

AKUSTICKÉ LISTY

České akustické společnosti
www.czakustika.cz

ročník 12, číslo 4

prosinec 2006

Obsah

Pozvánka na Valnou hromadu	3
73. akustický seminář <i>Miroslav Meller</i>	3
Zobrazování ultrazvukových polí v proudícím plynu z jehly Visualization of ultrasonic fields in gas flow <i>Rudolf Bálek a Lukáš Kobl</i>	5
Měření akustické difrakce na modelové hlavě a trupu The measurement of acoustic diffraction on model of human head and body <i>Jiří Zendulka a Ilona Ali Bláhová</i>	11
Seznam českých technických norem – září 2006 <i>Jaromír Čížek</i>	17
Obsah Acta Acustica 92(4)	21
Obsah Acta Acustica 92(5)	23
Obsah Acta Acustica 92(6)	25

ČESKÁ AKUSTICKÁ SPOLEČNOST

Rada České akustické společnosti svolává ve smyslu stanov
VALNOU HROMADU,

kteřá se bude konat ve čtvrtek 18. ledna 2007 na fakultě elektrotechnické ČVUT, Technická 2, Praha 6 – Dejvice.

Rámcový program:

10.00 – 11.45 Jednání v odborných skupinách. Rozpis místností pro jednání v odborných skupinách bude vyvěšen ve vstupním prostoru fakulty a na dveřích sekretariátu společnosti, dveře č. 428

12.00 – 13.00 Prezentace

13.15 – 16.00 Plenární zasedání, místnost č. 82

Důležité upozornění: Člen společnosti, který se nebude moci Valné hromady osobně zúčastnit, pověří jiného člena, aby jej zastupoval. Jeden člen společnosti může zastupovat nejvýše tři členy. Formulář pověření je součástí tohoto čísla Akustických listů.

Na zasedání Rady ČsAS dne 20. listopadu 2006 bylo schváleno zvýšení částky za členský příspěvek z 350,- na 400,- Kč. Částka pro důchodce a studenty zůstává nezměněná, tj. 100,- Kč.

73. akustický seminář

Ve dnech 9. až 11. října 2006 se v zámeckém hotelu ČSAV v Třešti konal pravidelný, již 73. akustický seminář. Hlavní náplň semináře byla zaměřena na stavební a prostorovou akustiku, ale seminář se rovněž zabýval v jednotlivých příspěvcích celou oblastí akustiky – od fyzikální akustiky a elektroakustiky přes stavební a prostorovou akustiku až po hlukovou problematiku. Významnou část tvořila oblast věnovaná vývoji hlukové legislativy ČR, zejména ve vztahu k poslední novelizaci NV 148/2006 Sb. Účastníci byli rovněž informováni o zavádění a průběhu autorizací laboratoří působících v oblasti ochrany veřejného zdraví podle zákona č. 258/2000 Sb. Užitečná byla i informace o nových technických normách v oboru stavební akustiky. Zajímavá byla zejména diskuze o možné revizi požadavkové normy ČSN 73 0532, týkající se akustických vlastností stavebních výrobků. V průběhu semináře byly také prezentovány nové stavební výrobky a postupy přispívající k praktické realizaci protihlukových opatření na stavbách. Účastníci byli též seznámeni s novinkami v přístrojové měřicí technice a softwaru. V odpoledních a podvečerních hodinách byl zorganizován pěší výlet na blízký kopec Špičák.

Semináře se zúčastnilo celkem 50 zájemců z řad České a Slovenské akustické společnosti. Bylo předneseno 18 příspěvků, z toho 11 je uvedeno ve vydaném sborníku.

Organizace semináře byla díky profesionálnímu zázemí hotelu na dobré úrovni a byla pro účastníky přínosem. Rada ČsAS a organizátoři tímto také děkují za sponzorské příspěvky.

Miroslav Meller

Zobrazování ultrazvukových polí v proudícím plynu z jehly

Rudolf Bálek a Lukáš Kobl

ČVUT–FEL, Technická 2, 166 27 Praha 6

e-mail: balek@fel.cvut.cz

There are a variety of situations where the visualization of disturbances or inhomogeneties in transparent media is required. One solution, which has been developed to align with this problem, is schlieren imaging. This technique allows us to see the invisible: e.g. in this paper described ultrasonic wave interaction with gas flow from the hollow needle. The technical requirements of optical and electronic components as well as specifications of inexpensive schlieren optical system for high-resolution visualization are introduced. Results to be presented include the schlieren pictures of the space between the surface of ultrasound transducer and the tip of the hollow needle with different gas flow if the ultrasound wave generator is switched on and off.

1. Úvod

Šlírová metoda umožňuje zobrazit změny indexu lomu v transparentních tekutinách, plynech a pevných látkách vyvolané např. teplotním gradientem, prouděním či ultrazvukovým vlněním ve vyšetřovaném prostředí. Šlírové zobrazování použil již R. Hook (1635–1703). Pozoroval teplotní gradienty ve vzduchu vyvolané svíčkou. V 19. století začal metodu používat A. Toepler (1836–1912) k zobrazení optických nehomogenit ve skle – šlíř (německy Schlieren), podle kterých byla metoda později nazvána. V současné době je šlírová metoda velmi účinným prostředkem užívaným v balistice, aerodynamice a analýze šíření ultrazvukových vln [1].

2. Princip šlírového zobrazování

Mezi hustotou plynu ρ ve vyšetřovaném prostředí a jeho indexem lomu n platí pro danou vlnovou délku světla přímá úměrnost vyjádřená vztahem

$$n - 1 \sim \rho. \quad (1)$$

Podobný vztah platí i pro hustotu ρ_0 a index lomu n_0 při standardních podmínkách

$$n_0 - 1 \sim \rho_0. \quad (2)$$

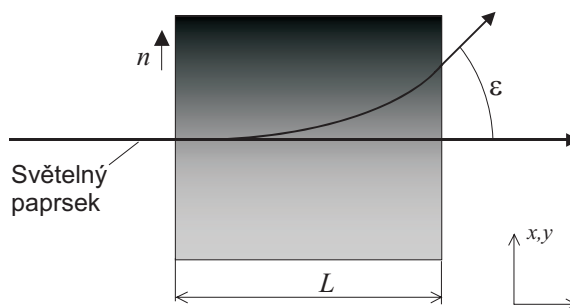
Rovnice

$$n - 1 = (n_0 - 1)\rho/\rho_0 \quad (3)$$

potom vyjadřuje vztah mezi indexem lomu a hustotou plynu v daných podmínkách vůči plynu za podmínek standardních [1]. Připomeňme, že podle stavové rovnice souvisí hustota plynu s jeho teplotou, tlakem a objemem. Mezi rychlostí světla a indexem lomu n platí vztah

$$c = c'/n, \quad (4)$$

kde c a c' jsou rychlosti světla ve vyšetřovaném prostředí a ve vakuu. Zavedme podle obrázku 1 souřadnicový systém s osou z rovnoběžnou se směrem světelného paprsku, který



Obrázek 1: Lom světelného paprsku při průchodu prostředím se zvyšujícím se indexem lomu n

vstupuje do vyšetřované oblasti. Úhel odchýlení dráhy tohoto paprsku lze vyjádřit pomocí gradientu indexu lomu prostředí v rovině kolmé k paprsku. Holder a North [2] popsali výsledná odchýlení, viz obr. 1, vztahy

$$\varepsilon_x = \int_0^L \frac{1}{n_0} \cdot \frac{\partial n}{\partial x} dz \quad (5)$$

$$\varepsilon_y = \int_0^L \frac{1}{n_0} \cdot \frac{\partial n}{\partial y} dz, \quad (6)$$

kde L je šířka vyšetřované oblasti.

Pokud budou $\frac{\partial n}{\partial x}$ či $\frac{\partial n}{\partial y}$ po celé šířce L konstantní, dostaneme pro úhly odchýlení

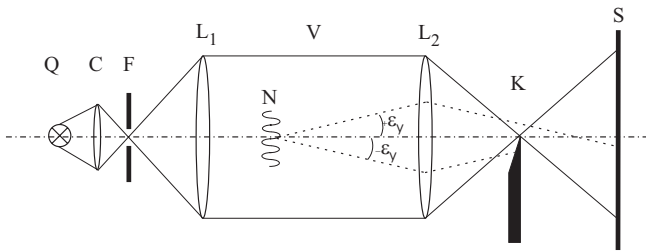
$$\varepsilon_x = \frac{L}{n_0} \cdot \frac{\partial n}{\partial x} \quad (7)$$

$$\varepsilon_y = \frac{L}{n_0} \cdot \frac{\partial n}{\partial y}. \quad (8)$$

V případě, že se tyto gradienty budou měnit v závislosti na souřadnici z , budou výsledná odchýlení dána součtem odchýlení od všech gradientů n , které se vyskytují podél dráhy paprsků a která jsou vyjádřena rovnicemi (5) a (6). Světelné paprsky se budou lámat vždy směrem rostoucího

gradientu n , tedy k místům, kde je prostředí nejhustší. Lom tedy určují $\frac{\partial n}{\partial x}$ a $\frac{\partial n}{\partial y}$, nikoliv samotná velikost indexu lomu n .

S interpretací integrace v rovnicích (5) a (6) je spojen ještě jeden problém, který není na první pohled patrný. Uvažujme neměnný index lomu ve směru z v celé šíři L . Pak pro velké gradienty např. $\frac{\partial n}{\partial x}$, vyskytující se pouze v omezeném rozsahu souřadnice x , dojde k odchýlení paprsku do oblasti se zcela jinou velikostí $\frac{\partial n}{\partial x}$ a zobrazení vyjádřené velikostí úhlu ε_x nebude v této přechodné oblasti zcela odpovídat skutečnosti. Uvedený jev může vést k mylné interpretaci gradientu n ve vyšetřované oblasti.

