

DOBA DOZVUKU V MÍSTNOSTI

1. Úvod

Po zapnutí zdroje zvuku v místnosti trvá jistou krátkou dobu (řádově vteřiny až zlomky vteřin), než dojde k ustálení zvukového pole. Často je v takových případech možné skutečné zvukové pole aproximovat **modelem difúzního akustického pole**, ve kterém je hustota akustické energie všude stejná a všechny směry šíření zvuku stejně pravděpodobné. Pokud bychom v takovém poli procházeli s mikrofonem a pořizovali zvukový záznam, nenacházeli bychom v intenzitě zvuku žádné výkyvy. To je ovšem ideální stav. Občas se však ve zvukovém poli místnosti objeví stojaté vlnění natolik výrazně, že poruší homogenní rozdělení hustoty akustické energie a testující mikrofon při pohybu po místnosti pak zaznamená výkyvy intenzity zvuku.

Pro ideální difúzní akustické pole zavádíme několik fyzikálních veličin, které jej charakterizují z hlediska energetického. Je to, mimo jiné, **ustálená hustota akustické energie** w_0 (ustálená akustická energie v jednotce objemu)

$$w_0 = \frac{4P}{\alpha c S} \quad , \quad (1)$$

kde P je výkon akustického zdroje, c rychlost zvuku, S plocha celkového povrchu místnosti a α činitel zvukové pohltivosti tohoto povrchu.

Pokud dojde k vypnutí zdroje, zvuk v místnosti dozívá a po určité době zanikne. Toto dozívání zvuku je charakteristické jen pro uzavřené prostory. Ve volném prostoru nic takového nenastane. Pro dozívání ideálního difúzního akustického pole v místnosti zavádíme tzv. **dobu dozvuku**. **Optimální doba dozvuku je důležitá z hlediska srozumitelnosti** – příliš dlouhá doba dozvuku zapříčiní promíchávání emitovaného zvuku s odraženým, při příliš krátké době dozvuku vysílaný zvuk vyznívá krátce a úsečně. To vše je na úkor srozumitelnosti zvuku (např. řeči).

Doba dozvuku ideálně difúzního akustického pole je jednotná pro všechny body místnosti. Pokud je ale difúzní akustické pole porušeno např. některým dominantním typem stojatých vln (určité frekvence), doba dozvuku přestává být jednotná pro celou místnost a mění se s místem měření. V takovém případě doba dozvuku ztrácí svůj význam obecného akustického parametru, který platí jednotně pro celý objem místnosti. Pokud tedy při měření doby dozvuku v místnosti zjistíme její závislost na místě měření, pak jde o známku porušení difúzního akustického pole - nejspíše vlivem stojatých vln určitých frekvencí.

Doba dozvuku difúzního akustického pole závisí na tom, jak rychle klesá hustota akustické energie w v místnosti. Tento pokles je v čase t **exponenciální** a je charakterizován časovou konstantou τ_0

$$w = w_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau_0}\right) \quad , \quad \tau_0 = \frac{4V}{\alpha c S} \quad , \quad (2)$$

což znamená, že také intenzita I zvuku v místnosti klesá exponenciálně

$$w = w_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau_0}\right) \quad , \quad I = wc \quad , \quad I_0 = w_0 c \quad . \quad (3)$$

V akustice se ovšem používá místo intenzity I veličina zvaná **hladina akustické intenzity** L_I (udává se v decibelech, dB)

$$L_I = 10 \log\left(\frac{I}{10^{-12}}\right) \quad , \quad (\text{dB}) \quad (4)$$

Takže rovnice (3) v hladinovém tvaru nabývá lineární podoby

$$L_I = L_{I_0} - 10 \frac{\log e}{\tau} \cdot t \quad , \quad (\text{dB}) \quad (5)$$

kde grafem $L_I(t)$ je klesající přímka se zápornou směrnici β

$$\beta = -10 \frac{\log e}{\tau} = -10 \frac{\alpha c \log e}{4V} \quad . \quad (6)$$

Doba dozvuku je definována jako čas potřebný pro pokles zvukové hladiny o 60dB po vypnutí zdroje.

Doba dozvuku podle Sabineho T_S :

$$T_S = \frac{60 \text{ dB}}{|\beta|} = \frac{240}{10 \cdot c \cdot \log e} \cdot \frac{V}{\alpha S} \approx 0.164 \frac{V}{\alpha S} \quad , \quad (\text{platí pro } \alpha < 0.2) \quad (7)$$

$$T_S \approx 0.164 \frac{V}{\sum_{(i)} \alpha_i S_i + 4mV} \quad , \quad (\bar{\alpha} < 0.2) \quad , \quad \bar{\alpha} = \frac{\sum_{(i)} \alpha_i S_i}{\sum_{(i)} S_i} \quad , \quad (8)$$

kde index i zahrnuje všechny materiály na povrchu místnosti včetně vnitřního zařízení (nábytek, koberce apod.) a osob. Hodnoty α , resp. αS pro tyto objekty jsou tabelovány v akustických tabulkách. Člen $4mV$ ve jmenovateli zlomku představuje opravu na útlum zvuku ve vzduchu - hodnotu m lze nalézt rovněž v tabulkách. Oprava na útlum ve vzduchu se uplatňuje především u větších místností a vyšších frekvencí (nad 2kHz).

