

TECHNOLOGICKÝ LIST čís. 56

~~poloprovozu ověřené technologie prototypu~~
~~uplatněné metodiky funkčního vzorku autorizovaného software*~~

Název: Metodika měření akustiky prostoru pomocí zvuku varhan

Title: Room acoustics measurement with the organ as a sound source

Původce (-i): Milan Guštar, Zdeněk Otčenášek

Vlastník (-ci): Akademie múzických umění v Praze, MARC HAMU

Lokalizace: 118 00 Praha 1, Malostranské nám 13

Abstrakt: Jedním z postupů měření akustiky uzavřených prostorů dle normy ČSN 3382 je vyhodnocení dozvuku z křivek poklesu akustické energie po přerušení nepřetržitého širokopásmového zvuku zaznamenaných soustavou měřicích mikrofónů. Zde popsána metoda využívá jako zdroj měřicího akustického signálu zvuk píšťalových varhan. Ke snímání signálu slouží trojice mikrofónů na společném držáku umístěném na reprezentativních místech poslechu v prostoru. Zaznamenané signály jsou vyhodnoceny pomocí nově vyvinutého programového modulu OrgRoom. Výsledkem jsou frekvenční průběhy doby dozvuku.

Abstract: One of the procedures for the room acoustics measurement according to DIN 3382 is the evaluation of acoustic energy decay curves after the interruption of a continuous broadband sound recorded by a system of measurement microphones. The method described here uses as a source of measuring signal the sound of the pipe organ. The sound is recorded using a microphone triplet on a common holder located in the room typical listening positions. The recorded signals are analyzed by the program OrgRoom. The results are the frequency responses of the reverberation time.

Popis: Viz Příloha k TL č. 56.

Inovační aspekty: Na rozdíl od obvyklých postupů používaných při měření akustiky prostorů je jako zdroj měřicího akustického signálu použit zvuk varhan. Ke snímání signálu slouží trojice mikrofónů na společném držáku umístěném na předepsaném místě v sále. Tento postup nahrazuje nákladné elektronické vybavení potřebné pro měření akustiky prostoru a zároveň dokumentuje akustické vlastnosti prostoru z hlediska vyznění zvuku varhan v konfiguraci, jak jsou v něm varhany umístěny.

Přínosy: Metodika má zásadní přínos v tom, že varhany vybudí prostor s varhanami obdobným způsobem jako při hudební produkci, takže je tak zachována autentická směrová charakteristika zvukového zdroje.

Do měřeného prostoru není třeba dopravovat rozměrný výkonný zdroj zvuku, zesilovač, zvukový generátor, kabeláž a další součásti budiče. Odpadá též instalace budicího systému. Není třeba hledat jeho optimální polohu vzhledem k varhanám.

Mikrofonní souprava – trojice mikrofónů na společném držáku, je umístěna na pevném místě v sále, mikrofony není třeba přemísťovat.

Měření lze provádět pomocí technického vybavení užívaného pro akustickou dokumentaci varhan (stává se jeho součástí). Pro měření akustiky prostoru není třeba instalovat žádné dodatečné přístrojové vybavení, vlastní měření trvá jen několik minut.

Dobu dozvuku zjištěnou před prováděním vlastní akustické dokumentace lze využít pro nastavení optimálních časů buzení prostoru a prodlevy mezi měřeními a tím zkrátit celkovou dobu akustické dokumentace při zachování maximální přesnosti získaných výsledků.

Licence: Využití výsledku jiným subjektem je v některých případech možné bez nabytí licence (kód P). Pro instalaci je vždy vyžadován souhlas MARC HAMU Praha.

Licenční poplatek: Poskytovatel licence na výsledek požaduje licenční poplatek (kód A).

Obor: Akustika a kmity – BI; Umění, architektura, kulturní dědictví – AL

Projekt: NAKI DF12P01OVV012

Identifikační číslo RIV:

Poznámky:

*nehodící se škrtněte

Příloha k TL č. 56

Měření akustiky prostoru s varhanami jako zdrojem měřicího signálu

Abstrakt: Jedním z postupů měření akustiky uzavřených prostorů dle normy ČSN 3382 je vyhodnocení dozvuku z křivek poklesu akustické energie po přerušení nepřetržitého širokopásmového zvuku zaznamenaných soustavou měřicích mikrofonů. Zde popsaná metoda využívá jako zdroj měřicího akustického signálu zvuk píšťalových varhan. Ke snímání signálu slouží trojice mikrofonů na společném držáku umístěném na reprezentativních místech poslechu v prostoru. Zaznamenané signály jsou vyhodnoceny pomocí nově vyvinutého programového modulu OrgRoom. Výsledkem jsou frekvenční průběhy doby dozvuku.

