

# KET/CHH

## 11. přednáška

Ing. Martin Sýkora, Ph.D

## Opakování z minulé přednášky...

### ***Lidský sluch***

- *Princip a funkce sluchu, vnímání zvuku*
- *Vlastnosti sluchu*
- *Nebezpečí pro sluch*

### ***Vliv hluku na člověka***

- *Negativní důsledky hluku na člověka*
- *Měření a hodnocení hluku*
- *Legislativa v oblasti měření hluku*

### ***Snižování hluku a jeho vlivů na člověka***

# Stavební a prostorová akustika

## **Stavební akustika**

- Řeší šíření zvuku a hluku ve stavbách
- Řeší zvukovou izolaci mezi jednotlivými místnostmi atd.

## **Prostorová akustika**

- Řeší optimální akustickou kvalitu místnosti
- Co je optimální akustická kvalita závisí na určení prostoru
- Rozdílné požadavky v různých prostorech (učebny, koncertní sály, atd.)
- Prostorová akustika dává do souvislosti subjektivní hodnocení místnosti s objektivně měřitelnými veličinami

## Prostorová akustika

***Prostorová akustika vychází z řešení akustického pole pomocí různých přístupů***

### ***Geometrická akustika***

- *Předpokládá, že zvuk se šíří jako paprsek (bez ohybu)*

### ***Vlnová akustika***

- *Mnoho různých tvarů – řešení vlnové rovnice*

### ***Statistická akustika***

- *Prakticky nekonečné množství zdrojů, resp. odrazů*
- *Statistické řešení*

***O chování zvukových vln (odraz vs. ohyb) rozhoduje velikost vlnové délky ve vztahu k rozměrům překážek***

# Geometrická akustika

## **Předpoklady**

- „Zvukový paprsek“ – analogicky s optikou
- Vlnová délka mnohem menší než rozměry prostoru

## **Řešení akustického pole**

- Paprsek se odráží od pevné překážky – úhel dopadu = úhel odrazu
- Neuvažují se interference a fáze – sčítají se pouze amplitudy

## **Metoda zrcadlení zdrojů**

- Vhodné řešení pro „nekonečnou“ desku
- Zdroj zvuku A působí tak, jako by byl za stěnou byl identický zdroj A' ve stejné vzdálenosti od stěny

## Metoda zrcadlení

### Omezení

- Deska není nekonečná – omezený vyzařovací úhel hypotetického zdroje A´
- Plocha není dokonale rovinná
- Plocha není ideálně odrazivá – útlum odraženého paprsku

$$\alpha = \frac{W_{\text{pohl.}}}{W_{\text{celk.}}} = \frac{W_{\text{celk.}} - W_{\text{odraž.}}}{W_{\text{celk.}}} = 1 - \beta$$

- Činitel odrazu -  $\beta$ , činitel pohltivosti -  $\alpha$
- Hypotetický zdroj A´ je  $\beta$  krát slabší

### Odrazy vyšších řádů

- Existuje-li více odrazivých stěn v jednom prostoru – více odrazů a více hypotetických zdrojů
- Počet odrazů – řád odrazu
- Odraz v rohu – odraz 3. řádu



## Metoda zrcadlení

### **Typický příklad**

- Reprodukční v rohu (vyzařující všesměrově)
- Odraz od 3 stěn – teoreticky tři hypotetické zdroje
- Hypotetický nárůst akustického tlaku až o 9 dB

### **Lze provést matematický model, postupně počítání pro**

- Odrazy od všech stěn
- Vícenásobné odrazy
- Síť bodů v prostoru
- Tzv. „Ray-tracing“

### **Pro vzdálenost menší než vlnová délka**

- Neplatí rovnost úhlu dopadu a úhlu odrazu
- Vzniká ohyb a rozptyl paprsků – tzv. difúzní odraz

## Vlnová akustika

### **Řešení vlnové rovnice vč. okrajových podmínek**

- Okrajové podmínky stěn charakterizují prostor
- Obtížné nalézt okrajové podmínky pro složitější prostory
- Numerické řešení – např. pomocí metody konečných prvků