Doba dozvuku podle Eyringa T_E :

$$T_E = 0.164 \frac{V}{-S \ln(1 - \bar{\alpha}) + 4mV} \quad , \quad \bar{\alpha} = \frac{\sum_{(i)} \alpha_i S_i}{\sum_{(i)} S_i} \quad , \quad (\bar{\alpha} < 0.8) \quad . \quad (9)$$

Doba dozvuku podle Millingtona T_M :

$$T_M = 0.164 \frac{V}{-\sum_{(i)} S_i \ln(1 - \alpha_i) + 4mV} \quad , \quad (\bar{\alpha} > 0.8) \quad . \quad (10)$$

V praxi je pro výpočet doby dozvuku nejčastěji používán Eyringův vztah (9).

Nutno připomenout, že činitel akustické pohltivosti α (materiálová konstanta) je frekvenčně závislý, takže tím se i doba **dozvuku stává frekvenčně závislou**. Je proto třeba určovat, pro jakou frekvenci provádíme výpočet doby dozvuku. Většinou jsou hodnoty α tabelovány pro frekvenci 500 Hz, takže i doba dozvuku z nich vypočítaná se vztahuje k této frekvenci. Někdy se také můžeme setkat s dobou dozvuku vypočítanou pomocí činitele akustické pohltivosti α_{NRC} (Noise Reduction Coefficient) získaného jako aritmetický průměr z činitelů akustických pohltivostí α pro frekvence 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz a 2000 Hz

$$\alpha_{NRC} = \frac{\alpha_{250Hz} + \alpha_{500Hz} + \alpha_{1000Hz} + \alpha_{2000Hz}}{4} \quad (11)$$

Doba dozvuku vypočítaná pomocí α_{NRC} má ovšem spíše orientační hodnotu.

Pokud dobu dozvuku měříme, máme možnost určovat doby dozvuku v jedno-oktávných frekvenčních pásech nebo ve třetino-oktávných pásech, čímž dostáváme dosti podrobnou informaci o době dozvuku v místnosti v závislosti na frekvencích. Měření ovšem můžeme provádět i širokopásmově (pro všechny frekvence souhrnně), čímž dostáváme dobu dozvuku, která je ovlivněna všemi frekvencemi. **Vypočtené a naměřené hodnoty bychom tedy měli srovnávat vždy s ohledem na jejich frekvenční příslušnost.**

2. Veličiny určované v difúzním akustickém poli

Podle mezinárodní normy ISO 3382 měříme v akustickém poli následující veličiny:

- **RT20** (Reverberation Time) - **doba dozvuku** určená z času Δt_{20dB} dvaceti-decibelového poklesu zvukové hladiny (-5dB; -25dB), tj. $RT20 = 3\Delta t_{20dB}$.
- **RT30** – **doba dozvuku** určená z času Δt_{30dB} třiceti-decibelového poklesu zvukové hladiny (-5dB; -35dB), tj. $RT30 = 2\Delta t_{30dB}$.
- **EDT** – (Early Decay Time) **počáteční doba dozvuku** získaná z počátečního deseti-decibelového poklesu (-0dB; -10dB) zvukové hladiny. Tato veličina se více přibližuje subjektivnímu (fyziologickému) vnímání dozvuku než předešlé dvě veličiny, které představují spíše objektivní (fyzikální) veličiny dozvuku. Platí : $EDT = 6\Delta t_{10dB}$.
- **D50** – (Deutlichkeit) tzv. **zřetelnost** je procentuální podíl zvukové energie emitované během prvních 50 ms dozvuku z celkové energie emitované během doznívání

$$D_{50} = \frac{\int_0^{0.050s} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \cdot 100 \quad (\%) \quad (12)$$

Symbol p zastupuje akustický tlak.

- **C50** – (Clarity resp. Klarheitsmass), tzv. **jasnost** je definována jako poměr vyjádřený v decibelech mezi zvukovou energií emitovanou během prvních 50ms dozvuku a energií emitovanou ve zbývajícím čase doznívání. Jasnost řeči (zvuku) v místnosti je optimální, pokud $C50 \in (-1dB; +3dB)$.

$$C_{50} = 10 \log \left(\frac{D_{50}}{1 - D_{50}} \right) \quad (13)$$

- **C80** - **míra jasnosti** je definována podobně jako C50, avšak s delším časovým intervalem 80 ms. Míra jasnosti by měla být vždy větší než 0 dB, aby srozumitelnost řeči (zvuku) byla příznivá.

$$C_{80} = 10 \log \left(\frac{D_{80}}{1 - D_{80}} \right) \quad (14)$$

- **TS** – (Centre Time) tzv. **těžišťový čas** je čas v ms, jehož vysoká hodnota značí nízkou jasnost řeči (zvuku).

