

TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE
FAKULTA ENVIRONMENTÁLNEJ A VÝROBNEJ TECHNIKY
Katedra environmentálnej techniky



Seminár s medzinárodnou účasťou

**NOVÉ TRENDY
V TECHNIKE OCHRANY OVZDUŠIA
2012**



18. október 2012

Zvolen, Slovenská republika

ISBN 978-80-228-2407-1



Odborný garant seminára / Scientific guarantor

doc. Ing. Jozef Černecký, CSc.

Katedra environmentálnej techniky, Zvolen, Slovenská republika

Organizačný garant seminára / Organizational guarantor:

Ing. Andrea Neupauerová, PhD.

Katedra environmentálnej techniky, Zvolen, Slovenská republika

Vedecký výbor seminára / International Scientific Committee of the Section

Hostin Stanislav, doc. Ing. PhD. – Slovenská republika

Janoško Ivan, doc. Ing. CSc. – Slovenská republika

Jabłoński Marek, mgr. inż. - Poland

Beľchinskaya Larissa, prof. Dr. Tech. Sci – Russian Federation

Odborné zameranie seminára

Seminár **NOVÉ TRENDY V TECHNIKE OCHRANY OVZDUŠIA 2012** je zameraný na technológie a zariadenia slúžiace na meranie, vyhodnocovanie a znižovanie emisií tuhých a plyných znečisťujúcich látok, ako aj na fyzikálne a fyzikálno-chemické princípy detekcie znečisťujúcich látok vo vonkajšom a pracovnom prostredí, v technologických zariadeniach a vybraných prevádzkach.

Main Topics of the Seminar

The **NEW TRENDS IN THE AIR PROTECTION TECHNOLOGY 2012** seminar is aimed at the technologies and equipment for measurement, evaluation and emission minimizing of solid and gaseous pollutants as well as at the physical and physical-chemical principles of pollutant detection in the external environment and working environments, in technological equipments and selected plants.

Organizačný výbor seminára / Management Comitee of the Seminar

Ing. Andrea Neupauerová, PhD.

Ing. Ján Koniar, PhD.

Ing. Eva Ružinská, PhD.

Ing. Zuzana Brodnianská

Ing. Karina Valentová

Ing. Adriana Katriňáková

Recenzenti článkov:

doc. Ing. Jozef Černecký, CSc.

Ing. Andrea Neupauerová, PhD.

Ing. Eva Ružinská, PhD.

Ing. Ján Koniar, PhD.

Ing. Zuzana Brodnianská



OBSAH

BELCHINSKAYA Larisa I. – KHODOSOVA Nataliya A. – Anisimov Maxim A. –
SEDLIAČIK Ján

**ADSORPTION METHOD FOR REDUCING EMISSIONS OF FORMALDEHYDE
FROM GLUED WOODEN MATERIALS** 5

ČERNECKÝ Jozef – KONIAR Ján – BRODNIANSKÁ Zuzana

**VPLYV VYBRANÝCH GEOMETRICKÝCH POMEROV NA ÚČINNOSŤ
ODLUČOVANIA VO VÍROVOM ODLUČOVAČI** 12

ČERNECKÝ Jozef – VALENTOVÁ Karina

**VPLYV IONIZÁCIE VZDUCHU NA KVALITU OVZDUŠIA V INTERIÉRI
BUDOVY** 19

ČERY Marián – JANOŠKO Ivan

**ZNEŠKODŇOVANIE NEBEZPEČNÝCH ODPADOV ŽIVOČÍŠNEHO PÔVODU IV
- ŠTATISTICKÉ ZHODNOTENIE EMISÍ** 25

GAJTANSKA Milada – IGAZ Rastislav

SYSTÉMY NA DIAĽKOVÚ ANALÝZU ZNEČISTENIA OVZDUŠIA 36

GAJTANSKA Milada – HUSA Pavel – IGAZ Rastislav

DIGITÁLNY ANALYZÁTOR MNOŽSTVA CO₂ V PROSTREDÍ 40

JABŁOŃSKI Marek – RUŽINSKÁ Eva

**DETEKCIA A METÓDY HODNOTENIA NEBEZPEČNÝCH A RIZIKOVÝCH
LÁTKO V TECHNOLOGIÁCH PRÍPRAVY DREVNÝCH MATERIÁLOV** 44

JANDAČKA Dušan

IMISIE PEVNÝCH ČASTÍC V MESTSKOM PROSTREDÍ 52

KONIAR Ján – BRODNIANSKÁ Zuzana – ČERNECKÝ Jozef

**PÄŤOTVOROVÁ GUEOVÁ SONDA PRE MERANIE TLAKOVÝCH POMEROV
V TECHNIKE OCHRANY OVZDUŠIA** 58



KOŠÍK Peter – MARKOVÁ Iveta

**ANALÝZA ŠTRUKTÚRY A PARAMETROV PLAMEŇA METÓDOU
HOLOGRAFICKEJ INTERFEROMETRIE 65**

MIKLEŠ Juraj

**PROBLEMATIKA ZNEŠKODŇOVANIA ODPADOV SPAĽOVANÍM A JEJ
DÔSLEDKY 72**

NEUPAUEROVÁ Andrea

**RIZIKÁ OŽIARENIA V BUDOVÁCH ZO STAVEBNÝCH MATERIÁLOV
A SPÔSOBY DETEKcie IONIZUJÚCEHO ŽIARENIA 77**

OBÚLANÁ Zuzana – HOSTIN Stanislav

**ŠTÚDIUM OXIDAČNÉHO ÚČINKU OZÓNU NA PARY ACETÓNU A ETANOLU
VO VZDUCHU 86**

PLÁŠEK Ján

**KOMPLEXNÉ RIEŠENIE ZÁSOBOVANIA TEPELNOU A ELEKTRICKOU
ENERGIU V RÔZNYCH KLIMATICKÝCH PODMIENKACH 93**

REJZEK Michal

EMISNÍ MĚŘENÍ TUHÝCH ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK A PRŮTOKU 99

RUŽINSKÁ Eva – JABŁOŃSKI Marek

**NOVÉ TRENDY V APLIKÁCI FILTRAČNÝCH MATERIÁLOV PRE EFEKTÍVNY
ZÁCHYT RIZIKOVÝCH LÁTK V OVZDUŠÍ 104**



ADSORPTION METHOD FOR REDUCING EMISSIONS OF FORMALDEHYDE FROM GLUED WOODEN MATERIALS

Larisa I. BELCHINSKAYA – Nataliya A. KHODOSOVA – Maxim A. ANISIMOV – Ján SEDLIAČIK

ABSTRACT: An analysis of current trends of industrial and civil engineering, as well as increasing volume of handed over areas, question of creation of environmentally friendly building materials that meet the requirements of Russian and European quality sharply rises. In this regard, the development of technologies for environmentally friendly plywood, widely used in the building industry, refers to the actual problem that requires rapid solution. A reduction in emissions of formaldehyde from the finished plywood production and an increase in tensile strength in the shear of glue layer in certain modes of activation of natural zeolite of clinoptilolite and synthetic silica aerosil introduced into the adhesive composition in the manufacture of plywood are noticed. Economic feasibility of production and sales of environmentally friendly plywood is proved. Technical solutions for the modernization of the site of adhesive-making department of the production of plywood are provided. Brief conclusions of work are made and possible prospects are identified.

Keywords: environmentally friendly plywood, natural and synthetic nanofillers, heat treatment of mineral sorbents, adhesive composition, formaldehyde

1. INTRODUCTION

Plywood - one of the most popular laminated plate materials, found application in many industries. In construction it used to make plywood shuttering, scaffolding and device staging, when facing the buildings and creation of roofs elements, as wooden structures for facades of buildings, in the interior - in the manufacture of window sills, wall panels of sound insulation, as a lining for the production of doors, in play ground and athletic fields equipment [1].

As a binder for the production of plywood using urea formaldehyde (CF) resins are used containing toxic formaldehyde in free monomer condition.

In the study of air environment in accommodation there are about 50 organic compounds [2]. Among the substances, found in the samples, largest share takes formaldehyde ~ 96%, the concentration of it in almost 100% is above the critical level (0.1 mg/m^3). in 5 - 6 times, and in premises with high saturation of polymeric materials - up to 10 times. The contribution of other chemicals is not so significant, ranging from 5 to 10%. Therefore, formaldehyde is a major indoor air pollutant. The sources of release of formaldehyde vapors are - furniture, insulation, building materials etc. Ecotoxicity effects of formaldehyde on the cellular level is proved, it is a strong mutagen, it effects on well-defined stages of cell cycle, induces the formation and growth of cancer tumors, it is accumulated in the bone marrow. The effect of formaldehyde on the central nervous system is defined [3].

Improving the health indicators of air in a residential area where they will use more environmentally friendly building materials is an urgent problem. Reducing emissions of toxic substances from building materials can significantly expand the scope of their application, and allows wider use in crowded office, sports, educational, shopping and entertainment facilities.

At present, enterprises introduce natural mineral kaolin into adhesive composition, which has small sorption capacity (4-6 mg / g). The use of natural or synthetic sorbents with greater than kaolin sorption capacity, would reduce emissions of formaldehyde.

The aim of this work is to reduce the emission of formaldehyde from glued wood



products with the introduction of natural zeolite into adhesive composition (of clinoptilolite) and synthetic silica (aerosil).

One of the representatives of the natural zeolite is clinoptilolite having nanoporous structure and having the active centers of different nature [4]. To determine the sorption processes the defining things are size and location of channels, as well as the intracrystalline free space volume of 0.6-1.1 nm. [5]

Aerosil refers to artificial sorbents. It is very clean non-porous amorphous silicon dioxide with particle size from 4 to 40 nm. Active adsorption centers of aerosil are numerous surface groups = SiOH, number of which reaches 2000 for a particle of aerosil. The surface of aerosil is negatively charged, due to the high hydroxylation [6].

2. MATERIALS AND METHODS

To increase the sorption capacity the investigated sorbents were subjected to preliminary heat treatment, with it, desorption by physically bound water from the surface of a crystal, and from the zeolite channels takes place. Heat treatment was performed in drying chamber. Temperature mode of activation of clinoptilolite and aerosil 453 K - 423 K [7] was defined. Thermal activation time is defined earlier in [8] and makes 1 hour.

To get the modified adhesive composition formulation of adhesives was used, given in Table 1.

Table 1 - Formulation of investigated resins

Number of the sample	Adhesive (parts by weight)	Curing agent (parts by weight)	Filling 1 (parts by weight)	Filling 2 (parts by weight)
Sample1	KRONORES CB 1100 (100)	Ammonium chloride (0,8)	-	-
Sample 2	KRONORES CB 1100 (100)	Ammonium chloride (0,8)	-	clinoptilolite (2)
Sample 3	Resin KF-N66F (100)	Ammonium chloride (0,6)	-	-
Sample 4	Resin KF-N66F (100)	Ammonium chloride (0,6)	Kaolin (10)	-
Sample 5	Resin KF-N66F (100)	Ammonium chloride (0,6)	Kaolin (7,8)	clinoptilolite (2,2)
Sample 6	Resin KF-N66F (100)	Ammonium chloride (0,6)	Kaolin (7,8)	aerosil (2,2)

Ammonium chloride (NH_4Cl) introduced into the adhesive composition traditionally acts as a curing agent in adhesive compositions when a hot-curing method is used.

Cured composition within a day was kept at 293 K, and then crushed to obtain fractions of 0.5 mm [9].

The study of free formaldehyde emission from cured adhesive was performed photocolormetrically by acetylacetone method [10].

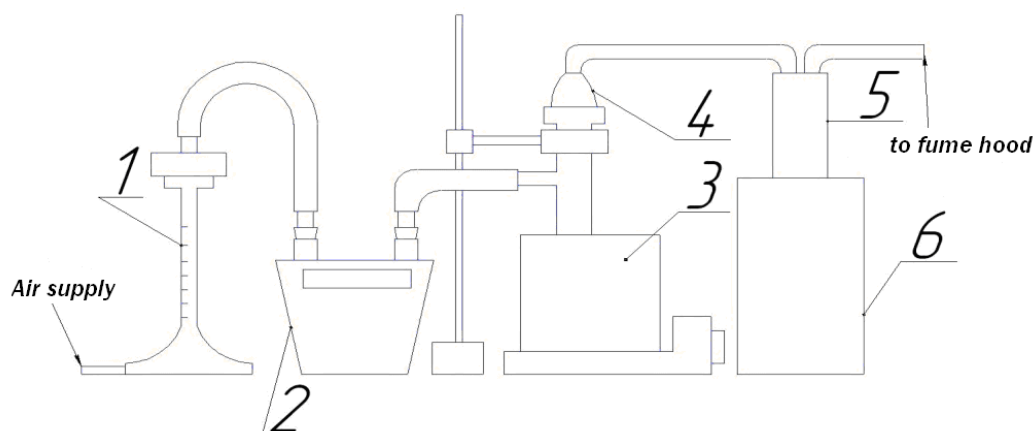


Fig. 1 - Installation to determine the emission of formaldehyde from adhesive composition: 1 - detection of pressure, 2 - gas meter, 3 - water bath, 4 - flask with the test powder, 5 - flask with distilled water, 6 - bowl of cold water

The resulting powder in an amount of 10 g was placed in a flask (4) and heated in a water bath (3). The flask was connected to a sealed vessel (5), which contained 70 ml of distilled water. This vessel was placed in a container (6) with cold water. Through flask with powder 50 liters of air at a speed of 1 l / min was passed. The air was passed through the detector pressure (1) and the gas meter (2), and then through distilled water. After 50 minutes from the vessel with a solution of formaldehyde 10 ml solution were taken, 10 ml of acetylacetone and 10 ml of ammonium acetate were added. The concentration of free formaldehyde was determined photocolorimetrically by acetylacetone method (sensitivity 0.001 mg/dm^3) at a wavelength of $\lambda = 412 \text{ nm}$.

Determination of formaldehyde emission of plywood was carried out on laboratory installation shown in Fig. 2. Isolation of free formaldehyde from plywood with chamber (samples 1 - 2) [9] and exsiccator (samples 3-6) methods.

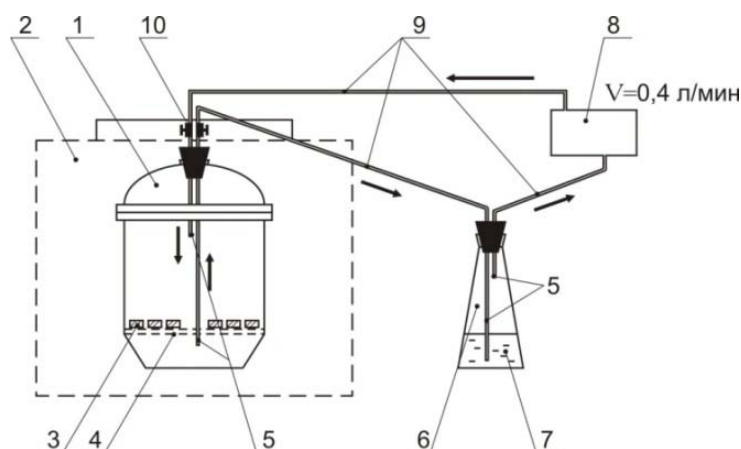


Fig.2. Scheme of laboratory installation for the determination of formaldehyde: 1 - exsiccator with a hole in the lid, 2 - thermostat, 3 - samples, 4 - ceramic disk with holes, 5 - glass pipes, 6 - conical flask, 7 - water, 8 - compressor, 9 - latex pipes, 10 - clips.



The main objective of this laboratory method is evaluation of the toxicity of plywood. It can also be used when testing adhesive compositions for the manufacture of other adhesive wood products and laminated plates using a simple experiment, which is close to real conditions. Samples of plywood (3) sizes 25 mm x 25 mm with defined thickness were placed in exsiccator (1) with volume of 4 l and incubated for 48 hours without access of air from the outside. Exsiccator was thermostated at $T = 293\text{ K}$. After 48 hours the system was connected with conical flask with volume 250 ml filled with distilled water. The system is closed. Fresh air in the system was not additionally served. With the compressor (8), air circulated in the system in a closed circle. Formaldehyde emitted from the samples of plywood (3), with a compressor was passed through distilled water, where it was dissolved. After 1 hour the compressor turned on and clamps stopped air flow in the conical flask. Within 15 minutes, flask should be closed to achieve complete dissolution of formaldehyde in water. Then the flask was disconnected from installation and was stoppered.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The results of toxicity studies of adhesive composition and plywood are shown in Table 2.

Table 2 - Emission of formaldehyde from adhesive composition and plywood

Sample	Emission of formaldehyde from adhesive composition		Emission of formaldehyde from plywood	
	f-de, mg / g.	Reduction of emissions, %	f-de, mg / g.	Reduction of emissions, %
1 – KRONORES CB 1100	0,082	-	0,124	-
2 – KRONORES CB 1100 + 2 parts by weight of clinoptilolite	0,071	14	0,077	38
3 – Resin KF-H66F	0,133	-	-	-
4 – Resin KF-H66F + 10 parts by weight of kaolin	0,128	4	0,19	-
5 – Resin KF -H66F + 7,8 parts by weight of kaolin + 2,2 parts of clinoptilolite	0,113	15	0,132	31
6 – Resin KF-H66F + 7,8 parts by weight of kaolin + 2,2 parts of aerosil	0,09	32	0,115	40

Thus, the introduction of thermally activated clinoptilolite into adhesive helps to reduce formaldehyde emissions by 15 %, from finished plywood by 31 % compared with adhesive composition used in furniture plants as a working one (resin KF-N66F + 10 parts by weight of kaolin). The introduction of aerosil leads to reduced emissions from adhesive



composition by 32 %, of finished plywood by 40 % when compared with the same reference sample - work composition of the enterprise (Table 2).

For the obtained materials physical and mechanical tests were carried out for determination of ultimate shear strength of glue layer according to the methods presented in the work [11].

Table 3 - Results of tests on samples of shearing on glutinous layer

Sample*	Sample 4	Sample 5	Sample 6
Strength limit for shearing, MPa	1,11	1,44	1,79

* numbering of samples in Table 1

Adding of thermally activated sorbent-fillers - clinoptilolite or aerosil leads to an increase in tensile strength of plywood in shearing of glutinous layer for 30 % with the introduction of clinoptilolite, 61 % - aerosil (Table 3) in comparison with the adhesive composition of the working one of the enterprise. This effect may be associated with a quantitative advantage of the active adsorption centers of clinoptilolite and aerosil compared with kaolin and the possibility of formation of larger number of hydrogen bonds on the donor-acceptor mechanism [12,13]. In this case, according to [14], it is possible to decrease the value of thermodynamic parameters (entropy and enthalpy), that indicates activation of the sorption process. The increased strength of the adhesive composition with the introduction of aerosil is due to high degree of dispersion and a large number of interactions at the interfaces at the micro and nanolevels in the system wood - adhesive - filling, providing an increase of such macrocharacteristic as tensile strength of plywood for shear on the glutinous layer.

4. CONCLUSION

1. A technology for environmentally friendly plywood production used in the construction industry is developed, characterized in that adhesive composition is introduced with thermally activated natural zeolite clinoptilolite or artificial silica aerosil in an amount of 2.2 parts by weight.

2. It was found that thermal activation of sorbents provides reduced emissions of formaldehyde from adhesive composition and plywood. With the introduction of clinoptilolite in adhesive composition based on the adhesive of brand KRONORES CB 1100 and the resin KF-N66F emission of formaldehyde is reduced by about 15 %, and when adding aerosil into the adhesive with the use of resin KF-N66F release of formaldehyde is reduced by 32 %.

3. Plywood, obtained on the basis of the investigated adhesives with the addition of clinoptilolite and aerosil, is more environmentally safe, since release of formaldehyde is reduced by 31 - 40 %.

4. Limit of strength in shearing on the glutinous layer is increased for 30 % when clinoptilolite the adhesive and 61 % of aerosil. The introduction of the filler, which acts as an adsorbent, also provides a limit of increase in shear along the fibers on 0.33 MPa/sm² for clinoptilolite and 0.68 MPa/sm² for aerosil.

5. The developed technology for the production of environmentally friendly plywood does not increase the complexity of the technological process and provides an economic benefit of expanding the market of new materials.



LITERATURE

- [1] Sale of plywood at low prices [electronic resource] / Electr.dat. - Mode of access: http://www.megaplit.ru/cat_5.htm free.
- [2] GOLINCHENKOV, A.M.: Experimental study of the combined action of indoor air pollutants - phenol, styrene and formaldehyde / Research Institute of General and Communal Hygiene after A.N. Sysin /
- [3] SKUBNEVSKAYA, G.I.: Atmospheric pollution by formaldehyde / G.I. Skubnevskaya, G.G. Dultseva - Novosibirsk, 1994. - 69 p.
- [4] TSITSISHVILI, V.G.: The porosity and adsorption properties of high-silicon and super high-silicon zeolites [Text] / b. Adsorption and adsorbents. Works of the Sixth All-Union Conference on Theoretical Issues of adsorption / V.G. Tsitsishvili - Moscow: Nauka, 1987. - P. 215 - 220.
- [5] CHELISHCHEV, N.F.: Zeolites - a new type of mineral resources [Text] / N.F. Chelishchev, B.G. Berenstein, V.F. Volodin. - Moscow: Nedra, 1987. - 176 p.
- [6] MANCHENKO, L.V.: Microsilica, its properties, applications and specifications. - Lviv: Kamener, 1965. - 34p.
- [7] BELCHINSKAYA, L.I.: Reduction of emission of formaldehyde from urea-formaldehyde adhesives with the introduction of clinoptilolite filler / L.I. Belchinskaya, J. Sedlyachik, N. Khodosova, M.V. Anisimov // Modern technological processes of obtaining wood materials and wood products [Text]: Materials of International scientific and engineering conference on the 50th anniversary of the Faculty of Wood Processing Technology SEI HPE «Voronezh State Academy of Forestry Engineering" (17-21 May 2010) / ed. Professor A.O. Safonov, FSEI HPE "VSAFT." - Voronezh, 2010. - P.338-342
- [8] BELCHINSKAYA, L.I.: Nature reserving technology of waste neutralization and utilization of furniture production waste [Text] / Voronezh: Voronezh State Academy of Forestry Engineering., 2002. - 210 p.
- [9] LIPTÁKOVÁ, E.: Chémia a aplikáciapomocnych látok v drevárskom priemysle / Eva Liptáková, Milan Sedliačik. - Bratislava, 1989. - 520 p.
- [10] GOST 9621-94 Glued laminated timber. Methods for determining of physical properties [text].-M.: Standards Press, 1994.
- [11] RAZINKOV, E.M.: Technology of laminated wood materials and wood boards. Manufacturing and testing of materials [text]: a guideline to perform laboratory work for students majoring 260,200 (250,303) - Wood processing technology / E.M. Razinkov, V.S. Murzin, O.V. Lavlinskaya, Fed. Agency on Education, SEI HPE "VSAFT." - Voronezh, 2007. - 52p.
- [12] BELCHINSKAYA, L.I.: Sorption of formaldehyde on mineral sorbents / L.I. Belchinskaya, Y.A. Leykin, Yu.I. Tarasevich // ZhFKh, 1996. Number 7. - P. 1273-1274.
- [13] BELCHINSKAYA, L.I.: The study of adsorption of natural minerals in the water environment of free formaldehyde, urea-formaldehyde resins by IR spectroscopy method / L.I. Belchinskaya, O.V. Voischeva // Zbornik referatov XI symposium : Pokrovy vo vybore a pouziti lepedil v drevarskom priemisle. Zvolen, 1993. - S/373-383.



[14] KHODOSOVA, N.A.: Thermodynamic characteristics of adsorption of modified montmorillonite and clinoptilolite / N.A. Khodosova, A.V. Bondarenko, L.I. Belchinskaya, G.A. Petukhova / / Actual problems of the theory of adsorption, porosity, and adsorption selectivity. Priority problem - synthesis of nanoporous materials: Proceedings of XIII All-Russian Symposium with Foreign Scientists part.. April 20-24, 2009. / IFME of Russian Academy of Sciences. - Moscow-Klyazma, 2009. - P. 96.

Contact address:

Belchinskaya Larisa I. – head of chemistry department, Voronezh State Academy of Forestry and Technologies, Voronezh, e-mail: chem@vglta.vrn.ru

Khodosova Nataliya A. – senior lecturer of chemistry department, Voronezh State Academy of Forestry and Technologies, Voronezh, e-mail: chem@vglta.vrn.ru

Anisimov Maxim A. – 1 th year graduate student, Voronezh State Academy of forestry Engineering, Voronezh, e-mail: chem@vglta.vrn.ru

Sedliačik Ján – senior lecturer of the Department of Furniture and Wood Products, Technical university in Zvolen, Slovakia, e-mail: sedliacik@tuzvo.sk

Lektoroval: *Ing. Ružinská Eva, PhD.*



VPLYV VYBRANÝCH GEOMETRICKÝCH POMEROV NA ÚČINNOSŤ ODLUČOVANIA VO VÍROVOM ODLUČOVAČI

THE INFLUENCE OF SELECTED GEOMETRIC RELATIONSHIP ON VORTEX SEPARATORS EFFICIENCY

Jozef ČERNECKÝ – Ján KONIAR – Zuzana BRODNIANSKÁ

ABSTRACT: This contribution deals with the issue of separation process in mechanical separator. The paper includes experimental results of the grade efficiency in vortex separator obtained at three heterogeneous mixture velocities (8 m.s^{-1} , 13 m.s^{-1} a 15 m.s^{-1}). The research aims to study the influence of vortex finder length to separation effect. Obtained experimental results are confronted with CDF simulation outputs.

Key words: cyclone, separation, grade efficiency, oak sawdust

ABSTRAKT: Príspevok je zameraný na prínos poznatkov v problematike procesu odlučovania v mechanickom odlučovači. V príspevku sú zahrnuté experimentálne výsledky hodnotenia frakčnej odlučivosti pre vírový odlučovač získané pri troch rýchlostiach prúdenia heterogénnej zmesi (8 m.s^{-1} , 13 m.s^{-1} a 15 m.s^{-1}). Výskum je zameraný na sledovanie vplyvu hĺbky zasunutia odťahovej rúry vírového odlučovača na účinnosť odlučovania. Experimentálne získané výsledky sú konfrontované s výstupmi CDF simulácií.

Kľúčové slová: vírový odlučovač, odlučovanie, frakčná odlučivosť, dubové piliny

1. ÚVOD

V súčasnej dobe sa kladie veľký dôraz na zvyšovanie účinnosti odlučovacích zariadení. Táto problematika je veľmi aktuálna a zaoberajú sa ňou viacerí autori. Literárny prieskum ukázal, že vírová dĺžka môže byť dôležitá pre predpoveď účinnosti odlučovania, najmä u krátkych cyklónov, ale pre dlhšie cyklóny nemusí vírenie dosiahnuť vrchol kužela. Ak sa zvýši dĺžka valca cyklóna, zvýši sa účinnosť odlučovania do určitej hodnoty a potom začína klesať, podobne je to aj pri prepadovej rúre. Predĺžením výšky valca cyklónu, prípadne skrátením dĺžky prepadovej rúry môžeme znížiť pokles tlaku do určitej miery (Zhu a Lee, 1999). Definícia a zloženie poklesu tlaku v cyklóne boli analyzované v príspevku (Chen a Shi, 2007). Pokles tlaku v cyklóne zahŕňa rozširujúce straty na vstupe do cyklónu a výstupné víriace straty spôsobené trením pri stenách cyklónu a dynamickej energie rozptýleného plynu v prepadovej rúre. Povrchový odpor alebo straty trením majú podstatný vplyv na vírovú dĺžku, s klesajúcou odolnosťou povrchu sa zvyšuje dĺžka vírenia v cyklóne. Numerické štúdie separačných vlastností v cyklóne pri vstupe rôznej koncentrácie častíc boli skúmané v príspevku (Qian a kol., 2009). Bol pozorovaný vplyv vstupnej koncentrácie častíc na tangenciálnu rýchlosť, veľkosť častíc, pokles tlaku a účinnosť odlučovania v cyklóne. Účinky rozmerov kužela na výkon cyklóna boli skúmané v štúdiu (Xiang a kol., 2000). V našom príspevku sme sa zamerali na hodnotenie frakčnej odlučivosti pri rôznych hĺbkach zasunutia odťahovej rúry do valcovej časti vírového odlučovača.

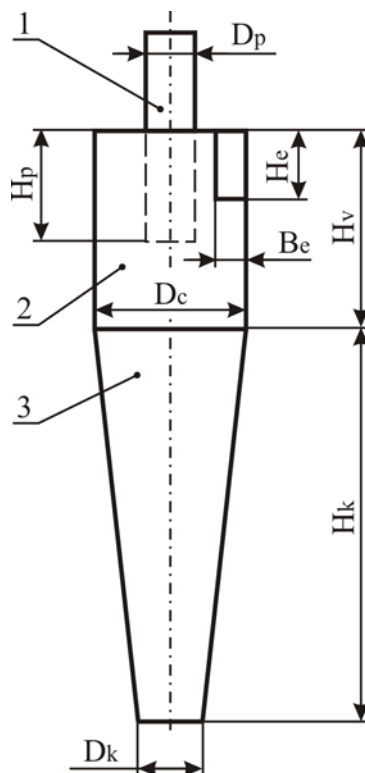
2. PROCES ODLUČOVANIA VO VÍROVOM ODLUČOVAČI

Vírové odlučovače sú technické zariadenia slúžiace k oddeleniu sypkých hmôt od nosného plynu s využitím gravitačných, zotrvačných a odstredivých síl. K základným kvalitatívnym znakom cyklóna patrí: jednoduchá konštrukcia, možná prevádzková



spoľahlivosť, nízke investičné a prevádzkové náklady, nízka spotreba energie. Medzi nevýhody patrí nízka odlučivosť pre jemné častice, abrazívny účinok a lepivosť častíc.

Na celkovú účinnosť cyklóna má vplyv veľa faktorov: prietok heterogénnej zmesi cyklónom, vlastnosti a koncentrácia sypkej hmoty, konštrukčný návrh cyklóna a jeho nastavenie, celková odlučivosť, frakčná odlučivosť, odpor cyklóna, opotrebenie a ďalšie faktory. Heterogénna zmes je po vstupe do valcovej časti odlučovača uvedená do zostupného rotačného pohybu smerom k dolnej kužeľovej časti, v ktorej odlučovaný materiál už nemá tendenciu ďalej klesať. Vplyvom odstredivých síl a záporne naklonenej roviny kužeľového plášťa sú naopak častice nútené sa dvíhať proti novo prichádzajúcemu materiálu, s ktorým sa zhlukuje a nadobúda objem. To, že častice odchádzajú výsypným otvorom je spôsobené nárastom objemu, spomalením ich rotácie trením o plášť, gravitačnou silou a tlakom ďalšieho materiálu vstupujúceho do odlučovača (Černecký a Plandorová, 2012).



Obrázok 1 Hlavné časti a geometrické parametre vírového odlučovača
1 – odťahová rúra, 2 – valcová časť, 3 – kužeľová časť

Kuželový tvar spodnej časti odlučovača je potrebný z dôvodu postupného uzatvárania stredového vzostupného podtlakového prúdu, ktorý vzniká rotáciou a zmenou smeru prúdenia média bližšie k osi odlučovača. Z toho vyplýva, že v osi rotácie nie je možné mať z dôvodu spätného strhávania odlučovaných častíc veľký priemer otvoru.

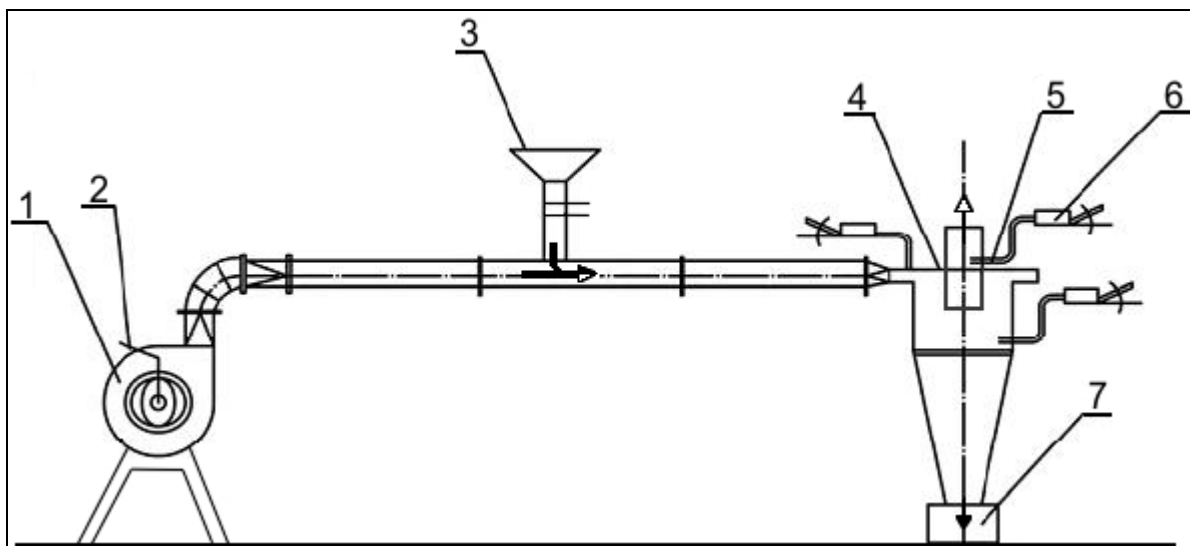
Tabuľka 1 Základné geometrické rozmery vírového odlučovača

D _c [mm]	D _p [mm]	D _k [mm]	B _e [mm]	H _e [mm]	H _v [mm]	H _k [mm]	H _p [mm]
200	65	85	40	90	262	520	178



3. EXPERIMENTÁLNE ZARIADENIE

Navrhnutý model cyklóna (Obrázok 1) má tangenciálny vstup a jeho základné geometrické parametre sú uvedené v Tabuľke 1. Model cyklóna je zaradený do experimentálnej pretlakovej sústavy (Obrázok 2) na odlučovanie sypkej hmoty rôzneho zloženia a koncentrácie. Toto zariadenie má slúžiť na experimentálne účely, pričom vstupná koncentrácia častíc bola $0,01 \text{ kg} \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$. Sériu meraní prebiehala v troch polohách zasunutia odťahovej rúry (Obrázok 1, pozícia 1) do vnútornej časti cyklóna pri barometrickom tlaku $1\,025 \text{ hPa}$. Navrhnutá odťahová rúra je valcového tvaru dĺžky 300 mm a je riešená tak, aby sa dala nastaviť potrebná hĺbka zasunutia odťahovej rúry v cyklóne. Prvé merania prebiehali pri zasunutí odťahovej rúry do hĺbky 178 mm . Druhé merania boli realizované pri zasunutí odťahovej rúry 95 mm a to tesne pod spodnú stenu vstupného potrubia cyklónu. Tretie merania prebiehali pri zasunutí odťahovej rúry do hĺbky 80 mm . Pre tieto merania bola použitá Prandtlova dynamická sonda. Pre zistenie účinnosti odlučovania cyklóna bola použitá vzorka dubových pilín o hustote $670 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ o vlhkosti $6,5 \%$.



Obrázok 2 Schéma časti experimentálneho zariadenia (pretlaková sústava)
1- ventilátor, 2 - regulačná klapka prietoku vzduchu, 3 - prachová násypka, 4 – vírový odlučovač, 5 – Prandtlova sonda, 6 - mikromanometer, 7 - zásobník odlúčených častíc

V zostave je navrhnutý vírový odlučovač s tangenciálnym usporiadaním vstupnej časti s kruhovým prierezom so vstupom vpravo a prepádovou rúrou valcového tvaru.

4. VÝSLEDKY A DISKUSIA

Pri experimentálnych meraniach sme sa zamerali na hodnotenie frakčnej odlučivosti vírového odlučovača. Počas experimentu boli premennými veličinami rýchlosť prúdenia heterogénnej zmesi a hĺbka zasunutia odťahovej rúry. Rýchlosť prúdenia bola postupne zvyšovaná na $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $13 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a $15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Hĺbka zasunutia odťahovej rúry vo valcovej časti vírového odlučovača sa postupne menila z hodnoty 80 mm , 95 mm , až na hodnotu 178 mm .

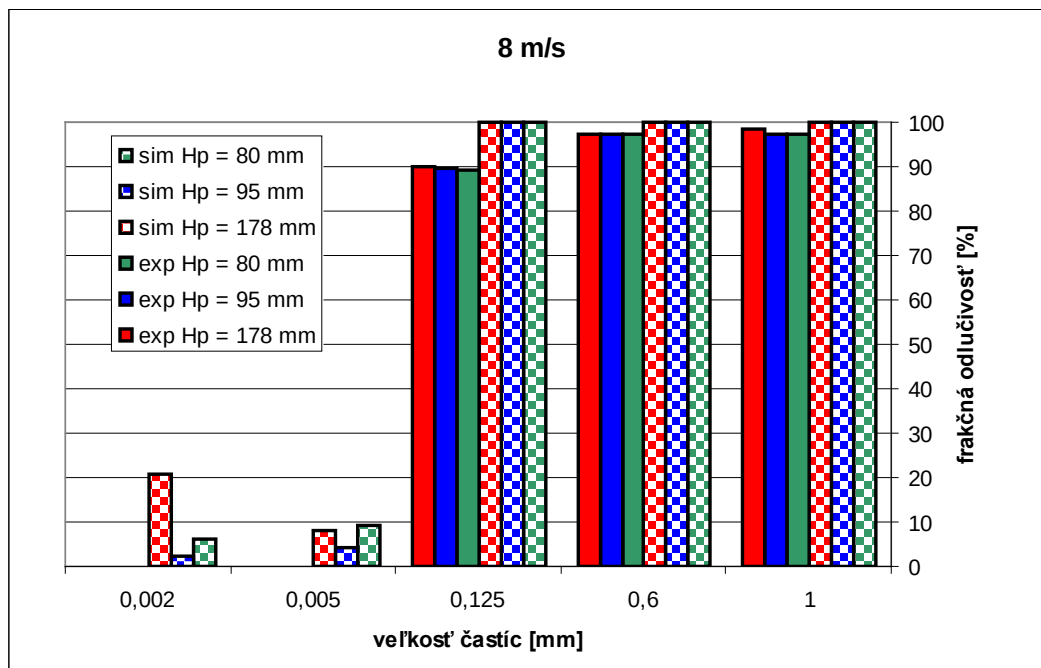


Výskum bol zameraný na vplyv hĺbky zasunutia odťahovej rúry na účinnosť odlučovania konkrétného vírového odlučovača. Získané hodnoty frakčnej odlučivosti pre tri rôzne rýchlosti prúdenia a tri rôzne hĺbky zasunutia sú uvedené v Tabuľke 2.

Tabuľka 2 Hodnoty frakčnej odlučivosti (Černecký a Plandorová, 2012)

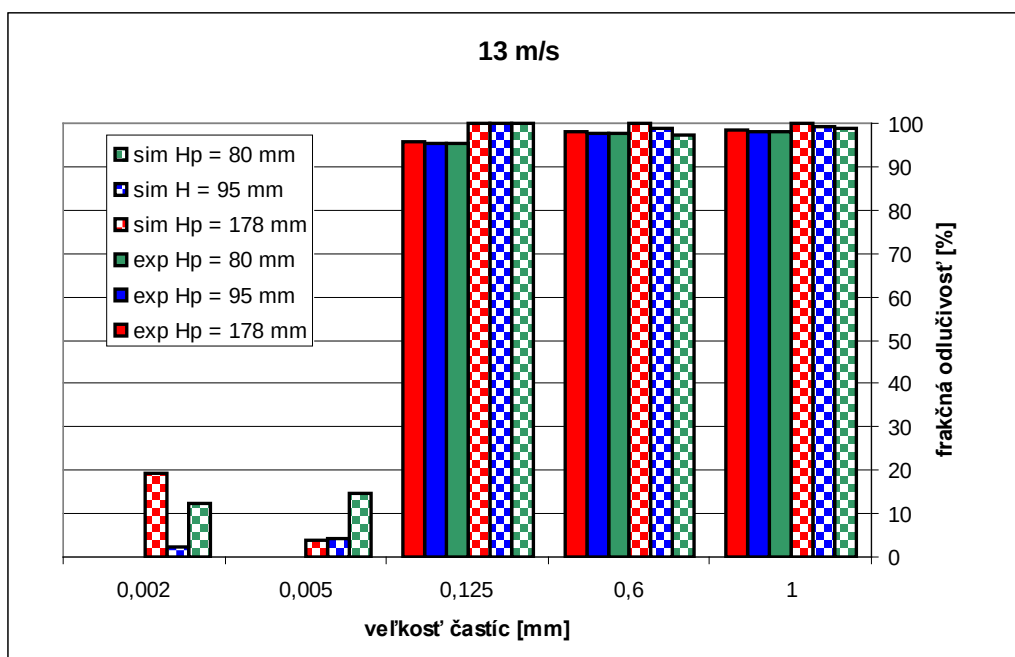
		Odlučivosť [%]					
		Hĺbka zasunutia 80 mm		Hĺbka zasunutia 95 mm		Hĺbka zasunutia 178 mm	
v [m/s]	a [mm]	sim.	exp.	sim.	exp.	sim.	exp.
8	1	100	97,2	100	97,2	100	98,3
	0,6	100	97,2	100	97,4	100	97,5
	0,125	100	89,3	100	89,7	100	89,9
	0,005	9,28	-	4,32	-	8,04	-
	0,002	6,2	-	2,43	-	20,6	-
13	1	98,81	98,1	99,3	98,2	100	98,5
	0,6	97,4	97,6	98,8	97,7	100	97,9
	0,125	100	95,2	100	95,4	100	95,6
	0,005	14,7	-	4,13	-	3,76	-
	0,002	12,35	-	2,4	-	19,31	-
15	1	97,15	98,9	98,9	98,9	99,5	99
	0,6	96,67	97,9	97,7	97,9	98,3	98,7
	0,125	100	96,8	100	96,4	100	96,9
	0,005	11,6	-	3,49	-	2,5	-
	0,002	8,74	-	2,49	-	2,12	-

Účelom optimalizácie geometrických pomerov vo vírovom odlučovači je zabezpečiť najvyššiu účinnosť odlučovania pri nižších tlakových stratách. Na základe získaných výsledkov z experimentálnych meraní možno konštatovať, že problematika zovšeobecneného optimalizovania pri odlučovaní prachových častíc v drevospracujúcom priemysle nevedie k jednoznačnému záveru. V reálnej prevádzke drevospracujúceho priemyslu má vplyv na proces odlučovania prachových častíc veľa faktorov (otupenie rezných nástrojov, tvar častíc, vlhkosť spracovávaného materiálu, vlhkosť okolitého prostredia a pod.). Z pohľadu optimálnych geometrických pomerov v experimentálnom vírovom odlučovači sme sa zamerali hlavne na bilancovanie vplyvu zasunutia odťahovej rúry na účinnosť odlučovania.



