

POROVNANIE GRAVIMETRICKEJ A OPTICKEJ METÓDY MERANIA KONCENTRÁCIE TUHÝCH ZNEČISŤUJÚCICH LÁTKOK V SPALINÁCH PRI SPAĽOVANÍ TUHÝCH PALÍV

Radovan NOSEK – Michal HOLUBČÍK – Jozef JANDAČKA

Katedra energetickej techniky, Strojnícka fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26, Žilina, michal.holubcik@fstroj.uniza.sk, radovan.nosek@fstroj.uniza.sk, jozef.jandacka@fstroj.uniza.sk

ABSTRACT

Nosek, R., Holubčík, M., Jandačka, J.: Comparison of methods for measuring the emissions of particulate matter from biomass burning

At present, the combustion of fuel in the heat sources is given high priority, among other things, to reduce concentration of emissions, especially of particulate matters (PM). Measurement of formation of individual emissions can be realized by various methods. Also measurement of PM concentration at combustion of fuel can be done by several methods. One of the most frequently used methods is measurement using of gravimetric probe. This method is realised by isokinetic sampling of flue gas which is implemented by measuring the gas velocity pitot tube that accuracy has a significant impact on the measurement accuracy. Another used method of PM measuring is the optical method, which uses the optic sensor. The paper analyses PM measurements by using of two gravimetric methods and optical method at the sampling location next to a heat source and with using of dilution tunnel.

Key words: emissions, particulate matters, gravimetric probe, optic sensor

ÚVOD

Emisie majú významný podiel na znečistení ovzdušia. Na tomto znečistení sa podieľajú plynné ale aj tuhé znečisťujúce látky, ktoré môžu pochádzať z prírodných alebo antropogénnych zdrojov. Medzi významné zdroje znečistenia ovzdušia patria i malé zdroje tepla, v ktorých sa spaľujú či už fosílné palivá resp. tuhá biomasa. Veľký počet takýchto malých zdrojov tepla však predstavuje značný energetický potenciál a zároveň aj veľký počet zdrojov znečisťujúcich látok, ktoré zaťažujú ovzdušie v daných lokalitách. Na rozdiel od veľkých energetických celkov je situácia pri spaľovaní tuhých palív v malých lokálnych spotrebičoch komplikovaná tým, že spaliny sa vyznačujú pomalým rozptylom do vertikálnych i horizontálnych vrstiev atmosféry. Je to spôsobené spravidla nízkym vyústením komínov nad okolitý terén.

Medzi základné a najviac sledované znečisťujúce látky pri zdrojoch tepla patria: tuhé znečisťujúce látky (TZL), oxid uhoľnatý (CO), oxidy dusíka (NO_x), oxid siričitý (SO₂), pachové látky a u biopalív organické látky, ktoré sú v odpadových plynch v plynnej fáze vyjadrené ako celkový organický uhlík.

Jednou z najsledovanejších emisií z procesu spaľovania sú tuhé znečisťujúce látky (TZL). Jedná sa o zmes častíc pozostávajúcich z uhlíka, amónnych iónov, kovov, organického materiálu, dusičnanov a sulfátov [20]. Podľa veľkosti sa TZL delia do nasledovných skupín: častice s priemerom menším ako 2,5 μm, častice o veľkosti od 2,5 až do 10 μm (označované ako PM 2.5) a hrubšie častice s priemerom nad 10 μm (PM10). Veľká pozornosť je venovaná časticiam o veľkosti (aerodynamickom priemere) pod 10 μm, ktoré môžu prenikať do dýchacieho traktu. V súčasnosti

je najväčšia pozornosť venovaná časticiam pod $2,5 \mu\text{m}$ a sú považované za príčinu najväčšieho poškodzovania ľudského zdravia. Usadzujú sa hlboko v pľúcach a blokujú reprodukciu buniek [12]. Tým môžu vznikáť vhodné podmienky pre rozvoj vírusových a bakteriálnych respiračných infekcií, ako aj postupný prechod akútnych zápalových zmien do chronickej fázy za vzniku chronickej bronchitídy [15]. V mnohých krajinách tak vzniká tlak na prísnejšiu reguláciu emisií TZL [1]. Tuhé znečisťujúce častice sa podľa charakteru vzniku môžu rozdeľovať na primárne častice, priamo emitované zdrojom a sekundárne častice, ktoré vznikajú počas chemických reakcií v atmosfére za prítomnosti iných znečisťujúcich látok.

