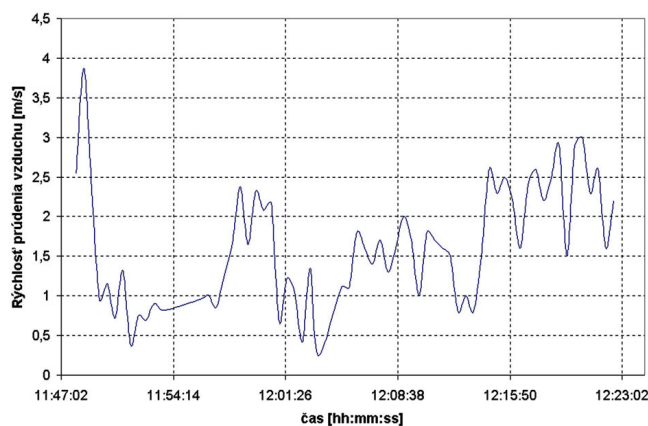
Bilancie úletu prachu z haly prevádzky boli určené z nameraných hodnôt tak, že z každej nameranej hodnoty hmotnostnej koncentrácie prachu M_i bol určený elementárny úlet prachu U_i pre jednotlivé namerané vzorky. Z týchto úletov boli potom v príslušných tabuľkách určené tzv. kumulatívne úlety prachu pre jednotlivé etapy výrobného procesu a pre celkový proces ako súčty príslušných elementárnych úletov). Miesto merania bolo zvolené nad otvorom, cez ktorý prach uniká mimo haly.

Pre určenie elementárneho úletu prachu pritom platí:

$$U_i = M_i \cdot v_i \cdot S_M \cdot t_i \quad (2)$$

kde

- U_i — elementárny úlet prachu pre i-tu vzorku [mg]
- M_i — hmotnostná koncentrácia prachu pre i-tu vzorku [mg/m³]
- v_i — prúdenie vzduchu obsahujúceho prach pre i-tu vzorku [m/s]
- S_M — prietoková plocha úletu prachu na meranom mieste [m²]
- t_i — doba trvania vzorky (3s)



Obr.9 Priebeh rýchlosti prúdenia vzduchu s prachovými časticami

Fig.9 Dependence of the air flow velocity (air with dust particles) in time

Pri bilancovaní úletu prachových častíc je dôležité merať aj rýchlosť prúdenia vzduchu s prachovými časticami. Ku každej nameranej vzorke bola tak priradená aj okamžitá rýchlosť prúdenia vzduchu (obr. 9).

Záver

Merania, ktoré boli v článku popísané boli realizované v konkrétnych podmienkach technologického procesu firmy, ktorá sa s problémami produkcie prachu trápí už niekoľko rokov. V niektorých okamihoch pri meraní dokonca klesla aj viditeľnosť iba na niekoľko metrov (cca 800mg/m³). Pri pohľade na viaceré miesta prevádzky to vyzeralo skôr na „zasneženú krajinu“. O škodlivosti prachu je asi zbytočné polemizovať, ale nám aj po opustení prevádzky spôsoboval ešte niekoľko hodín zdravotné problémy s dýchacími cestami.

V niektorých prípadoch bol problém so stanovením prietokovej plochy úletu prachu, pretože merané miesto nebolo jediným miestom kadiaľ uniká prach z haly prevádzky. Stanovenie úletu prachu do okolia mimo haly prevádzky je dosť dôležité aj z hľadiska ochrany životného prostredia. Častice o veľkosti 1μm sa usadzujú len veľmi pozvoľne a častice menšie ako 0,1μm sa takmer vôbec neusadzujú. Častice menšie ako 10μm sú pre človeka zvlášť nebezpečné, pretože môžu prenikať hlboko do dýchacích ciest a spôsobovať tak vážne zdravotné problémy [6, 7].

Podakovanie

Autori týmto ďakujú za čiastkovú podporu Slovenskej grantovej agentúry pre vedu Grant GU VEGA 1/3078/06 „Špecifické aspekty merania koncentrácie tuhých znečisťujúcich látok v pracovnom prostredí pomocou optických metód a kalibrácie optických metód merania pomocou referenčných metód“ za čiastkovú podporu tejto práce.

Literatúra

- [1] SERBOUSEK, A.: Přístrojová technika pro měření čistoty ovzduší. FS VŠB, 1992 Ostrava. ISBN 80-7078-136-x
- [2] GMITERKO, A., DOVICA, M.: Measurement of Respirable Dust Mass Concentrations Based on Radiation Scattering. *Bulletins for Applied Mathematics*. 1995, s. 62-63.
- [3] GMITERKO, A., SLOSARČÍK, S., DOVICA, M.: Algorithm of Nonrespirable Dust Fraction Suppression Using an Optical Transducer of Dust Mass Concentration. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 47, 1998, No. 5, pp. 1228-1233.
- [4] GMITERKO, A., MLÝNKOVÁ, Z., KELEMEN, M.: Optický prachomer pre meranie koncentrácie respirabilnej frakcie prachu. XV. Zhromaždenie KZ SR, zborník prednášok. Kúpeľná dvorana Sliač, Marec 2001.
- [5] VDI 2066 part 6: Particulate matter measurement. Measurement of particulate matter in flowing gases. Determination of dust load by continuous measurement of scattered light with the photometer KTN. January 1989.
- [6] Projekt CESAR II – Stredoeurópska štúdia o vplyve znečisteného ovzdušia na respiračné zdravie detí. Štúdia plnená v rámci vedecko-technického programu EÚ INCO-COPERNICUS.
- [7] KELEMEN, M., MAŠAŠOVSKÁ, T.: Meranie koncentrácie prachu v prostredí. In. *Automa* 12/2004. s. 24-27. ISSN 1210-9592

Abstract

The paper deals with dust mass concentration measurement in working area and with emission escape balance i.e. dust emission to the environment. The measurement was been realized in industry condition (with technological processes which are producing solid pollutants. The paper describes problems, which rise in measurement process and data evaluation. The main goal of the measurement was the identification of the maximum dust mass concentration in working area and evaluation of the dust emission to environment from technological processes.

Ing. Michal Kelemen, PhD.,

Technická Univerzita v Košiciach
Strojnícka Fakulta, Ústav špeciálnych technických vied
Katedra aplikovanej mechaniky a mechatroniky
Letná 9
042 00 Košice
Tel.: 055/602 2388
e-mail: michal.kelemen@tuke.sk

Ing. Tatiana Maťašovská, PhD.,

Technická Univerzita v Košiciach
Strojnícka Fakulta, Ústav špeciálnych technických vied
Katedra prístrojového a biomedicínskeho inžinierstva
Letná 9
042 00 Košice
Tel.: 055/602 2388
e-mail: tatiana.matasovska@tuke.sk