

Měření pevných částic v plynu

Karel Kadlec a Tomáš Bartovský

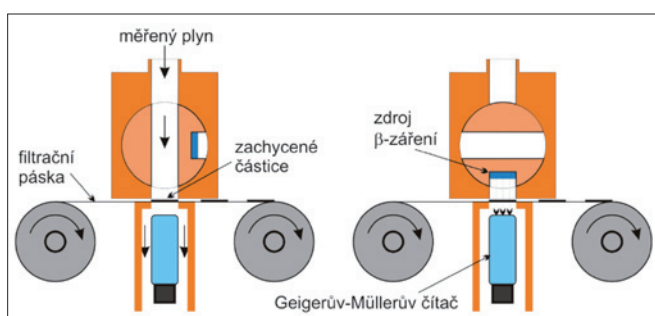
V článku jsou popsány metody a přístroje využívané k měření obsahu pevných částic v plynu. Měřicí přístroje, často označované jako prachoměry, je možné rozdělit do dvou skupin. U přístrojů první skupiny se zachycují pevné částice na filtru a vyhodnocuje se množství zachycené hmoty. Druhou skupinu představují optické přístroje, které využívají rozptýl záření dopadajícího na částice vznášející se v plynu.

1. Gravimetrické metody a měření absorpce β -záření

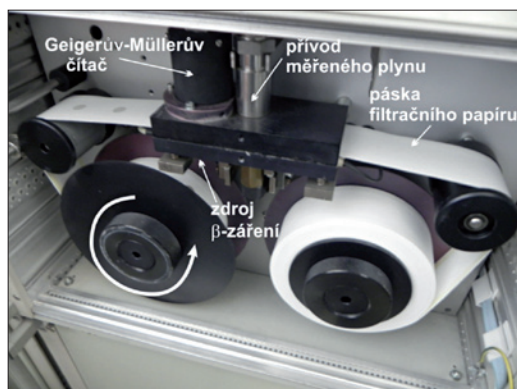
Metody první skupiny je možné označit jako gravimetrické. Pro občasné měření se filtr, na němž jsou částice zachycené z proudu plynu, zváží v laboratoři. V zařízeních pro kontinuální měření by vážení poměrně malých hmotností s dostatečnou citlivostí bylo obtížně realizovatelné. Proto se místo vážení měří absorpce jaderného β -záření procházející

exponenciálně v závislosti na plošné hmotnosti, nezávisle na hustotě, chemickém složení nebo jiné optické či elektrické vlastnosti.

Zdrojem záření může být nádobka naplněná kryptonem ^{86}Kr nebo látka obsahující uh-



Obr. 1. Gravimetrické měření pevných částic v plynu



Obr. 2. Měřicí systém přístroje Verewa F-701-20 (foto: M. Karlík)

lík ^{14}C , např. polymetylmakrylát. Za detektor slouží vždy Geigerova-Müllerova trubice.

Schéma typického přístroje pro měření je na obr. 1. Základní součástí je pásek filtračního materiálu, obvykle filtrační papír ze skleněných vláken, který prochází jednak mezi přívodem a odvodem měřeného plynu, jednak mezi zdrojem a detektorem β -záření. Pásek filtračního materiálu se pohybuje přetržitě, přičemž se střídají tři fáze měření. V první fázi se změří absorpce β -záření čistým páskem, v druhé fázi, která trvá podle podmínek a požadavků 1 min až

oblasti pásku, kterou prochází měřený plyn, a druhý za ní. V tom případě dvěma zdrojům záření přísluší také dva detektory na opačné straně pásku. Intenzita obou zdrojů a citlivost detektorů jsou shodné (upravené kalibračním koeficientem). I při tomto uspořádání je pohyb pásku přetržitý a měření obsahu částic v plynu periodické.

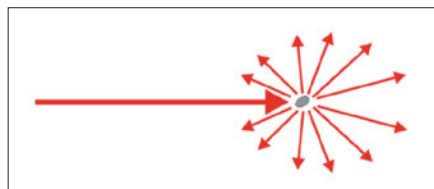
Příklad uspořádání měřicího systému přístroje Verewa F-701-20 (www.durag.com) je na obr. 2. Přístroj pracuje v cyklech a při každém cyklu se měří odezva detektoru jednak při průchodu čistého pásku filtračního papíru, jednak po zachycení prachových částic po průchodu měřeného vzorku přes filtrační papír.

Součástí měřicího systému je vždy i zařízení k měření průtoku plynu. Koncentrace částic v plynu je vyjádřena jako poměr hmotnosti zachycených částic a objemu prošlého plynu. Výsledek měření se udává v gramech na metr krychlový.