Údaje pro RIV:

Umístění: <http://zvuk.hamu.cz/vyzkum/publikacni.php>

Bližší upřesnění výsledku:

N - certifikovaná metodika (kód A),

Interní kód produktu:

Dozvuk pomocí varhan

Číselná identifikace:

TL.56

Technické parametry výsledku:

Technické parametry a popis zařízení viz. TECHNOLOGICKÝ LIST č. 56 (vydán r. 2014 Výzkumným centrem MARC, HAMU v Praze)

Ekonomické parametry výsledku:

Postup nahrazuje nákladné elektronické vybavení pro měření akustiky prostoru a zároveň prostor dokumentuje z hlediska umístění a znění varhan

Označení certifikačního orgánu: CSQ-CERT, Novotného lávka 5, Praha 1

Certifikace: M025/M/2014

Datum certifikace výsledku: 2014-12-11

Způsob využití výsledku: Využití výsledku jiným subjektem je v některých případech možné bez nabytí licence (kód P), Poskytovatel licence na výsledek nepožaduje v některých případech licenční poplatek (kód Z)

Kategorie výsledků podle nákladů:

A - Náklady \leq 5 mil Kč

IC: 61384984

Ukázka z Přílohy k TL 56

Úvod

Základním předpisem pro měření v oboru prostorové akustiky je norma ČSN 3382 Akustika – Měření parametrů prostorové akustiky, která popisuje metody měření doby dozvuku a dalších prostorově akustických parametrů v uzavřených prostorech pro hudbu a řeč tak, aby výsledky měření akustických charakteristik (objektivních kritérií akustické kvality), co do přesnosti, vyhovovaly pro použití v technické praxi, tj. aby byl zjištěn normovaný kmitočtový průběh doby dozvuku a hodnoty či kmitočtové průběhy několika dalších běžně používaných objektivních kritérií.

Norma popisuje postupy měření a vyhodnocování prostorově akustických parametrů odvozených z impulsových odezev nebo z křivek poklesu po přerušení nepřetržitého zvuku. Křivky poklesu lze získat integrací kvadrátu impulsových odezev pozpátku nebo přímým záznamem poklesu hladiny akustického tlaku po vybuzení uzavřeného prostoru širokopásmovým nebo pásmovým šumem. Jelikož v praxi není možné vytvořit a vyzážit skutečné Diracovy delta funkce, je třeba použít jejich aproximace krátkými přechodovými zvuky. Tento postup však není doporučován pro přesná měření. Alternativně lze použít signálu typu Maximum-Length Sequence (MLS) nebo jiného deterministického signálu s plochým spektrem, jakým je např. klouzavý tón, a transformace získané odezvy zpět na impulsovou odezvu.

Norma předepisuje umístění zdroje zvuku nejméně do dvou míst, kde se v sále obvykle vyskytují přirozené zdroje zvuku. Výška akustického středu zdroje je doporučována 1,5 m nad podlahou, aby se zabránilo nízkokmitočtové modifikaci výstupního výkonu zdroje v kmitočtovém rozsahu měření. Tato výška zároveň přibližně koresponduje s výškovými pozicemi mnoha hudebních nástrojů a zpěváků.

