

MERANIE AKUSTICKÝCH VLASTNOSTÍ MATERIÁLOV SNÍMAČOM MICROFLOWN

LENKA BOROŠOVÁ

MEASURING ACOUSTIC PROPERTIES OF MATERIALS WITH SENSOR MICROFLOWN

ABSTRAKT

Nárast hluku spôsobuje v poslednom období problémy pre ľudí hlavne v oblasti psychického zdravia. Tento článok sa zaoberá snímačom Microflown, ktorý slúži na meranie rýchlosti častíc. Technológia Microflown ponúka v súčasnosti prevratné metódy pre testovanie hluku a vibrácií, ktoré sú založené na rýchlosti častíc akustického snímača Microflown a tiež na meraní teplotného rozdielu v priereze.

Príušové slová: Microflown, sondy, rýchlosť častíc

ABSTRACT

The increase in noise causes problems in recent years especially for people in mental health. This article discusses about sensor of Microflown, which is used to measure the speed of particles. Currently Microflown technology offers a breakthrough for noise and vibration testing, which are based on the speed of the acoustic sensor Microflown particles and also on measurement of temperature difference in cross-section.

Key words: Microflown, probe, particle velocity

ÚVOD

Hluk je v posledných desaťročiach veľmi diskutovanou problematikou. Spôsobuje ho nárast ľudskej populácie, spojený s ekonomickým rastom a využívanie zariadení produkujúcich zvuk. Účinky hluku v mestských oblastiach majú vplyv na zdravie ľudí a ich pohodu, čo je najdôležitejší dôvod minimalizácie všetkých foriem znečisťovania hlukom.

Zvuk je definovaný ako sluchový vnem, vyvolaný malým kolísaním tlaku, ktoré je šírené vzduchom alebo iným pružným médiom. [1]

Každé zvukové pole je definované dvomi vzájomne sa dopĺňajúcimi akustickými vlastnosťami. Skalárnou veličinou, ktorou je akustický tlak a vektorovou veličinou, ktorou je rýchlosť častíc.

Microflown je akustický snímač, ktorý meria rýchlosť častíc miesto akustického tlaku, ktorá sa zvyčajne meria bežnými mikrofónmi. Využíva sa pre meranie DC – tokov, ktoré sú používané pri rýchlosti častíc od 0 Hz. Tiež sa používa v profesionálnej oblasti reprodukcie zvuku ako prídavok nízkej frekvencie na mikrofón. [1]

HISTÓRIA MICROFLOWN A PRINCÍP ČINNOSTI

Microflown bol prvýkrát použitý v roku 1994 na Univerzite v Twente. Prvý výskum bol zameraný na konštrukciu a kalibráciu samotnej metódy. Neskôr sa spolupráca rozšírila aj o činnosť vedeckých skupín a priemysel, s cieľom sa rozvíjať.

Samotný výskum zahŕňa okrem vývoja jednotlivých aplikácií aj modelovanie správania a skúmania materiálov, ktoré by malo viesť k zlepšeniu odstupu signálu od šumu a tiež nižšiu spotrebu energie. Táto metóda nemeria kolísavý tlak vzduchu, ale rýchlosť vzduchu cez dve malé odporové pásky platiny, ktoré sa zahrievajú na teplotu približne 200°C. V dynamike tekutín sa pohyb plynu alebo kvapalných častíc nazýva tok, preto sa používa názov Microflown, ktorý je citlivý na pohyb vzduchu viac než tlak. Iba pár rokov po vynáleze sa stal komerčne dostupným. [1]

