

## Nové trendy v problematice měření hluku a vibrací

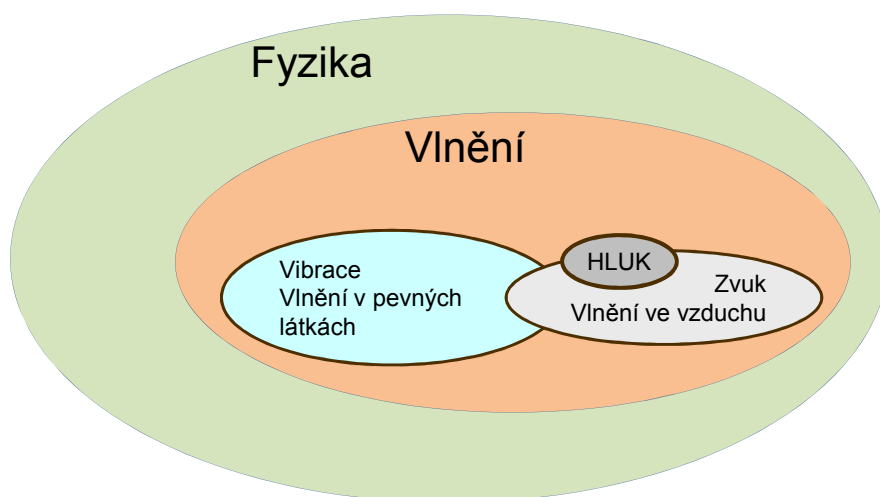
Ing. Jan Novák, Ph.D.

2. dubna 2010

Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



### Co je zvuk





## Zvuk a hluk

### Zvuk

- Zvuk je vjem sluchového orgánu, jehož objektivní příčinou je zvukové (akustické) vlnění.
- Zvuk je mechanické vlnění pružného prostředí v kmitočtovém rozsahu normálního lidského sluchu.

### Hluk

- Hluk je každý nežádoucí zvuk, který vyvolává nepříjemný nebo rušivý vjem nebo poškozuje lidské zdraví.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Hluk

### Kvalitativní stránka

- Řeší vztah **Hluk – Posluchač**.
- Vyznačuje se silně subjektivními znaky.
- Bývá popsána kvalitativními ukazateli (vlastnostmi).
- Číselný popis často vyjadřuje bezrozměrnou (bez jednotky) míru naplnění určité vlastnosti.
- Zabývá se jí směr nazývaný „akustický design“.

### Kvantitativní stránka

- Popisuje především vlastnosti zdrojů, akustických prostředí a cest šíření zvuku.
- Je vyjádřena měřitelnými veličinami a lze ji popsat číselnými hodnotami.
- Na mnohé veličiny jsou dány limity.
- Má zázemí v legislativě.
- Má široké odborné a literární zázemí.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Akustika

**Akustika** - je rozsáhlý vědní obor, zabývající se komplexně zvukem od jeho vzniku, přenosu prostorem až po vnímání lidskými smysly.

- **hudební akustika**
- **stavební akustika**
- **prostorová akustika**
- **fyziologická akustika**
- **psychoakustika**

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Akustika

využívá a řeší:

- rychlost šíření akustických vln
- energie přenášená vlněním
- intenzita vlnění
- zvuková pole
- odraz a lom vlnění
- interference vlnění
- ohyb vlnění
- ....

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Akustický tlak $p$ [Pa]

- Střídavý tlak superponovaný barometrickému tlaku
  - je skalár,
  - má vlnový charakter,
  - **je přímo měřitelný.**
- Barometrický tlak se pohybuje kolem  $10^5$  Pa
- Akustický tlak se pohybuje v rozmezí  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa (práh slyšitelnosti) až  $2 \cdot 10^2$  Pa (práh bolestivosti).

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Akustická rychlost $[m \cdot s^{-1}] \vec{u}$

- Akustická rychlost (částicová rychlost) je rychlost, se kterou se částice vzduchu pohybují pod působením akustického tlaku kolem své rovnovážné polohy.
  - je **vektor**,
  - má vlnový charakter,
  - Je energetickou veličinou,
  - **je nepřímo měřitelná.**
- Akustická rychlost se pohybuje v rozmezí  $5 \cdot 10^{-8}$   $m \cdot s^{-1}$  (práh slyšitelnosti) až  $1,6 \cdot 10^{-1}$   $m \cdot s^{-1}$  (práh bolestivosti).

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Intenzita zvuku [W.m<sup>-2</sup>] $\vec{I}$

- Intenzita zvuku je měřítkem akustické energie procházející jednotkou plochy.
  - je **vektor**,
  - má vlnový charakter,
  - je energetickou veličinou,
  - je **nepřímo měřitelná**.
- Je dána vzorcem :

$$\text{Intenzita} = \frac{\text{Výkon}}{\text{Plocha}} = \frac{\text{Síla} \cdot \text{Rychlost}}{\text{Plocha}} = \text{Tlak} \cdot \text{Rychlost}$$

$$\vec{I} = p \cdot \vec{u}$$

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Akustický výkon W (P) [W]

- Akustický výkon je měřítkem celkové akustické energie, která je vyzářena ze zdroje nebo která prochází danou plochou.
  - je skalár,
  - má vlnový charakter,
  - je energetickou veličinou,
  - je **nepřímo měřitelný**.
  - je **základní a nejdůležitější veličinou popisující akustické vlastnosti zdroje zvuku**
- Je dán vzorcem :  $W = I \cdot S$

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Efektivní hodnota signálu

- Efektivní hodnota je měřítkem energie šířené akustickým signálem
  - je součástí výpočtu celkových hladin,
  - T = doba průměrování
  - **pro harmonický signál ji lze z amplitudy A stanovit jako :**

$$x_{ef} = \frac{1}{\sqrt{2}} A$$

- je dána základním vztahem :  $x_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}$

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Hladiny akustických veličin

- Plynou z **Weberova-Fechnerova** zákona, který zjednodušeně říká:
  - akustické veličiny, které se mění řadou geometrickou vnímá lidské ucho řadou aritmetickou.
  - násobky akustického signálu jsou uchem vnímány jako přírůstky.
- Převod geometrické řady na aritmetickou umožňuje funkce **logaritmus**

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Hladina

$$L = \log \frac{x}{x_0} \quad [B]$$

- L= hladina akustické veličiny [ Bel ]
- x = akustická veličina
- $x_0$  = vztažná (srovnávací) hodnota akustické veličiny
- x a  $x_0$  musí mít energetický tvar

$$L = 10 \log \frac{x}{x_0} \quad [dB]$$

- protože Bel by dával akustické veličině velmi hrubou stupnici, je jednotkou hladiny deci Bel - dB

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Hladina akustického tlaku [ dB ]

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \log \frac{p}{p_0}$$

- $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Pa
- Na prahu slyšitelnosti je  $L_p = 0$  dB
- Na prahu bolestivosti je  $L_p = 140$  dB

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Součet a rozdíl hladin - početně

- Základní vzorec zní :

$$L_C = 10 \log \sum_{i=1}^n \pm 10^{\frac{L_i}{10}}$$

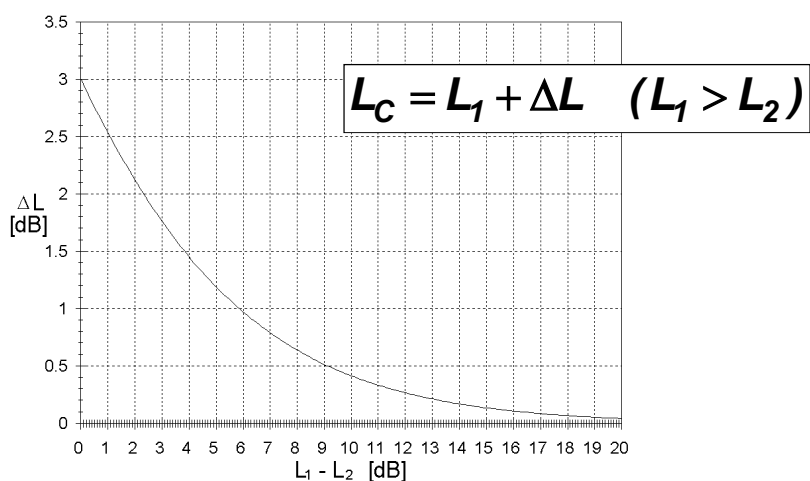
Pro součet

Pro rozdíl

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Součet hladin - graficky



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ







## Zvukoměr - Měřidlo hladin akustického tlaku

Zvukoměr je přesné elektrické zařízení, reagující na zvuk podobně jako lidský sluch a umožňující objektivní a reprodukovatelné měření hladin hluku.

