

DESIGN OF ACOUSTIC DIFFUSERS TO INCREASE ROOM DIFFUSION

Jan Burda

Master Degree Programme (2.), FEEC BUT

E-mail: xburda10@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Jiří Schimmel

E-mail: schimmel@feec.vutbr.cz

Abstract: This work focuses on design of acoustic diffusers and simulation of their influence on the acoustic field. The basic types are described in terms of their construction and scattering properties. The work also uses the AFMG Reflex simulation program. This makes it possible to verify the design for simple diffusers.

Keywords: acoustic diffusers, MLS, PRD, QRD, scattering coefficient, normalized diffusion coefficient

1 ÚVOD

Akustický difuzor je označení pro akustický interiérový prvek vhodný k obkladu stěn či stropu. Jedná se o specificky navrženou konstrukci, která je schopna efektivně rozptylovat zvukové vlnění a vytvořit tak v uzavřeném prostoru difuzní pole. Těchto vlastností se využívá především v prostorách významných z hlediska zpracování a kontroly zvuku jako jsou nahrávací a postprodukční studia, nebo také v prostorách určených k přednesu hudby a mluveného slova, kde napomáhají k dobré srozumitelnosti. Konstrukce prvků obecně využívá střídání šachet s proměnnými hloubkami, jejichž šířka a hloubka určuje frekvenční rozsah, ve kterém je difuzor schopný efektivně rozptylovat zvuk. U difuzních prvků se sledují dva stěžejní parametry – rozptylový činitel (scattering coefficient – SC) a normovaný činitel difuze (normalized diffusion coefficient – NDC). Zatímco rozptylový činitel poukazuje na míru energie rozptýlené mimo příchozí směr šíření zvukového vlnění, tak normovaný činitel difuze posuzuje míru rovnoměrnosti rozptýlení do všech směrů.

2 NÁVRH A SIMULACE PRVKŮ

V následujících podkapitolách jsou popsány návrhy základních typů difuzorů podle [1] vycházejících z pseudonáhodných matematických posloupností. Obecně se jedná o sekvence s dobrými autokorelačními vlastnostmi, které popsal Manfred Schroeder [2]. Pro výrobu prvků byly vybrány celkem tři druhy dřevěných materiálů. Jedná se o surovou desku MDF (medium-density fiberboard) tl. 18 mm, truhlářskou překližovanou desku tl. 10 mm a latě ze smrkového dřeva tl. 40 x 50 mm. Všechny materiály jsou vhodné jak z hlediska snadného opracování, tak možnosti téměř jakékoliv povrchové úpravy.

2.1 DIFUZOR TYPU MLS

Struktura prvku střídá pouze dvě hloubky šachet a to podle MLS (Maximum Length Sequence) binární posloupnosti, kdy 1 určuje šachtu plnou a 0 prázdnou. Při návrhu se vychází z návrhového kmitočtu f_0 , kterému odpovídá vlnová délka λ_0 . Šířka a hloubka šachty je poté dána jako polovina, resp. čtvrtina této vlnové délky. V tomto případě byl návrhový kmitočet určen tloušťkou materiálu. Zada difuzoru jsou navržena z překližované desky a jednotlivé šachty poté z MDF desek o celkové tloušťce 36 mm. Z toho vychází návrhový kmitočet $f_0 = 2390$ Hz. Rekurzivní vztah pro generování posloupnosti je v tomto případě popsán vztahem (2.1) [1],

$$a_{MLS_{i+4}} = (a_{i+1} + a_i) \bmod 2 \quad (2.1)$$

kde i značí index šachty. Prvních N hodnot je zvoleno ručně, nesmí však všechny nabývat hodnot 0. Délka jedné periody MLS posloupnosti je poté $L_{MLS} = 2^N - 1$. V tomto případě bylo zvoleno

$N_{MLS} = 4$. Vyroběný difuzor a detail jeho konstrukce je zobrazen na obrázku 1. Simulace difuzních vlastností jsou zobrazeny na obrázku 4, k simulaci byl využit program AFMG Reflex [3].