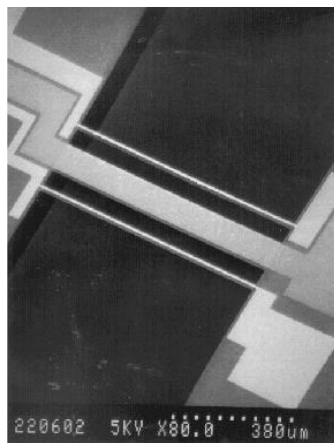
Microflown je vyrobený mikrotechnológiou, nadväzujúcou na mikroelektroniku, ktorá sa začala rozvíjať po vynáleze tranzistora od Shockley v Bellovom laboratóriu v roku 1947. Bol realizovaný v troch variantoch: konzolový typ, mostový typ a medziprírubový typ. Prvým typom, ktorý bol vyrobený bol konzolový typ, kde meracie káble mali byť v zvukovom poli voľné. Je dôležité, aby tieto káble mali pevné hranice, aby tiež dosiahli vysokú frekvenciu a boli čo najtenšie.

Najviac využívaný je dnes mostový typ Obr. 1, ktorý dokáže splniť súčasné náročné požiadavky. Káble tohto snímača sa upínajú na oboch stranách, čím sa zlepšuje mechanická stabilita. [3]

Technológia Microflown je vhodná pre riešenie akustických vlastností materiálov ako v interiéri, tak aj v exteriéri. Odrazivosť, pohltivosť alebo akustickú impedanciu, je možné zmerať za pár minút, širokopásmovo, kolmo na materiál alebo pod ľubovoľným uhlom. Umožňuje meranie akustického tlaku a akustickej rýchlosti častíc in-situ na povrchu materiálu. [2]

Snímačom Microflown je možné merať hlavné akustické parametre v rozsahu od 20 Hz – 10 KHz. V prípade frekvenčného rozsahu 10 – 20 kHz je požadovaná špeciálna kalibrácia. V špecifických prípadoch je možné merať aj vo frekvenčnom rozsahu 0,1 – 10 kHz.

Kalibrácia je v akustike týkajúcej sa Microflown nevyhnutná, pretože určuje kvalitu merania. Cieľom kalibrácie je určiť aké veľké je výstupné napätie, keď je určitý akustický signál nanesený na Microflown alebo mikrofóny. Inými slovami, je potrebné určiť aká je reakcia amplitúdy.



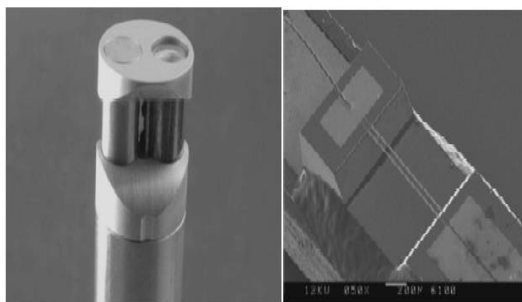
Obr. 1 Mostový typ Microflown [3]

Kalibrácia Microflown je od klasických mikrofónov odlišná. V súčasnosti je vyvinutý piest, ktorý sa vloží na guľu kalibrátora pre kalibráciu Microflown. Samotnú kalibráciu sa odporúča vykonávať každé 2 roky. Najjednoduchším spôsobom ako kalibrovať, je s použitím referenčnej rýchlosti častíc mikrofónu. Kvôli nedostatku týchto typov snímačov je nutné použiť iné meracie zariadenie. Najvhodnejšie je použiť tlakový mikrofón, kde sa problém sústreďuje hlavne na hľadanie prostredia s konkrétnou akustickou impedanciou. Ak je akustický tlak meraný rýchlosťou častíc, vypočíta sa vydelením tohto tlaku na konkrétnu akustickú impedanciu. Ak je táto impedancia závislá na mieste a frekvencii merania nastavenia, je možné získať množstvo parametrov, ktoré merajú a vypočítajú rýchlosť častíc. [3]

Nedostatkom snímačov Microflown je:

- meranie kompletného zvukového pásma je časovo náročné, pretože je potrebné meniť niekoľkokrát vzdialenosť,
- po každej zmene je potrebné vykonať kalibráciu,
- nižšie frekvencie sú ťažšie merateľné (nižšie ako 100 Hz), hlavne v odrážavom prostredí,
- vysoké frekvencie nie je možné zmerať (nad 10 kHz),
- v blízkom poli zdroja zvuku merania snímača nie sú presné, pretože intenzita zvuku sa mení pozdĺž snímača.