Zvukoměrná zařízení různých výrobců se vzájemně mohou lišit v detailech konstrukce a v provedení, avšak všechna bez rozdílu obsahují mikrofon, ústrojí zpracování signálu a indikační zařízení

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Zvukoměr

Rozdělení podle :

- frekvenční analýzy
- počtu měřících kanálů
- typu konstrukce
- formy výstupu
- možnosti rozšíření
- podpory v software

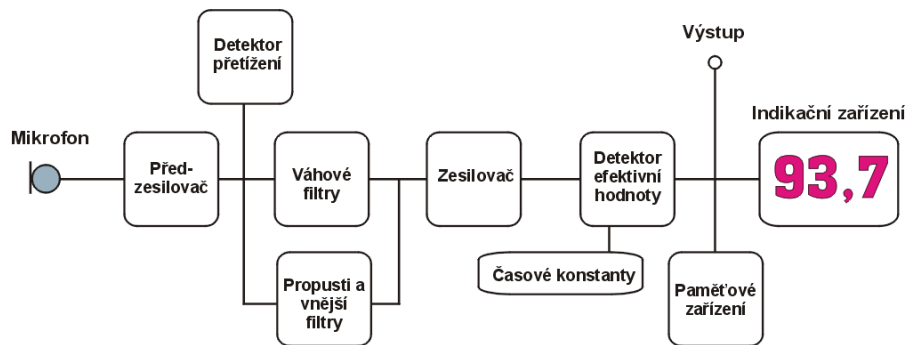


INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Zvukoměr



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Mikrofon

- nejdůležitější část měřicího řetězce
- převodník změny akustického tlaku na změnu jiné veličiny

kondenzátorové mikrofony :

- konstrukční jednoduchost
- vysoká citlivost
- provozní stálost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Mikrofon

Charakteristika mikrofonu :

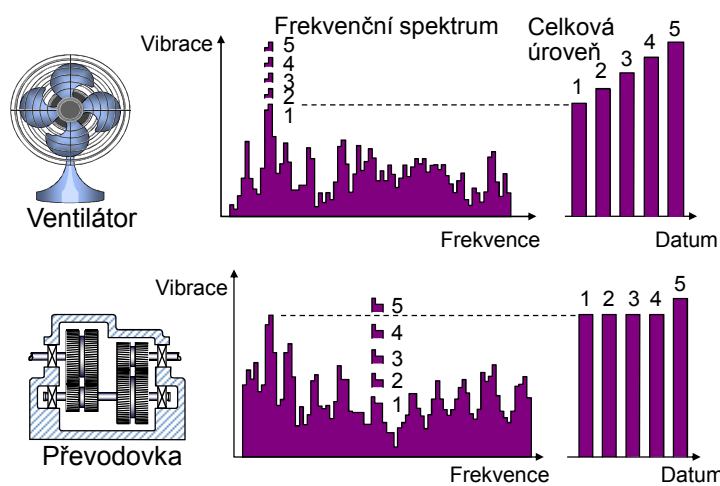
- průměr mikrofonu
- frekvenční rozsah ( Hz )
- citlivost (  $mV/Pa$  )
- typ vhodného zvukového pole
- polarizační napětí



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Frekvenční analýzy



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Frekvenční analýzy

- s konstantní absolutní šířkou pásma FFT

$$f_C = \frac{(f_S + f_H)}{2}$$

- s konstantní relativní šířkou pásma CPB

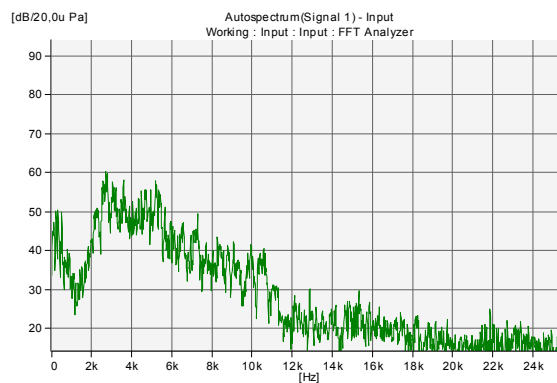
$$f_C = \sqrt{f_S + f_H}$$

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Frekvenční analýzy

- s konstantní absolutní šířkou pásma FFT



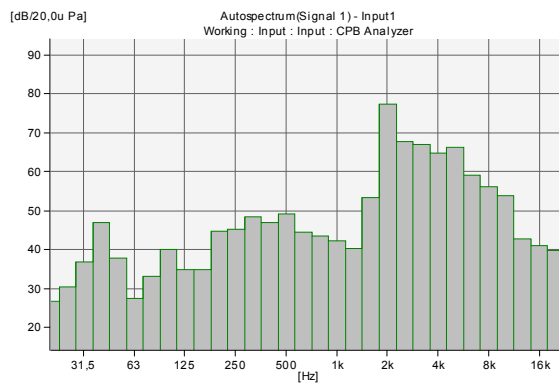
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Frekvenční analýzy

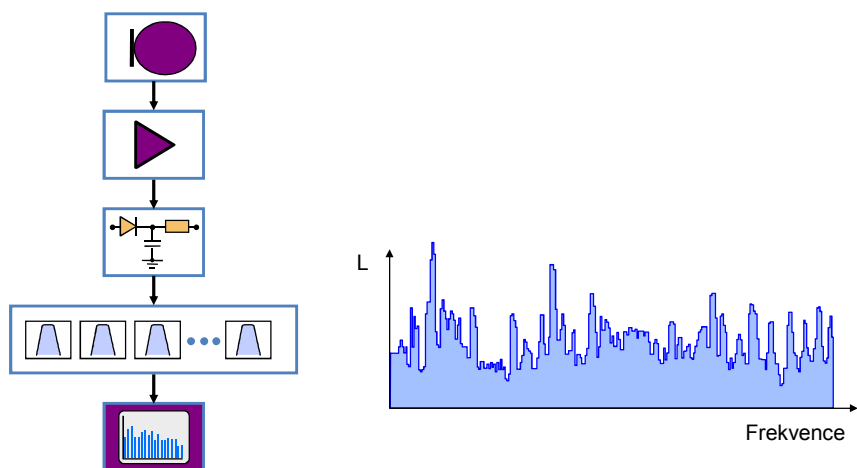
- s konstantní relativní šířkou pásma CPB



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

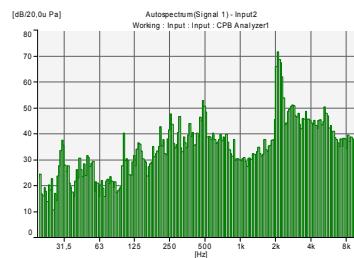
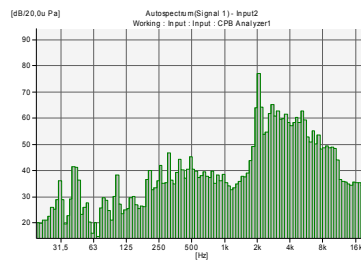
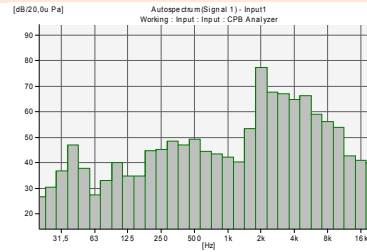
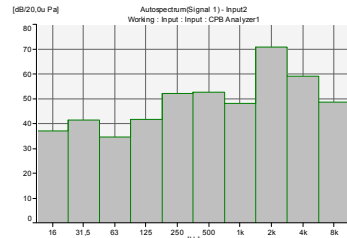


## Frekvenční analýza



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Aliasing ve vzorkovaném signálu

Mezi maximální posuzovanou frekvencí ve spektru, získaného ze vzorkovaného signálu, a frekvencí samotného vzorkování je určitý vztah.

Vzorkovací frekvence  $f_s$  musí být minimálně dvojnásobná, než maximální posuzovaná frekvence  $f$ , resp. maximální posuzovaná frekvence musí být menší než  $f_s/2$  (Nyquistova frekvence).

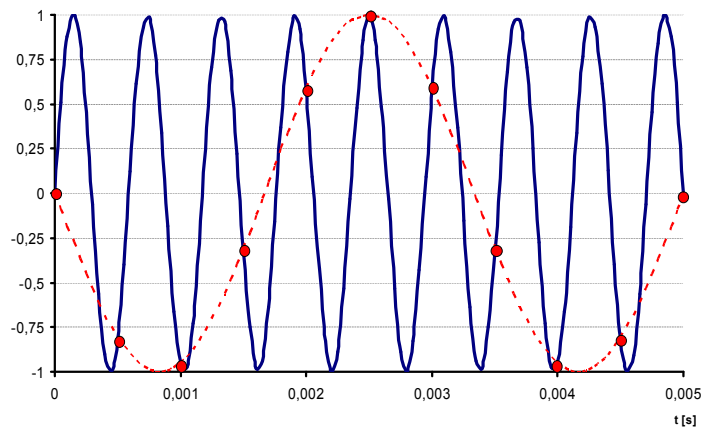
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Chyba vzorkování vlivem aliasingu

$f = 1,7 \text{ kHz}$ ,  $f_s = 2 \text{ kHz}$ ,  $f' = 300 \text{ Hz}$



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Zdánlivé a skutečné složky spektra

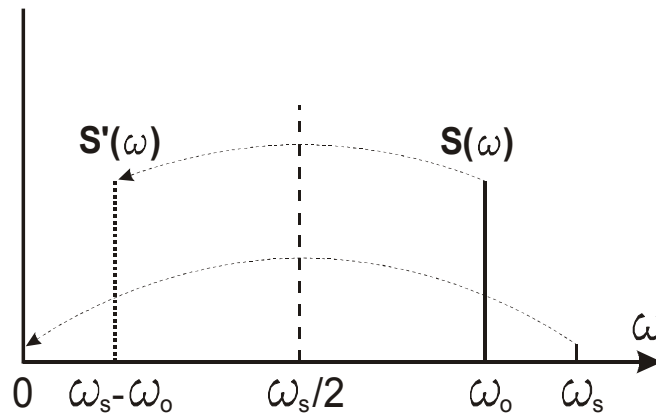
Poloha zdánlivé složky ve spektru je frekvenčně symetrická kolem Nyquistovy frekvence. Jestliže  $f_0 = f_s$ , tj. skutečný harmonický signál má frekvenci shodnou s frekvencí vzorkování, pak frekvence zdánlivého signálu bude 0.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Skutečná a zdánlivá složka spektra



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Antialiasingový filtr

Aliasing je zdrojem častých chyb měření, resp. chybné interpretace výsledků, v případě, když není před A/D převodník vložen antialiasingový filtr a signál obsahuje složky s frekvencí, které jsou větší než vzorkovací frekvence.