Obrázok 3 Frakčná odlučivosť pre rýchlosť prúdenia 8 m.s^{-1}

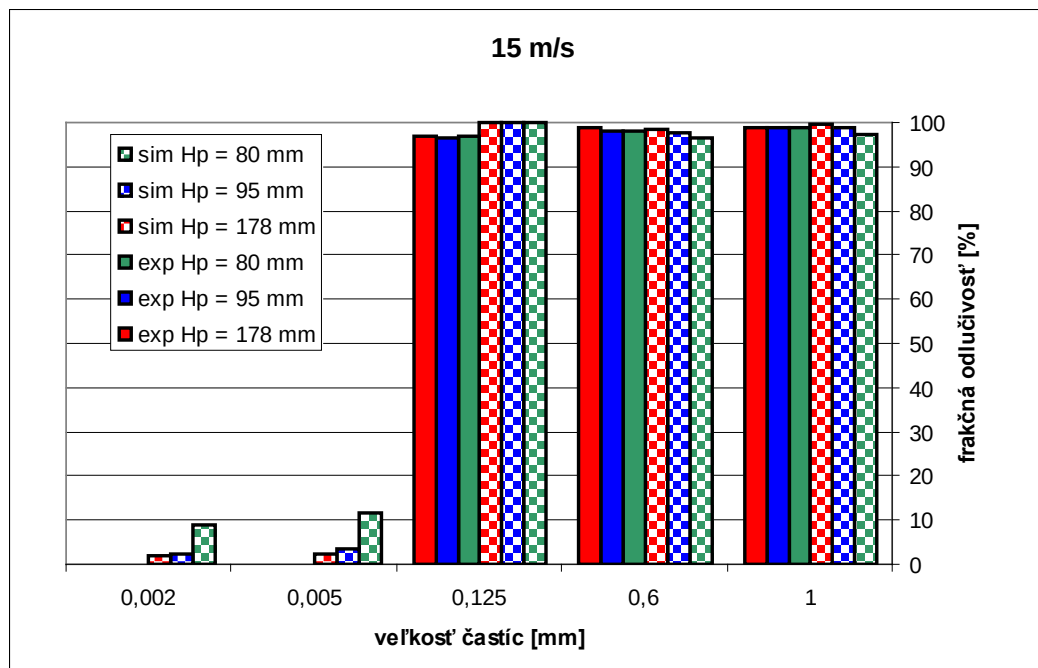
Na Obrázku 3 je percentuálne vyjadrená frakčná odlučivosť rôzne veľkých častíc pri rýchlosti prúdenia 8 m.s^{-1} . Merania boli vykonané pre rôzne veľkosti častíc (0,002 mm až 1 mm). Experimentálne získané hodnoty sú graficky porovnané s hodnotami získanými pomocou CFD simulácií.



Obrázok 4 Frakčná odlučivosť pre rýchlosť prúdenia 13 m.s^{-1}



Na Obrázku 4 je percentuálne vyjadrená frakčná odlučivosť tých istých vzoriek častíc, avšak pri rýchlosti prúdenia 13 m.s^{-1} . Experimentálne získané hodnoty sú tiež graficky porovnávané s hodnotami z CFD simulácií. Obdobne sú výsledky spracované a porovnané aj pre rýchlosť prúdenia 15 m.s^{-1} , ako vyplýva z Obrázku 5.



Obrázok 5 Frakčná odlučivosť pre rýchlosť prúdenia 15 m.s^{-1}

Ako vyplýva z experimentálnych výsledkov a CFD simulácií, možno konštatovať, že s nárastom hĺbky zasunutia odťahovej rúry do valcovej časti vírového odlučovača narastá aj účinnosť odlučovania, čo sa prejavilo hlavne pri prachových časticiach s väčším priemerom (1 mm a 0,6 mm). Pri menších časticiach má výraznejší vplyv na proces odlučovania aj vlhkosť prostredia, čo sa prejavilo aj na výstupoch z experimentálnych meraní vplyvom spôsobeným zhukovaním čiastočiek.

5. ZÁVER

Príspevok bol zameraný na problematiku odlučivosti vo vírovom odlučovači. Merania boli realizované pri troch rýchlostiach prúdenia a troch rôznych zasunutíach odťahovej rúry do valcovej časti vírového odlučovača. Vybrané experimentálne výsledky boli doplnené CFD simuláciami. Možnosť použitia CFD techník umožňuje zefektívniť návrh podmienok odlučovania a to bez potreby prevádzkať drahé experimenty. V súčasnosti majú CFD simulácie pomerne široké uplatnenie pre pomerne presné matematické priblíženie prúdenia, pričom sa nesmie zabudnúť na jej výkonovú náročnosť a časové nároky pri riešení konkrétnych fyzikálnych problémov. Z nameraných hodnôt možno konštatovať, že optimálna hĺbka zasunutia odťahovej rúry do valcovej časti vírového odlučovača bola 178 mm.



LITERATÚRA

CHEN, J. – SHI, M.: 2007. A universal model to calculate cyclone pressure drop. *In: Powder Technology*, 171, 3, pp. 184-191. ISSN 0032-5910.

ČERNECKÝ, J. – PLANDOROVÁ, K.: 2012. The effect of the introduction of an exit tube on the separation efficiency in a cyclone. *In: Brazilian Journal of Chemical Engineering*. Akceptované do vydania.

QIAN, F. – WU, Y.: 2009. Effects of the inlet section angle on the separation performance of a cyclone. *In: Chemical Engineering research and design*, 87, 9, pp. 1567–1572. ISSN 0263-8762.

XIANG, R. – PARK, M. R.: 2000. Effects of cone dimension on cyclone performance. *In: Journal of Aerosol Science*, 32, 4, pp. 549-561. ISSN 0021-8502.

ZHU, I. – LEE, K. W.: 1999. Experimental study on small cyclones operating at high flowrates. *In: Journal of Aerosol Science*, 23, 10, pp. 1303-1315. ISSN 0021-8502.

*Príspevok je riešený v rámci grantového projektu KEGA MŠ SR č. 027TUZVO-4/2011
„Vizualizačné a meracie metódy pre hodnotenie efektívnych spôsobov prenosu tepla“*

Kontaktná adresa:

doc. Ing. Jozef Černecký, CSc., e-mail:cernecky@tuzvo.sk, tel.: 045/5206 698

Ing. Ján Koniar, PhD., e-mail:koniar@tuzvo.sk, tel.: 045/5206 678

Ing. Zuzana Brodnianská, e-mail:xbrodnianskaz@tuzvo.sk, tel.: 045/5206 678

Katedra environmentálnej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Technická univerzita vo Zvolene, Študentská 26, 960 53 Zvolen

Lektoroval: Ing. Neupauerová Andrea, PhD.



VPLYV IONIZÁCIE VZDUCHU NA KVALITU OVZDUŠIA V INTERIÉRI BUDOVY

THE EFFECT OF AN IONIZATION ON INDOOR AIR QUALITY IN A INSIDE BUILDING

Jozef ČERNECKÝ - Karina VALENTOVÁ

ABSTRACT: The goal of this work was to measure the impact of air ionization on the air quality in a measuring room, and determine concentration of ozone. Ozone is a secondary product of ionization coming from ionisable units DEZOSTER. As a device for measurements was used Ozone Sensor OS 11, which indicates the limits for hygiene according to the decree of the Slovak Government No. 471/2011 Coll. for the protection of employees against the risks to exposure to chemical agents at work. The results of measurements shown that concentrations of ozone in the measuring room are quite high above the limits values. This measurement, we have pointed out for monitoring of ozone concentration and in the case of the need for ventilation and air extraction device from measuring room.

Key words: ionization, ozone, air quality

ABSTRAKT: V príspevku je meraný vplyv ionizácie vzduchu na kvalitu ovzdušia v meracej miestnosti, ktorého cieľom bolo zistiť koncentráciu ozónu. Ozón je vedľajší produkt ionizácie z ionizačnej jednotky DEZOSTER. Na meranie bol použitý prístroj Ozone Sensor OS 11, ktorý signalizoval hygienické limity podľa Nariadenia vlády SR č. 471/2011 Z. z. o ochrane zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou chemických faktorom pri práci. Výsledkom meraní bolo zistenie, že hodnoty koncentrácie ozónu v meracej miestnosti sú vysoko nad limitnými hodnotami. Týmto meraním sme poukázali na potrebu monitorovania koncentrácie ozónu a v prípade prekročenia nutnosti odvetrávania a odsávania vzduchu z meracej miestnosti.

Kľúčové slová: ionizácia, ozón, kvalita ovzdušia

1. ÚVOD

Prostredie, v ktorom žijeme a pracujeme, ovplyvňuje naše zdravie ako aj celkovú pohodu. V pracovných objektoch a obytných budovách je vzduch znečistený prachom a alergénmi, čo spôsobuje nárast alergických a civilizačných ochorení. Relax hľadá človek v prírode, kde dochádza k ionizácii – samočisteniu a regenerácii vzduchu. Ionizácia v prírode prebieha neustále a je pre našu existenciu životodarná, lebo obohacuje ovzdušie o energiu potrebnú pre čistenie a dezinfekciu atmosféry. Ten istý elektro-fyzikálny proces, ktorý prebieha v prírode, sa využíva aj v ionizačných jednotkách. Tieto prístroje využívajú prirodzený mechanizmus čistenia vzduchu na báze mikro-oxidácie.

2. OZÓN A JEHO VZNIK

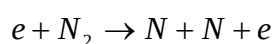
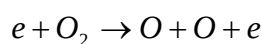
V procese ionizácie vzduchu sa okrem tvorby záporných a kladných iónov tvorí aj ozón. Ozón je identifikovaný ako trojatómový kyslík, ktorý sa zaraďuje medzi jedovatý plyn (Jokl, 2002). Má charakteristickú vôňu, ktorá je cítiť už pri koncentrácii 0,003 ppm (part per million) a pri dlhšom pobyte človeka v miestnosti s koncentraciou vyššou ako 0,15 ppm sa stáva negatívna pre zdravie. V tomto prípade môže zvýšená koncentrácia ozónu spôsobiť problémy dýchacieho ústrojenstva, alergie, astmu a bolesti hlavy (Grabarczyk, 2001). Podľa Nariadenia vlády SR pod číslom 471/2011 Z. z., ktorý dopĺňa nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 355/2006 Z. z. o ochrane zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou chemických faktorom pri práci v znení nariadenia vlády Slovenskej republiky č. 300/2007 Z.



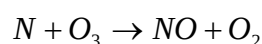
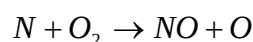
z., kde sú stanovené limitné hodnoty pre ozón: priemer 0,1 ppm ($0,2 \text{ mg.m}^{-3}$), pri krátkodobom pobyte človeka v miestnosti obohateným ozónom 0,2 ppm ($0,4 \text{ mg.m}^{-3}$).

Ozón sa zaraďuje medzi silné dezinfekčné a oxidujúce činidlo, a preto sa využíva na ionizáciu miestnosti, ktorá sa využíva domácom prostredím, v priemyselnom odvetví, potravinárskom priemysle, alebo na čistenie odpadových vôd (Hostin, Obúlaná, 2011).

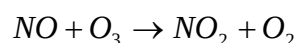
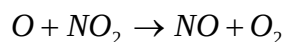
Existuje viacero príkladov vzniku ozónu, ktoré sa líšia hlavne počtom chemických reakcií. Všeobecne povedané ozón vzniká prostredníctvom elektrického vybitia vo vzduchu, ktorý je pre prítomnosť dusíka vo vzduchu mierne komplikovaný. Prítomnosť dusíka spôsobuje rozklad ozónu kvôli prítomnosti oxidu dusíka. Funkcia elektrónov vyrobených v elektrickom vybití umožňuje kyslík O a dusíkové molekuly N_2 vybudiť a rozdeliť ich. Úvodný krok vzniku O_3 a NO_x , je elektrickým nárazovým odlúčením molekúl O_2 a N_2 (Pekarek, 2003):



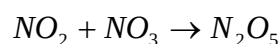
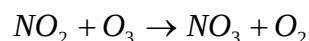
Atóm dusíka reaguje s O_2 a O_3 , čo je reakciou NO:



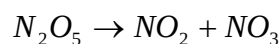
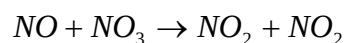
NO a NO_2 vytvára periódu pre rozklad ozónu:



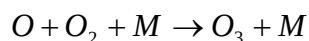
NO_2 je vytvorený týmito reakciami:



Ďalej je generovaný týmito reakciami:

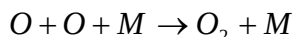


Hlavným vznikom ozónu je pri vysokých tlakoch táto reakcia:



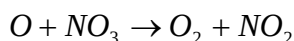
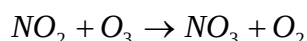


Nežiaducou reakciou, ktorá určuje vrchné hranice koncentrácie O je:



V prípade vybitia vo vzduchu, M reprezentuje molekulový kyslík alebo dusík.

Tam sú zaručené iné reakcie, ktoré zničia ozón. Jeden príklad katalytickej reakcie rozbitia ozónu je:



Tento model je veľmi jednoduchý, pretože nezahŕňa reakcie zahŕňajúce excitované druhy, iné molekuly a iné deštruktívne reakcie ozónu (Pekarek, 2003).

3. MERACIA APARATÚRA

Experiment bol vykonávaný v meracej miestnosti s veľkosťou $5\,200 \times 4\,900 \times 2\,900$ mm (d × š × v). Meracia aparatura (Obr. 1) pozostávala z ventilátora s rýchlosťou $5\,m \cdot s^{-1}$ (1), pomocou ktorého sa nasával vzduch do meracej miestnosti. V tomto potrubí bola umiestnená ionizačná jednotka DEZOSTER (2), ktorá využíva prirodzený mechanizmus čistenia vzduchu na báze mikro-oxidácie. Základným aktívnym prvkom všetkých prístrojov DEZOSTER sú špeciálne vysokonapäťové ionizačné trubice (8 ks), ktoré pomocou riadeného korónového výboja vytvárajú vzdušné ióny a vysoko-energetické kyslíkové atómy. Firma HIVUS, s.r.o. sa inšpirovala ionizáciou v prírode a prinášajú túto metódu do domácností, administratívnych a priemyselných budov. Technológiu používajú na vytváranie kvalitnej klímy, dezinfekciu prostredia, odstraňovanie zápachu a na prevenciu šírenia vzduchom prenosných infekcií. Sú založené na využívaní aktívneho kyslíka a vzdušných iónov (HIVUS s.r.o.).

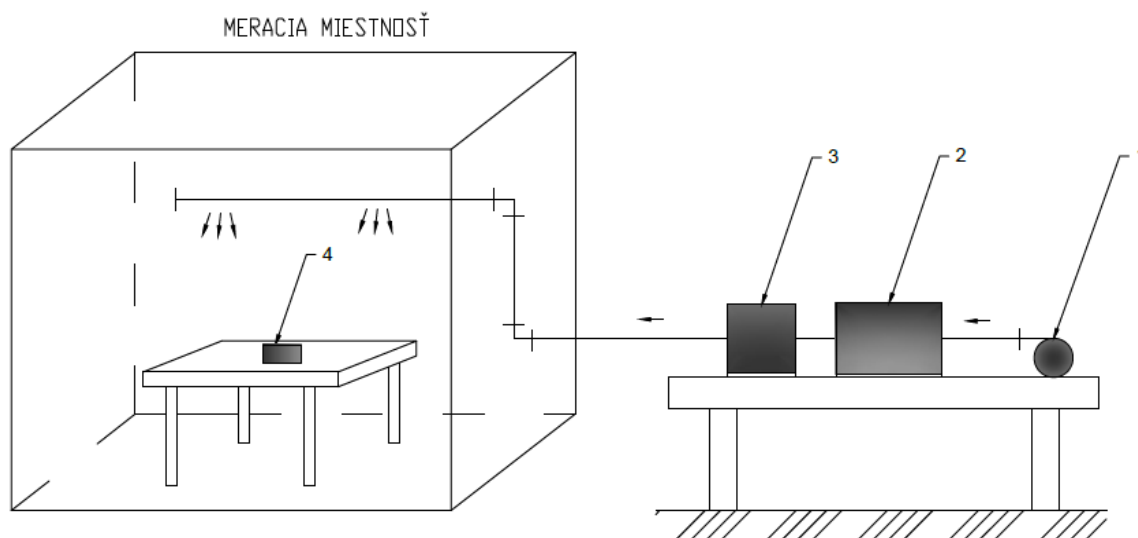
Koncentrácia ozónu bola meraná prístrojom Ozone analyser Model 8810 (3). Je to zariadenie na kontinuálne meranie koncentrácie ozónu vo vzorke vzduchu pomocou merania UV žiarenia absorbovaného vzduchom. Prístroj má rozsah od nuly do 10,000 ppm. Presnosť analyzátoru je $\pm 0,001$ ppm. Koncentrácia ozónu bola meraná v jednotkách ppm, ktorá sa prevádza do hmotnostnej koncentrácií (Boelter, Davidson, 1997):

$$(O_3)mg \cdot m^{-3} = 1,962 (O_3)ppm. \quad (1)$$

Koncentráciu ozónu v $(mg \cdot s^{-1})$ definuje súčin koncentrácie ozónu v $(mg \cdot m^{-3})$ a objemového prietoku $(m^3 \cdot s^{-1})$:

$$r_{ozone} = [O_3] \cdot Q. \quad (2)$$

Koncentrácia ozónu v miestnosti bola meraná pomocou Ozone Senzora OS 11 (4), ktorý tiež sníma teplotu a vlhkosť. Všetky namerané hodnoty sa ukládali do pamäte elektrického záznamníka – Datalogger. Následne sa údaje vyhodnocovali pomocou softvérového programu EHDLog od spoločnosti HIVUS s.r.o.



Obr. 1 Schéma meracej aparatury

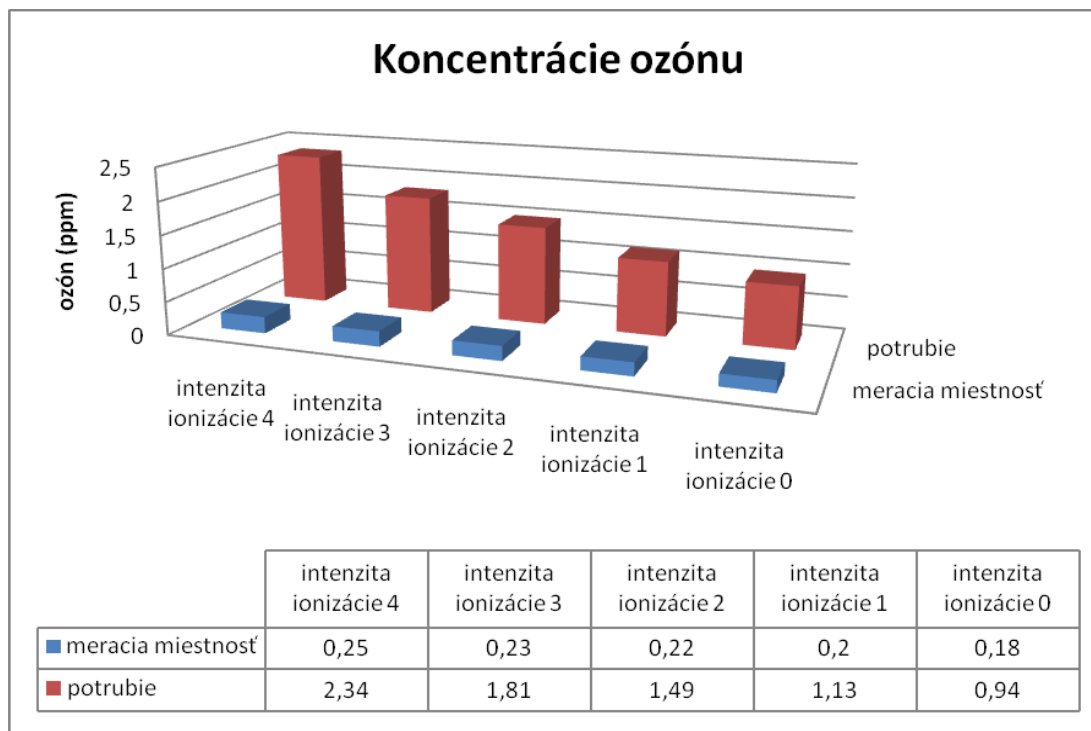
1 – ventilátor, 2 – ionizačná jednotka DEZOSTER, 3 – Ozone Analyser Model 8810,
4 – Ozone Senzor OS 11

4. VÝSLEDKY A DISKUSIA

Tento experiment bol určený na stanovenie koncentrácie ozónu v meracej miestnosti. Okrajové podmienky v meracej miestnosti boli: vlhkosť 22,5 % a teplota 24 °C. Pomocou ionizačnej jednotky DEZOSTER, ktorá bola prepínaná do rôznych polôh intenzity ionizácie od 0 po 4, kde intenzita 0 znamenala vypnutú ionizáciu.

Prvým meracím miestom bolo potrubie, v ktorom sme potrebovali vedieť koľko koncentrácie je dopravované do meracej miestnosti. Na meranie v tomto bode bol použitý prístroj Ozone Analyser. Na grafe (Obr. 2) je vidieť namerané koncentrácie ozónu v ppm, ktoré sa merali počas 120 minút. Pri intenzite ionizácie 0, bola nameraná hodnota 0,94 ppm. Táto koncentrácia je zapríčinená tým, že steny potrubia a nasávacie trubky do meracieho prístroja boli zrejme nasiaknuté ozónom, preto táto koncentrácia nemala nulové hodnoty. Pri intenzite 4 je hodnota 2,34 ppm, ktorá je pomerne vysoká. S porovnaním koncentrácie v meracej miestnosti, ktorá bola snímaná prístrojom Ozone Senzor OS 11, je vidieť, že hodnoty sú nižšie. Pri intenzite ionizácie 0 je koncentrácia ozónu 0,18 ppm a pri intenzite 4 je koncentrácia ozónu 0,25 ppm.

Na grafe je tiež vidieť značný rozdiel medzi hodnotami koncentrácie v meracej miestnosti a v potrubí. Tento rozdiel bol spôsobený tým, že sa meralo v priestoroch s rôznymi objemami. Pri meraní koncentrácie v potrubí boli koncentrácie merané v potrubí s priemerom 100 mm a merané hodnoty koncentrácie v meracej miestnosti boli v miestnosti s objemom 73, 89 m³. Zníženie koncentrácie bolo zrejme zapríčinené aj absorpciou povrchov materiálov, ktoré sa nachádzali v meracej miestnosti. Preto sa odporúča vo vnútornom prostredí prednostne používať také materiály na zariaďovanie interiéru, ktoré ozón čo najmenej pohlcuje.



Obr. 2 Graf koncentrácie ozónu

5. ZÁVER

Výsledkom experimentu bolo zistenie, že koncentrácia ozónu v meracej miestnosti je vysoko nad limitnými hodnotami a dlhodobý pobyt v takejto miestnosti by mohlo mať negatívny vplyv na zdravie. Jedným z riešení je použitie vzduchotechnického odsávania vzduchu z meracej miestnosti, kedy sa dosiahne zníženie koncentrácie ozónu v meracej miestnosti. Ďalším navrhovaným riešením je aj zníženie výkonu ionizácie, ktorý sa znížením počtu použitých ionizačných trubíc DEZOSTERA, ktoré by mohli byť predmetom ďalšieho merania.

LITERATÚRA

BOELTER, K. - DAVIDSON, J. H.: 1997. Ozone Generation by Indoor Electrostatic Air Cleaners. *Aerosol Science and Technology*, 27, p. 689-708, 1997.

GRAGARCZYK, Z.: 2001. Effectiveness of indoor air cleaning with corona ionizers. *J. Electrostatistics* 51:278-283.

HIVUS s.r.o.: 2012. Ozone senzor - OS - 11 - senzor koncentrácie ozónu [online]. [cit. 2012-09-13]. Dostupné na internete: <<http://www.hivus.sk/>>.

HOSTIN, S. - OBÚLANÁ, Z.: 2011. Chromatografické hodnotenie oxidácie vybraných prchavých organických látok v ovzduší ozónom. In.: Medzinárodný seminár „Nové trendy v technike ochrany ovzdušia 2011“, TU vo Zvolene, 2011, s. 28-33 ISBN 978-80-228-2277-0.



JOKL, M.: 2002. Zdravé obytné a pracovné prostredie. Praha: SERIFA s.r.o., 2002. ISBN 80-200-0928-0.

PEKAREK, S.: 2003. Non Thermal Plasma Ozone Generation. *Acta Polytechnica*. Vol. 43, no. 6, p. 47-51. ISSN 1210-2709.

*Príspevok je riešený v rámci grantového projektu KEGA č. 023TUZ-4/2012
„Rizikové látky v environmentálnej technike“*

Kontaktná adresa:

doc. Ing. Jozef Černecký, CSc., e-mail: jozef.cernecky@tuzvo.sk,

Ing. Karina Valentová, e-mail: karina.valentova@tuzvo.sk

Katedra environmentálnej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnnej techniky, TU vo Zvolene, Študentská 26, 960 53 Zvolen

Lektoroval: Ing. Neupauerová Andrea, PhD.



ZNEŠKODŇOVANIE NEBEZPEČNÝCH ODPADOV ŽIVOČÍŠNEHO PÔVODU IV - ŠTATISTICKÉ ZHODNOTENIE EMISIÍ

THE DISPOSAL OF HAZARDOUS ANIMAL WASTE IV - STATISTICAL EVALUATION OF EMISSIONS

Marián ČERY - Ivan JANOŠKO

ABSTRACT: Processing of animal waste is done in factories devoted to this activity. Their task is to dispose of the waste and prevent the spread of potential diseases and diseases of animal carcasses. In the past, simply carcasses buried, burned or allowed to freely discarded at times enormous consequences. Post building on the work of authors Čery – Janoško (2009, 2010, 2011). The presented paper describes statistical methods for evaluation of the production of emissions from the combustion plant.

Key words: animal waste, renderers' buildings, odours

ABSTRAKT: Spracovanie odpadov živočíšneho pôvodu sa vykonáva v závodoch určených na túto činnosť. Ich úlohou je zneškodniť odpady a zamedziť šíreniu možných nákaz a chorôb z uhynutých tiel zvierat. V minulosti kadávery jednoducho zakopali, spálili alebo nechali voľne pohodené, čo malo niekedy nedorozumenie následky. Príspevok nadväzuje na práce autorov Čery – Janoško (2009, 2010, 2011). Prezentovaný príspevok popisuje štatistické metódy vyhodnotenia produkcie emisií zo spaľovacieho zariadenia.

Kľúčové slová: živočíšny odpad, kafileria, emisie

1. ÚVOD

Zneškodňovanie odpadov živočíšneho pôvodu je činnosť, ktorej sa u nás venuje malé množstvo spracovateľských zariadení. Odpady tohto druhu sú spracovávané v zariadeniach na to určených, na Slovensku sú v súčasnej dobe len dve takéto zariadenia jedno v Nitrianskom kraji a druhé v Žilinskom kraji. Tieto zariadenia spracúvajú odpad z celej republiky zároveň dovážajú odpad aj z niektorých producentských závodov okolitých štátov. Čo ale neznamená, že všetok odpad sa spracúva u nás. S veľkým množstvom odpadu sa obchoduje vzhľadom na to, že je to komodita ako každá iná surovina a voľnosť trhu to umožňuje.

Svet disponuje množstvom technológií určených na likvidáciu tohto druhu odpadu. Vybrať a rozhodnúť sa pre tú správnu technológiu ovplyvňuje veľa faktorov ako je umiestnenie, infraštruktúra, množstvo odpadov, zloženie odpadu, vyspelosť krajiny a v neposlednom rade objem financií. Príspevok prezentuje štatistické spracovanie produkcie emisií produkovaných pri spaľovaní odpadových kafilerných plynov v oxidačnom zariadení.

2. MATERIÁL A METÓDY

2.1 Spracovanie výsledkov experimentálnych meraní

Pri spracovaní a vyhodnocovaní súboru nameraných hodnôt emisií (Čery- Janoško, 2011) sme použili nasledovné štatistické metódy.

Priemery sú stredné hodnoty počítané zo všetkých údajov štatistického súboru, pričom poskytujú v koncentrovanej forme informácie o polohe hodnôt štatistického znaku. Medzi



významne sledované veličiny vyjadrujúce rozhodujúcu kvalitu znaku je napr. aritmetický priemer.

Najrozšírenejší z priemerov je aritmetický priemer $\bar{x}$, ktorý zo zistených hodnôt $x_1, x_2, \dots, x_n$, vypočítame nasledovne:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

Aritmetický priemer počítaný podľa vzťahu (1) sa nazýva jednoduchý aritmetický priemer. Ak sú hodnoty štatistického znaku usporiadané do radu rozdelenia početností, resp. do intervalového rozdelenia početností aritmetický priemer vypočítame:

$$\bar{x} = \frac{x_1 n_1 + x_2 n_2 + \dots + x_n n_n}{n_1 + n_2 + \dots + n_n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i n_i}{\sum_{i=1}^n n_i} = \sum_{i=1}^n x_i f_i \quad (2)$$

Početnosti n_i udávajú váhu jednotlivých variantov znaku $x_1, x_2, \dots, x_n$, čo vedie k názvu aritmetického priemeru počítaného podľa vzťahu (2) vážený aritmetický priemer.

Aritmetický priemer v oboch uvedených výpočtových tvaroch predstavuje hodnotu znaku, ktorú vypočítame ako súčet všetkých hodnôt znaku delenú ich počtom.

Aritmetický priemer sa ako charakteristika polohy hodnôt znaku v štatistickom súbore používa najčastejšie pre jeho jednoduchý výpočet a výhodné matematické vlastnosti. Na druhej strane si však treba uvedomiť, že aritmetický priemer je citlivý na extrémne hodnoty znaku, čím môže podstatne skresliť jeho samotnú interpretáciu.

Ostatné stredné hodnoty sú také stredné hodnoty, ktoré v skúmaných štatistických súboroch zaujímajú charakteristickú polohu a ich veľkosť nezáleží od veľkosti všetkých hodnôt štatistického súboru, ale len od ich rozloženia v tomto súbore. Preto ich používame hlavne pri výskyte extrémnych hodnôt v skúmanom súbore. Medzi ostatné stredné hodnoty zaradujeme modus a medián.

Modus $\hat{x}$ definuje ako hodnotu skúmaného štatistického znaku, ktorá sa v súbore najčastejšie vyskytuje. Hlavne pri výskyte extrémnych hodnôt, alebo pri výraznej koncentrácii znaku na začiatku, resp. na konci oboru hodnôt sa môže modus značne odchýliť od priemeru, pričom však vernejšie charakterizuje polohu. Modus tak predstavuje najtypickejšiu hodnotu daného znaku v súbore, charakterizovanú vrcholom rozdelenia početností. Podľa počtu vrcholov rozlišujeme jednovrcholové rozdelenie početností a viacvrcholové rozdelenie početností. Väčší počet vrcholov rozdelenia početností než jeden má príčinu v nerovnorodosti skúmaného štatistického súboru.

Modus vypočítame z radu rozdelenia početností ako hodnotu znaku s maximálnou absolútnou početnosťou, t.z.:

$$\hat{x} = x_i (\max n_i) \quad (3)$$



resp. z intervalového rozdelenia početností:

$$\hat{x} = a + h \frac{d_0}{d_0 + d_1} \quad (4)$$

kde: a - dolná hranica modálneho t.z. najpočetnejšieho intervalu,
 h - šírka modálneho intervalu,
 d_0 - diferencia absolútnych početností modálneho intervalu a predchádzajúceho,
 d_1 - diferencia absolútnych početností modálneho intervalu a nasledujúceho.

Medián $\bar{x}$ definujeme ako prostrednú hodnotu usporiadaného štatistického súboru, ktorá ho rozdeľuje na dva početne rovnako veľké čiastkové súbory, pričom rovnaký počet štatistických jednotiek je menší ako medián a rovnaký počet štatistických jednotiek je väčší ako medián. Pri výpočte mediánu je potrebné rozlišovať, či má súbor párny alebo nepárny počet štatistických jednotiek. Poradie mediánového člena r v štatistickom súbore s nepárnym počtom štatistických jednotiek n vypočítame:

$$r = \frac{n+1}{2} \quad (5)$$

a medián:

$$\bar{x} = x_r \quad (6)$$

V štatistickom súbore s párnym počtom štatistických jednotiek n určíme vždy poradie dvoch prostredných jednotiek $r, r+1$, pričom r vypočítame:

$$r = \frac{n}{2} \quad (7)$$

a medián:

$$\bar{x} = \frac{x_r + x_{r+1}}{2} \quad (8)$$

Pri výpočte mediánu z intervalového rozdelenia početností musíme určiť mediánový interval, t.z. interval, v ktorom leží (v prípade, že n je nepárne), resp. ležia (v prípade, že n je párne) prostredné hodnoty. Ich poradie vypočítame analogicky ako v predchádzajúcom prípade, t.z. pre nepárny počet podľa vzťahu (5), resp. pre párny počet podľa vzťahu (7) a medián vypočítame podľa vzťahu (9):

$$\bar{x} = a + h \frac{b+c-d}{2b} \quad (9)$$

kde: a - dolná hranica mediánového intervalu,
 h - šírka medianového intervalu,
 b - absolútna početnosť medianového intervalu,



- c - súčet absolútnych početností všetkých intervalov za medianovým intervalom,
d - súčet absolútnych početností všetkých intervalov pred medianovým intervalom.

Aby sme mohli vyjadriť variabilitu štatistického znaku v pôvodných merných jednotkách, často sa popisuje pomocou kladne vzatej odmocniny z rozptylu, ktorá sa nazýva štandardná (smerodajná) odchýlka s:
Jednoduchá forma:

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (10)$$

Vážená forma:

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 n_i}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 f_i}{n}} \quad (11)$$

Štandardná odchýlka vyjadruje variabilitu štatistického znaku v pôvodných merných jednotkách, pričom je definovaná ako kvadratický priemer odchýlok jednotlivých hodnôt znaku od jeho aritmetického priemeru.

Vlastnosti rozptylu ešte v odbornej literatúre popisujeme nasledovným spôsobom:

Rozptyl konštant sa rovná nule.

Rozptyl súčtu (rozdielu) nezávislých premenných sa rovná súčtu ich rozptylov.

Rozptyl je vždy menší ako priemer štvorcov odchýlok hodnôt znaku od ľubovoľne zvolenej konštanty $k \neq \bar{x}$:

$$\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n} < \frac{\sum (x_i - k)^2}{n} \quad (12)$$

Ak pripočítame ku všetkým hodnotám znaku konštantu, rozptyl sa nezmení. Ak vynásobíme všetky hodnoty znaku konštantou, rozptyl sa zväčší o násobok štvorca tejto konštanty.

Na veľkosť rozptylu nemá vplyv, ak váhy v štatistickom súbore násobíme (delíme) ľubovoľnou konštantou.

2.2 Meracie zariadenie

Na meranie jednotlivých znečisťujúcich látok bolo využité meracie zariadenie TESTO 330 – 2 pre profesionálnu analýzu plynov produkovaných spaľovacími systémami:

- malé zdroje (spaľujúce olej, plyn, drevo, uhlie),
- nízkoteplotné a kondenzačné kotle,
- plynové teplomety.



Pomocou analyzátora spalín TESTO 330 je možné tieto systémy nastavovať a kontrolovať ich optimálnu funkciu v medziach predpísaných limitných hodnôt.

Prístrojom TESTO 330 je možné robiť nasledovné merania:

- reguláciu hodnôt koncentrácií O_2 , CO a CO_2 , NO , NO_x v spalinách z dôvodu optimálneho nastavenia spaľovacieho procesu,
- meranie komínového ťahu,
- meranie a reguláciu tlaku plynu v plynových zariadeniach,
- meranie a optimalizáciu teploty,
- meranie CO a CO_2 v okolitom vzduchu,
- detekcia CH_4 (Metán) a C_3H_8 (Propán).



Obr. 1 Meracie zariadenie TESTO 330 – 2 (Zdroj: Uživatelská príručka TESTO 330)

3. VÝSLEDKY A DISKUSIA

Experimentálne meranie emisií boli realizované pri rôznych výkonových stupňoch oxidačného zariadenia. Získané výsledky boli podrobené štatistickej analýze nameraných hodnôt, ako je uvedené v bode 2.1. V zmysle metodiky boli uskutočnené merania pri použití rôzneho druhu paliva, v našom prípade sme používali zemný plyn a živočíšne tuky. Výsledné hodnoty sú spracované v Tab. 1a - Tab. 4b. V tab. 1 - Tab. 2b sú spracované hodnoty pri spaľovaní rôznych druhov paliva a čistého resp. okolitého vzduchu. V Tab. 3a - Tab. 4b sú spracované hodnoty pri spaľovaní oboch palív a prímеси odpadového vzduchu tzv. bridových pár. Na Obr. 2 - Obr. 4 sú graficky znázornené koncentrácie NO_x , CO_2 a NO pri spaľovaní vzduchu a na Obr. 5 - Obr. 7 sú znázornené koncentrácie sledovaných emisných prvkov pri spoluspaľovaní odpadového vzduchu (bridových pár).



Tabuľka 1a Štatisticky spracované hodnoty oxidačného zariadenia REC 980 pri spaľovaní zemného plynu a vzduchu

Zemný plyn							
	teplota spalín	kyslík	CO ₂	CO	NO _x	rosný bod	η
	°C	%	%	mgm ⁻³	mgm ⁻³	°C	%
Stredná hodnota	238,912	12,840	4,613	7,480	204,786	43,258	78,392
Medián	236,600	12,950	4,560	0,000	195,000	43,800	80,900
Modus	246,000	17,300	2,110	0,000		34,000	85,700
Smerodajná odchýlka	24,970	3,050	1,752	18,385	59,018	5,472	8,056
Minimum	128,000	6,000	1,680	0,000	10,700	31,500	52,200
Maximum	289,700	18,000	8,510	97,000	307,800	53,200	97,500
Počet	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000

Tabuľka 1b Štatisticky spracované hodnoty oxidačného zariadenia REC 980 pri spaľovaní zemného plynu a vzduchu (pokračovanie Tab. 1a)

Zemný plyn							
	komínová strata	λ	teplota vzduchu	prietok	CO neriedené	NO	teplota prístroja
	%		°C	l.min ⁻¹	ppm	ppm	°C
Stredná hodnota	21,968	3,005	22,367	0,461	12,900	71,276	26,434
Medián	19,500	2,610	22,250	0,470	0,000	42,700	25,650
Modus	14,300	5,630	33,300	0,470	0,000	22,600	15,400
Smerodajná odchýlka	7,573	1,299	7,347	0,071	51,993	72,889	8,354
Minimum	13,300	1,400	10,900	0,360	0,000	10,100	12,700
Maximum	47,800	7,090	36,400	0,570	357,000	293,100	42,300
Počet	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000

Tabuľka 2a Štatisticky spracované hodnoty oxidačného zariadenia REC 980 pri spaľovaní živočíšneho tuku a vzduchu

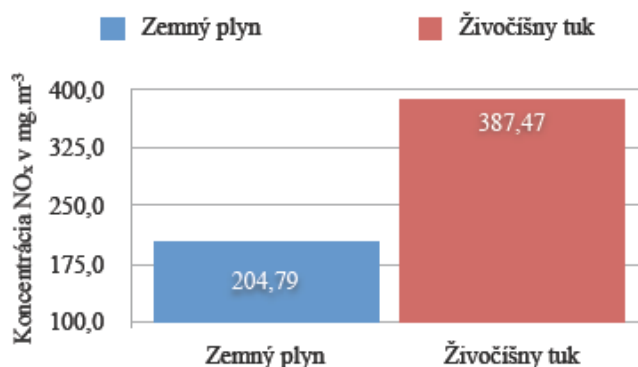
Živočíšny tuk							
	teplota spalín	kyslík	CO ₂	CO	NO _x	rosný bod	η
	°C	%	%	mgm ⁻³	mgm ⁻³	°C	%
Stredná hodnota	249,956	9,606	8,360	0,000	387,469	43,006	83,788
Medián	252,950	9,000	8,790	0,000	345,900	43,750	83,800
Modus		9,000	7,810	0,000		42,100	84,000
Smerodajná odchýlka	24,152	1,128	0,815	0,000	164,806	1,434	0,914
Minimum	177,000	8,500	6,700	0,000	160,000	40,000	81,900
Maximum	282,500	11,900	9,180	0,000	662,400	44,400	85,200
Počet	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000



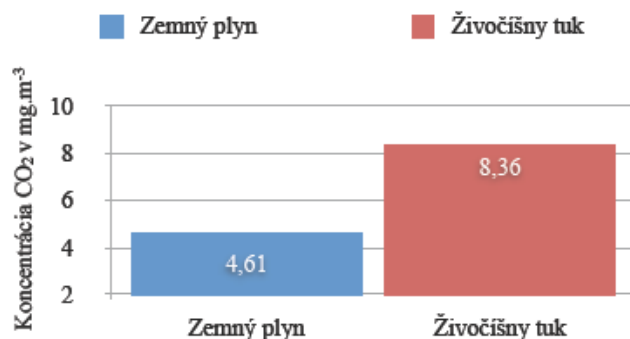
Tabuľka 2b Štatisticky spracované hodnoty oxidačného zariadenia REC 980 pri spaľovaní živočíšneho tuku a vzduchu (pokračovanie Tab. 2a)

Živočíšny tuk							
	komínová strata	λ	teplota vzduchu	prietok	CO neriedené	NO	teplota prístroja
	%		°C	l.min^{-1}	ppm	ppm	°C
Stredná hodnota	16,213	1,860	14,138	0,384	0,000	115,719	18,075
Medián	16,200	1,750	17,400	0,330	0,000	92,600	22,700
Modus	16,000	1,750	18,900	0,530	0,000		9,400
Smerodajná odchýlka	0,914	0,202	5,395	0,131	0,000	54,288	7,029
Minimum	14,800	1,680	7,000	0,250	0,000	39,800	9,100
Maximum	18,100	2,300	19,100	0,590	0,000	208,800	24,400
Počet	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000

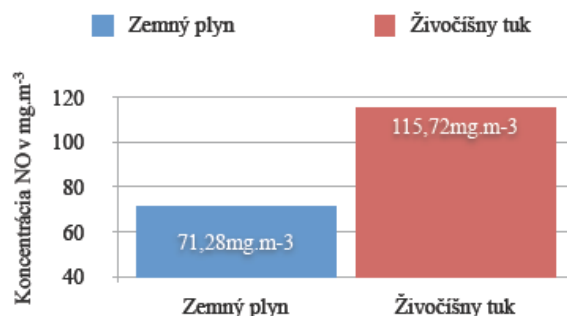
Pri spaľovaní zemného plynu a vzduchu bola priemerná hodnota NO_x v úrovni cca $204,786 \text{ mg.m}^{-3}$, pri spaľovaní zemného plynu a prímеси bridových pár z výroby narástla hodnota takmer 6 násobne na hodnotu $1261,808 \text{ mg.m}^{-3}$.