Microflown je zložený z dvoch ultra tenkých drôtkov (Obr. 2), sú to platínové odpory, ktoré pôsobia ako teplotné senzory. Priemer vodičov je približne 0,5 μm , vzdialenosť medzi nimi je 40 μm a ich dĺžka je 1 mm. Zvýšenie teploty snímačov vedie k zvýšeniu odporu. Ak nie je prítomná rýchlosť častíc, oba snímače majú klasickú prevádzkovú teplotu asi 200°C až 400°C a všetko teplo sa prevedie do okolitého vzduchu. V prípade šírenia rýchlosti častíc kolmo cez drôty, asymetricky sa mení prenos teplôt okolo odporov. Rozdiel výsledného odporu poskytuje šírku pásma (od 0 Hz až 20 kHz) lineárneho signálu s osmičkovou smerovosťou, ktorá je úmerná rýchlosti častíc až do hladiny 135dB. Nižšia úroveň hluku je v rozmedzí - 10dB pri rozptyle pásma 1 Hz až 1 kHz. [5]



Obr. 2 Dvojvodičový snímač rýchlosti častíc Microflown [5]

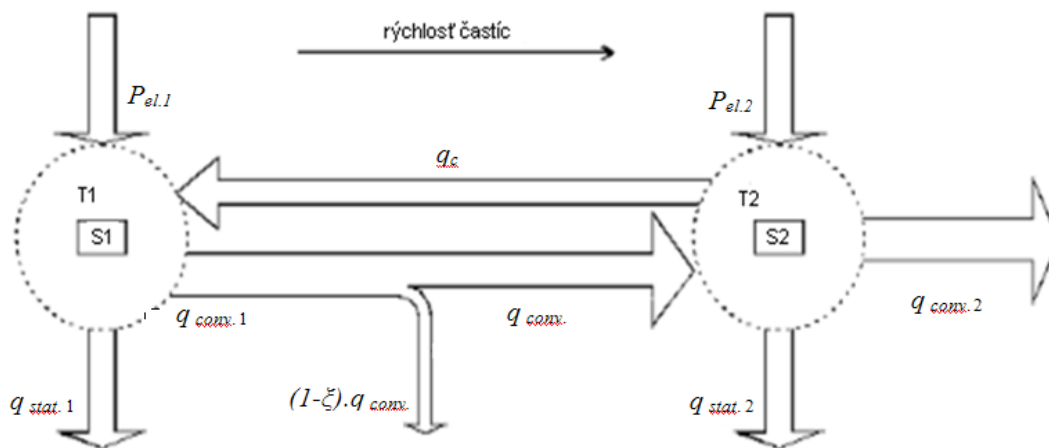
Ak akustická vlna prechádza určitým pásmom vzduchu, častice nevibrujú na mieste, ale pohybujú sa podľa vzoru stanoveného tvarom akustickej vlny. V závislosti od toho čo robia častice, Microflown detekuje ich rýchlosť. Vysoké tóny nie je možné vnímať tak dobre ako nízke tóny. Amplitúda pohybu častíc v akustickej vlny je veľmi malá, v rozsahu 50 nm/s až 1 m/s. Amplitúda môže byť zvýšená pri snímačoch so správne zvoleným krytom, ak je kryt správny, amplitúda môže byť zvýšená. Tento jav možno definovať ako „zisk z krytu“. Pravidelné hladiny akustického tlaku sa pohybujú v intervaloch okolo 60 dB. Na týchto úrovniach sa rozdiel teplôt dvoch snímačov Microflown líši iba v desiatich tisícinách stupňov Celzia. Konkrétne snímacie drôtky samy o sebe sú tenké 200nm (cca 600 atómov) a 10µm široké, takže je takmer nemožné vidieť ich voľným okom (priemer ľudského vlasu je 80 µm, takže snímač Microflown je o 400 krát tenší ako ľudský vlas).