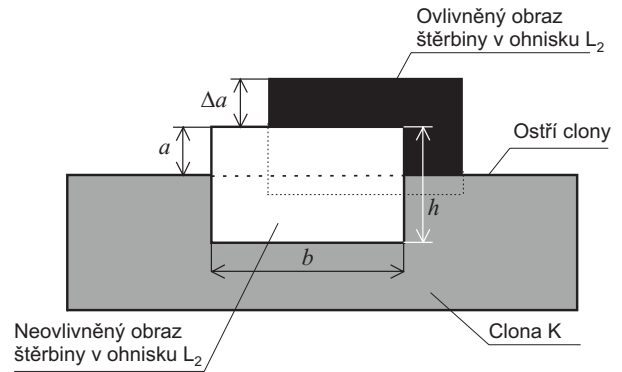


Obrázek 2: Jednoduchý šlírový zobrazovací systém

Jednoduchý šlírový zobrazovací systém je znázorněn v obr. 2. Světelné paprsky ze zdroje světla Q jsou kolimovány kondensorem C na horizontálně umístěnou štěrbinu F v ohnisku čočky L_1 . Výsledkem je vytvoření rovnoběžných světelných paprsků mezi spojnými čočkami L_1 a L_2 v tzv. vyšetřované oblasti V . Odtud jsou paprsky čočkou L_2 promítnuty na stínítko S . Postupným zablácením ohniska čočky L_2 pohybem clony s ostřím K (žiletka) směrem vzhůru stínítko tmavne. Polohou ostří si lze vybrat tmavé nebo světlé osvětlení stínítka S . V případě tmavého stínítka paprsky odchýlené od nehomogenit N v oblasti V padnou mimo ohnisko čočky L_2 . Dva takové paprsky odchýlené o úhel $\pm\varepsilon_y$ jsou nakresleny v obr. 2. Horní paprsek osvětlí stínítko, dolní je zadržen clonou K . V případě světlého stínítka se zobrazí zadržený paprsek ztmavnutím stínítka. Stejná úvaha jako pro uvedené dva paprsky platí pro celou vyšetřovanou oblast V , resp. její zobrazení na stínítko S .

Pro jednoduchost si dle obr. 3 představme, že jen část čočkou L_2 fokusovaného, nehomogenitami neovlivněného obrazu štěrbinu F s plochou $b \times a$ se promítne na stínítko S a vytvoří jeho základní osvětlení. Změnu tohoto základního osvětlení způsobí jen ty nehomogenity, které splňují následující dvě podmínky:

1. změna indexu lomu ve vyšetřovaném prostředí musí probíhat ve směru kolmém k hraně ostří clony K ,
2. změna indexu lomu nesmí být tak velká, aby se fokusovaná plocha zcela neposunula mimo plochu clony, nebo naopak celá padla na tuto neprůhlednou plochu (podmínka zachování dynamického rozsahu). Připomeňme, že jenom pro $a = h/2$ bude stejný měřicí rozsah pro oba směry odchýlení kolmé k ostří clony.



Obrázek 3: Obraz štěrbinu F v ohnisku čočky L_2

Je patrné, že toto uspořádání zobrazí jen svislé gradienty n . Pro zobrazení vodorovných umístíme hranu ostří K a také štěrbinu F vertikálním směrem a dojdeme k analogickým závěrům. Nahradíme-li ostří clony tenkým drátkem vodorovně orientovaným, získáme možnost zobrazovat paprsky odchýlené do směrů nad i pod drátek. Základní osvětlení stínítka bude dáno volbou průměru drátku vzhledem k výšce fokusované plochy h . Zvýší se tak citlivost zobrazení. Pokud požadujeme zobrazení nehomogenit v horizontálním i ve vertikálním směru, je vhodné místo štěrbinu F použít kruhový otvor (prostorový filtr) a místo clony s ostřím kruhový terč nebo alespoň konec tenkého drátku.

Při zachování podmínky dynamického měřicího rozsahu lze pro posunutí hrany fokusované plochy gradientem $\frac{\partial n}{\partial y}$ ve vyšetřované oblasti psát

$$\Delta a \doteq f_2 \varepsilon_y, \quad (9)$$

kde f_2 je ohnisková vzdálenost čočky L_2 a ε_y je úhel odchýlení světla ve směru souřadnice y .

Stále předpokládáme horizontální štěrbinu F jako zdroj světla a horizontálně situované ostří clony K . Vyjdeme-li z jasu zdroje světla B [cd/m^2], můžeme vyjádřit osvětlení čočky L_1 jako

$$E_0 = \frac{Bbh}{f_1^2}, \quad (10)$$

kde b a h jsou výška a šířka štěrbinu a f_1 je ohnisková vzdálenost čočky L_1 . Při uvážení bezztrátové optiky bude stejné osvětlení i ve vyšetřovaném prostředí a také na čočce L_2 .

I když nedojde k zaclonění světla v ohnisku L_2 , bude osvětlení stínítka záviset na koeficientu m , který vyjadřuje případné zvětšení obrazu na stínítku vůči jeho velikosti ve vyšetřované oblasti, čímž obdržíme:

$$E_0 = \frac{Bbh}{m^2 f_1^2}. \quad (11)$$

Pokud zacloníme ohnisko L_2 , viz obr. 3, bude světlo procházet jen plochou $b \times a$. Nahradíme-li h vztahem $\frac{f_1}{f_2} a$, dostaneme vztah

$$E = \frac{Bba}{m^2 f_1 f_2}, \quad (12)$$

který udává tzv. osvětlení „pozadí“ stínítka. Uvažme nyní výskyt nehomogenity ve vyšetřovaném poli, která vychýlí paprsek o úhel ε s y -složkou ε_y . Jak jsme už viděli v obr. 3, dojde k posunutí fokusovaného světla v ohnisku L_2 o vzdálenost $\Delta a = \varepsilon_y f_2$. Vložíme-li a místo Δa do rovnice (12), dostaneme vztah

$$\Delta E = \frac{Bb\varepsilon_y}{m^2 f_1}, \quad (13)$$

který popisuje změnu osvětlení stínítka vyvolanou nehomogenitou n ve vyšetřované oblasti v závislosti na úhlu lomu ε_y . Snadno pak vyjádříme kontrast v zobrazení nehomogenit jako poměr změny intenzity osvětlení k intenzitě pozadí

$$C \equiv \frac{\Delta E}{E} = \frac{f_2 \varepsilon_y}{a}. \quad (14)$$

Kontrast C je výstupní veličinou zobrazovací metody, úhel lomu ε veličinou vstupní. Citlivost je definována poměrem změny na výstupu ku změně na vstupu. Pro citlivost v kontrastu dostaneme

$$S = \frac{dC}{d\varepsilon} = \frac{f_2}{a}. \quad (15)$$

Z tohoto vztahu je vidět, že citlivost je přímo úměrná ohniskové vzdálenosti čočky L_2 a nepřímo úměrná výšce nezacloněné plochy fokusovaného světla a . Pro velmi malá a nevzrůstá citlivost nade všechny meze, neboť začíná dominovat difrakce světla, kterou jsme zatím neuvažovali.

Z uvedených vztahů je vidět, že šlírová zobrazovací metoda je v podstatě lineární. Kontrast na stínítku je přímo úměrný úhlu lomu ε . Zároveň i osvětlení pozadí stínítka je přímo úměrné velikosti nezacloněné oblasti v ohnisku čočky L_2 vyjádřené velikostí a . Linearitu zobrazení většinou ztrácíme až nelineárním detektorem obrazu. Bývá jím často lidské oko nebo fotografický film, jejichž odezva je logaritmická.

V literatuře lze nalézt, že ještě detekovatelná velikost kontrastu se pohybuje od 2 do 5 %. Z rovnice (14) snadno zjistíme prahovou velikost ε pro zvolené a . Z rovnic (10) a (14) při $C = 5\%$ obdržíme

$$\left. \frac{\partial n}{\partial x} \right|_{\min} = 0,05 \frac{n_0}{L} \frac{a}{f_2}, \quad (16)$$

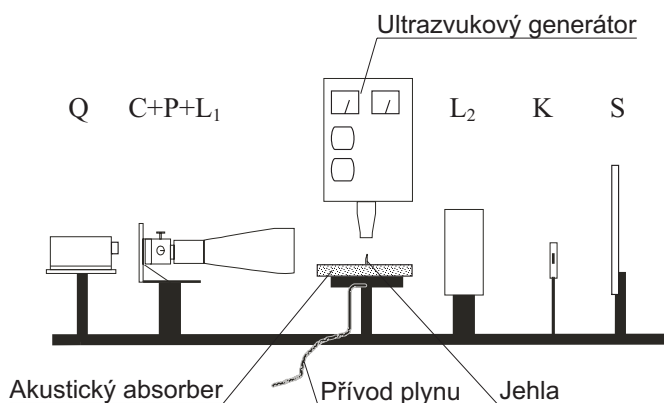
kde L je délka nehomogenity ve směru osy z . Ze vztahu je patrné, že citlivost zobrazení vzrůstá s délkou ohniskové vzdálenosti čočky L_2 , s šířkou L vyskytujících se nehomogenit a s co nejmenším rozměrem a , tj. s co největším zatemněním obrazu štěrbinou v ohnisku čočky L_2 .

S minimalizací a dochází ke zvýraznění difrakčních jevů vytvářejících průnik světla do oblastí, které by měly být zcela zacloněné clonou, a ke vzniku interferenčních proužků v oblasti stínítka podél hrany ostří clony. Difrakční jevy proto nedovolí u šlírové metody využívat maximální citlivosti vyjádřené pouze na základě geometrické optiky rovnicí (16). Rozsah difrakce daného paprsku závisí na jeho umístění vzhledem k ostří clony.

Při interpretaci zobrazení nehomogenit indexu lomu je proto vhodné zobrazení zjemňovat postupným zmenšováním rozměru a až do velikosti, kdy začnou převládat difrakční jevy. V praxi lze difrakci obejít tím, že clonu s ostřím nahradíme optickým filtrem, jehož propustnost se bude měnit ve směru kolmém k ostří clony. Hledaná nehomogenita ve vyšetřované oblasti se proto zobrazí vůči lineárně se měnícímu osvětlení stínítka vytvořeného tímto filtrem.

3. Uspořádání experimentu

Popsaná šlírová zobrazovací metoda byla užita k zobrazení proudícího plynu z duté jehly proti kmitajícímu povrchu nástavce ultrazvukového měniče, který působí jako zesilovač amplitudy měniče, jak je vidět v obr. 4.