Obr. 2 Koncentrácia NO_x v oxidačnom zariadení REC 980 pri spoluspaľovaní vzduchu



Obr. 3 Koncentrácia CO_2 v oxidačnom zariadení REC 980 pri spoluspaľovaní vzduchu



Obr. 4 Koncentrácia NO v oxidačnom zariadení REC 980 pri spoluspaľovaní vzduchu

Pri spaľovaní živočišneho tuku a vzduchu je hodnota NO_x skoro dvojnásobná 387,469 mg.m⁻³, ale pri pridaní bridových pár nastáva výrazný pokles oproti spaľovaniu zemného plynu o viac ako polovicu na hodnotu 518,005 mg.m⁻³.

Tabuľka 3a Štatisticky spracované hodnoty oxidačného zariadenia REC 980 pri spaľovaní zemného plynu a bridových pár

Zemný plyn + Bridové pary							
	teplota spalín	kyslík	CO ₂	CO	NO _x	rosný bod	η
	°C	%	%	mgm ⁻³	mgm ⁻³	°C	%
Stredná hodnota	273,092	12,079	5,047	0,000	1261,808	44,874	77,397
Medián	272,750	12,150	5,010	0,000	1132,500	45,200	77,550
Modus	287,300	12,100	5,030	0,000	1638,000	45,300	78,200
Smerodajná odchýlka	20,122	2,583	1,463	0,000	729,218	4,140	5,338
Minimum	234,000	7,000	2,740	0,000	341,400	37,100	64,700
Maximum	318,300	16,200	7,940	0,000	2800,000	52,100	86,200
Počet	38,000	38,000	38,000	38,000	38,000	38,000	38,000

Tabuľka 3b Štatisticky spracované hodnoty oxidačného zariadenia REC 980 pri spaľovaní zemného plynu a bridových pár (pokračovanie Tab. 3a)

Zemný plyn + Bridové pary							
	komínová strata	λ	teplota vzduchu	prietok	CO neriedené	NO	teplota prístroja
	%		°C	l.min ⁻¹	ppm	ppm	°C
Stredná hodnota	22,603	2,553	23,124	0,548	0,000	258,611	22,774
Medián	22,450	2,375	21,950	0,540	0,000	285,100	23,950
Modus	21,800	2,360	27,700	0,570	0,000	375,300	23,600
Smerodajná odchýlka	5,338	0,743	22,572	0,067	0,000	114,230	8,994
Minimum	13,800	1,500	6,600	0,440	0,000	83,800	8,500
Maximum	35,300	4,360	148,900	0,750	0,000	426,500	32,000
Počet	38,000	38,000	38,000	38,000	38,000	38,000	38,000

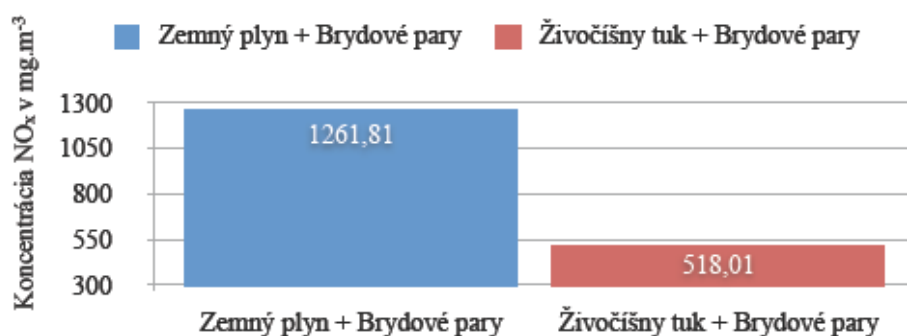


Tabuľka 4a Štatisticky spracované hodnoty oxidačného zariadenia REC 980 pri spaľovaní živočíšneho tuku a bridových pár

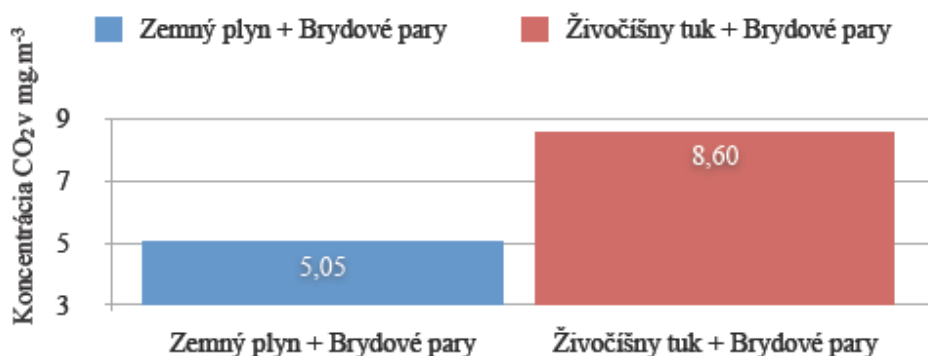
Živočíšny tuk + Bridové pary							
	teplota spalín	kyslík	CO ₂	CO	NO _x	rosný bod	η
	°C	%	%	mgm ⁻³	mgm ⁻³	°C	%
Stredná hodnota	259,421	9,268	8,601	0,000	518,005	43,258	83,347
Medián	257,700	8,900	8,860	0,000	495,500	43,900	84,100
Modus		7,400		0,000			
Smerodajná odchýlka	13,481	2,193	1,607	0,000	96,146	2,761	3,437
Minimum	240,800	6,400	5,410	0,000	431,500	37,300	75,700
Maximum	283,200	13,600	10,680	0,000	857,100	46,600	87,400
Počet	19,000	19,000	19,000	19,000	19,000	19,000	19,000

Tabuľka 4b Štatisticky spracované hodnoty oxidačného zariadenia REC 980 pri spaľovaní živočíšneho tuku a bridových pár (pokračovanie Tab. 4a)

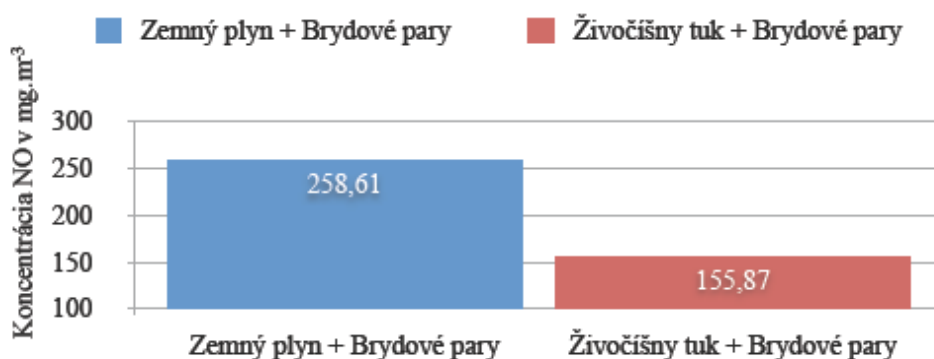
Živočíšny tuk + Bridové pary							
	kom strata	λ	teplota vzduchu	prietok	CO neriedené	NO	teplota prístroja
	%		°C	l.min ⁻¹	ppm	ppm	°C
Stredná hodnota	16,653	1,862	12,120	0,321	0,000	155,874	14,300
Medián	15,900	1,740	14,700	0,340	0,000	154,500	17,400
Modus			15,600	0,350	0,000		17,900
Smerodajná odchýlka	3,437	0,401	3,587	0,057	0,000	41,595	3,832
Minimum	12,600	1,440	7,500	0,140	0,000	99,200	9,800
Maximum	24,300	2,850	16,580	0,390	0,000	280,300	18,600
Počet	19,000	19,000	19,000	19,000	19,000	19,000	19,000



Obr. 5 Koncentrácia NO_x v oxidačnom zariadení REC 980 pri spoluspaľovaní bridových pár



Obr. 6 Koncentrácia CO₂ v oxidačnom zariadení REC 980 pri spoluspalovaní bridových pár



Obr. 7 Koncentrácia NO v oxidačnom zariadení REC 980 pri spoluspalovaní bridových pár

Vzhľadom na charakter zariadenia, ktoré je určené na spaľovanie odpadového vzduchu (bridových pár) z výroby, odporúčame pri nábehu zariadenia použiť ako palivo zemný plyn a po zahriatí na prevádzkovú teplotu a produkciu bridových pár prepnúť na spaľovanie živočíšneho tuku, ktorý pri prevádzke zariadenia eliminuje vznik NO_x oproti zemnému plynu.

LITERATÚRA

ČERNECKÝ, J., SILÁČI, J., KONIAR, J.: 2010. Meranie emisií plyných znečisťujúcich látok pri spaľovaní dendromasy. In : *Nové trendy v technike ochrany ovzdušia : medzinárodný seminár*, 16. jún 2010, Zvolen, Slovenská republika. - Zvolen : Technická univerzita Zvolen, 2010. ISBN 978-80-228-2117-9, s. 19-23.

ČERNECKÝ, J. - NEUPAUEROVÁ, A. - JANOŠKO, I. - SOLDÁN, M.: 2010. *Technika životného prostredia*. TU vo Zvolene 2010, s. 272, ISBN 978-80-228-2161-2

ČÉRY, M. - JANOŠKO, I.: 2009. Zneškodňovanie nebezpečných odpadov živočíšného pôvodu II. In *Technika odpadového hospodárstva : medzinárodný seminár*, 17. september 2009, Zvolen, Slovenská republika. - Zvolen : Technická univerzita Zvolen, 2009. ISBN 978-80-228-2027-1, s. 30-36.



ČÉRY, M. - JANOŠKO, I.: 2010. Emission Produced by the Combustion of Odor Substances in Thermooxidative device. In : Nové trendy v technike ochrany ovzdušia : medzinárodný seminár, 16. jún 2010, Zvolen, Slovenská republika. - Zvolen : Technická univerzita Zvolen, 2010. ISBN 978-80-228-2117-9, s. 24-31.

ČÉRY, M. - JANOŠKO, I.: 2011. Meranie pachových látok metódou dynamickej olfaktometrie. In : Nové trendy v technike ochrany ovzdušia : medzinárodný seminár, 2011, Zvolen, Slovenská republika. - Zvolen : Technická univerzita Zvolen, 2011. ISBN 978-80-228-2277-0. s. 20-27.

ČÉRY, M. - JANOŠKO, I.: 2011. Zneškodňovanie nebezpečných odpadov živočíšneho pôvodu III - lisovanie. In : Nové trendy v technike ochrany ovzdušia : medzinárodný seminár, 2011, Zvolen, Slovenská republika. - Zvolen : Technická univerzita Zvolen, 2011. ISBN 978-80-228-2277-0. s. 12-19.

HOSTÍN, S.: 2010. Využitie ozonizácie pre redukciu emisií prchavých látok do ovzdušia. In : Nové trendy v technike ochrany ovzdušia : medzinárodný seminár, 16. jún 2010, Zvolen, Slovenská republika. - Zvolen : Technická univerzita Zvolen, 2010. ISBN 978-80-228-2117-9, s. 41-47.

JANOŠKO, I. – ČÉRY, M.: 2011. The Reduction and elimination of animal odor Substances. In Acta technologica agriculturae. - Nitra : Slovenská Poľnohospodárska Univerzita. - ISSN 1335-2555. - Roč. 14, č. 4 (2011), s. 90-93.

OBTULOVÍČ, P.: 2010. Bioštatistika. Nitra: SPU Nitra, 2010. ISBN 978-80-552-0397-3.

PECIAR, M. - ČERNECKÝ, J. - PECIAROVÁ, Z.: 2011. Ochrana ovzdušia - meranie a monitorovanie. Nakladateľstvo STU Bratislava, 2011, s. 136, ISBN 978-80-227-3392-2.

Užívateľská príručka TESTO 330

PodĎakovanie

Príspevok vznikol s podporou MŠ SR projektom VEGA 2012 "Zníženie nežiaducich vplyvov poľnohospodárskej a dopravnej techniky na životné prostredie".

Kontaktná adresa :

Ing. Marián Čery, Ovocinárska 23, 949 01 Nitra, e-mail: marian.cery@gmail.com
doc. Ing. Ivan Janoško, CSc., Katedra dopravy a manipulácie SPU v Nitre, Technická fakulta SPU v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, e-mail: Ivan.Janosko@uniag.sk

Lektoroval: Ing. Ružinská Eva, PhD.



SYSTÉMY NA DIAĽKOVÚ ANALÝZU ZNEČISTENIA OVZDUŠIA

SYSTEMS FOR REMOTE ANALYSIS OF ATMOSPHERE CONTAMINATION

Milada GAJTANSKA - Rastislav IGAZ

ABSTRACT: The paper deals with the problem of monitoring of environmental air quality with using of opto-electronic laser systems. With using of this device is possible remote control of contamination environmental quality of human environment in industry zone, in residential zone or round the highways. This article presents system of devices, which can use one or two pulsed or CW CO₂ lasers with tunable infrared frequencies to detection of spatial distribution of aerosols and pollutants in the atmosphere. The laser beam is reflected or scattered from hard targets or aerosol particles in the atmosphere.

Key words: LIDAR, DIAL, air quality, environmental pollutants, monitoring

ABSTRAKT: Článok sa zaoberá problematikou monitorovania environmentálnej kvality ovzdušia s využitím optoelektronických laserových systémov. S využitím týchto zariadení je možné diaľkové bezkontaktné monitorovanie kvality životného prostredia v priemyselných a obytných zónach, alebo v okolí dopravných ťahov. Príspevok predstavuje princípy zariadení, ktoré môžu využívať jeden alebo dva impulzné alebo kontinuálne pracujúce CO₂ preladiateľné lasery pracujúce v infračervenej oblasti spektra využiteľné na detekciu priestorového rozloženia aerosólov alebo pevných častíc v atmosfére.

Kľúčové slová: LIDAR, DIAL, kvalita ovzdušia, environmentálne znečistenie, monitorovanie

1. ÚVOD

Technológie využívané na monitorovanie kvality prostredia sa neustále vyvíjajú a prinášajú nové možnosti v oblasti sledovania kontaminácie prostredia v životnom alebo pracovnom prostredí. Zdokonaľovanie existujúcich technológií zjednodušuje množstvo operácií a robí ich dostupnejšími a jednoduchšími. Zvlášť dôležité sú metódy, ktoré sú využívané pri ochrane ľudského života a jeho pracovného prostredia. Prezentovaná technológia bezkontaktného sledovania kontaminácie môže byť využitá pre tento špecifický účel. S využitím tejto technológie je možné diaľkovo, bezkontaktné detegovať znečistenie prostredia nebezpečnou koncentráciou záujmových plynov alebo pevných častíc.

2. POPIS LIDARU

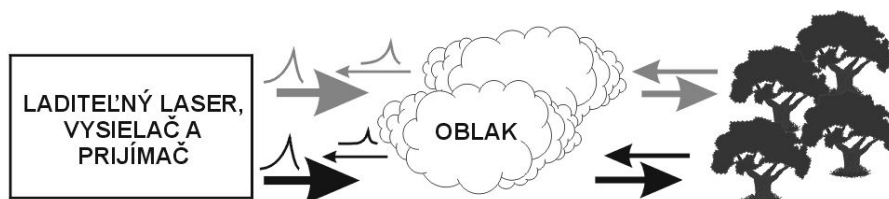
Lidar, z anglického “Light Detection and Ranging” (detekcia svetla a meranie vzdialenosti) je optický ekvivalent radaru. Lidarový systém využíva ako detekčný nástroj impulzný alebo kontinuálne pracujúci laser na vysielanie zväzku laserového žiarenia do atmosféry. Vyslaný laserový impulz je po prechode prostredím odrazený alebo rozptýlený na pevnom terči alebo pevných časticiach obsiahnutých v prostredí. Časť žiarenia rozptýleného na terči sa vracia k zariadeniu a je následne zachytené a sústredované na detektor. Signál z detektora je analyzovaný pomocou vysoko rýchlostnej elektroniky pre získanie informácií o terči alebo atmosfére nachádzajúcej sa medzi terčom a prijímačom. Spätné rozptýlené žiarenie po odraze prichádza s oneskorením závislým na rýchlosti šírenia svetla v prostredí (približne 3 ns na 1 m vzdialenosti). Žiarenie spätné rozptýlené na aerosóloch obsahuje informáciu o koncentrácii aerosólu a zároveň informáciu o jeho



priestorovom rozložení. Lidarové zariadenia sa využívajú na meranie vzdialeností, mapovanie priestorov, v topografii alebo na vytváranie 3D máp zemského povrchu leteckým snímkovaním.

3. POPIS SYSTÉMU DIAL

Zdokonalením lidarových systémov vzniklo zariadenie nazvané DIAL. Tento názov vznikol ako akronym z anglického „Differential Absorption Lidar“. Lidarový systém totiž môže pracovať na viacerých odlišných vlnových dĺžkach, zvyčajne dvoch. Ak sa ako zdroj žiarenia použije preladiteľný laser, vzniknutý systém (DIAL) je možné použiť na diaľkové monitorovanie obsahu záujmových plynov obsiahnutých v atmosfére. Funkčná schéma diaľkového DIAL-ového systému je znázornená na obrázku 1. Obrázok znázorňuje dve vlnové dĺžky vysielané do prostredia (z jedného, príp. dvoch laserov). Rozdiel v intenzite spätne vráteného žiarenia je priamo závislý na rozdielnej absorpcii daných vlnových dĺžok plynmi obsiahnutými v atmosfére. Koncentráciu plynov je možné zistiť z pomeru rozdielnej absorpcie (útlmu) intenzity vlnových dĺžok.



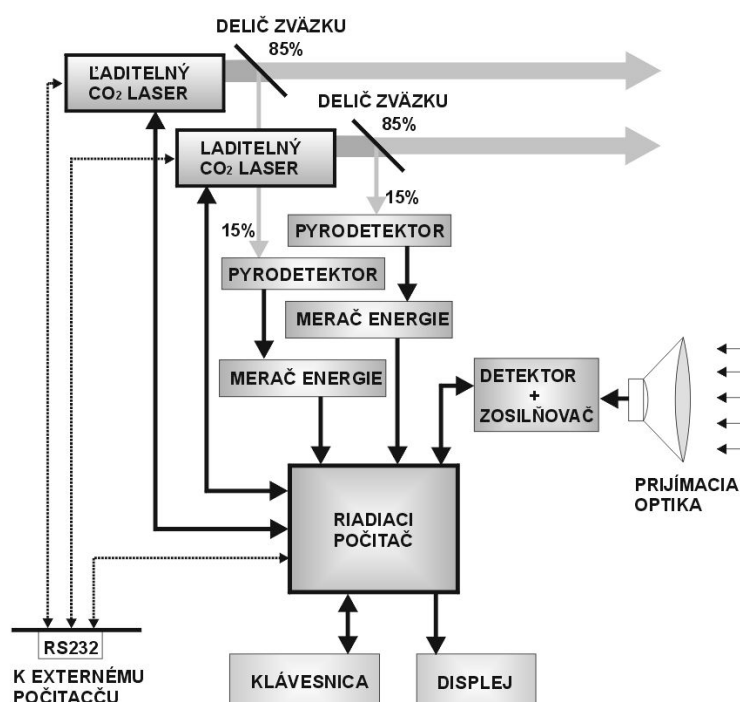
Obrázok 1 Schéma princípu DIAL-u na diaľkové sledovanie atmosféry zobrazuje rozdielnu absorpciu dvoch rôznych vlnových dĺžok žiarenia.

Systém dokáže identifikovať chemické látky (priemyselné znečistenie alebo iné špecifické látky) na základe rozdielnej absorpcie infračerveného žiarenia. Meranie systémom DIAL je založené na fakte, že pre danú detegovateľnú látku je možné nájsť dvojicu vlnových dĺžok, z ktorých jedna je detegovanou látkou pohlcovaná silno, druhá je pohlcovaná slabo a slúži na odlíšenie útlmu molekulami detegovanej látky od iných zdrojov útlmu, tzn. ako referenčná. Počas merania systém vyšle cez skúmanú atmosféru impulzy laserového žiarenia, ktoré dopadá na zvolený terénny predmet (meracia trasa je určená spojnicou DIAL – terénny predmet). Laserové žiarenie sa odráža, malá časť z neho opätovne prechádza skúmaným priestorom a je zachytená prijímačom systému. Ak je v meracej trase prítomná hľadaná látka, prejaví sa to vyšším útlmom na jednej z vyslaných vlnových dĺžok. Z veľkosti tohto útlmu a vzdialenosti terénneho predmetu sa potom určí priemerná koncentrácia detegovanej látky na meracej trase.

Vnútoraná štruktúra DIAL-ového systému je znázornená na obr. 2. Vysielacia časť systému sa skladá prevažne z dvoch preladiteľných CO₂ laserov spúšťaných s malým časovým odstupom (20 - 1000 μs), naladených na zvolené vlnové dĺžky v závislosti od hľadanej záujmovej látky. Použitie dvoch laserov namiesto jedného jednak meranie urýchli, jednak odstráni negatívny vplyv turbulencií na presnosť merania. Zväzky z laserov sú vedené k terču cez deliče zväzku, na ktorých sa časť energie (cca 15 %) oddelí a dopadá na pyrodetektory. Signál z nich umožňuje merať energie odchádzajúcich laserových impulzov a synchronizovať systém. Tieto funkcie realizuje blok merač energie.



Prijímacia časť systému sa začína prijímacím objektívom, ktorý má zachytiť maximum z odrazenej energie a sústrediť ju na citlivú plochu detektora. Ten premieňa dopadajúce optické žiarenie na elektrické signály ktoré sú zosilňované v zosilňovači. Výstupný signál je digitalizovaný a vyhodnocovaný v riadiacom mikropočítači. Ten okrem toho riadi a spúšťa lasery a na displeji zobrazuje stavové hlásenia a výsledky meraní. Mikropočítač je prepojený s malou klávesnicou, ktorá slúži na nastavenie systému a spustenie merania.



Obrázok 2 Zjednodušená bloková schéma DIAL-u

Prednosti systému DIAL pred bežne využívanými systémami detekcie sú nasledovné:

- obsluha nemusí prichádzať do fyzického kontaktu s detegovanou látkou, pretože bežne využívané systémy často pracujú na princípe kontaktnej detekcie, kedy zariadenie musí prísť do priameho kontaktu s detegovaným prostredím,
- prístroj nevyhodnocuje lokálnu koncentráciu, ale priemernú koncentráciu látky na meranej trase, takže výsledok neklasifikuje obsah látky v danom mieste odberu vzorky, ale priemernú koncentráciu v relatívne veľkom priestore (ten závisí od vzdialenosti zariadenia od odrazového terča, čo je zvyčajne niekoľko km),
- veľký dosah, v rozsahu stoviek metrov až jednotiek km,
- katalóg detegovateľných látok je možné dopĺňať, pri požiadavke detekcie novej látky stačí do systému zadať vhodnú vlnovú dĺžku a absorpčné vlastnosti danej látky.

Dialové systémy sa využívajú pri detekcii plyných a pevných znečisťujúcich látok v atmosfére napr. pri monitorovaní škodlivín vypúšťaných do atmosféry z priemyselných podnikov, pri monitorovaní znečistenia ovzdušia nad obytnými zónami alebo v okolí cestných tepien, pri mapovaní stavu ozónovej vrstvy alebo pri mapovaní oblačnosti pre účely predpovede počasia.



4. ZÁVER

Poznanie nových detekčných technológií by malo patriť k prehľadu, ktorý by študenti environmentálne zameraných študijných programov mali získať v priebehu svojho štúdia. Základný prehľad o využívaných, ale aj vyvíjaných technológiách na monitorovanie a kontrolu kvality životného prostredia im umožní získať benefity v podobe lepšej uplatniteľnosti na pracovnom trhu. Myslíme, že zariadenia využívajúce technológie lidar a dialu momentálne patria k tomu najprogresívnejšie sa rozvíjajúcemu na poli detekčných technológií, preto by absolventi daných odborov mali už počas štúdia získať aspoň základné informácie a týchto technológiách a poznať ich možnosti aplikácie, výhody ale aj prípadné nedostatky.

LITERATÚRA

GAJTANSKA M., CHRISTOV I., IGAZ R.: 2005. Možnosti využitia optoelektronických systémov na skúmanie environmentálnej kvality ovzdušia, In *Technické vzdelanie ako súčasť všeobecného vzdelania, Medzinárodná vedecko-technická konferencia*, Veľká Lomnica, 2005, s. 128-131, ISBN 80-8083-151-3

CHRISTOV I., IGAZ R.: 2004. Technický projekt k projektu aplikovaného výskumu č. AV/1108/2004 „Výskum a vývoj optoelektronických systémov na diaľkovú analýzu kvality ovzdušia“, október 2004, 60 strán

IGAZ R., GAJTANSKA M., CHRISTOV I.: 2006. Aplikácia optoelektronických systémov pri monitorovaní environmentálnej kvality ovzdušia, *CD zborník z 1. medzinárodnej vedeckej konferencie „Earth in a Trap?, Analysis of Environmental Components“*, 2006, Krpáčovo, TU Zvolen, str. 161 - 165, ISBN 80-228-1553-5

GAJTANSKA M., CHRISTOV I., IGAZ R.: 2006. Detekcia environmentálneho znečistenia ovzdušia s využitím laserových technológií, *CD zborník konferencie „Výskumné a edukačné aktivity na katedrách fyziky technických univerzít na Slovensku“*, 2006, STU Bratislava, str. 121 – 124, ISBN 80-227-2430-0

GAJTANSKA M., CHRISTOV I., IGAZ R.: 2006. Laser Technologies in Fire Prevention and Safety, 2nd *International Scientific Conference „Fire Engineering“*, 2006, Lučenec, ISBN 80-89241-03-4

IGAZ R., GAJTANSKA M.: 2006. Detekcia znečistenia ovzdušia v environmentálnej technike s využitím lasera, *CD zborník z Medzinárodného vedeckého seminára „Technika odpadového hospodárstva“*, 2007, Zvolen, str. 44 – 48, ISBN 978-80-228-1782-0

Príspevok je publikovaný s podporou projektu KEGA 011 UMB-4/2012

Kontaktná adresa:

doc. RNDr. Milada Gajtanska, CSc.

Ing. Rastislav Igaz, PhD.

Katedra fyziky, elektrotechniky a aplikovanej mechaniky, Drevárska fakulta, Technická Univerzita Zvolen, T. G. Masaryka 24, 960 53, Zvolen.

Lektoroval: Ing. Brodnianská Zuzana



DIGITÁLNY ANALYZÁTOR MNOŽSTVA CO₂ V PROSTREDÍ

DIGITAL ANALYZER OF ENVIRONMENT CO₂ QUANTITY

Milada GAJTANSKA - Pavel HUSA - Rastislav IGAZ

ABSTRACT: Paper described digital analyzer to CO₂ quantity measurement, which is a part of technical equipment of Centre of excellence for integrated research of the Earth's geosphere. Analyzer serves to study of the mater-energetic flows in the upper part of the geosphere.

Key words: CO₂, mater-energetic flows, geosphere

ABSTRAKT: Príspevok popisuje digitálny analyzátor na meranie množstva CO₂, ktoré je súčasťou technického vybavenia Centra excelentnosti pre integrovaný výskum geosféry Zeme. Analyzátor slúži k štúdiu látkovo-energetických tokov vo vrchnej časti geosféry.

Kľúčové slová: CO₂, látkovo – energetické toky, geosféra

1. ÚVOD

Realizácia aktivít projektu „Centrum excelentnosti pre integrovaný výskum geosféry Zeme“ (ITMS kód projektu: 26220120064) schváleného v rámci výzvy OPVaV – 2009/2.1/03-SORO pre obdobie rokov 09/2010 – 08/2013, je rozdelená medzi nositeľa projektu Geologickým ústavom SAV v Bratislave a partnerskými organizáciami: Ústavom geotechniky SAV so sídlom v Košiciach (Partner 1) a Technickou univerzitou vo Zvolene (Partner 2).

Pod gesciou pracovníkov TU vo Zvolene sa realizuje zvýšenie kvality technického vybavenia centra excelentnosti, ktoré je súčasťou činnosti aj niekoľko samostatných odborných aktivít. V rámci aktivity 3.4 „Štúdium látkovo-energetických tokov vo vrchnej časti geosféry Zeme“ bude pozornosť sústredená na analýzu procesov odohrávajúcich sa na rozhraní živej a neživej hmoty – v rámci vrchnej časti oživej zemskej kôry – t.j. pôdy a okolitej hydrosféry a atmosféry. Spomínaná aktivita 3.4. sa realizuje pomocou technického vybavenia zakúpeného z prostriedkov projektu. Jedným z cieľov projektu je meranie pôdnej respirácie a koncentrácií CO₂ na rozhraní pôda-atmosféra na referenčných prírodných a urbánnych plochách pomocou špeciálnych detektorov a zariadení – v kombinácii s meteorickými, klimatologickými a termovíznymi meraniami.

2. PREČO MONITOROVAŤ CO₂?

Oxid uhličitý je stálou zložkou vzdušného obalu Zeme, pričom je obsiahnutý nielen v plynnej forme vo vzduchu, ale nachádza sa aj rozpustený vo vode alebo vo forme uhličitanov v pôde a horninách. Je nevyhnutne dôležitý v procese fotosyntézy zelených rastlín a naopak vylučovaný je v procese dýchania všetkých živých organizmov. Vysoký obsah oxidu uhličitého vo vzduchu znemožňuje dýchanie živých organizmov a dochádza k duseniu. Najväčším producentom CO₂ je vo všeobecnosti doprava, hlavne cestná, ktorá podľa štatistík produkuje asi 93 % CO₂. Pri spálení jedného litra benzínu vznikne asi 2,5 kg CO₂. Zvyšovanie obsahu CO₂ v atmosfére je kritické pre jeho vplyv na globálnu klímu. Oxid uhličitý je najdôležitejším skleníkovým plynom, pričom jeho podiel v atmosfére narástol od začiatku priemyselnej revolúcie o 25 %.

Štúdium látkovo-energetických tokov vo vrchnej časti geosféry Zeme by malo:



- poskytnúť poznatky o priestorovej variabilite a časovej dynamike vybraných komponentov cyklov prvkov a o ich spojitost' s ostatnými pôdnymi vlastnosťami, klimatickými pomermi a spôsobmi obhospodarovania,
- špecifikovať príslušné determinanty rýchlosti mineralizácie uhlíka a dusíka v organických a minerálnych horizontoch pôd,
- napomôcť pri dešifrovaní rýchlosti dekompozície organickej hmoty v pôde vo vzťahu k mikrobiálnej aktivite, štruktúre mikrobiálnych spoločenstiev a zrnitostným frakciám pôd.

3. ANALYZÁTOR CO₂ TES 1370

Meracie zariadenie TES 1370 NDIR CO₂ meter je ručný merač na meranie teploty (°C/°F), relatívnej vlhkosti (% RH) a obsahu oxidu uhličitého (CO₂, ppm). CO₂ NDIR senzor v hornej časti meracieho prístroja meria obsah plynu difúziou cez snímacie otvory. Merač meria koncentráciu oxidu uhličitého na základe využitia jednej z prirodzených vlastností CO₂ molekúl, že veľké koncentrácie CO₂ molekúl absorbujú viac svetla ako menšie koncentrácie. Táto metóda sa nazýva nedisperzná (nerozptyľová) infračervená detekcia (NDIR).

Pri testovaní obsahu CO₂ vo vzduchu okolitého prostredia nie je povolené vydychovať do vzduchu obklopujúceho merací prístroj. Ľudský dych obsahuje asi 40 000 ppm CO₂. Hoci to nespôsobí poškodenie senzora merača, negatívne to ovplyvní objektívne snímanie hodnôt prístrojom. Pri uskutočňovaní merania je vhodné umiestniť merač do vzduchovej zmesi, ktorú je žiaduce merať. Týmto spôsobom nedôjde ku kontaminácii meranej plynovej zmesi vydychovaným plynom.

3.1 Špecifikácia zariadenia

V hornej časti prednej strany zariadenia sa nachádza LCD displej, rozdelený na tri oblasti, z ktorých každá zobrazuje príslušný monitorovaný údaj. Po zapnutí sa v jednotlivých častiach displeja znázorňujú informácie o nameraných hodnotách obsahu CO₂, teploty a vlhkosti prostredia. Doplnkové funkcie zariadenia umožňujú zobrazovať maximálne a minimálne hodnoty nameraných veličín spolu s časom ich zaznamenania. Takýmto spôsobom je možné kontinuálne sledovať hraničné hodnoty sledovaných veličín v danom prostredí. Okrem toho zariadenie umožňuje nastavenie funkcie výstrahy, ktorá v prípade prekročenia zadefinovanej hodnoty upozorní obsluhu. Táto funkcia môže slúžiť na monitorovanie napr. obsahu CO₂ v uzatvorenom prostredí a v prípade prekročenia zvolenej hodnoty akustickým signálom upozorní obsluhu na prekročenie obsahu plynu v prostredí. Údaje o meraných veličinách sú aktualizované v sekundových intervaloch.

Zariadenie obsahuje internú pamäť, v ktorej je možné uchovávať až 20 000 meraní, ktoré je možné rozdeliť do 99 samostatných súborov. Interná pamäť umožňuje využívať zariadenie na automatizované monitorovanie prostredia s automatickým záznamom priebehu monitorovanej veličiny. Okrem automatického „data loggingu“ je možné merané dáta ukladať do pamäte aj manuálne.

Napájanie zariadenia je možné dvomi spôsobmi. Prvým je pripojenie na elektrickú sieť cez priložený adaptér. V tomto režime môže zariadenie pracovať neobmedzene dlhú dobu. Jediným limitným faktorom je kapacita pamäte na ukladanie nameraných dát. Druhou možnosťou je napájanie pomocou 6 ks batérii. V tomto režime pri použití alkalických batérii môže zariadenie pracovať asi 8 prevádzkových hodín. Displej obsahuje indikátor, ktorý obsluhu upozorní na potrebu výmeny batérii.



Obrázok 1 Pohľad na display zariadenia TES 1370

Teplotný rozsah použitia zariadenia je v intervale $+5 - +50\text{ }^{\circ}\text{C}$ pri relatívnej vlhkosti vzduchu $10 - 90\%$, pričom vzdušná vlhkosť nesmie kondenzovať. Rozsah merania teploty je v intervale $-10 - +60\text{ }^{\circ}\text{C}$ a relatívnej vlhkosti $10 - 90\%$.



Obrázok 2 Pohľad na CO₂ analyzátor s príslušenstvom

Zariadenie je kompaktné s rozmermi $158 \times 72 \times 35\text{ mm}$ a hmotnosťou 255 g vrátane 6 ks batérii.

Pre zabezpečenie objektívnosti meraných koncentrácií CO₂, teploty a relatívnej vlhkosti je zariadenie možné kalibrovať podľa požiadaviek obsluhy pre každú z meraných veličín. Kalibrácia je užívateľsky jednoduchá, pričom umožňuje kalibráciu v ľubovoľnej časti meracieho intervalu, príp. je možné zariadenie kalibrovať na nulovú hodnotu (v prípade CO₂). Na bežnú kalibráciu je potrebné etalónové zariadenie pre danú veličinu a pre nulovú kalibráciu CO₂ je potrebný čistý dusík.



Merací rozsah obsahu CO_2 v prostredí je v intervale 0 – 6000 ppm s rozlišovacou schopnosťou 1 ppm. Presnosť merania je $\pm 3 \%$ zobrazovanej hodnoty alebo ± 50 ppm, (platí väčšia hodnota) pri tlaku 101,4 kPa a teplote 25 °C.

Zariadenie obsahuje inštalačné CD s RS-232 protokolom na komunikáciu s počítačom, kde je možné archivovať namerané dáta.

4. ZÁVER

Jedným z cieľov výskumu v rámci riešenia projektu Centra excelentnosti pre integrovaný výskum geosféry Zeme je štúdium látkovo-energetických tokov vo vrchnej časti geosféry Zeme, pričom pozornosť je sústredená na analýzu procesov odohrávajúcich sa na rozhraní pôdy a okolitej hydrosféry a atmosféry. Čiastkovým cieľom projektu je meranie pôdnej respirácie a koncentrácií CO_2 na rozhraní pôda-atmosféra na referenčných plochách pomocou špeciálnych detektorov a zariadení, z ktorých zariadenie na meranie obsahu CO_2 je predstavené v tomto článku. Článok zhŕňa základné špecifikácie zakúpeného zariadenia.

Článok vznikol vďaka podpore v rámci Operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Centrum excelentnosti pre integrovaný výskum geosféry Zeme (ITMS: 26220120064), ktorý je spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

LITERATÚRA:

KEELING, C.D., WHORF, T.P.: 1994. Atmospheric carbon dioxide records from sites in the SIO air sampling network. pp. 16-26. In Trends'93: A Compendium of Data on Global Change. ORNL/CDIAC-65. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn. U.S.A.

NEFTEL, A., H. FRIEDLI, E. MOORE, H. LOTSCHER, H. OESCHGER, U. SIEGENTHALER, STAUFFER, B.: 1994. Historical carbon dioxide record from the Siple Station ice core. pp. 11-14. In Trends'93: A Compendium of Data on Global Change. ORNL/CDIAC-65. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn. U.S.A.

PLESNÍK P.: 2007. *Vplyv zvýšeného CO_2 vo vzduchu a jeho účinok na rastlinstvo a živočíšstvo*, In: Bioclimatology and Natural Hazards, Poľana nad Detvou, 2007, TU Zvolen, ISBN 978-80-228-17-60-8

Instruction manual: TES 1370 THERMO-HYGRO-NDIR CO_2 meter

Kontaktná adresa:

doc. RNDr. Milada Gajtanska, CSc.

Ing. Pavel Husa

Ing. Rastislav Igaz, PhD.

Technická univerzita vo Zvolene, Drevárska fakulta, Katedra fyziky, elektrotechniky a aplikovanej mechaniky, T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen.

Lektoroval: Ing. Ružinská Eva, PhD.



DETEKCIA A METÓDY HODNOTENIA NEBEZPEČNÝCH A RIZIKOVÝCH LÁTOK V TECHNOLOGIÁCH PRÍPRAVY DREVNÝCH MATERIÁLOV

DETECTION AND EVALUATION METHODS OF DANGEROUS AND HAZARDOUS SUBSTANCES IN THE PREPARATION OF WOOD MATERIALS TECHNOLOGIES

Marek JABŁOŃSKI - Eva RUŽINSKÁ

ABSTRACT: The aim of the contribution is summarizing of existing methods of detection and evaluation methods of dangerous and hazardous substances in the preparation of wood materials with the appearance of the most widely used technologies a group of pollutants (VOC) for the design of effective eco-technical methods of reduction or their elimination.

Key words: hazardous substances, wooden materials, industrial technologies, detection, air protection

ABSTRAKT: Cieľom príspevku je sumarizovať existujúce spôsoby detekcie a metódy hodnotenia nebezpečných a rizikových látok v technológiách prípravy drevných materiálov s výskytom najpočetnejšej skupiny polutantov VOC pre návrh účinných ekotechnických spôsobov ich redukcie, resp. eliminácie.

Kľúčové slová: rizikové látky, drevné materiály, priemyselné technológie, detekcia, ochrana ovzdušia

1. ÚVOD

V súčasnosti sa venuje zvýšená pozornosť udržaniu a zlepšovaniu kvality životného a pracovného prostredia v zmysle prijatých princípov trvalo udržateľného rozvoja. Zároveň sa stáva mimoriadne aktuálnou potreba aplikácie výsledkov výskumu do edukačného procesu tak, aby sa dosahovali merateľné výsledky v krátkom časovom horizonte po nástupe absolventov zameraných na oblasť technického a environmentálneho štúdia do praxe.

Účinnými indikátormi pre monitorovanie stavu životného prostredia sú činnosti spojené s hodnotením environmentálnych vplyvov priemyselných činností a výrobných procesov v kontexte na zdravie obyvateľstva (Eleničová, 2005; Neupauerová, 2008; Ružinská, 2009).

Pre odborné uplatnenie poznatkov pri riešení aktuálnych otázok znečistenia životného prostredia a negatívnych environmentálnych dopadov priemyslu sú potrební odborníci v rôznych sférach so vzdelaním, ktorí implementujú poznatky pre odbornú i širokú verejnosť o technologických procesoch rôznych priemyselných výrobných spolu s poznatkami o legislatíve, monitorovaní a posudzovaní stavu životného prostredia až po znalosť environmentálne vhodných spôsobov minimalizácie nežiaducich rizikových chemických látok v pracovnom a životnom prostredí (Neupauerová, 2008; Ružinská, 2010a, Ružinská a Jabłoński, 2011).

Najpočetnejšiu skupinu rizikových látok tvoria prchavé organické zlúčeniny (VOC). Sú nielen emitormi znečistenia ovzdušia, rovnakou mierou zaťažujú aj vnútorné prostredie budov, čím výrazne zhoršujú pracovné prostredie. Zaťažené sú najmä interiéry emisiami prchavých organických látok, predovšetkým formaldehydom, benzénom, toluénom, xylénmi a ďalšími chemickými látkami, ktoré sa viažu na oblasť lepidiel a povrchových úprav rôznych materiálov: ako drevo, kovy, plasty, textílie, papier (Ružinská, 2012). VOC sú súčasťou



rozpúšťadiel, riedidiel, tvrdív, ktoré sú používané pri príprave mnohých stavebných a kompozitných drevných materiálov (Ružinská, 2009).

Príprava environmentálne akceptovateľných materiálov je v súčasnosti podmienená kvalitatívnymi kritériami, rovnako sa vyžadujú aj hygienické charakteristiky, v súlade s aktuálnymi legislatívnymi požiadavkami (Ružinská, 2009). Monitorovanie obsahu nebezpečných a rizikových látok je jedným z opatrení ako sledovať kvalitu pracovného i obytného prostredia v interakcii s materiálmi, použitými na vnútorné vybavenie sledovaných priestorov. Ďalšou alternatívou je nový prístup k príprave materiálov, využívajúcich rizikové chemické látky, kde by sa mali recipročne nahrádzať problémové chemické látky vhodnejšími látkami, nevykazujúcimi nepriaznivé toxikologické pôsobenie na človeka. ((Ružinská, 2009, 2010b).

