

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta elektrotechnická**

LABORATORNÍ ÚLOHA

**Měření doby dozvuku**

**Vypracovali:** Jan HLÍDEK

**V rámci předmětu:** Multimediální technika a televize (X37MTT)

**Specifikace:** „Zvuková část“ předmětu

# 1. ZADÁNÍ

Změřte dobu dozvuku v místnosti:

- s roztaženými závěsy
- se zataženými závěsy

a vyšetřete pro každý z těchto případů závislost doby dozvuku na frekvenci zvuku.

Určete také činitel pohltivosti stěn místnosti a závěsů.

## 2. TEORETICKÝ ROZBOR

Protože měříme dobu dozvuku, je dobré nejdříve sdělit, o co se jedná. Doba dozvuku je základní parametr, který charakterizuje daný prostor z akustického hlediska. Definujeme ji jako „dobu, za kterou poklesne hladina akustického tlaku po vypnutí zdroje, který vybudil místnost o 60 dB“.

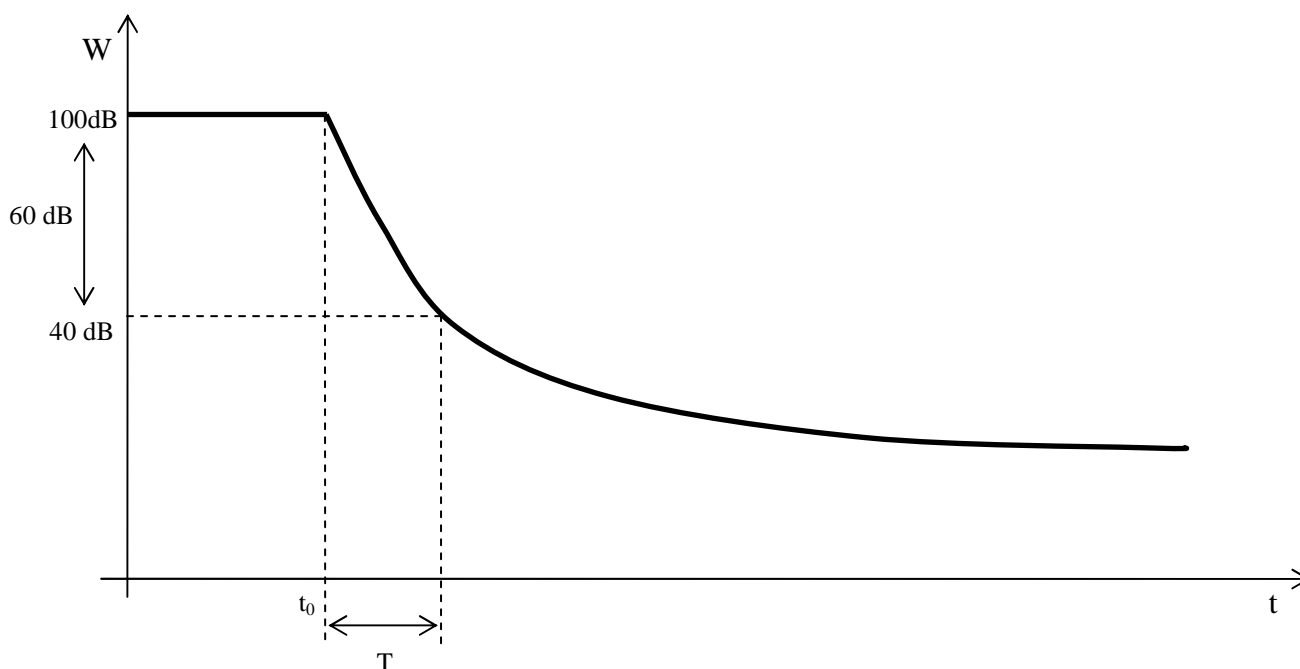
Nejjednodušeji lze vyjádřit takto:  $T = 0,164 \frac{V}{a}$

kde:            T ... doba dozvuku  
                   V ... objem místnosti  
                   a ... Sabinův koeficient absorpce

Existují různé možnosti, jak dobu dozvuku měřit. Některé z nich jsou ale spíše jen teoretické možnosti a v praxi se nevyužívají (např. přímé měření poklesu o 60 dB):

- „Přímé měření“

Měřili bychom přímo, kdy dojde k poklesu o 60 dB a zaznamenali bychom příslušnou dobu, za kterou k tomuto poklesu došlo. Princip ukazuje následující obrázek.



Metodu je možno modifikovat – aby se nepracovalo s tak velkým rozsahem 60 dB, že změříme např. jen pokles o 30 dBa a pak bychom vzali časovou hodnotu jako  $T/2$ .