Obrázek 4: Uspořádání experimentu

Zdrojem světla Q byla laserová dioda. Štěrbinou F byla nahrazena prostorovým filtrem P o průměru $8\ \mu\text{m}$. Koliátor C , prostorový filtr P a čočka L_1 byly integrovány do jednoho celku $C + P + L_1$. Clonu s ostřím K tvořil konec svislého drátku o průměru $0,1\ \text{mm}$. Obraz ze stínítka S byl snímán CCD kamerou nebo digitálním fotoaparát. Lepším řešením bylo přímé vložení kamery na místo stínítka S . Tato varianta byla vyloučena nedostupností vhodného objektivu kamery. Specifikace použitých součástek je v tabulce 1.

Špička jehly (Terumo $1,2 \times 40$, Belgium, vnější průměr $1,2\ \text{mm}$, vnitřní průměr $0,7\ \text{mm}$) byla umístěna ve vzdálenosti $4\ \text{mm}$ od středu povrchu nástavce ultrazvukového měniče. Amplituda kmitů konce nástavce dosahovala $42\ \mu\text{m}$ při kmitočtu $20,3\ \text{kHz}$. Tato plocha nástavce byla zdrojem postupného ultrazvukového vlnění, které se absorbovalo v akustickém absorbéru z minerální vlny umístěné okolo jehly. Do jehly byl přiváděn propan-butan z bomby přes redukční ventil umožňující regulaci průtoku $0 - 0,5\ \text{slm}$ (standardních litrů za minutu).

4. Experimentální výsledky

Šlírová fotografie oblasti mezi plochou nástavce ultrazvukového měniče a špičkou jehly je ukázána na obr. 5a.

Q	Laser Diode Melles-Griot, vln. délka 635 nm, výstupní výkon 10 mW, průměr paprsku 7 mm, typ: 56 ICS 172/Hs
P	Spatial filter Melles-Griot, průměr štěrby 8 μm , typ: 09 LSP 011
L_1	Focusing lens Melles-Griot, ohnisková vzdálenost 4 mm, max. průměr 1,6 mm, typ 09 LSL 001
C	Collimator Melles-Griot, max. výstup paprsek 50 mm, ohnisková vzdálenost 209,8 mm, typ: 09 LCM 013
Ultrazvukový generátor	Frekvence 20,3 kHz, amplituda výchylky povrchu měniče 0–42 μm
K	Clona na mikrometrickém posuvu
L_2	Carl Zeiss, typ: Tessar (4,5/360)
Kamera	CCD kamera, Minitron, OS-75D
Fotoaparát	Olympus, C-740 Ultra Zoom

Tabulka 1: Přehled použitých součástek

V obr. 5b jsou šliřové fotografie pro tři různé průtoky propan-butanu jehlou bez použití ultrazvuku a v obr. 5c stejné tři průtoky, ale s použitím ultrazvuku. Snímky jsou uspořádány podle zvyšujícího se průtoku odshora dolů. Horní snímky odpovídají nejnižšímu a spodní nejvyššímu průtoku, tj. 0,5 slm.

Z porovnání snímků ve sloupci b) a c) vidíme velkou odlišnost průběhu gradientu indexu lomu a poměrně složitou strukturu vzniklých polí v důsledku užití ultrazvuku. Zobrazení budou předmětem dalších podrobných fyzikálních interpretací. Zatím lze konstatovat, že plyn proudící z jehly si na své cestě k nekmitajícímu nastavci měniče zachovává průřez jehly až do okamžiku, kdy narazí na čelní plochu nastavce. Tam mění směr a obtéká ji v tenké vrstvě. Na snímcích je pozorovatelné ostré rozhraní mezi proudem plynu podél osy jehly a okolním prostředím svědčící o velkém gradientu indexu lomu. Toto rozhraní při aplikaci ultrazvuku a nízkých průtocích plynu prakticky zmizí. Podobně se chová i rozhraní tenké vrstvy plynu obtékajícího povrch nastavce ultrazvukového měniče. Při nejvyšších průtocích je mezní vrstva narušena jak turbulencemi vzniklými prouděním plynu, obr. 5b dole, tak účinkem ultrazvukového pole, obr. 5c dole.

Lze tedy konstatovat, že aplikace ultrazvuku naruší, respektive „rozmixuje“ původní hustotní rozložení proudícího plynu a ustaví rozložení nové.

5. Závěr

Popsaná zobrazovací metoda byla užitá při výzkumu vlivu výkonového ultrazvuku na stejnosměrný výboj mezi jehlou a rovinnou elektrodou (povrch nastavce ultrazvukového měniče) v proudícím plynu z jehly.

Zobrazení ukázalo, že proud plynu z jehly se při vpuštění ultrazvuku nijak významně nerozšiřuje (světlý kanál v ose jehly) a vytváří tenkou vrstvu podél povrchu nastavce měniče. Při aplikaci ultrazvuku jsou obě zmíněné oblasti narušeny, což se například projeví jako významné viditelné rozšíření objemu výboje mezi jehlou a plochou nastavce měniče [3]. Popsaná zobrazovací metoda

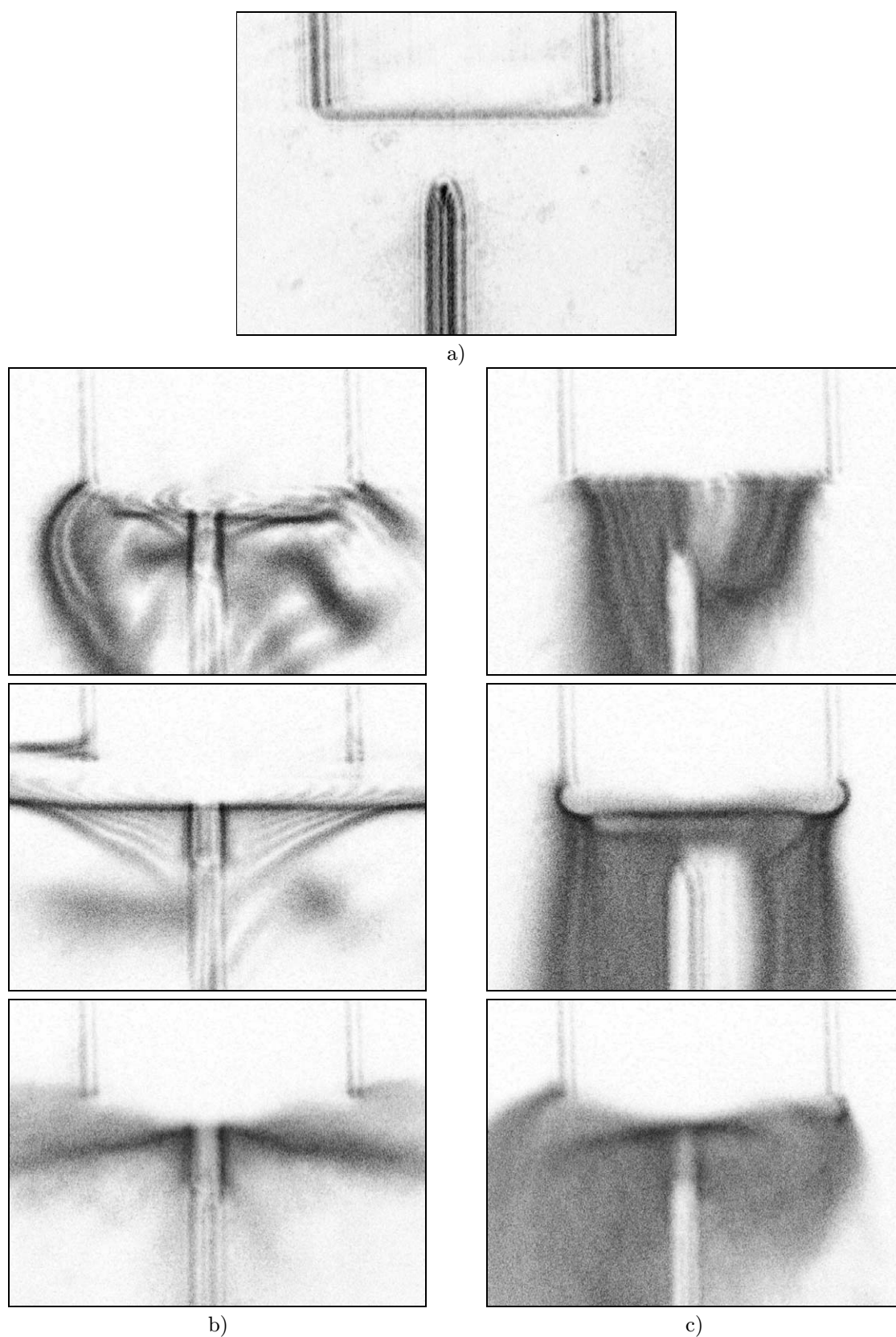
napomohla k vysvětlení celé řady environmentálně zaměřených aplikací výkonového ultrazvuku, jako např. produkce ozonu [4], rozklad těkavých organických látek, likvidace oxidů dusíku [5], a nabízí se jako jednoduchá a přitom účinná zobrazovací metoda v akustice.

Poděkování

Projekt vznikl v rámci výzkumného záměru ČVUT v Praze MSM6840770015 „Výzkum metod a systémů pro měření fyzikálních veličin a zpracování naměřených dat“ financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy.

Reference

- [1] Settles G. S.: Schlieren and shadowgraph techniques, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, N.Y., 2001.
- [2] Holder D. W., North R. J.: Schlieren methods, H.M.S.O. London, 1963.
- [3] Bálek R., Pekárek S.: Experimental study of power ultrasound interaction with DC atmospheric pressure electrical discharge, Program and Paper Abstracts of World Congress on Ultrasonics – Ultrasonics International 2005 Beijing, Acoustical Society of China 2005, 66, 2005.
- [4] Pekárek S., Bálek R.: Ozone generation by hollow needle to plate electrical discharge in ultrasound field, Journal of Physics D: Applied Physics, **37**, 1214–1220, 2004.
- [5] Pekárek S., Bálek R., Pospíšil M.: Effect of ultrasound waves on electrical characteristics of a hollow needle to plate electrical discharge in air or mixture of air with VOC, Bulletin of the American Physical Society, **49**, 21, 2004.