Keďže snímač Microflown neobsahuje pohyblivé časti, nevykazuje teda žiadne rezonancie. Je veľmi dobre odolný proti extrémnym okolitým podmienkam, ako je napr. vysoká vlhkosť, nečistoty a vysoké teploty. Vyrába sa v čistých priestoroch, ktoré sa najčastejšie využívajú pri vedeckom výskume a majú nízku úroveň látok znečisťujúcich životné prostredie, ako sú prach, rôzne mikróby, aerosólové častice a chemické výpary. Tento snímač umožňuje vykonanie merania v oblastiach, ktoré sú pre tradičné snímače problémové.

Microflown má zvýšenú citlivosť v blízkom poli zdrojov. Rozdielom pri meraní akustického tlaku so schopnosťou merania rýchlosti častíc pri povrchu je, že pozadie akustického poľa je potlačené a akustické pole povrchu je intenzívnejšie. Táto funkcia je veľmi užitočná pre metódy lokalizácie zdrojov hluku v reálnom prostredí.

Rýchlosť častíc je možné zistiť okamžite. Možno ju merať 3D v šírke pásma (10Hz - 20 kHz) a na jednom mieste v priestore akustické množstvo ako intenzitu zvuku, akustickú impedanciu a intenzitu akustickej energie. Intenzita zvuku je spojená s výkonom akustického tlaku a s rýchlosťou častíc a kvantifikuje množstvo zvuku, ktoré šíri. Akustická energia súvisí s množstvom akustického tlaku a rýchlosťou častíc. Intenzita akustickej energie definuje, koľko energie je uložená v akustickej vlny, intenzita zvuku definuje koľko akustickej energie je prepravenej a špecifická akustická impedancia definuje možnosti prepravovania akustickej energie.

Použitie snímača rýchlosti častíc Microflown je dostupné pre všetky oblasti akustiky, kde rýchlosť častíc sa líši od akustického tlaku. Tento rozdiel sa zvyčajne pridá k poznaniu zvukového poľa, alebo zdroja zvuku, ktorý je predmetom výskumu. Rozdiely sa nachádzajú hlavne v blízkosti zdroja zvuku, alebo zvukového poľa týkajúceho sa smerovosti. Vzhľadom k pracovnému princípu Microflown, použité médium by malo byť elektricky nevodivé, pokiaľ možno s plynom podobným vzduchu. [4]



Obr. 3 Schematický prehľad prúdenia tepla okolo snímača Microflown [7]