- **Impulsová odezva**

Tato metoda je spíše jakousi výchozí metodou pro následující způsoby měření doby dozvuku. Princip spočívá v tom, že do systému (místnosti) „pošleme“ jednotkový impuls a změříme mikrofonem odezvu. Reálně je ale problém s vysláním takového impulsu. Potřebujeme totiž dosti veliký impuls (abychom pak byli schopni něco zachytit mikrofonem) a co možná nejkratší. Na to ale nejsou reproduktory příliš stavěny. Proto se využívá spíše následující metody MLS.

- **MLS (Maximum Length Signals)**

Při stručném komentáři této metody se dá říci, že do místnosti budeme pouštět zvuk, který se „chová jako šum, ale ve skutečnosti to šum není“. Naším cílem je totiž získat impulsovou odezvu místnosti, kterou zde dostaneme díky zjištění korelační funkce mezi známým MLS signálem („šumem“ pouštěným do místnosti) a tím následně naměřeným na mikrofonu.

Vytvoření signálu probíhá na principu posuvného registru. Signál pak vypadá např. takto:



Celkově metoda probíhá asi následujícím způsobem. V „šumovém“ generátoru se vytvoří daný signál, který se dle daných požadavků může nechat projít pásmovým filtrem. Signál se zaznamená pro pozdější výpočet, zesílí se a pomocí reproduktoru se dostává do prostoru ve formě zvukových vln. Dále se zaznamenává mikrofonem, zaznamená a po pásmové filtraci se zaznamená úroveň daného signálu.

Matematické odůvodnění MLS:

Perioda signálu ...  $L = 2^N - 1$

Autokorelační funkce (násobení signálu se sebou samým):

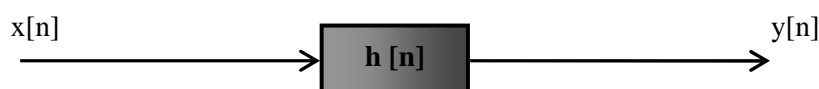
$$R_{xx}[m] = \frac{1}{L+1} \sum_n x[n] \cdot x[n+m]$$

$$R_{xx}[0] = \frac{1}{L+1} \sum_n x[n] \cdot x[n] = \frac{L}{L+1}$$

$$R_{xx}[m \neq 0] = -\frac{1}{L+1}$$

Celková autokorelační funkce je tedy:  $R_{xx}[m] = \delta[m] - \frac{1}{L+1}$

Autokorelační funkce tohoto signálu se tedy chová jako šum. Nyní budeme studovat, co se stane, pokud tento signál necháme projít soustavou:



$$y[n] = x[n] * h[n]$$

$$R_{xy} = x[n] \oplus y[n] = x[n] \oplus x[n] * h[n] = \left( \delta[n] - \frac{1}{L_M} \right) * h[n] = h[n] - \frac{1}{L+1} \sum_n h[n] = h[m]$$

Vztahy ze kterých budeme v úloze určovat činitel pohltivosti:

Sabinův vzorec: 
$$T = 0,164 \cdot \frac{V}{\sum (\alpha_i \cdot S_i)}$$

Upravený – Eyringův vzorec: 
$$T = 0,164 \cdot \frac{V}{-\sum (S_i \cdot \ln(1 - \alpha_i))}$$

Eyringův vzorec je dobré využít, pokud se činitel pohltivosti přibližuje k 1 (doba dozvuku je malá vzhledem k místnosti). Pro tento případ totiž přestává Sabinův vzorec platit.

Jednou z vyšetřovaných jevů při měření bude také vyšetření závislosti doby dozvuku na frekvenci. Toto je dáno tím, že různé materiály pohlcují různá pásma frekvencí rozdílně. Právě pro měření těchto charakteristik jsou v měřicí soustavě připojeny nastavitelné filtry.

### 3. NAMĚŘENÉ HODNOTY

Grafy a hodnoty, které spočítal program jsou přiloženy na zvláštních listech stejně jako grafy k následujícím tabulkám.

Tabulky vyjadřující závislost doby dozvuku na frekvenci<sup>1</sup>.

Roztažené závěsy		
f	Doba dozvuku RT-20dB	Doba dozvuku RT-30dB
[Hz]	[s]	[s]
250	0,354	0,356
500	0,277	0,284
1000	0,303	0,280
2000	0,240	0,300
4000	0,250	1,119
8000	0,189	2,054

<sup>1</sup> Dle doporučení a informací od cvičícího odečítáme pro danou charakteristiku hodnoty změřené pomocí PC až od 250 Hz, kde již má aparatura měřit spolehlivě a správně.