Obrázek 5: Šlířové fotografie oblasti mezi jehlou a nástavcem ultrazvukového měniče: a) geometrie oblasti, b) bez aplikace ultrazvuku, c) s vlivem ultrazvuku

Měření akustické difrakce na modelové hlavě a trupu

Jiří Zendulka a Ilona Ali Bláhová

ČVUT–FEL, Technická 2, 166 27 Praha 6

e-mail: [zenduj1;blahova]@fel.cvut.cz

The measurement of the directivity function of human hearing on the model of a human head and body was a part of the research of acoustic diffraction and scattering on solid obstacles. The experimental study of secondary sound fields around a solid obstacle (a sphere, cylinder, circular board and a model of a human head and body) had been realized before. The goal of our work was to develop a suitable measuring method and compare the results of measurements with analytical or numerical ones.

1. Úvod

V této stati je popsán princip měřicí metody s následnou prezentací naměřených výsledků. Cílem naší práce bylo vypracování takové měřicí metody, aby mohly být výsledky měření porovnány s analytickými nebo numerickými výpočty matematického modelu. Měření akustické difrakce na umělé lidské hlavě a trupu předcházelo měření akustických sekundárních polí v okolí kruhové desky [6], sféry [7] a válce [10]. Metoda měření byla ověřena na výše uvedených tělesech, pro která bylo okolní sekundární akustické pole analyticky vypočítané a výsledky měření tak mohly být porovnány s teoretickými hodnotami. Matematický výpočet sekundárního akustického pole v okolí umělé lidské hlavy a trupu, ze kterého lze směrové charakteristiky slyšení získat, není jednoduchý a není jej možné vyjádřit analyticky, jako např. u sféry [7]. Jednou z metod výpočtu je numerická metoda hraničních prvků, kterou se v oblasti modelování akustické difrakce v okolí tuhých těles zabýval Ing. Jan Rejlek [5].

2. Popis metody měření

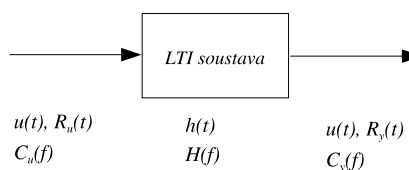
Metoda měření frekvenčních charakteristik lidského slyšení vychází z poznatků teorie signálu a soustav. Měřený experiment, uskutečněný v bezodrazové komoře, můžeme pokládat za soustavu (ve smyslu teorie signálů a soustav). Soustavu tvoří samotná umělá lidská hlava a trup, dále bezodrazová komora a médium, ve kterém se zvuk šíří, v našem případě vzduch. Vliv bezodrazové komory lze zanedbat a považovat bezodrazovou komoru za ideální model volného pole. Je patrné, že tato soustava bude pro běžné hodnoty akustického tlaku lineární¹ a časově invariantní, protože v době měření se neměnila jak vlhkost vzduchu, tak atmosférický tlak. Lze tudíž konstatovat, že naše soustava vyhovuje podmínkám linearit a časové invariance. Signálem vstupujícím do této soustavy je akustický signál naměřený bez přítomnosti umělé lidské hlavy a trupu. Signálem výstupním je akustický signál naměřený mikrofonem umístěným v ušním boltci umělé lidské hlavy.

¹Nelinearita se v akustice projevuje až při velmi velkých změnách hodnot akustického tlaku (cca stovky Pa).

Z Fourierových obrazů autokorelačních funkcí těchto signálů získáme přenosovou charakteristiku pro každý úhel natočení umělé lidské hlavy a trupu (0° až 360°). Poté je možné pro danou frekvenci vyjádřit směrovou charakteristiku. Generovaný signál byl bílý šum, který je pro zjištění přenosové charakteristiky soustavy nejvhodnější. Využívá se vlastnosti striktní ergodicity bílého šumu a konstantní velikosti spektra bílého šumu v potřebné šířce pásma. Odezva soustavy na tento vstupní signál je potom přímo impulsní odezva $h(t)$, jejíž Fourierův obraz odpovídá přenosové charakteristice $H(f)$.

3. Výpočet přenosové charakteristiky $H(f)$

Signál naměřený bez přítomnosti umělé lidské hlavy a trupu označme $u(t)$ a signál naměřený s mikrofony umístěnými v ušních boltcích $y(t)$. Pak odpovídající autokorelační funkce označme $R_u(t)$, $R_y(t)$ a vzájemnou korelační funkci $R_{uy}(t)$. Označení $R_u(t)$ odpovídá autokorelační funkci signálu vstupujícího do soustavy, $R_y(t)$ autokorelační funkci signálu vystupujícího ze soustavy a $R_{uy}(t)$ vzájemně korelační funkci vstupního a výstupního signálu soustavy.



Obrázek 1: Vstupní a výstupní signály LTI soustavy

Výpočet korelačních funkcí se prováděl v programu MATLAB pomocí funkce *xcorr*, výpočet spektrální hustoty signálu pomocí funkce *fft*. Příklad průběhu těchto korelačních funkcí je zobrazen na obr. 2. Hodnota autokorelační funkce v čase $t = 0$ udává energii signálu. Z průběhů je patrné, že hodnota autokorelační funkce výstupního signálu v čase $t = 0$ je větší než hodnota autokorelační funkce vstupního signálu v čase $t = 0$. Tato skutečnost je dána tvarem lidské hlavy a ušního boltce, které fungují pro frekvence vyšší než 2 kHz jako směrová akustická an-

téna. Proto na vyšších frekvencích (> 2 kHz) přijímá lidské ucho více akustické energie než mikrofon umístěný ve volném poli. Fourierovou transformací korelačních funkcí získáme spektrální hustoty naměřených signálů $C_u(f)$, $C_y(f)$ a $C_{uy}(f)$ (viz obr. 3). Frekvenční charakteristiku soustavy lze vypočítat pomocí vztahů (1) a (2). Upřesněme, že značení $H(f)$ odpovídá absolutní hodnotě přenosové charakteristiky.

$$H(f) = \frac{C_{uy}(f)}{C_u(f)}, \quad (1)$$

resp. pro $C_{uy}(f)$ a $C_y(f)$

$$H(f) = \frac{C_y(f)}{C_{uy}(f)}. \quad (2)$$

V hladinovém vyjádření potom lze psát

$$H_{dB}(f) = 10 \log \frac{C_y(f)}{C_{uy}(f)} = 10 \log \frac{C_{uy}(f)}{C_u(f)}. \quad (3)$$

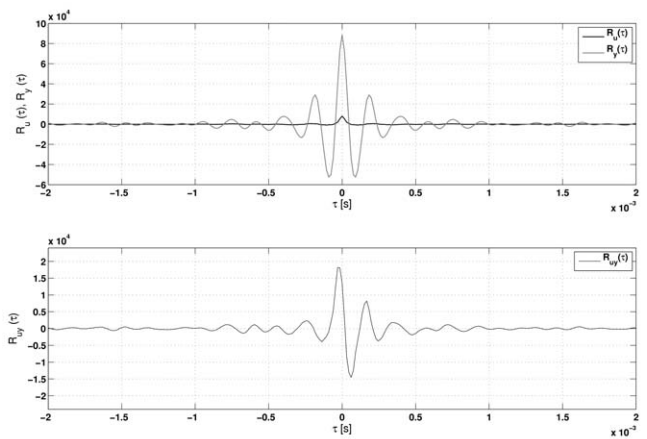
Tímto způsobem byly vypočítány přenosové charakteristiky $H(f)$ pro úhly 0° až 360° . Z těchto přenosových funkcí se potom vyjádřily směrové charakteristiky pro frekvence 100 Hz až 9000 Hz. Přenosovou charakteristiku $H(f)$ lze v tomto případě též chápat jako frekvenční průběh směrovosti v daném úhlu měření. Maximální směrovost říká, o kolik přijímá mikrofon umístěný v ušním boltci více akustické energie v úhlu maximálního příjmu než mikrofon umístěný ve volném poli. Maximální směrovost je tedy poměrová veličina a v této stati je označena písmenem D (Directivity). Často se maximální směrovost vyjadřuje v hladinovém vyjádření, jehož výpočet je dán vztahem

$$D_{dB} = 10 \log D. \quad (4)$$

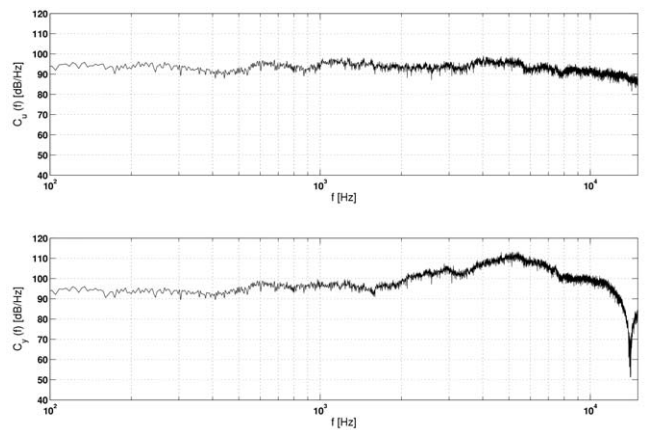
Použité měřicí mikrofony mají všesměrovou (izotropní) charakteristiku, které odpovídá směrovost 0 dB. Tato hodnota směrovosti je referenční. Je-li udána směrovost mikrofonu např. 10 dB, pak to znamená, že daný mikrofon v maximálním směru příjmu přijal 10krát více akustické energie než všesměrový mikrofon.