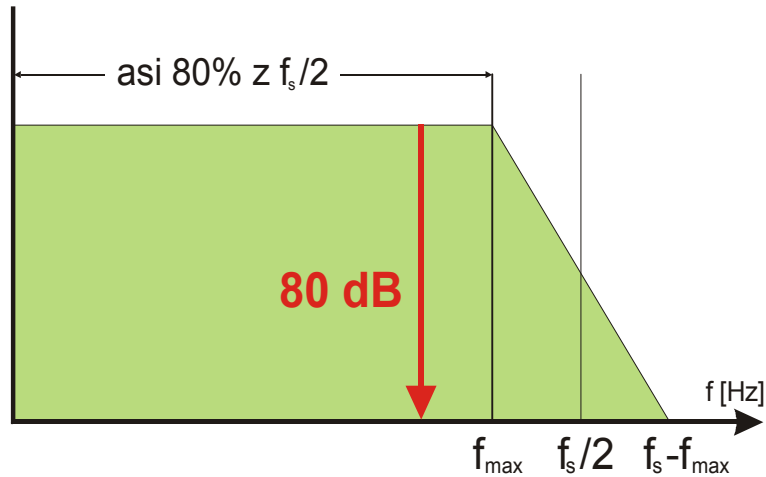
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ







## Antialiasingový filtr



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Aliasing ve vzorkovaném signálu

Pro délku záznamu  $N$  je u reálných signálů počet teoreticky různých složek Fourierova spektra  $N/2$ . Jestliže je použit antialiasingový filtr, pak mezi frekvencí vzorkování a maximální frekvencí spektra  $f_{\max}$  platí:

$$f_{\max} = \frac{f_s}{2,56}$$

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

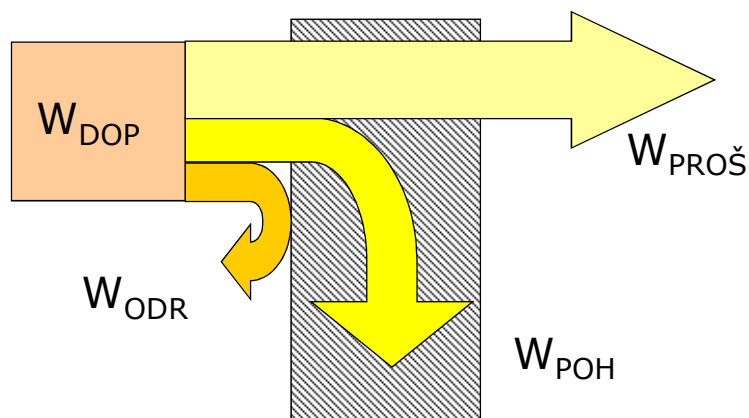


# Akustické vlastnosti izolačních materiálů

Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



## Základní dělení akustické energie v izolačním materiálu





## Akustická pohltivost

*Akustická pohltivost – schopnost materiálu pohltit část dopadajícího akustického výkonu. Akustická pohltivost se mění s frekvencí, značíme ji  $\alpha$  nabývá hodnot od 0 .. 1.*

*V praxi se můžeme setkat i s akustickou pohltivostí větší než 1, to bývá zpravidla zapříčiněno zvětšenou plochou vzorku různým tvarováním.*

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Akustická pohltivost

- Vlastnost konstrukce zmenšit odraženou část akustické energie,
- Je popsána činitelem zvukové pohltivosti  $\alpha$
- Je rozeznávána a pro kolmý  $\alpha$  všesměrový dopad akustické vlny

$$\alpha = \frac{W_{POH}}{W_{DOP}}$$

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Akustická odrazivost

- Vlastnost konstrukce odrazit část akustické energie,
- Je popsána činitelem zvukové odrazivosti  $\beta$

$$\beta = \frac{W_{ODR}}{W_{DOP}}$$

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Akustická průzvučnost

- Je závislá pouze na vlastnostech materiálu
- Je definována jako:

$$\tau = \frac{W_{PROŠ}}{W_{DOP}}$$

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Energetická rovnáha

$$\alpha + \beta + \tau = \mathbf{1}$$

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Rozdělení materiálů podle pohltivosti zvuku

- Materiály kmitající
- Materiály rezonanční
- Materiály porézní

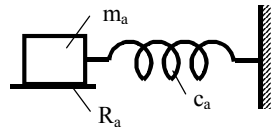
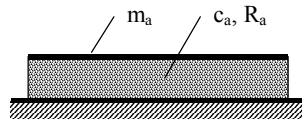
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Akustické rezonanční soustavy

membrány, desky



akustická hmotnost  $m_a$  ...

(indukčnost)

akustická poddajnost  $c_a$  ...

(kapacita)

akustický odpor  $R_a$  ...

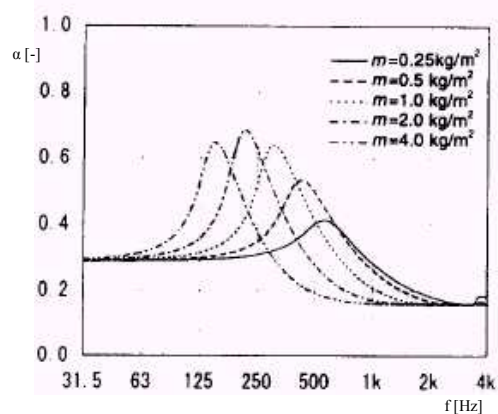
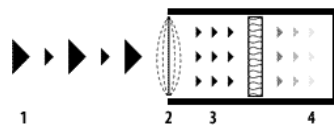
(elektrický odpor)

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Akustická rezonanční soustava

membrány, desky



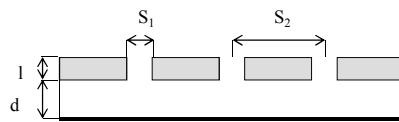
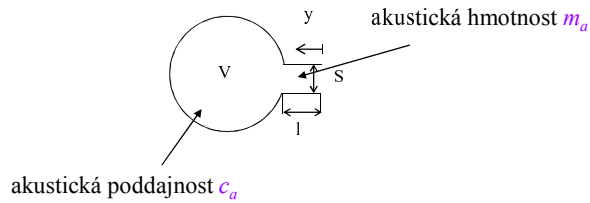
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Děrované panely

*Helmholtzův rezonátor*



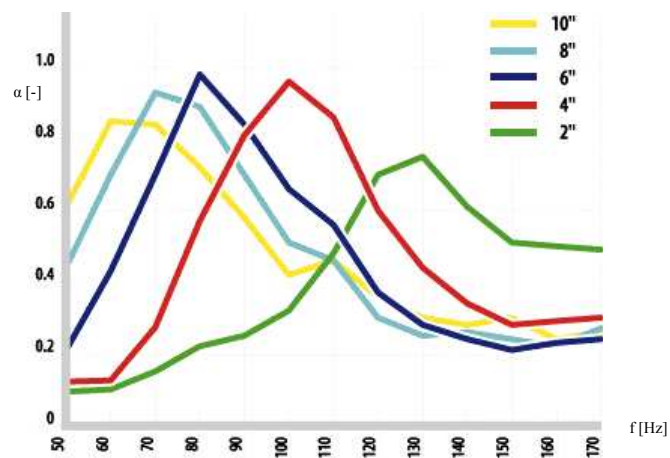
$$f_r = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S_1}{S_2 l d}}$$

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Děrované panely

*Helmholtz) v rezonátor*

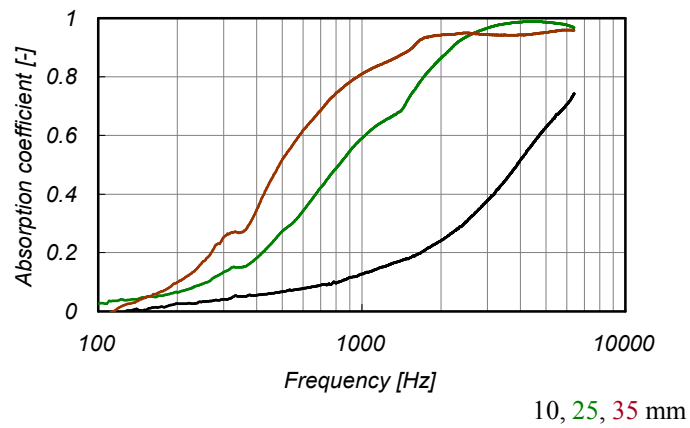


INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Činitel zvukové pohltivosti s ohledem na tloušťku vláknenného materiálu



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Měření pohltivosti

- V impedanční trubici
- V difúzním poli
- Pomocí intenzity zvuku
- Pomocí odrazu akustické vlny

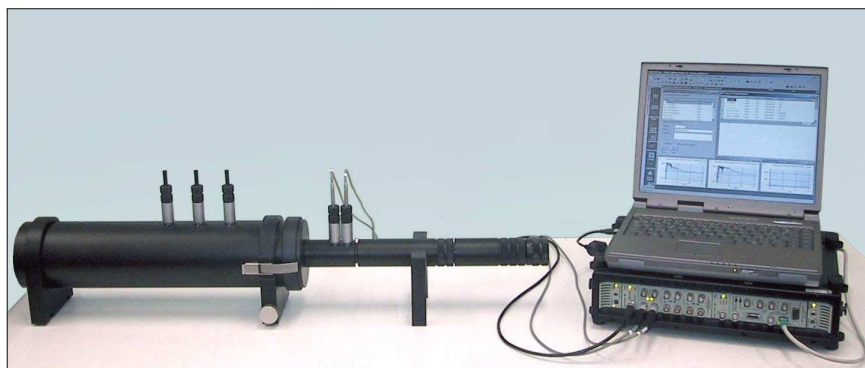
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ







## Měření v impedanční trubici



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Měření pohltivosti v difúzním poli



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Kalibrace zvukoměru

Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



## Kalibrace zvukoměru

- **KALIBRACE** = soubor úkonů, kterými se stanoví za specifikovaných podmínek vztah mezi hodnotami veličin, které jsou indikovány měřicím přístrojem nebo měřicím systémem nebo hodnotami reprezentovanými ztělesněnou mírou nebo referenčním materiálem a odpovídajícími hodnotami, které jsou realizovány etalony.
- **KALIBRACE** je metrologický úkon :
  - který probíhá podle písemně daného postupu,
  - ze kterého je vydán protokol,
  - který se provádí v kalibračních lhůtách
  - jehož důležitým výsledkem je nejistota při kalibraci

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Obsah kalibračního postupu

- určení měřicího a zkušebního zařízení
- parametry veličin
- stanovení všech etalonů a doplňkového zařízení
- požadované podmínky prostředí
- popis vlastního postupu
- kritéria a/nebo normy pro prohlášení shody
- údaje, které musí být zaznamenány a
- metoda jejich analýzy a prezentace
- analýza nejistot měření