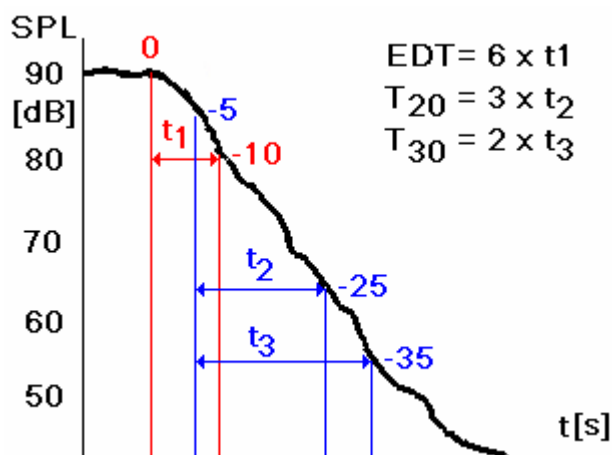
Při měření akustiky sálů s varhanami je situace odlišná. Umístění varhan je pevně svázáno s prostorem. Varhany tvoří rozměrný zvukový zdroj s velmi složitou vyzářovací charakteristikou, kterou je prakticky nemožné modelovat a nahradit zdrojem umělým.

Pro měření akustiky sálů určených pro provozování varhanní hudby lze jako zdroje zvukového signálu použít přímo instalované varhany. Při měření vybudí varhany prostor obdobným způsobem jako při hudební produkci, obdobný je i charakter zvuku. Použitý měřicí systém s trojicí mikrofonů zabezpečuje opakovatelnost měření.

Měření lze provádět pomocí technických prostředků užívaných k akustické dokumentaci varhan. Pro měření akustiky prostoru není třeba instalovat žádné dodatečné přístrojové vybavení, vlastní měření trvá jen několik minut.

Měření dozvuku dle normy ČSN 3382

Při metodě přerušeného šumu popsané normou ČSN 3382 je pro získání normovaného kmitočtového průběhu doby dozvuku předepsán kmitočtový rozsah, který pokrývá třetinooktávová pásma se středními kmitočty od 100 Hz do 5 kHz nebo oktávová pásma od 125 Hz do 4 kHz. Dozvuk norma definuje jako dobu, za kterou hladina zvuku poklesne o 60 dB. Pro určení této doby lze využít různé části křivky poklesu hladiny akustického tlaku při vypnutí zdroje zvuku. dozvuku.



Obr.1 Poklesová křivka hladiny akustického tlaku SPL po vypnutí zdroje zvuku

Pro měření počáteční doby dozvuku (EDT) je použito rozmezí poklesu z 0 na -10 dB (viz Obr.1 červeně t_1). EDT je „počáteční dobou dozvuku“. Tato část křivky nejlépe vypovídá o tom, jakým způsobem posluchač vnímá míru dozvuku v daném prostoru. Při T_{20} je použito rozmezí 20 dB (z -5 dB do -25 dB pod ustálenou hladinou před vypnutím zdroje, viz Obr. 1 modře t_2). Při T_{30} je použito rozmezí 30 dB (z -5 dB na -35 dB, viz Obr.1 modře t_3). Deskriptory T_{20} a T_{30} lze označit za „pozdní doby dozvuku“ protože jim odpovídá „pozdní“ část křivky.

Při určování dozvuku je vždy použito vyhodnocení poklesu v nějakém rozmezí křivky pod ustálenou hladinou. V tomto rozmezí se musí křivka poklesu proložit přímkou, vypočítanou metodou nejmenších čtverců nebo jiným postupem dávajícím podobné výsledky. Sklon přímky udává rychlost poklesu d v decibelech za sekundu, k němuž se pak stanoví doba t , za kterou daný pokles nastal. Výpočty jednotlivých dob dozvuku přepočtených na standardní hodnotu poklesu o 60 dB viz Obr. 1 vpravo nahoře.

Aby bylo možné určit dobu dozvuku, musí křivka poklesu sledovat přibližně přímku. Jsou-li křivky zvlněné nebo prohnuté, může to indikovat směs módů s rozdílnými dobami dozvuku a výsledek může být nespolehlivý.

Jednočíselnou celkovou dobu dozvuku $T_{30, \text{stř}}$ lze vypočítat průměrováním T_{30} v oktávových pásmech 500 Hz a 1000 Hz; obdobně lze též určit $T_{20, \text{stř}}$.

Měření doby dozvuku nějakého prostoru se provádí zpravidla v neobsazeném stavu (bez osob). Pohltivost osob však může změnit naměřené hodnoty, takže se stejná metodika měření používá i v obsazeném stavu, ale je při tom nutné zdokumentovat počet přítomných osob a jejich rozmístění v prostoru.