4. Popis měření

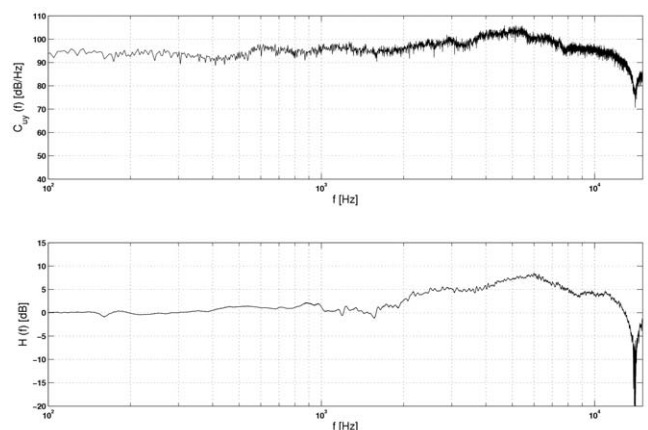
Měření se uskutečnilo v bezdrazové místnosti s vnitřními rozměry $7,5 \times 6,25 \times 5,7$ m. Měřilo se měřicím systémem PULSE firmy Brüel & Kjær s dvojicí mikrofonů 4190 s průměry membrány $1/2''$. Vzorovací kmitočet mikrofony snímaného akustického signálu byl 65,5 kHz. Jako zdroj akustického signálu byla použita reproduktorová soustava S603 výrobce B&W v kombinaci se zesilovačem Vincent SP-996. Tato akustická soustava byla buzena interním generátorem bílého šumu měřicího systému PULSE. Umělá lidská hlava a trup jsou vyrobeny ze sádry dle normy ITU-T P.58 (rozměry a výrobní detaily jsou uvedené v [11]). Umělá lidská hlava a trup i reproduktorová soustava byly umístěny na železném tyčovitém stojanu upevněném v podlaze komory. Vzájemná vzdálenost



Obrázek 2: Příklad průběhu korelačních funkcí $R_u(\tau)$, $R_y(\tau)$ a $R_{uy}(\tau)$

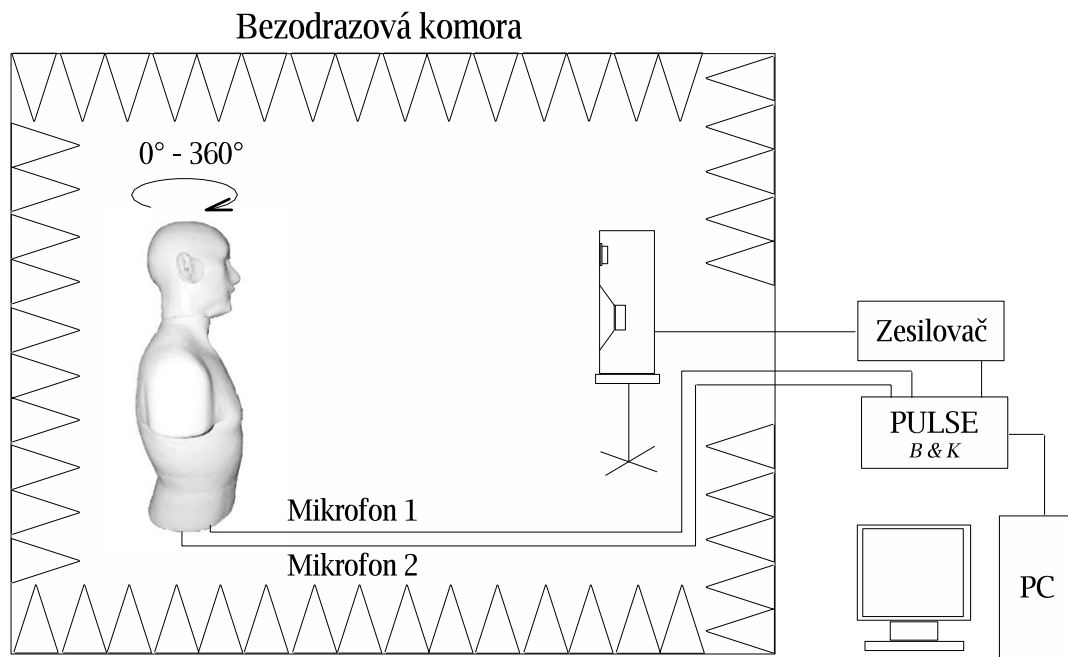


Obrázek 3: Příklad průběhu spektrálních hustot vstupního a výstupního signálu $C_u(f)$ a $C_y(f)$



Obrázek 4: Příklad průběhu vzájemné spektrální hustoty $C_{uy}(f)$ a přenosové charakteristiky $H(f)$

reproduktorové soustavy a umělé lidské hlavy a trupu byla 4,5 m.



Obrázek 5: Blokové schéma uspořádání měřicí úlohy

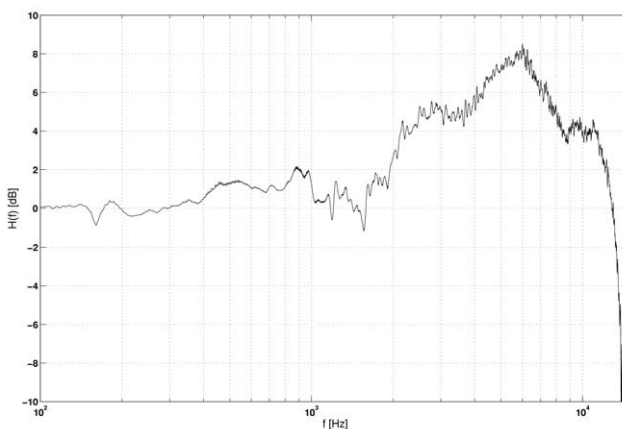


Obrázek 6: Detail umístění měřicího mikrofonu v ušním boltci

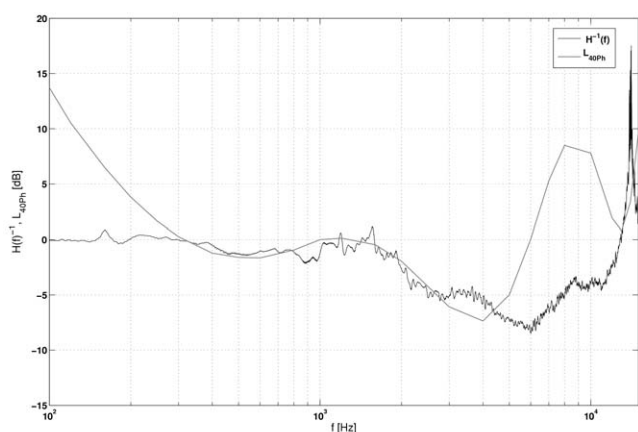
Nejprve byly zaznamenávány šumové signály s mikrofony umístěnými v obou ušních boltcích umělé hlavy a trupu. Detail umístění měřicího mikrofonu v ušním boltci je na obr. 6. S umělou lidskou hlavou a trupem se postupně otáčelo od 0° do 360° s krokem po 15° , z čehož vyplývá, že bylo zaznamenáno dvanáct šumových signálů, přičemž každý z nich odpovídal jednomu úhlu natočení. Každý z těchto zaznamenaných signálů představuje výstupní signál soustavy $y(t)$ v souladu s obr. 1. Potom byl zaznamenán šumový signál bez přítomnosti umělé lidské hlavy a trupu. Měřicí mikrofony byly umístěny pomocí stojanu do stejné pozice jako při měření s umělou hlavou a trupem. Tento zaznamenaný šumový signál odpovídá vstupnímu signálu soustavy $u(t)$. Zaznamenané šumové signály byly zpracovány v programu MATLAB, jak je uvedeno v předchozí části „Výpočet přenosové charakteristiky $H(f)$ “.

5. Výsledky měření

Na obr. 7 je zobrazen frekvenční průběh přenosové charakteristiky pro úhel 0° . Je zřejmé, že směrovost výrazně narůstá od 2 kHz a dosahuje svého maxima pro frekvenci 6 kHz, a to 8 dB, poté již rychle klesá. Pro ilustraci byla vypočítána inverzní charakteristika $H(f)^{-1}$ k přenosové charakteristice $H(f)$. Tato inverzní křivka $H(f)^{-1}$ je pro srovnání zobrazena na obr. 8 spolu s křivkou stejné hlasitosti pro 40 Ph. Je patrné, že v oblasti kmitočtů od 200 Hz do 4 kHz se průběhy s malou odchylkou shodují.

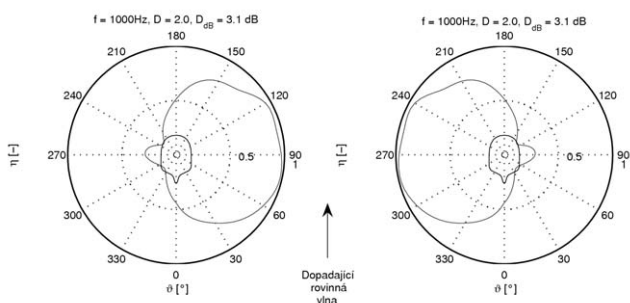
Obrázek 7: Přenosová charakteristika $H(f)$ měřená v akustické ose (úhel 0°) umělé lidské hlavy a trupu

Mimo tyto frekvence se již významně podepisují fyziologické jevy ve středním a vnitřním uchu na sluchový vjem. Na vyšších frekvencích okolo 6 kHz je to také dáno sku-



Obrázek 8: Porovnání inverzní křivky přenosové charakteristiky $H(f)^{-1}$ a křivky stejné hlasitosti 40 Ph

tečností, že mikrofony jsou umístěny v bezprostřední blízkosti ústí ušního boltce, ovšem ve skutečném lidském uchu je zvuk snímán až ve vnitřním uchu. Právě cestou zvuku od vnějšího ucha až k ušním vlásečnicím, které způsobují zvukový vjem, dochází k útlumu zvuku a k následnému zvlnění křivky stejné hlasitosti vůči křivce $H(f)^{-1}$. Podobná situace bude platit i pro nízké frekvence, pro které bude mít ušní zvukovod již velký vlnový odpor. Nicméně je vidět, že pro určitou frekvenční oblast je vliv difrakce na lidské hlavě a ušním boltci významný a má dominantní vliv na sluchový vjem člověka.



Obrázek 9: Směrové charakteristiky pro mikrofon umístěný v levém a pravém ušním boltci

Na dalším obr. 9 je zobrazen průběh směrové charakteristiky η pro levé a pro pravé ucho (resp. mikrofon umístěný v levém a pravém ušním boltci). Všechny směrové charakteristiky uvedené na následujících obr. 9 a 10 jsou zobrazeny v lineárním měřítku a jsou normovány k maximální hodnotě směrovosti D . Směrová charakteristika na obr. 9 je zobrazena pro frekvenci 1 kHz s maximální směrovostí 3,1 dB. Je zřejmé, že maximální směrovost je dosažena pro úhly kolem 90° , resp. 270° , tedy ve směru, kdy je ušní boltce v akustické ose se zdrojem akustického vlnění. Na dalších průbězích směrových charakteristik ale

uvidíme, že maximální směrovost pro tyto úhly neplatí pro všechny frekvence.