Zatažené závěsy		
f	RT-20dB	RT-30dB
[Hz]	[s]	[s]
250	0,328	0,342
500	0,259	0,242
1000	0,245	0,245
2000	0,218	0,237
4000	0,213	0,239
8000	0,162	0,179

Výše uvedené tabulky korespondují s grafy doby dozvuku pro různé frekvence.

Spočítání pohltivosti místnosti:

Z rozměrů místnosti, které jsme si spočítali zjistíme nejen objem, ale také například plochu, již zabírají okna, kterou posléze zakryjí záclony.

objem místnosti ...  $V = 105 \text{ m}^3$

plocha místnosti ...  $S_m = 142 \text{ m}^2$

plocha oken (závěsů) ...  $S_{záv} = 10,5 \text{ m}^2$

Pro výpočet využijeme Eyringův vzorec (upravený Sabinův):

$$T = 0,164 \cdot \frac{V}{-\sum (S_i \cdot \ln(1 - \alpha_i))}$$

Pro efektivnější výpočet si ho upravíme substitucí:  $\alpha_{Ei} = -\ln(1 - \alpha_i)$

Pro výpočet si vybereme metodu, kdy budeme uvažovat, že okna nepohlí nic a záclony naopak vše.

Pro přehled uvádím významy dolních indexů:

pohltivost stěn (bez závěsů) ...  $\alpha_{Ebez}$

plocha bez závěsů ...  $S_{bez} = S_m - S_{záv} = 142 - 10,5 = 131,5$

pohltivost závěsů ...  $\alpha_{Ezáv}$

$$T_{roztaženo} = 0,283 = 0,164 \cdot \frac{V}{\alpha_{Ebez} \cdot S_{bez}}$$

$$T_{zataženo} = 0,245 = 0,164 \cdot \frac{V}{\alpha_{Ebez} \cdot S_{bez} + \alpha_{Ezáv} \cdot S_{záv}}$$

Do rovnic dosadíme:

$$0,283 = 0,164 \cdot \frac{105}{\alpha_{Ebez} \cdot 131,5} \Rightarrow \alpha_{Ebez}$$

$$0,245 = 0,164 \cdot \frac{105}{\alpha_{Ebez} \cdot S_{bez} + \alpha_{Ezáv} \cdot S_{záv}}$$

Z první rovnice vyjádříme pohltivost stěn:

$$\alpha_{Ebez} = 0,164 \cdot \frac{105}{131,5 \cdot 0,283} = 0,46272 \doteq 0,463$$

Toto pak dosadíme do druhé rovnice (rovnice pro „zatažené závěsy“):

$$0,245 = 0,164 \cdot \frac{105}{0,463 \cdot 131,5 + \alpha_{Ezáv} \cdot 10,5}$$

↓

$$\alpha_{Ezáv} = 0,89535 \doteq 0,90$$

Nyní ještě dořešíme zavedenou substituci:

$$\alpha_E = -\ln(1 - \alpha) \quad \Rightarrow \quad \alpha = 1 - e^{-\alpha_E}$$

Činitel pohltivosti bez závěsů:  $\alpha_{bez} = 1 - e^{-0,463} = 0,370607 \doteq \underline{\underline{0,37}}$

Činitel pohltivosti závěsů:  $\alpha_{záv} = 1 - e^{-0,90} = 0,59343 \doteq \underline{\underline{0,59}}$

## 4. ZÁVĚR

Pro roztažené závěsy je doba dozvuku větší než při zatažených závěsech (při roztažených je doba dozvuku 0,283s oproti zataženým, kdy je 0,245s).