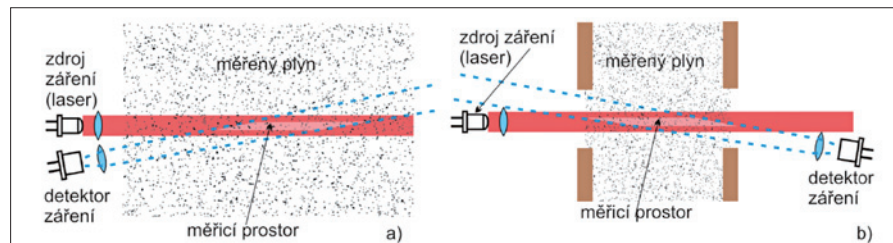
2. Optické metody

Optickými metodami je možné stanovit množství částic v plynu kontinuálně. Pracují na základě rozptýlu světelného záření (obr. 3). Rozptýl záření jednotlivou částicí je závislý na mnoha veličinách, na jejich velikosti, na tvaru, u větších částic na struktuře povrchu i na průhlednosti. U částic, jejichž velikost je blízká vlnové délce záření, je rozptýl ovlivněn také ohybovými jevy.

Podle toho, zda se měří intenzita odraženého nebo přímého záření, se přístroje označují jako nefelometry nebo turbidimetry. Ve většině provozních přístrojů se měří odražené záření. Je to proto, že intenzita odraženého záření je úměrná množství a velikosti částic v měřicím prostoru, zatímco při měření pro-



Obr. 3. Rozptýl záření na částici v plynu



Obr. 4. Uspořádání optického prachoměru: a) měření odrazu ve zpětném směru, b) měření odrazu v dopředném směru

cího vrstvou pevné látky zachycené na filtru. Přitom se využívá výhodná vlastnost, že β -záření interaguje s atomy v molekulách hmoty tak, že absorpce je úměrná hmotnosti vrstvy, kterou záření prochází. Absorpce se řídí Bouguerovým zákonem (obdobou Lambertova-Beerova zákona), podle kterého je tok β -záření (elektronů) oslabován hmotou

24 h, se na pásku zachycují částice a ve třetí fázi se opět měří absorpce β -záření, nyní už páskem s vrstvou zachyceného materiálu [1].

V mírně odlišném uspořádání se používají dva zdroje β -záření, jeden umístěný před

cházejícího záření je při nulové koncentraci částic intenzita záření dopadajícího na detektor maximální. Nízká koncentrace částic způsobuje jen malou změnu poměrně velké celkové hodnoty výstupního signálu detektoru.

Úhel mezi směrem záření ze zdroje a směrem, ze kterého zachycuje záření detektor, se volí podle vlastností částic, jejich počtu v jednotce objemu a podle rozměrů prostoru, ve kterém se má měřit (obr. 4).

Existují také systémy, které jsou kombinací optické a gravimetrické části. Podle výsledku z gravimetrické části se pak periodicky koriguje kalibrační koeficient optického systému.

a celkové pohledy na přístroje jsou na obr. 5. Přístroje jsou určeny pro malé až střední obsahy prachu ve středních až velkých průměrech kanálů.

3. Použití měřičů pevných částic v plynu

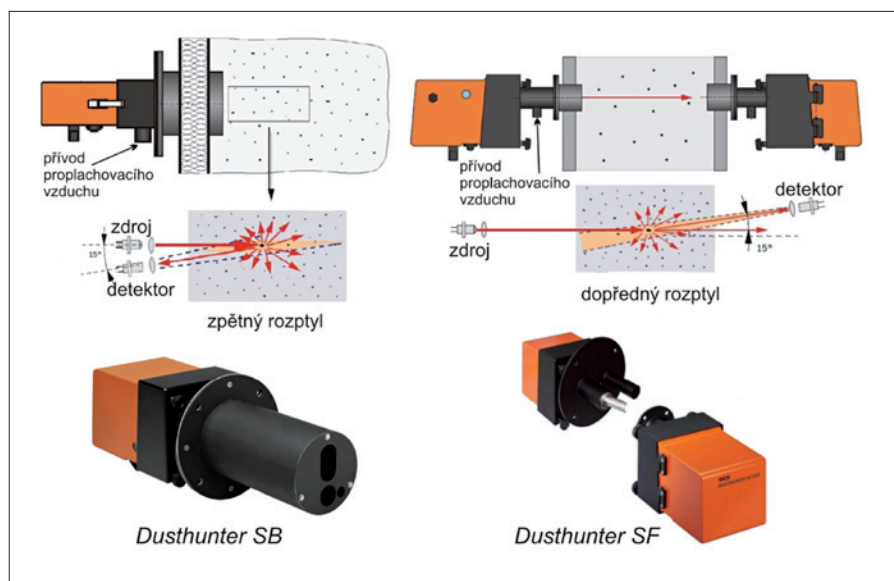
Přístroje k měření pevných částic v plynu nacházejí uplatnění při monitorování funkce filtrů a odlučovačů prachu a při řízení ventilace prašných provozů (v metalurgii, při výrobě stavebních materiálů a dalších).

Text článku vychází z kapitoly 10, *Měření složení*, z knihy *Měření a řízení chemických, potravinářských a biotechnologických procesů* (editoři Kadlec K., Kmínek M., Kadlec P.), Key Publishing Ostrava (2017).