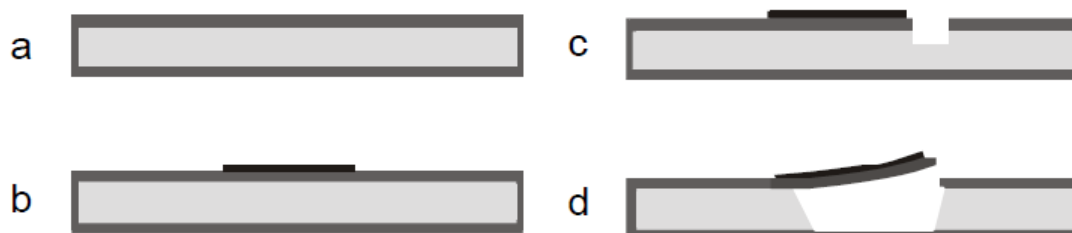
Na Obr.3 obdĺžniky S1 a S2 popisujú dva teplotné snímače Microflown. Teplotné čidlá sú implementované ako platínové odpory a sú napájané elektrickým prúdom, čo vedie k prevádzkovej teplote asi 200 ° C do 300 ° C. V prípade zvýšenia teploty, sa zvýši aj tepelný odpor. Keď je prítomná rýchlosť častíc, mení sa rozloženie teploty okolo rezistora. Rozdiel teplôt je meradlom pre tok. Elektrický prúd pohlcuje elektrickú energiu ($P_{el.}$), ktorá ohrieva obe teplotné čidlá. Ak nie je prítomná rýchlosť častíc, teplota oboch snímačov sa zvýši do cca 200°C a všetko teplo sa odvedie do okolitého ovzdušia ($q_{stat.}$). Keď je prítomná rýchlosť častíc, konvenčný prenos tepla z oboch snímačov ($q_{conv.1}$ & $q_{conv.2}$) spôsobí pokles teploty oboch snímačov. Protiprúdový snímač však spôsobí pokles teploty. Výsledkom je teplotný rozdiel. Teplotný rozdiel je úmerný rýchlosti častíc. Nie všetky tepelné straty S1, S2 sú prospešné, určité percento (ξ) sa môže stratiť. Tento percentuálny podiel sa môže zvýšiť v prípade, ak sa snímače umiestnia viac od seba. V prípade, ak sa tieto snímače zlúčia, tento jav bude značne dominantný. Rýchlosť častíc vyvolaná teplotným rozdielom spôsobí zmenu vo vedení toku tepla a to opačným smerom. Táto spätná väzba zmení citlivosť tepelného toku. Ďalšie snímače sú umiestnené spoločne, čím sa zvýši účinok tepelného toku.[7]

VÝROBA MICROFLOWN

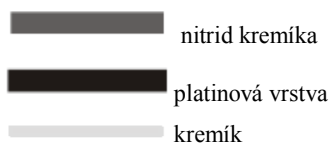
Microflown sa vyrába v čistých priestoroch, čo si vyžaduje určitý počet pracovných úkonov. Na začiatku je dôležité vyčistiť jednotlivé platne, aby sa zabránilo kontaminácii zariadenia. Po vyčistení sa na platne uloží tenká vrstva nitridu kremíka (300nm). Táto vrstva slúži ako clona pre mokré chemické leptanie a ako nosič pre senzory, znázornená na Obr. 4a. Doska sa pokryje vrstvou z nitridu kremíka a následne sa uloží na fotorezistentnú vrstvu. Táto vrstva sa nanáša v tekutom stave, pretože sa točí pri určitej rýchlosti, kde rýchlosť otáčok a viskozita fotorezistentnej kvapaliny definujú hrúbku fotorezistu (plast, ktorý sa mení pôsobením svetla). Keď sa doska kvôli vytvrdeniu zahreje, uloží sa a osvetlí. Profil, ktorý je osvetlený, sa odstráni rastom fotorezistentnej vrstvy. Microflown je snímač, ktorý je spracovávaný horúcim drôtom merača rýchlosti vzduchu, ale na základe dvoch drôtov a nie jedného, ako to je v klasickom merači rýchlosti vzduchu. Tieto drôty sú tenké a krátke, vyrobené z nitridu kremíka a potiahnuté platinou a vykurované jednosmerným prúdom do 300°C. Ich celkový odpor závisí od teploty.

Signál rýchlosti častíc v kolmom smere mení okamžite rozloženie teploty, pretože sa drôt ochladí viac ako nadväzujúci drôt prúdenia vzduchu. Výsledný odpor meria rozdiel v obvode mostíka, ktorý poskytuje signál úmerný rýchlosti kmitania.

