

# MEASUREMENT OF DIFFUSION COEFFICIENT

**Petr Mikeš**

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xmikes01@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Ivan Míča

E-mail: mica@feec.vutbr.cz

**Abstract:** Most acoustic measurements and parameters provided by a manufacturer of acoustic elements, which are offering additional solutions to room acoustics as well as acoustic construction works, are mainly limited to the parameters associated with absorption of individual elements. Until now, these diffusional elements have been neglected. Combination of absorptive acoustic panels and diffusion elements results in a space that is customised to the submitter's needs.

**Keywords:** MLS, diffusion coefficient, room acoustic, impulse response, diffusers

## 1 ÚVOD

Problematikou prostorové akustiky se zabývají specializovaná pracoviště značnou dobu. Ve většině případů se ale omezují na akustické veličiny týkající se akustické pohltivosti. V tomto textu se budeme zabývat metodikou měření parametrů souvisejících s rozptylem akustické energie do prostoru a jejich jednotné interpretace. Výsledky měření slouží jako zpětná vazba pro upravení návrhu měřených vzorků, ale také zkracují čas k navržení optimální úpravy prostoru. V současné době neexistuje norma, která výslovně specifikuje měření těchto parametrů, ale pouze doporučení mezinárodní asociace standardů [2].

## 2 PRINCIP MĚŘENÍ KOEFICIENTU DIFUZITY TECHNIKOU HRANIČNÍ ROVINY

Koeficient difuzity  $d$  udává míru rozptylovosti použitých povrchů. Tento koeficient je frekvenčně závislý. K lepší interpretaci výstupů se využívají směrové charakteristiky zobrazující míru energie v prostoru vztahené k dané frekvenci a další normalizované koeficienty difuzity [2].

### 2.1 ZÁKLADNÍ TEORETICKÉ PŘEDPOKLADY

Pro minimalizaci chyb je nutné definovat několik předpokladů a podmínek, bez kterých by tuto metodu nebylo možné aplikovat.

- Jelikož je difuzní panel konstruován takovým způsobem, aby rozptyloval zvukovou energii pouze v jedné polorovině  $\rho$ , je při měření uvažována pouze tato polorovina  $\rho$ .
- Minimálně 80% počtu senzorů musí ležet mimo zónu zrcadlového odrazu.

S ohledem na tyto podmínky musí být správně volena velikost poloměru půlkruhu mikrofonů  $l_{RM}$ , velikost měřeného vzorku  $l_s$  a tím i poloměr půlkruhu zdrojů signálu  $l_{RL}$  [1].

Technika hraniční roviny klade také poměrně velké požadavky na velikost prostoru, ve kterém probíhá měření. Budeme uvažovat pouze *uzavřený prostor*, pro který je nutné definovat tzv. hraniční rezervovaný prostor. Jedná se o elipsoidní oblast, ve které se z důvodu vzniku systematických chyb a nechtěných odrazů k senzorům není akceptovatelná žádná překážka.

Pro správné měření koeficientu difuzity touto metodou je nutné vnímat správně celý přenosový systém. Je nutné, aby podlaha byla tvořena hladkým materiálem s minimálním koeficientem pohltivosti. Poté je možné tvrdit, že vlny, které dopadnou na materiál, se odrazí se stejným úhlem, pod kterým dopadly. Pokud je tedy vzorek umístěn přímo na podložce, naměřená data odpovídají systému, který měříme, a systému, který je zrcadlově otočen. V případě, že by měřený vzorek či senzory nebyly umístěny přímo na podložce, je třeba vzít v úvahu jisté frekvenční omezení metody na vysokých kmitočtech.

