

ROOM ACOUSTICAL PARAMETERS MEASUREMENT FOR EVALUATION OF MUSICAL AND SPEECH QUALITIES

Tereza Toufarová

Master Degree Programme (2), VUT

E-mail: xtoufa01@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Milan Sigmund

E-mail: sigmund@feec.vutbr.cz

Abstract: This paper presents parameters of evaluation of acoustic quality of the space. It mainly focuses on analysis of spatial acoustics, especially parameters whose measurement is essential for evaluation of spatial acoustics. It contains a description of relevant parameters of three acoustic spaces which were measured.

Keywords: EEICT, frequency, impulse response, acoustic parameter, MLS, sine sweep

1. ÚVOD

Cílem výzkumu akustiky v poslední době je kromě využití znalostí v oblasti tzv. zvukové hygieny (kontroly vibrací a hluku) také aplikace získaných poznatků v hodnocení a návrhu akustických prostor, a to nejen z pohledu čistě architektonického, ale včetně různých materiálových a elektronických akustických doplňků (ozvučení apod.).

2. PRINCIP MĚŘENÍ

V principu řešíme jednoduchou úlohu. Máme neznámý systém (prostor s určitými akustickými vlastnostmi, které chceme znát) a zdroj obecně známého signálu. Konkrétně využíváme zdrojový signál impulsní $x(n)$, měřením získáme signál odezvy $y(n)$ jako konvoluci vstupního signálu s impulsní charakteristikou systému $h(n)$ nesoucí informaci o měřeném systému (prostoru) [1].

$$y(n) = \sum_{k=0}^N x(n-k)h(k) \quad (1)$$

V optimálním případě předpokládáme lineární časově invariantní systém. Popis signálů, jimiž vybudíme impulsní odezvu, a jejich výběr v závislosti na podmínkách prováděného měření je velmi obsáhlé téma. Z možných excitačních signálů zde podrobněji zmíníme MLS (Maximum Length Sequence) a Exponentially Swept Sine (ESS).

Signál MLS je binární pseudonáhodná sekvence získaná pomocí posuvného registru o N stavech s periodou délky $L=2^{N-1}$. Vlastnostmi tohoto signálu jsou poměrně nízké výpočetní nároky na zpětnou dekonvoluci po průchodu systémem, která může být prováděna například algoritmem FHT (Fast Hadamard Transformation). Spektrum signálu MLS je rovnoměrné. Před započátkem měření je nutno pečlivě provést kalibraci měřicí aparatury na měřený prostor, neboť tento signál je velmi náchylný na zkreslení například vlivem nelinearit nebo časovou variancí systému [3].

Exponentially Swept Sine (exponenciálně rozmítaný sinusový signál) vyjádříme vztahem

$$s(t) = \sin \left(\frac{\omega_1 \cdot T}{\ln \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)} \cdot \left(e^{\frac{t}{T} \ln \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)} - 1 \right) \right) \quad (2)$$

kde ω_1 je počáteční kmitočet a ω_2 koncový kmitočet. Výraznou výhodou metody využívající ESS oproti ostatním metodám je jeho odolnost vůči nelinearitám prostředí. Spektrum signálu je růžové. ESS má lepší poměr S/N a je méně náchylný na nestabilitu prostředí, proto je využíván při měření v exteriéru [3].

3. MĚŘENÉ PARAMETRY

Nyní zde budou prezentována vybraná data naměřená v prostředích, která mají z pohledu akustiky odlišný charakter a účel využití. Jedná se o tři sály v Brně:

Aula JAMU, Komenského nám. 6, Brno – sál určený pro prezentaci hudby a to zejména komorní, Sál divadla Barka, Svatopluka Čecha 35, Brno – sál určený převážně pro činoherní představení, E342, VUT, Kolejní 4, Brno – přednášková místnost s odpovídajícími akustickými úpravami.

3.1. KOEFICIENT C50

Popisuje srozumitelnost řeči. Předpokládaná hodnota činitele C50 je závislá na době dozvuku a objemu místnosti. Pro srozumitelnost slov/frází je nutná hodnota $C50 \geq -2$ dB [2].

Nejnižší srozumitelnost slova měla aula JAMU. Nejvyšší pak překvapivě sál divadla Barka. Nicméně i přednášková místnost na Kolejní 4 dosahovala uspokojivých výsledků. Žádný z měřených sálů se nepropadl pod přípustné minimum. Pouze příklad velmi špatného budícího signálu měl C50 hluboko pod úroveň srozumitelnosti.

	JAMU			Barka			Kolejní 4		
	WN 2,7 [s]	MLS 2,7 [s]	MLS 5,5 [s]	WN 2,7 [s]	MLS 2,7 [s]	MLS 5,5 [s]	ESS 2,7 [s]	MLS 2,7 [s]	MLS 5,5 [s]
C50 [dB]	-0.4	-0.5	-0.5	5.9	-0.5	5.5	4.2	2.7	-9.2
C50 [dB]	3.3	3.1		10	9.3	10	-1.8	-5.6	

Tabulka 1: Naměřené hodnoty koeficientu C50; na prvním řádku s využitím měřicího a na druhém řádku neměřicího mikrofonu; WN – bílý šum [1]

3.2. CENTER TIME (CT)

Tato veličina má vliv na srozumitelnost řeči a jasnost hudebního vjemu. Čím vyšší je její hodnota, o to lepší akustický vjem prostorovosti posluchač má. Přípustné rozmezí je 70 - 150 ms [2].