$$TS = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad (15)$$

3. Princip měření

Praktická měření doby dozvuku se mohou provádět různými způsoby, vždy však je k tomu zapotřebí zdroj zvuku (např. reproduktor), kterým se vytvoří testující signál (akustické pole), dále je třeba přijímač (např. mikrofon se zesilovačem), který zachycuje dozívání a konečně také vyhodnocovací jednotka (např. PC se zvukovou kartou a řídicím a výpočetním programem)

Jako testujícího signálu se může použít buď kontinuálního nebo pulsního zvukového signálu. Kontinuální signál má většinou podobu bílého (event. růžového) šumu (plochá frekvenční charakteristika) a pouští se do místnosti buď širokopásmově (nefiltrovaně) nebo v jedno-oktávových nebo třetino-oktávových frekvenčních pásmech (blíže viz. *T. Ficker, Příručka tepelné techniky, akustiky a denního osvětlení, CERM, Brno, 2004*). Pulsní signál se může generovat různě např. silným tlesknutím do dlaní nebo jiskrovým výbojem nebo startovací poplašnou pistolí apod. Jedním z nejmodernějších způsobů buzení testovacího signálu je **metoda MLS (Maximum Length Sequence)**. Jedná se o pseudonáhodný signál generovaný posuvnými registry jako řada bitů s úrovní „0“ a „1“. Všechny tyto způsoby buzení testujícího signálu, ať již kontinuální nebo pulsní, mají jedno společné – ploché frekvenční spektrum (emitují všechny frekvence se stejným výkonem, jako je tomu u bílého šumu), což je podmínkou korektního měření doby dozvuku. **Signál MLS však vyniká nad jiné tím, že umožňuje dosáhnout velmi dobrého odstupu vlastního signálu od rušivého šumu při nesrovnatelně nižším emitovaném výkonu ve srovnání s ostatními typy signálů. V praxi to znamená, že měření doby dozvuku může být prováděno v mírně hlučných místnostech, což je i náš případ laboratorního praktika.**

Testující signál MLS vybudí v místnosti akustické pole a registruje se odezva místnosti, která se dále zpracovává. Analyzuje se vlastně tlumený puls - pulsní odezva místnosti získaná dekonvolucí MLS signálu emitovaného do místnosti a signálu vystupujícího z místnosti, který je zachycen mikrofonem. Získaný tlumený puls se dále integruje speciální zpětnou integrační metodou podle Schroedera – tzv. reverzní časovou integrací (reverse time integration) a výsledkem je monotónně klesající lineární graf (Schroeder plot), který připomíná svou linearitou pokles zvukové hladiny dané rovnicí (5), avšak nejde o absolutně totožné grafy, pouze směrnice obou jsou totožné. To ovšem plně dostačuje k tomu, aby Schroederův graf bylo možno použít pro výpočet doby dozvuku (ze směrnice), a to analogicky jako u závislosti (5): z grafu stanovíme **čas potřebný pro pokles hladiny o 20 dB, resp. o 30 dB, tj. časy Δt_{20dB} resp. Δt_{30dB}** , a jejich vynásobením stanovíme dobu potřebnou k poklesu o 60dB, což je výsledná doba dozvuku T v místnosti

$$T = 3 \cdot \Delta t_{20dB} \quad , \quad T = 2 \cdot \Delta t_{30dB} \quad (11)$$

Celá tato procedura může být provedena buď širokopásmově nebo selektivně v určitých frekvenčních pásmech, čímž obdržíme **frekvenční závislost T(f)**.