## 2.2 MODIFIKACE METODY MĚŘENÍ KOEFICIENTU TECHNIKOU HRANIČNÍ ROVINY

V základním pojetí metody je nutné pro výpočet během měření získat tři typy impulsových odezev. Pro naše potřeby lepší interpretace zpracovaných dat a další možnosti zpětně korelovat výsledky s návrhem difuzních prvků byla zavedena určitá modifikace metody a do stávajícího stavu byla přidána další impulsová odezva vztažné odrazivé desky  $h_{1f}(t)$ . Je tedy nutné získat následující odezvy:

- impulsová odezva  $h_1(t)$  - Představuje sejmutou impulsovou odezvu pozadí se vzorkem. Tudiž v této části se nám projevuje přenosová funkce systému.
- impulsová odezva  $h_{1f}(t)$  - Představuje tutéž odezvu jako impulsová odezva  $h_1(t)$  s tím rozdílem, že měřený vzorek nahradí referenční odrazivá deska stejných rozměrů jako měřený vzorek.
- impulsová odezva  $h_2(t)$  - Představuje odezvu pozadí bez vzorku tzn. zdroj zvuku zůstává ve stejném poloměru, ale odebere se měřený vzorek. Jedná se tedy o impulsovou odezvu odrazné plochy (podlahy) a prostoru měření.
- impulsová odezva  $h_3(t)$  - Představuje odezvu kanálu typu zdroj-mikrofon. Zdroj signálu je umístěn na pozici měřeného prvku.

Definovat  $h_4(t)$  a  $h_{4f}(t)$  můžeme pomocí dekonvoluce jako:

$$h_4(t) = \text{IFT} \left\{ \frac{\text{FT}[h_{12}(t)]}{\text{FT}[h_3(t)]} \right\} = \text{IFT} \left\{ \frac{\text{FT}[h_1(t) - h_2(t)]}{\text{FT}[h_3(t)]} \right\}. \quad (1)$$

Ke všem těmto impulsovým odezvám je nutné určit tzv. *zpracováváný časový rámeček*. Tento rámeček slouží k omezení zpracování právě užitečné části impulsových odezev a pomáhá odstranit nežádoucí vlivy na výpočet. Je nutné dodržet volbu rámečku, časově konstantní pro všechny typy impulsových odezev.

## 2.3 VÝPOČET KOEFICIENTŮ DIFUZITY

Jedná se o výpočet, který využívá autokorelační funkci. Hledáme tedy podobnost mezi signálem a zpožděnou verzí sebe sama. Poté dostáváme:

$$d_\Psi = \frac{\left( \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right)^2 - \sum_{i=1}^n \left( 10^{\frac{L_i}{10}} \right)^2}{(n-1) \sum_{i=1}^n \left( 10^{\frac{L_i}{10}} \right)^2}, \quad (2)$$

kde  $d_\Psi$  je koeficient difuzity pro daný úhel  $\Psi$  pod kterým dopadá na vzorek vlna budící,  $n$  odpovídá počtu senzorů použitých k měření a  $L_i$  je hodnota akustického tlaku pro danou polohu mikrofonu. Obdobně lze nalézt koeficient difuzity pro referenční desku  $d_{\Psi,f}$ . Je třeba dodat, že hodnoty vypočteného koeficientu difuzity jsou kmitočtově závislé i závislé na směru dopadající budící vlny.

$f$ (Hz)		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1k25	1k6	2k	2k5	3k15	4k	5k
$d_{00}$	(-)	0,40	0,39	0,38	0,39	0,40	0,42	0,44	0,46	0,40	0,28	0,22	0,25	0,46	0,48	0,40	0,41	0,40	0,42
$d_{00,f}$	(-)	0,29	0,29	0,30	0,33	0,36	0,37	0,33	0,28	0,24	0,22	0,19	0,16	0,15	0,16	0,17	0,15	0,15	0,17
$d_{00,r}$	(-)	0,16	0,14	0,12	0,09	0,06	0,07	0,16	0,25	0,21	0,08	0,03	0,10	0,37	0,38	0,27	0,30	0,30	0,31

