

VYUŽITIE OPTICKÝCH METÓD PRI MERANÍ RÝCHLOSTI TUHÝCH ZNEČISŤUJÚCICH LÁTOK

ČERNECKÝ Jozef – BRODNIANSKÁ Zuzana, SR

Resumé

Príspevok sa zaoberá konkrétnymi možnosťami využitia optických metód pri monitorovaní tuhých znečisťujúcich látok (TZL) nachádzajúcich sa v ovzduší. V študijnom programe Ekotechnika, a iných príbuzných študijných programoch zameraných na environmentálnu techniku, sa kladie veľký dôraz na technické prostriedky merania a monitorovania. V uvedenom študijnom programe sú študenti oboznamovaní s novými nekonvenčnými meracími technikami, ako sú laserovská dopplerovská anemometria (LDA) a holografická interferometria (HI). Obidve metódy sú vyučované v predmetoch Technické prostriedky merania a monitorovania, Technika ochrany ovzdušia a Využitie laserov v metrológii a v energetickej technike a zariadeniach.

Kľúčové slová: Holografická interferometria, laserovská dopplerovská anemometria, tuhé znečisťujúce látky.

UTILIZATION OF OPTICAL METHODS IN VELOCITY MEASUREMENTS OF SOLID POLLUTANTS

Abstract

The present contribution is concerned with specific possibilities of optical method utilization in monitoring of solid pollutants in the atmosphere. In the Environmental Technology study programme as well as other related study programmes specialized to environmental technology a strong accent is put on technical means of measurement and monitoring. The students will be acquainted with new, non-conventional measurement techniques as is laser Doppler anemometry and holographic interferometry. Both methods are taught in the following subjects: Technical Means of Measurement and Monitoring, Technology of Air Protection and Utilization of Lasers in Metrology and Energy Technology and Equipment.

Key words: Holographic interferometry, laser Doppler anemometry, solid pollutants.

1 Úvod

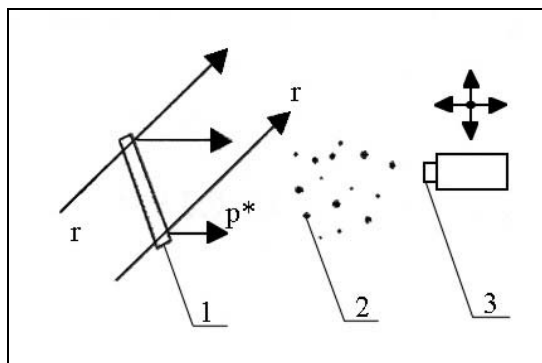
V súčasnosti medzi najohrozenejšie zložky životného prostredia patrí ovzdušie, ktoré je neustále znečisťované. Spôsobuje to hlavne prudký nárast výroby energie, ťažba surovín, priemyselná činnosť doprava atď. Preto je monitorovanie ovzdušia veľmi dôležité a poskytuje informácie potrebné pre účinné rozhodovanie a riešenie problémov v oblasti kontroly a ochrany čistoty ovzdušia.

Na monitorovanie ovzdušia sa používajú rôzne meracie prístroje založené na fyzikálnom, fyzikálno – chemickom a chemickom princípe. V príspevku sa zameriame na fyzikálny princíp merania a monitorovania TZL, ku ktorým patria aj optické metódy. Konkrétne bude popísaný záznam obrazu rozmiestnenia TZL v meracom priestore holografickou interferometriou a v ďalšej časti laserovská dopplerovská anemometria.

Pomocou týchto metód budeme merať rýchlosti prúdenia TZL v meracom priestore, ktorá je potrebná pre výpočet objemovej hmotnosti TZL.

2 Holografická interferometria

Holografická interferometria je optická zobrazovacia metóda, ktorá umožňuje zaznamenať celý skúmaný priestor naraz. V našom prípade bude holografický záznam zameraný na merací priestor s prúdiacimi TZL. Pre záznam sa používa holografická zostava, ktorej časť je uvedená na obr. 1 a je určená pre výskum transparentných objektov.



Obr. 1: Schematické usporiadanie časti holografickej zostavy použitej pre záznam rýchlosti prúdenia TZL.

1 - fotografická doska (hologram), 2 – reálne obrazy TZL, 3 - zobrazovací objektiv,
 r – rekonštrukčný zväzok, p^* - rekonštruovaný predmetový zväzok.