4. Zadání úkolů

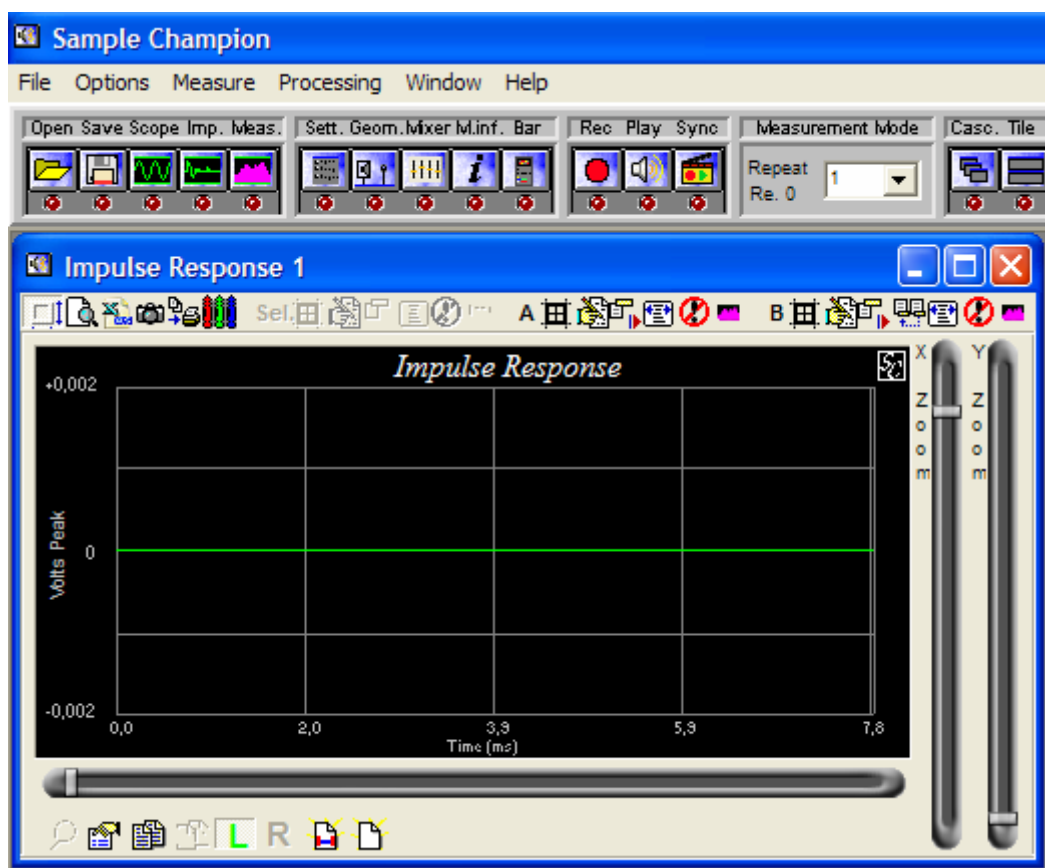
- *Proveďte širokopásmové (125Hz – 16000Hz) a selektivní měření doby dozvuku na třech různých místech laboratoře. Rozhodněte, zda je zvukové pole ideálně difúzní. Selektivní měření provádějte v jedno-oktávových pásmech.*
- *Proveďte výpočet doby dozvuku v místnosti podle Eyringa (9) pro frekvence 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz a 4000Hz. Poznamenejte si počet osob N_o přítomných v místnosti v době měření, dále počet židlí N_z , lavic N_L a nábytkových skříněk N_s .*
- *Vyneste do společného grafu naměřené doby dozvuku pro všechny tři měřicí místa společně s vypočítanými hodnotami v závislosti na frekvencích $T(f)$ a omezte se přitom na frekvenční rozsah 125Hz – 4000Hz. Pomocí akustické normy vyneste do téhož grafu toleranční meze $[(T_{min}(f); T_{max}(f)]$ pro přenos řeči v dané místnosti a rozhodněte, zda je dozvuk v této místnosti optimální. Pokud nebude vyhovovat normovým požadavkům (tolerančním mezím), rozhodněte, jaká opatření uvnitř místnosti lze provést k dosažení optimálního dozvuku.*

5. Pomůcky

Instalovaná aparatura sestává ze dvou reproduktorů, stolního počítače se zvukovou kartou a implementovaným řídicím a vyhodnocovacím programem „Sample Champion v. 3.8.4.0“ (autor P. Guidorzi, PureBits.com, 2005).

6. Postup měření

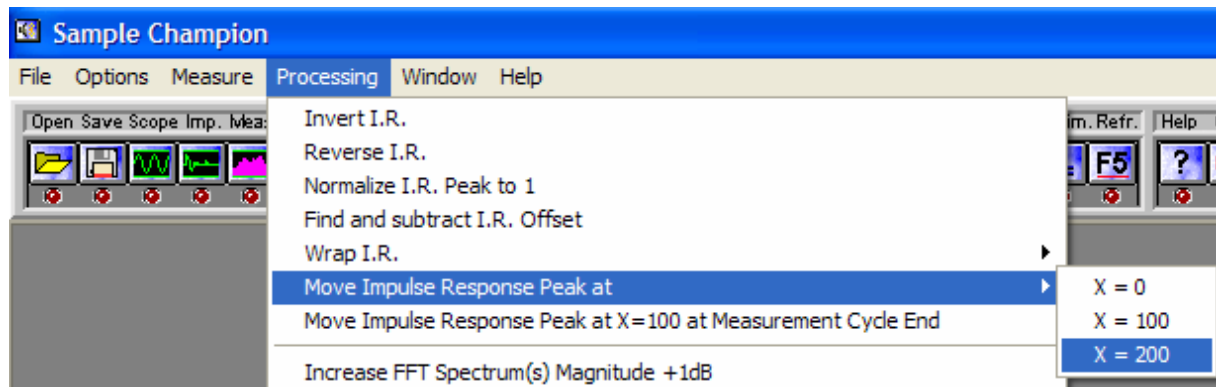
- a) Reproduktry jsou umístěny uprostřed posluchárny. Mikrofon je připevněn na otočném rameni. Volíme postupně tři měřící polohy mikrofonu: **dvě krajní a jednu prostřední**.
- b) Pro každou ze tří poloh mikrofonu provedeme následující úkony:
- Ve spuštěném programu „Sample Champion“ (jeho ikona je na pracovní ploše počítače v pravém dolním rohu) klepnutím na ikonu „Imp.“ na nástrojové liště otevřeme pod-okno „Impulse Response“.