Cieľom príspevku je sumarizovať existujúce spôsoby detekcie a metódy hodnotenia nebezpečných a rizikových látok v technológiách prípravy drevných materiálov s výskytom najpočetnejšej skupiny polutantov VOC pre návrh účinných ekotechnických spôsobov ich redukcie, resp. eliminácie.

2. METÓDY DETEKcie NEBEZPEČNÝCH A RIZIKOVÝCH LÁTOK

Pri kvantitatívnom a kvalitatívnom analytickom stanovení rizikových látok zo skupiny prchavých organických zlúčenín - VOC sa využívajú nasledovné metódy (Vejvoda a kol. 2003) :

- *plynová chromatografia – GC (Obr. 1, 2),*
- *plynová chromatografia s chemickou derivatizáciou,*
- *plynová chromatografia s následnou detekciou hmotnostnou spektroskopiou GC + MS,*
- *vysokoučinná kvapalinová chromatografia (HPLC),*
- *špecifické analýzy: pri stanovení jednotlivých VOC možno použiť priame a nepriame spektroskopické techniky, napr. stanovenie formaldehydu a ostatných aldehydov.*

Priame metódy:

- *DOAS (diferenčná optická absorpčná spektroskopia),*
- *FTIR (infračervená spektroskopia s Fourierovou transformáciou),*
- *LFIS (laserom indukovaná fluorescenčná spektroskopia),*
- *TDLAS (absorpčná spektroskopia s laditeľným diódovým laserom).*

Nepriame metódy:

- *spektroskopické metódy s rôznou vyhodnocovacou technikou v závislosti od účinnosti záchytu analyzovanej látky: využití prítomnosti kyseliny chromotropovej, ďalej pararosanilínu, 3-metyl-2,3-benzotiazol-2-ón-hydrazón-hydrochloridu (MBTH.HCl),*
- *fluorimetrické metódy,*
- *chemiluminiscenčné metódy,*
- *kapilárna elektroforéza.*

Pri kvantitatívnom stanovení obsahu prchavých organických zlúčenín sa využívajú metódy:

- *kontinuálne,*
- *jednorázové.*



Meranie emisií VOC sa uskutočňuje za účelom nepretržitého sledovania dodržiavania technologickej bezpečnosti vo výrobných procesoch, v ktorých sa aplikujú alebo tvoria prchavé organické zlúčeniny.

Merania sú realizované pomocou **analyzátorov s plameňovoionizačnou detekciou (FID)**, prípadne s použitím **fotoionizačných detektorov (PID)** v rôzne konštruovaných technických zariadeniach na monitorovanie VOC, líšiacimi sa výstupmi nameraných dát, určenými buď pre prevádzkovateľov a orgánov SIŽP (na veľkých zdrojoch znečistenia VOC) – autorizované merania, alebo sú to technické merania pre potreby samotných prevádzkovateľov.

FID analyzátor (Obr. 3) je univerzálne použiteľný detektor, ktorý detekuje takmer všetky organické zlúčeniny. Nedetekujú sa neoxidovateľné zlúčeniny, a slabo sa detekujú zlúčeniny, ktoré obsahujú veľa halogénov. Signál FID je v prvom priblížení úmerný množstvu uhlíka ktoré tečie cez plameň. Pre získanie optimálnej citlivosti je potrebné nastaviť prietoky nosného plynu, vzduchu a vodíka, pričom najdôležitejšie je správne množstvo vodíka. Typické prietoky sú 20 až 50 mL H₂ za minútu a 300 až 500 mL vzduchu za minútu.

Citlivosť FID je porovnateľná s citlivosťou väčšiny selektívnych detektorov, preto je vhodný pre stopovú environmentálnu analýzu rizikových a nebezpečných látok. Zbytková vzorková matica často ruší, preto použitie FID je vhodné iba pre jednoduchšie matrice, napr. pri headspace analýze alebo po dôkladnom prečistení vzorky (Vejvoda a kol., 2003).

FID je v súčasnosti najpoužívanejší detektor pre meranie koncentrácií rizikových látok v ovzduší. Vďaka zložitým procesom ionizácie má FID rôznu citlivosť na rôzne uhľovodíky, všeobecne môžeme povedať, že detektor je tým citlivejší, čím je väčší počet uhlíkov v molekule detekovanej zlúčeniny – v rámci indikovanej skupiny VOC.

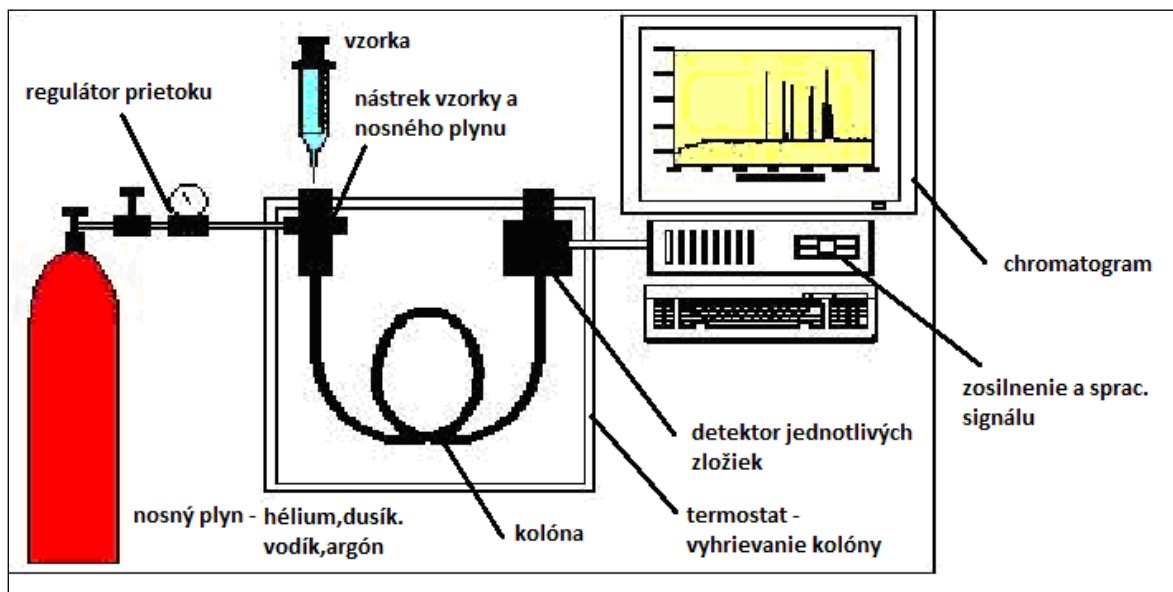
Výhodou PID analyzátora (Obr. 4) je, že pre svoju funkciu nepotrebuje žiadne ďalšie pomocné plyny, ako je to pri FID. Používa sa v prenosných systémoch pre meranie nízkych koncentrácií organických látok v ovzduší s meracím rozsahom 0,1 až 2 000 ppm to znamená na hranici hygienických limitov. Nereaguje na metán a využíva sa pri kontrole čistoty ovzdušia a monitorovaní rizikových a nebezpečných látok nielen zo skupiny VOC ale aj POP, najmä PCB. Je inštalovaný v zariadeniach generujúcich vznik týchto polutantov pre ochranu pracovníkov (prevádzky povrchových úprav) a pri kontrole úniku nebezpečných látok, ako aj monitorovaní kvality ovzdušia vo vnútri budov.



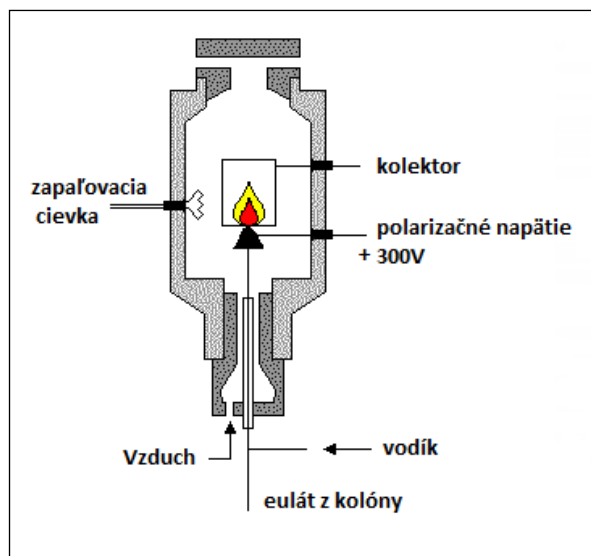
Obr. 1 GC – plynový chromatograf



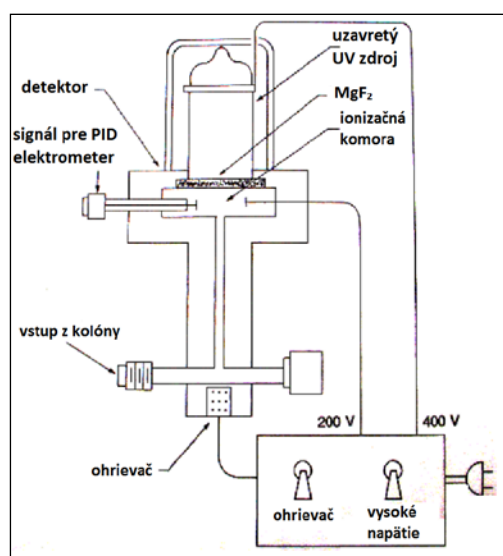
Obr. 2 Prevádzkový analyzátor Σ VOC



Obr. 3 Schéma činnosti plynového chromatografu s detekciou a chromatogramom



Obr. 4 FID – Plameňový ionizačný detektor



Obr. 5 PID – Fotoionizačný detektor

V drevospracujúcom priemysle sa využíva aj kvantitatívne vyhodnocovanie obsahu VOC pomocou prenosných meracích prístrojov, ktoré nešpecifikujú kvalitatívne individuálne chemické zlúčeniny, kategorizované do skupiny VOC. Tieto prístroje sú určené na jednorazové a kontinuálne meranie obsahu VOC, napr. z odpadových plynov vznikajúcich v priemyselných technológiách (v chemickom, hutníckom a petrochemickom priemysle, v energetike, doprave, pri výrobe náterových látok, v lakovniach, pri laminácii textilu, papiera, pri výrobe tukov, spracovaní kaučukov, v spaľovniach) a sú určené predovšetkým



na kontrolu kvality životného prostredia pre veľkých znečisťovateľov (Obr. 2) – prevádzkový analyzátor celkových prchavých organických látok Σ VOC.

Detekcia nebezpečných chemických látok, generovaných rôznymi priemyselnými technológiami a činnosťami, ktoré produkujú rizikové látky je podmienená časovým sledom ich monitorovania.

Pred samotnou detekciou nebezpečných chemických látok je potrebné zvoliť vhodné spôsoby odberu rizikovej látky z ovzdušia a vybrať vhodnú indikačnú metódu. V praxi sa využívajú najmä extraktívne analytické metódy pre odber rizikových látok z ovzdušia.

Extraktívne metódy analýzy, tj. metódy založené na odberu vzoriek, sú z objektívnych dôvodov v praxi najrozšírenejšie a v prípade použitia manuálnych metód analýzy preferované.

Hodnotenie hygienických charakteristík drevných materiálov v procese ich povrchových úprav s využitím plynovej chromatografie v spojení s hmotnostnou spektroskopiou bolo publikované v príspevku z predchádzajúceho ročníka seminára „Nové trendy v technike ochrany ovzdušia 2011“ (Ružinská a Jabłoński, 2011).

3. HODNOTENIE HYGIENICKÝCH CHARAKTERISTÍK DREVNÝCH MATERIÁLOV

V technológiách prípravy drevných materiálov, najmä aglomerovaných je dôležitým parametrom okrem kvalitatívnych vlastností aj splnenie hygienických charakteristík. Tieto sú posudzované vo vzťahu k emisiiám voľného formaldehydu z vyhotovených drevotrieskových dosiek (DTD) lepených polykondenzačnými lepidlami na báze UF a PF živíc.

Pre prípravu environmentálne akceptovateľných materiálov boli pripravené v laboratórnych podmienkach alternatívne DTD, kde boli problematické UF, resp. PF živice nahradzané modifikovanými produktami – sulfátovými výluhmi vznikajúcimi pri výrobe buničiny, kde bol využitý potenciál lignínu ako adhezívum s porovnateľnými lepiacimi účinkami ako komerčné živice. Príprava a hodnotenie vybraných vlastností perspektívnych DTD s aplikáciou týchto živíc bolo publikované (Ružinská a Jablonski, 2012; Ružinská, 2010b).

Laboratórne pripravené aglomerované materiály – DTD bola hodnotené pomocou tzv. perforátorovej metódy (FESYP). Perforátorová metóda (podľa STN EN 120) je založená na extrakcii formaldehydu z malých vzoriek drevotrieskových dosiek horúcou kvapalinou (toluénom), pričom formaldehyd sa stanovuje v roztoku jodometricky v (%) alebo v (mg na 100 g a. s. DTD).

Priebeh analýzy zahŕňa nasledovné operácie:

- príprava skúšobných telies,
- príprava aparatury – perforátorov,
- stanovenie obsahu sušiny,
- perforácia,
- stanovenie obsahu formaldehydu (spektrofotometricky),
- regenerácia toluénu.



Stanovenie tzv. perforátorové čísla je nasledovné:

$$PN = \frac{(A_s - A_b) \cdot f \cdot (100 + H) \cdot V}{m_h} \quad (1)$$

PN - perforátorové číslo (mg formaldehydu /100 g absolutne suchých DTD),

A_s - extinkcia analyzovaného extrakčného roztoku ,

A_b - extintinkcia demineralizovanej vody,

f - faktor kalibračnej funkcie (mg/ml),

H - obsah vlhkosti DTD (%),

V - kalibrovaný objem reagenčného roztoku (200 ml),

m_h - hmotnosť skúšobných telies (g).

Tab.1 Hodnotenie emisií voľného formaldehydu perforátorovou metódou z experimentálne pripravených DTD

Variant	Zmesové adhezíva v DTD	Obsah vlhkosti (%)	Perforátorové číslo (mg CH ₂ O*/100 g a. s.**)	
			A	B
0 (R)	PF adhezíva - komerčné	7,76	4,9	4,6
I.	PF adhezíva + pôvodný sulfátový výluh (20 % hm.)	7,84	4,1	4,0
II.	PF adhezíva + metylovaný výluh (20%hm.)	8,12	4,5	4,4
III.	PF adhezíva + acidifikovaný výluh (20 % w.)	8,05	3,2	2,9

Poznámky: CH₂O* - formaldehyd, ** - absolútne suché DTD – výpočet podľa rovnice (1)

Z vyhodnotených výsledkov v Tab. 1 je zrejmé, že všetky navrhnuté varianty experimentálne pripravených drevotrieskových dosiek splnili požiadavky na max. prípustný limit obsahu emisií voľného formaldehydu pre emisnú triedu E0 (perforátorové číslo v rozsahu 4-6 mg CH₂O*/100 g absolútne suchých DTD). Referenčná vzorka – drevotriesková doska s aplikáciou čistej, neupravenej PF živice zaznamenala najväčší obsah emisií hodnoteného polutanta.

Najvhodnejším variantom pre ďalšie uplatnenie pre prax sa javí príprava DTD s aplikáciou acidifikovaného sulfátového výluhu (variant C). Veľmi interesantné výsledky boli zaznamenané aj pri variante I. – DTD s použitím pôvodného, neupraveného sulfátového výluhu.

Vzájomnou komparáciou skúšobných telies variantov A (okamžité stanovenie) a variantu B (hodnotenie emisií formaldehydu z DTD perforátorovou metódou po 14 dňovej klimatizácii) vyplynulo mierne zníženie obsahu uvedeného polutanta, čím sa potvrdilo, že pri PF živiciach dochádza k najväčšej expozícii formaldehydu (polutant zo skupiny VOC) do 28 dní od prípravy drevných materiálov, lepených touto polykondenzačnou zmesovou živcou.



4. ZÁVER

Cieľom príspevku bola prezentácia a sumarizácia existujúcich spôsobov detekcie a metódy hodnotenia nebezpečných a rizikových látok v technológiách prípravy drevných materiálov s výskytom najpočetnejšej skupiny polutantov VOC pre návrh účinných ekotechnických spôsobov ich redukcie, resp. eliminácie. Príspevok prináša aj publikované výsledky výskumu v predmetnej oblasti, ktoré sú využiteľné v edukačnom procese vo výučbe predmetov Analýza prostredia v procesoch, Aplikovaná chémia, Priemyselné technológie, Monitoring životného prostredia a ďalších.

LITERATÚRA

ELENIČOVÁ, Z.: 2005. *Inventarizácia emisií NM VOC*. SHMÚ Bratislava. Záverečná správa.

NEUPAUEROVÁ, A.: 2008. Vplyv fyzikálnych faktorov vnútorného vzduchu na koncentráciu formaldehydu v budovách. In: *Acta Facultatis Technicae*, Roč. 12, 2008, č.1, s. 127–134. ISSN 1336-4472.

RUŽINSKÁ, E.: 2009. Hodnotenie emisií vybraných prchavých organických zlúčenín (VOCs) z drevárskych výrobkov. In: *Medzinárodný seminár "Nové trendy v technike ochrany ovzdušia"* Zvolen (CD), s. 75 - 81, ISBN 978-80-228-2003-5.

RUŽINSKÁ, E.: 2010a. Detekcia emisií rizikových látok (VOC) v oblasti environmentálneho technického vzdelávania. In: *Trendy ve vzdelávání – Informační technologie a technické vzdelávání 2010*. UP PdF, KTIV Olomouc, 6s. CD.

RUŽINSKÁ, E., DANIHELOVÁ, A.: 2010b. Modification of lignins from kraft black liquors for preparation of perspective wood composite materials. Karentovaný zahraničný časopis *Chemické listy*, roč. 2010, číslo 104, 511-536. Sekcia 5: 5P-40, (p. 529-530). ISSN 0009-2770

RUŽINSKÁ, E.: 2011. Transfer výsledkov výskumu ekotechnických spôsobov redukcie rizikových látok pre inovatívne technické vzdelávanie. In: *26. medzinárodná vedecko-odborná konferencia "Technické vzdelávanie ako súčasť všeobecného vzdelávania"*. UMB Banská Bystrica, 2011, 6 s.

RUŽINSKÁ, E., JABŁOŃSKI, M.: 2011. Ekotechnické spôsoby redukcie rizikových látok v procesoch povrchových úprav materiálov. In: *Medzinárodný seminár "Nové trendy v technike ochrany ovzdušia" 2011*, Zvolen (CD), s. 80-98, ISBN 978-80-228-2003-5. ISBN 978-80-228-2277-0.

RUŽINSKÁ, E., MAMIŃSKI, DANIHELOVÁ, A., JABŁOŃSKI, M.: 2012. Sulphate black liquor derived lignin as a perspective raw material for composites. Chapter VI. Zahraničná vedecká monografia: *Raw materials and particleboards – a current status and perspectives*, Vydav. WULS – SGGW Press, University of Life Sciences, Warsaw, 111s. ISBN 978-83-7583-389-8.

SMERNICA EP a Rady 2004/42/ES – o obmedzení emisií VOC unikajúcich pri používaní organických rozpúšťadiel v určitých farbách a lakoch a vo výrobkoch na povrchovú úpravu vozidiel a o zmene a doplnení smernice 1999/12/EC



VEJVODA, J., MACHAČ, P., BURYAN, P.: 2003. Technologie ochrany ovzduší a čištění odpadních plynů. *Učebné texty*. Vyd. VŠCHT Praha. 226 s. ISBN 80-7080-517-X.

*Problematika príspevku je riešená v rámci grantového projektu KEGA č. 023 TUZ-4/2012:
„Rizikové látky v environmentálnej technike“.*

Kontaktná adresa:

Ing. Eva Ružinská, PhD., Katedra environmentálnej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Technická univerzita vo Zvolene, Študentská 26, 960 53 Zvolen, e-mail: ruzinskae@tuzvo.sk

Mgr. inż. Marek Jabłoński, Faculty of Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Nowoursynowska 139 st., 07 776 Warsaw, Poland, e-mail: marek_jablonski@sggw.pl

Lektoroval: *doc. Ing. Černecký Jozef, CSc.*



IMISIE PEVNÝCH ČASTÍC V MESTSKOM PROSTREDÍ

IMMISSIONS OF PARTICULATE MATTER IN URBAN AREA

Dušan JANDAČKA

ABSTRACT: Emissions of particulate matter from different sources create a very complex mixture in the air both in qualitative and quantitative terms. Their composition is the result of distribution of the sources in space and time, their size and characteristics of the pollutants on one side, and meteorological and climatic conditions on the other. Dustiness represents a big problem in department of air pollution in the surrounding of highways. Dust air pollution is marked mainly in cities with heavy street pattern and heavy traffic. A mass of dust particles includes particles from different sources, with different dimensions, and different chemical composition in the air. Each characteristic of particulate matter – PM predestines their time of abidance in ambient air, their ability of long-distance transport and especially their toxicity for environment – health of population.

Key words: particulate matter, road, road traffic, air pollution, PM₁₀

ABSTRAKT: Emisie pevných častíc z jednotlivých zdrojov v ovzduší vytvárajú veľmi zložitú zmes z hľadiska kvalitatívneho aj kvantitatívneho. Ich zloženie je výsledkom časovej a priestorovej distribúcie zdrojov, ich veľkosti a vlastností daných polutantov na jednej strane a meteorologických a klimatických podmienok danej oblasti na strane druhej. Prašnosť v okolí cestných komunikácií predstavuje veľký problém v oblasti znečistenia ovzdušia. Znečistenie ovzdušia prachom je badateľné hlavne v mestách, s hustou sieťou mestských komunikácií a veľkou intenzitou dopravy. Masa prachových častíc v ovzduší zahŕňa častice rôzneho pôvodu, rôznych veľkostí, s rôznym chemickým zložením. Jednotlivé charakteristiky pevných častíc predurčujú ich dobu zotrvania v ovzduší, ich schopnosť diaľkového prenosu a hlavne ich škodlivosť pre životné prostredie – zdravie obyvateľstva.

Kľúčové slová: pevné častice, cestná komunikácia, cestná doprava, znečistenie ovzdušia, PM₁₀

1. ÚVOD

Správanie sa pevných častíc v ovzduší je zaujímavý proces a nie sú ovplyvnené len ich zdrojmi. Jedným z hlavných zdrojov pevných častíc je práve cestná doprava, ktorá produkuje pevné častice hlavne v mestskom prostredí. Pevné častice v ovzduší sú vystavené rôznym vplyvom, ktoré môžu znížiť ich koncentráciu alebo naopak.

Práve meteorologické a klimatické podmienky veľmi ovplyvňujú koncentráciu pevných častíc v ovzduší [1]. Síce cestná doprava je primárnym zdrojom pevných častíc pochádzajúcich zo spaľovacích alebo nespäľovacích procesov na danom meracom stavisku v mestskom prostredí, ich koncentrácia v ovzduší nemusí byť na prvý pohľad priamo závislá od jej intenzity.

Zistiť, ktorý faktor, či už to je cestná doprava alebo niektoré klimatické podmienky, má výrazný vplyv na imisie pevných častíc v ovzduší, je cieľom tohto príspevku.

2. MERANIE PEVNÝCH ČASTÍC

Merania pevných častíc (PM) sú uskutočňované pri mestskej komunikácii v Žiline pravidelne 4-krát do roka. Tieto merania sú súčasťou doktorandského výskumu, ktorý je zameraný na oblasť vplyvu cestnej dopravy na výskyt tuhých častíc. Cieľom je dlhodobé sledovanie pomerného zastúpenia pevných častíc v ovzduší a ich správanie sa vzhľadom na okolité podmienky. V druhej fáze sledovania sa realizuje chemický rozbor pevných častíc a stanovenie ich možného zdroja.



Meracie stanovište v Žiline je umiestnené na ulici Vojtecha Spanyola pri Regionálnom úrade verejného zdravotníctva (RUVZ). Pre zisťovanie množstva pevných častíc v ovzduší je používaná referenčná metóda podľa STN EN 12341 [2] a STN EN 14907 [3]. Na meranie sú používané nízko objemové prietokové vzorkovače LECKEL LVS3 v počte 3 kusy. Súbežne sú merané tri frakcie pevných častíc PM_{10} , $PM_{2,5}$ a $PM_{1,0}$. Pevné častice sú zachytávané na nitrocelulózové filtre priemeru 47 mm a gravimetricky vyhodnocované.



Obr. 1 Meracie stanovište – Žilina, mesto (RUVZ)



Obr. 2 Radarové sčítacie zariadenie SIERZEGA SR4 (vľavo)
a meteorologická stanica WS 888 (vpravo).

Intenzita dopravy sa zaznamenáva kontinuálne automatickým detektorom pre sčítanie dopravy SIERZEGA SR4. Zároveň sa kontinuálne sledujú aj meteorologické podmienky (teplota, vlhkosť ovzdušia, množstvo zrážok a rýchlosť vetra) meteostanicou WS888 (Obr. 2).

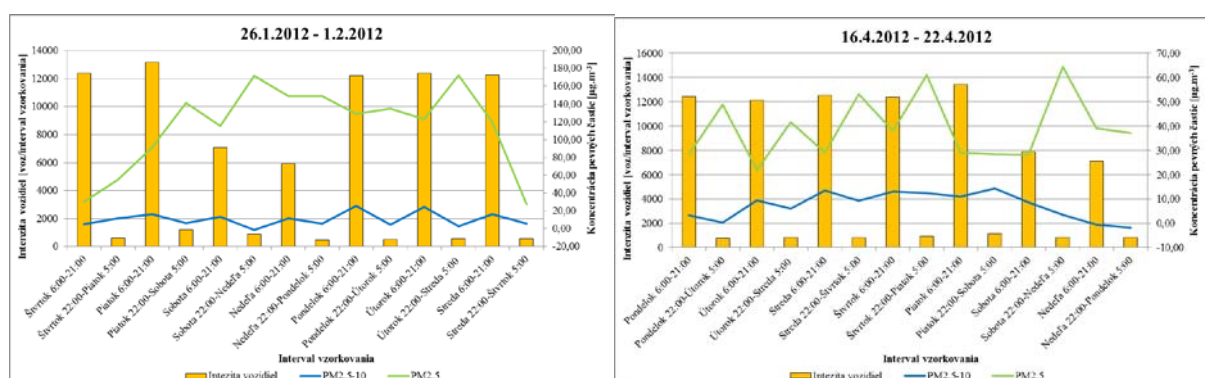
Monitorovanie ovzdušia pozdĺž komunikácie prebieha v týždenných cykloch. Filtre v zariadeniach sú menené dvakrát za 24 hodín, pre denný merací interval od 6:00 do 22:00 h a nočný merací interval od 22:00 do 6:00 h.



3. ZMENA KONCENTRÁCIÍ PM A JEJ PRÍČINY

Frakcia PM_{10} je tvorená v priemere 70 – 90 % jemnou frakciou $PM_{2,5}$. Preto je aj najviac ovplyvnená touto zložkou. Pri skúmaní zmien koncentrácií PM, boli PM_{10} rozdelené práve na túto jemnú frakciu $PM_{2,5}$ a potom hrubú frakciu $PM_{2,5-10}$.

Na nasledujúcich grafoch (Obr. 3) možno názorne vidieť, že tieto dve frakcie sa správajú úplne inak. Jemná frakcia $PM_{2,5}$ je v nočných hodinách vyššia, ako počas dňa, kedy je intenzita dopravy oveľa vyššia ako v noci. Preto by sa predpokladalo, keďže doprava je hlavným zdrojom PM na danom stanovišti, že práve v noci budú koncentrácie PM nižšie. Nižšie koncentrácie v noci môžeme pozorovať práve pri frakcii $PM_{2,5-10}$, čo je hrubá zložka frakcie PM_{10} .



Obr. 3 Pribeh koncentrácií pevných častí jemnej a hrubej frakcie počas meracích intervalov noc a deň za obdobie január 2012 a apríl 2012

Na zmenu koncentrácií PM sme sa pozreli aj v širšom merítke, kde sme pozorovali priemerné koncentrácie počas meracieho cyklu a priemernú intenzitu dopravy.

Tabuľka 1 Klimatické dáta v meracích obdobiach, koncentrácie pevných častí a intenzita dopravy

PM	Priemerná koncentrácia PM za merací cyklus [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]						
	Október 2010	Marec 2011	Apríl 2011	Júl 2011	Október 2011	Január 2012	Apríl 2012
Klimatické podmienky počas meracieho cyklu	Priemerná teplota 6 °C, priemerná vlhkosť vzduchu 72 %, priemerná rýchlosť vetra 0,4 m/s, úhrn zrážok 0,00 mm	Priemerná teplota 5 °C, priemerná vlhkosť vzduchu 53 %, priemerná rýchlosť vetra 0,8 m/s, úhrn zrážok 0,00 mm	Priemerná teplota 7 °C, priemerná vlhkosť vzduchu 78 %, priemerná rýchlosť vetra 1 m/s, úhrn zrážok 2,00 mm	Priemerná teplota 23 °C, priemerná vlhkosť vzduchu 64 %, priemerná rýchlosť vetra 0,4 m/s, úhrn zrážok 0,00 mm	Priemerná teplota 5 °C, priemerná vlhkosť vzduchu 78 %, priemerná rýchlosť vetra 1 m/s, úhrn zrážok 1,10 mm	Priemerná teplota -8,4°C, priemerná vlhkosť vzduchu 72 %, priemerná rýchlosť vetra 0,1 m/s, úhrn zrážok 0,00 mm	Priemerná teplota 8,7°C, priemerná vlhkosť vzduchu 68 %, priemerná rýchlosť vetra 2,2 m/s, úhrn zrážok 0,03 mm
$PM_{2,5}$	35,71	54,31	23,82	24,87	27,48	112,58	36,29
$PM_{2,5-10}$	15,86	22,64	12,65	11,49	13,88	12,38	7,56
PM_{10}	51,57	76,95	36,47	36,36	41,36	124,96	43,85
Priemerná intenzita dopravy [voz./24 h]	12395	11875	11837	11681	11488	11450	11988



Ako je možné vidieť z predchádzajúcej tabuľky (Tab. 1), priemerná intenzita dopravy za merací cyklus je vo všetkých obdobiach podobná, rozdiely sú len v niekoľko sto vozidiel. Je teda zaujímavé, prečo sa koncentrácia PM_{10} mení, v niektorých prípadoch až trojnásobne. Preto boli dáta podrobené viacrozmernej regresnej analýze – krokovej doprednej, kde sa zahrnuli ako nezávislé premenné klimatické údaje a intenzita dopravy a ako závislá premenná vystupovala koncentrácia PM_{10} , $PM_{2,5-10}$ a $PM_{2,5}$. Z modelu boli postupne vylúčené nevýznamné premenné a nakoniec bol zostavený model len z menšieho počtu významných premenných.

Viacrozmerná lineárna regresia sa týka skupiny techník slúžiacich k štúdiu lineárnej závislosti medzi dvoma či viacerými premennými. Určuje odhady parametrov β v regresnom modeli

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i,1} + \beta_2 x_{i,2} + \dots + \beta_m x_{i,m} + \varepsilon_i, \quad (1)$$

kde x sú nezávislé premenné a y je závislá premenná. Index i označuje poradové číslo merania a β sú neznáme regresné parametre a b ich odhady o počte m . Absolútny člen β_0 je priesečník regresnej nadroviny s osou y . Odhady b_i sú smernice regresnej nadroviny zo smeru x_j a sú nazývané parciálne regresné parametre (alebo parciálne regresné koeficienty pre štandardizované premenné) [4].

Pre viacrozmernú regresnú analýzu boli použité priemerné dáta za 24 hodín, t. j. koncentrácie pevných častíc za 24 hodín, priemerné klimatické údaje za 24 hodín a tiež intenzita dopravy za 24 hodín.

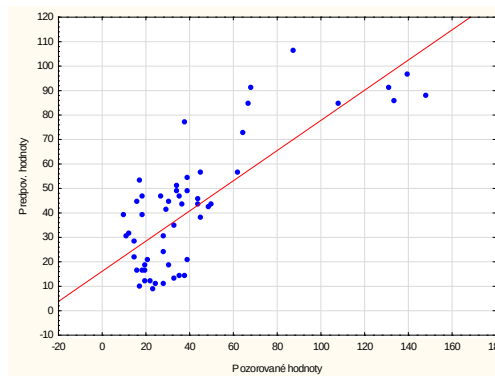
Výsledky viacrozmernej lineárnej regresie:

Významné premenné pre závislú premennú $PM_{2,5}$

1. Absolútny člen – $b=124,3018$, $p=0,000000$
2. Priemerná teplota – $b=-2,4731$, $p=0,000000$
3. Vlhkosť vzduchu – $b=-0,7558$, $p=0,009863$
4. Rýchlosť vetra – $b=-11,9789$, $p=0,002195$

Koeficient determinácie $R^2=0,6$.

Celkový model je štatisticky významný $p=0,000000$.



Obr. 4 Pozorované vs. Predpovedané hodnoty, závislá premenná $PM_{2,5}$

Pre jemnú frakciu $PM_{2,5}$ vyšli ako významné premenné teplota, vlhkosť vzduchu, rýchlosť vetra. Model charakterizuje 60 % pôvodného rozptylu dát, čo je celkom prijateľná hodnota.

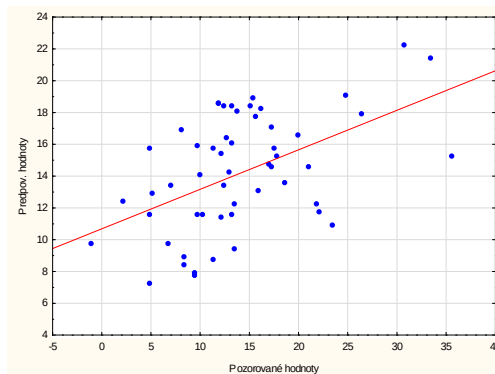


Významné premenné pre závislú premennú $PM_{2,5-10}$

1. Absolútny člen – $b=24,43125$, $p=0,000763$
2. Vlhkosť vzduchu – $b=-0,29260$, $p=0,000903$
3. Intenzita dopravy – $b=0,00084$, $p=0,020688$

Koeficient determinácie $R^2=0,22$.

Celkový model je štatisticky významný $p=0,000687$.



Obr. 5 Pozorované vs. Predpovedané hodnoty, závislá premenná $PM_{2,5-10}$

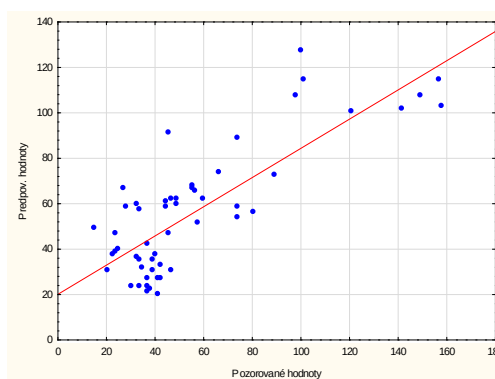
V prípade hrubej frakcie $PM_{2,5-10}$ vyšli významné premenné odlišné ako pri jemnej frakcii. V tomto prípade to boli vlhkosť a intenzita dopravy. Model charakterizuje síce iba 22 % pôvodného rozptylu dát, ale je stále významný.

Významné premenné pre závislú premennú PM_{10}

1. Absolútny člen – $b=162,0443$, $p=0,000000$
2. Priemerná teplota – $b=-2,5974$, $p=0,000000$
3. Vlhkosť vzduchu – $b=-1,0623$, $p=0,000547$
4. Rýchlosť vetra – $b=-13,7644$, $p=0,000656$

Koeficient determinácie $R^2=0,62$.

Celkový model je štatisticky významný $p=0,000000$.



Obr. 6 Pozorované vs. Predpovedané hodnoty, závislá premenná PM_{10}

Celková frakcia PM_{10} , ktorá zahŕňa jemnú aj hrubú frakciu, je podobne ako jemná frakcia charakterizovaná rovnakými významnými premennými, a to teplotou, vlhkosťou a rýchlosťou vetra. Model charakterizuje v tomto prípade 62 % pôvodného rozptylu dát.

Na obrázkoch (Obr. 4, 5, 6) možno vidieť závislosť pozorovaných a predikovaných hodnôt modelom. K zlepšeniu modelov by pomohlo rozšírenie počtu pôvodných nameraných údajov pre jednotlivé premenné, z ktorých boli modely zostavované.

4. DISKUSIA K DOSIAHNUTÝM VÝSLEDKOM

Intenzita dopravy počas rôznych ročných období (meracích cyklov) je relatívne rovnaká, počet vozidiel počas meracieho cyklu sa veľmi nemení. V tomto prípade by mal byť aj jej príspevok ku koncentrácii pevných častíc PM_{10} približne rovnaký. Ak sa teda koncentrácie PM_{10} výrazne menia v rámci meracích cyklov (marec 2011 $76,95 \mu g.m^{-3}$, júl 2011 $36,36 \mu g.m^{-3}$, január 2012 $124,96 \mu g.m^{-3}$), pokiaľ nie sú v bezprostrednej blízkosti iné zdroje pevných častíc ako cestná doprava, je to spôsobené skutočnosťou, že nie vo všetkých meracích prípadoch sú rovnaké meteorologické podmienky (rýchlosť vetra, zrážky, vlhkosť a teplota ovzdušia).



Z výsledkov regresnej analýzy, ktorá bola vykonaná na priemerných dátach za 24 hodín vyplynulo, že koncentrácie PM v ovzduší, sú ovplyvňované vo veľkej miere klimatickými podmienkami ovzdušia. Pri jemnej frakcii PM_{2,5} je to predovšetkým teplota ovzdušia, kedy pri nízkych teplotách (január 2012) môže dochádzať ku kondenzácii plyných škodlivín v ovzduší na jemný aerosól. Taktiež počas chladnejších období je horšie prevetrávanie okolitého ovzdušia, čo môže ovplyvniť zotrúvanie PM v okolí mestskej komunikácie. Hrubá frakcia PM_{2,5-10} je ovplyvňovaná hlavne vlhkosťou ovzdušia a dopravou. PM_{2,5-10} je počas dňa vírená dopravou a počas noci táto frakcia deponuje na okolitý terén. Celková frakcia PM₁₀ sa správa podobne ako jemná frakcia PM_{2,5}, čiže významne ju ovplyvňuje hlavne teplota. Je to z dôvodu, že frakcia PM₁₀ pozostáva zo 70-90 % z jemnej frakcie PM_{2,5}. Cestná doprava ako primárny zdroj pevných častíc produkuje tieto častice, ale klimatické podmienky natoľko ovplyvňujú ich koncentrácie v ovzduší, že nemožno zisťovať vplyv cestnej dopravy len na základe zmeny jej intenzity.

LITERATÚRA

- [1] ADAMEC, V. et. al.: Doprava, zdraví a životní prostředí. GradaPublishing, a. s., 176 s., Praha, 2008. ISBN 978-80-247-2156-9.
- [2] STN 12341: Ochrana ovzdušia. Určenie frakcie PM₁₀ poletujúcich častíc. Referenčná metóda a skúšobné postupy v teréne na dôkaz referenčnej rovnocennosti meracích metód.
- [3] STN EN 14907: Ochrana ovzdušia. Vonkajšie ovzdušie. Štandardná gravimetrická metóda merania na zisťovanie hmotnostnej frakcie PM_{2,5} suspendovaných častíc.
- [4] MELOUN, M., MILITKY, J.: Kompendium statistického zpracování dat. ACADEMIA. Praha 2006. 982 s. ISBN 80-200-1396-2.
- [5] DECKÝ, M., ĎURČANSKÁ, D.: Vplyv prevádzkovej spôsobilosti vozoviek na imisie od cestnej dopravy, Záverečná správa GÚ 1/0673/08

POĎAKOVANIE

Práca vznikla s podporou grantovej úlohy VEGA 1/0508/11 a vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt:
Centrum excelentnosti pre systémy a služby inteligentnej dopravy II., ITMS 26220120050
spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.
"Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ"



Agentúra
Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR
pre štrukturálne fondy EÚ

Kontaktná adresa:

Ing. Dušan Jandačka

Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta, Katedra cestného staviteľstva; e-mail: dusan.jandacka@fstav.uniza.sk.

Lektoroval: doc. Ing. Černecký Jozef, CSc.



PÄŤOTVOROVÁ GUĽOVÁ SONDA PRE MERANIE TLAKOVÝCH POMEROV V TECHNIKE OCHRANY OVZDUŠIA

THE FIVE-HOLE SPHERICAL PROBE FOR MEASUREMENT OF PRESSURES IN AIR PROTECTION TECHNOLOGY

Ján KONIAR – Zuzana BRODNIANSKÁ – Jozef ČERNECKÝ

ABSTRACT: This contribution deals with the possibility of using of the five-hole spherical probe for measurement of pressures in separators. A probe is used to measure the pressures and from there are determined directions and velocities in all three directions. The calibration process of five-hole spherical probe by calibration facility and traverse system is described in this contribution.

Key words: five-hole spherical probe, traverse system, calibration, pressure measurements

ABSTRAKT: Príspevok sa zaoberá možnosťou využitia päťotvorovej guľovej sondy pre meranie tlakových pomerov v odlučovacích zariadeniach. Sonda sa používa na meranie tlakov, z ktorých možno určiť smery a rýchlosti prúdenia vo všetkých troch smeroch. V príspevku je tiež popísaný postup kalibrácie päťotvorovej guľovej sondy pomocou kalibračnej trate a polohovacieho zariadenia.

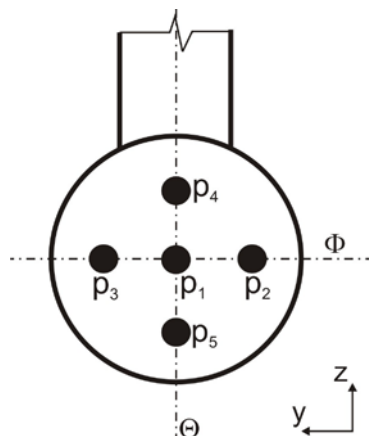
Kľúčové slová: päťotvorová guľová sonda, polohovacie zariadenie, kalibrácia, meranie tlakov

1. ÚVOD

Päťotvorová guľová sonda sa výhodne používa na určovanie rýchlostí v troch smeroch, avšak je náročná na kalibráciu v akceptovateľnom rozsahu uhlov natáčania. Pre kalibráciu sondy možno využiť polohovacie zariadenie, ktoré umožní natáčanie sondy vo vertikálnej aj horizontálnej rovine. Polohovacie zariadenie mení natočenie sondy pomocou dvoch otočných ramien s využitím krokových motorov. Pre ovládanie všetkých zariadení a pre načítanie údajov z prevodníka tlakov a ich prepočet na kalibračné koeficienty možno použiť napr. softvér Labview. Uvedeným spôsobom možno flexibilne meniť uhly natáčania. Guľovú sondu je výhodné použiť pri meraní tlakových pomerov v odlučovacích zariadeniach z dôvodu získania komplexných informácií o tlakových pomeroch a následne o rýchlostiach prúdenia vo všetkých troch smeroch (Plášek, 1996).