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Nejistoty při kalibracích

- **Jeden etalon** (amplituda + frekvence) – údaje vztaženy k celému frekvenčnímu a amplitudovému rozsahu
- **Akustický kalibrátor** – 94 dB / 1 kHz
- **Pistonphon** – 124 dB / 250 Hz
- **Souprava pro kalibraci měřidla pro měření intenzity zvuku** – dva etalony + kalibrační komůrka + přesný barometr
- **Etalony musí být navázány (ČMI)** – zdroj nejistot

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Hlavní zdroje nejistot při kalibraci zvukoměru

- **Nejistota opakovaných měření**
- **Nejistota etalonu**
- **(Nejistota odečtu hodnoty)**
- **Nejistota daná variabilitou podmínek prostředí**

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



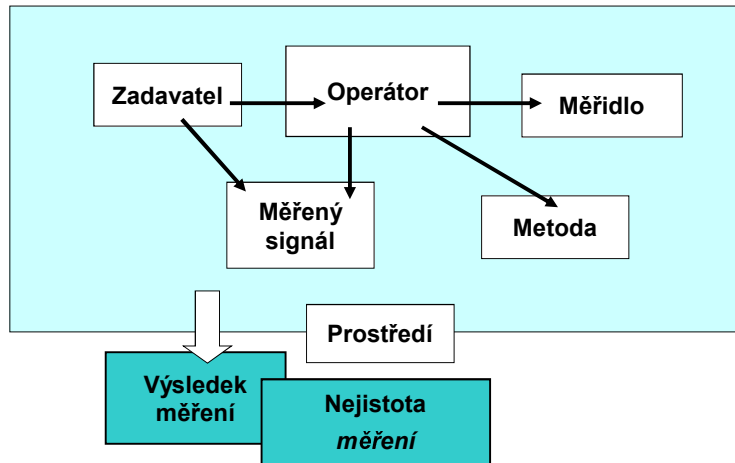
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## Určení nejistot měření

Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



## System měření



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Proč je systém měření variabilní

- Variabilní je měřený signál  $\Rightarrow$  měření usměrněných (integračních) hodnot.
- Variabilní je měřidlo.
- Variabilní jsou podmínky měření.
- Variabilní jsou etalony.
- Variabilní jsou vlastnosti operátora.
  
- **Cíl = oddělit variabilitu signálu od ostatních zdrojů.**

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Co je nejistota?

- dle ČSN 01 0115 definována jako :
- ***parametr přidružený k výsledku měření, který charakterizuje rozptyl hodnot, které mohou být důvodně prisuzovány k měřené veličině***

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Základní údaje

Nejistota v sobě obsahuje mnoho složek. Ty se dají vyšetřit dvojím způsobem :

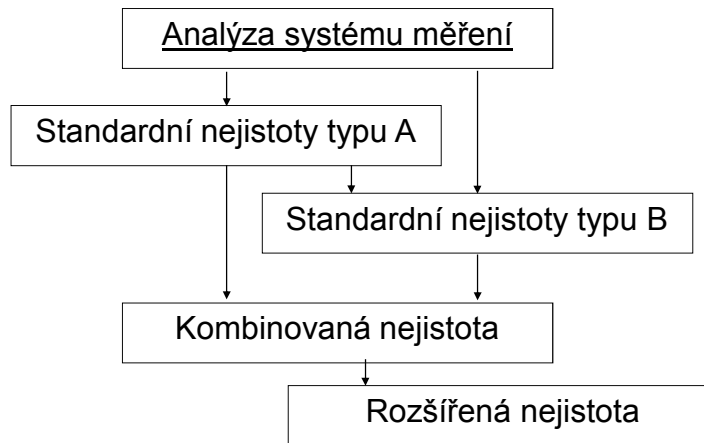
1. Ze statistického výběru naměřených hodnot statistickými metodami. Příčiny variability (zdroje nejistot) se považují za neznámé.
2. Jinak, než statistickými metodami na základě kvalifikovaného rozboru známých zdrojů variability.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Postup určení nejistot



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Analýza systému měření

- Stanovení (nalezení) zdrojů nejistot,
- Odhad variability zdrojů nejistot
- Přípravu měření
- Provedení opakovaných měření
- Stanovení korekce systematických vlivů

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Nejistota určená metodou typu A

- Nejistota získaná statistickými metodami z výběru naměřených hodnot
- Rozhodující vliv má počet opakovaných měření
- Předpokladem je Normální rozdělení

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Nejistota určená metodou typu B

- Metoda, která vychází z jiných, než statistických metod
- Váže se na známé zdroje, které lze při analýze identifikovat a kvantifikovat
- Variabilita musí být vyjádřena v jednotkách měřené veličiny
- Zdroje nejistot typu B jsou vázány především na :
  - měřicí prostředky
  - metodu měření
  - model měření
  - podmínky měření

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ







## Nejistota určená metodou typu B

- Vyhodnocení vychází z kvalifikovaného odhadu variability a pravděpodobnostního rozdělení zdroje nejistoty.
- Informace lze nalézt především v :
  - předcházejících měřeních
  - zkušenostech a znalostech o systému měření
  - údajích výrobců měřidel
  - certifikátech a kalibračních listech
  - odborné literatuře a učebnicích

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Nejistota určená metodou typu B

Základní vztah pro stanovení i-té nejistoty typu B zní :

$$U_{Bi} = \frac{z_{max}}{\chi}$$

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Nejistota určená metodou typu B

Hodnoty $\chi$	
Pravděpodobnostní rozdělení variability zdroje nejistoty typu B	$\chi$
Normální	3 (P=99,7%) 2 (P=95%)
Rovnoměrné	$\sqrt{3}$
Trojúhelníkové	$\sqrt{6}$

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Nejistota určená metodou typu B

- Pokud je zdroj variability popsán již pomocí nejistoty U, je i-tá nejistota typu B :

$$u_{Bi} = \frac{U}{k}$$

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Postup

1. Určí se zdroje nejistot
2. Určí se variabilita zdroje  $\pm z_{max}$
3. Určí se pravděpodobnostní rozdělení pro  $z_{max}$ .
4. Stanoví se vliv  $z_{max}$  na změnu měřené veličiny. Je nutné znát nebo odhadnout přepočítání mezi změnou zdroje nejistoty a měřené veličiny. Lze využít koeficientu citlivosti  $c$
5. Provede se výpočet  $u_{Bi}$

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



6. Stanoví se nejistota typu B  $u_B$  z jednotlivých zdrojů dle vztahu :

$$u_B = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{Bi}^2}$$

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Kombinovaná nejistota

Ze známých standardních nejistot A a B se stanoví kombinovaná nejistota  $u$  dle vztahu :

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

Kombinovaná nejistota má význam směrodatné odchylky

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Rozšířená nejistota

Rozšířením se nejistotě udá obvyklý pravděpodobnostní charakter

$$U = u \cdot k$$

$k = 2 \Rightarrow P = 95\%$

Zaokrouhlit nahoru na dvě platné číslice o desetinné místo lépe než je rozlišitelnost měřidla

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Zásady pro udávání nejistot

1. Výpočet nejistot je nedílnou součástí zpracování a vyhodnocování výsledků měření
2. Výsledek se sestává z odhadu naměřené hodnoty a rozšířené nejistoty ve tvaru :

$$Y = y[\text{jednotka}] \pm U[\text{jednotka}] (P = XX\%)$$

3. Číselná hodnota nejistoty se udává dle uvedených zásad pro zaokrouhlování a počet platných číslic.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Formulace výsledku

$$Y = y[\text{jednotka}] \pm U[\text{jednotka}]$$

Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření  $k=2$ , což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95 %. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA 4/02.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





Nejistoty měření a kalibrací ver. 1.1

Úvod | Systém měření a naměřené hodnoty | Výpočet nejstot | PULSE LabShop | O programu

**Výpočet**

Nejistota kalibrace  
 Nejistota měření

**Údaje o systému měření**

Měřidlo: Zvukoměr  
Výrobní číslo: 123-456  
Měřené jednotky: dB  
Rozšířenosť měřidla: 0.1 dB  
Rozšířená nejistota etalonu U (k=2): 0.2 dB  
Referenční hodnota etalonu: 93.8 dB  
Hladina významnosti: 0.05

Dostupná měřidla: Zvukoměr  
Načti měřidlo | Ulož měřidlo

**Opakovaná měření pro určení standardní nejistoty typu A**

Vymazat tabulku | Import dat z MS Excelu | Demonstrační data

1 - 10	93.8	93.8	93.8	93.9	93.9	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0
11 - 20	93.8	93.8	93.9	93.9	93.9	93.9	93.9	93.9	93.9	93.9
21 - 30	94.0	94.0	93.8	94.0	94.0	93.9	93.9	93.9	93.9	93.9
31 - 40	93.9	93.7	93.7	93.7	93.7	93.7	93.8	93.8	93.8	93.9
41 - 50	93.9	93.6	93.6	93.6	93.7	93.7	93.7	93.6	93.6	93.6

střední hodnota: 93.83 dB    směrodatná odchylka: 0.128 dB    rozptyl: 0.4 dB

Rozhodnutí o strannosti měřidla  
Strannost měřidla: 0.03 dB  
Strannost lze zanedbat

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Nejistoty měření a kalibrací ver. 1.1

Úvod | Systém měření a naměřené hodnoty | Výpočet nejstot | PULSE LabShop | O programu

Tabulka bilance nejstot měření

Vyjít tabulku | Načti tabulku | Kalibrace zvukoměru | Ulož tabulku | (lichoběžníkové rozdělení) a/b 3

Zdroj nejstoty	Z max	Rozdělení	koeficient	u <sub>i</sub>
1 Nejistota etalonu		N		0.1000
2 Standardní nejistota typu A		N	2	0.0182
3 Vliv vaneability barometrického tlaku	0.2	N	2	0.1000
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Korelace mezi zdroji nejstot

Zdroj I	Zdroj J	Koef. korelace	$\frac{\partial y}{\partial x_1}$	$\frac{\partial y}{\partial x_j}$	u <sub>ij</sub>

Výsledné hodnoty nejstot měření

Kombinovaná standardní nejistota u = 0.14258 dB  
Rozšířená nejistota U<sub>(k=2)</sub> = 0.28517 dB  
Rozšířená nejistota U<sub>(k=2)</sub> zaokrouhlená = 0.3 dB  
Formulace výsledku  Výsledky jsou násobkem rozšířenosti  
93.8 dB ± 0.3 dB (P=95%)