Pri posúdení kvality jednotlivých zdrojov tepla z hľadiska produkcie tuhých znečisťujúcich látok pri spaľovaní rôznych druhov palív, zohráva dôležitú úlohu samotný princíp ich merania, ako i metodika merania. V rámci domácej ako i zahraničnej legislatívy sa uvádzajú rôzne metodiky merania TZL v malých zdrojoch tepla. V rámci príspevku sú analyzované rôzne spôsoby merania TZL a rôzne metodiky merania TZL na malom zdroji tepla za rovnakých podmienok. Spálením 1 kg dreva v malom zdroji tepla sa vyprodukuje približne 10–20 mg TZL.

SPÔSOBY MERANIA EMISII TUHÝCH ZNEČISŤUJÚCICH LÁTOK

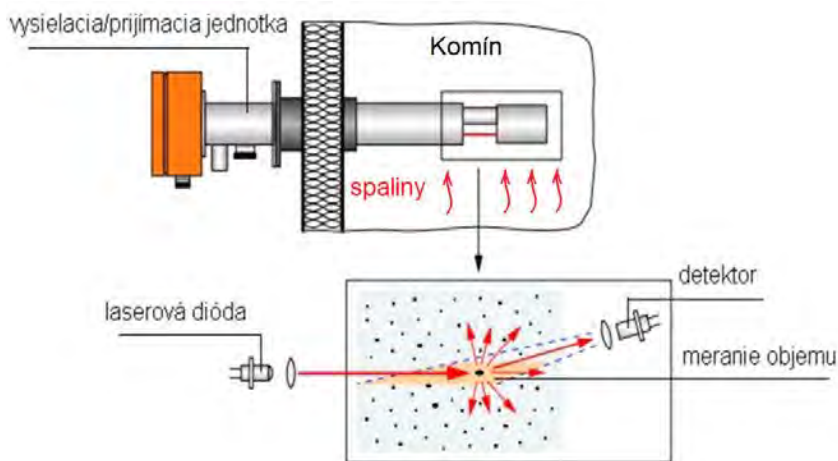
Meranie emisií tuhých znečisťujúcich látok sa môže realizovať rôznymi spôsobmi. Najpoužívanéjšie spôsoby merania sú pomocou optickej a gravimetrickej metódy, [19].

Optická metóda

Optická metóda je založená na princípe rozptýleného svetelného lúča o vlnovej dĺžke 650 nm, ktorý je modulovaný vo viditeľnej časti spektra. Svetlo rozptýlené časticami sa zaznamenáva vysokocitlivým detektorom, ktorý je umiestnený v uhle cca 15° k osi lúča. Detektor zachytáva minimálne zmeny jasu lúča, následne sa získaný signál zosilňuje a smeruje do procesora kde prebieha vyhodnotenie (obr. 1). [19] Táto metóda umožňuje zaznamenávať množstvo častíc s veľkosťou od $0,1 \mu\text{m}$ [20].

Gravimetrická metóda

Princíp gravimetrickej metódy spočíva v odbere vzorky pomocou sondy z prúdiaceho prúdu spalín. Je založená na stanovení množstva znečisťujúcich látok z rozdielu hmotnosti membránového



Obr. 1 Princíp činnosti optickej metódy merania emisií TZL

Fig. 1 Principle of optic method of measuring emissions particulate matter

filtra pred odberom vzorky a po odbere. Využitie môžu byť filtre zo sklenených prípadne kremikových vlákien [20].

Reprezentatívny odber vzorky sa uskutočňuje odberovou sondou vhodného tvaru a správnu rýchlosťou podľa izokinetickej podmienky [19],

$$w_{s,j} = w_i \rightarrow c_{s,j} = c_i, \quad (1)$$

ktorá stanovuje požiadavku, aby pri odbere bola rýchlosť v ústi sondy $w_{s,j}$ [m.s⁻¹] zhodná s rýchlosťou w_i [m.s⁻¹] prúdiacich spalín. V prípade dodržania tejto podmienky je potom koncentrácia v ústi sondy $c_{s,i}$ [g.m⁻³] totožná s koncentráciou v prúde c_i [g.m⁻³]. Pre zabezpečenie izokinetickej podmienky odberu pri reálnych meraniach emisií tuhých znečisťujúcich látok je potrebné merať rýchlosti spalín pomocou Pitotovej trubice. Na základe nameranej rýchlosti sa doreguluje množstvo odsávaných spalín cez odberovú sondu so zachytným filtrom tak, aby sa dosiahlo medzi nameranou rýchlosťou spalín a odberovou rýchlosťou zhody.