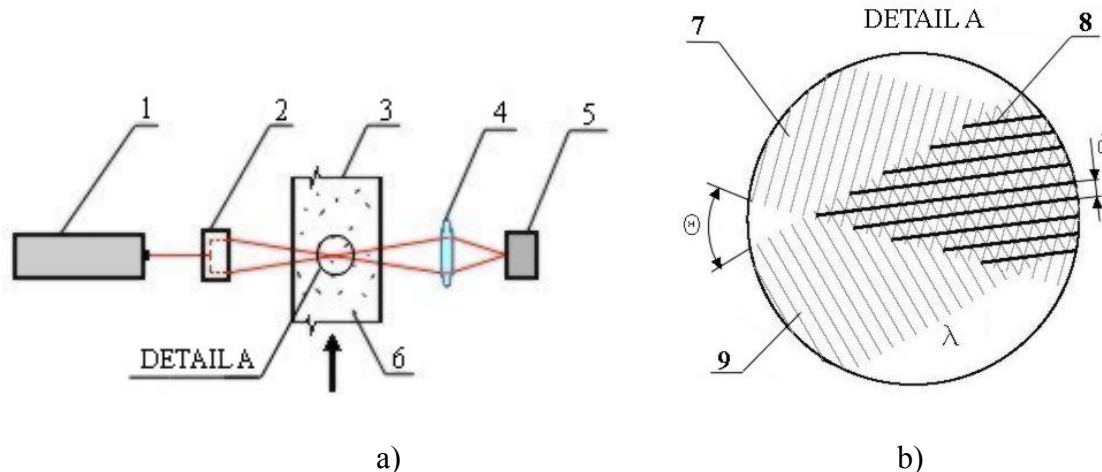
Po vyvolaní fotografickej dosky (1) sa umiestni na pôvodné miesto v zostave tak, aby bola emulzia na opačnej strane dosky. Po osvetlení dosky paralelným rekonštrukčným zväzkom r (pôvodne referenčným) sa dajú rekonštruovať reálne obrazy TZL (2) v opačnom polopriestore voči rovine fotografickej dosky, kde možno zároveň pohybovať objektivom (3).

Vlastné určenie polohy TZL sa realizuje posúvaním objektívu so záznamom obrazov v blízkosti (alebo aj vo vnútri) priestoru s reálnymi obrazmi TZL. TZL ležiace v predmetovej rovine objektívu sú ostro ohraničené a TZL mimo predmetovej roviny majú okolo seba difrakčné obrazce v tvare sústredených kruhových interferenčných pruhov. Zo samotného záznamu sa dá určiť rozloženie TZL v priestore a tiež ich veľkosť. Ak urobíme dva záznamy objektu s TZL v krátkom časovom intervale na jeden hologram, potom pri rekonštrukcii dostaneme dvojice častíc a z ich polôh a časového intervalu medzi expozíciami sa dajú určiť vektory rýchlosti TZL [1, 2].

3 Laserovská dopplerovská anemometria (Lasser Doppler Anemometry)

Ako ďalšia optická metóda, vhodná pre určovanie rýchlosti prúdenia TZL, je laserovská dopplerovská anemometria (LDA). Pri meraní rýchlosti pomocou LDA sa využíva tzv. Dopplerov efekt (jav), ktorý súvisí s pohybom zdroja vlnenia, resp. aj s pohybom prijímača (pozorovateľa) a prejavuje sa zmenou prijímanej frekvencie. **Dopplerov jav** je zmena vlnovej dĺžky (a teda frekvencie) elektromagnetických alebo

akustických vln vyvolaná relatívnym pohybom zdroja a pozorovateľa. V príspevku sa zameriame na jednorozmerový LDA, ktorý je schematicky zobrazený na obr. 2a.



Obr. 2: Jednorozmerný LDA.

a) schematické znázornenie, b) detail prekríženia zväzku lúčov

1 - zdroj žiarenia (laser), 2 – optická sústava, 3 – merací priestor, 4 – objektív,
5 – fotodetektor, 6 – prúdiace tuhé znečisťujúce látky, 7 – prvý zväzok lúčov,
8 – interferenčné pruhy, 9 – druhý zväzok lúčov, δ – vzdialenosť medzi interferenčnými
pruhmi, λ – vlnová dĺžka, Θ – uhol sklonu lúčov.

Ako zdroj žiarenia sa využíva laser (1), ktorého zväzok lúčov sa pomocou optickej sústavy (2) rozdelí na dve časti. Obidve časti sa znovu zbiehajú v bode, v ktorom sa má merať rýchlosť prúdiacej tekutiny, tzn. v meracom priestore (3). Pri pohľade zhora sú zväzky lúčov sklonené pod uhlom Θ (Obr. 2b) a majú rovnakú frekvenciu [3].