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



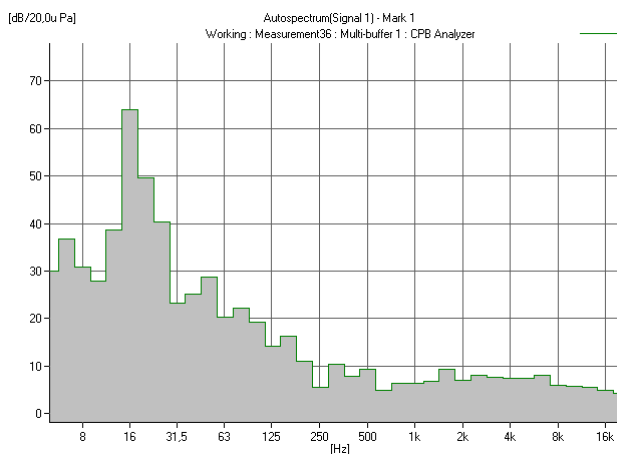
# Speciální akustická měření

Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



## 1/3 oktávé spektrum hluku

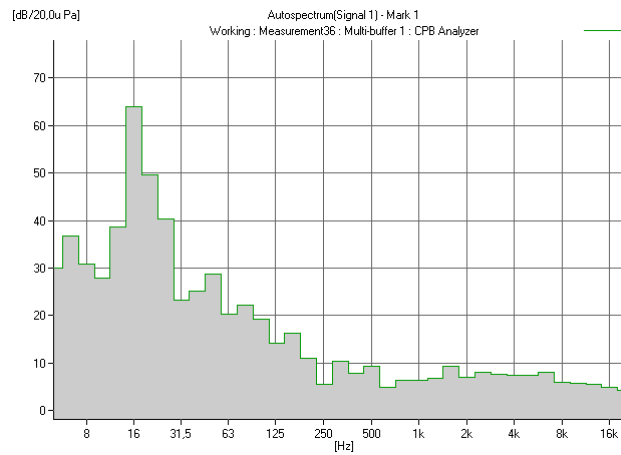
- podrobný rozbor typu zvuku
- nalezení tónových složek
- možnost identifikace zdroje





## 1/3 oktávé spektrum hluku

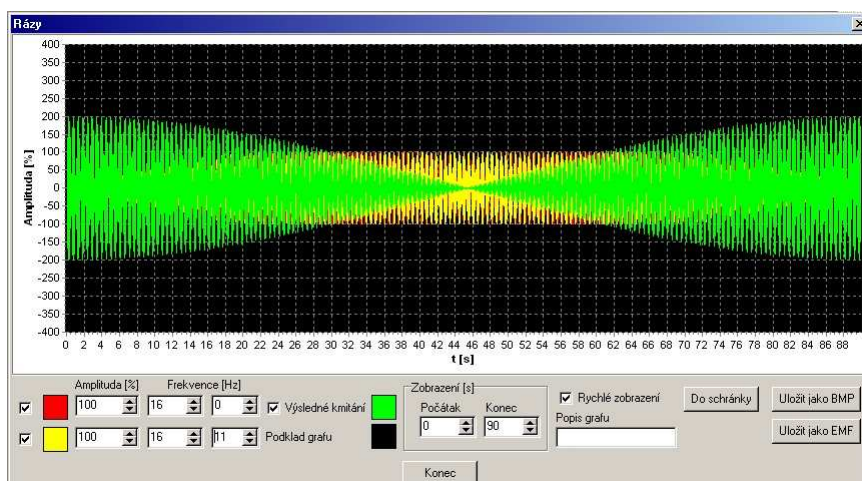
- proměnlivý charakter zvuku
- záznam spekter v čase
- sledování přechodových jevů
- identifikace zánějů



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## 1/3 oktávé spektrum hluku - záněje



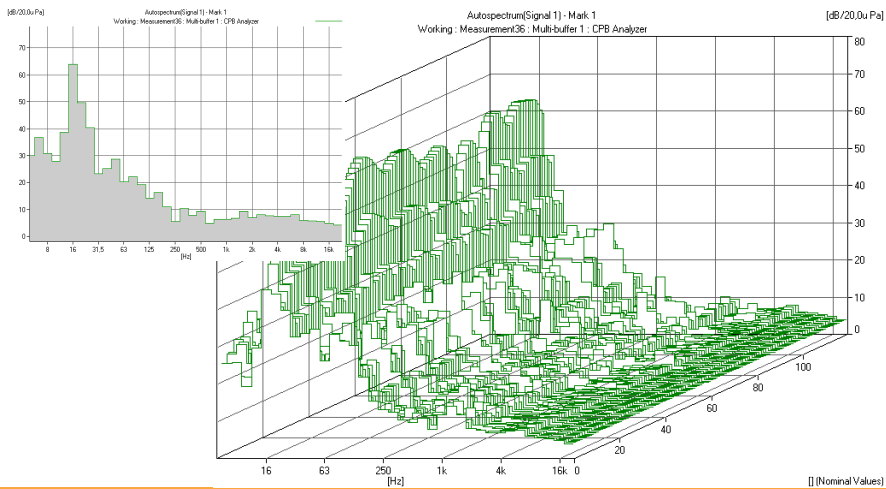
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ







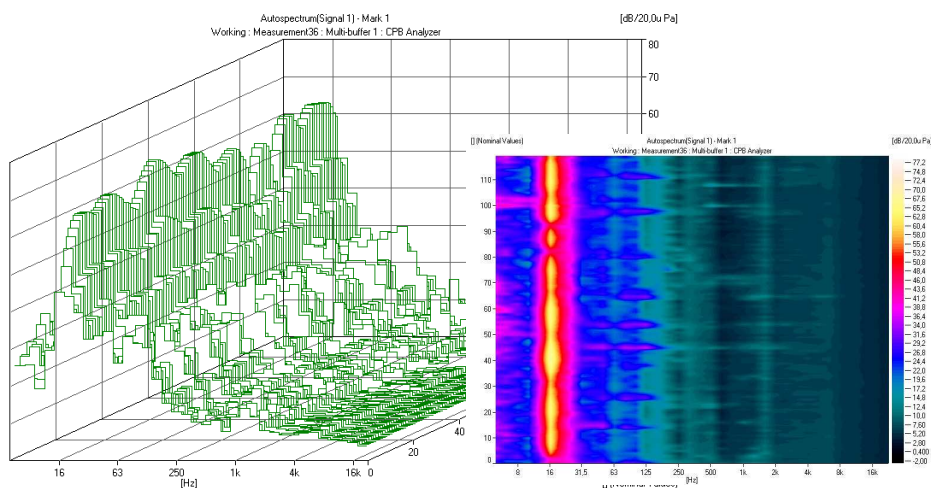
## 1/3 oktávová multispektra



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## 1/3 oktávová multispektra

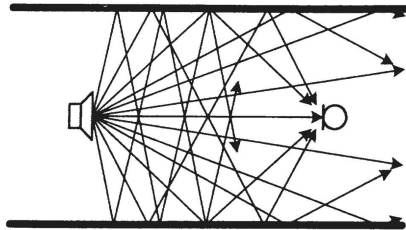


INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

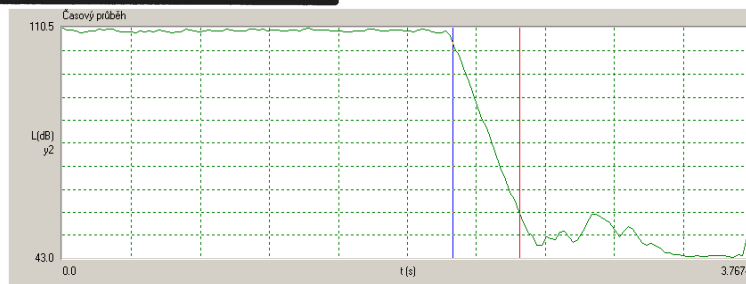




## Doba dozvuku



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

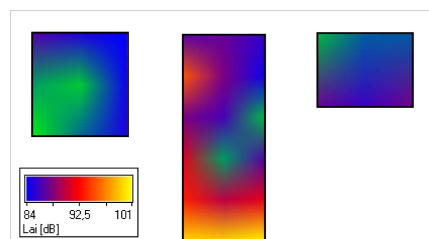


INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Identifikace zdrojů hluku

- měřením akustického tlaku
- měřením akustické intenzity

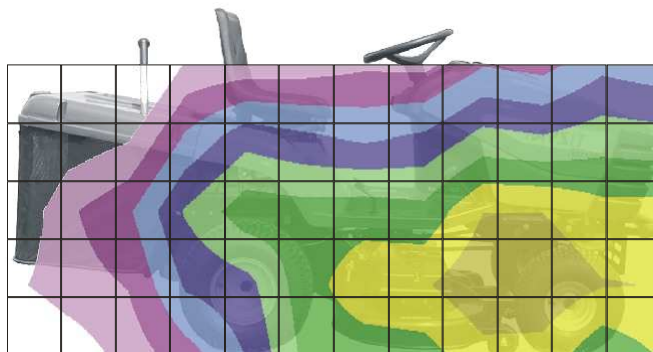


INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Identifikace zdrojů hluku

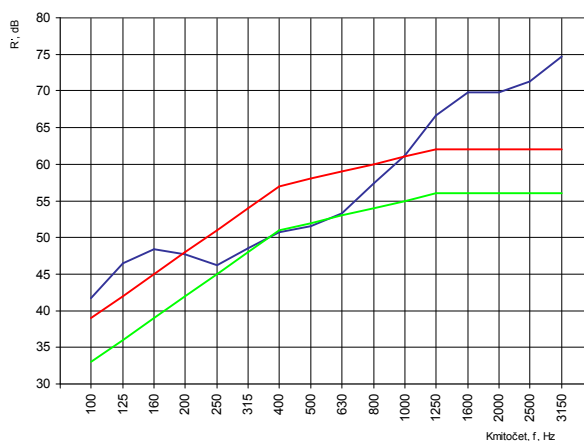


INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Měření neprůzvučnosti

- neprůzvučnost materiálů
- neprůzvučnost stavebních konstrukcí
- kročejová neprůzvučnost