Koncentrácia tuhých znečisťujúcich látok v spalínach sa vzťahuje na normované podmienky a je možné ju určiť pre vlhké, resp. pre suché spaliny. Nameraný objem odobratej vzorky na objemovom plynomery je potrebné prepočítať na normované podmienky, t. j. tlak 101 325 Pa a teplotu 273,15 K (0 °C). Z toho dôvodu sa pred snímačom množstva spalín meria teplota a tlak meranej vzorky.

Prepočet objemu odmeraného plynomerom (V^w) za čas (τ) na normované podmienky sa vypočíta na základe vzťahu

$$V_{(n)}^w = V^w \cdot \frac{p}{101325} \cdot \frac{273,15}{T} \quad [(n)m^3] \quad (2)$$

kde p je absolútny tlak na vstupe do prietokomera [Pa], T je absolútna teplota na vstupe do snímača množstva spalín prietokomera [K], [19].

Ak má byť koncentrácia vzťahnutá na suchý stav, potom je potrebné objem $V_{(n)}^w$ zmenšiť o objem v v ňom obsiahnutej sýtej vodnej pary zodpovedajúci stavu p, T podľa nasledujúceho vzťahu

$$V_{(n)}^s = V_{(n)}^w \cdot \left(1 - \frac{p_p}{p}\right) \quad [(n)m^3], \quad (3)$$

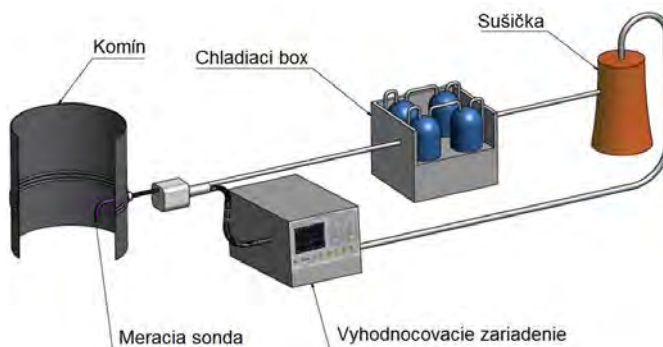
Koncentrácie tuhých znečisťujúcich látok pri gravimetrickej metóde vzťahnutá k odsávanému množstvu suchých spalín je daná vzťahom

$$c_{(n)}^s = \frac{\Delta m}{V_{(n)}^s} \quad [mg \cdot (n)m^3], \quad (4)$$

kde Δm je hmotnostný prírastok na filtri za čas τ v miligramoch. Hmotnostný prírastok na filtri sa stanovuje na základe merania hmotnosti filtra po meraní a jeho vysušení plus hmotnosť častíc zachytených v odsávacom potrubí a na základe hmotnosti filtra pred meraním. Rozdielom týchto hmotností získame hodnotu prírastku hmotnosti. Meranie uvedených hmotností sa realizuje na analytických váhach.

Principiálna schéma gravimetrickej metódy je zobrazená na obr. 2.

Pri gravimetrickej metóde sa odber reprezentatívnej vzorky realizuje odberovou sondou vhodného tvaru a veľkosti priamo z prúdiacich spalín v meracom úseku spalín. Pri meraní tuhých znečisťujúcich látok sa môže použiť odberová sonda pre meranie celkových emisií tuhých znečisťujúcich



Obr. 2 Schéma gravimetrickej metódy
Fig. 2 Scheme of gravimetric method

látok, obr. 3, alebo sonda pre meranie emisií tuhých znečisťujúcich látok o rôznych veľkostiach, t.j. veľkosti PM 2,5, PM 10 a častice väčšie ako PM 10 [20]. Pre meranie emisií tuhých znečisťujúcich látok o rôznych veľkostiach sa používajú viaceré princípy zachytenia častíc o uvedených veľkostiach. Medzi najpoužívanejšie princípy zachytenia častíc o rôznych veľkostiach patrí princíp využívajúci k separácii častíc cyklóny resp. tzv. impaktorový separačný princíp, obr. 4.