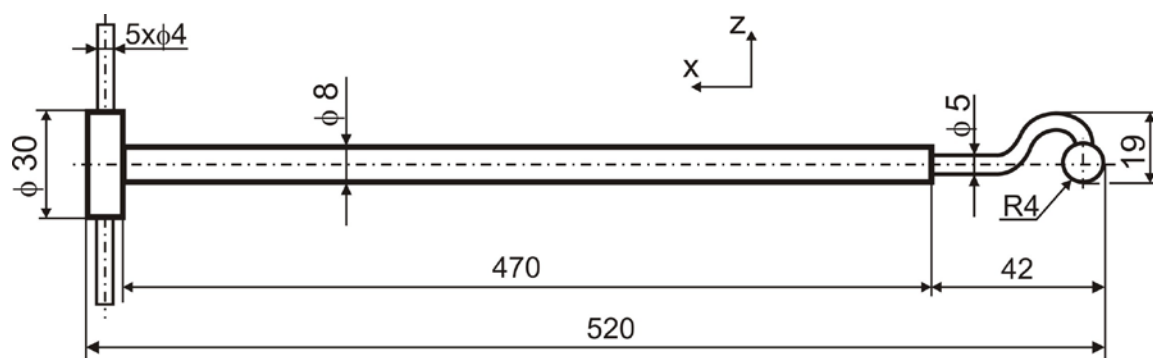
2. PÄŤOTVOROVÁ GUĽOVÁ SONDA PRE MERANIE TLAKOV V ODLUČOVACÍCH ZARIADENIACH

Viacotvorová guľová sonda sa používa na priestorové určovanie smeru a rýchlosti stacionárneho prúdenia na základe nameraných tlakov. Hlavnú časť sondy tvorí guľa s priemerom 8 mm s piatimi otvormi umiestnenými v dvoch na seba kolmých rovinách Θ a Φ . Uvedenými otvormi sú snímané tlaky p_1 až p_5 s následným vyvedením na diferenčné manometre, resp. tlakový prevodník na elektrický signál. Symetricky v rovine Φ sa nachádzajú otvory p_2 a p_3 pod uhlom $\pm 45^\circ$ vzhľadom k stredovému otvoru. V rovine Θ sa nachádzajú symetricky uložené otvory p_4 a p_5 , umiestnené pod uhlom $\pm 50^\circ$ vzhľadom k stredovému otvoru (Obrázok 1).



Obrázok 1 Päť meracích otvorov guľovej sondy

Geometrické rozmery päťotvorovej guľovej sondy sú naznačené na Obrázku 2. Celková dĺžka sondy je 520 mm a priemer gule s piatimi otvormi je 8 mm. Sonda má päť vývodov s priemerom 4 mm pre napojenie na mikromanometre, resp. tlakový prevodník.

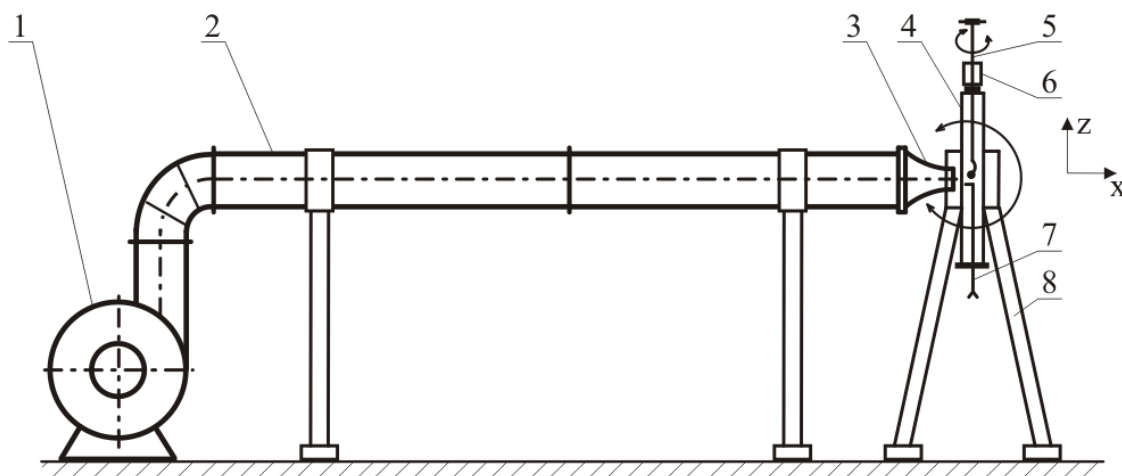


Obrázok 2 Geometrické rozmery viacotvorovej guľovej sondy

Pri meraniach tlakov pomocou guľovej sondy možno využiť dva režimy merania – *nulovací* a *nenulovací*. Pri nulovacom režime musí byť sonda natáčaná presne do prúdu, pričom na jej natáčanie treba použiť špeciálne polohovacie zariadenie. Príklad konštrukčného riešenia polohovacieho zariadenia je uvedený v kapitole 3.1 na Obrázku 6. Pri nenulovacom režime merania nie je potrebné natáčať sondu presne do prúdu, pričom celkový a statický tlak, rýchlosti a smer sú určené pomocou bezrozmerných kalibračných koeficientov.

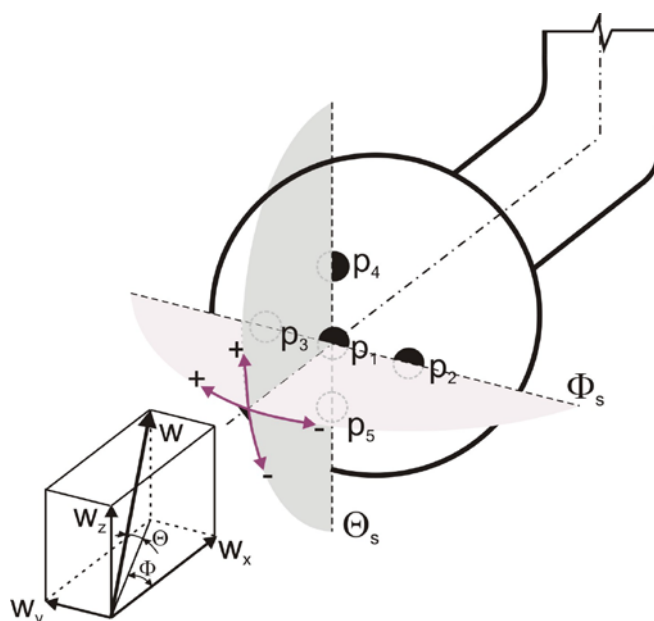
3. POSTUP KALIBRÁCIE PÄŤOTVOROVEJ GUĽOVEJ SONDY

Pre kalibráciu päťotvorovej guľovej sondy možno použiť kalibračnú trať (Obrázok 3) pozostávajúcu z ventilátora s motorom (1), potrubia (2), dýzy (3) a natáčacieho (polohovacieho) zariadenia (4). Množstvo vzduchu z ventilátora musí byť regulovateľné. Zmenou množstva vzduchu sa mení kalibračná rýchlosť prúdenia na výstupe z dýzy, kde sa nachádza guľová sonda (5) upevnená v polohovacom zariadení. Pre nastavenie kalibračnej rýchlosti možno použiť Prandtlovu sondu (7) umiestnenú v polohovacom zariadení. Zmenu polohy polohovacieho zariadenia zabezpečujú krokové motory (6).



Obrázok 3 Schéma kalibračnej trate s polohovacím zariadením a sondami
1 – ventilátor, 2 – potrubie, 3 – dýza, 4 – polohovacie zariadenie, 5 – päťotvorová guľová sonda, 6 – krokový motor, 7 – Prandtllova sonda, 8 – nosná konštrukcia

Pred kalibráciou musí byť päťotvorová guľová sonda najskôr ustavená do polohovacieho zariadenia tak, aby jej os vo vertikálnej rovine bola kolmá k prúdu a v horizontálnej rovine nastavená tak, aby tlaky p_2 a p_3 boli rovnaké (Obrázok 4). Kalibrácia sa vykonáva v požadovanom rozsahu uhlov natočenia (rovina Θ_s a Φ_s). Pri procese kalibrácie sú pre určitý uhol natočenia Θ_s pri rôznych uhloch natočenia Φ_s merané potrebné hodnoty (Morrison a kol., 1998).



Obrázok 4 Naznačenie uhlov natočenia, tlakov a rýchlostí päťotvorovej guľovej sondy
 $w_{x,y,z}$ – zložky rýchlosti, Θ_s – vertikálne natočenie sondy, Φ_s – horizontálne natočenie sondy,
 Θ – vertikálny smer prúdu, Φ – horizontálny smer prúdu



Kalibrácia guľovej sondy môže prebiehať v tzv. nenulovacom režime merania, pričom kalibračné koeficienty pre statický a celkový tlak, pre rovinu Φ a Θ možno vypočítať podľa nasledujúcich vzťahov. Kalibračný koeficient pre statický tlak (Polanský a Štěch, 2012):

$$C_p^{STAT} = \frac{p_1 - p_s}{p_1 - p} \quad (1)$$

Kalibračný koeficient pre rovinu Φ :

$$C_p^{\Phi} = \frac{p_2 - p_3}{p_1 - p} \quad (2)$$

Kalibračný koeficient pre rovinu Θ :

$$C_p^{\Theta} = \frac{p_4 - p_5}{p_1 - p} \quad (3)$$

Kalibračný koeficient pre celkový tlak:

$$C_p^{CELK} = \frac{p_1 - p_c}{p_1 - p} \quad (4)$$

kde,

$$p = \frac{1}{4} \cdot (p_2 + p_3 + p_4 + p_5) \quad (5)$$

Po vykonaní kalibrácie získame kalibračné koeficienty, s ktorými uvažujeme pri výpočte statického a celkového tlaku podľa vzťahov (Polanský a Štěch, 2012):

$$p_s = p_1 - C_p^{STAT} \cdot (p_1 - p) \quad (6)$$

$$p_c = p_1 - C_p^{CELK} \cdot (p_1 - p) \quad (7)$$

Rýchlosť prúdenia potom možno určiť podľa vzťahu (Polanský a Štěch, 2012):

$$w = \sqrt{\frac{2 \cdot (p_c - p_s)}{\rho_{vz}}} \quad (8)$$



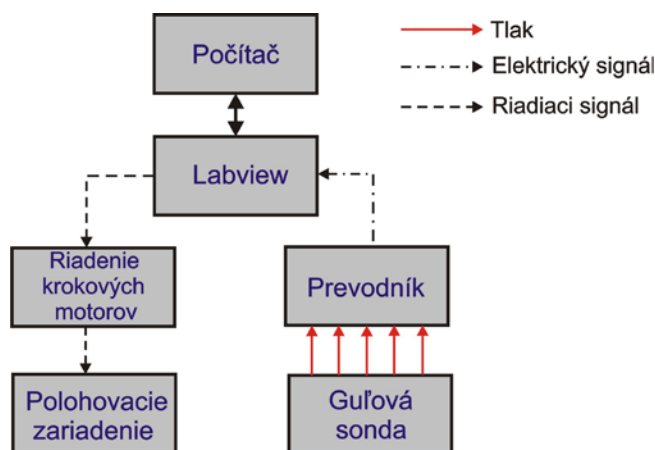
Zložky rýchlosti vo všetkých troch smeroch sa na základe kalibrácie určia podľa vzťahov (Polanský a Štěch, 2012):

$$w_x = w \cdot \cos \Theta \cdot \cos \Phi$$

$$w_y = w \cdot \cos \Theta \cdot \sin \Phi \quad (9)$$

$$w_z = w \cdot \sin \Theta$$

Pre zvýšenie presnosti merania možno aj pri nenulovacom režime sondu natáčať do prúdu, pričom výsledný uhol prúdu sa získa pripočítaním alebo odpočítaním vypočítaného uhla k uhlu natočenia sondy. Natáčanie sondy, a teda zmenu jej polohy, zabezpečujú dva krokové motory, ktoré pohybujú polohovacím zariadením v dvoch navzájom kolmých osiach (Φ a Θ). Získané tlakové signály sú vedené do prevodníka tlakov. Ďalšie spracovanie elektrického signálu, ako aj ovládanie polohovacieho zariadenia je realizované pomocou softvéru Labview (Obrázok 5).



Obrázok 5 Bloková schéma komponentov kalibrácie a merania

Päťotvorovou guľovou sondou možno určiť rýchlostný profil, ktorý sa zisťuje na základe merania rýchlosti v celom sledovanom priereze. Strednú rýchlosť prúdenia možno určiť najčastejšie graficko-výpočtovou metódou (Chudý a kol, 1999).

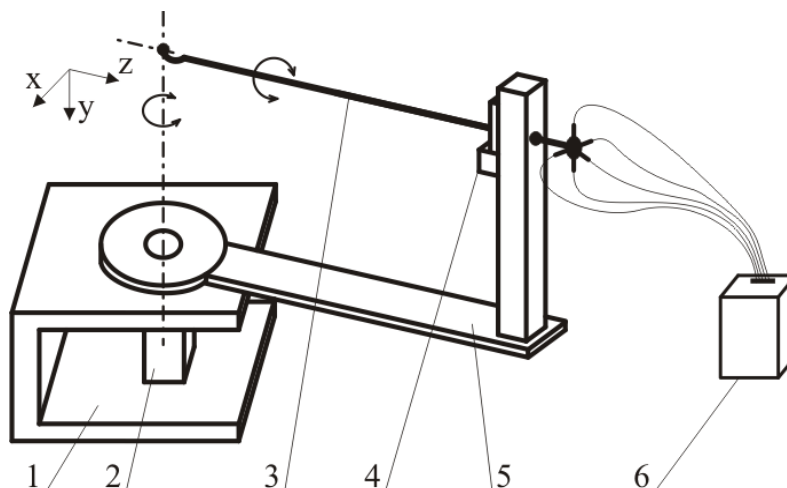
3.1 Polohovacie zariadenie

Na Obrázku 6 je schematicky znázornený príklad konštrukčného riešenia polohovacieho zariadenia.

Polohovacie zariadenie musí byť navrhnuté na konkrétny typ meraného odlučovacieho zariadenia tak, aby umožnilo natáčanie guľovej sondy v obidvoch rovinách (Φ a Θ) a dalo sa aplikovať na konkrétny typ odlučovača. Polohovacie zariadenie zvyčajne pozostáva z nosnej konštrukcie (1), na ktorej je pripevnený krokový motor (2) slúžiaci pre natáčanie ramena (5) v rovine Θ . Na otočnom ramene je upnutá guľová sonda (3). Otočné rameno natáča krokový motor (4) v rovine Φ . Získané tlakové signály sú napojené do tlakového prevodníka (6), ktorý ich prevedie na elektrický signál. Polohovacie zariadenie je nevyhnutné pri kalibrácii, ale



svoje uplatnenie nájde aj pri samotnom meraní tlakov v rôznych častiach odlučovacích zariadení využívaných v technike ochrany ovzdušia.



Obrázok 6 Schéma polohovacieho zariadenia

1 – nosná konštrukcia, 2 – krokový motor pre natáčanie v rovine Θ , 3 – päťotvorová guľová sonda, 4 – krokový motor pre natáčanie v rovine Φ , 5 – otočné rameno, 6 – tlakový prevodník

4. ZÁVER

Príspevok bol zameraný na prísun poznatkov v problematike merania tlakových pomerov pomocou päťotvorovej guľovej sondy. S vývojom moderných metód pre meranie rýchlosti prúdenia v odlučovacích zariadeniach súvisí aj pokrok v automatizácii meracieho procesu a následnom spracovaní nameraných údajov s využitím špeciálnych softvérov (napr. Labview). Problematiku merania tlakových pomerov s využitím päťotvorovej guľovej sondy možno výhodne aplikovať aj vo vyučovacom procese. Názornými ukážkami a experimentálnymi výstupmi sa vhodne obohatia teoretické poznatky o prúdení v odlučovacích zariadeniach.

LITERATÚRA

CHUDÝ, V. – PALENČÁR, R. – KUREKOVÁ, E. – HALAJ, M.: 1999. *Meranie technických veličín*. 1. vydanie. Bratislava: STU v Bratislave, 1999. 688 s. ISBN 80-227-1275-2.

MORRISON, G. L. – SCHOBELI, M. T. – PAPPU, K. R.: 1998. Five-hole pressure probe analysis technique. *Flow measurement and instrumentation*, 1998, 9, pp. 153 – 158. ISSN 0955-5986.

PLÁŠEK, J.: 1996. *Viacotvorová rýchlostná sonda merania prietoku*. In: Acta Facultatis Xylogiae XXXVIII, TU vo Zvolene, 1996/1, s. 197 – 204. ISBN 80-228-0504-1.

POLANSKÝ, J. – ŠTĚCH, J.: 2012. *Kalibrace Pětioťvorové sondy, Technická zpráva*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2012. 10 s.



*Príspevok je riešený v rámci grantového projektu KEGA MŠ SR č. 027TUZVO-4/2011
„Vizualizačné a meracie metódy pre hodnotenie efektívnych spôsobov prenosu tepla“*

Kontaktná adresa:

Ing. Ján Koniar, PhD., e-mail: koniar@tuzvo.sk

Ing. Zuzana Brodnianská, e-mail: xbrodnianskaz@tuzvo.sk

doc. Ing. Jozef Černecký, CSc., e-mail: cernecky@tuzvo.sk

Katedra environmentálnej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Technická univerzita vo Zvolene, Študentská 26, 960 53 Zvolen

Lektoroval: *Ing. Neupauerová Andrea, PhD.*



ANALÝZA ŠTRUKTÚRY A PARAMETROV PLAMEŇA METÓDOU HOLOGRAFICKEJ INTERFEROMETRIE

FLAME STRUCTURE AND PARAMETERS ANALYSIS BY HOLOGRAPHIC INTERFEROMETRY METHODS

Peter KOŠÍK – Iveta MARKOVÁ

ABSTRACT: Presented contribution concerns with utilization Holographic interferometry physical method in the flaming combustion analysis. Flaming combustion in laboratory conditions was created for a seven types of tested liquid chemical agents. Practical application document confirmed measurement accuracy of the Holographic interferometry method. Structure and parameters analysis process of tested flames agents were conditioned interferogram creation via holographic Mach-Zehnder interferometer. Subsequent obtaining of the focused interferogram picture, has analogically enable software processing and modification for the analysis process. After picture analysis accomplishment, determination of the number interference stripes, has followed final flame parameters computation of the tested chemical agents. Experimental methods and mathematical computations procedures have acquired parameters of the flame widths and refractive indexes in the separate sections of the flames. Acquired parameters have been calculated for the rotative symmetric transparent object. In the conclusion is contribution aimed for the text evaluation and graphic image of the experimental measures outcomes.

Key words: holographic interferometry, combustion, rotative symmetric transparent object, refractive index

ABSTRAKT: Predkladaný príspevok sa zaoberá použitím fyzikálnej metódy Holografickej interferometrie pre analýzu plamenného horenia. V laboratórnych podmienkach bolo vytvorené plamenné horenie siedmich druhov testovaných kvapalných chemických látok. Zdokumentovanie praktickej aplikácie potvrdilo presnosť meraní metódou Holografickej interferometrie. Proces analýzy štruktúry a parametrov plameňov testovaných látok bol podmienený vytvorením interferogramu plameňa prostredníctvom holografického Mach-Zehnderovho interferometra. Následné získanie zaostreného snímku interferogramu, analogicky umožnilo jeho softvérové spracovanie a úpravu pre proces analýzy. Po vykonaní analýzy snímku, zistením počtu interferenčných prúžkov, nasledoval konečný výpočet parametrov plameňa testovaných látok. Experimentálnymi metódami a matematickými výpočtami boli ako parametre získané šírky plameňov a indexy lomov v jednotlivých rezoch plameňov. Získané parametre boli počítané pre rotačne symetrický transparentný objekt. V závere je príspevok zameraný na textové vyhodnotenie a grafické zobrazenie výsledkov experimentálnych meraní.

Kľúčové slová: holografická interferometria, horenie, rotačne symetrický transparentný objekt, index lomu

1. ÚVOD

Niekedy vo všeobecnosti pôsobí názor, že v súčasnej dobe technickej vyspelosti už nie je mnoho priestoru pre nové metódy analýz a meraní. Znalosti o vlastnostiach lasera a ich využitia, však neustále ponúkajú príležitosti pre ďalšie experimentálne merania, alebo skvalitnenia meraní už existujúcich. Jednou zo stále sa rozvíjajúcich fyzikálnych metód s využitím vlastností lasera je Holografická interferometria. Metódy Holografickej interferometrie svojou presnosťou meraní a nadobudnutými výsledkami neustále rozširujú spektrum merateľných fyzikálnych dejov. Metódy takýmto spôsobom napomáhajú skvalitňovať, rozširovať a dopĺňať experimentálne metódy používané v laboratórnych podmienkach. Fyzikálno-chemický dej plamenného horenia je proces, ktorý stále ponúka príležitosti pre jeho definovanie a získavanie jeho parametrov. Použitím experimentálnych metód s využitím lasera pre plamenné horenie možno získať znalosti jeho tepelných účinkov, štruktúry alebo vlastností splodín horenia. Presnosť a správnosť výsledkov meraní je však



vždy podmienená výberom vhodnej metodológie experimentálnych meraní, optimálnych laboratórnych podmienok a kvalitnou technickou úrovňou meracej sústavy.

2. DIFÚZNE PLAMENE

Väčšina procesov horenia je sprevádzaná tvorbou plameňa v plynnej zmesi, a podľa spôsobu prípravy plynnej zmesi sa delia na dva typy. Ak sa horľavá látka (ako plyn alebo para) vopred - ešte pred začiatkom horenia - zmieša so vzduchom alebo kyslíkom, tak sa horľavá zmes nazýva homogénnou a plameň kinetický. Ak sa horľavá látka rozptýľuje do vzduchu alebo kyslíka a mieša sa s nimi v priebehu procesu horenia, tak sa plameň nazýva difúzny. Vzájomná difúzia medzi parami horľavých kvapalín (alebo horľavých plynov) a medzi parami alebo plynmi a vzduchom (kyslíkom) zohráva u difúzných plameňov dôležitú úlohu. V tomto prípade je difúziou určená rýchlosť horenia a tvar plameňa - (Kumagai, 1984).

3. HOLOGRAFICKÁ INTERFEROMETRIA

3.1 Metóda Holografickej interferometrie v reálnom čase

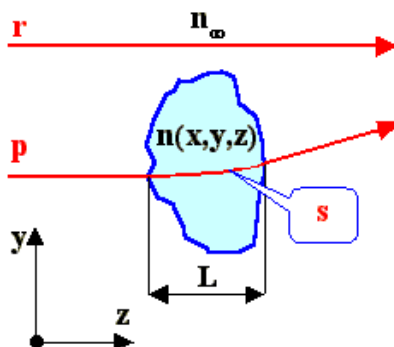
Metóda holografickej interferometrie v reálnom čase spočíva v tom, že časový interval, ktorý uplynul medzi interferujúcimi vlnoplochami možno ľubovoľne meniť v závislosti na zmene indexu lomu skúmaného prostredia a charaktere vznikajúceho interferenčného poľa. Niekedy býva táto metóda nazývaná metódou „živých prúžkov“. Zmeny interferenčného obrazu sú pozorovateľné v čase, keď tieto zmeny skutočne prebiehajú. Podstata metódy spočíva v tom, že na holograme sa zaznamená obraz interferencie objektovej a referenčnej vlny bez sledovanej nehomogenity pri transparentnom objekte (alebo medzi predmetovou vlnou odrazenou od objektu a referenčnou vlnou). Po fotochemickom spracovaní hologramu je predmet umiestnený do toho istého miesta, kde bol exponovaný. Ak dôjde v niektorom mieste k rozruchu, pri ktorom sa mení index lomu prostredia, napr. ak sa zmení hustota vzduchu v dôsledku zmeny teploty, (alebo ak dôjde k deformácii objektu vplyvom určitého vonkajšieho zaťaženia) pôvodná sústava interferenčných prúžkov (IP) sa v niektorých miestach deformuje - (Černecký, 2007).

3.2 Interferometria transparentných objektov

Transparentný objekt je priestorový útvar, ktorý umožňuje prechod žiareniu. Rýchlosť šírenia žiarenia v tomto objekte a tým tiež index lomu n je ale odlišný od okolitého prostredia a býva funkciou súradníc x, y, z . Pri prechode svetelných lúčov nehomogénnym TO s indexom lomu $n(x, y, z)$ (Obr. 1), dochádza v dôsledku rôznych rýchlostí šírenia lúča jednak k fázovému posuvu lúčov a jednak k ich zakrivovaniu. Zmena optickej dráhy predmetového lúča p voči referenčnému lúču r , ktorý prechádza prostredím s indexom lomu n_{∞} , je daná krivkovým integrálom (1) po dráhe lúča s .

$$\Delta o(x, y) = \int_s [n(x, y, z) - n_{\infty}] dz \quad (1)$$

Z rovnice je zrejmé, že zmena optickej dráhy je integrálnou veličinou, ktorá sa navyše mení po dráhe lúča, pričom dráha lúča je funkciou hľadaného rozloženia indexu lomu.

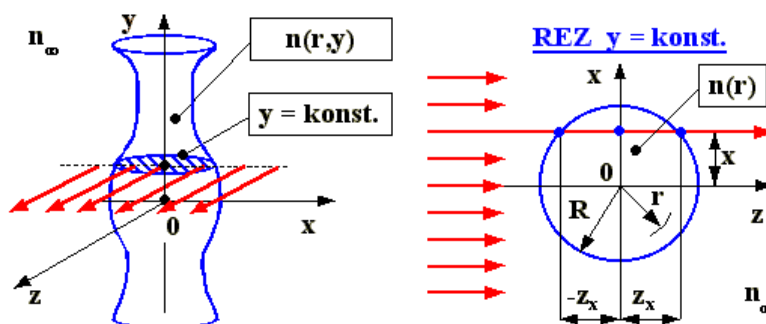


Obrázok 1 Šírenie lúčov trojrozmerným transparentným objektom

Interferometrické metódy pre výskum TO možno s výhodou použiť pre meranie rozloženia hustôt, teplôt, rýchlostí, koncentrácií a pod., ale tiež pre výskum prenosových javov, ako je prenos tepla, prenos látky či prenos hybnosti (Pavelek, 2007).

3.3 Vyhodnocovanie indexu lomu z interferogramov rotačne symetrických objektov

Grafické zobrazenie prechodu zväzku paralelných lúčov rotačne symetrickým transparentným objektom (RSTO) s indexom lomu $n(r,y)$, za predpokladu priamočiareho šírenia svetelných lúčov je znázornené na (Obr. 2). Vyhodnocovanie sa realizuje vždy v jednom reze $y = \text{konst.}$. A vyhodnotením sústavy rezov dostaneme rozloženie indexov lomu $n(r,y)$ v celom transparentnom objekte (Pavelek, 2007).



Obrázok 2 RSTO s osou rotácie y

Presné riešenie Abelovej integrálnej rovnice je dané vzťahom :

$$\Delta n(r) = -\frac{\lambda}{\pi} \int_r^R \Delta S'(x) \frac{l}{\sqrt{x^2 - r^2}} dx \quad (2)$$

kde $\Delta S'(x) = d\Delta S(x) / dx$ a pre $x \rightarrow (R, \infty)$ je $\Delta S(x) = 0$.

Hľadané rozloženie indexu lomu $n(r)$ v reze $y = \text{konst.}$ Môžeme počítať zo vzťahu :

$$n(r) = n_\infty + \Delta n(r) \quad (3)$$



kde n_{00} znamená index lomu okolitého prostredia. Index lomu vzduchu pri teplote 20°C, tlaku vzduchu 1013,25 hPa a pre vlnovú dĺžku $\lambda = 632,8$ nm je 1,0002716 (Pavelek, 2007).

4. EXPERIMENTÁLNE ZARIADENIE

Experimentálne merania boli realizované v špecializovanom laboratóriu, ktoré sa nachádza v priestoroch suterénu Katedry environmentálnej techniky. Hélium - neónový (HeNe) laser umiestnený v laboratóriu, vytvára spolu s ďalšími optickými prvkami a technickým vybavením zostavu rovnobežne obdĺžnikového holografického Mach-Zehnderovho interferometra (Obr. 3). Na vytvorenie interferogramu plameňa testovanej látky bol do zostavy experimentálneho zariadenia situovaný kahanec so stojanom.



Obrázok 3 Laboratórne usporiadanie experimentálneho zariadenia

5. EXPERIMENTÁLNE MERANIA

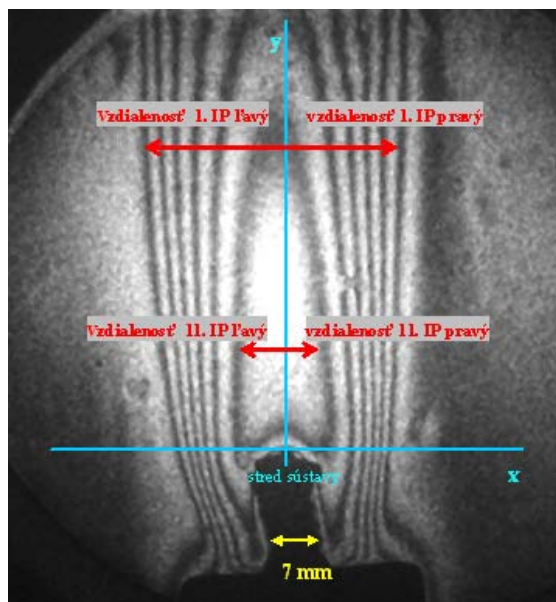
Podstatou experimentálneho merania (ďalej merania) bolo testovanie chemických látok Metanol, Etanol, Propanol, Butanol, ETBE, Benzín a Nafta (ďalej látok) vo fáze horenia a získanie snímok interferogramov ich plameňov. Pre zabezpečenie horenia látok a následné vytvorenie konštantných podmienok parametrov plameňov boli použité typizované laboratórne kahanec. Vytvorené interferogramy plameňov látok boli zobrazované na matnici meracieho systému a snímané kamerou (obr. 4).



Obrázok 4 Zobrazenie interferogramu na matnici

6. SPRACOVANIE A ANALÝZA INTERFEROGRAMOV

V procese analýzy interferogramov pre každú testovanú látku bolo vybratých päť najkvalitnejšie zaostrených snímok. Pri ich výbere bol zohľadňovaný aj parameter optimálnej rotačnej symetrickosti interferogramu plameňa. Prvotnou úpravou bol každý snímok prevedený do odtieňa čiernej a bielej farby, zmenená rotácia a nastavené parametre jasu a kontrastu. Takto upravený snímok bol pripravený k analýze v softvéri VIBRA. Interferenčné snímky boli analyzované v šiestich rezoch, každý samostatne naprieč vertikálnej osi y , pre $y = 3, 10, 20, 30, 40$ a 50 [mm] (Obr. 5).



Obrázok 5 Meranie vzdialeností IP interferenčnej snímky

Prvotnou analýzou bolo zistené, že interferogramy testovaných látok metanol, etanol, propanol a benzín majú 6 IP a látky butanol, ETBE a nafta majú 5 IP v smere od osi y .



V procese analýzy bol v prvom kroku nastavený na snímke stred sústavy na hrote knôtu a nastavená kalibračná jednotka na 7 mm podľa skutočnej šírky knôtu. Po kalibrácii bol kurzorom myši vyznačený rez, čiže úsečka naprieč snímkom pre každú hodnotu y . Namerané vzdialenosti IP interferogramov od stredovej osi y boli prepísané do tabuliek hodnôt, v ktorej boli prepočítané aritmetickým priemerom a zobrazené v grafickej podobe šírky plameňov a vzdialeností interferenčných rádov od stredovej osi y . Z dôvodu, že plameň testovanej látky nevykazoval parametre ideálneho rotačne symetrického objektu, bola vzdialenosť IP od osi y počítaná aritmetickým priemerom.

7. VÝPOČET INTERFERENČNÝCH RÁDOV A INDEXOV LOMU

Interferenčné prúžky boli označené celými kladnými číslami v smere od okolitého prostredia smerom ku stredmu plameňa. Okolité prostredie sa tiež označuje ako referenčné miesto (Pavelek, 2007). Referenčné miesto má hodnotu 0 a prvý tmavý prúžok má hodnotu 1, prvý svetlý prúžok má hodnotu 2, druhý tmavý prúžok má hodnotu 3. Analogickým postupom boli číslované IP po tmavý IP najbližšie k osi y .

Sumárna tabuľka aritmetických priemerov vzdialeností IP od osi y každej testovanej látky, automaticky vypočítala podľa vzťahu (4) hodnotu interferenčných rádov S .

$$S = \pm \frac{C}{2} \quad (4)$$

Vzdialenosti interferenčných rádov testovaných látok boli manuálne zadávané do súboru, ktorý vypočítal hodnoty zmeny indexov lomu $\Delta n(r)$. Súbor vykonával výpočet rovnice určitého integrálu podľa vzťahu (2) (kapitola 3.3).

Výpočet $\Delta n(r)$ bol pre každý IR počítaný numericky určitým integrálom v každom zo šiestich rezov interferogramu testovanej látky. Numerický výpočet $\Delta n(r)$ bol vytvorený v okne softvéru EXCEL obsahujúci súbor rovníc a vzťahov.

Vypočítané hodnoty $\Delta n(r)$ boli zadané do tabuliek podľa vzťahu (3) pre výpočet hodnôt indexov lomu $n(r)$ plameňov testovaných látok s dosadením hodnoty indexu lomu vzduchu $n(r) = 1,0002716 + \Delta n(r)$. Hodnoty $n(r)$ boli graficky zobrazené v čiarovom a stĺpcovom grafe. Všetky tabuľky pre zaznamenanie nameraných veličín, matematické výpočty zo vzorcov a grafické zobrazenia boli vytvorené v softvéri EXCEL.

8. ZÁVER

Využitie interakcie lasera s nehomogénnym transparentným prostredím metódou Holografickej interferometrie umožnilo zadefinovať základné parametre plamenného horenia v laboratórnych podmienkach. Zobrazenie izoterm plameňa vo forme interferenčných prúžkov poskytlo prvotné zobrazenie štruktúry plamenného horenia kvapalných chemických látok. Prvotné pozorovania umožnili diferencovať štruktúry plameňov podľa počtu interferenčných prúžkov plameňov. Postupným záznamom interferogramov, ich softvérovou analýzou, následnými matematickými výpočtami a konečným grafickým znázornením vypočítaných parametrov, bola spracovaná a predložená metodológia elementárnej analýzy plameňov jednotlivých testovaných kvapalných chemických látok. Grafická analýza vypočítaných parametrov šírky plameňov a indexov lomu v jednotlivých rezoch plameňov potvrdila vysokú citlivosť a presnosť Holografickej interferometrie. Použitá metóda živých



prúžkov počas meraní a záznamu interferogramov plameňov umožnila aj vizuálne pozorovať zmeny štruktúry a parametrov plameňov pri drobných otrasoch spôsobených pohybom osôb v budove, či prejazdom automobilov popri budove.

Využitie teoretických poznatkov analýzy rotačne symetrických transparentných objektov pre experimentálne merania, umožňujú následnú kontinuitu pre ďalší progres v oblasti Holografickej interferometrie. Experimentálna metóda predkladá jej ďalšie využitie nie len pre samotnú analýzu plamenného horenia v laboratórnych podmienkach, ale napríklad skúmanie zmeny teplotných polí plameňa pridávaním prímiesí do horľavín, skúmanie zmeny vlastností plameňa pri zmene oxidantu či vplyv hasiacich látok na plameň.

LITERATÚRA

KUMAGAI, S. 1984. *Hoření*. Praha: Československý svaz požární ochrany, 1984, 266 s.,

ČERNECKÝ, J. - PIVARČIOVÁ, E. 2007. *Possibilities and prospects of holography*, Izhevsk: Vydavatel'stvo Iževskej technickej univerzity, 2007, 104 s. ISBN 978-5-7526-0303-7

PAVELEK, M.- JANOTKOVÁ, E.- ŠTĚTINA, J. 2007. *Vizualizační a optické měřicí metody*. Dostupné na internete: <<http://ottp.fme.vutbr.cz/~pavelek/optika/>>

Kontaktná adresa:

Ing. Peter Košík, PhD., VU 3030 Zvolen

Lektoroval: Ing. Koniar Ján, PhD.



PROBLEMATIKA ZNEŠKODŇOVANIA ODPADOV SPAĽOVANÍM A JEJ DÔSLEDKY

PROBLEMS OF WASTE DISPOSAL BY COMBUSTION AND CONSEQUENCES

Juraj MIKLEŠ

ABSTRACT: The article describes the main technological aspects of combustion settled waste. Include the discussion for problems of waste disposal by combustion and emission limits for air pollution.

Key words: waste disposal, combustion, pollution

ABSTRAKT: Príspevok popisuje hlavné technologické aspekty spaľovania tuhých odpadov. Zahŕňa tiež diskusiu k problematike zneškodňovania odpadov spaľovaním a emisných limitov pre znečisťovanie ovzdušia.

Kľúčové slová: zneškodňovanie odpadov, spaľovanie, znečistenie

1. ÚVOD

Medzi súčasné priority v oblasti spracovania a zneškodňovania odpadov patria najmä procesy termického zneškodňovania, vyznačujúce sa oproti ostatným spôsobom, ktoré pre zneškodňovanie, mnohými výhodami, medzi ktoré patrí predovšetkým výrazné zníženie objemu odpadov a sterilnosť zbytkov po spaľovaní, rýchlosť procesu zneškodnenia a tiež zisk tepelnej energie. Využitie tejto tepelnej energie je možné pre priemyselné alebo verejné účely. K nevýhodám patria možné emisie škodlivín v plynných produktoch termického zneškodňovania odpadov a zvyšujúce sa investičné náklady na realizáciu týchto termických zariadení, vybavených účinným systémom čistenia spalín.

Trendom v EU pre nasledujúcich 10 rokov je ďalšie obmedzovanie priameho ukladania odpadov na skládky a zameranie predovšetkým na materiálové, prípadne i tepelné využitie odpadov. Podmienky pri ktorých splnení možno spaľovanie odpadov za energetické využitie považovať:

- a) použitý odpad by po vlastnom zapálení nemal k spaľovaniu potrebovať podpriemerné palivo,
- b) v priebehu spaľovacieho procesu musí byť prekročená najmenšia výhrevnosť vnášaných odpadov stanovená zákonom, a to bez pridania podporného paliva,
- c) dosiahnutie stupňa účinnosti spaľovania vyššieho, ako je hodnota stanovená zákonom.

Splnenie uvedených podmienok možno obvykle zaistiť iba za predpokladu, že dôjde k zostaveniu vhodného zloženia spaľovanej odpadnej zmesi a dodržaní základných technologických požiadaviek pre spaľovacie procesy v základných typoch spaľovacích pecí.



Tab. 1 Orientačný stav nakladania s odpadmi v Európe

Krajina	Recyklácia %	Spaľovanie %	Skládkovanie %
Rakúsko	24	11	65
Belgicko	3	54	43
Dánsko	25	40	35
Fínsko	30	4	66
Francúzsko	8	33	59
SRN	18	36	46
Holandsko	28	42	30
Nórsko	14	18	68
Švédsko	19	47	34
Švajčiarsko	30	59	11
V. Británia	6	9	85

2. TECHNOLOGIE SPAĽOVANIA ODPADOV

Spaľovacia technológia môže byť aplikovaná na širokú škálu odpadných látok, ak už sa jedná o odpady komunálne (vrátane kalov z čistiarní odpadových vôd), priemyselné, poľnohospodárske či nemocničné, vyskytujúce sa vo všetkých fyzikálnych konzistenciách, tj. v skupenstve tuhom, tekutom, plynnom či pastovitom.

Týmto spôsobom sú pôvodné nebezpečné látky v horľavých odpadoch premenené na relatívne neškodné produkty. Uvedená metóda nie je konečným spôsobom odstránenia odpadov, lebo pri spaľovaní vznikajú vedľajšie produkty, ktorými je popol a plynné splodiny, ktoré obsahujú škodlivé plynné i pevné častice.

2.1 Vlastnosti spaľovaných odpadov

Väčšinu spáliteľných odpadov je nutné považovať za menejhodnotné palivá, ktorých spaľovanie sa často stretáva so značnými obtiažami, plynúcimi z nehomogenity a značné rôznorodosti termofyzikálnych i termochemických vlastností spaľovaných odpadných materiálov a predovšetkým z často vysokého obsahu vlhkosti. Platí to najmä o komunálnom odpade, ktorý je veľmi rôznorodým materiálom s rozdielnymi vlastnosťami a rozmermi, ktorý sa podľa svojho látkového zloženia vyznačuje rozdielnymi požiadavkami na technológiu spaľovania a konštrukciu spaľovacích zariadení.

Každé palivo je charakterizované jednak obsahom horľaviny (predovšetkým obsahom spáliteľných látok, tj. uhlíku, vodíku, síry), jednak obsahom popola (je určený celkovým množstvom minerálnych látok a označovaný písmenom A) a vlhkosti (označované W). Pritom platí:

$$C + W + A = 100 \% \quad (1)$$

Palivo – odpad je schopné samostatného horenia iba v prípade, pokiaľ obsahuje dostatočný podiel horľaviny. Pokiaľ však významne stúpne obsah nespáliteľných častí paliva, teda popola a vlhkosti na úkor horľaviny, môže dôjsť k situácii, že takéto palivo nie je už schopné samostatného horenia, lebo teplo uvoľnené horľavinou je nedostatočné k odpareniu



vlhkosti paliva a k ohriatiu popolovín na spaľovaciu teplotu. Aby i horľavina tohto typu mohla horieť, je potom nevyhnutné privádzať na krytie zostávajúcich strát ďalšie, tzv. podporné, či stabilizačné palivo.

Ako hranica pre spaľovanie tuhého odpadu bez prívodu podporného paliva býva udávaná minimálna výhrevnosť odpadu $5000 \text{ kJ} \cdot \text{Kg}^{-1}$; tejto podmienke približne odpovedá odpad s obsahom horľaviny vyšším než 25 % hmotnostných, pričom obsah vlhkosti by mal byť nižší než 50 % a obsah popola nižší než 60 % hmotnostných.