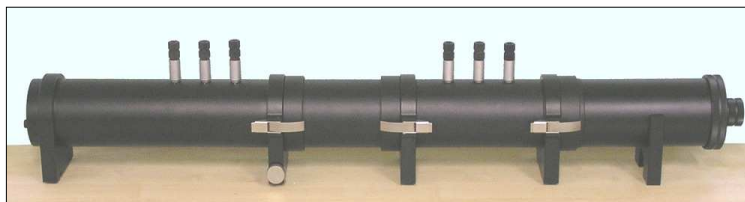


INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Přenosový útlum



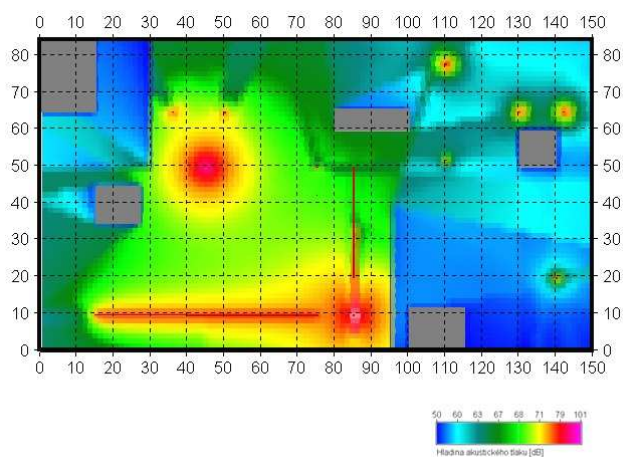
- Čtyř mikrofonová impedanční trubice Brüel & Kjær Type 4206
- PULSE 3560 C
- PC s nainstalovaným software LabShop + Material Testing 7758

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Matematické simulace

- z dat získaných od výrobce
- z experimentálně získaných hodnot
- simulace v ještě neexistující lokalitě

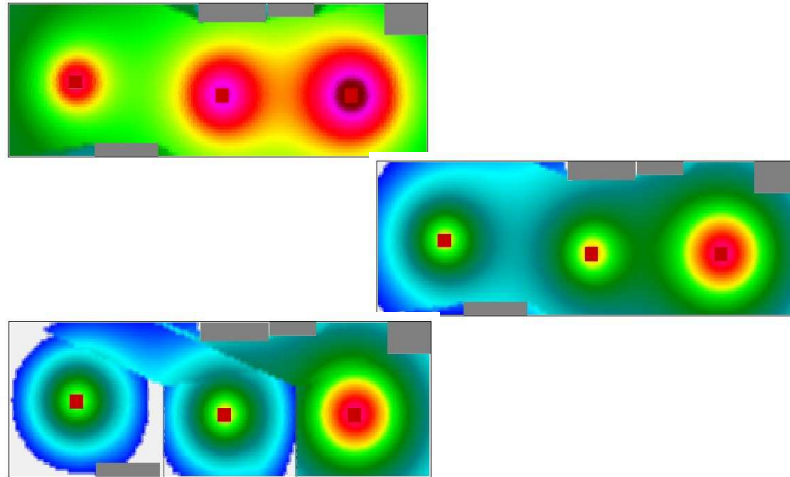


INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





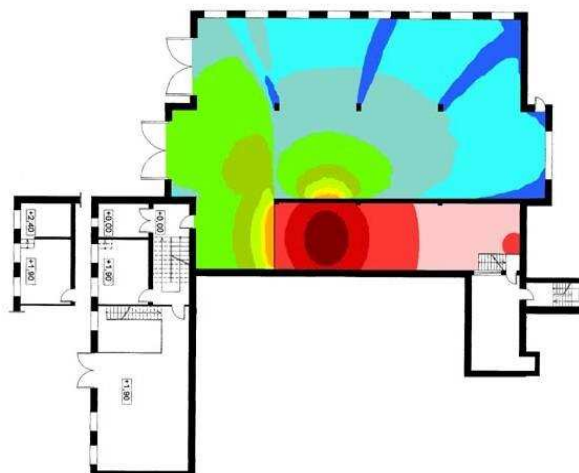
## Posuzování vhodnosti protihlukových úprav



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Stavební akustika



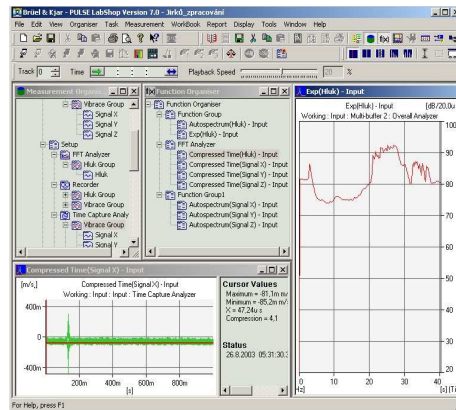
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Aplikace - automatizace

PULSE LabShop



OLE server



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Proč se používají PULSE aplikace

- Automatické provádění opakovaných měření
- Časově náročná měření
- Hodnocení v nepřímo měřitelných jednotkách
- Omezená licence programu LabShop
- Převody naměřených dat
- Pro jednoduchost obsluhy
- vyhodnocuj, zlepšuj, napravuj chyby ..... => databáze

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Automatické provádění opakovaných měření

- snadné ovládání
- rozhodnutí dle více kritérií
- velké počty měření (výstupní kontrola)
- výstup do databáze
- řízení průběhu prováděných testů
- nastavení analýz dle testovaného artiklu

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Měření akustického výkonu

Číslo zkoušky	Typ elektromotora	Výrobní číslo	Datum
100	100	100	6.5.2008
101	100	100	6.5.2008
102	100	100	6.5.2008
103	100	100	6.5.2008
104	100	100	6.5.2008
105	100	100	6.5.2008
106	100	100	6.5.2008
107	100	100	6.5.2008
108	100	100	6.5.2008
109	100	100	6.5.2008
110	100	100	6.5.2008
111	100	100	6.5.2008
112	100	100	6.5.2008
113	100	100	6.5.2008
114	100	100	6.5.2008
115	100	100	6.5.2008
116	100	100	6.5.2008
117	100	100	6.5.2008
118	100	100	6.5.2008
119	100	100	6.5.2008
120	100	100	6.5.2008

Číslo zkoušky	Typ elektromotora	Výrobní číslo	Datum
100	100	100	6.5.2008
101	100	100	6.5.2008
102	100	100	6.5.2008
103	100	100	6.5.2008
104	100	100	6.5.2008
105	100	100	6.5.2008
106	100	100	6.5.2008
107	100	100	6.5.2008
108	100	100	6.5.2008
109	100	100	6.5.2008
110	100	100	6.5.2008
111	100	100	6.5.2008
112	100	100	6.5.2008
113	100	100	6.5.2008
114	100	100	6.5.2008
115	100	100	6.5.2008
116	100	100	6.5.2008
117	100	100	6.5.2008
118	100	100	6.5.2008
119	100	100	6.5.2008
120	100	100	6.5.2008

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





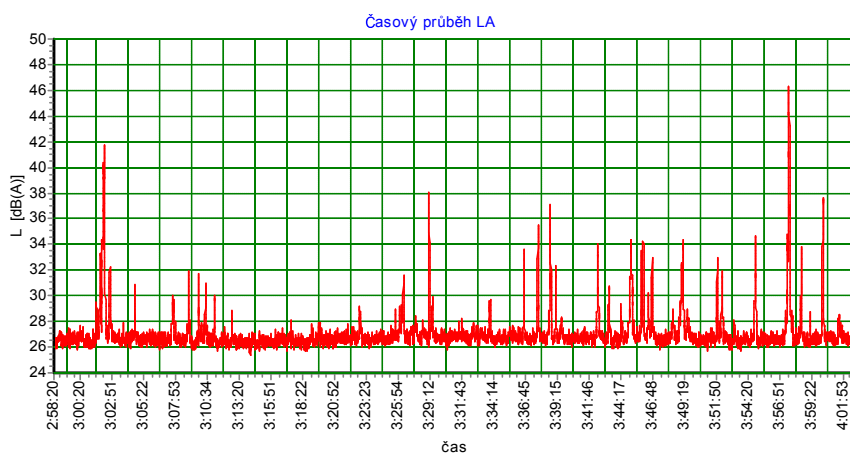
## Časově náročná měření

- snadné ovládání
- kontinuální zpracování dat
- nutnost zpracování dat bez účasti operátora
- řízení průběhu měření včetně reakcí na mimořádné události
- zasílání informací o stavu měření
- záznam velkého množství dat

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Monitorování hluku



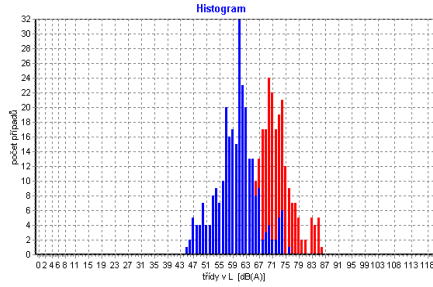
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



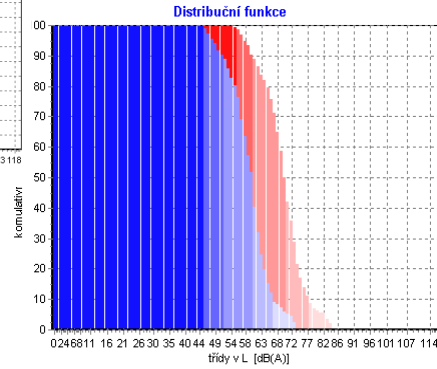




## Monitorování hluku – statistické vyhodnocení



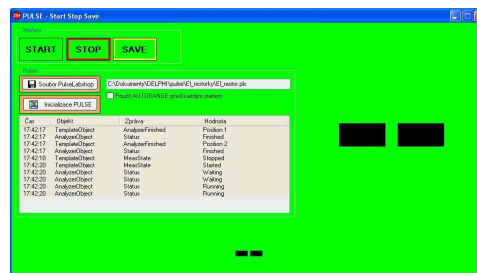
- pomocí histogramu
- pomocí distribuční funkce