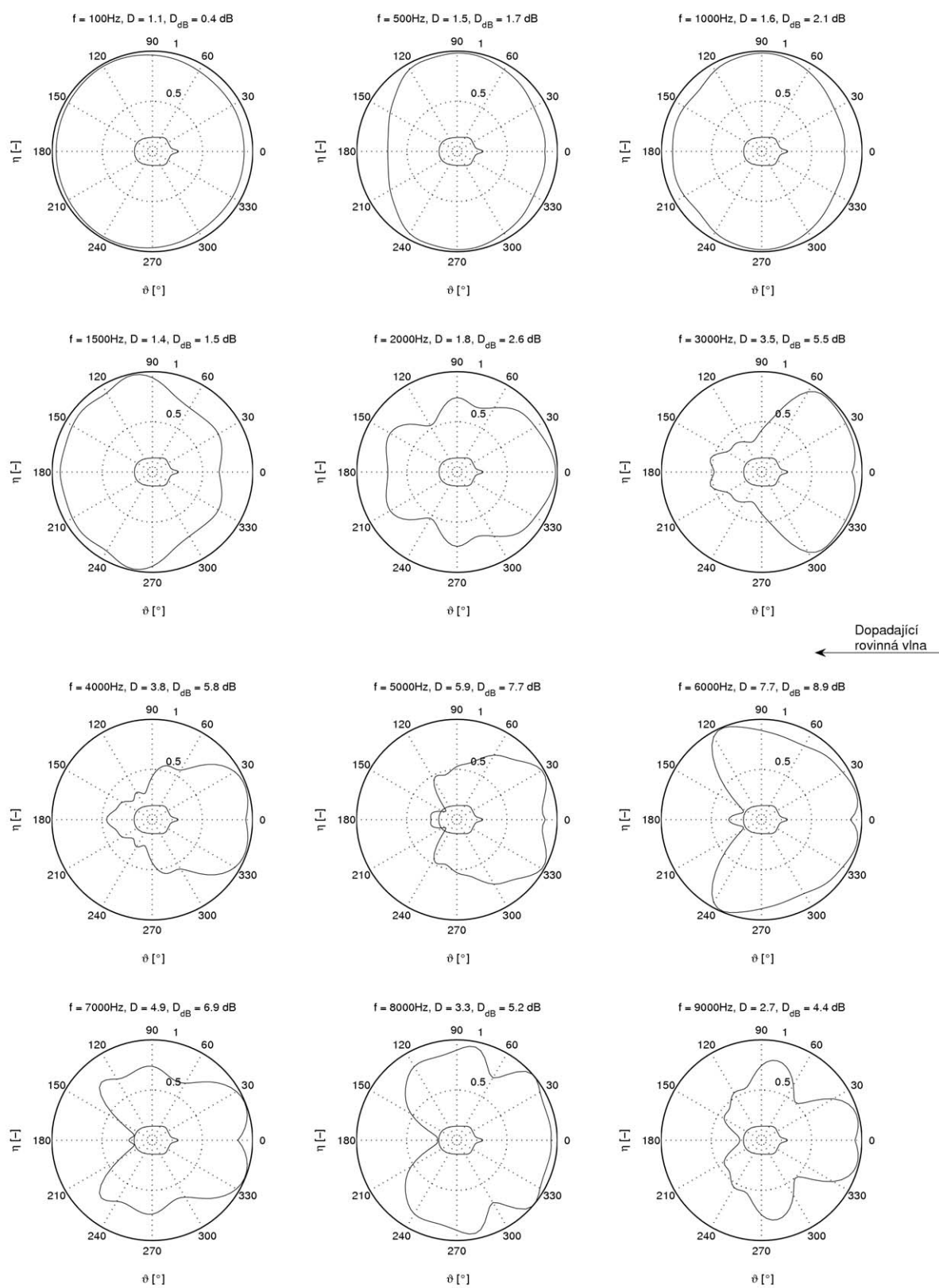
Na následujícím obr. 10 jsou zobrazeny naměřené směrové charakteristiky pro frekvence od 100 Hz do 9000 Hz. Je patrné, že pro frekvenci 100 Hz je vnímán zvuk téměř všesměrově. Pro frekvenci 500 Hz se maximum směrovosti přesouvá směrem k 90° s hodnotou 1,7 dB. Podobná situace je pro frekvenci 1000 Hz s maximem směrovosti 2,1 dB. Na průběhu směrové charakteristiky pro frekvenci 1500 Hz je zřejmé, že mikrofony umístěné v ušních boltcích přijímají více akustické energie při natočení umělé lidské hlavy a trupu čelem vzad než při natočení čelem ke zdroji akustického vlnění. Tato skutečnost je způsobena akustickou difrakcí na umělé hlavě a trupu. Na frekvenci 2000 Hz je situace opačná, maximální příjem akustické energie je úzce soustředěn čelem ke zdroji akustické vlny. Na frekvenci 3000 Hz je příjem zcela soustředěn do svazku v rozsahu $\pm 60^\circ$. Postranní a zadní příjem je zcela potlačen. Směrovost je 5,5 dB. Na následující frekvenci 4000 Hz se dále zužuje šířka přijímacího svazku na $\pm 30^\circ$ při téměř stejné směrovosti jako u frekvence 3000 Hz. U frekvence 5000 Hz se oproti frekvenci 4000 Hz přijímaná energie více soustředila do okrajů svazku $\pm 30^\circ$ se směrovostí 5,8 dB. Pro frekvenci 6000 Hz je dosahováno nejvyšší hodnoty směrovosti, a to téměř 9 dB. Tato směrovost je dosahována pro úhly 120° , resp. 240° , dále potom pro 15° , resp. 345° . Při pohledu na obr. 8, kde je porovnán inverzní průběh přenosové charakteristiky $H(f)^{-1}$ s křivkou stejné hlasitosti 40 Ph, je patrné, že nejcitlivější oblast lidského slyšení je kolem 3 kHz, nikoliv oblast kolem 6 kHz. Příčina této odchylky byla již popsána v druhém odstavci této sekce. Na následujících směrových charakteristikách pro 7000 Hz a 8000 Hz směrovost rychle klesá až na hodnotu 4,4 dB pro frekvenci 9000 Hz.

6. Závěr

Závěrem lze konstatovat, že akustická difrakce na ušních boltcích a hlavě významně ovlivňuje lidské slyšení v oblasti frekvencí vyšších než 1000 Hz. Největší vliv akustické difrakce byl pozorován pro frekvenci 6000 Hz, kdy byla naměřena nejvyšší směrovost 8,9 dB v oblasti úhlu 15° a 120° , resp. 240° a 345° . Výsledky naší práce budou použity v problematice aktivního snižování hluku.

Poděkování

Tato práce vznikla v rámci výzkumného záměru ČVUT v Praze MSM6840770015 „Výzkum metod a systémů pro měření fyzikálních veličin a zpracování naměřených dat“ financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy.

Obrázek 10: Průběhy směrových charakteristik η pro frekvence v rozsahu 100 Hz až 9000 Hz

Reference

- [1] Skudryzk, E.: *The Foundations of Acoustics*, Springer-Verlag, New York, 1971.
- [2] Škvor, Z.: *Akustika a elektroakustika*, Academia, Praha, 2001.
- [3] Jiříček, O.: *Úvod do akustiky*, ČVUT, Praha, 2005.
- [4] Kadlec, F.: *Zpracování akustických signálů*, ČVUT, Praha, 2002.
- [5] Rejlek, J.: *Modelování difrakce zvuku metodou hraničních prvků*, diplomová práce, FEL ČVUT, Praha, 2004.
- [6] Bláhová, I. – Jiříček, O.: *Difrakce na kruhové desce*. In 66. Akustický seminář. Praha: Česká akustická společnost, 2003, s. 3–8. ISBN 80-01-02763-5.
- [7] Ali Bláhová, I. – Jiříček, O. – Brothánek, M.: *Scattering and Diffraction of Acoustical Waves on Sphere*. In Workshop 2004 [CD-ROM]. Prague: CTU, 2004, vol. A, s. 116–117. ISBN 80-01-02945-X.
- [8] Ali Bláhová, I. – Zendulka, J.: *Verification of Method for Description of Secondary Sound Field*. In Proceedings of Workshop 2005 [CD-ROM]. Prague: CTU, 2005, ISBN 80-01-03201-9.
- [9] Ali Bláhová, I. – Jiříček, O. – Zendulka, J.: *Sekundární akustické pole v okolí sféry*. In 69. Akustický seminář. Praha: Česká akustická společnost, 2004, s. 5–10. ISBN 80-01-03081-4.
- [10] Ali Bláhová, I. – Jiříček, O. – Brothánek, M. – Zendulka, J.: *Secondary Sound Field Around Cylindrical Obstacle*. In Proceedings of Workshop 2005 [CD-ROM]. Prague: CTU, 2005, ISBN 80-01-03201-9.
- [11] International Telecommunication Union: *ITU-T Recommendation P.58 (08/96) – Head and torso simulator for telephony; Series P: Telephone transmission quality, Objective measuring apparatus*, 1996.