Impaktorový separačný systém pozostáva z troch stupňov separácie, tak ako je to uvedené na obr. 4. Konštrukcia zariadenia umožňuje sú-

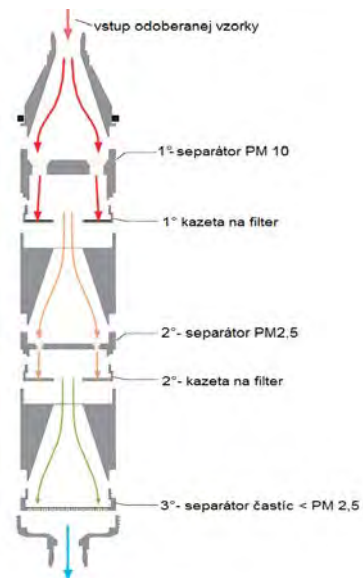
časnú separáciu tuhých častíc PM 10 a PM 2,5 (obr. 4). Tento typ impaktora je určený pre koncentrácie do $50 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Pre vyššie koncentrácie sa doporučuje použiť cyklón, ktorého separačný účinok je vyšší. Impaktor môže byť použitý pre vertikálne aj horizontálne polohy merania v smere prúdenia. Zariadenie je určené pre vysoké prietoky, $V \approx 3 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$. [15], [20]

Presnosť gravimetrickej metódy je do značnej miery závislá od presnosti dodržania izokinetičnosti, ktorá závisí od presnosti merania rýchlosti spalín v meracom úseku spalín. Rýchlosť spalín sa meria pomocou Pitotovej trubice, na základe



Obr. 3 Sonda pre odber celkových emisií TZL

Fig. 3 Simple probe for measurement of particulate matter



Obr. 4 Trojstupňový separačný impaktor

Fig. 4 Three-stage separation impactor

merania rozdielu diferenčného tlaku. Problém je však v tom, že rýchlosť spalín v malých zdrojoch tepla je cca 2 m.s^{-1} , čo predstavuje pri meraní diferenčného tlaku cca 3 Pa . Táto hodnota sa však pohybuje na úrovni neistoty merania diferenčného tlaku. Z toho dôvodu bola navrhnutá metodika merania emisií TZL nie priamo v meracom úseku spalín ale v tzv. zried'ovacom tuneli, kde sa prisáva také množstvo vzduchu, ktoré nám zvýši rýchlosť prúdenia vzduchu v meracom úseku na hodnotu 5 až 10 m.s^{-1} , čím sa dostávame na úroveň merania diferenčného tlaku 20 až 30 Pa , a tým sa zabezpečia lepšie izokinetické podmienky merania emisií TZL.

MERANIA TUHÝCH ZNEČISŤUJÚCICH LÁTOK

V rámci experimentálneho výskumu sa realizovali porovnávacie merania tuhých znečisťujúcich látok realizované zariadením typu Sick FW SE 102, využívajúcu optickú metódu merania a jednk gravimetrickú metódu merania zariadením typ Tecora Isostack Basic. Pri gravimetrickej metóde sa realizovali merania jednk sondou pre meranie celkových emisií tuhých znečisťujúcich látok, ako aj sondou pre meranie emisií tuhých znečisťujúcich látok o rôznych veľkostiach, t. j. veľkosti PM 2,5,

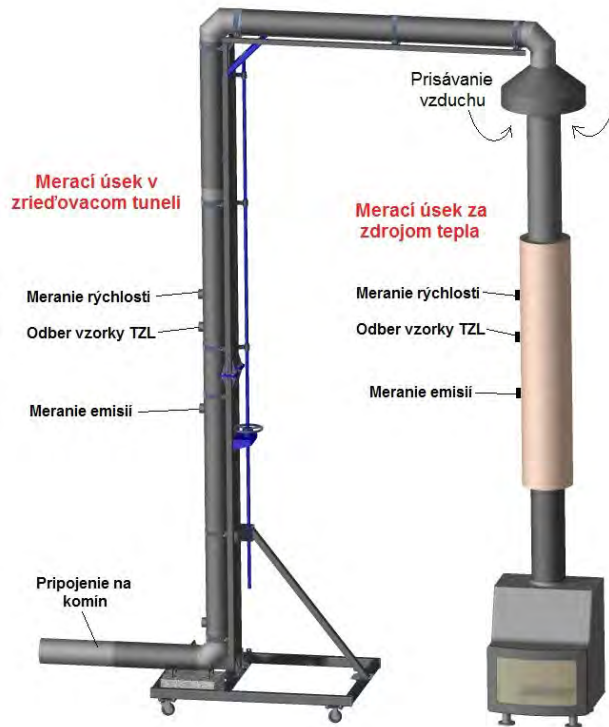
PM 10 a častice väčšie ako PM 10, ktorá pracovala na impaktorovom princípe separácie. Experimentálne merania uvedenými metódami merania emisií tuhých znečisťujúcich látok boli realizované jednk v meracom úseku spalín, ktorý bol umiestnený hneď za zdrojom tepla a jednk v meracom úseku spalín, ktorý bol umiestnený v zried'ovacom tuneli, obr. 6.