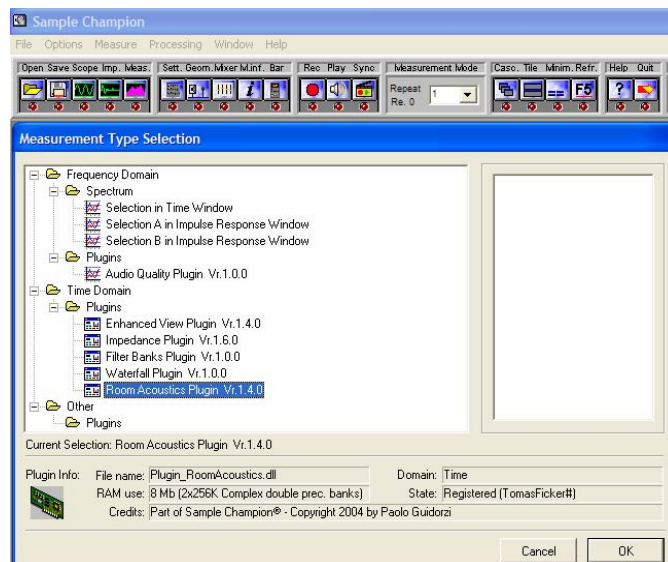
- **POŽÁDÁME PŘÍTOMNÉ V MÍSTNOTI O KLID PO DOBU VYSÍLANÉHO TESTUJÍCÍHO SIGNÁLU (ASI 10 SEC.).** Na nástrojové liště hlavního okna programu stisknutím ikony „Sync.“ vyvoláme testující signál MLS a v pod-okně „Impulse response“ se nám objeví část tlumeného impulsu, který je třeba posunout před začátek souřadného systému (viz následující krok).

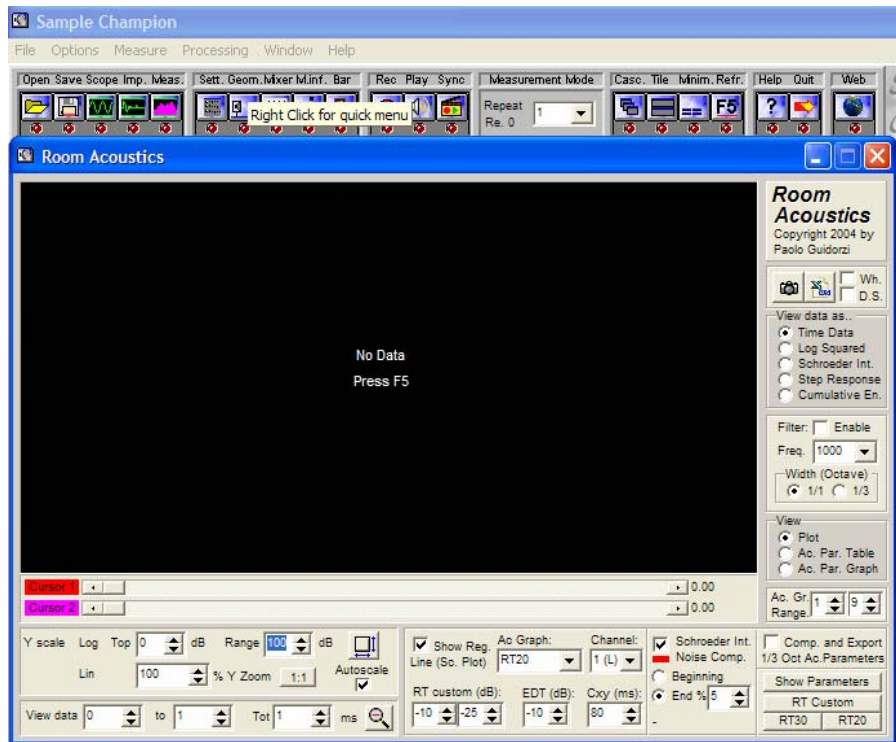


- Stisknutím nápisu „Processing“ v menu hlavního okna programu vyberte kurzorem řádek „Move Impulse Response Peak at...“ a vyberte možnost „X=200“.