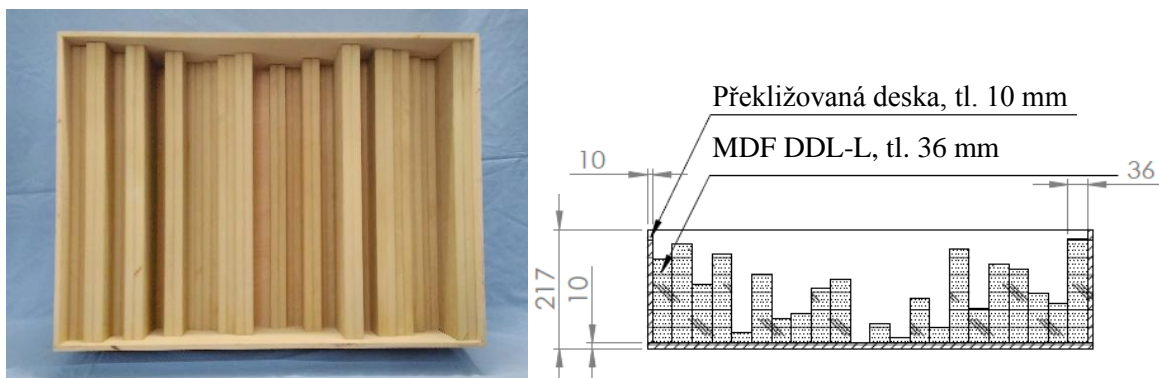
Obrázek 1: Realizovaný vzorek MLS difuzoru (vlevo), řez difuzorem s rozměry šachet (vpravo)

2.2 DIFUZOR TYPU PRD

Návrh difuzoru typu PRD (Primitive Root Diffuser) je založen na pseudonáhodném střídání stejně širokých a různě hlubokých šachet. Jejich rozměry mají vliv na hranice pracovního pásma, ve kterém dochází k difuzi zvuku. V tomto případě se při návrhu znovu vychází z materiálů vybraných k výrobě. Horní mezní kmitočet je stanoven na $f_h = 4780$ Hz a dolní mezní kmitočet je s ohledem na konečné rozměry prvku zvolen $f_d = 870$ Hz. Posloupnost pro návrh je popsána vztahem (2.2) [1],

$$a_{PRD i} = r_N^i \bmod N_{PRD} \quad (2.2)$$

kde N_{PRD} je návrhové číslo (vždy prvočíslo) vycházející z mezních kmitočtů a r_N jeho nejmenší primitivní kořen, i značí index šachty. V tomto případě je $N_{PRD} = 23$, jehož nejmenší primitivní kořen je $r_N = 5$. Jednotlivé hodnoty posloupnosti poté udávají hloubky šachet v závislosti na kroku změny hloubky, který je odvozen od f_d , v tomto případě je krok 9 mm. Vyroběný difuzor a detail jeho konstrukce je zobrazen na obrázku 2. Simulace difuzních vlastností jsou zobrazeny na obrázku 4.



Obrázek 2: Realizovaný vzorek difuzoru typu PRD (vlevo), řez difuzorem (vpravo)