Ako zdroj tepla boli použité krbové kachle o menovitom tepelnom výkone 6 kW . Všetky merania boli realizované za rovnakých podmienok merania. Používal sa rovnaký druh paliva t. j. bukové drevo s vlhkosťou $11,15 \%$ a výhrevnosťou $16,4 \text{ MJ.kg}^{-1}$. Pri meraniach sa použila rovnaká dávka paliva o hmotnosti $1,5 \text{ kg}$. Počas merania bol meraný úbytok paliva na váhach váziacich s presnosťou $\pm 20 \text{ g}$. Meranie bolo ukončené v čase, keď nameraná hmotnosť zdroja tepla s palivom odpovedala hmotnosti zdroja tepla pred naložením dávky paliva. Ťah v meracom úseku spalín bol udržiavaný pri všetkých meraniach na hodnote $12 \pm 1 \text{ Pa}$. Regulátory prívodu spaľovacieho vzduchu boli nastavené v rovnakej polohe, odpovedajúce nastaveniu menovitého tepelného výkonu. Meranie koncentrácie emisií tuhých znečisťujúcich látok uvedenými metódami a spôsobmi trvalo 30 minút so začiatkom merania 5 minút po nalkládke. Na obr. 5 je uvedené situovanie zdroja



Obr. 5 Merací úsek v komíne vľavo, zried'ovací tunel vpravo

Fig. 5 Left – Measuring section in chimney, Right – dilution tunnel



Obr. 6 Schéma zried'ovacieho tunela a meracieho komína
Fig. 6 Scheme of the dilution tunnel and measuring chimney

tepla a zried'ovacieho tunela pri experimentálnych meraniach.

Koncentrácie tuhých znečisťujúcich látok sa prepočítavali na referenčnú hodnotu kyslíka v spalínach 13 %.

VÝSLEDKY EXPERIMENTÁLNYCH MERANÍ A DISKUSIA VÝSLEKOV

Na obr. 7 sú uvedené namerané koncentrácie tuhých znečisťujúcich látok merané optickou a gravimetrickou metódou. Koncentrácie tuhých znečisťujúcich látok boli merané jednak v meracom úseku spalín, ktorý bol umiestnený za zdrojom tepla a jednak v meracom úseku spalín, ktorý bol umiestnený v zried'ovacom tuneli. Pre každú metódu boli vykonané 3 merania.

Z uvedených meraní vyplýva, že pri meraní optickou metódou sa dosiahlo pomerne dobrá zhoda výsledkov, či pri meraní koncentrácie v meracom úseku spalín za zdrojom tepla, resp. v mera-

com úseku spalín v zried'ovacom tuneli. Rozdiel v nameraných koncentráciách tuhých znečisťujúcich látok je $2,1 \text{ mg} \cdot (\text{n}) \cdot \text{m}^{-3}$, čo predstavuje rozdiel 6,8 %.

Podstatný rozdiel bol zaznamenaný pri meraniach gravimetrickou metódou. Pri meraniach pomocou separačného impaktora bol nameraný rozdiel koncentrácie tuhých znečisťujúcich látok $4,05 \text{ mg} \cdot (\text{n}) \cdot \text{m}^{-3}$, čo predstavuje rozdiel 16 %. Pri meraniach pomocou sondy pre meranie celkových emisií tuhých znečisťujúcich látok bol nameraný rozdiel koncentrácie tuhých znečisťujúcich látok $6,94 \text{ mg} \cdot (\text{n}) \cdot \text{m}^{-3}$, čo predstavuje rozdiel 30 %.