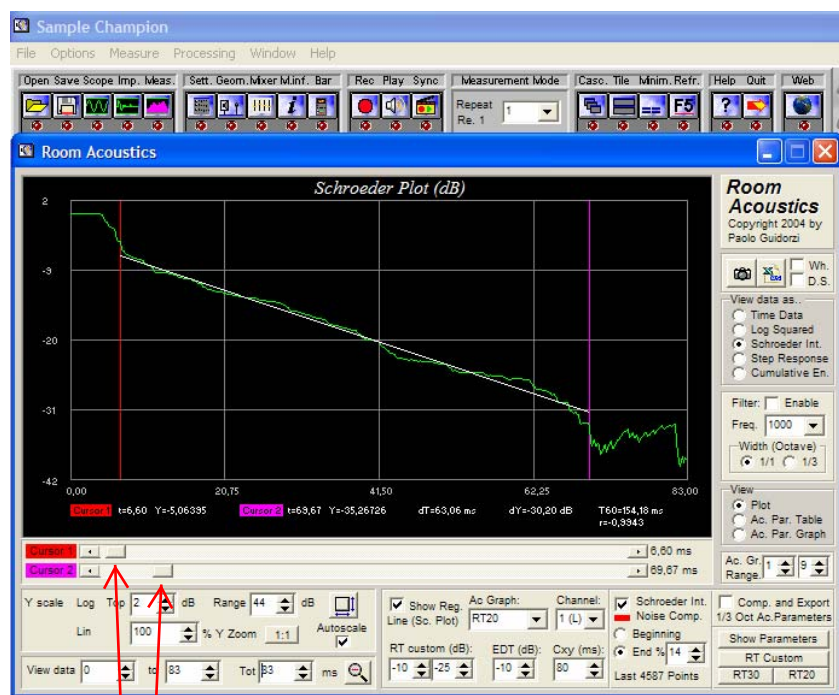


- Nyní spusťte podprogram vykonávající výpočty pokojové akustiky:
 - ✓ Stiskněte ikonu „Meas.“ na nástrojové liště hlavního okna a v otevřené nabídce označte modře řádek „Room Acoustics Plugin Vr. 1.4.0“ a pak stiskněte tlačítko „OK“. Otevře se okno nazvané „Room Acoustics“.



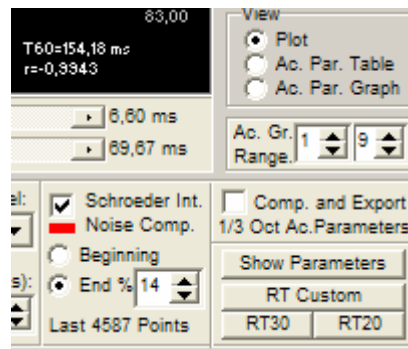


- ✓ Do otevřeného okna „Room Acoustics“ načtete data stisknutím klíče „F5“ buď na nástrojové liště hlavního okna programu nebo na klávesnici.
- ✓ V okně „Room Acoustics“ pokračujte následujícími volbami v tomto pořadí: „Schroeder Int.“, „RT₃₀“. V lineární části Schroederova grafu se objeví interval hladinového poklesu 30dB (vyznačený dvěma svislicemi), ze kterého se počítá doba dozvuku.



Posuvníky ručně vymezit lineární část křivky.

- ✓ Nyní doladíme výpočet nastavením optimální velikosti šumového vzorku v procentech: malé okénko s procenty nalezneme v pravém dolním rohu okna „Room Acoustics“. Postupně po krocích 2% měníme v celém dovoleném rozsahu (1% - 40%) velikost šumového vzorku ~~a po každé jednotlivé změně vždy znovu tiskneme tlačítko „RT₃₀“~~. Cílem je nalézt takové nastavení procent (na obr. je to 14%), kdy je absolutní hodnota korelační koeficientu „ $r = \dots$ “ v pravém dolním rohu Schroederova grafu co největší (např. $r = -0.9943$ viz obr.).



- ✓ Jakmile nalezneme optimální velikost šumového vzorku v procentech, můžeme přikročit k výpisu dat na obrazovku okna „Room Acoustics“. Výstup dat může být trojího typu. Typ výstupu volíme sami v pravé části okna „Room Acoustics“: (i) zadání „Plot“ vykreslí pouze spojitý Schroederův graf, (ii) zadání „Ac. Par. Table“ vykreslí Schroederův graf s tabulkou hodnot a (iii) zadání „Ac. Par. Graph“ (vykreslí spojitý graf společně se sloupcovým grafem). Prohlédneme si pozorně všechny tři výstupy a vyřadíme hodnoty, které mají nízkou absolutní hodnotu korelačního koeficientu (v tabulce hodnot jsou označeny červeně) – vyřazení se děje nastavením číselného rozsahu jednooktávných pásem (1 – 9) opět v pravém dolním rohu vedle nápisu „Ac.Gr.“(viz horní obr.). Pozn.: vyřazení hodnot se projeví pouze u sloupcového grafu!
- ✓ Posledním krokem je uložení výsledků. Děje se standardním způsobem podobně jako u jiných programů typu Windows. Aktuálně zobrazená data (resp. graf) v okně „Room Acoustics“ je možno uložit buď bitmapově jako obrázek přes schránku (ikona fotoaparátu vpravo nahoře) nebo textově do Excelu (ikona Excelu vedle ikony fotoaparátu). **Ukládejte si pouze bitmapové obrázky, a to jednak tabulky hodnot a také sloupcové grafy – pro každé měřicí místo tak vzniknou dva bitmapové (.bmp) soubory. Tyto soubory si ukládejte dočasně do adresáře C:\Temp. .**