JAMU - vzhledem k charakteru hudby, k jejíž prezentaci je sál projektován, je CT auly optimální. V případě přednáškové místnosti na Kolejní 4 do žádoucího intervalu zapadlo pouze jediné vyhodnocované měření. Ze subjektivního hlediska tato místnost nebudí v posluchači velký dojem prostorovosti, což není na závadu, neboť se jedná o místnost akusticky určenou pro mluvené slovo. Sál divadla Barka měl většinu hodnot výrazně pod požadovaným minimem. V tomto případě se jedná už skutečně o jev nežádoucí. Sál je určen jak pro mluvené slovo, tak k prezentaci hudby. Srozumitelnost slova při hudebním projevu je poměrně nízká a ani instrumentální hudba nemá potřebnou jasnost. Z hlediska prostorového vjemu posluchače se jedná převážně o "dvojezměrné" prostředí.

	JAMU			Barka			Kolejní 4		
	WN 2,7 [s]	MLS 2,7 [s]	MLS 5,5 [s]	WN 2,7 [s]	MLS 2,7 [s]	MLS 5,5 [s]	ESS 2,7 [s]	MLS 2,7 [s]	MLS 5,5 [s]
CenterTime [ms]	117	133.7		29.5	29.05	85.24	34.31	229.1	2.38
CenterTime [ms]	55.87	83.71		15.77	15.77	14.61	99.42	869.82	

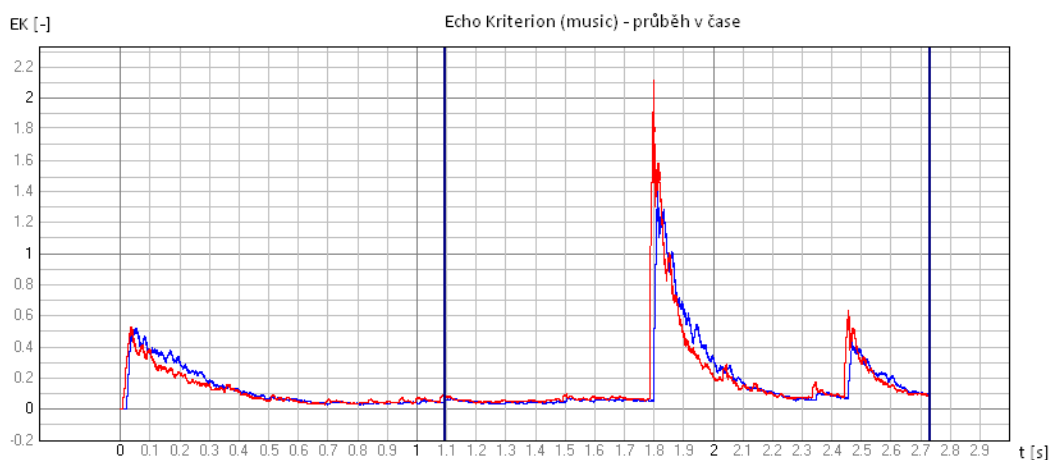
Tabulka 2: Naměřené hodnoty koeficientu Center Time

modrá – pod minimální hranicí, červená – nad maximální hranicí; na prvním řádku s využitím měřicího a na druhém řádku neměřicího mikrofonu; WN – bílý šum

3.3. ECHO KRITERION

Níže uvedený graf na Obrázku 1 ukazuje sekvence odrazů vyslaného akustického signálu tak, jak postupně v čase doléhají k uchu posluchače se snižující se intenzitou [2]. Při návrhu sálu je žádoucí, aby v místech všech posluchačů bylo toto energeticky časové schéma přibližně stejné a bez větších výkyvů. Časový odstup od zdrojového signálu 50 ms, který nenavazuje na sekvenci klesajících impulsů, je lidským uchem vyhodnocen jako ozvěna.

Ze závěrů plyne následující. Aula JAMU je vhodná pro klavírní představení, tak pro hudební produkce s jemnější technikou. Divadlo Barka pro jemnější techniku není vhodné vůbec. Uspokojivých hodnot dosáhlo jen pro dlouhé stimulační signály. Přednášková místnost E342 je z hlediska hudebního dozvuku vhodná například i pro klavírní představení, ale u ní není toho hodnocení relevantní. Jak JAMU, tak přednášková místnost E342 mají vhodné prostředí pro šíření řeči.



Obrázek 1: Časový průběh EK, měření v sále divadla Barka, signál MLS 2,7 s; červený průběh – mikrofon 1, modrý průběh – mikrofon 2;

4. ZÁVĚR

Na základě impulsní odezvy systému jsme schopni určit řadu parametrů, které se přímo vztahují ke kvalitě prostředí z pohledu akustiky. Jednotlivé parametry jsou výsledkem matematických výpočtů na základě fyzikálních skutečností, nicméně jejich vyhodnocení a následný kvalitativní popis proměřované místnosti je třeba dělat s ohledem na psychoakustická očekávání posluchače a s ohledem na typ akustického využití daného prostoru. Článek poukazuje na výstup těchto výpočtů jako na praktickou informaci o reálném vjemu posluchače a muzikanta v prostoru a přináší závěry z konkrétních měření v různých prostorech, jejichž výběr byl proveden s ohledem na názornost a charakterovou odlišnost.

REFERENCE

- [1] SYROVÝ, V. Hudební akustika. Druhé doplněné vydání. Praha. Akademie múzických umění, 2008. 440 s. ISBN 978-80-7331-127-8
- [2] ANHERT, W., SCHMIDT, W. Fundamentals to perform acoustical measurements. EASERAAppendixUSPV.pdf, <http://www.renkus-heinz.com/easera/EASERAAppendixUSPV.pdf>, (ke dni 24. 3. 2011)
- [3] FARINA, A. Impulse response measurement. 3rd Nordic Sound Symposium, 2007, <http://www.ramsete.com/Public/Papers/238-NordicSound2007.pdf> (ke dni 24. 3. 2011)