Literatura:

- [1] BARTOVSKÝ T., KADLEC K. a KADLEC P.: Kapitola Měření složení. *Měření a řízení v potravinářských a biotechnologických výrobcích: technologie potravin*. Ostrava: Key Publishing, 2015. Monografie (Key Publishing). ISBN 9788074182327.
- [2] SICK AG. *Operating instruction DUSTHUNTER SB* [online]. Waldkirch, Germany, 2016 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: https://cdn.sick.com/media/docs/4/54/654/Operating_instructions_DUSTHUNTER_SB_en_IM0037654.PDF
- [3] SICK AG. *Operating instruction DUSTHUNTER SF* [online]. Waldkirch, Germany, 2012 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: https://cdn.sick.com/media/docs/6/56/656/Operating_instructions_DUSTHUNTER_SF100_Dust_Concentration_Monitor_en_IM0037656.PDF.

doc. Ing. Karel Kadlec, CSc.,
doc. Ing. Tomáš Bartovský, CSc.,
ústav fyziky a měřicí techniky VŠCHT Praha
(karel.kadlec@vscht.cz)



Obr. 5. Přístroje k měření prachu Dusthunter SB a Dusthunter SF (upraveno podle www.sick.com)

Převážně se pracuje se zářením ve viditelné oblasti a zdrojem záření může být LED, laser, popř. i jiný zdroj záření. Naměřená intenzita rozptýleného světla je úměrná koncentraci prachu. Vzhledem k tomu, že intenzita rozptýleného světla závisí nejen na počtu a velikosti částic, ale rovněž na jejich optických charakteristikách, musí být měřicí systém kalibrován gravimetrickým srovnávacím měřením, aby byl zajištěn dostatečně přesný výsledek. Kalibrační koeficienty se obvykle zadávají ručně při instalaci měřicího systému.

Optické měření může probíhat přímo v technologickém proudu (*in situ*), např. v kouřovodu, nebo v odebraném proudu (*on line*). Při uspořádání *in situ* nehrozí nebezpečí změny koncentrace částic odloučením nebo zředěním vzorku.

Příkladem přístrojů pro měření *in situ* jsou produkty firmy SICK Dusthunter SB [2] a Dusthunter SF [3] (v ČR dodává Sick, spol. s r. o., www.sick.com/cz/cs). Uspořádání optického systému Dusthunter SB odpovídá obr. 4a, uspořádání systému Dusthunter SF odpovídá obr. 4b. Schéma instalací, principy

I ve sféře služeb se nabídka vyvíjí. Firma National Instruments nabízí zákazníkům přenechat jí starosti o správu jejich infrastruktury, hardwaru, softwaru i dat. S výhodou jsou využívány vlastnosti produktu Systemlink, který mj. umožňuje standardizaci metadat – názvů, jednotek, formy desetinné čárky, časových údajů a dalších. Už to je pro práci při přeměně dat v informace obrovská úleva.

O tom, že o probíranou tematiku je velký zájem, svědčí zcela zaplněný přednáškový sál i velmi živé diskuse u stánků v předzářích, kde bylo možné si vyzkoušet testery, digitální dvojčata a techniku, získat písemné podklady, a především prodiskutovat konkrétní dotazy.

Společnost National Instruments patří již mnoho let k předním dodavatelům přístrojového vybavení nejen v ČR. Odborný seminář s tematikou testování produktů tento názor jen posílil.

Radim Adam

► NI Forum Automotive – odborný seminář o testování v automobilovém průmyslu

Společnost National Instruments (NI) uspořádala v Praze odborný seminář věnovaný testování, testerům a modernímu aplikačnímu softwaru v automobilovém průmyslu.

Příspěvky se na základě zkušeností z technické praxe zamýšlely nad budoucností diagnostiky a testování nejen v oboru automobilového průmyslu, ale tam přece jen nejvíce. Kromě zástupců National Instruments z ČR a ze zahraničí vystoupili se svými zkušenostmi i zástupci společnosti AV R & D a MBtech Bohemia.

Několik řečníků se shodlo na tom, že 80 % testů je stejných a je možné na ně použít stejné testery. Variabilita odrážející je-

dinečnost jednotlivých produktů se nachází ve zbývajících 20 %. To vede jak výrobce hardwaru, tak firmy dodávající aplikační software k velké míře standardizace. U testerů je to především standardizace skříní, komunikací, napájení, zásuvných karet, chlazení, filtrace, UPS, jističů apod., u programového vybavení je to množství knihoven, které jsou podmínkou pro unikátní software testu. I zde předvedla společnost National Instruments svůj přínos ve formě testovacího softwaru Teststand, který umožňuje zákazníkům spouštět testovací sekvence napsané v různých vývojových prostředcích.

Mimo jiné odborníci konstatovali, že 90 % inovací v automobilovém průmyslu je spojeno se softwarem řídicích jednotek. V současné době není výjimkou, má-li řídicí jednotka automobilu 100 milionů řádků programu a s rozvojem IoT a autonomního řízení lze očekávat další prodloužení.