Měření dozvuku s varhanami jako zdrojem zvukového signálu

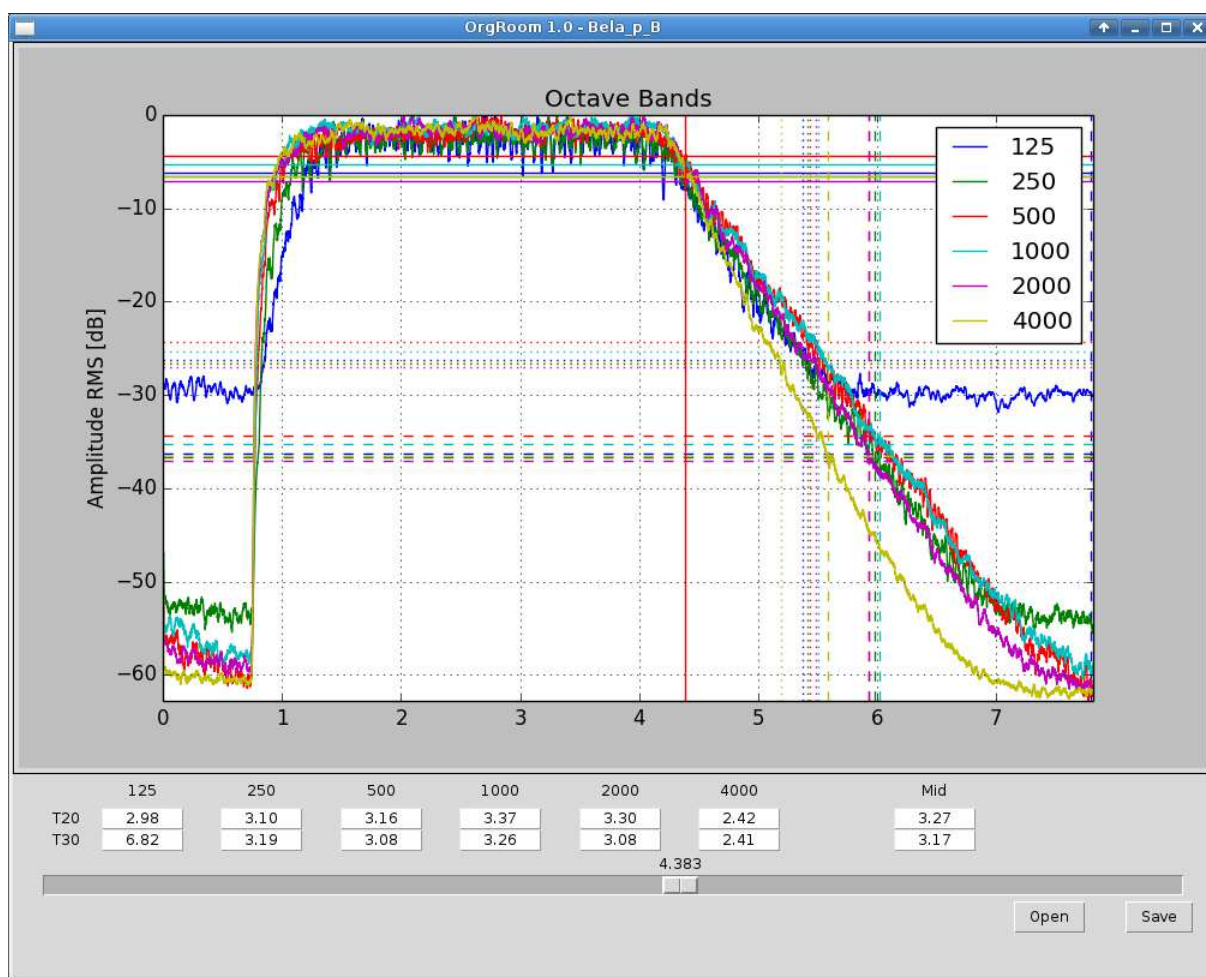
V případě měření akustiky prostoru s varhanami jako zdrojem měřicího signálu jsou určovány doby dozvuku T_{20} a T_{30} v oktávových pásmech a jednočíselné doby dozvuku $T_{20, \text{stř}}$ a $T_{30, \text{stř}}$ vyhodnocováním křivek poklesu širokopásmového signálu tvořeného clusterem (neharmonickým souzvukem). Pro spolehlivé určení hodnot T_{30} je v každém pásmu potřebný odstup užitečného signálu od hlukového pozadí větší než 35 dB, pro hodnoty T_{20} postačuje odstup větší než 25 dB. U některých nástrojů má zvuk tutti malou intenzitu a úroveň hlukového pozadí je vysoká (mnohdy způsobená hlukem mechaniky měchu). Využitelná amplituda poklesu dozvukujícího si

.....