- c) Změňte polohu mikrofonu a proveďte znovu celé měření. Před dalším měřením je třeba uzavřít okno „Room Acoustics“. Okno „Impulse Response“ zůstává otevřené, data v něm se automaticky obnoví při dalším měření. Nové měření zahájíme stisknutím ikony „Sync.“ na nástrojové liště okna hlavního programu a dál pokračujeme podle předešlého scénáře **6b**). Totéž provedeme i pro třetí polohu mikrofonu.
- d) Po skončení všech měření si dočasně uložené bitmapové soubory a NÁVOD (uložen na prac. ploše počítače) odešlete školním e-mailem (<http://email.fce.vutbr.cz>) do své schránky nebo exportujte na svůj flash disk či disketu. **Nakonec všechny soubory po sobě vymažte!!!**

7. Zpracování výsledků

- a) Vytiskněte si Schroederovy grafy a tabulky hodnot pro jedno-oktávová pásma pro všechny tři měřené polohy. Rozhodněte, zda se jedná o ideální difúzní akustické pole – rozdíly v dobách dozvuků vyjádřete v procentech a použijte je při diskusi difuzivity akustického pole v místnosti (rozdíly do 5% považujte ještě za ideální stav).
- b) Vypočítejte dobu dozvuku místnosti podle Eyringova vztahu (9) *pro frekvence 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz a 4000Hz*. Nezapomeňte zahrnout kromě vlivu různých materiálových ploch na povrchu místnosti také vliv vnitřního zařízení (židle, skříňe, stoly), dále vliv vlhkosti vzduchu a také všechny osoby přítomné v době měření v místnosti. Vyjádřete se k otázce spolehlivosti vypočítaných a naměřených hodnot – berte přitom v úvahu obtížnou dostupnost a menší spolehlivost vstupních dat (α) pro výpočet. Potřebná data naleznete v následující tabulce v příloze.
- c) Vyneste do společného grafu naměřené doby dozvuku pro všechny tři měřící místa společně s vypočítanými hodnotami v závislosti na frekvencích $T(f)$ a omezte se přitom na frekvenční rozsah 125Hz – 4000Hz. Pomocí akustické normy vyneste do téhož grafu toleranční meze $[(T_{\min}(f); T_{\max}(f)]$ pro přenos řeči v dané místnosti a rozhodněte, zda je dozvuk v této místnosti pro řeč optimální. Toleranční meze stanovte pro danou místnost z následujících dvou grafů v příloze. Pokud nebudou doby dozvuku vyhovovat normovým požadavkům (tolerančním mezím), rozhodněte, jaká opatření uvnitř místnosti lze provést k dosažení optimálního dozvuku.

PŘÍLOHA

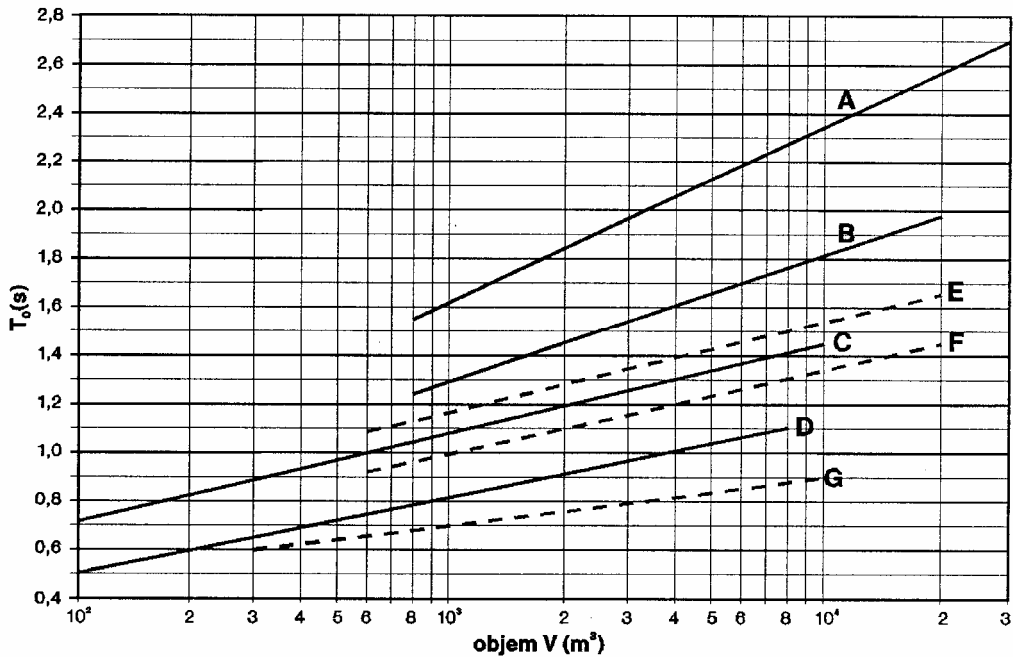
Rozměry místnosti: 11,845m x 6,595m x 4,87m .