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Dálkově ovládaná měření



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





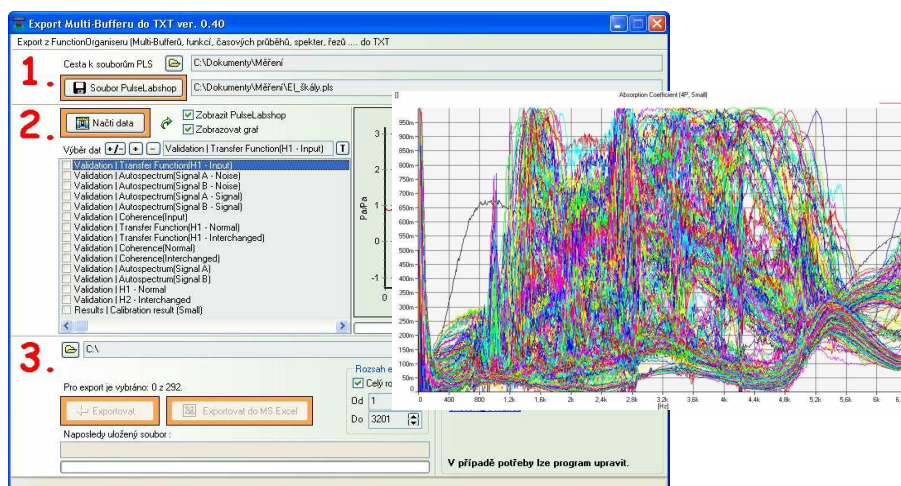
## Převody naměřených dat

- snadné použití
- vhodné pro časté převody naměřených hodnot
- možnost převodu do jakéhokoliv formátu (txt, xls, 214x, ..)
- automatizace tvorby protokolů z měření

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Převod dat

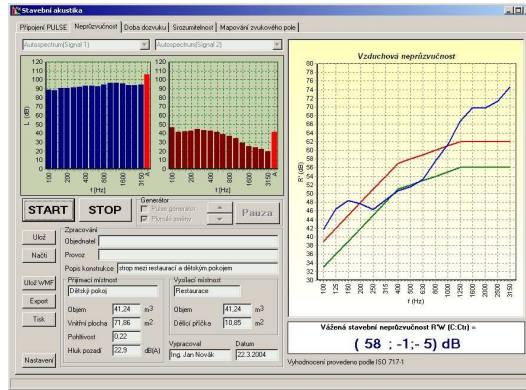
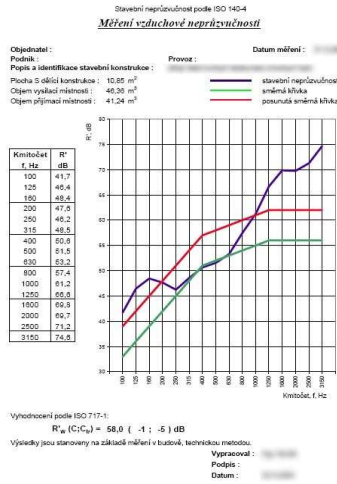


INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





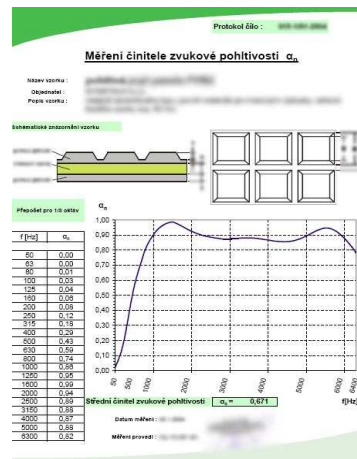
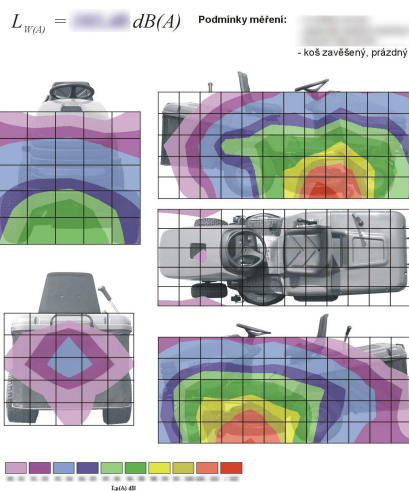
# Automatická tvorba protokolů



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



# Automatická tvorba protokolů



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Pro jednoduchost obsluhy

- prostředí LabShop je pro někoho komplikované
- v prostředí LabShop je možné provádět změny nastavení měření
- v prostředí LabShop jsou viditelné naměřené hodnoty a prováděné analýzy

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Jednoduchá aplikace se třemi tlačítky

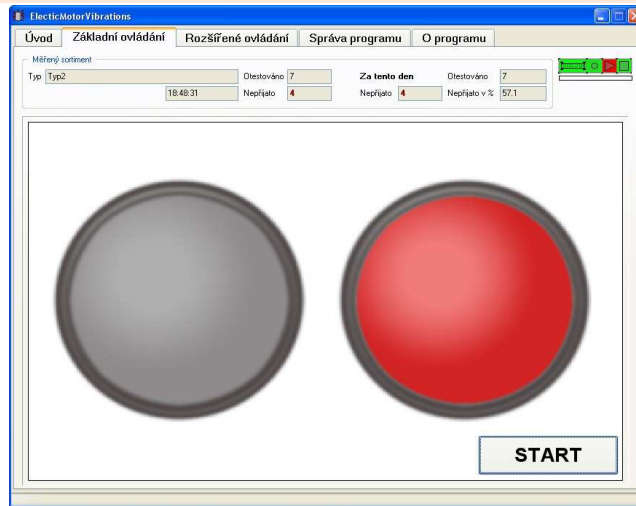


INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





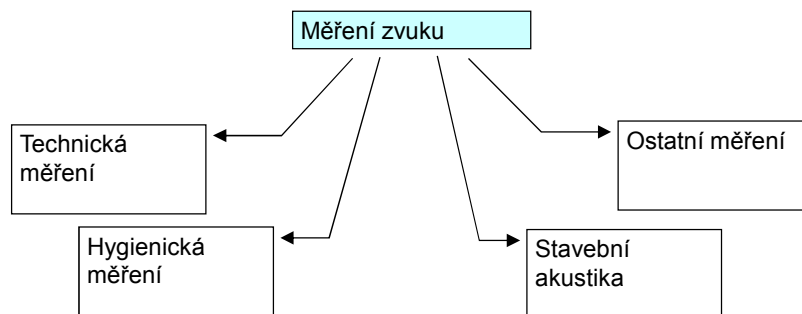
## Ještě jednodušší aplikace



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Měření zvuku (hluku)



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Technická měření

### Cíle

- Sledovat akustický signál z pohledu :
  - zdrojů,
  - velikosti energie,
  - přenosových cest,
  - akustického výkonu.
- hluk není „prvotně“ sledován z hygienického hlediska.
- hluk může být porovnáván s legislativně danými limity.

### Prostředky

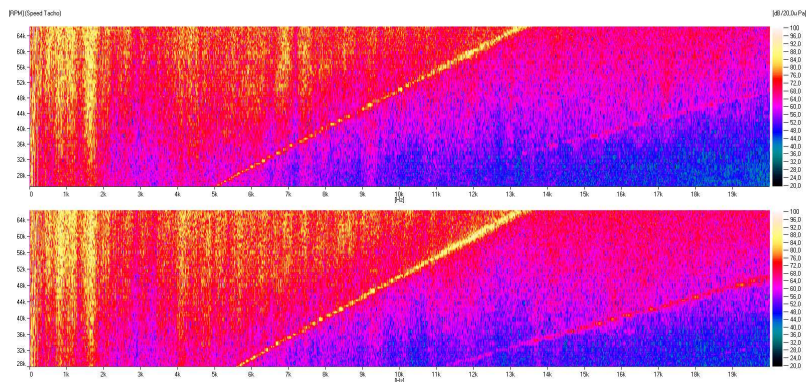
- měření celkových hladin,
- měření akustického výkonu,
- frekvenční analýza,
- multispektrální analýza,

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Technická měření

### Rozběh - doběh



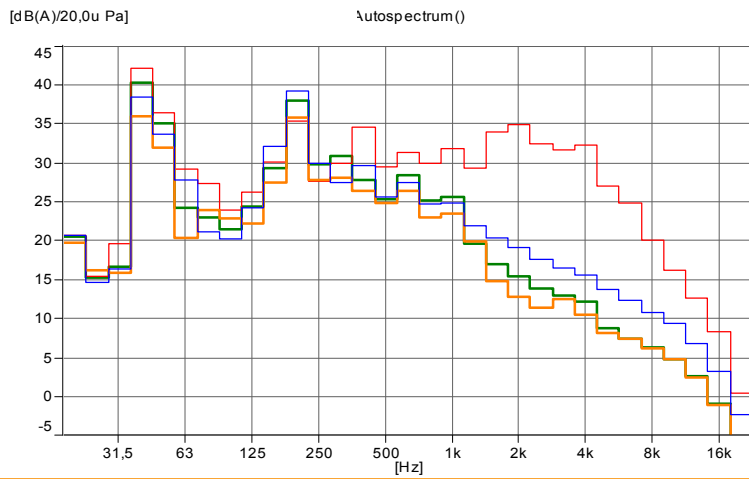
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Technická měření