### **Akustické pole uzavřené místnosti**

- Soubor vlastních kmitů místnosti
- Řešení vlnové rovnice pro kvádr

$$f_N = \frac{c_0}{2} \sqrt{\left(\frac{n_x}{l_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{l_y}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{l_z}\right)^2}$$

- $l_{x,y,z}$ - rozměry místnosti,  $n_{x,y,z}$ - celá čísla



## Akustické pole uzavřené místnosti

### ***Vlastní frekvence místnosti***

- *Počet vlastních kmitů se postupně zhušťuje*
- *Vyrovnané zvukové pole – nad tzv. kritickou frekvencí místnosti*

$$f_k = 2000 \sqrt{\frac{T}{V}}$$

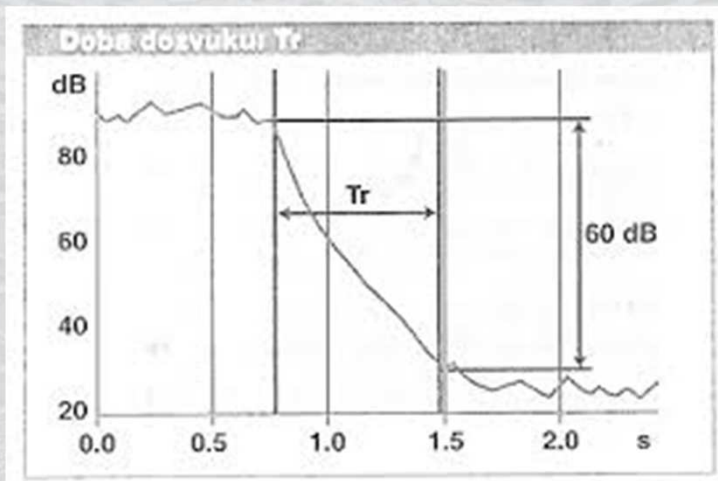
- *T – průměrná doba dozvuku, V - objem místnosti*

## Statistická akustika

### ***Řešení pole uzavřených prostorů pomocí statistické teorie***

- *Hodnoty energetických veličin*
- *Základy položil Sabine počátkem 20. stol*
- *Doba dozvuku - pokles akustické energie (na  $10^{-6}$ )*
- *Charakterizuje energetickou bilanci místnosti*
- *Záleží na celkovém množství energie a pohltivosti místnosti*

## Doba dozvuku



# Statistická akustika

## ***Předpoklady statistické akustiky***

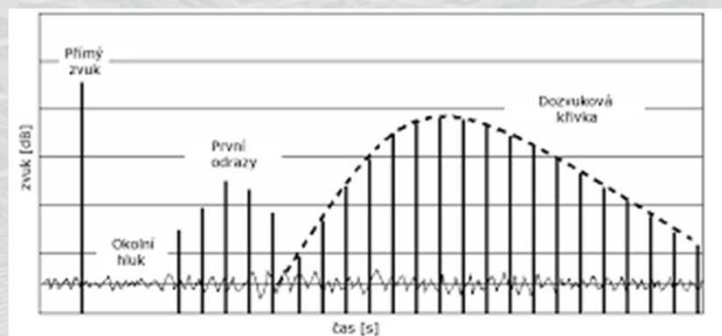
- *Hustota energie je v celém prostoru rovnoměrná a stejná*
- *V každém elementu prostoru je celková energie dána součtem středních hodnot všech energií, které do daného bodu dospěly*
- *Všechny úhly dopadu zvukové vlny jsou stejně pravděpodobné*
- *Charakterizuje energetickou bilanci místnosti*
- *Záleží na celkovém množství energie a pohltivosti místnosti*
- *Energetická bilance prostoru – zákon o zachování energie*

## Doba dozvuku dle Sabina

### *Empirický vztah*

$$T_s = \frac{0,164 \cdot V}{\alpha \cdot S}$$

- $V$  - objem místnosti,  $S$  – plocha místnosti,  $\alpha$  - pohltivost plochy