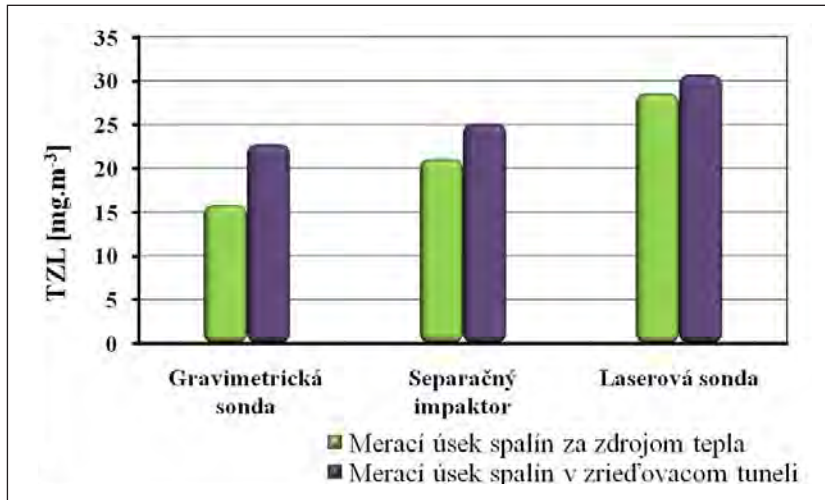
Z porovnania výsledkov merania oboma metódami pri vyššie uvedených spôsoboch merania vyplýva, že v prípade merania emisií tuhých znečisťujúcich látok gravimetrickou metódou oboma odberovými sondami v meracom úseku spalín v zried'ovacom tuneli sa výsledky približujú. V prípade, že merania optickou metódou budeme považovať za smerodajné, rozdiel medzi týmito meraniami emisií tuhých znečisťujúcich látok a meraniami pomocou sondy pre meranie celkových

emisii tuhých znečisťujúcich látok bol $7,92 \text{ mg.(n) m}^{-3}$, čo predstavuje rozdiel 26% a rozdiel medzi meraniami pomocou separačného impaktora bol $5,56 \text{ mg.(n)m}^{-3}$, čo predstavuje rozdiel 18%.

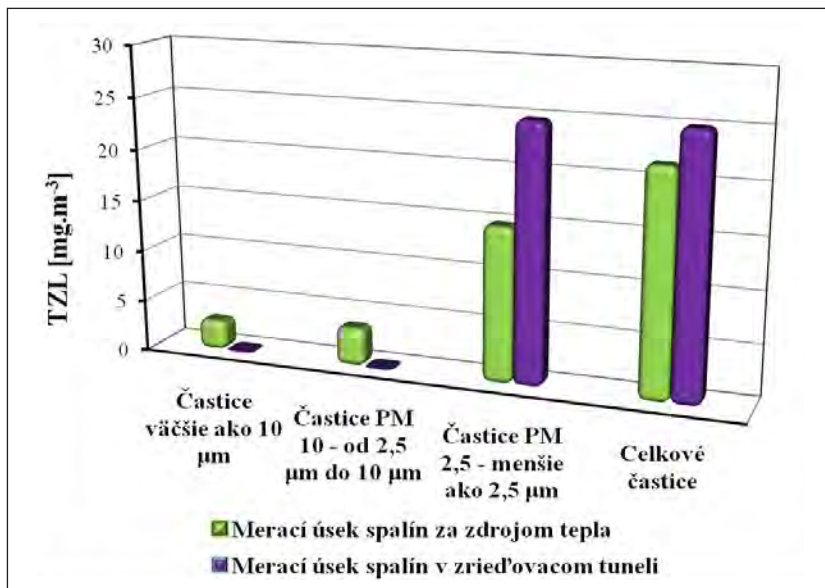
Z tohto porovnania vyplýva, že meranie emisií tuhých znečisťujúcich látok gravimetrickou metódou v zriedňovacom tuneli dáva podstatne pres-

nejšie výsledky koncentrácií tuhých znečisťujúcich látok, pri ich meraní na malých zdrojoch tepla.