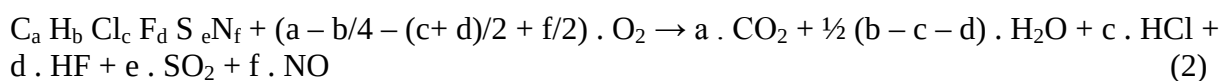
3. PRINCÍPY SPAĽOVANIA

Spaľovanie tuhých odpadov prebieha pomerne zložitým spôsobom; je podmienené ich predchádzajúcim vysušením a ohrevom na zápalnú teplotu, k nemu dochádza jednak sálaním žhavých spalín a zdíva pece, jednak konvenciou spalín alebo predhriateho vzduchu. K vysušeniu odpadov dochádza za teplôt $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ až $150 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Za vyšších teplôt potom v dôsledku zložitých rozkladných procesov dochádza k uvoľneniu tzv. prchavej horľaviny, čím rozumieme časť celkovej horľaviny paliva (odpadu), ktorá sa pri zahriatí na určitú teplotu uvoľňuje vo forme prchavých látok; tieto sú obecné horľavé a po ich vznietení dochádza ku vzniku plameňa. Zostávajúci tuhý materiál je ďalej postupne odplyňovaný a po dosiahnutí zápalnej teploty je postupne spaľovaný.

Táto zápalná teplota predstavuje minimálnu teplotu, pri ktorej dosiahnutí palivo ďalej horí bez prívodu tepla zvonka systému. K tomu, aby ďalšie spaľovanie odpadu prebiehalo požadovaným spôsobom, je nutné zaistiť určité základné podmienky, ku ktorým patrí:

- dostatočné množstvo spaľovacieho vzduchu, ktorý by mal byť privedený s prebytkom 1,5 až 2,5
- spaľovanie odpadu o určitej minimálnej výhrevnosti, zabezpečujú pri spaľovaní dostatočný vývin tepla
- zaistenie zdržania spalín v komore dodatočného spaľovania (pri dostatočnej teplote v rozmedzí $850 \text{ }^{\circ}\text{C}$ až $1200 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

Stechiometria dokonalého spaľovania akéhokolvek tuhého či kvapalného odpadu je založená na súhrnnej rovnici, vyjadrujúca oxidáciu jednotlivých horľavých zložiek spaľovaného odpadu:



Možno očakávať, že pokiaľ odpadné materiály obsahujú prvky ako Cl, F, S, a N vo svojich horľavých zložkách, dochádza pri ich spaľovaní k tvorbe HCl, HF, SO_2 + SO_3 a NO + NO_2 . Je zrejmé, že odpadné spaliny pozostávajú predovšetkým z dusíku N_2 zo spaľovacieho vzduchu, oxidu uhličitého CO_2 , vodnej par H_2O , a prebytočného kyslíku O_2 . Ostatné uvedené plynné látky možno považovať za stopové kontaminanty a vo výpočtoch ku stanoveniu spotreby spaľovacieho vzduchu a množstva vznikajúcich spalín s nimi obvykle nebýva uvažované. Na ich obsahu však budú závisieť požiadavky na technické zabezpečenie spaľovne zariadením k čisteniu spalín.



3.1 Základné spaľovacie režimy

Spaľovacím režimom pri spaľovacej peci na odpad rozumieme priebeh tepelných tokov, teplôt spaľovaného odpadu, spalín a pece a týmto teplotám zodpovedajúcich procesov v závislosti na čase, tj. dobe pobytu odpadu v spaľovacom zariadení. Tento spaľovací režim bude zásadne určený jednak charakterom práce, teda skutočností či pec pracuje periodicky či kontinuálne, jednak vlastným konštrukčným prevedením spaľovacej pece na odpad. Vzhľadom k tomu, že pre spaľovanie odpadu rôzneho pôvodu a vlastností bola vyvinutá celá rada konštrukčných typov spaľovacích zariadení, stretávame sa u týchto i so značne odlišnými režimami spaľovania v nich prebiehajúcich.

U prevažnej väčšiny spaľovacích pecí na odpad zahŕňa spaľovací režim päť (prípadne šesť) postupne prebiehajúcich (v závislosti na teplote v reakčnom priestore) základných fáz: sušenie, odplyňovanie, zapálenie, odhorievanie a horenie (prípadne i fázy vyhorievania). Je zrejmé, že vzhľadom k rozdielnym vlastnostiam spaľovaných odpadov bude výsledná hodnota tepelnej účinnosti spaľovacej pece funkciou celej rady premenných parametrov a nemožno teda stanoviť iba na základe odborného odhadu.

Požadované výhrevnosti odpadu vo výške $11\,000\text{ kJ.kg}^{-1}$ by vylúčila z kategórie energeticky využiteľných odpadov značný podiel tuhého domového odpadu, ktorého priemerná výhrevnosť obvykle uvedeného limitu nedosahuje; napriek tomu spalovanie domového odpadu o nižšej výhrevnosti (v rozmedzí $8\,000$ až $11\,000\text{ kJ.kg}^{-1}$) bez podporného paliva obvykle nečiní obtiaže; pritom podľa literárnych prameňov je limitnou hodnotou výhrevnosť odpadu $5\,000\text{ kJ.kg}^{-1}$.

4. NAZNAČENIE EMISNÝCH LIMITOV PRE ZNEČISŤOVANIE OVZDUŠIA

Medzi vybrané zdroje znečisťovania sú zaradené nasledujúce:

- palivoenergetický priemysel
- priemyslové technológie
- termické spracovanie odpadov
- ostatné

Všeobecné emisné limity majú v súčasnosti nasledujúce hodnoty.

Tuhé znečisťujúce látky: emisný limit je daný hodnotou hmotnostnej koncentrácie TLZ v nosnom plyne 200 mg.m^{-3} pre hmotnostný tok TLZ do $2,5\text{ kg.hod}^{-1}$, respektíve 150 mg.m^{-3} pri hmotnostnom toku TZL nad $2,5\text{ kg.hod}^{-1}$.

Oxid siričitý: pri hmotnostnom toku oxidu siričitého vyšším ako 20 kg.hod^{-1} nesmie hmotnostná koncentrácia SO_2 prekročiť hodnotu 2500 mg.m^{-3} .

Oxidy dusíku: pri hmotnostnom toku oxidov dusíku vyšším ako 10 kg.hod^{-1} nesmie hmotnostná koncentrácia oxidu dusíku (vyjadruje sa ako NO_2) v nosnom plyne prekročiť hodnotu 500 mg.m^{-3} .

Oxid uhoľnatý: pri hmotnostnom toku oxidu uhoľnatého vyšším ako 5 kg.hod^{-1} nesmie hmotnostná koncentrácia oxidu uhoľnatého v nosnom plyne prekročiť hodnotu 800 mg.m^{-3} .

Prchavé organické zlúčeniny (VOC): emisné limity sú dané hodnotou uvedenou individuálne.

LITERATÚRA

OBROUČKA, K.: 1997. Termické zneškodňovanie odpadu. ES VŠB TUO, Ostrava 1997.

OBROUČKA, K.: 2001. Látky znečisťujúci ovzduší. ES VŠB TUO, Ostrava 2001.



SUESS M. J.: 1985. Solid Waste Management. Selected topics. World Health Organisation, Copenhagen, Denmark 1985.

Kontaktná adresa:

Ing. Juraj Mikleš, PhD.

Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, ul. T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, tel. 0455206553, e-mail: miklesj@tuzvo.sk

Lektoroval: *Ing. Koniar Ján, PhD.*



RIZIKÁ OŽIARENIA V BUDOVÁCH ZO STAVEBNÝCH MATERIÁLOV A SPÔSOBY DETEKCIE IONIZUJÚCEHO ŽIARENIA

HAZARDS OF BUILDING MATERIALS RADIATION IN BUILDINGS AND DETECTION MANNERS OF IONISING RADIATION

Andrea NEUPAUEROVÁ

ABSTRACT: The contribution dealt with hazards of building materials radiation in buildings, manners of radon entrance to buildings, legislative EU valid for protection before ionising radiation, standards for building materials and detection manners of ionising radiation.

Key words: building materials, radiation, radon, ionising radiation, detection

ABSTRAKT: Príspevok uvádza riziká ožiarenia v budovách zo stavebných materiálov, spôsoby vstupu radónu do budov, legislatívu EÚ platnú pre ochranu pred ionizujúcim žiarením, požiadavky na stavebné materiály a spôsoby detekcie ionizujúceho žiarenia.

Kľúčové slová: stavebné materiály, ožiarenie, radón, ionizujúce žiarenie, detekcia

1. ÚVOD

Ionizujúce žiarenie nie je okom viditeľné, z čoho vyplýva že jeho existenciu je potrebné detekovať pomocou príslušných fyzikálnych metód a vhodnej prístrojovej techniky. Je to žiarenie prenášajúce energiu vo forme častíc, alebo elektromagnetických vln s vlnovou dĺžkou do 100 nm, alebo frekvenciou nad $3 \cdot 10^{15}$ Hz, ktoré má schopnosť priamo, alebo nepriamo vytvárať ióny. Rádionuklid je druh atómov, ktoré majú rovnaký počet protónov a neutrónov, rovnaký energetický stav a ktoré podliehajú samovoľnej premene v zložení, alebo v stave atómových jadier. Prírodným rádionuklidom je rádionuklid, ktorý vznikol, alebo vzniká v prírode samovoľne, bez zásahu človeka. Ožiarenie je akt ožiarenia ionizujúcim žiarením, alebo vystavenie pôsobeniu ionizujúceho žiarenia emitovanému mimo tela (*vonkajšie ožiarenie*) alebo vo vnútri tela (*vnútorné ožiarenie* - ožiarenie osoby z rádionuklidov vyskytujúcich sa v jej tele).

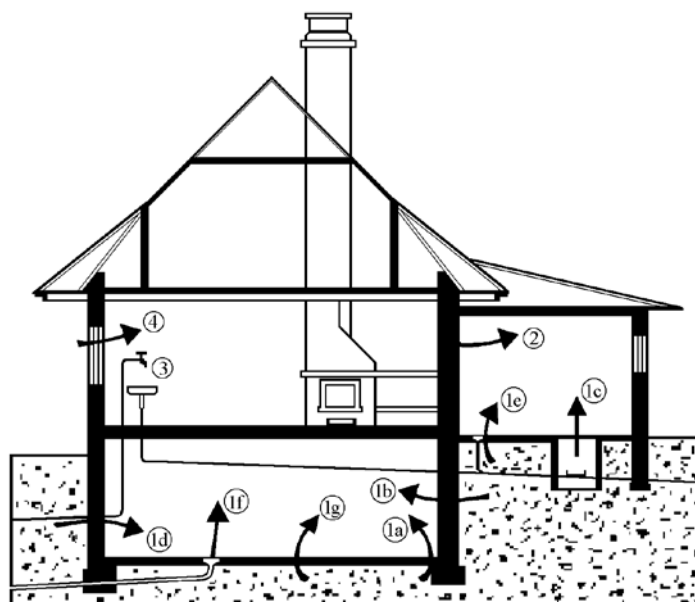
Stavebný materiál (tehly, betón, pórobetón, malta, omietka) je vyrobený z prírodných surovín, ktoré obsahujú v určitých koncentráciách rádionuklidy. Ich prítomnosť v materiáloch a surovinách používaných v stavebníctve pre výstavbu bytových priestorov má za následok vonkajšie a vnútorné ožiarenie obyvateľstva. Materiály používané v stavebníctve sú najčastejšie charakterizované koncentraciami ^{40}K , ^{232}Th a ^{226}Ra . Ich smerné hodnoty v stavebných materiáloch sú stanovené Vyhláškou MZ SR č. 528/2007, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o požiadavkách na obmedzenie ožiarenia z prírodného žiarenia. Z týchto rádionuklidov je najvýznamnejšie ^{226}Ra , ktorého prítomnosť v stavebných materiáloch má za následok ožiarenie osôb vo vnútornom prostredí budov. Na jednej strane je to vdychovaním produktov premeny ^{222}Rn exhalovaného do vnútorného ovzdušia, ktorý vzniká rádioaktívnou premou ^{226}Ra , na druhej strane gama žiarením vznikajúcim v stavebných materiáloch ako dôsledok rádioaktívnej premeny v ňom prítomného ^{226}Ra , ako aj ostatných prírodných rádionuklidov (Müllerová, 2009).



V budovách je ožiarenie radónom, prírodným rádioaktívnym vzácnym plynom, ktorý preniká do obydli z pôdy pod nimi oveľa výraznejšie, ako ožiarenie akýmkoľvek iným zdrojom ionizujúceho žiarenia. Podľa najnovších epidemiologických štúdií vystavenie účinkom radónu môže spôsobiť rakovinu pľúc a Svetová zdravotnícka organizácia (WHO) ho v súčasnosti považuje za veľký zdravotný problém (Príručka WHO, 2009). Veľká časť pracovníkov v odvetviach, ktoré spracúvajú prirodzene sa vyskytujúce rádioaktívne materiály (naturally occurring radioactive materials – NORM), dostáva dávky presahujúce limitné dávky pre jednotlivcov z obyvateľstva, ale stále nepožíva výhody ochrany ako pracovníci vystavení rádioaktívnemu žiareniu pri práci. Táto anomália je neudržateľná a cieľom nových odporúčaní Medzinárodnej komisie pre rádiologickú ochranu (ICRP) je integrovať prírodné zdroje žiarenia do celkového systému (Smernica, 2012).

2. RADÓN V BUDOVÁCH

Radón vstupuje do stavebných objektov predovšetkým z geologického podlažia domu, zo stavebných materiálov, použitej vody a vonkajšieho vzduchu. Na obrázku 1 sú uvedené spôsoby vstupu radónu do domu (<http://www.angelfire.com/sk/havo/radon2.html>).



Obrázok 1 Spôsoby vstupu radónu do domu

1 - podlažie pod objektom, z ktorého radón obsiahnutý v pôdnom vzduchu preniká do interiéru budovy difúziou, alebo je nasávaný v dôsledku podtlaku v objekte voči podlažiu: 1a – trhlinami medzi stenou a podlahou, 1b – trhlinami v malte nachádzajúcej sa v suterénnych stenách, 1c – netesnosťami okolo poklopov revízných šácht, 1d – netesnosťami okolo priestupov v základovej konštrukcii, 1e – inštaláčnymi priestupmi v podlahe, 1f – kanalizáciou, 1g – difúziou cez praskliny v podlahe suterénu, 2 - exhalácia radónu zo stavebných materiálov, 3 - uvoľňovanie radónu z vody dodávanej do objektu, 4 - vonkajší vzduch dodávaný ventiláciou alebo vetraním.



Transport radónu v budovách je možné popísať z hľadiska mechanizmu vstupu radónu do domu a z hľadiska procesu jeho šírenia v budove. Radón môže vstupovať do objektov (Müllerová, 2009):

- difúziou (transport hmoty z miest vyššej koncentrácie do miest s nižšou koncentráciou), napr. difúzia radónu v pôdnom vzduchu, difúzia radónu z podlažia betónovou vrstvou, alebo tesniacou fóliou do domu,
- konvekciou, prúdením (transport hmoty z miest s vyšším tlakom do miest s nižším tlakom), napr. „nasávanie“ radónu z podlažia otvorom v podlahe.

Pre obidva mechanizmy je možné pre popis použiť matematické parciálne diferenciálne rovnice s príslušnými okrajovými a začiatočnými podmienkami. Riešenie v tvare všeobecných vzťahov je možné len pre jednoduché idealizované prípady. Čo sa týka riešenia reálnych situácií, tie si už vyžadujú numerické riešenie. Variabilita koncentrácie radónu v budove je veľmi ovplyvnená spôsobom užívania budovy, predovšetkým rôznym vetracím a vykurovacím režimom v priebehu jednotlivých úsekov počas dňa (Müllerová, 2009).

2.1 Akčný plán na riadenie dlhodobých rizík spôsobených ožiareními radónom v budovách

Aktuálne legislatívne nariadenia systémov, akými sú napr. REACH (Nariadenie pre registráciu, hodnotenie, autorizáciu a obmedzovanie používania chemikálií), GHS (globálny harmonizovaný systém – jednotná klasifikácia chemických látok) a VOC (Nariadenie o obmedzovaní emisií prchavých organických zlúčenín) majú za cieľ kontrolovať a redukovať negatívny dopad nebezpečných chemických látok tak, aby sa zabezpečila ochrana zdravia a bezpečnosti zamestnancov, verejnosti a zároveň aby sa chránilo životné prostredie zamedzením kontaminácie ovzdušia, vody a pôdy v Európskej únii (Ružinská, 2010). Základné bezpečnostné normy ochrany pred nebezpečenstvami vznikajúcimi v dôsledku ionizujúceho žiarenia sú stanovené v akčnom pláne Smernice rady 2011/0254 na riadenie dlhodobých rizík spôsobených ožiareními radónom v obydlíach, verejne prístupných budovách a na pracoviskách pri akomkoľvek prieniku radónu, či už z pôdy, stavebných materiálov, alebo vody (Smernica, 2012). Akčný plán majú vypracovať členské štáty EK, v ktorom sa zohľadňujú otázky uvedené v prílohe XVI (Smernica, 2012). Orientačný zoznam položiek, ktoré treba zahrnúť do vnútroštátneho akčného plánu riadenia dlhodobých rizík spôsobených ožiareními radónom je nasledovný:

- Stratégia vykonávania prieskumov koncentrácií radónu v budovách, správy údajov z meraní (vnútroštátna databáza radónu) a stanovenia ostatných parametrov (druhy pôdy a kameňa, koncentráciu plynu v pôde, priepustnosť a obsah rádia-226 v kameni a pôde).
- Dostupné údaje a kritériá používané na vymedzenie oblastí bohatých na radón, alebo na identifikáciu budov, kde môže byť zvýšený výskyt radónu.
- Identifikácia druhov verejne prístupných budov a pracovísk, napr. škôl, podzemných pracovísk alebo kúpeľov, kde sú potrebné merania, na základe hodnotenia rizík vrátane času, ktorý v nich strávia ľudia.
- Základ pre stanovenie referenčných úrovní pre existujúce obydlia, pracoviská, verejne prístupné budovy a nové budovy.
- Rozdelenie zodpovedností (vládných a mimovládnych), koordinačné mechanizmy a dostupné prostriedky na realizáciu akčného plánu.



- Stratégia znižovania ožiarovania radónom v obydliach, najmä v oblastiach bohatých na radón.
- Stratégia prevencie vrátane metód a nástrojov prenikania radónu v nových budovách vrátane identifikácie stavebných materiálov s výraznou exhaláciou radónu.
- Plány auditov a preskúmaní akčného plánu.
- Stratégia komunikácie s cieľom zvýšiť informovanosť a informovať miestnych činiteľov, ktorí prijímajú rozhodnutia, o rizikách radónu v súvislosti s fajčením.
- V príslušných prípadoch usmernenie o metódach a nástrojoch merania a nápravných opatrení. Posudzujú sa aj kritériá akreditácie služieb merania a nápravy.
- V príslušných prípadoch poskytnutie finančnej podpory pre prieskumy radónu a nápravné opatrenia, najmä pre súkromné obydli s veľmi vysokými koncentráciami radónu.
- Dlhodobé ciele z hľadiska znižovania rizika rakoviny pľúc pripisovanej ožiarovaniu radónom (u fajčiarov, ako aj nefajčiarov).

Členské štáty EÚ zasielajú Komisii akčný plán a informácie o všetkých určených oblastiach bohatých na radón. Pravidelne aktualizujú akčný plán a informácie o oblastiach bohatých na radón. Stanovia vnútroštátne referenčné úrovne koncentrácií radónu v budovách, ktoré nemožno prekročiť (ako ročný priemer):

- 200 Bq m⁻³ pre nové obydli a verejne prístupné nové budovy;
- 300 Bq m⁻³ pre existujúce obydli;
- 300 Bq m⁻³ pre existujúce verejne prístupné budovy; v osobitných prípadoch, keď sa v nich osoby zdržiavajú krátko, možno stanoviť referenčnú úroveň až na 1 000 Bq m⁻³.

Podľa národného akčného plánu členské štáty určujú existujúce obydli, ktoré prekračujú referenčnú úroveň a podporujú opatrenia na zníženie radónu v existujúcich obydliach, v ktorých sú prekročené referenčné úrovne, zabezpečia vykonávanie meraní radónu vo verejne prístupných budovách v oblastiach bohatých na radón. Ustanovia osobitné stavebné poriadky na zabránenie prenikania radónu z pôdy a ako je to uvedené v národnom akčnom pláne, zo stavebných materiálov a požadujú dodržiavanie týchto poriadkov, najmä v oblastiach bohatých na radón, s cieľom vyhnúť sa koncentráciam radónu prekračujúcim referenčné úrovne v nových budovách. Poskytujú miestne a celoštátne informácie o daných koncentráciách radónu, o súvisiacich zdravotných rizikách a o dostupných technických prostriedkoch na zníženie existujúcich koncentrácií radónu.

3. POŽIADAVKY NA STAVEBNÉ MATERIÁLY

Orientačný zoznam druhov stavebných materiálov pre kontrolné opatrenia so zreteľom na ich emitované žiarenie gama je uvedený v tabuľke 1. Pri určených druhoch stavebných materiálov odvetvia, ktoré tieto materiály uvádzajú na trh stanovujú koncentrácie rádionuklidov uvedených v prílohe VII (Smernica, 2012), príslušnému orgánu poskytujú informácie o výsledkoch meraní a zodpovedajúcom indexe koncentrácie aktivity a ten zabezpečí, aby boli uvedené druhy stavebných materiálov klasifikované na základe ich plánovaného použitia a indexu koncentrácie aktivity.

Pri určených druhoch stavebných materiálov, ktoré by mohli spôsobovať dávky prekračujúce referenčnú úroveň 1 mSv za rok pri vonkajšom ožiarení v budove zo stavebných materiálov, ktoré je navyše k vonkajšiemu ožiarovaniu vonku, príslušný orgán rozhodne o vhodných opatreniach siahajúcich od registrácie a všeobecného uplatňovania príslušných stavebných poriadkov až po osobitné obmedzenia predpokladaného použitia takýchto



materiálov. Informácie o určených druhoch stavebných materiálov, relevantné pre uplatňovanie stavebných poriadkov, vrátane ich koncentrácií rádionuklidov, indexu koncentrácie aktivity a zodpovedajúcej klasifikácie sa sprístupnia pred ich uvedením na trh.

Tabuľka 1 Orientačný zoznam druhov stavebných materiálov pre kontrolné opatrenia so zreteľom na ich emitované žiarenie gama

Prírodné materiály	Materiály obsahujúce rezíduá z odvetví spracúvajúcich prírodný rádioaktívny materiál
• kamencová bridlica, • stavebné materiály alebo prímesi vyvretých hornín: granit, rula, porfýry, syenit, čadič, tuf, puzolán, láva	<i>popolček, sadra s obsahom fosforu, fosforová troska, cínová troska, medená troska, červený kal (rezíduum z výroby hliníka), rezíduá z výroby ocele</i>

3.1 Index koncentrácie aktivity pre žiarenie gama emitované stavebnými materiálmi

Pre určené druhy stavebných materiálov sa určia koncentrácie aktivity prvotných rádionuklidov Ra-226, Th-232 (alebo ich rozpadového produktu Ra-228) a K-40. Index koncentrácie aktivity I je daný vzorcom (1):

$$I = C_{\text{Ra226}}/300 \text{ Bq/kg} + C_{\text{Th232}}/200 \text{ Bq/kg} + C_{\text{K40}}/3000 \text{ Bq/kg} \quad (1)$$

kde C_{Ra226} , C_{Th232} a C_{K40} sú koncentrácie aktivity príslušných rádionuklidov v stavebnom materiáli vyjadrené v Bq/kg.

Index priamo súvisí s dávkou žiarenia gama v budove postavenej z určitého stavebného materiálu, ktorá presahuje typické vonkajšie ožiarenie. Vzťahuje sa na stavebný materiál, nie na jeho zložky. Pri uplatňovaní indexu na tieto zložky, najmä rezíduá z odvetví spracúvajúcich prírodný rádioaktívny materiál recyklovaný do stavebných materiálov, treba uplatňovať vhodný rozdeľovací faktor (Smernica, 2012). Index koncentrácie aktivity sa používa ako nástroj skríningu na určenie materiálov, ktoré môžu byť oslobodené, alebo podliehať obmedzeniam. Na tento účel možno index koncentrácie aktivity I použiť na rozdelenie materiálov do štyroch tried vedúcich k dvom kategóriám stavebných materiálov (A a B), ktoré uvádza tabuľka 2.

Tabuľka 2 Rozdelenie materiálov podľa indexu koncentrácie aktivity I

Použitie	Kategória (príslušná štandardná dávka)	
	A ($\leq 1 \text{ mSv}$)	B ($> 1 \text{ mSv}$)
(1) materiály používané vo veľkých množstvách	A1 $I \leq 1$	B1 $I > 1$
(2) povrchové a iné materiály s obmedzeným použitím	A2 $I \leq 6$	B2 $I > 6$



Rozdelenie materiálov do kategórie (1) alebo (2) podľa ich použitia vychádza z vnútroštátnych stavebných poriadkov. V príslušných prípadoch sa posudzujú skutočné dávky v porovnaní s referenčnou úrovňou pomocou prepracovanejších modelov, ktoré môžu zohľadňovať aj základné vonkajšie ožiarenie vonku z daných miestnych koncentrácií aktivity v nepochybnej zemskej kôre.

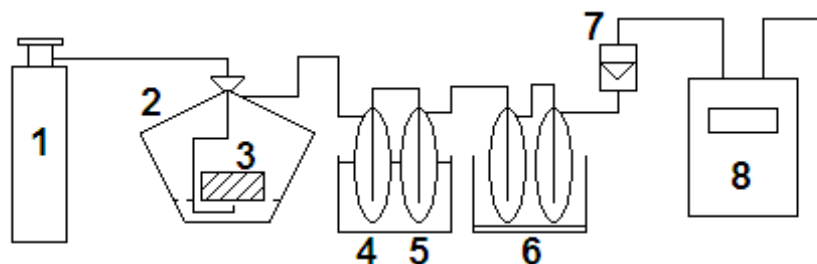
3.2 Obmedzovanie ožiarenia prírodnými rádionuklidmi

Smernou hodnotou na vykonanie opatrení na zníženie obsahu prírodných rádionuklidov v stavebných výrobkoch určených na výstavbu stavieb s pobytovými priestormi je hmotnostná aktivita ^{226}Ra v stavebnom výrobku 120 Bq.kg^{-1} . Spôsob stanovenia indexu hmotnostnej aktivity pre obsah prírodných rádionuklidov v stavebných výrobkoch je uvedený v prílohe č. 1 Vyhlášky MZ SR č. 528/2007. Za systematické stanovovanie obsahu prírodných rádionuklidov v stavebných výrobkoch sa považuje stanovovanie hmotnostných aktivít ^{226}Ra , ^{232}Th a ^{40}K s frekvenciou uvedenou v prílohe č. 1 Vyhlášky MZ SR č. 528/2007. Stanovenie týchto hmotnostných aktivít je možné uskutočniť aj meraním vstupných surovín. Za hodnotenie obsahu prírodných rádionuklidov v stavebných výrobkoch sa považuje porovnanie stanovenej hmotnostnej aktivity ^{226}Ra a indexu hmotnostnej aktivity so zodpovedajúcimi smernými hodnotami a najvyššími prípustnými hodnotami. Kritériá pre metódy stanovenia rádiologických ukazovateľov sú uvedené v prílohe č. 3 Vyhlášky MZ SR č. 528/2007.

3.3 Meranie exhalačnej rýchlosti radónu zo stavebných materiálov

Exhalácia je mierou transportu radónu cez povrch medzi pevnou látkou a atmosférou. Za pevnú látku môžeme považovať pôdu, stavebné materiály a za atmosféru uzavretú nádobu, budovu, alebo otvorený vzduch. Exhalácia je charakterizovaná exhalačnou rýchlosťou, ktorá sa pre ^{222}Rn (E) zo stavebných materiálov (Poffijn, 1984) určuje akumulacnou metódou založenou na meraní nárastu koncentrácie radónu ako časovej funkcie od doby, počas ktorej je vzorka uzavretá v akumulacnej nádobe.

V práci (Müllerová, 2009) boli pre účely merania umiestnené vzorky v akumulacnej nádobe s objemom 10 litrov. Po nahromadení radónu v utesnenej nádobe (15 – 20 hodín) bol radón adsorbovaný na kolónkach s aktívnym uhlím (chladených na teplotu približne -40°C) a potom bol transportovaný do scintilačnej komôrky Lucasovho typu pre meranie koncentrácie ^{222}Rn (Holý a kol., 1995). Schematické znázornenie aparatury pre meranie exhalačnej rýchlosti zo stavebných materiálov je na obrázku 2 (Müllerová, 2009).



Obrázok 2 Schéma zapojenia aparatury na meranie hmotnostnej exhalačnej rýchlosti

1 – nádoba s neaktívnym vzduchom, 2 – akumulacia nádoba, 3 – analyzovaná vzorka, 4 – vymrazovačka, 5 – silikagel, 6 – chladené aktívne uhlie, 7 – prietokomer, 8 – plynomer

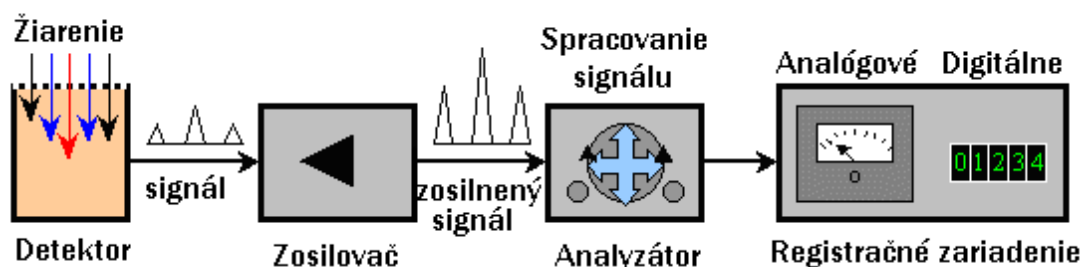


4. SPÔSOBY DETEKCIE IONIZUJÚCEHO ŽIARENIA

Pre detekciu ionizujúceho žiarenia bolo vyvinutých množstvo detektorov, ktoré okrem spoločného základného javu, ktorým sú ionizačné účinky žiarenia, využívajú rôzne princípy a technické konštrukcie. Prístroje pre detekciu ionizujúceho žiarenia sa niekedy označujú spoločným názvom *rádiometre*, ktoré fungujú buď samostatne, alebo sú súčasťou prístrojov pre meranie niektorých veličín a monitorovanie určitých dejov pomocou radiačných metód. *Dozimetre* sú špeciálnym typom rádiometrov, väčšinou sú to jednoduché detekčné prístroje, ktoré sú ciachované v jednotkách radiačnej dávky (Gray, Sievert), alebo dávkového príkonu. Používajú sa pri radiačnom monitorovaní pre posudzovanie účinkov žiarenia predovšetkým na živé tkanivo.

Detektory ionizujúceho žiarenia sa rozdeľujú podľa troch kritérií (Ullmann, 2012):

- a) časového priebehu detekcie,
 - b) fyzikálno-technického princípu detekcie,
 - c) komplexnosti meranej radiačnej informácie.
- a) podľa časového priebehu detekcie rozoznávame 2 základné skupiny detektorov:
- **kontinuálne „on-line“ detektory** poskytujú priebežnú informáciu o okamžitej intenzite žiarenia, alebo o počte kvant ionizujúceho žiarenia; odozva (signál, výsledok merania) takéhoto detektora by mala byť úmerná okamžitej intenzite žiarenia. Ak prestane byť detektor ožarovaný, signál na jeho výstupe poklesne na nulu, alebo na hodnotu pozadia. Detektory tohto druhu sú takmer vždy elektronické.
 - **kumulatívne (integrálne) detektory** postupne zhromažďujú svoju rastúcu odozvu v priebehu expozície. Táto odozva (signál, výsledok merania) zostáva v detektore uložená aj po skončení expozície a môže sa vyhodnotiť dodatočne. Do tejto skupiny patria predovšetkým fotografické a materiálové detektory.
- b) podľa fyzikálno-technického princípu detekcie rozoznávame 3 skupiny detektorov:
- **fotografické detektory** sú založené na fotochemických účinkoch žiarenia (filmové dozimetre, rtg filmy, jadrové emulzie), alebo využívajú fotografické zobrazenie stop častíc v určitom látkovom prostredí (hmlové a bublinové komory).
 - **materiálové detektory** využívajú dlhodobejšie zmeny vlastností určitých látok (zloženie, farba – radiochromatické detektory, excitácia – termoluminiscenčná a OSL dozimetre) pôsobením ionizujúceho žiarenia, alebo ťažké častice (predovšetkým alfa) zanechávajú v materiáli určité stopy, ktoré sa dajú zviditeľniť, alebo detekovať. Vzhľadom k nízkej citlivosti sú použiteľné len pre vysoké intenzity žiarenia, alebo dlhodobú kumulatívnu detekciu.
 - **elektronické detektory** – v týchto detektoroch sa časť absorbovanej energie ionizačného žiarenia prevádza na elektrické prúdy, alebo impulzy, ktoré sa zosilňujú a vyhodnocujú v elektronických aparátúrach (obrázok 3). Medzi tieto detektory patria plynové ionizačné komory vrátane proporcionálnych a G.-M. detektorov, scintilačné detektory, polovodičové detektory, mikrokalorimetrické detektory, magnetické spektrometre.



Obrázok 3 Základná bloková schéma elektronického detektora žiarenia

- c) podľa komplexnosti meranej radiačnej informácie rozdeľujeme meracie prístroje ionizujúceho žiarenia do 4 skupín:
- **detektory žiarenia** udávajú len intenzitu žiarenia, resp. počet kvant žiarenia, bez informácie o druhu žiarenia a jeho energii. Patria sem filmové a termoluminiscenčné dozimetre, ionizačné komory vrátane G.-M. detektorov.
 - **spektrometre ionizujúceho žiarenia**, ktoré merajú intenzitu, alebo počet kvant žiarenia a energiu kvant žiarenia. V spektrometrickom režime môžu pracovať scintilačné detektory, polovodičové detektory a magnetické spektrometre.
 - **zobrazovacie detektory – kamery** zobrazujú vizuálne alebo elektronicky priestorové rozloženie intenzity žiarenia. Najjednoduchším zobrazovacím detektorom je fotografický film a najdokonalejšími zobrazovacími detektormi sú polovodičové pixelové detektory (SPD). Väčší počet polohovo citlivých zobrazovacích detektorov (aj rôznych druhov) je možné zlučovať do zložitých detekčných systémov, v ktorých je možné pomocou koincidenčnej detekcie prevádzať pozičnú a uhlovú rekonštrukciu dráh a smeru šírenia detekovaných kvant – vykonávať tzv. “elektronickú kolimáciu” a zobrazenie.
 - **dráhové detektory častíc** merajú, zviditeľňujú alebo vyhodnocujú dráhy pohybu jednotlivých častíc v priestore, vrátane ich zakrivenia v magnetickom poli. Možno to dosiahnuť buď na základe materiálových efektov – fotochemických reakcií, kondenzácia kvapiek z pary, alebo vznik bubliniek v prehriatej kvapaline, alebo elektronicky zložitými systémami veľkého množstva priestorovo rozmiestnených detektorov, polovodičových alebo ionizačných komôr (trackery).

Z hľadiska špecifického druhu senzorovej citlivosti sa môžu detektory žiarenia označiť za radiačne citlivé senzory, spektrometre za energeticky citlivé a zobrazovacie a dráhové detektory za polohovo citlivé radiačné senzory (Ullmann, 2012).

5. ZÁVER

V posledných rokoch sa problematike radiačnej záťaže obyvateľstva venuje zvýšená pozornosť. Dôvodom je značná radiačná záťaž, ktorá je podmienená umelými i prírodnými zdrojmi a novými poznatkami hodnotenia ionizujúceho žiarenia. Najnovšie epidemiologické zistenia rezidenčných štúdií preukazujú riziko rakoviny pľúc spôsobené ožiareními radónom v budovách na úrovniach rádovo 100 Bq m^{-3} . Nová koncepcia pre situácie ožiarení umožňuje zahrnutie ustanovení odporúčania Komisie 90/143/Euratom o ochrane verejnosti pred ožiareními radónom v budovách do záväzných požiadaviek základných bezpečnostných



noriam (Smernica, 2012). Ochrana zdravia verejnosti počíta s prítomnosťou rádioaktívnych látok v životnom prostredí a preto by sa okrem priamych ciest environmentálneho ožiarenia mala v rámci komplexného rámca venovať pozornosť ochrane životného prostredia ako celku.

LITERATÚRA

MŮLLEROVÁ, M.: 2009. *Fyzikálne aspekty radónovej diagnostiky pobytových priestorov*. Bratislava, 2009. Dizertačná práca. UK v Bratislave, FMFI.

PRÍRUČKA WHO o radóne v budovách. 2009. Svetová zdravotnícka organizácia, 2009, ISBN 978 92 4 154767.

SMERNICA RADY 2011/0254 (NLE): 2012. *Návrh, ktorým sa stanovujú základné bezpečnostné normy ochrany pred nebezpečenstvami vznikajúcimi v dôsledku ionizujúceho žiarenia*.

Spôsoby vstupov radónu do domu. Dostupné na internete: < <http://www.angelfire.com/sk/havo/radon2.html> >.

RUŽINSKÁ, E.: 2010. *Detekcia emisií rizikových látok (VOC) v oblasti environmentálneho technického vzdelávania*. Monografia z medzinárodnej konferencie „Trendy ve vzdělávání“. UP, PdF Olomouc, 2010, s. 563-567. ISBN 978-80-87244-09-0.

POFFIJN, A. et al.: 1984. *Laboratory Measurements of Radon Exhalation and Diffusion, Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 44 (1984) pp. 77-79

HOLÝ, K., SÝKORA, I., CHUDÝ, M., POLÁŠKOVÁ, A., FEJDA, J., HOLÁ, O.: 1995. *Radionuclide Content in Building Materials*, J. Radioanal. Nucl. Chem., Letters 199 (4), (1995) pp. 251-263

ULLMANN, V.: 2012. *Detekce a spektrometrie ionizujícího záření*. Dostupné na internete: < <http://astronuklfyzika.cz/DetekceSpektrometrie.htm> >.

Problematika príspevku je riešená v rámci grantového projektu KEGA č. 023 TUZ-4/2012: „Rizikové látky v environmentálnej technike“.

Kontaktná adresa:

Ing. Andrea Neupauerová, PhD.

Katedra environmentálnej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Technická univerzita vo Zvolene, Študentská 26, 960 53 Zvolen, e-mail: neupauerova@tuzvo.sk

Lektoroval: Ing. Brodnianská Zuzana



ŠTÚDIUM OXIDAČNÉHO ÚČINKU OZÓNU NA PARY ACETÓNU A ETANOLU VO VZDUCHU

STUDY OF OXIDIZING EFFECT OF OZONE ON VAPOURS OF ORGANIC SUBSTANCES ACETONE AND ETHANOL IN THE AIR

Zuzana OBÚLANÁ – Stanislav HOSTIN

ABSTRACT: The work describes the study of oxidizing effect of ozone on vapours of organic substances acetone and ethanol that have an easy-volatility to the atmosphere. Monitoring of oxidation of these substances was carried out on laboratory equipment, in which the effect of VOC oxidation was monitored by the method of gas chromatography. Ozonization showed the reduction of the content of monitored substances in the air and the formation of new degraded products.

Key words: acetone, ethanol, ozonization, gas chromatography

ABSTRAKT: V príspevku je popísané štúdiumoxidačného účinku ozónu na pary organických látok acetónu a etanolu, ktoré sa vyznačujú ľahkou prchavosťou do atmosféry. Sledovanie oxidácie týchto látok bolo uskutočňované na laboratórnom zariadení, v ktorom účinok oxidácie VOC bol sledovaný metódou plynovej chromatografie. Ozonizáciou sa dokázalo zníženie obsahu sledovaných látok vo vzduchu a vznik nových degradačných produktov.

Kľúčové slová: acetón, etanol, ozonizácia, plynová chromatografia

1. ÚVOD

Prchavé organické látky (VOC) predstavujú skupinu organických látok charakterizovaných predovšetkým vysokou volatilitou (prchavosťou) v životnom prostredí (Cavalcante, 2010). Prítomnosť VOC v atmosfére vedie k narušeniu životného prostredia, pretože sú spojené s tvorbou prízemného ozónu a často sa správajú ako skleníkové plyny. Okrem toho, niektoré VOC boli identifikované ako karcinogénne. Preto aj téma eliminácie VOC má veľký význam (Poulain,2010).

Acetón

Vzhľadom ku svojej vysokej emisii tokov a nízkej reaktivite sa acetón (C_3H_6O) prítomný v troposfére považuje za jednu z hlavných kyslíkatých VOC (Garcia, 2010). Je vysoko horľavá kvapalina s charakteristickým štipľavým zápachom a sladkou chuťou. Má dráždivý účinok na sliznice očí, nosa a krku, spôsobuje pálenie a sčervenanie, nevoľnosť, vracanie, závraty. Je široko používaný ako rozpúšťadlo v priemysle, používa sa pri výrobe farieb,výrobkov do domácností napr. laky na nechty, odlakovače apod.(Bradberry, 2012).

Etanol

Etanol (C_2H_6O ,alkohol, lieh) je široko dostupný ako nápoj, je dôležitou zložkou kozmetiky, je zložkou mnohých výrobkov na čistenie domácností, je bežne používaný ako priemyselné rozpúšťadlo. Poškodzuje centrálny nervový systém CNS(Vale, 2007).

V tomto príspevku sú popísané výsledky hodnotenia oxidácie prchavých organických látok acetónu a etanolu ozonizovaným vzduchom, ktoré bolo uskutočnené na laboratórnom experimentálnom zariadení, ktoré bolo špeciálne zhotovené pre tento účel.