Seznam českých technických norem – září 2006

Třída 73, Stavební akustika

73 0501	ČSN EN ISO 10534-1 <i>určená norma</i>	Akustika – Určování činitele zvukové pohltivosti a akustické impedance v impedančních trubcích – Část 1: Metoda poměru stojaté vlny
73 0501	ČSN EN ISO 10534-2 <i>určená norma</i>	Akustika – Určování činitele zvukové pohltivosti a akustické impedance v impedančních trubcích – Část 2: Metoda přenosové funkce
73 0502	ČSN EN 29053 <i>určená norma</i>	Akustika – Metody pro použití v akustice – Stanovení odporu proti proudění vzduchu
73 0503	ČSN ISO 2603	Kabiny pro simultánní tlumočení – Obecné charakteristiky a vybavení
73 0504	ČSN ISO 4043	Mobilní kabiny pro simultánní tlumočení – Obecné charakteristiky a vybavení
73 0505	ČSN ISO 9052-1 <i>určená norma</i>	Akustika – Stanovení dynamické tuhosti – Část 1: Materiály pro izolaci plovoucích podlah v bytových objektech
73 0509	ČSN EN ISO 15186-1	Akustika – Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách pomocí akustické intenzity – Část 1: Laboratorní měření (EN ISO 15186-1:2003, idt ISO 15186-1:2000)
73 0509	ČSN ISO 15186-2	Akustika – Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách pomocí akustické intenzity – Část 2: Měření v budovách (idt ISO 15186-2:2003)
73 0509	ČSN ISO 15186-3	Akustika – Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách pomocí akustické intenzity – Část 3: Laboratorní měření na nízkých kmitočtech (idt ISO 15186-3:2002)
73 0510	ČSN ISO 10053	Akustika – Laboratorní měření útlumu zvuku kancelářskou zástěnou
73 0511	ČSN EN ISO 140-1	Akustika – Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách – Část 1: Požadavky na uspořádání laboratoří s potlačeným bočním přenosem
73 0511	ČSN EN 20140-2 <i>harmonizovaná norma</i>	Akustika – Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách – Část 2: Určení, ověření a aplikace přesných údajů
73 0511	ČSN EN ISO 140-3 <i>určená norma</i>	Akustika – Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách – Část 3: Laboratorní měření vzduchové neprůzvučnosti stavebních konstrukcí
73 0511	ČSN EN ISO 140-4	Akustika – Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách – Část 4: Měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi v budovách
73 0511	ČSN EN ISO 140-5 <i>určená norma</i>	Akustika – Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách – Část 5: Měření vzduchové neprůzvučnosti obvodových plášťů a jejich částí na budovách
73 0511	ČSN EN ISO 140-6 <i>určená norma</i>	Akustika – Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách – Část 6: Laboratorní měření kročejové neprůzvučnosti stropních konstrukcí
73 0511	ČSN EN ISO 140-7	Akustika – Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách – Část 7: Měření kročejové neprůzvučnosti stropních konstrukcí v budovách
73 0511	ČSN EN ISO 140-8 <i>určená norma</i>	Akustika – Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách – Část 8: Laboratorní měření snížení přenosu kročejového zvuku podlahou na těžkém referenčním stropu
73 0511	ČSN EN 20140-9 <i>harmonizovaná norma Vyžaduje opravu</i>	Akustika – Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách – Část 9: Laboratorní měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi pro stanovení zvukové izolace zavěšeného pohledu s průběžnou vzduchovou vrstvou

73 0511	ČSN EN 20140-10 <i>harmonizovaná norma</i>	Akustika – Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách – Část 10: Laboratorní měření vzduchové neprůzvučnosti malých stavebních prvků
73 0511	ČSN EN ISO 140-11 <i>harmonizovaná norma</i>	Akustika – Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách – Část 11: Laboratorní měření snížení přenosu kročejového zvuku podlahou na lehkém referenčním stropu
73 0511	ČSN EN ISO 140-12	Akustika – Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách – Část 12: Laboratorní měření vzduchové a kročejové neprůzvučnosti v horizontálním směru podlah s průběžnou vzduchovou vrstvou
73 0511	ČSN EN ISO 140-14 <i>vydání 2005</i>	Akustika – Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách – Část 14: Směrnice pro netypické situace v budovách
73 0511	ČSN EN ISO 140-16 <i>vydání 2007</i>	Akustika – Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách – Část 16: Laboratorní měření zlepšení neprůzvučnosti pomocí přídatné vrstvy
73 0512	ČSN EN ISO 12354-1	Stavební akustika – Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků – Část 1: Vzduchová neprůzvučnost mezi místnostmi
73 0512	ČSN EN ISO 12354-2	Stavební akustika – Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků – Část 2: Kročejová neprůzvučnost mezi místnostmi
73 0512	ČSN EN ISO 12354-3	Stavební akustika – Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků – Část 3: Vzduchová neprůzvučnost vůči venkovnímu zvuku
73 0512	ČSN EN ISO 12354-4	Stavební akustika – Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků – Část 4: Přenos zvuku z budovy do venkovního prostoru
73 0512	ČSN EN ISO 12354-6 <i>vydání 2004</i>	Stavební akustika – Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků – Část 6: Zvuková pohltivost v uzavřených prostorech
73 0513	ČSN EN ISO 10848-1 <i>vydání listopad 2006 nová řada norem</i>	Akustika – Laboratorní měření bočního přenosu šířeného vzduchem a kročejového zvuku mezi sousedními místnostmi – Část 1: Rámcový dokument
73 0513	ČSN EN ISO 10848-2 <i>vydání listopad 2006 nová řada norem</i>	Akustika – Laboratorní měření bočního přenosu šířeného vzduchem a kročejového zvuku mezi sousedními místnostmi – Část 2: Aplikace na lehké prvky s malým vlivem styku
73 0513	ČSN EN ISO 10848-3 <i>vydání listopad 2006 nová řada norem</i>	Akustika – Laboratorní měření bočního přenosu šířeného vzduchem a kročejového zvuku mezi sousedními místnostmi – Část 3: Aplikace na lehké prvky s podstatným vlivem styku
73 0524	ČSN EN ISO 18233	Akustika – Aplikace nových akustických metod měření stavebních konstrukcí, v budovách a v místnostech <i>(nepřeložena, pouze vyhlášena ve Věstníku)</i>
73 0525	ČSN 73 0525	Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Všeobecné zásady
73 0526	ČSN 73 0526	Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Studia a místnosti pro snímání, zpracování a kontrolu zvuku
73 0527	ČSN 73 0527 <i>revize 2004</i>	Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Prostory pro kulturní účely – Prostory ve školách – Prostory pro veřejné účely Revize stávající normy vyvolaná změnou NV č. 502/2000 Sb.
73 0528	ČSN EN ISO 11654 <i>určená norma</i>	Akustika – Absorbéry zvuku používané v budovách – Hodnocení zvukové pohltivosti
73 0529	ČSN EN ISO 11821	Akustika – Měření útlumu zvuku <i>in situ</i> přemístitelné clony
73 0530	ČSN 73 0530 <i>norma zrušena 2006</i>	Akustika – Stanovení hladin hluku a dob dozvuku v nevýrobních pracovních prostorech

73 0531	ČSN EN ISO 717-1 <i>určená norma</i>	Akustika – Hodnocení zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách – Část 1: Vzduchová neprůzvučnost
73 0531	ČSN EN ISO 717-1 <i>změna 2007</i>	Akustika – Hodnocení zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách – Část 1: Vzduchová neprůzvučnost (EN ISO 717-1/A1:2006 + ISO 717-1/Amd.1:2006)
73 0531	ČSN EN ISO 717-2 <i>určená norma</i>	Akustika – Hodnocení zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách – Část 2: Kročejová neprůzvučnost
73 0531	ČSN EN ISO 717-2 <i>změna 2007</i>	Akustika – Hodnocení zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách – Část 2: Kročejová neprůzvučnost (EN ISO 717-2/A1:2006 + ISO 717-2/Amd.1:2006)
73 0532	ČSN 73 0532 <i>určená norma revize 2005</i>	Akustika – Ochrana proti hluku v budovách a související akustické vlastnosti stavebních výrobků – Požadavky Norma byla doplněna o ustanovení o uvádění nejistot při hodnocení změřených hodnot (CSI Praha)
73 0533	ČSN ISO 17497-1 <i>vydání leden 2006</i>	Akustika – Rozptyl zvuku povrchy – Část 1: Měření činitele rozptylovosti pro všesměrový dopad zvuku v dozvukové místnosti
73 0534	ČSN ISO 3382	Akustika – Měření doby dozvuku místností a sálů s uvedením jiných akustických parametrů
73 0535	ČSN EN ISO 354 <i>určená norma revize 2003</i>	Akustika – Měření zvukové pohltivosti v dozvukové místnosti (idt EN ISO 354:2003)
73 0536	ČSN EN ISO 3822-1	Akustika – Laboratorní zkoušky emise hluku armatur a zařízení vnitřních vodovodů – Část 1: Metody měření
73 0536	ČSN EN ISO 3822-2	Akustika – Laboratorní zkoušky emise hluku armatur a zařízení vnitřních vodovodů – Část 2: Montáž a provozní podmínky výtokových ventilů a mísících baterií
73 0536	ČSN EN ISO 3822-3	Akustika – Laboratorní zkoušky emise hluku armatur a zařízení vnitřních vodovodů – Část 3: Montáž a provozní podmínky průtokových ventilů a armatur
73 0536	ČSN EN ISO 3822-4	Akustika – Laboratorní zkoušky emise hluku armatur a zařízení vnitřních vodovodů – Část 4: Montáž a provozní podmínky speciálních armatur
73 0537	ČSN EN 14366 <i>vydání 2005</i>	Akustika – Laboratorní měření hluku z instalací pro odpadní vody
73 0538	ČSN EN ISO 16032 <i>vydání 2005</i>	Akustika – Měření hladin akustického tlaku technických zařízení v budovách – Technická metoda
73 0539	ČSN EN ISO 10052 <i>vydání 2005</i>	Akustika – Měření vzduchové a kročejové neprůzvučnosti a hluku technických zařízení v budovách – Zjednodušená metoda
73 0540 <i>chyba ve tř. zn.</i>	ČSN EN ISO 16032 <i>vydání 2005</i>	Akustika – Měření hladin akustického tlaku technických zařízení v budovách – Technická metoda
73 0541 <i>chyba ve tř. zn.</i>	ČSN EN ISO 10052 <i>vydání 2005</i>	Akustika – Měření vzduchové a kročejové neprůzvučnosti a hluku technických zařízení v budovách – Zjednodušená metoda
73 7060	ČSN EN 1793-1	Zařízení pro snížení hluku silničního provozu – Zkušební metody stanovení akustických vlastností – Část 1: Určení zvukové pohltivosti laboratorní metodou

Zpracoval: Jaromír Čížek



ACTA ACUSTICA

UNITED WITH

ACUSTICA

The Journal of the European Acoustics Association (EAA) · International Journal on Acoustics

Table of Contents

Scientific Papers

General Linear Acoustics

U. P. Svensson, P. T. Calamia

Edge-Diffraction Impulse Responses Near Specular-Zone and Shadow-Zone Boundaries 501