V tabuľke č. 1 a na obr. č. 8 sú uvedené merania koncentrácie emisií tuhých znečisťujúcich látok pomocou separačného impaktora veľkosti väčšej ako PM 10, PM10, PM2,5 pri meraniach jednak v meracom úseku spalín za zdrojom tepla



Obr. 7 Porovnanie nameraných priemerných hodnôt TZL
Fig. 7 Comparison of the measured values of particulate matter



Obr. 8 Porovnanie nameraných hodnôt TZL pomocou impaktora
Fig. 8 Comparison of the measured values of particulate matter by separation impactor

Tab. 1 Porovnanie hodnôt nameraných pomocou impaktora
 Tab. 1 Comparison of results measured by separation impactor

Tuhé častice	TZL [mg.m ⁻³]	
	Merací úsek spalín za zdrojom tepla	Merací úsek spalín v zried'ovacom tuneli
PM 10 > 10 µm	3,75	0,16
PM 2,5 – od 2,5 do 10 µm	2,94	0,08
Častice menšie ako PM 2,5	15,01	24,88
Celkové častice	21,7	25,12

a jednak v meracom úseku spalín v zried'ovacom tuneli. Z oboch meraní vyplýva, že tuhé znečisťujúce látky PM 2,5 tvoria najpodstatnejšiu časť z celkových tuhých znečisťujúcich látok. Tento podiel je pri meraní v meracom úseku spalín za zdrojom tepla cca 60 % a pri meraní v meracom úseku spalín v zried'ovacom tuneli cca 95 %, čo môže byť dané ich delením v potrubnom systéme zried'ovacieho tunela.

ZÁVER

Na základe experimentálneho výskumu boli porovnané dve metódy merania emisií tuhých znečisťujúcich látok, optická a gravimetrická, pričom pri gravimetrickej metóde bola použitá jednak sonda pre meranie celkových emisií tuhých znečisťujúcich látok, ako i sonda pre meranie emisií tuhých znečisťujúcich látok o rôznych veľkostiach, t. j. veľkosti PM 2,5, PM 10 a častice väčšie ako PM 10 separujúca jednotlivé veľkosti tuhých znečisťujúcich látok impaktným princípom. Experimenty boli realizované jednak v meracom úseku spalín za zdrojom tepla a jednak v meracom úseku spalín v zried'ovacom tuneli, pričom pre každú metódu sa vykonali 3 merania, z ktorých sa dospelo k záverečným výsledkom.

Z dosiahnutých výsledkov vyplýva, že pri meraniach emisií tuhých znečisťujúcich látok gravimetrickou metódou v zried'ovacom tuneli sa dosiahne väčšej zhody s meraniami emisií tuhých znečisťujúcich látok meraných optickou metódou v porovnaní s meraním gravimetrickou metódou za zdrojom tepla.

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol v rámci riešenia projektu VEGA č. 1/1353/12.

LITERATÚRA

1. BEAUCHEMIN, P., TAMPIER, M. *Emissions and Air Pollution Controls for the Biomass Pellet Manufacturing Industry*, Ministry of the Environment, Victoria, Reference ITQ Number: 12/01/2008.
2. ČARNOGURSKÁ, M., MIHALOV, P. (1999). *Vplyv vybraných parametrov kotla na tvorbu NO_x*. In Acta mechanica slovaca, 3/1999, s. 35–44.
3. DIONISIO K. L., HOWIE S., FORNACE K. M., CHIMAH O., ADEGBOLA R. A., EZZATI M. *Measuring the exposure of infants and children to indoor air pollution from biomass fuels in the gambia*, Indoor Air 2008; 18: 317–327, Singapore, doi:10.1111/j.1600-0668.2008.00533.x.
4. DZURENDA, L. (2007). *Analýza emisií zo spaľovani dendromasy*. Správa pre riešiteľský kolektív projektu (14310200004) Interreg IIIA ČR-SR, TŮ vo Zvolene 2007.
5. DZURENDA, L. (2005). *Spaľovanie dreva a kôry*, vydanie i. Zvolen : vydavateľstvo TU vo Zvolene.
6. DZURENDA, L., JANDAČKA, J., (2010). *Energetické využitie dendromasy*. Zvolen, Tu vo Zvolene, ISBN 978-80-228-2082-0.
7. FEDOROVA, I., PILAT, P., JANDAČKA, J. (2007). *Výpočet a meranie obsahu emisií pri spaľovaní dreva*. Energie z biomasy VI, zborník príspevků ze semináře, VŠB-TU Ostrava, ISBN 978-80-248-1535-0.
8. GAVLAS, S. (2011). *Návrh expertného systému*. In: Produktivita a inovácie : dvojmesačník Žilinskej univerzity v Žiline v spolupráci so Slovenským centrom produktivity a Ústavom konkurencieschopnosti a inovácií. Roč. 12, č. 2 (2011), s. 2–23, ISSN 1335-5961.
9. HORBAJ, P. (2000). *Environmental aspects of fuel combustion*. Martin, Slovakia: Editorship Neografia.
10. HUZVAR, J., KAPJOR, A. (2010). *Project Micro-co-generation Incl. The Conversion of Chemical Energy of Biomass to Electric Energy and low Potential Heat*, Fourth Global Conference on Power Control and Optimization, roč. 4, č. 1.
11. CHUDIKOVA, P., TAUSOVA, M., ERDELYIOVA, K., TAUS, P. (2011). *Potential of dendromass in Slovak Republic and its actual exploitation in thermic*