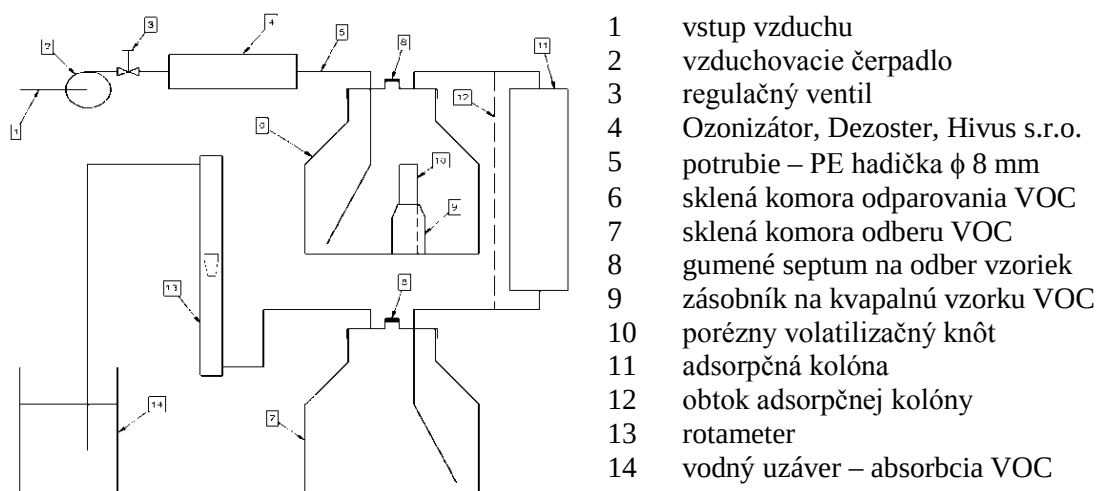
2. MATERIÁL A METÓDY

Pre stanovenie pár prchavých organických látok acetónu a etanolu, prítomných v uzatvorenom priestore, bola použitá metóda plynovej chromatografie. Odber plyných vzoriek z uzatvoreného priestoru sa zabezpečoval odsatím dostatočného objemu pár injekčnou striekačkou, ktoré sa následne priamo nastrekovali do plynovo-chromatografického zariadenia, ktoré pozostávalo z nasledovnej zostavy:

- plynový chromatograf AUTOSYSTEM XL Perkin Elmer s FID detektorom
- kapilárna kolóna SupelQ PLOT, SUPELCO Analytical (katalógové číslo 25462), I.D. 0,53 mm dĺžka 30 metrov
- integrátor Agilent SS420x so záznamom údajov pomocou PC
- softvér na spracovanie údajov – SHIMADZU – CLASS VP Chromatography Data System Version 4.3 (Hostin, 2011)

Podmienky analýzy: nosný plyn N_2 , 300 kPa, FID 250 °C; injektor 200 °C, teplotný program kolóny – 110 °C, 4 min; objem nástreku vzorky 0,1 ml.

Testovanie účinku ozónu na oxidáciu prchavých organických látok acetónu a etanolu sa uskutočnilo na prietokovej laboratórnej aparatúre, ktorej schéma je uvedená na Obrázku 1 (Hostin, 2011).



Obrázok 1 Schéma aparatury na testovanie účinku oxidácie acetónu a etanolu ozonizovaným vzduchom.

3. POSTUP

Do sklenej komory 6 bola umiestnená 50 ml reagenčná nádobka, ktorá slúžila na vyparovanie VOC. Do tejto nádobky bol vložený volatilizačný knôt 10 zhotovený zo stočeného prúžku filtračného papiera o rozmere 25 x 8,5 cm pri acetóne a 25 x 10 cm pri etanole, nadávkovalo sa 50 ml kvapalnej vzorky skúmanej organickej látky. Komora 6 bola hermeticky uzavretá a zahájilo sa do nej čerpanie vzduchu pomocou vzduchovacieho čerpadla 2 s prietokom 9,5 ml/s. Prúdiaci vzduch z komory odparovania 6, ktorý obsahoval



pary skúmanej VOC, prechádzal cez priestor ozonizačného zariadenia 4 a potrubím 5 prúdil do komory odberu 7. Pokiaľ v ozonizačnom zariadení neboli elektricky napájané ionizačné trubice, tak cez komory 6 a 7 prúdil vzduch s nezmenenými vlastnosťami. Po cca 30 min stabilizovania systému boli odoberané prvé vzorky na analýzu a po ďalších cca 60 min boli ionizačné trubice napojené na elektrický prúd. Prúdiaci vzduch z komory 6 prechádzal ozonizátorom 4, ktorý vytváral ozón, čím bolo možné predpokladať jeho oxidačné pôsobenie na prítomné pary prchavých organických látok. Výstup z ozonizátora 4 bol prepojený potrubím 12 na komoru 7, ktorá predstavovala priestor pre homogenizáciu vzdušiny, t. j. zmesi ozonizovaného vzduchu s parami prchavých organických látok. Uzáver komory 7 obsahoval gumený sept 8 na injekčný odber vzoriek, ktoré sa analyzovali plynovou chromatografiou. Podobným septom 8 bola opatrená aj komora 6. Na výstupe z komory 7 bol napojený rotameter 13, pomocou ktorého bolo možné sledovať prietok vzduchu cez experimentálne zariadenie, pričom jeho intenzitu bolo možné regulovať škrtiacim ventilom 3. Vývod z aparatury bol zavedený do vodnej náplne 14, v ktorej sa zostatkové prchavé látky absorbovali, čím bol zamedzený ich únik do vonkajšieho priestoru a zároveň bol udržiavaný stály pretlak vzduchu v aparatúre.

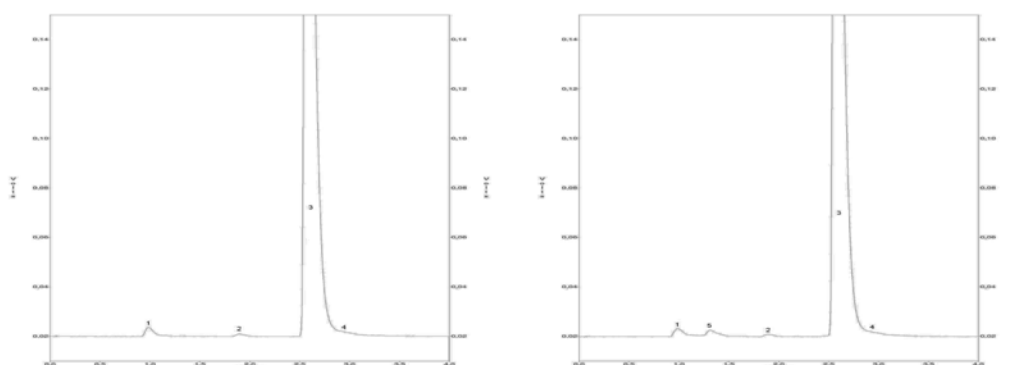
4. VÝSLEDKY A DISKUSIA

V úvodnej časti práce sa hľadali najvhodnejšie podmienky plynovo - chromatografického stanovenia prchavých látok acetónu a etanolu, ktoré boli vybraté na štúdium ich oxidácie ozónom. Dôvodom výberu týchto látok bola najmä ich ľahká prchavosť do prostredia, ktorá spôsobuje obťažujúce pracovné podmienky, keďže majú všestranné využitie v priemysle, ale predstavujú aj riziko úniku do životného prostredia. Nakoľko majú pomerne nízke teploty varu, pre analýzu bol zvolený teplotný program kolóny 110 °C po dobu 4 min.

Ďalšia časť práce bola zameraná na štúdium oxidačného účinku ozónu na acetón, ktorý sa vyznačuje veľmi ľahkou prchavosťou už pri bežných stavových podmienkach. Po hermetickom uzatvorení prietokovej laboratórnej aparatury sa zahájilo čerpanie vzduchu pomocou vzduchovacieho čerpadla, čím sa pary acetónu prečerpávali z komory 6 cez ozonizátor do komory 7. Po cca 30 min stabilizovania systému sa začali odoberať vzorky z oboch komôr a následne analyzovať. Po dostatočne dlhom čase, keď koncentrácia pár acetónu dosiahla konštantnú koncentráciu, zapnutím ionizačných trubíc ozonizátora do elektrickej siete sa zahájila ozonizácia vzduchu s parami acetónu, ktorej oxidačný účinok bol v pravidelných intervaloch chromatograficky analyzovaný z odoberaných vzoriek a zároveň bolo neustále monitorované zloženie vzdušiny v komore 7. Na Obrázku 2 sú uvedené chromatografické analýzy zloženia vzdušiny, kedy v časti A je výsledok analýzy vzduchu s parami acetónu bez prítomnosti ozónu a v časti B zloženie v čase prítomnosti ozónu vo vzduchu.

Na chromatografickom zázname z analýzy je vidieť, že v parách acetónu vo vzduchu bez ozónu boli prítomné štyri zložky reprezentujúce štyri píky, z ktorých najväčší pík zodpovedal acetónu (3). Analýzou sa zistilo, že po ozonizácii obsahuje vzdušina jednu novú neidentifikovateľnú prchavú zložku, ktorú reprezentoval pík (5).

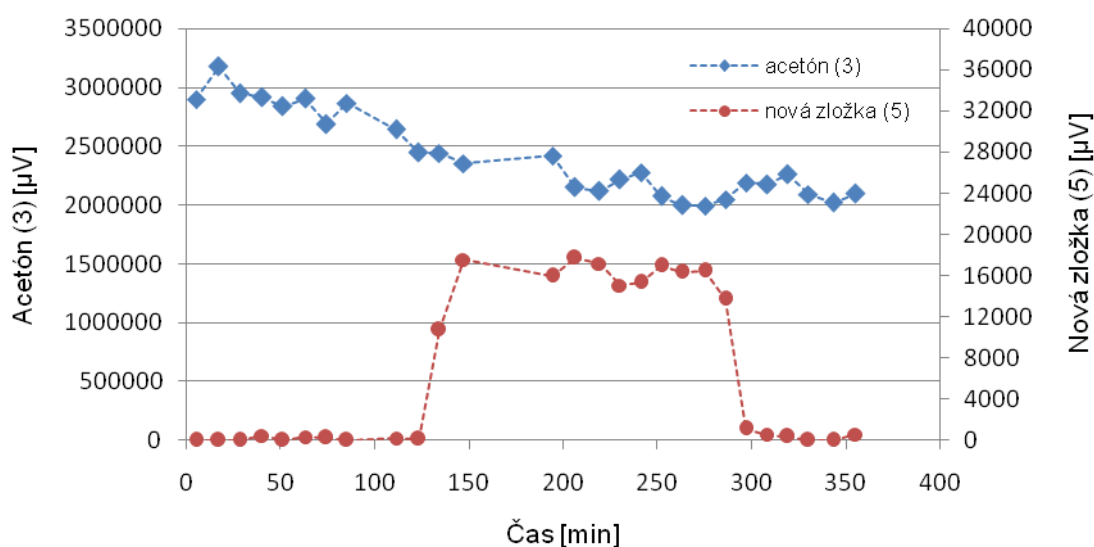
Na Obrázku 3 je zaznamenaná zmena hodnoty signálu chromatografického stanovenia acetónu vo vzduchu pred a počas ozonizácie, ktorá zodpovedá kinetike zmeny okamžitej koncentrácie acetónu (3) a novovzniknutej neidentifikovanej zložky (5).



Obrázok 2 Chromatografické záznamy analýzy vzduchu s parami acetónu bez prítomnosti ozónu (A) a v čase s ozonizáciou vzduchu (B)

AB

- 1 - neidentifikovaná zložka pred ozonizáciou
- 2 - neidentifikovaná zložka pred ozonizáciou
- 3 - acetón
- 4 - neidentifikovaná zložka pred ozonizáciou



Obrázok 3 Záznam zmeny hodnoty signálu chromatografického stanovenia acetónu vo vzduchu pred a počas ozonizácie, zodpovedajúceho okamžitej koncentrácii neidentifikovanej zložky (5).

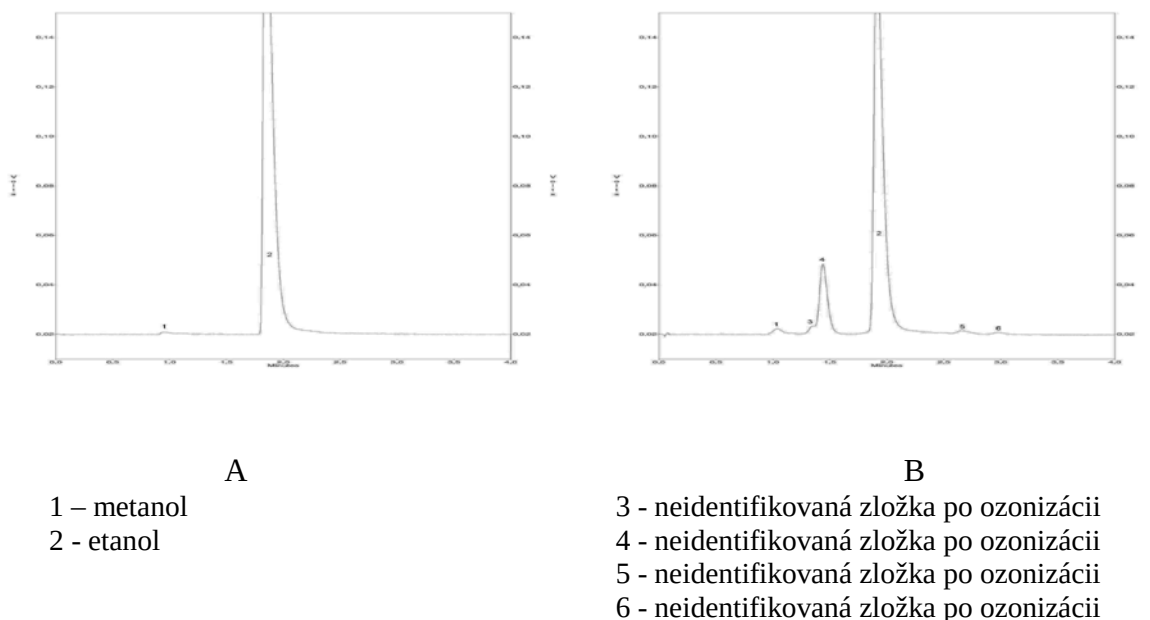
Na Obrázku 3 je vidieť zmenu obsahu acetónu vo vzduchu, ktorý prechádzal experimentálnym zariadením. Je zaznamenaný celý priebeh od prečerpávania vzduchu bez prítomnosti ozónu, cez samotný priebeh ozonizácie až po jej ukončenie. Zistilo sa, že prvý záznam vzniku novej prchavej zložky bol zaznamenaný takmer okamžite po zapnutí



ionizačných trubíc. Zo záznamu je tiež zreteľný mierny pokles koncentrácie pár acetónu počas ozonizácie, čo je dôkazom oxidačného účinku ozónu na vzdušninu.

Ďalšia časť práce bola zameraná na štúdium oxidačného účinku ozónu na etanol. Postupovalo sa rovnakým spôsobom ako pri ozonizácii acetónu. Na Obrázku 4 sú uvedené chromatografické analýzy zloženia vzduštiny, v časti A je výsledok analýzy vzduchu s parami etanolu bez prítomnosti ozónu a v časti B zloženie v čase prítomnosti ozónu vo vzduchu.

Na chromatografickom zázname z analýzy je vidieť, že v parách etanolu vo vzduchu bez ozónu boli prítomné dve látky reprezentujúce dva píky, z ktorých najväčší pík zodpovedal etanolu (2). Druhou zložkou bol metanol, ktorý sa nachádza ako prímes v etanole. Analýzou sa zistilo, že po ozonizácii obsahuje vzdušina štyri nové neidentifikovateľné prchavé zložky, ktoré reprezentovali píky (3,4,5,6). Predpokladá sa, že najväčší novovzniknutý pík prislúcha acetaldehydu, ktorý vzniká oxidáciou etanolu.



Obrázok 4 Chromatografické záznamy analýzy vzduchu s parami etanolu bez prítomnosti ozónu (A) a v čase s ozonizáciou vzduchu (B)

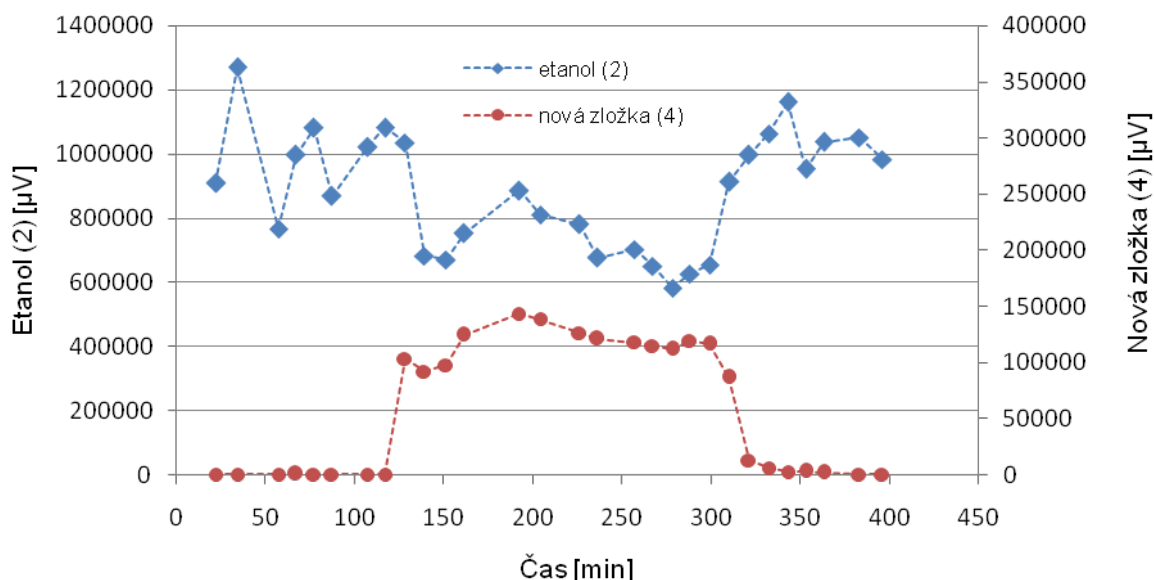
Na Obrázku 5 je zaznamenaná zmena hodnoty signálu chromatografického stanovenia etanolu vo vzduchu pred a počas ozonizácie, ktorá zodpovedá kinetike zmeny okamžitej koncentrácie etanolu (2) a novovzniknutej neidentifikovanej zložky (4).

Zmena obsahu etanolu vo vzdušnine je zaznamenaná na Obrázku 5. Takisto je zaznamenaný celý priebeh od prečerpávania vzduchu bez prítomnosti ozónu, cez samotný priebeh ozonizácie až po jej ukončenie. Zo záznamu je tiež zreteľný mierny pokles koncentrácie pár etanolu počas ozonizácie, čo je dôkazom oxidačného účinku ozónu na vzdušninu a takmer konštantné množstvo novovzniknutej zložky. Po odpojení ionizačných trubíc sa úroveň obsahu etanolu vrátila na počiatočnú hodnotu.

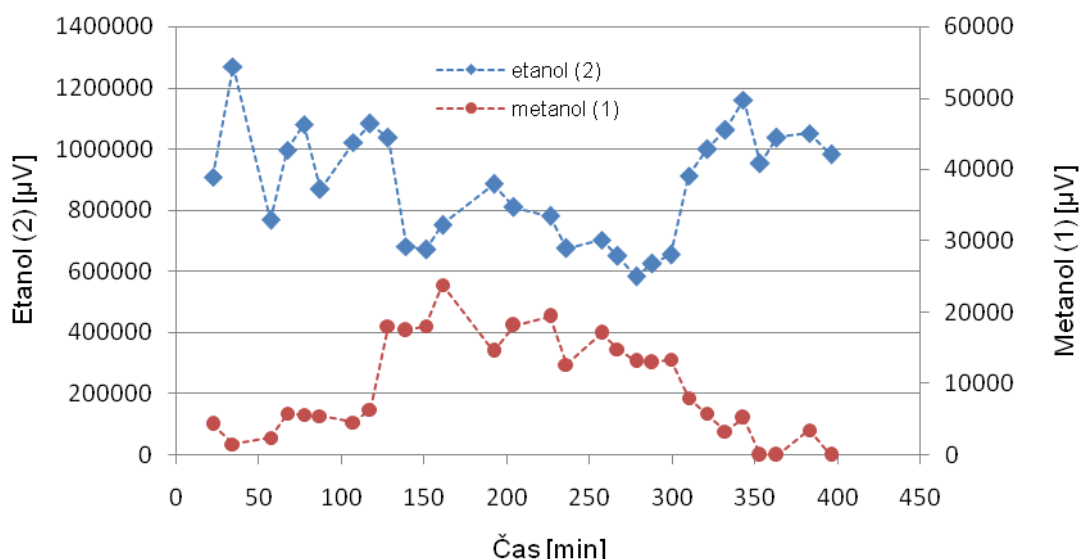
Na Obrázku 6 je zaznamenaná zmena hodnoty signálu chromatografického stanovenia etanolu vo vzduchu pred a počas ozonizácie, ktorá zodpovedá kinetike zmeny okamžitej



koncentrácie etanolu (2) a prítomného metanolu (1), ktorého množstvo sa počas ozonizácie mierne zvýšilo, čo je dôkazom oxidačného účinku ozónu aj na metanol, ktorý je prímiesou etanolu.



Obrázok 5 Záznam zmeny hodnoty signálu chromatografického stanovenia etanolu vo vzduchu pred a počas ozonizácie, zodpovedajúceho okamžitej koncentrácii neidentifikovanej zložky (4).



Obrázok 6 Záznam zmeny hodnoty signálu chromatografického stanovenia etanolu vo vzduchu pred a počas ozonizácie, zodpovedajúceho okamžitej koncentrácii metanolu (1).



5. ZÁVER

Namerané hodnoty boli dôkazom oxidačného účinku ozónu na pary vzduchu obsahujúce prchavé látky acetón a etanol. Bolo preukázané cca 22 %-né zníženie množstva pár acetónu vo vzdušnine počas ozonizácie a priemerné zníženie pár etanolu vo vzduchu počas ozonizácie predstavovalo cca 23 %. V štúdiu oxidačného účinku ozónu sa bude naďalej pokračovať aj s inými prchavými organickými látkami a ich zmesami, pričom pre štúdium chemických reakcií prebiehajúcich počas ozonizácie bude nutná identifikácia neznámych zložiek.

LITERATÚRA

BRADBERRY, S.: 2012. Acetone. *Medicine*, Volume 40, Issue 2, February 2012, Pages 88

CAVALCANTE, R., ANDRADE, M., MARINS, R., OLIVEIRA, L.: 2010. Development of a headspace-gas chromatography (HS-GC-PID-FID) method for the determination of VOCs in environmental aqueous matrices: Optimization, verification and elimination of matrix effect and VOC distribution on the Fortaleza Coast, Brazil. *Microchemical Journal*, Volume 96, Issue 2, November 2010, Pages 337–343

GARCIA, T., AGOURAM, S., SANCHEZ-ROYOD, J., MURILLO, R., MASTRAL, A., ARANDA, A., VAZQUEZ, I., DEJOZ, A., SOLSONA, B.: 2010. Deep oxidation of volatile organic compounds using ordered cobalt oxides prepared by a nanocasting route. *Applied Catalysis A: General* Volume 386, Issues 1–2, 30 September 2010, Pages 16–27

HOSTIN, S., OBÚLANÁ, Z.: 2011. Chromatografické hodnotenie oxidácie vybraných prchavých organických látok v ovzduší ozónom. In.: *Nové trendy v technike ochrany ovzdušia 2011: zborník z medzinárodného seminára*, Zvolen, 13. september 2011, Zvolen: Technická univerzita. 2011, s.28-33. ISBN 978-80-228-2277-0

POULAIN, L., KATRIB, Y., ISIKLI, E., LIU, Y., WORTHAM, H., MIRABEL, P., LE CALVÉ, S., MONOD, A.: 2010. In-cloud multiphase behaviour of acetone in the troposphere: Gas uptake, Henry's law equilibrium and aqueous phase photooxidation. *Chemosphere*, Volume 81, Issue 3, September 2010, Pages 312–320

VALE, A.: 2007. Ethanol. *Medicine*, Volume 35, Issue 11, November 2007, Pages 615–616

Kontaktná adresa:

Ing. Zuzana Obúlaná

doc. Ing. Stanislav Hostin, PhD.

Fakulta prírodných vied, UCM Trnava, Katedra ekochémie a rádioekológie, Nám. J. Herdu 2, 917 01 Trnava

Lektoroval: Ing. Neupauerová Andrea, PhD.



KOMPLEXNÉ RIEŠENIE ZÁSOBOVANIA TEPELNOU A ELEKTRICKOU ENERGIOU V RÔZNYCH KLIMATICKÝCH PODMIENKACH

COMPLEX SOLUTION OF HEAT AND ELECTRICITY SUPPLY IN DIFFERENT CLIMATES

Ján PLÁŠEK

ABSTRACT: The article deals with the problem of project the energy source of the heat and power generator in a variety of changing conditions of consumption and climate.

Key words: thermal power, electric power, heating plant, storage, heat pump

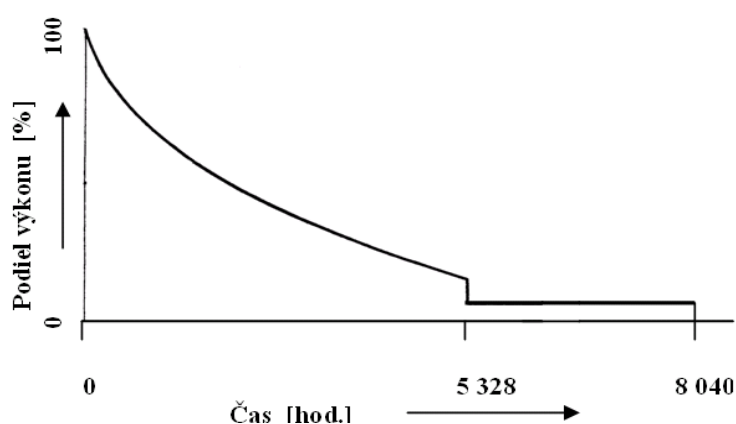
ABSTRAKT: Tento príspevok naznačuje zložitosť riešenia projektu zdroja energie sústavou tepelného a elektrického generátora v rôznych meniacich sa pomeroch spotreby a klimatických podmienok.

Kľúčové slová: tepelný výkon, elektrický výkon, tepláreň, akumulácia, tepelné čerpadlo

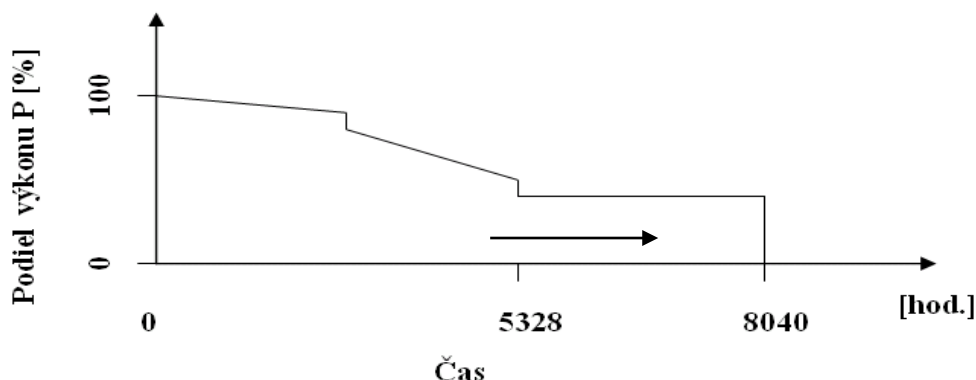
1. ÚVOD

Spotreba tepla pozostáva z komplexu požiadaviek v závislosti na vonkajších podmienkach pre krytie strát 1 vykurovaním s prirodzeným vetraním, 2 ohrevom teplej vody úžitkovej, 3 vykurovaním priestorov s vnútornými technologickými zdrojmi, 4 klimatizáciou, 5 technológiou.

Spotreba elektrickej energie toho istého komplexu podľa vonkajších podmienok pozostáva z krytia strát zariadenia zabezpečujúceho pohon 1 vykurovania, 2 ohrevu teplej vody, 3 klimatizácie, 4 technológie.



Obrázok 1 Priebeh ročného trvania odberu tepla



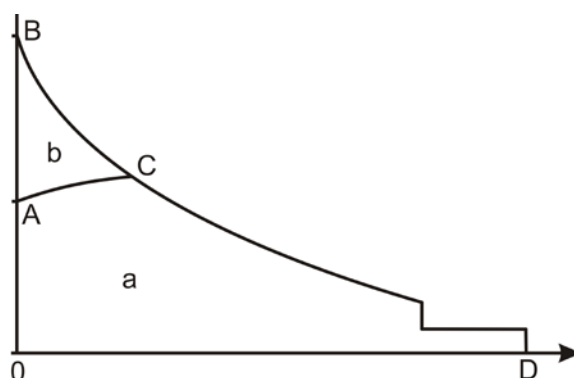
Obrázok 2 Priebeh ročného trvania odberu elektriny

Obe zložky spotreby je možné vyjadriť vo vzťahu k vonkajšej teplote, príkladom je riešenie konkrétneho zariadenia oboch zložiek energie. V danej lokalite je ukončenie vykurovania po 5328 hodinách. Za zmienku stojí prvý zlom priebehu odberu elektrického výkonu pri bode mrazu. Dôvodom je technológia spracovania vlhkého polotovaru.

2. KLASICKÉ ZABEHANÉ RIEŠENIE

Pozostávalo z návrhu a zostavy teplárenskej sústavy zloženej zo súboru tepelných generátorov výkonovej rady podľa nárokov spotreby na tepelný výkon a parametre pary a zo súboru parných kondenzačných a protitlakových odberových turbín v spojení s prepúšťacou stanicou a systémom výhrevne. Takéto riešenie podľa [7] str. 49 nadväzne na obrázok 1 vychádza z určenia teplárenského súčiniteľa α_r podľa plošného obsahu **a** a **b** z funkcie [1]:

$$\alpha_r = \frac{a}{a + b} \quad (1)$$

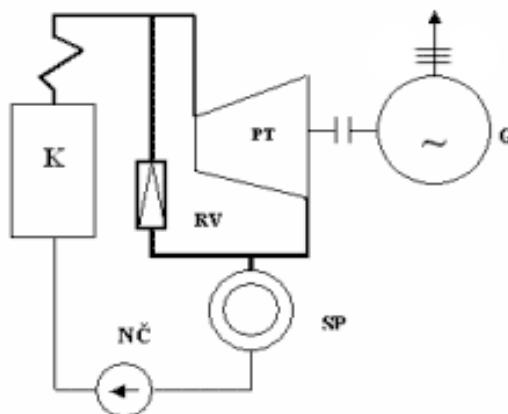


Obrázok 3 Rozčlenenie prevádzky tepelných systémov

Príklad súboru parných kotlov (**K**), súboru parných turbín (**PT**) a prepúšťacej stanice je v nasledovnom obrázku 4. Zosúladienie odberu tepla a elektrickej energie pri rôznej

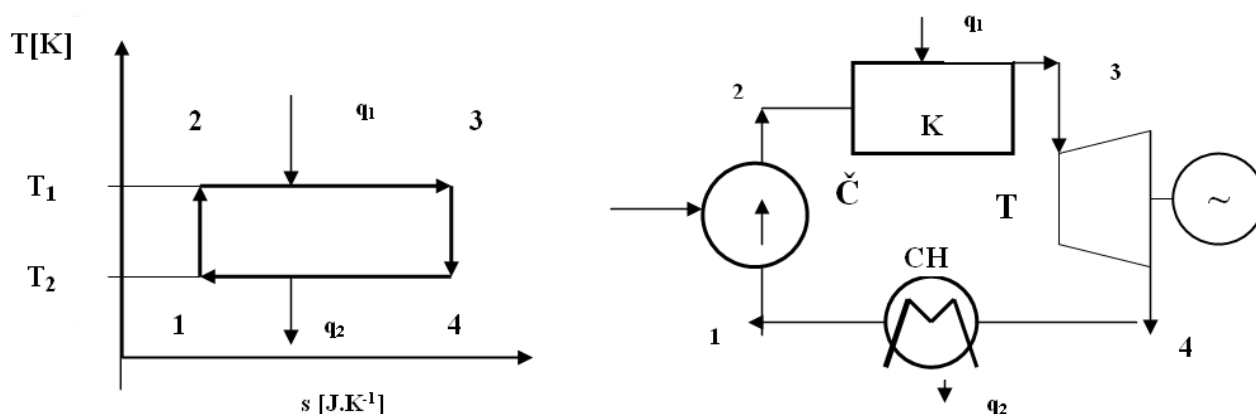


smennosti výroby zabezpečoval prevádzkovateľ radením prevádzky jednotlivých generátorov a turbín.



Obrázok 4 Tepláreň s pretlakovou turbínou a prepúšťacou regulačnou stanicou

Z pohľadu toku pracovnej tekutiny (vodná para, kondenzát) je ideálny vratný parný obeh naznačený na obrázku 5. Takéto zariadenie má vplyv na atmosféru emisiami a zvyšovaním teploty spalín, na hydrosféru zvyšovaním jej teploty (q_2), na litosféru tuhými horúcimi zbytkami po horení. Z hospodárskeho hľadiska je zjavný vplyv straty vedením do okolia S_{SV} . Táto strata je riešiteľná akumuláciou.



Obrázok 5 Carnotov cyklus

Č – čerpadlo (napájačka), K – parný kotol, T – parná turbína, CH – chladič (kondenzátor)

3. RIEŠENIE ZNÍŽOVANIA STRÁT

Prevádzkovateľ ovplyvňuje v spalínach obsah H_2O , NO_x , SO_2 , CO a CO_2 , znižuje teda aj teplotu spalín, výšku straty komínovej, ako aj nespálenou horľavinou. Stratu vedením do okolia S_{SV} môže eliminovať vhodným radením kotlov a je daná funkciou:



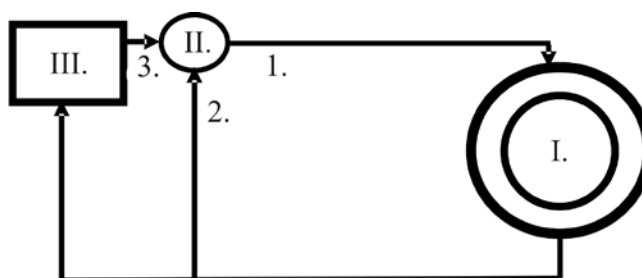
$$S_{sv}' = S_v \frac{M}{M'} \quad [\%] \quad (2)$$

kde je S_v [%] strata pri menovitom výkone,
 M [MW], [GJ.s⁻¹], [t.h⁻¹] menovitý výkon generátora,
 M' [MW], [GJ.s⁻¹], [t.h⁻¹] výkon pri hodnotení generátora.

Ak generátor prevádzkuje pri menovitom výkone, strata je minimálna. Zabezpečiť sa dá:

- projektovaním takého počtu a výkonovej skladby generátorov, ktorých sumárny výkon v prevádzke odpovedá požiadavke podľa vonkajšej teploty,
- zavedením akumulačného systému v rozvode tepla tak, aby pri vyčerpaní zdroja bol tento nabíjaný plným výkonom generátora ($M \approx M'$).

Takémuto režimu vyhovuje napríklad teplovodný vykurovací systém s teplotným spádom v spotrebičoch 90/70°C podľa [6] v obrázku 6.

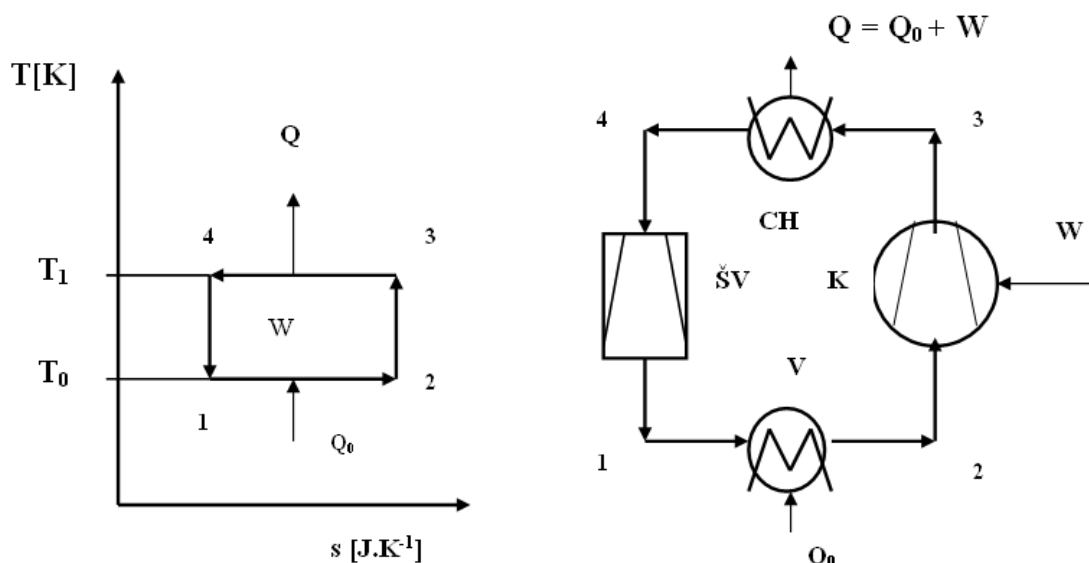


Obrázok 6 Schéma sústavy zdroj – sieť – spotrebiče

- | | |
|-----------------------------|--|
| I. Súbor spotrebičov | 1. Miesto výtoku tekutiny do siete pre spotrebiče |
| II. Miešací blok | 2. Miesto vtoku tekutiny do miešania z vychladnutej siete |
| III. Zdroj | 3. Miesto výtoku tekutiny zo zdroja |

4. RIEŠENIE TEPELNÝM ČERPADLOM

V tomto prípade už nie je riešená teplárenská sústava. Čerpanie elektrického výkonu je zabezpečené samostatným odberom zo siete. Takéto zariadenie nepôsobí na atmosféru emisiami, ale znižuje teplotu okolia. Hydrosfére nezvyšuje jej teplotu (Q_0), na litosféru nepôsobí. Princíp funkcie tepelného čerpadla je na obrázku 7.



Obrázok 7 Tepelné čerpadlo

V – výparník, K – kompresor, CH – chladič (kondenzátor), ŠV – škrtiaci ventil (expandér)

Oproti klasickému zabehanému riešeniu ide o určitý transformátor energie. Umožňuje využívanie tepelnej energie nižšej teplotnej úrovne transformovaním na vyššiu teplotu. Mechanický ekvivalent tepelnej práce W (ľavá časť obrázku) je úmerný ploche obdĺžnika 1-2-3-4. Pomer celkového tepla k ekvivalentu tepelnej práce je definovaný ako tepelný činiteľ podľa funkcie:

$$\varepsilon = \frac{Q}{W} = \frac{T_1}{T_1 - T_0}, \quad [\text{J.W}^{-1}] \quad (3)$$

kde je Q [J] celkové teplo,

W [W] ekvivalent tepelnej práce.

Z definície jednotky tepelnej práce vyplýva, že ideálna hodnota $\varepsilon = 3600$ [J.W⁻¹]. Dosahované hodnoty sú v rozsahu 2,5 až 4.

V praxi je dosahovaný skutočný činiteľ:

$$\varepsilon_{ef} = k \cdot \varepsilon, \quad [\text{J.W}^{-1}] \quad (4)$$

keď $k = 0,4 \div 0,5$.

Postupy k využitiu tohto zdroja menia hodnotu tepelnej charakteristiky q_0 [W.m⁻³.°C⁻¹] na [W.m⁻².°C⁻¹], čím sa zanedbáva únik tepla cez vysoké steny. Je na mieste porovnanie so starou metódou.

Doteraz platili postupy vyjadrenie plochy a vo funkcii (1) v závislosti na výške umiestnení bodu C v osi Y . Podľa tvaru krivky projektant teraz volí zásobovanie výlučne tepelným čerpadlom a systém je **monovalentný**, alebo volí systém **bivalentný** s využitím



priameho ohrevu elektrickými špirálami (obdoba teplárne v časti prepúšťacej regulačnej stanice). U bivalentného režimu už od vonkajšej teploty $< -3\text{ }^{\circ}\text{C}$, resp. $< +7\text{ }^{\circ}\text{C}$ prechádza záťaž na miestnu trafostanicu elektrizačnej siete. Takéto stavy vyvolávajú výpadok celej siete v najnepriaznivejších podmienkach.

5. ZÁVER

V tomto príspevku naznačujem nutnosť komplexného riešenia problematiky. Dôvodom sú zmeny zvyrazňujúce nové, kvalitnejšie, jednoduchšie trendy. Zmenou prístupu k projektom realizovaným na celom území nebude možné iba kopírovať výsledky centra.

LITERATÚRA

- BALÁK, R. – PROKEŠ, K.: 1984. *Nové zdroje energie*, Polytechnická knižnice Praha, 1984.
- FARKAŠ, B.: 1986. *Priemyselné tepelné centrály*, SVŠT Bratislava, 1986.
- JENČÍK, J. – VOLF, J.: 2000. *Technická měření*, ČVUT Praha, 2000. ISBN 80-01-02138-6.
- KABÁT, V.: 1985. *Energetické stroje a zariadenia*, SVŠT Bratislava, 1985.
- KONIAR, J.: *Experimentálny model rekuperačného výmenníka tepla*. Technické vzdelávanie ako súčasť všeobecného vzdelávania. Zborník príspevkov 27. medzinárodnej vedecko-odbornej konferencie. UMB Banská Bystrica, ISBN 970-80-557-0265-0, s.140 - 144.
- PLÁŠEK, J.: 2006. *Technické riešenie akumuláčného tepelného zdroja vykurovaného objektu*, vedecká štúdia. FEVT Zvolen, 2006. ISBN 80-228-1541-1.
- PLÁŠEK, J.: 2006. *Manažment v energetike*, FEVT Zvolen, 2006. ISBN 80-228-1559-4.
- ŽIARAN, S. – FERSTL, K.: 1990. *Technika prostredia*, SVŠT Bratislava, 1990.

Kontaktná adresa:

doc. Ing. Ján Plášek, CSc.

Katedra environmentálnej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,
Technická univerzita vo Zvolene, Študentská 26, 960 53 Zvolen, plasek@vsld.tuzvo.sk

Lektoroval: Ing. Koniar Ján, PhD.



EMISNÍ MĚŘENÍ TUHÝCH ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK A PRŮTOKU

CONTINUOUS DUST AND FLOW MEASUREMENT

Michal REJZEK

ABSTRACT: The paper describes dust and flow measurement, which is used for the CEMS measurement of flue gas.

Key words: emission, dust, CEMS, flow

ABSTRAKT: Příspěvek pojednává o možnostech měření tuhých znečišťujících látek, která se používá pro měření plyných emisí.

Klíčové slová: TZL, prach, průtok, emise

1. ÚVOD

Současné požadavky na zajištění ekologického provozu spalovacích zdrojů vyžadují přesné měření emitovaných škodlivin. Tyto požadavky platí pro převážnou většinu emisních zdrojů. U menších zdrojů postačuje provádět měření pouze jednorázovým měřením akreditovanou měřicí skupinou a to většinou jednou za rok. U velkých zdrojů je vyžadována instalace systému pro kontinuální měření emisí, které zpracovává tzv. emisní počítač a poskytuje reporty inspekci životního prostředí.