**Tabulka 1:** Koeficienty difuzity pro všesměrový dopad

Modifikace této metody spočívá v zavedení impulsové odezvy  $h_{1f}(t)$ . Tato odezva slouží k referenčnímu porovnání, ale také k výpočtu tzv. *normalizovanému koeficientu difuzity*  $d_{\Psi,r}$ . Odvození tohoto koeficientu je následující: z důvodu nezanedbatelné tloušťky vzorku dochází k odrazům od okrajů vzorku a také se projevuje ohyb zvuku. Tyto jevy mají za následek zvýšení koeficientu difuzity  $d_{\Psi}$  v oblasti nízkých kmitočtů. Důvodem tohoto zvýšení na nízkých kmitočtech je, že difuzor se v oblasti nízkých kmitočtů chová jako bodový zdroj a dochází k všesměrovému odrazu. Zavedením tohoto koeficientu lze tyto chyby eliminovat. Normalizovaný koeficient difuzity je možné stanovit jako:

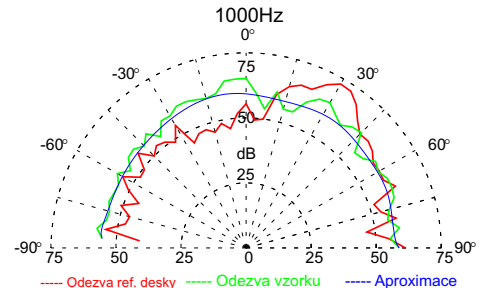
$$d_{\Psi,r} = \frac{d_{\Psi} - d_{\Psi,f}}{1 - d_{\Psi,f}}, \quad (3)$$

kde  $\Psi$  je úhel dopadu zvukového signálu. Tento koeficient je opět frekvenčně závislý. Pokud není nutné interpretovat výsledky pro všechny úhly, zavádíme pojem *koeficient difuzity pro všesměrový dopad*  $d_{00}$ . Jedná se o průměrnou hodnotu koeficientu pro dané úhly dopadu zvukového signálu vyjádřenou jako:

$$d_{00} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{\Psi,i}. \quad (4)$$

### 3 ZÁVĚR

Problematika zpracování měření je plně funkční a za předpokladu dodržení všech teoretických předpokladů a dodržení správnosti měření zobrazuje přesné hodnoty rozložení akustických intenzit a hodnot koeficientů difuzity. V rámci kontrolních měření proběhly již desítky zpětných korektur návrhů difuzních panelů. Výsledná aplikace automaticky zpracovává měření a jednoznačně interpretuje výsledky měření formou protokolu záznamu o měření, který je také automaticky generován. Aplikaci tvoří části SW Octave, GNUplot, LaTeX a bashové skripty. Modifikovaná metoda umožňuje přesnější interpretaci dat. Směrové charakteristiky jsou zobrazeny pro každý úhel zdroje zvuku v závislosti na frekvenci. Výsledný protokol je cenným zdrojem dat pro následnou zpětnou vazbu při návrhu a úpravě difuzních prvků a také zefektivňuje práci při návrhu řešení problematiky akustických prostorových úprav. Tyto protokoly také slouží ke korekci SW, které se zabývají problematikou návrhů akustických difuzních prvků.



**Obrázek 1:** Směrová charakteristika pro zdroj na pozici  $\beta = -30^\circ$

### REFERENCE

- [1] COX, Trevor J.; D'ANTONIO, Peter. *Acoustic Absorbers and Diffusers : Theory, design and application*. Second edition. 2 Park Square, Milton Park, Abingdon, Oxon OX14 4RN : Taylor & Francis, 2009. 476 s. ISBN 0-203-89305-0. [kniha]
- [2] ISO/DIS 47497-2. *Acoustic - Sound-Scattering properties of surfaces : Measurement of the directional diffusion coefficient in a free field.*, 03-07-2011. 16 s. ISO/TC 43/SC2. [standard]