- economy*. in Acta Montanistica Slovaca, 15 (SPEC. ISSUE 2), pp. 139–145.
12. JALAVA Pasi I., HAPPO Mikko S., KELZ Joachim, BRUNNER Thomas, HAKULINEN Pasi, PAAKKANEN Jorma Mäki-, HUKKANEN Annika, JOKINIEMI Jorma, OBERNBERGER Ingwald, HIRVONEN Maija-Riitta. *Vitro toxicological characterization of particulate emissions from residential biomass heating systems based on old and new technologies*, Atmospheric Environment, Volume 50, April 2012, Pages 24–35, ISSN 1352-2310.
 13. JANDACKA, J., MALCHO, M. (2007). *Biomass as energy source*. Žilina, Slovakia: Editorship Juraj Štefuj GEORG.
 14. JANDAČKA, J., PILÁT, P. (2008). *Heat source emission parameters at various combustion conditions*. Annals of Warsaw University of Life Sciences, ISSN 1898-5912.
 15. JANDACKA, J., PAPUCIK, S., NOSEK, R., HOLUBCIK, M., KAPJOR, A. (2011). *Environmentálne a energetické aspekty spalovania biomasy*, Žilina, Slovakia: Vydavateľstvo Juraj Štefuj GEORG, ISBN 978-80-89401-40-6.
 16. KADUCHOVÁ, K., LENHARD, R., GAVLAS, S., MALCHO, M. (2011). *Use the fireplace insert for heating hot water*. In: TRANSCOM 2011 : 9-th European conference of young research and scientific workers : Žilina, June 27–29, 2011, Slovak Republic. – Žilina: University of Žilina, 2011. ISBN 978-80-554-0375-5. s. 95–98.
 17. KELEMAN, M., MAŤAŠOVSKÁ, T. (2004), *AUTOMA*, 12/2004, ISSN 1210-9592.
 18. LÁBAJ, J., KAPJOR, A., PAPUČÍK, Š. (2011). *Alternatívne palivá pre energetiku a dopravu*, Published – Juraj Štefuj – GEORG, ISBN 978-80-89401-15-4.
 19. MATÚŠKA, T.: (2005) *Experimentálne metódy v technice prostredí*. ČVUT Praha, ISBN 80-01-03291-4.
 20. NUSSBAUMER, T., CZASCH, C., KLIPPEL, N., JOHANSSON, L., TULLIN, C. *Particulate Emissions from Biomass Combustion in IEA, Countries Survey on Measurements and Emission Factors*, International Energy Agency (IEA) Bioenergy Task 32 Swiss Federal Office of Energy (SFOE), ISBN 3-908705-18-5.
 21. SARVI, A., LYYRANEN, J., JOKINIEMI, J., ZEVENHOVEN, R. *Particulate emissions from large-scale medium-speed diesel engines*, Fuel Processing Technology, 2011, ISSN 1855-1861.
 22. TAUŠ, P., TAUŠOVÁ, M. (2009), *Economical analysis of FV power plants according installed performance*, Acta Montanistica Slovaca, 14 (1).
 23. VASZI, Zs., VARGA, A. (2009). *Design and verification of the mathematical model for detecting the throughput of the compressor stations*, 2009. In: Acta Metallurgica Slovaca. Roč. 15, č. 2.