Požadavky měřených veličin i emisních limitů jsou dány zákonem a místním předpisem inspekce životního prostředí. U standardních spalovacích zdrojů (teplárny, elektrárny) je většinou požadováno měření CO, NO_x, SO₂, TZL (tuhé znečišťující látky) a O₂. Pro zdroje spalující a spoluspalující odpad je dále požadováno měření HCl, HF, VOC (suma organických uhlovodíků), případně NH₃ a Hg. U ostatních emisních zdrojů, jako např. Chemické závody či rafinerie, je požadováno měření ještě dalších komponent.

Pro přepočet na normálové hodnoty je třeba rovněž měřit stavové veličiny jako je teplota, tlak, průtok a případně vlhkost.

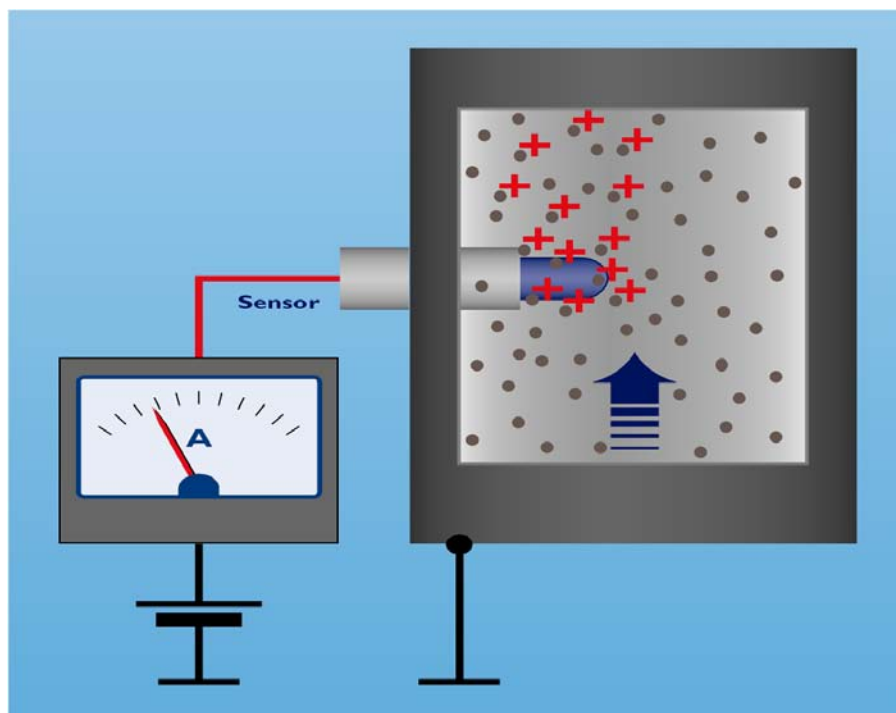
Mezi základní znečišťující složku patří tuhé znečišťující látky (TZL), současně s měřením TZL je třeba stanovit rovněž objemový tok těchto škodlivin, čehož lze dosáhnout výpočtem nebo přímým měřením rychlosti proudění v kouřovodu.

2. MĚŘENÍ TZL

Pro měření TZL se v současné době používá několik metod a principů. My se budeme zabývat metodami určenými pro kontinuální měření emisí.

2.1 Triboelektrický princip

Jednou z jednodušších a cenově přijatelných metod je triboelektrický princip. Princip spočívá v tom, že částice, které narážejí do sondy vytvářejí elektrický náboj, který je možné detekovat a měřit jeho intenzitu. Ta závisí na množství částic. Metoda se používá především k orientační detekci poškození filtrů a rámcovému určení množství TZL. Vzhledem k výrazné závislosti na stavových podmínkách, jako je teplota, tlak a rychlost proudění není tato metoda vhodná pro měření emisí, k čemuž ani není schválena.



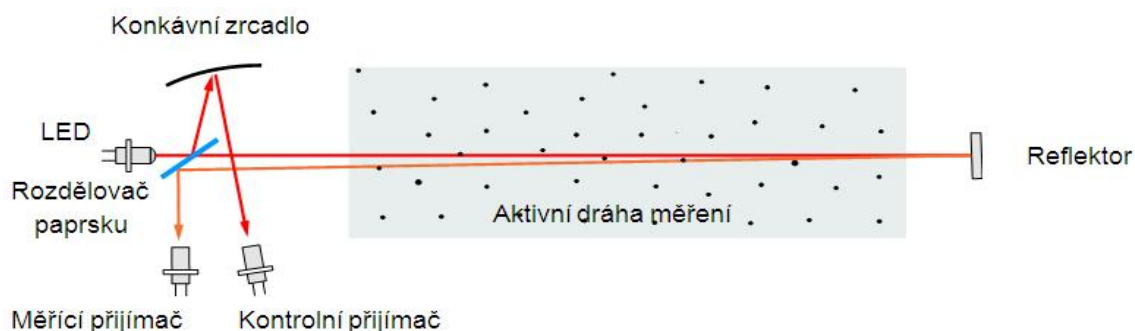
Obrázek 1 Triboelektrický princíp

2.2 Optické metody

Optické metody patrí k najpresnejším a najspoľahlivejším metódam pro měření TZL. Dle požadavku daného procesu je možno použiť vždy najvhodnejší optickou variantu.

Nejstarší metodou, známou a používanou již přes 40 let je metoda transmise, která vychází z Lambert – Beerova zákona o útlumu intenzity světla v daném prostředí.

Tato metoda se používá pro měření vyšších koncentrací TZL a v současné době, kdy se výrazně snižují emisní limity již nedostačuje.

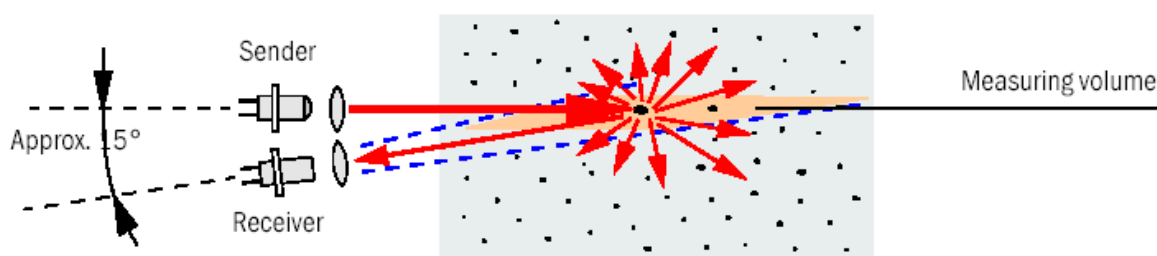


Obrázek 2 Metoda transmise

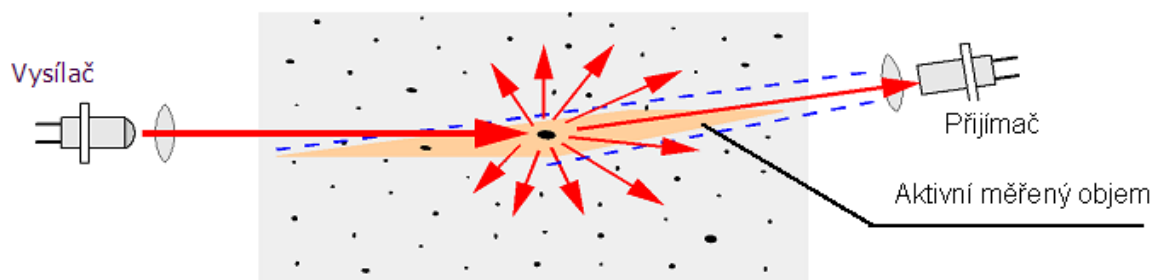
Dnešní limity emisí TZL se pohybují pod 50 mg/m^3 , ale v některých případech i 20 mg/m^3 , což dle legislativy předpokládá použití přístroje s rozsahem $0\text{--}50 \text{ mg/m}^3$. Reálně měřené hodnoty TZL se za kvalitními látkovými filtry pohybují kolem jednotek mg/m^3 .



Pro měření takto nízkých koncentrací byla vyvinuta metoda rozptýleného světla, která pracuje na principu měření odraženého světla od prachových částic, které jsou osvětlovány světelným zdrojem. Detektor může být umístěn na stejné straně jako vysílač (Zpětný odraz) nebo na druhé straně kouřovodu (dopředný odraz).



Obrázek 3 Metoda rozptýleného světla - zpětné



Obrázek 4 Metoda rozptýleného světla - dopředné

3. MĚŘENÍ PRŮTOKU

Průtok je základní stavovou veličinou pro stanovení objemového množství škodlivin. V závislosti na legislativě je možné průtok stanovit výpočtem, pomocí dat z kouřových ventilátorů a složení paliva. Pro některé zdroje jako jsou spalovny a cementárny legislativa jasně určuje povinnost přímého měření průtoku spalin.

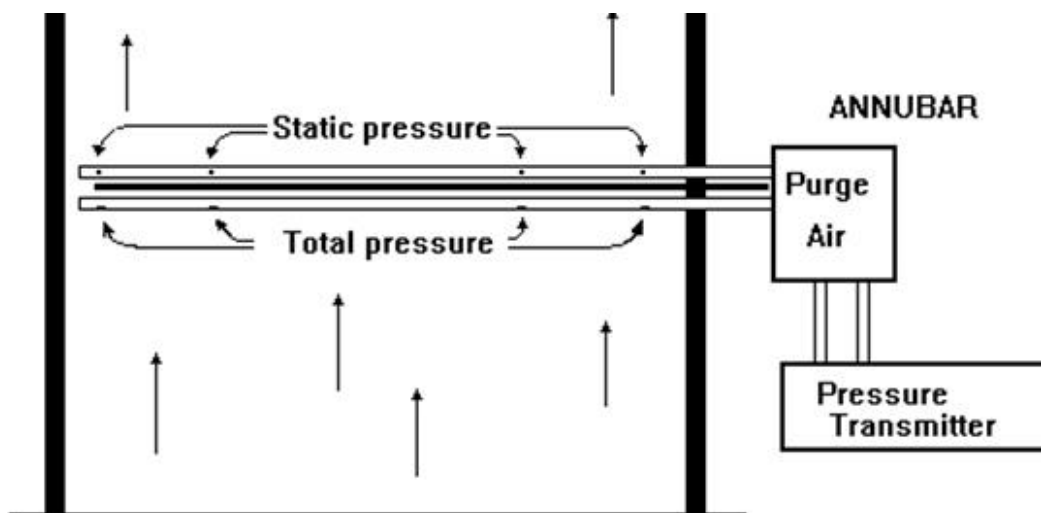
Pro měření průtoku se obecně používá mnoho metod. V případě emisního měření spalin v kouřovodech se používají v podstatě dvě metody.

3.1 Metoda tlakové difference

Metoda tlakové difference patří k jednoduchému a poměrně nenákladnému řešení měření průtoku v kouřovodu. Princip spočívá ve vložení sondy do toku plynu. Sonda má ve směru proti proudění plynu otvory a měří se tlak na této straně sondy. Na straně ve směru proudění plynu má stejný počet otvorů a měří se hodnota statického tlaku. Rozdíl těchto tlaků je podle Bernoulliho principu úměrný rychlosti proudění plynu.



Tato metoda není vhodná v případech, kdy obsahují odpadní plyny lepkavé částice, které mohou otvory v trubici ucpat. To se dá řešit profukováním či dalšími opatřeními.



Obrázek 5 Metoda tlakové difference

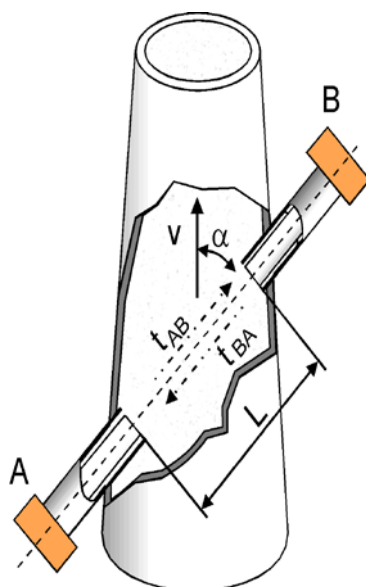
3.2 Metoda ultrazvuková

Tato metoda patří mezi nejmodernější způsoby měření průtoků. Používá se i pro velmi přesné fakturační měření zemního plynu. Metoda spočívá ve vyslání ultrazvukového signálu od jednoho převodníku k druhému a změření času přechodu. To též se opakuje i v druhém směru. Díky této diferenční metodě, kdy v jenom směru je paprsek urychlován a ve druhém naopak zpomalován, je tato metoda nezávislá na rychlosti zvuku v daném prostředí a tedy i teplotě, tlaku a složení plynu.

Umístění sond se doporučuje v úhlu 45-60° od osy kouřovodu. Doporučují se rovněž co nejdelší rovné délky kouřovodu před měřicím místem.

Výhodou metody je rovněž vysoká teplotní odolnost sond, odolnost vůči korozi i znečištění. V extrémních případech je možné k sondám přidat ofuk, který zabraňuje ulpívání lepkavých částic na převodníku a rovněž slouží k chlazení sondy.

Výhoda ultrazvukového měření je také ve flexibilním umístění na kouřovodu. Měření může být umístěno na komíně, na ležatém nebo svislém kouřovodu. Může být použito i umístění z jedné strany. Výstupem měření může být aktuální rychlost, aktuální průtok nebo přepočtený průtok na normálové podmínky.



Doba průchodu:

$$t_{AB} = \frac{L}{c + v_p \cos(\alpha)}$$

$$t_{BA} = \frac{L}{c - v_p \cos(\alpha)}$$



$$v_p = \frac{L}{2 \cos(\alpha)} \left(\frac{1}{t_{AB}} - \frac{1}{t_{BA}} \right)$$

v_p	-	střední rychlost v měřící větvi
t_{AB}, t_{BA}	-	časy průchodu
L	-	délka měřící větve
α	-	Instalační úhel vzhledem k ose proudění
c	-	rychlost zvuku

Obrázek 6 Výpočet rychlosti proudění

4. SHRUTÍ

Závěrem lze konstatovat, že je k dispozici mnoho metod měření TZL i průtoku, nicméně se reálně při měření emisí používají prakticky pouze dvě. Při dnešním důrazu na ekologičnost provozu a neustále se zvyšujících nárocích na měření nižších hodnot se používají stále modernější techniky a technologie, které však vycházejí ze základních fyzikálních a opto-elektrických principů.

Kontaktná adresa:

Ing. Michal Rejzek, SICK spol. s r.o., Ukrajinská 2a, 101 00 Praha 10, Česká republika

Lektoroval: *Ing. Brodnianská Zuzana*



NOVÉ TRENDY V APLIKÁCII FILTRAČNÝCH MATERIÁLOV PRE EFEKTÍVNY ZÁCHYT RIZIKOVÝCH LÁTOK V OVZDUŠÍ

NEW TRENDS IN THE APPLICATION OF FILTER MATERIALS FOR EFFICIENT COLLECTION OF HAZARDOUS SUBSTANCES IN THE AIR

Eva RUŽINSKÁ – Marek JABŁOŃSKI

ABSTRACT: The article deals with the the problem of actual results of research in the field of new synthetic materials which can be used as filter materials for effective collection of hazardous substances in the air into the teaching subjects focused on technical air protection in the area of study program Ekotechnics. In the experimental part of the contribution are summarised the results of preparation and study bicomponent mixture fibers and evaluation, as well as rheological and morfological properties which determine the efficiency of the separation of hazardous substances, which can be used in ecotechnics facilities in industrial technologies.

Key words: hazardous substances, filters, air protection, ecotechnics

ABSTRAKT: Príspevok sa zaoberá problematikou aktuálnych výsledkov výskumu v oblasti nových syntetických materiálov využiteľných ako filtračné materiály pre efektívny záchyt rizikových látok v ovzduší do výučby predmetov zameraných oblast' na oblast' techniky ochrany ovzdušia v študijnom programe Ekotechnika. V experimentálnej časti príspevku sú sumarizované výsledky prípravy a štúdia bikomponentných zmesových vlákien a hodnotenia reologických, ako aj morfológických vlastností, ktoré určujú aj účinnosť separácie rizikových látok, využiteľných v ekotechnických zariadeniach v priemyselných technológiách.

Kľúčové slová: rizikové látky, filtračné materiály, ochrana ovzdušia, ekotechnika

1. ÚVOD

V súčasnosti v oblasti priemyselných technológií je príprava environmentálne akceptovateľných materiálov podmienená zachovaním požadovaných kvalitatívnych charakteristík produkovaných materiálov pri dodržaní predpísaných hygienických limitov, ktoré sú v súlade s aktuálnymi legislatívnymi požiadavkami EÚ (Neupauerová, 2008; Ružinská, 2009, 2010, 2011).

Monitorovanie obsahu nebezpečných plyných a tuhých znečisťujúcich látok je jedným z opatrení ako sledovať kvalitu pracovného i obytného prostredia práve v interakcii s materiálmi, použitými na vnútorné vybavenie týchto priestorov. Jedným z riešení ako skĺbiť prípravu nových materiálov je inovácia v technológiách prípravy environmentálne prijateľných materiálov, ktoré by priniesli zníženie, resp. úplnú náhradu tých komponentov, ktoré klasifikujú mnohé materiály do pozície hygienicky problematických, vzhľadom na prítomnosť rizikových chemických látok. Majoritným zdrojom generujúcim vznik rizikových látok v ovzduší sú procesy povrchových úprav materiálov na báze kovov, dreva, plastov, ďalej odmasťovanie a galvanické pokovanie materiálov ako aj procesy s využitím rozpúšťadiel, lakov, farieb a adhezív, pri ktorých dochádza ku uvoľňovaniu VOC do ovzdušia (Ružinská, 2009, 2010b; Smernica, 2004).

Rôzne alternatívy ekotechnických spôsobov riešenia efektívneho záchytu rizikových látok v ovzduší boli publikované v príspevkoch z predchádzajúcich ročníkov seminárov „Nové trendy v technike ochrany ovzdušia“ (Ružinská a Jabłoński, 2011). Príspevok



nadväzuje na problematiku účinného zachytu rizikových látok výberom komponentov do odlučovacích zariadení – textilných filtrov novej generácie. (Radvanská a kol., 2008; Vejvoda a kol., 2003, Ružinská a Jabłoński, 2011).

Odlučivosť textilných filtrov spravidla dosahuje 99,9 %, filtre špičkovej kvality dosahujú odlučivosť až 99,99 % a vyššiu, čím sú najúčinnnejšími mechanickými odlučovačmi prachu a vytvárajúcich sa aerosólov rizikových látok (Fortelný et al., 1989; Min, 1984; Kuleznev, 1980). Práve vývoj v oblasti využitia nových typov syntetických materiálov umožňuje dosiahnuť vysokú odlučivosť aj v náročných prevádzkových podmienkach pri nižších ekonomických nákladoch v porovnaní napr. so sklenými, resp. PTFE filterami (Radvanská a kol., 2008).

Bikomponentné syntetické vlákna predstavujú skupinu progresívnych materiálov, ktoré v súčasnosti rozšírili sortiment klasických vláknotvorných polymérov nielen v rôznych priemyselných ale aj stavebných aplikáciách, napr. ako inovatívne zvukovo-izolačné, ale najmä filtračné materiály.

Cieľom príspevku je transfer aktuálnych výsledkov výskumu v oblasti nových syntetických materiálov využiteľných ako filtračné materiály pre efektívny zachyt rizikových látok v ovzduší do výučby predmetov zameraných na oblasť techniky ochrany ovzdušia v študijnom programe Ekotechnika. Príspevok v experimentálnej časti sumarizuje výsledky prípravy a štúdiá bikomponentných zmesových vlákien a hodnotenia reologických, ako aj morfológických vlastností, ktoré určujú aj účinnosť separácie rizikových látok, využiteľných v ekotechnických zariadeniach v priemyselných technológiách.

2. BIKOMPONENTNÉ SYNTETICKÉ VLÁKNA

Svojou charakteristickou štruktúrou typu “polymér-polymér” vo forme ultrajemných mikrovláken a jedinečným morfológickým usporiadaním tzv. matrica – fibrily sa dajú uplatniť v priemyselnej vzduchotechnike a stavebníctve. Štúdiu prípravy bikomponentných vlákien, ako aj hodnoteniu morfologickej štruktúry a úžitkových vlastností boli venované príspevky (Ružinská, 2010a; Ružinská a Jabłoński, 2011).

Polyméry na prípravu vláknotvorných zmesí na báze polypropylénu a polyamidu 6 (PP/PA₆) sú termodynamicky neznášateľné systémy zabráňujúce vytvoreniu homopolymérneho systému. Spôsobujú tak vznik fázového rozhrania ako dôsledok zvýšenia entalpie systému pri miešaní polymérov. Stabilita vytvorenej fázovej morfológie závisí od prídavku medzifázového činidla, zabezpečujúceho potrebnú dispergovateľnosť a zvýšenú adhéziu zložiek na fázovom rozhraní, a tým aj výrazné zlepšenie fyzikálno-mechanických vlastností polymérneho systému (Ružinská, 2010; Kuleznev, 1980).

Reologické vlastnosti sa hodnotia z hľadiska orientácie makromolekúl pri deformácii za toku, čo súvisí s tvorbou štruktúry polymérneho prúdu i vlákna a so spracovateľskými vlastnosťami polyméru. Reológia polymérnych zmesí závisí nielen od molekulovej štruktúry, ale aj od vlastností skúmaných systémov (Fortelný et al., 1989; Jordhamo et al., 1986; Paul et al., 1978, Lipatov, 1982, Min, 1984).

Taveniny vláknotvorných polymérov sa chovajú ako tzv. pseudoplastické kvapaliny, viskozita ktorých klesá so zvyšujúcim sa šmykovým napätím, čo je spôsobené rozrušovaním pôvodnej štruktúry polymérov, a to vplyvom orientácie nesymetrických častíc i rozrušovaním vytvorených aglomerátov. Pre popis ich správania uspokojivo vyjadruje tokovú krivku v rozsahu 1 až 2 rádov šmykovej rýchlosti mocninový zákon:

$$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n \quad (1)$$



Exponent n mocninového zákona je pre pseudoplastické kvapaliny menší než 1, (pre newtonskú kvapalinu $n = 1$) keď mocninový zákon prechádza na Newtonov zákon toku, potom koeficient konzistencie K je rovný dynamickej viskozite η (Jordhamo et al., 1986; Paul et al., 1978, Lipatov, 1982).

Reologické vlastnosti tavenín polymérnych zmesí sú určené charakterom jednotlivých zložiek, ako aj procesmi tvorby štruktúry v podmienkach toku. Reologické charakteristiky zmesnej taveniny sa menia v porovnaní s vlastnosťami jej jednotlivých zložiek, pričom tieto zmeny spravidla podliehajú pravidlu aditivity (Min, 1984).

3. PRÍPRAVA A HODNOTENIE REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ POLYMÉRNÝCH ZMESÍ

Polymérne zmesi sa pripravili pretavením mechanickej zmesi granúl polypropylénu a polyamidu 6 na dvojzávitovkovom zariadení ϕ 35 mm pri teplote 250 °C v laboratóriách STU FCHPT a v ÚP SAV. S cieľom štúdia vplyvu pomeru zložiek a obsahu medzifázového činidla sa pripravili série vláknotvorných polymérnych zmesí:

- Zmesi s rôznym pomerom zložiek polypropylénu a polyamidu 6. Zmesi pripravené bez medzifázového činidla sme označili PP/PA₆ a zmesi pripravené zmiešaním polypropylénu s polyamidom 6 upraveným 4 % kopolyméru PP-MAH, sme označili PP/PA_{6M}. Pripravili sa nasledovné zmesi:
PP/PA₆ 90/10 a 80/20
PP/PA_{6M} 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 50/50, 40/60, 20/80
- Zmesi s rôznym obsahom medzifázového činidla pri konštantnom pomere zložiek (80/20). Pripravili sa nasledovné zmesi PP/PA₆/M : od 1 do 5 % hm.

Experimentálna časť príspevku je zameraná na hodnotenie reologických vlastností pripravených polymérnych zmesí polypropylén-polyamid 6 (PP/PA₆) na kapilárnom viskozimetri GÖTTFERT typ MI 3564 – s automatickým odčítaním prietokového času objemovej jednotky taveniny.

Podmienky merania boli volené tak, aby čo najpresnejšie vystihovali podmienky toku taveniny v procese tvorby vlákna. Pri reologických meraniach bola použitá kapilára s pomerom $(L/d) = 30$, pre zníženie strát tlaku v dôsledku vstupných vplyvov.

Podmienky merania boli nasledovné:

- použité šmykové napätia (v Pa):
 $\tau_1 = 3,997 \cdot 10^3$
 $\tau_2 = 7,368 \cdot 10^3$
 $\tau_3 = 1,224 \cdot 10^4$
 $\tau_4 = 1,746 \cdot 10^4$
 $\tau_5 = 2,103 \cdot 10^4$
 $\tau_6 = 2,499 \cdot 10^4$
 $\tau_7 = 3,025 \cdot 10^4$
- doba tavenia: 5 minút
- ustálenie toku : 1 minúta
- teplota: 250, 260, 270 °C.

Pri každej hodnote šmykového napätia sa vykonalo 10 meraní. Z priemernej hodnoty nameraného času sa vypočítala šmyková rýchlosť $\dot{\gamma}$ podľa vzťahu (2):



$$\gamma = \frac{32 \cdot V}{\pi \cdot d^3} = \frac{8 \cdot d_1^2 \cdot h}{d^3 \cdot t} \quad (2)$$

kde d_1 – je priemer piesta, d – priemer kapiláry, h – výška valca vytlačenej struny,
 V – objemový prietok vytlačenej taveniny polyméru, t – čas (v s).

Šmykové napätie sa potom vypočítalo zo vzťahu (3):

$$\tau = \frac{z \cdot g \cdot r_0}{2 \cdot l \cdot r_1^2} = 1051,89 \cdot z \quad (3)$$

kde z – je závažie (kg), r_0 – polomer piesta, l – dĺžka kapiláry, g – gravitačné zrýchlenie,
 r_1 – polomer kapiláry

Pre hodnotenie tokových vlastností na kapilárnom viskozimetri boli použité polymérne zmesi PP/PA_{6M} s meniacim sa obsahom dispergovanej zložky (polyamidom obsahujúcim 4 % hm. medzifázového činidla MAH - maleínanhydridu) v rozsahu od 10 do 50 % hm. Zo získaných výsledkov (rovnica 1) možno zostrojiť tokové krivky, resp. zaznamenať získané výsledky do tabuliek numericky.

Tab. 1 Parametre Ostwald de Waelovho modelu pre čisté polyméry a zmesi pripravené s rôznym obsahom modifikovanej polyamidovej zložky

Vzorka	250 °C		260 °C		270 °C	
	n*	K**	n*	K**	n*	K**
PP 100/0	0,64	761,4	0,64	540,2	0,73	307,9
PA _{6M}	0,62	1118,3	0,78	424,6	0,82	294,9
PP/PA _{6M} 80/20	0,67	974,9	0,64	745,1	0,69	520,9
PP/PA _{6M} 70/30	0,76	868,9	0,63	877,2	0,67	630,9
PP/PA _{6M} 60/40	0,79	912,4	0,64	1013,8	0,72	565,9
PP/PA _{6M} 50/50	0,87	858,6	0,58	1385,9	0,71	682,2

n* – index pseudoplasticity, K** – koeficient konzistencie

Z vyhodnotených výsledkov v Tab. 1 vyplynuli nasledovné závery:

- Tok zmesových tavenín má pseudoplastický charakter podobne ako čistý PP.
- Tokové vlastnosti zmesí s rôznym zastúpením zložiek možno vyjadriť Ostwald de Waelovým reologickým modelom.

Hodnoty indexu nenewtonského toku zmesí sa od čistého polypropylénu výrazne nelíšia a neprejavila sa jednoznačná závislosť od obsahu dispergovanej zložky. Rozdiely sa



však prejavili pri porovnávaní hodnôt pre zmesi pripravené zmiešaním čistých zložiek, resp. s použitím medzifázového činidla, čo dokumentuje Tab. 2.

Pre komplexnejšie posúdenie reologických vlastností bola v experimentálnej časti sledovaná zdanlivá viskozita zmesí v závislosti od zloženia a obsahu medzifázového činidla. Z vyhodnotených výsledkov vyplynulo:

- S rastúcim šmykovým napätím klesá zdanlivá viskozita zmesí analogicky ako u vstupných polymérov.
- Hodnoty viskozít zmesí narastajú so zvyšujúcim sa obsahom polyamidovej zložky, pričom ich hodnoty sú podstatne vyššie než aditívne hodnoty viskozít, vypočítané z čistých zložiek.
- Z uvedených skutočností je možné predpokladať, že je to prejav zvýšenia znášateľnosti systému v dôsledku vysokého stupňa dispergácie zložiek, čo je v súlade so zistením KULEZNEVA (1980).

Tab. 2 Porovnanie parametrov Ostwald de Waelovho reologického modelu pre zmesi PP-PA 6 (80/20) s medzifázovým činidlom a bez použitia medzifázy

Vzorka	250 °C		260 °C		270 °C	
	n	K	n	K	n	K
PP/PA ₆ 80/20	0,52	717,9	0,57	717,9	0,51	929,4
PP/PA _{6M} 80/20	0,67	974,9	0,64	745,1	0,69	520,9

Úloha medzifázového činidla pri tvorbe štruktúry zmesí, odrážajúca sa v tokových vlastnostiach, bola študovaná zo závislosti zdanlivej viskozity od šmykového napätia zmesí pripravených s použitím medzifázy (maleínanhydridu), resp. zmesí pripravených bez aplikácie medzifázového činidla. Vyhodnotený výsledky sú dokumentované v Tab.3.

Tab. 3 Vypočítané hodnoty rozdielu skutočných a aditívnych hodnôt zdanlivých viskozít pripravených polymérnych zmesí

Zmes	$\Delta\eta = \eta_{\text{exp}} - \eta_{\text{adit}}$			
	260 °C	260 °C	270 °C	270 °C
	$\tau_1 = 1,7 \cdot 10^4 \text{ Pa}$	$\tau_2 = 2,5 \cdot 10^4 \text{ Pa}$	$\tau_1 = 1,7 \cdot 10^4 \text{ Pa}$	$\tau_2 = 2,5 \cdot 10^4 \text{ Pa}$
PP/PA ₆ 90/10	7,2	3,2	7,2	10,3
PP/PA ₆ 80/20	0,6	0,9	4,7	7,4
PP/PA _{6M} 90/10	20,3	3,3	23,6	20,9
PP/PA _{6M} 80/20	40,5	26,3	40,1	40,6
PP/PA _{6M} 70/30	55,1	33,6	46,1	47,6
PP/PA _{6M} 60/40	93,5	57,2	57,6	53,5
PP/PA _{6M} 50/50	123,5	107,8	80,2	82,7

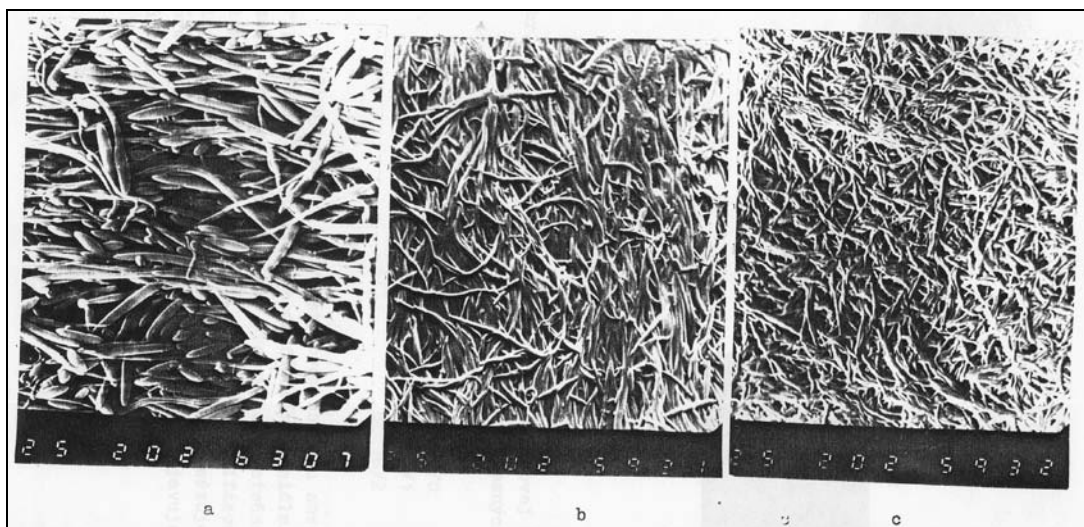


Z vyhodnotených výsledkov v Tab. 3 vyplynulo:

- Kým hodnoty zdanlivej viskozity zmesí PP/PA₆ (bez medzifázy) sú blízke aditívnym hodnotám, zdanlivé viskozity zmesnej taveniny, pripravenej s použitím medzifázového činidla, majú hodnoty podstatne vyššie.
- V súlade so zistením KULEZNEVA (1980), LIPATOVA A KOL. (1982) môžeme predpokladať, že narastá homogenita disperzie ako dôsledok zvýšenia technologickej znášanlivosti zložiek zmesi.
- Stupeň disperzity zmesi sa zvyšuje vplyvom tvorby početnejších interakcií makromolekulových zložiek pri deformácii.
- Uvedené závery potvrdzujú, že rozhodujúcu úlohu má práve medzifázové činidlo pri zvýšení znášanlivosti systému, čo kladne ovplyvňuje reologické vlastnosti taveniny pripravených polymérov.
- Dôležitý je aj vplyv prítomnej polyamidovej zložky, ktorá má kladný vplyv na vytvorenú fázovú štruktúru, čo priamo súvisí s užívateľskými vlastnosťami vytvorenej nadmolekulovej štruktúry bikomponentného vlákna.

4. HODNOTENIE MORFOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ PRIPRAVENÝCH BIKOMPONENTNÝCH VLÁKIEN

Morfologická štruktúra pripravených bikomponentných zmesových vlákien bola hodnotená pomocou REM metódy. Elektrónová mikroskopia poskytuje údaje o charaktere, pravidelnosti a usporiadanosti útvarov nadmolekulovej a morfologickej štruktúry. Meranie sa uskutočnilo na zariadení JEOL JSM - 35.



Obr.1 REM mikrofotografie zmesových vlákien pripravených s rôznym obsahom medzifázového činidla : a/80/20/0, b/80/19/1, c/80/18/2 PP/PA₆/M

Pre posúdenie fázovej morfológie zmesových vlákien sme vyextrahovali polypropylénovú zložku vlákien a pomocou riadkovej elektrónovej mikroskopie (REM) sme hodnotili geometrické charakteristiky dispergovanej polyamidovej zložky. Z Obr. 1 a,b,c je možné posúdiť vplyv medzifázového činidla na stupeň dispergácie polyamidovej zložky.



Z REM mikrofotografií je vidieť, že častice polyamidu sa nachádzajú v polypropylénovej matrici vo forme mikrovláken, ktorých veľkosť a rovnomernosť závisí od obsahu medzifázového činidla. Čím je obsah medzifázy vyšší, tým sú mikrovláka jemnejšie s rovnomernejšou distribúciou.

Separáciu zložiek zmesných vlákien sme využili nielen pre hodnotenie fázovej štruktúry, ale aj pre prípravu mikrovláken polyamidu 6. Vzhľadom na to, že materiály pripravené na báze mikrovláken sa používajú nielen ako filtračné materiály, ale aj na zvukovo-izolačné účely, hodnotenie špecifického povrchu plošných útvarov, ako prioritne kvalitatívne kritérium pre ich priemyselné uplatnenie bolo skúmané (Ružinská a Jabłoński, 2011, Ružinská, 2010).

Tieto výsledky doplnili zistenia ortuťovej porozimetrie, že v čistom polypropyléne ako aj v zmesovom bikomponentnom vlákne, sa vyskytujú póry v pomerne úzkej distribúcii prakticky do veľkosti 50 nm. Póry vznikli ako prejav štruktúrnych defektov povrchu vlákna. S tým súvisí aj nízka hodnota špecifického povrchu vlákna $4,91 \text{ m}^2/\text{g}$. V prípade polyamidových mikrovláken je distribúcia široká v celom rozsahu meraných hodnôt 5 - 6 000 nm. Hodnota špecifického povrchu je rovná $30,91 \text{ m}^2/\text{g}$ a predstavuje cca 8-násobok hodnoty špecifického povrchu zmesového, ale aj homopolymérneho polypropylénového vlákna a potvrdzuje, že ultrajemné bikomponentné zmesové vlákna sú vhodné ako perspektívne materiály aplikované pri príprave nových typov filtračných materiálov.

5. ZÁVER

Príspevok prezentoval aktuálne výsledky výskumu v oblasti nových syntetických materiálov využiteľných ako filtračné materiály pre efektívny záchyt rizikových látok v ovzduší v ekotechnických zariadeniach v rôznych priemyselných technológiách štúdiom prípravy, reologických a morfológických charakteristík pripravených zmesových bikomponentných vlákien. Uvedené poznatky budú zapracované do pripravovaných inovatívnych učebných a didaktických pomôcok pre výučbu predmetov Priemyselné technológie, Analýza prostredia v procesoch, Monitorovanie životného prostredia v študijnom programe Ekotechnika.

LITERATÚRA

FORTELNÝ, I., ROSENBERG, R., KOVÁŘ, J.: 1989. The effect of composition and rheological properties of component on the morphological structure of polymer blends. In: *Polymer Blends*. 32nd Microsymposium, Praha, s. P-98.

JORDHAMO, G.M., MANSON, J.A., SPERLING, L.H.: 1986. *Polymer Eng. Sci*, 26, s. 517.

KULEZNEV, V.N.: 1980. Smesi polimerov. *Chimija Moskva*, 326 s.

LIPATOV, J.S. ET AL.: 1982. *Vysokomolekul. sojedinenija*, 3, s. 549.

MIN, K., WHITE, J.L., FELLERS, J.F.: 1984. *Polymer Eng. Sci.*, 24, s. 1327.

PAUL, D.R., NEWMANN, C.: 1978. *Polymer Blends*. New York, 453 s.

NEUPAUEROVÁ, A.: 2008. Vplyv fyzikálnych faktorov vnútorného vzduchu na koncentráciu formaldehydu v budovách. In: *Acta Facultatis Technicae*, Roč. 12, 2008, č.1, s. 127–134. ISSN 1336-4472.

RUŽINSKÁ, E.: 2009. Hodnotenie emisií vybraných prchavých organických zlúčenín (VOCs) z drevárskych výrobkov. In: *Medzinárodný seminár "Nové trendy v technike ochrany ovzdušia"* Zvolen (CD), s. 75 - 81, ISBN 978-80-228-2003-5.



RUŽINSKÁ, E.: 2010a. Modification of fibre-forming polymers for preparation special composite materials. Karentovaný časopis *Chemické listy*, roč. 2010, číslo 104, 501-510. Sekcia 5: 5L-14, (p. 507). ISSN 0009-2770

RUŽINSKÁ, E.: 2010b. Detekcia emisií rizikových látok (VOC) v oblasti environmentálneho technického vzdelávania. In: *Trendy ve vzdelávání – Informační technologie a technické vzdelávání 2010*. UP PdF, KTIV Olomouc, 6s. CD.

RUŽINSKÁ, E.: 2011. Transfer výsledkov výskumu ekotechnických spôsobov redukcie rizikových látok pre inovatívne technické vzdelávanie. In: 26. medzinárodná vedecko-odborná konferencia "*Technické vzdelávanie ako súčasť všeobecného vzdelávania*". UMB Banská Bystrica, 2011, 6 s.

RUŽINSKÁ, E., JABŁOŃSKI, M.: 2011. Ekotechnické spôsoby redukcie rizikových látok v procesoch povrchových úprav materiálov – II. časť: Návrh odlučovacích zariadení. In: *Medzinárodný seminár "Nové trendy v technike ochrany ovzdušia" 2011*, Zvolen (CD), s. 89-98, ISBN 978-80-228-2003-5. ISBN 978-80-228-2277-0.

SMERNICA EP a Rady 2004/42/ES – o obmedzení emisií VOC unikajúcich pri používaní organických rozpúšťadiel v určitých farbách a lakoch a vo výrobkoch na povrchovú úpravu vozidiel a o zmene a doplnení smernice 1999/12/EC

VEJVODA, J., MACHAČ, P., BURYAN, P.: 2003. Technologie ochrany ovzduší a čištění odpadních plynů. *Učebné texty*. Vyd. VŠCHT Praha. 226 s. ISBN 80-7080-517-X.

Problematika príspevku je riešená v rámci grantového projektu KEGA č. 023 TUZ-4/2012: „Rizikové látky v environmentálnej technike“.

Kontaktná adresa:

Ing. Eva Ružinská, PhD., Katedra environmentálnej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Technická univerzita vo Zvolene, Študentská 26, 960 53 Zvolen, e-mail: ruzinskae@tuzvo.sk

Mgr. inž. Marek Jabłoński, Faculty of Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Nowoursynowska 139 st., 07 776 Warsaw, Poland, e-mail: marek_jablonski@sggw.pl

Lektoroval: *doc. Ing. Černecký Jozef, CSc.*

Partner pre zabezpečenie ochrany životného prostredia



Komplexné riešenia a služby

Laboratórium monitorovania kvality ovzdušia
akreditované SNAS na skúšanie, osvedčenie o akreditácii č. S-276
Vývoj a realizácia ekologických monitorovacích systémov
Monitorovacie systémy pre meranie kvality ovzdušia
Monitorovacie systémy pre meranie emisií
Varovné systémy v priemysle
Povodňové varovné systémy
Meteorologické stanice
Meranie meteorologických parametrov
Rozptyľový model na modelovanie znečistenia ovzdušia
Servis analytickej techniky



ENVitech s.r.o., Janka Kráľa 16, 911 01 Trenčín, Slovensko

Tel. +421- 32 – 656 35 11 – Fax +421 – 32- 656 35 26

E-mail: envitech@envitech.sk – <http://www.envitech.sk>



Názov	NOVÉ TRENDY V TECHNIKE OCHRANY OVZDUŠIA 2012 Seminár s medzinárodnou účasťou
Rozsah	113 strán
Vydanie	I. – 2012
Tlač	Katedra environmentálnej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Technická univerzita vo Zvolene
Editor	Ing. Andrea Neupauerová, PhD.
Grafická úprava	Ing. Andrea Neupauerová, PhD.
ISBN	978-80-228-2407-1