R. Kosobrodov, S. Kuznetsov

Acoustic Transfer Impedance of Plane-Wave Couplers 513

B. Schwarz-Röhr

Scattering of Sound by a Hollow, Hard Sphere with an Opening 521

Atmospheric Sound

M. Baulac, J. Defrance, P. Jean, F. Minard

Efficiency of Noise Protections in Urban Areas: Predictions and Scale Model Measurements 530

Ultrasonics

A. Demčenko, E. Žukauskas, R. Kažys, A. Voleišis

Interaction of the A_0 Lamb Wave Mode With a De-Lamination Type Defect
in GLARE3-3/2 Composite Material 540

Physical Acoustics

R. Latif, R. Latif, E. H. Aassif, A. Mouden, G. Maze

Analysis of the Acoustic Characteristics of an Elastic Plate Immersed
in Water from the Time-Frequency Image (in French) 549

Active Control

Q. Mao, S. J. Pietrzko

Measurements of Local Volume Displacement Using a Piezoelectric Array 556

Environmental Noise

K. Heutschi, R. Bayer

Sound Radiation From Railway Tunnel Openings 567

R. Makarewicz, R. Gołębiewski

Estimation of the A-Weighted Long Term Average Sound Level 574

R. Makarewicz, R. Gołębiewski

Uncertainty of Traffic Noise Prediction 578





ACTA ACUSTICA

UNITED WITH

ACUSTICA

The Journal of the European Acoustics Association (EAA) · International Journal on Acoustics

Room Acoustics

K. S. Sum, J. Pan

Subjective Evaluation of Reverberation Times of Sound Fields with Non-Exponential Decays 583

J.-J. Embrechts, L. De Geetere, G. Vermeir, M. Vorländer

Calculation of the Random-Incidence Scattering Coefficients of a Sine-Shaped Surface 593

Y.-J. Choi, F. R. Fricke

A Comparison of Subjective Assessments of Recorded Music and Computer Simulated Auralizations in Two Auditoria 604

Acoustic Materials

Y. M. Shtemler, I. R. Shreiber, A. Britan

Shock-Induced Flows through Packed Beds: Transient Regimes 612

Hearing, Audiology and Psychoacoustics

G. Grimm, T. Herzke, D. Berg, V. Hohmann

The Master Hearing Aid: A PC-Based Platform for Algorithm Development and Evaluation 618

R. Hut, M. M. Boone, A. Gisolf

Cochlear Modeling as Time-Frequency Analysis Tool 629

Musical Acoustics

O. Inácio, L. L. Henrique, J. Antunes

The Dynamics of Tibetan Singing Bowls 637

Technical and Applied Papers

J. Patrício, F. Schiappa de Azevedo

Emission of Noise at Home by Vibrating Slabs and Walls: A New Criterion to Evaluate Ambient Vibration 654

European Acoustics Association News 661

Upcoming Events 663

Instructions for Authors 664

Editorial Board 665



ACTA ACUSTICA

UNITED WITH

ACUSTICA

The Journal of the European Acoustics Association (EAA) · International Journal on Acoustics

Table of Contents

Preface

Measurement and Modelling of Voice Production V

Scientific Papers

Measurement and Modelling of Voice Production

J. Schoentgen

Vocal Cues of Disordered Voices: An Overview 667

P. Švancara, J. Horáček

Numerical Modelling of Effect of Tonsillectomy on Production of Czech Vowels 681

J. Stoffers, Ch. Neuschaefer-Rube, M. Kob

Comparison of Vocal Tract Resonance Characteristics Using LPC and Impedance Measurements 689

C. Manfredi, F. Dori, E. Iadanza

Optimised Generalised Singular Value Decomposition for Dysphonic Voice Quality Enhancement 700

T. Ritchings, C. Berry

A Comparative Study of Impedance and Acoustic Vowel Phonation Signals for Intelligent Voice Quality Assessment of Patients Recovering from Radiotherapy for Cancer of the Larynx 712

P. Alku, J. Horáček, M. Airas, F. Griffond-Boitier, A.-M. Laukkanen

Performance of Glottal Inverse Filtering as Tested by Aeroelastic Modelling of Phonation and FE Modelling of Vocal Tract 717

S. Takano, K. Honda, K. Kinoshita

Measurement of Cricothyroid Articulation Using High-Resolution MRI and 3D Pattern Matching 725

F. Avanzini, S. Maratea, C. Drioli

Physiological Control of Low-Dimensional Glottal Models with Applications to Voice Source Parameter Matching 731

R. Zaccarelli, C.P.H. Elemans, W. T. Fitch, H. Herzel

Modelling Bird Songs: Voice Onset, Overtones and Registers 741

M. Gamba, C. Giacoma

Vocal Tract Modeling in a Prosimian Primate: The Black and White Ruffed Lemur 749

Nonlinear Acoustics, Macrosonics

Z. Lu, S. Ye

Calculation of the Acoustic Nonlinearity Parameter B/A for Linear Alkanes by the Lee-Kesler Correlation 756

Structural Acoustics

T. Eck, S. J. Walsh, M. Dale, N. Taylor

Vibrational Power Flow Measurement in a Beam Using Electronic Speckle Pattern Interferometry 765





ACTA ACUSTICA

UNITED WITH

ACUSTICA

The Journal of the European Acoustics Association (EAA) · International Journal on Acoustics

Building Acoustics

J. Y. Jeon, J. K. Ryu, J. H. Jeong, H. Tachibana

Review of the Impact Ball in Evaluating Floor Impact Sound 777

Room Acoustics

T. Neher, T. Brookes, R. Mason

Musically Representative Test Signals for Interaural Cross-Correlation Coefficient Measurement 787

E. Gerretsen

Estimation Methods for Sound Levels and Reverberation Time in a Room with Irregular Shape or Absorption Distribution 797

Musical Acoustics

A. Rabbaa

Modeling and Measuring of the Oriental Musical Scale 807

M. Ilkowska, A. Miśkiewicz

Sharpness Versus Brightness: A Comparison of Magnitude Estimates 812

E. Schubert, J. Wolfe

Does Timbral Brightness Scale with Frequency and Spectral Centroid? 820

M. Roger, S. Aubert

Aeroacoustics of the Bullroarer 826

H. Järveläinen, M. Karjalainen

Perceptibility of Inharmonicity in the Acoustic Guitar 842

Short Communications

K. Balogh, A. Ziemann, D. Daniel

Influence of Atmospheric Refraction on Pulse Propagation Over a Flat Ground Surface 848

European Acoustics Association News 853

Upcoming Events 853

Instructions for Authors 855

Editorial Board 856



ACTA ACUSTICA

UNITED WITH

ACUSTICA

The Journal of the European Acoustics Association (EAA) · International Journal on Acoustics

Table of Contents

Preface

Recent Advances in Soundscape Research V

Scientific Papers

Recent Advances in Soundscape Research

K. Hiramatsu

A Review of Soundscape Studies in Japan 857

D. Dubois, C. Guastavino, M. Raimbault

A Cognitive Approach to Urban Soundscapes: Using Verbal Data to Access Everyday Life Auditory Categories 865

B. Schulte-Fortkamp, A. Fiebig

Soundscape Analysis in a Residential Area: An Evaluation of Noise and People’s Mind 875

G. Brambilla, L. Maffei

Responses to Noise in Urban Parks and in Rural Quiet Areas 881

B. De Coensel, D. Botteldooren

The Quiet Rural Soundscape and How to Characterize it 887

R. C. Kull

Natural and Urban Soundscapes: The Need for a Multi-Disciplinary Approach 898

M. E. Nilsson, B. Berglund

Soundscape Quality in Suburban Green Areas and City Parks 903

C. Lavandier, B. Defréville

The Contribution of Sound Source Characteristics in the Assessment of Urban Soundscapes 912

J. Hatfield, I. van Kamp, R. F. S. Job

Clarifying “Soundscape”: Effects of Question Format on Reaction to Noise from Combined Sources 922

M. Raimbault

Qualitative Judgements of Urban Soundscapes: Questioning Questionnaires and Semantic Scales 929

B. Berglund, M. E. Nilsson

On a Tool for Measuring Soundscape Quality in Urban Residential Areas 938

C. Guastavino

The Ideal Urban Soundscape: Investigating the Sound Quality of French Cities 945

K. Genuit, A. Fiebig

Psychoacoustics and its Benefit for the Soundscape Approach (Technical and Applied Paper) 952

C Semidor

Listening to a City With the Soundwalk Method (Technical and Applied Paper) 959





ACTA ACUSTICA

UNITED WITH

ACUSTICA

The Journal of the European Acoustics Association (EAA) · International Journal on Acoustics

Atmospheric Sound

- D. K. Wilson, S. L. Collier, V. E. Ostashev, D. F. Aldridge, N. P. Symons, D. H. Marlin**
Time-Domain Modeling of the Acoustic Impedance of Porous Surfaces 965

Physical Acoustics

- N. F. Declercq, J. Degrieck, O. Leroy**
A Double Leaky Type of Surface Wave on Brass Immersed in Water 976

Structural Acoustics

- F. Gautier, M.-H. Moulet, J.-C. Pascal**
Reflection, Transmission and Coupling of Longitudinal and Flexural Waves at Beam Junctions.
Part I: Measurement Methods. 982

Environmental Noise

- J. Forsén, M. Hornikx**
Statistics of A-Weighted Road Traffic Noise Levels in Shielded Urban Areas 998

Hearing, Audiology and Psychoacoustics

- C. Spence, M. Zampini**
Auditory Contributions to Multisensory Product Perception 1009

Speech

- B. Doval, C. d'Alessandro, N. Henrich**
The Spectrum of Glottal Flow Models 1026

Musical Acoustics

- I. Lopez, A. Hirschberg, A. Van Hirtum, N. Ruty, X. Pelorson**
Physical Modeling of Buzzing Artificial Lips: The Effect of Acoustical Feedback 1047

Technical and Applied Papers

- J. P. Chambers, H. Saurenman, R. Bronsdon, L. Sutherland, R. Waxler, K. Gilbert, C. Talmadge**
Effects of Temperature Induced Inversion Conditions on Suburban Highway Noise Levels 1060

- European Acoustics Association News** 1071

- Doctoral Thesis Abstracts** 1073

- Upcoming Events** 1074

- Instructions for Authors** 1075

- Editorial Board** 1076

- Annual Index** I*