### Úpravy výrobku

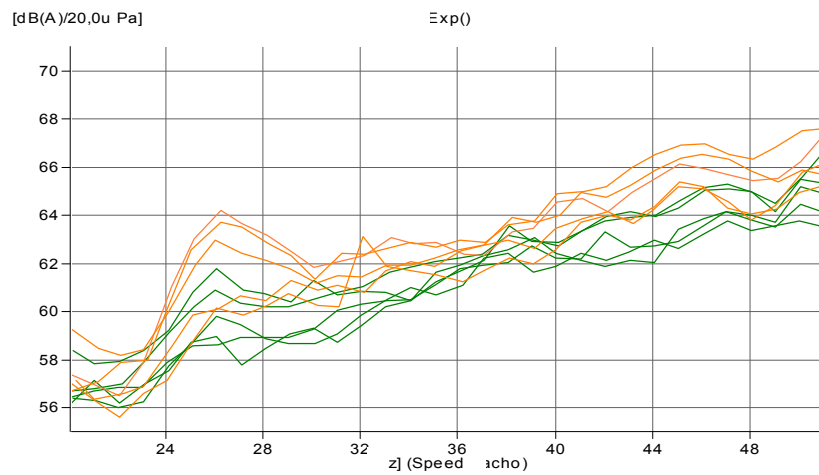


INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Technická měření

### Úpravy výrobku

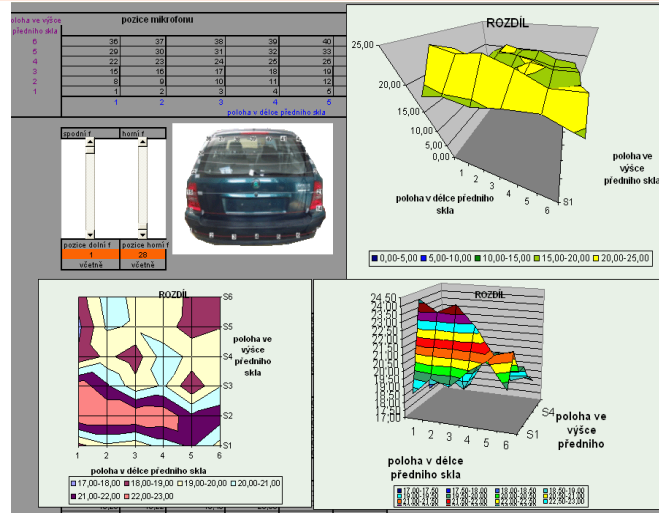


INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





# Technická měření

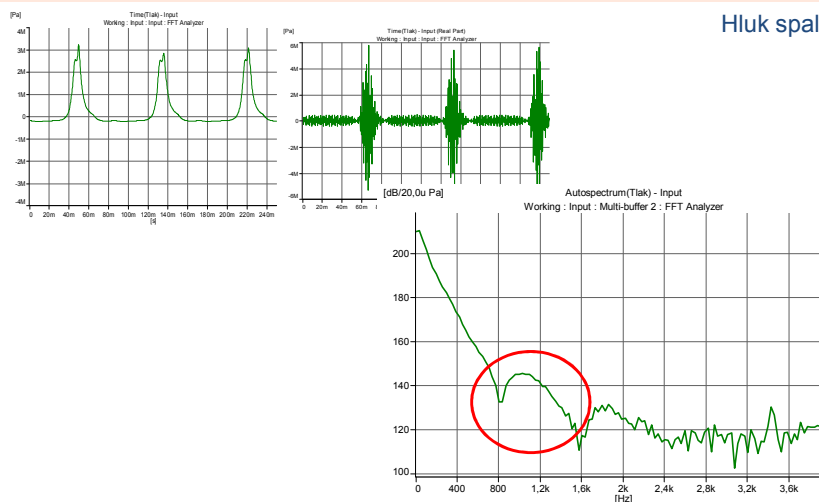


INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



# Technická měření

### Hluk spalování



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

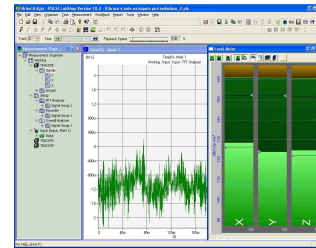






## Technická měření

### Záznam signálu



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Úpravy získaného signálu

Vzhledem ke snaze nalezení reprezentativního časového signálu, který by splňoval podmínky opakovatelnosti jsme museli přistoupit k částečnému zjednodušení získaného signálu. Podkladem pro toto zjednodušení bylo:

- Nalezení významných složek (a jejich harmonických) ve spektru signálu
- Zjištění celkové energie signálu
- Popis proměnlivé části získaného signálu (střední hodnota, směrodatná odchylka)
- Frekvenční omezení signálu

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Zjednodušený signál

Zjednodušený Signál musí být nositelem stejného množství energie a být složen ze zvoleného množství diskrétních harmonických signálů a šumu „definované úrovně“.

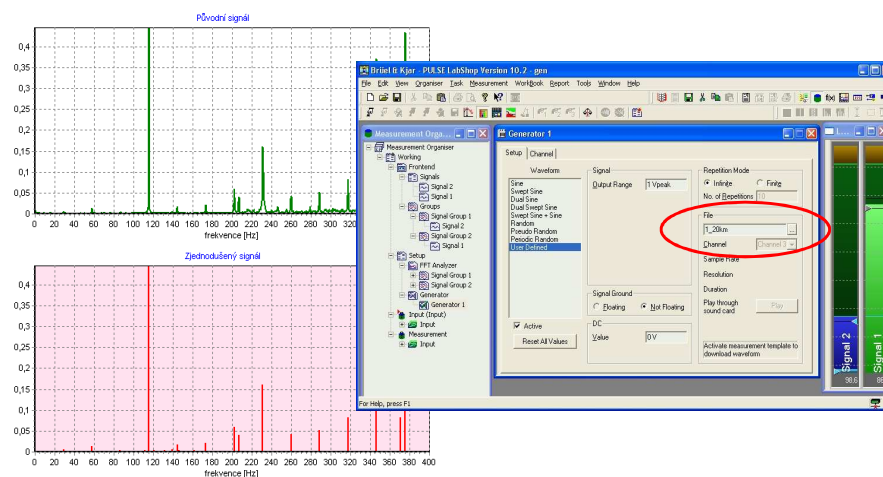
- Vytvoření programu pro výše popsané zjednodušení signálu
- Nastavení fáze (vůči referenčnímu signálu a porovnáním s původním signálem)
- Ověření celkové energie nesené signálem
- Vytvoření příslušného souboru s časovým průběhem výchylky zjednodušeného signálu

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Technická měření

Záznam signálu - generování



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Provedení vibračního testu



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Technická měření

Automatická kontrola výroby



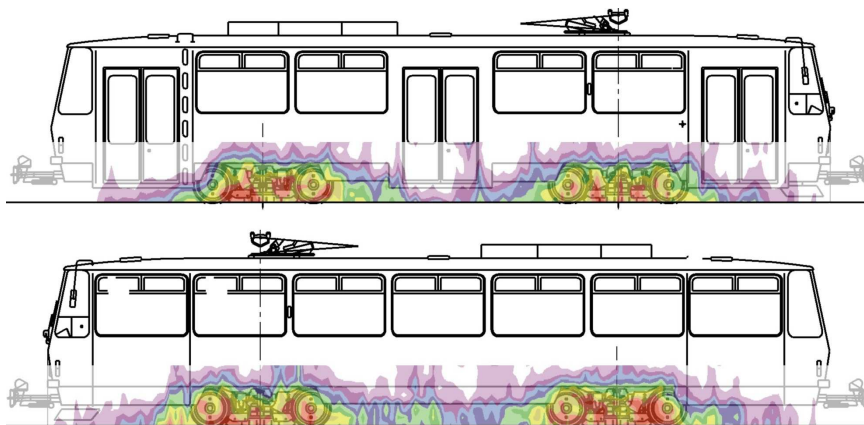
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Technická měření

Lokalizace zdrojů hluku



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Technická měření

Lokalizace zdrojů hluku

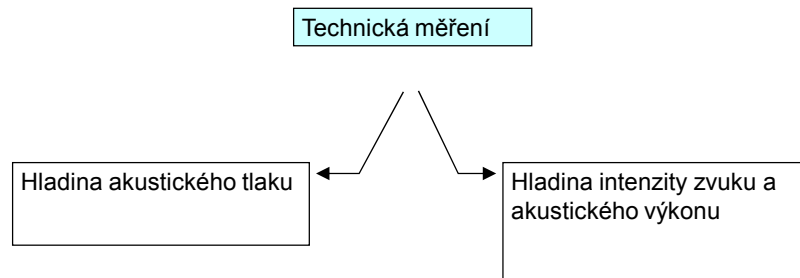


INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Měření zvuku (hluku)



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Hladina akustického tlaku

- Výhody měření
  - jednoduchost měření,
  - konstrukční jednoduchost snímače,
  - legislativní zázemí,
  - základ pro odvozené veličiny (akustická rychlost, intenzita zvuku),
  - rozšířenost měřidel,
  - dostupnost odborné literatury.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Hladina akustického tlaku

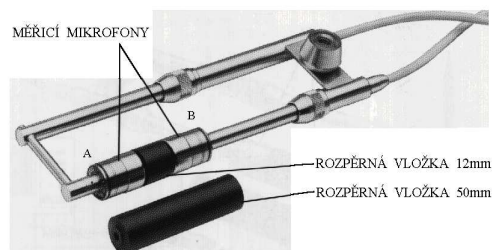
- Nevýhody měření
  - akustický tlak je skalár,
  - akustický tlak není energetická veličina,
  - měřením je udána akustická situace v měřicím bodě, což nelze obecně vztahovat k určitému zdroji.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Hladina akustické intenzity

- Je odvozené z měření hladin akustického tlaku,
- je výrazně energetickou veličinou,
- měření je prováděno na dvoukanálovém měřidle speciální sondou.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





## Hladina akustické intenzity

- Výhody měření
  - intenzita zvuku je vektor, dává informaci o směru šíření akustické energie prostorem,
  - měření intenzity zvuku je nejlepším podkladem (z definice) pro stanovení akustického výkonu,
  - intenzita zvuku je podkladem pro mapování zvukových polí a identifikaci zdrojů hluku,
  - při měření intenzity zvuku lze určit kvalitu zvukového pole (volné – difúzní).

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## Hladina akustické intenzity

- Nevýhody měření
  - vysoká pořizovací cena měřidel,
  - při jakékoliv konfiguraci sondy nelze měřit v celém frekvenčním pásmu (20 Hz – 20 kHz),
  - vyšší nároky na odbornost operátorů a jejich zkušenosti s akustickými měřeními.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