Prúdiaci vzduch unáša TZL, ktoré prechádzajú cez bod, kde sa lúče prekrížujú, čiastočne odrážajú a rozptyľujú svetlo obidvoch lúčov. Rýchlosť prúdiacich čiastočiek spôsobuje, že odrazené svetlo má pri obidvoch lúčoch trochu inú frekvenciu. Svetlo rozptýlené z lúča, ktorý smeruje po prúde tekutiny, má o trochu vyššiu frekvenciu, svetlo rozptýlené z lúča, ktorý smeruje proti prúdu tekutiny, má o trochu nižšiu frekvenciu. Svetlo z obidvoch lúčov s odlišnými frekvenciami navzájom interferuje, a tak vytvára tretiu frekvenciu. Tá je priamoúmerná zložke rýchlosti, ktorá je v rovine lúčov kolmá na os uhla obidvoch lúčov. Pritom sa tvorí interferenčná mriežka, kde sa striedajú svetlejšie a tmavšie pruhy. Tieto pruhy sníma fotodetektor (5) a generuje elektrický signál s frekvenciou úmernou rýchlosti prúdiacej tekutiny. Vzdialenosť medzi pruhmi závisí iba od vlnovej dĺžky použitého lasera a od uhla Θ medzi obidvoma zväzkami lúčov. Vynásobením vzdialenosti medzi pruhmi frekvenciou výstupného elektrického signálu sa získa rýchlosť prúdenia:

$$v = \frac{f \cdot \lambda}{2 \sin\left(\frac{\Theta}{2}\right)}, \quad [\text{m.s}^{-1}] \quad (1)$$

kde, f – výstupný elektrický signál z fotodetektora [Hz],

λ – vlnová délka [nm],
 Θ – uhol sklonu lúčov [°].

Takýmto spôsobom sa meria jedna zložka rýchlosti prúdiacej tekutiny. Na meranie všetkých troch zložiek rýchlosti sa používajú viacrozmerné LDA. Vhodné polohovacie zariadenie musí umožniť presnú identifikáciu polohy bodu, v ktorom sa meria rýchlosť prúdenia tekutiny [3, 4].

4 Záver

Cieľom príspevku bolo popísať nekonvenčné metódy na meranie rýchlosti prúdenia TZL v ovzduší. Výhodou použitých metód, v porovnaní s klasickými kontaktnými metódami, je ich bezkontaktnosť a presnosť. Ďalšou výhodou je aj možnosť merania zložiek rýchlostí v dvojrozmernom priestore v tom istom čase a v rozmerovo malých priestoroch. Nevýhodou meracích metód je ich vysoká cena a nutnosť priezorov v meracom priestore pre vstup laserového zväzku.

V uvedenom príspevku sú popísané dve optické metódy, ktoré môžu poslúžiť ako didaktická pomôcka pri výučbe predmetov Technické prostriedky merania a monitorovania, Technika ochrany ovzdušia, Využitie laserov v metrológii, environmentálnej technike a zariadeniach.

5 Literatúra

1. ČERNECKÝ, J – PIVARČIOVÁ, E. Possibilities and Prospects of Holography. Izhevsk State Technical University, Russia, 2006, 124 pg.. ISBN 978-5-7526-0303-7.
2. ČERNECKÝ, J. Technické prostriedky merania a monitorovania (skriptá). TU Zvolen, 2005, 92 s. ISBN 80-228-1439-3.
3. KONIAR, J. Výskum rýchlostných a teplotných polí okolo ohrievanej zakrivenej steny. Dizertačná práca: TU Zvolen, 2008.
4. Ružinská, E.: Efektívne spôsoby znižovania emisií VOC v procesoch povrchových úprav. Zborník príspevkov z medzinárodnej vedeckej konferencie "Mobilné energetické prostriedky - Životné prostredie". FEVT TU Zvolen, 2007, s. 175-182. ISBN 978-80-228-1750-9.

Príspevok je riešený v rámci grantového projektu KEGA MŠ SR č. 3/6431/08.

Lektoroval: doc. RNDr. Milada Gajtanska, CSc. (KFEAM – DF – TU Zvolen, SR).

Kontaktná adresa:

Jozef Černecký, doc. Ing. CSc.,
Katedra environmentálnej techniky,
Fakulta environmentálnej a výrobnéj
techniky, Technická univerzita vo
Zvolene, Študentská 26, 960 53
Zvolen, SR, tel. 00421455206698,
e-mail: jcern@vsld.tuzvo.sk

Zuzana Brodnianská, Ing.,
Katedra environmentálnej techniky,
Fakulta environmentálnej a výrobnéj
techniky, Technická univerzita vo
Zvolene, Študentská 26, 960 53
Zvolen, SR, tel. 00421455206678,
e-mail: brodnianska@vsld.tuzvo.sk