## Úpravy prostorů z hlediska prostorové ak.

### ***Optimalizace doby dozvuku***

- *Úprava pohltivosti na určité ploše*

### ***Optimalizace hladiny zvuku***

- *Úprava celkové hladiny*

### ***Akustická izolace sousedních prostorů***

- *Úzce souvisí s úpravami vnitřních prostorů*

### ***Nutnost pohlcovat zvuk***

- *Různé metody pohlcení zvuku*



## Mechanismy pohlcení zvuku

### ***Porézní látky***

- *Přeměna akustické energie na teplo*
- *Tření vzduchu v porézních materiálech*
- *Množství pohlcené energie je úměrné akustické rychlosti*
- *Tj. největší efekt umístění materiálu do místa s maximem rychlosti*
- *Odraz vlny od pevné překážky – uzel rychlosti*
- *Naopak maximum rychlosti  $\lambda/4$  od překážky*

## Mechanismy pohlcení zvuku

### **Rezonanční princip**

- *Kmitající desky*
- *Kmitající membrány*
- *Helmholtzovy rezonátory*

### **Princip úpravy $T_s$**

- *Nahrazení části plochy místnosti materiálem s jinou pohltivostí*

$$T' = \frac{0,164 \cdot V}{\alpha(S - S') + \alpha' \cdot S'}$$

- *Doba dozvuku je dána normou a závisí na typu prostoru*
- *Frekvenční rozsah úprav doby dozvuku*
  - *100 Hz – 4 kHz oktávová pásma*
  - *125 Hz – 5 kHz třetinooktávová pásma*
  - *63 Hz – 12,5 kHz – 1/3 oct. pásma v rozšířeném rozsahu*

# Neprůzvučnost

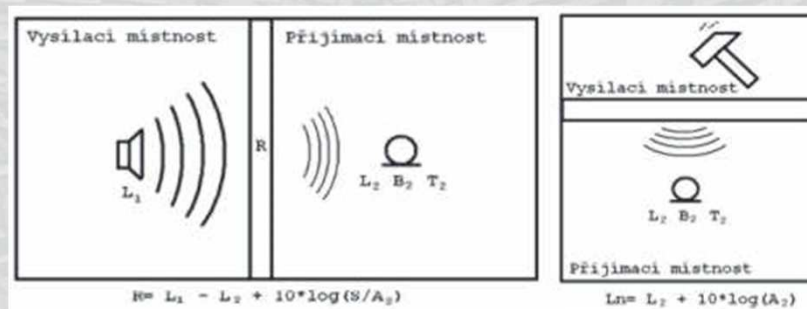
## ***Schopnost konstrukce nepropouštět zvuk***

- *Závisí na provedení dělicí konstrukce (stěny)*
- *Závisí na ploše stěny*
- *Obvykle není stěna homogenní – různá neprůzvučnost*

## ***Druhy neprůzvučnosti***

- *Vzduchová neprůzvučnost – šíření ak. Energie ze vzduchu do stěny a z ní dále do vzduchu*
- *Kročejová neprůzvučnost – šíření ak. Energie z vybuzeé konstrukce (kroky) do vzduchu*

# Neprůzvučnost



## Vzduchová neprůzvučnost

### ***Neprůzvučnost mezi dvěma prostory***

- „Vysílací“ místnost - 1, „Přijímací“ místnost - 2
- Lze měřit akustický tlak v obou prostorech
- Platí

$$L_{p1} - L_{p2} = R + 10 \log \frac{A_2}{S}$$

- $R$  – neprůzvučnost,  $L_p$  – hladiny tlaku,  $A_2$  – celková pohltivost přijímacího prostoru,  $S$  – plocha dělicí stěny
- Nezávisí pouze na rozdílu tlaků, ale i na pohltivosti přijímací místnosti
- Nutnost komplexního řešení

## Kročejová neprůzvučnost

### ***Schopnost stavební konstrukce tlumit hluk vznikající rázovým buzením***

- *Přenos kroků a podobných zvuků konstrukcí*
- *Projevují se jako hluk (akustický tlak) v přijímací místnosti*
- *Měření SPL v přijímací místnosti*
- *Buzení normalizovaným zdrojem kročejového hluku*



## Kročejová neprůzvučnost



KET/CHH 11.přednáška



**Děkuji za pozornost**