2.3 2D DIFUZOR TYPU QRD

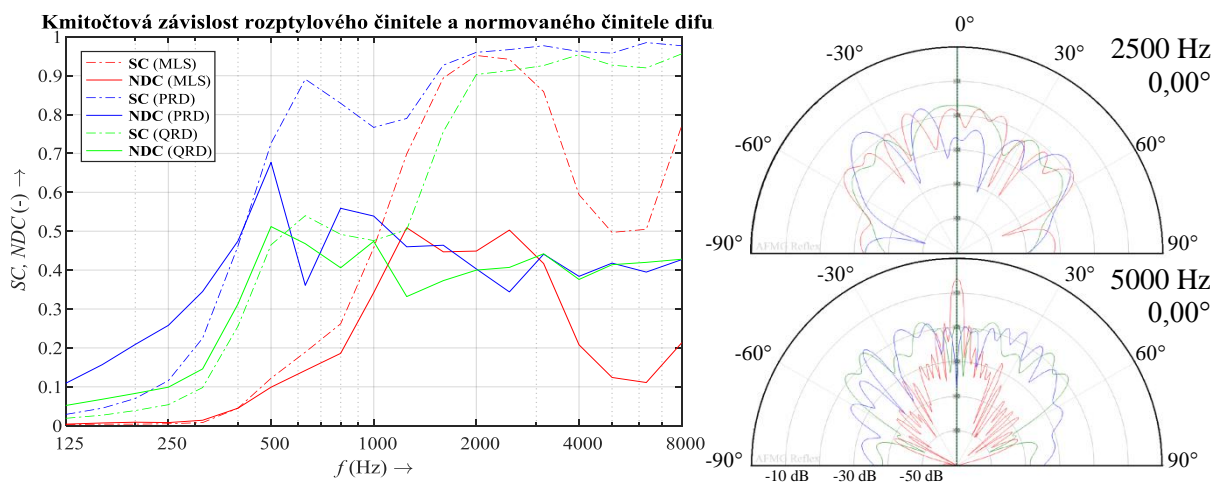
Stejně jako u předešlých typů, je i difuzor typu QRD (Quadratic Residue Diffuser) založen na pseudonáhodném střídání jednotlivých šachet. Na rozdíl od předešlých typů je však osově souměrný. V tomto 2D provedení se navíc jedná o konstrukci, která dokáže rozptylovat zvuk ve dvou rovinách. Posloupnost pro návrh tohoto typu difuzoru je popsána vztahem (2.3) [1],

$$a_{n,m} = (n^2 + m^2) \bmod N_{QRD} \quad (2.3)$$

kde n a m jsou indexy sloupců a řádků a N_{QRD} je návrhové prvočíslo posloupnosti. Stejně jako u typu PRD je N_{QRD} zvoleno podle mezních kmitočtů, v tomto případě je $f_d = 1010$ Hz a $f_h = 4780$ Hz, poté $N_{QRD} = 19$. V takovém případě je krok změny hloubky opět 9 mm. Vyroběný difuzor a detail jeho konstrukce je zobrazen na obrázku 3. Simulace difuzních vlastností jsou zobrazeny na obrázku 4.



Obrázek 3: Realizovaný vzorek difuzoru typu 2D QRD (vlevo), řez středem difuzoru (vpravo)



Obrázek 4: Kmitočtová závislost rozptylového činitele a normovaného činitele difuze (vlevo), rozptylová charakteristika pro kmitočty 2500 Hz (vpravo nahoře) a pro kmitočty 5000 Hz (vpravo dole) pro všechny typy realizovaných difuzorů

3 ZÁVĚR

Z výsledku simulací jednotlivých typů difuzorů je možné sledovat, jaký vliv má složitost konstrukce na konečné vlastnosti. U difuzoru typu MLS není možné dosáhnout příliš velkého kmitočtového rozsahu, což je dáno především tím, že konstrukce využívá pouze dvě hloubky šachty. Tento typ difuzoru se tak uplatní zejména v místech, kde se klade důraz např. na srozumitelnost řeči, nebo kde hrozí vznik třepotavé ozvěny. Difuzor typu PRD, jehož návrh se řídí už složitějšími posloupnostmi, vykazuje mnohem rovnoměrnější kmitočtové závislosti vlastností, a proto se jeho uplatnění najde v prostorách s vyššími nároky na akustické podmínky (divadla, koncertní sály, ...). Posledním navrženým typem je difuzor QRD ve 2D provedení. Díky své kompaktnosti je možné při návrhu počítat s ještě větším kmitočtovým rozsahem ale zároveň je tento typ nejvíce náročný na výrobu a s tím spojené cenové náklady. Tyto typy jsou pak nejvíce využívány v nahrávacích studiích nebo režijních místnostech.

REFERENCE

- [1] COX, Trevor J a Peter D'ANTONIO. *Acoustic absorbers and diffusers: theory, design and application*. 2nd ed. New York: Taylor & Francis, 2009, xvii, 476 p. ISBN 0203893050.
- [2] SCHROEDER, Manfred. *Numbertheory in science and communication with applications in cryptography, physics, digital information, computing, and self-similarity*. 5th ed. Berlin: Springer, 2009. ISBN 9783540852988.
- [3] Software. *AFMG Reflex* [online]. Berlin: Ahnert Feistel Media Group, ©2011-2016 [cit. 2018-03-28]. Dostupné z: <http://reflex.afmg.eu/>