Měření dozvuku s varhanami a softwarovým modulem *OrgRoom*

Pro účely měření dozvuku pomocí varhan byl vytvořen softwarový modul *OrgRoom* (viz Technologický list 59 [10]). Prezentovaná Metodika využívá tento modul a dozívání v prostoru s varhanami je zaznamenáváno a vyhodnocováno tímto programem.

Okno programového modulu *OrgRoom*, ve kterém jsou soustředěny všechny ovládací i zobrazovací prvky je na Obr. 3.



Obr. 3: Program *OrgRoom*

Po spuštění programu je kliknutím na tlačítko **Open** otevřen dialog pro volbu analyzovaných signálů. Vybrané zvukové soubory jsou filtrovány, sloučeny a průběhy amplitudy jsou v každém oktávovém pásmu graficky zobrazeny.

.....

Porovnání výsledků měření dozvuku pomocí zvuku varhan a klasickým měřicím řetězcem s reproduktorem dle ČSN 3382

...

...

Tab. 6: Doby dozvuku v oktávových pásmech dle ČSN 3382 a navržené metodiky - Kadov

Kadov	125	250	500	1000	2000	4000
T20 ČSN 3382	2.52	2.3	2.2	1.96	1.89	1.42
T20 OrgRoom	2.43	2.37	2.27	2.09	1.85	1.51
odchylka [%]	-3.70	2.95	3.08	6.22	-2.16	5.96
T30 ČSN 3382	5.45	4.52	2.41	2.14	1.83	1.46
T30 OrgRoom	2.45	2.36	2.25	2.09	1.85	1.51
odchylka [%]	-122.45	-91.53	-7.11	-2.39	1.08	3.31

Metodika

1. Pro záznam doznívání zvuku v prostoru vybuzeném varhanním akustickým signálem (clusterem) použít Analyzační zařízení Inton [9]. Metodika měření s tímto zařízením za účelem akustické dokumentace je popsána v Technologickém listu 58 [8].

2.

...

6. Odinstalace zařízení.

7. Archivace výsledků analýzy.

Literatura

- [1] ČSN ISO 3382 (1999): Akustika – Měření doby dozvuku místností a sálů s uvedením jiných akustických parametrů.
- [2] IEC 61260 Electroacoustics — Octave-band and fractional-octave-band filters (Elektroakustika – Oktávové a zlomkooktávové filtry)
- [3] Štěpánek, J.: Akustická diagnostika varhan a prostorů pro varhanní hudbu, Dílčí výzkumná zpráva č. C 05/1992, VUZORT a.s., Praha 1992.
- [4] Štěpánek, J.: Akustická diagnostika varhan a prostorů pro varhanní hudbu, Závěrečná výzkumná zpráva č. B 05/1993, VUZORT a.s., Praha 1993.
- [5] Otčenášek, Z., Syrový, V. (2007): Technologický list čís. 7: Akustická dokumentace varhan 3&3. AMU, Praha.
- [6] Otčenášek, Z., Syrový, V., Urban, O. (2007): Technologický list čís. 15: Akustická dokumentace píšťalových varhan, verze 8&1
- [7] Vondrášek, M., Fleischman, R., Mikeš, M. (2007): Technologický list čís. 8: Způsob měření objektivních kritérií akustické kvality prostorů hudebního určení. AMU, Praha.
- [8] Otčenášek, Z., Moravec, O., Guštar, M.: Metodika akustické dokumentace s analyzačním zařízením a softwarem, Technologický list 58, MARC HAMU v Praze
- [9] Otčenášek, Z., Moravec, O., Guštar, M.: Zařízení pro analýzu zvuku varhan, Technologický list 61, MARC HAMU v Praze
- [10] Guštar, M.: Software pro měření akustických vlastností prostoru s varhanami jako zdrojem měřicího signálu, Technologický list 59, MARC HAMU v Praze