Objem místnosti: $V = 380,434 \text{ m}^3$.

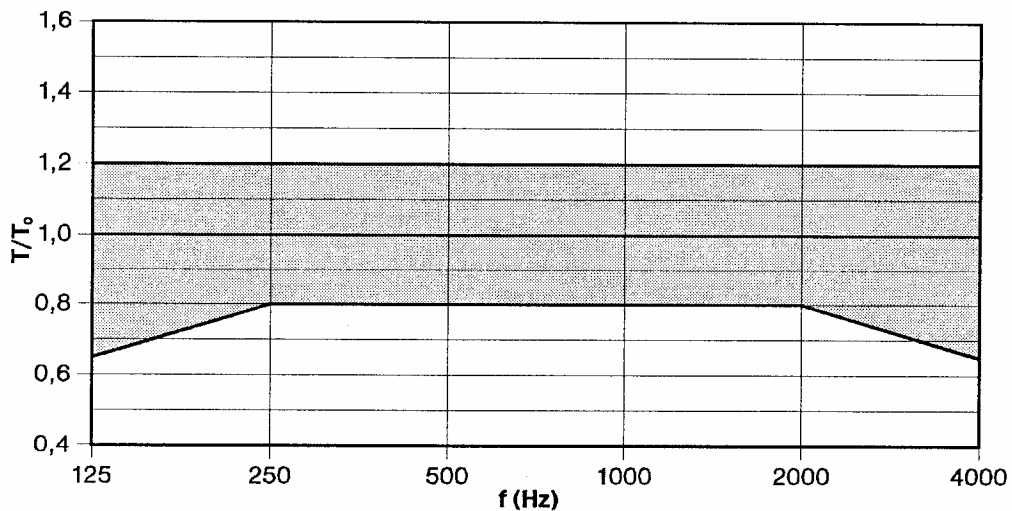
Tabulka vstupních dat pro výpočet doby dozvuku

(Vzhledem k nedostupnosti údajů α pro některé konstrukční prvky, byl učiněn odhad těchto dat z podobných případů, takže tato tabulka obsahuje jen *velmi přibližné* vstupní údaje!)

Druh povrchu	Plocha $S_i(\text{m}^2)$	125Hz		250Hz		500Hz		1000Hz		2000Hz		4000Hz	
		α_i	$S_i\alpha_i$	α_i	$S_i\alpha_i$	α_i	$S_i\alpha_i$	α_i	$S_i\alpha_i$	α_i	$S_i\alpha_i$	α_i	$S_i\alpha_i$
Dvojitá podlaha se vzd. dutinou	78,12	0,24		0,23		0,22		0,21		0,22		0,23	
Okna	18,34	0,02	0,37	0,06	1,10	0,03	0,55	0,03	0,55	0,02	0,37	0,02	0,37
N_z židlí	$0,232N_z$	0,02	.....	0,02	.....	0,02	.....	0,02	.....	0,02	.....	0,02	.....
N_L lavic	$0,72N_L$	0,08	.....	0,08	.....	0,09	.....	0,10	.....	0,10	.....	0,10	.....
N_s skříněk	$2,528N_s$	0,24	.....	0,24	.....	0,22	.....	0,20	.....	0,25	.....	0,26	.....
2 dveře	3,6	0,30	1,08	0,30	1,08	0,40	1,44	0,45	1,62	0,60	2,16	0,65	2,34
Omítka	180,35	0,02	3,61	0,02	3,61	0,03	5,41	0,04	7,21	0,05	9,02	0,05	9,02
Dřev. obklad + vzd. mezera.	45,6	0,51	23,2	0,56	25,5	0,78	35,6	0,84	38,3	0,45	20,5	0,40	18,24
Keramický obklad	10	0,01	0,10	0,01	0,10	0,01	0,10	0,02	0,20	0,02	0,20	0,02	0,20
N_o osob	$1,5 N_o$	0,15	.....	0,23	.....	0,56	.....	0,78	.....	0,88	.....	0,89	.....
SOUČET Σ	...	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
$\alpha_S = \frac{\Sigma \alpha_i S_i}{\Sigma S_i}$		.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
$\alpha_E = -\ln(1 - \alpha_S)$		.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Útlum ve vzduchu $U=4mV$ (str.13)		~0~		~0~		~0~		~0~		.....		.....
$T_E = \frac{0.164 \cdot V}{\alpha_E \cdot \Sigma S_i + U}$		.....		.....		.....		.....		.....		.....



Doba dozvuku místností podle jejich objemu : A – varhanní hudba, B – orchestrální hudba, C – komorní hudba, D – řeč, činoherní divadlo, zkušebna činohry, E – opera, operní divadlo, F- víceúčelový sál, zkušebna orchestru, sboru, G – kino s jedno-kanálovým zařízením.



Přípustné tolerance doby dozvuku pro jedno-oktávová pásma : T_0 je optimální doba dozvuku pro přenos řeči podle vrchního grafu D, T je „ještě možná“ doba dozvuku v místnosti.