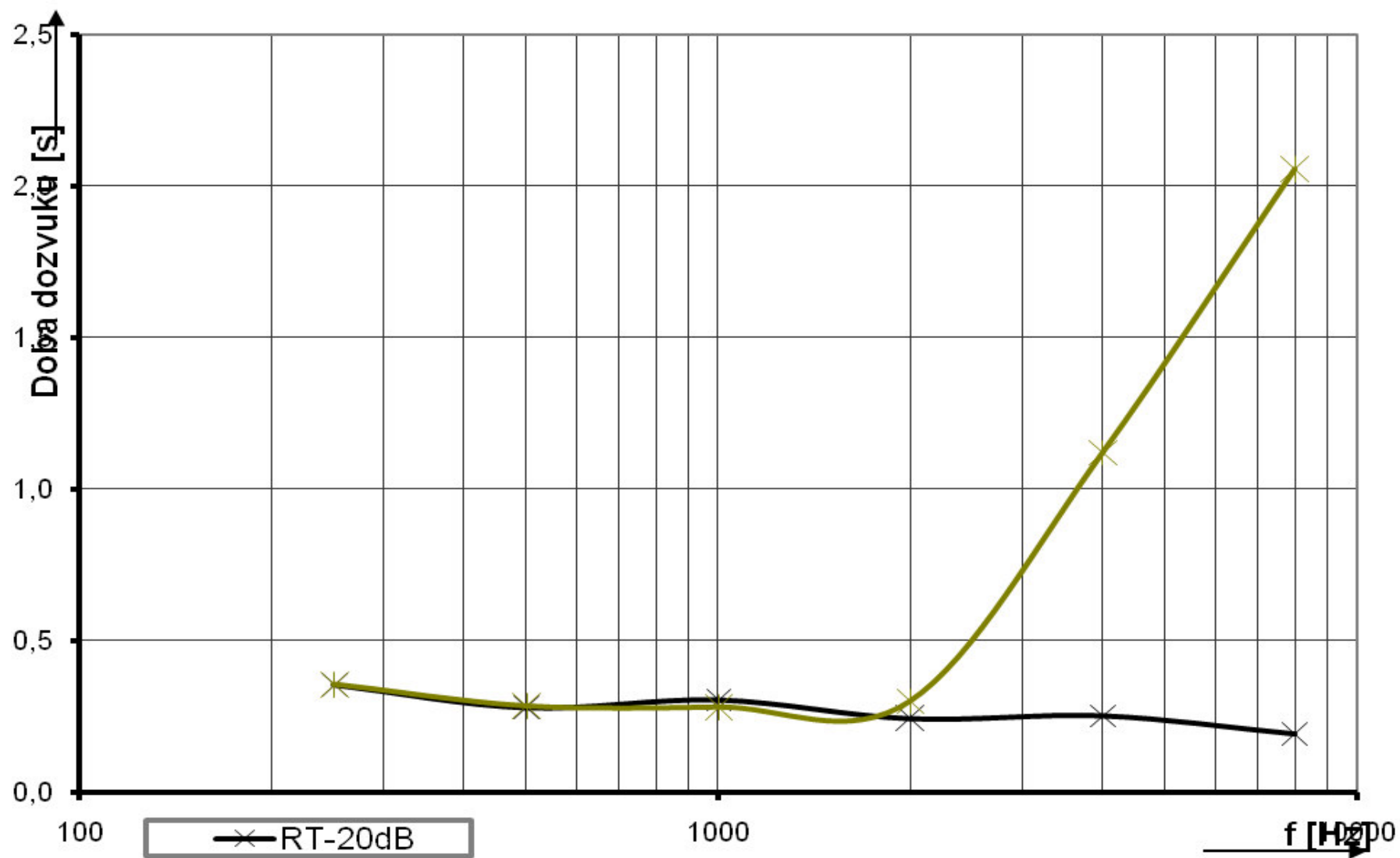
Při počítačovém zobrazení ve „3D grafu“ (za jak dlouho „spadne“ energie) se objevilo nějaké blíže nespecifikované rušení v okolí 1 kHz, které by tam nemělo být (alespoň dle úvah cvičícího znalého dané místnosti). Subjektivně jsem měl ale pocit, jako by tam něco při pouštění toho „šumu“ pískalo. Je tedy možné, že se mohlo jednat např. o rezonanci nějakého prvku v místnosti, či jiné rušení.

Při zatažených závěsech energie „spadla“ dříve, rušení se již neobjevilo. Zhodnotíme-li to z hlediska závislosti doby dozvuku na frekvenci, tak při zatažených závěsech nastalo nejmarkantnější zrychlení pohlcení na frekvencích od 2 kHz výše (na hladině -30 dB). U frekvencí hlubokých (do 400 Hz) naopak nedošlo prakticky k žádné změně.

Ovlivnění výsledků s ohledem na jejich přesnost (například při určování činitele pohltivosti může být způsobeno například tím, že místnost aproximujeme jako kvádr. Díky „schodovému“ stropu a různým „zákoutím“ je ale určení objemu trochu nepřesné. Podobná nepřesnost mohla vzniknout s plochou závěsů.

Výpočtem se nám podařilo zjistit činitel pohltivosti stěn bez závěsů a činitel pohltivosti závěsů (jak je vidět výše). Dle očekávání pohlcují závěsy více než stěny. Aby toto platilo je samozřejmě třeba, aby byly dostatečně silné (těžké), což v místnosti bylo splněno.

## Naměřené průběhy doby dozvuku - roztažené závěsy



## Naměřené průběhy doby dozvuku - zatažené závěsy