Pre vytvorenie snímačov a spojovacích dosiek, je potrebná vyzrážaná platinová vrstva o hrúbke 200 nm s použitím tzv. „prskacej techniky“. Táto vrstva je snímacia vrstva a spojovacie dosky slúžia na nadviazanie elektrického spojenia s plošnými spojmi dosky. Platinová vrstva je označená lift off technikou (spôsob vytvárania štruktúr z cieľového materiálu na povrchu substrátu, napr. dosky, pomocou obetovaného materiálu - fotorezistu) v prípade, ak sa fotorezistentná vrstva odstráni a platinová vrstva ostane, čo znázorňuje Obr.4b. Po zhotovení platinovej vrstvy sa zleptá vrstva nitridu kremíka. Voľné oceľové nosníky sa vkladajú mokrým chemickým leptaním. V mieste, kde sa odstráni fotorezistentná vrstva, odstráni sa aj vrstva nitridu kremíka. Tento princíp je zobrazený na Obr.4c. Mokré anizotropné chemické leptanie vytvorí kanál a stanovuje voľné konzolové mosty, znázornené na Obr.4d. [5]



Obr. 4 Schematické znázornenie jednotlivých krokov konzoly Microflown [5]



Snímače celkovej akustickej energie sú užitočné pre systémy tlmenia hluku, pretože minimalizujú celkovú hustotu energie, ktorá môže byť účinnejšia ako kontrolná stratégia minimalizácie hluku. Ako už bolo uvedené, smerové informácie merania rýchlosti častíc našli uplatnenie v akustike. Tieto snímače sa tiež využívajú pri analýze zložitých zdrojov hluku, kde sú veľmi užitočné vzájomné experimenty pre charakterizáciu zdrojov hluku strojov.

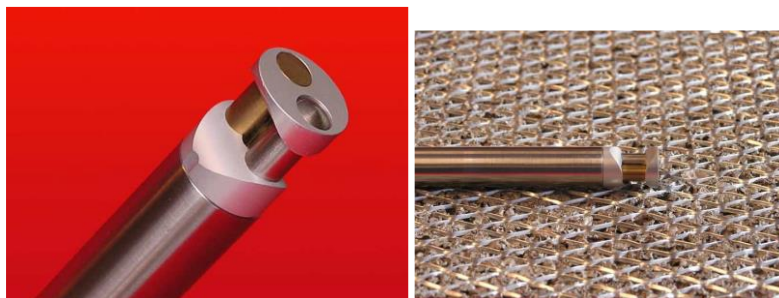
Ďalšie aplikácie zahŕňajú meranie impedancie a činiteľ pohltivosti materiálu v interiéri a meranie špecifickej akustickej impedancie v trubici.

Zdá sa, že snímač rýchlosti častíc Microflown má potenciál v meraní akustického výkonu. Je veľmi malý, dokonca menší než štandardné dva mikrofóny snímača intenzity. Je ním možné merať v tesnej blízkosti na vibrujúcich povrchoch. Meranie intenzity zvuku sa stáva viac a viac populárne. V súčasnej dobe je snímač intenzity zvuku zložený z dvoch tlakových mikrofónov (p-p snímača). Snímač, ktorý meria intenzitu zvuku v jednom smere je veľmi presným meracím prístrojom.

SONDY NA MERANIE

Sonda PU regular:

Sonda PU regular je zložená z dvoch snímačov. Tvoria ju tradičný mikrofón a Microflown. Microflown je senzor, ktorý meria akustickú rýchlosť častíc priamo. Sonda PU regular zobrazená na Obr.5 sa používa pre rôzne aplikácie, napr. stanovenie intenzity zvuku, zvukovú pohltivosť, zvukové úniky. Snímače sú vhodné pre použitie v odrazivých podmienkach, taktiež môžu byť použité aj v uzavretých dutinách, ako je napríklad interiér vozidla. [7]



Obr. 5 Snímacia sonda PU regular [7]

Sonda PU mini:

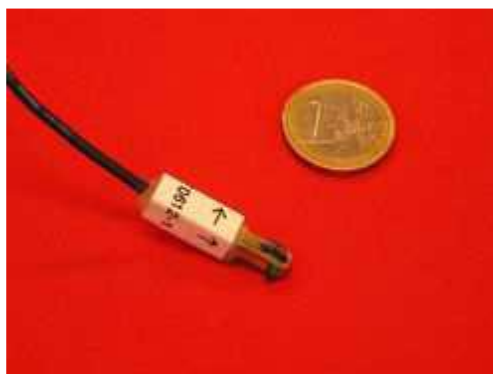
Sondu PU mini tvoria taktiež dva druhy snímačov, a to tradičný mikrofón a Microflown. Sonda PU mini – Obr.6 sa využíva pre rôzne aplikácie. Využíva sa hlavne ako rozptyľové pole pre analýzu článku hlukového panela, voľné alebo pevné mriežky poľa pre akustickú kameru blízkesti poľa. Tiež sa využíva aj pri stanovení intenzity zvuku, zvukovej pohltivosti zvuku či akustickej absorpcii. [7]



Obr. 6 Snímacia sonda PU mini [7]

USP match

Tento snímač je jeden z najmodernejších snímačov, je to tzv. USP snímač – hlavný zvukový snímač. Trojrozmerný 1/2 palcový USP snímač Obr.7 sa skladá z troch ortogonálne umiestnených senzorov Microflown a jedného mikrofónu akustického tlaku. USP snímač sa používa v prípade ak je dôležitá veľkosť materiálu. Veľkosť tohto snímača je bez príklopu menšia ako 5×5×5 mm³. Používa sa hlavne ako AVS – snímač akustického vektora, tiež je vhodný aj na tvorbu 3D intenzity zvuku, energie, výkonu a akustickej impedancie.[7]



Obr. 7 Sonda USP match [7]



ZÁVER

Problematika merania hluku je v súčasnosti populárna, no zároveň aj zložitá. Microflown je snímač, ktorý vytvára nové príležitosti v oblasti akustiky. Využívanie nových akustických a fyzikálnych parametrov umožňuje vytvárať nové aplikácie a zlepšovať už existujúce. Je odolný voči extrémnym podmienkam v okolí a nevykazuje žiadne rezonancie, pretože neobsahuje pohyblivé časti. Microflown sa využíva hlavne v prostredí, ktoré je pre klasické snímače značne problémové.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] RAANGS, R.: Exploring the use of the microflown. Proefschrift. Lochem, 2005. 242 s. ISBN 90-365-2285-4.
- [2] DE BREE, H-E.: The Microflown E-Book, Chapter 3: The Microflown. 37 s. [online]. [cit. 2014-01-10]. Dostupné na internete: <http://www.microflown.com/files/media/library/books/microflown_ebook/ebook_3_microflown.pdf>
- [3] DE BREE, H-E. – SVETOVOY, V. – RAANGS, R. - VISSER, R.: The very near field; theory, simulations and measurements, ICSV, 2004
- [4] JACOBSEN,F. - DE BREE, H.-E.: A comparison of two different sound intensity measurement principles, JASA, 2005.
- [5] DRUYVESTYEN, W.F. - DE BREE, H-E – ELWENSPOEK, M.: A new acoustic measurement probe The Microflown.
- [6] Microflown Technologies [online]. [cit 2013-12-18]. Dostupné na internete: <<http://www.microflown.com/library/application-notes/>>
- [7] Chapter 2: Sound and vibration. [online]. [cit 2013-12-18]. Dostupné na internete: http://www.microflown.com/files/media/library/books/microflown_ebook/ebook_2_sound_and_vibration.pdf

ADRESA AUTORA

Lenka BOROŠOVÁ, Ing., Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka Fakulta, Katedra procesného a environmentálneho inžinierstva, Park Komenského 5, 042 00 Košice, lenka.selecka@tuke.sk

RECENZIA TEXTOV V ZBORNÍKU

Recenzované dvomi recenzentmi, členmi vedeckej rady konferencie. Za textovú a jazykovú úpravu príspevku zodpovedajú autori.

REVIEW TEXT IN THE CONFERENCE PROCEEDINGS

Contributions published in proceedings were reviewed by two members of scientific committee of the conference. For text editing and linguistic contribution corresponding authors.