

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera

Metodika měření hluku

Bc. Oldřich Veselý

Diplomová práce

2009

zadání práce

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 21. 5. 2009

Oldřich Veselý

Tímto bych chtěl poděkovat prof. Ing. Jiřímu Stodolovi, DrSc. a Ing. Michalu Musilovi, Ph.D. za konzultace, cenné připomínky k této práci.

Chci také poděkovat svým rodičům, kteří mi umožnili studium. Můj dík patří i všem ostatním, kteří mě po dobu studia podporovali.

## **ANOTACE**

Práce se zabývá metodikou měření hluku. Zabývá se i měřícím zařízením a způsobem vyhodnocení výsledků měření. Další součástí práce je experimentální měření vnitřní hladiny akustického tlaku silničního vozidla a spektrální analýza.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Akustický tlak; mikrofon, spektrum, měření

## **TITLE**

Methodics of noise measurement

## **ANNOTATION**

This thesis deals with methodics of noise measurement. It is also focused on measuring apparatus and the way of obtained results evaluation. The next part of the work is the acoustic pressure interior level measurement and the spectral analysis.

## **KEYWORDS**

acoustic pressure, microphone, spectrum, measurement

## OBSAH

ÚVOD.....	- 9 -
<b>1. ZÁKLADNÍ POJMY A VELIČINY V AKUSTICE.....</b>	<b>- 10 -</b>
1.1 HLUK JAKO FAKTOR ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ.....	- 10 -
1.2 ÚČINKY HLUKU NA ČLOVĚKA.....	- 11 -
1.3 METODY BOJE PROTI HLUKU.....	- 12 -
1.4 METODA REDUKCE HLUKU VE ZDROJI.....	- 12 -
1.5 METODA DISPOZICE.....	- 12 -
1.6 METODA IZOLACE.....	- 12 -
1.7 METODA PROSTOROVÉ AKUSTIKY.....	- 12 -
1.8 METODA POUŽITÍ OCHRANNÝCH POMŮCEK.....	- 13 -
1.9 AKUSTICKÉ VELIČINY.....	- 13 -
1.9.1 Veličiny charakterizující akustické emise.....	- 13 -
1.9.2 Veličiny charakterizující akustické imise.....	- 14 -
<b>2. HLUK A TECHNICKÝ STAV OBJEKTU.....</b>	<b>- 17 -</b>
2.1 HLUK DOPRAVNÍCH PROSTŘEDKŮ.....	- 18 -
2.2 EKVIVALENTNÍ HLADINA AKUSTICKÉHO TLAKU A DOPRAVNÍHO PROUDU.....	- 19 -
2.3 VLIV AKUSTICKÉHO PROSTŘEDÍ NA STROJNÍ SOUČÁSTI.....	- 19 -
2.3.1 Hlučnost valivých ložisek.....	- 19 -
2.3.2 Hluk ozubených převodů a převodových skříní.....	- 20 -
2.3.3 Hluk pístových strojů.....	- 22 -
<b>3. MĚŘENÍ AKUSTICKÝCH EMISÍ.....</b>	<b>- 25 -</b>
3.1 AKUSTICKÝ VÝKON MĚŘENÍM AKUSTICKÉHO TLAKU.....	- 26 -
3.2 AKUSTICKÝ VÝKON MĚŘENÍM INTENZITY.....	- 29 -
<b>4. MĚŘENÍ AKUSTICKÝCH IMISÍ.....</b>	<b>- 31 -</b>
4.1 HLUK V PRACOVNÍM PROSTŘEDÍ.....	- 32 -
4.2 HLUK VE VENKOVNÍM PROSTŘEDÍ A VE STAVBÁCH PRO BYDLENÍ.....	- 33 -
4.3 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ VÝBĚR METOD MĚŘENÍ AKUSTICKÝCH IMISÍ A ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ.....	- 34 -
4.4 OMEZOVÁNÍ IMISÍ HLUKU.....	- 38 -
<b>5. MĚŘENÍ HLUKU.....</b>	<b>- 39 -</b>
5.1 MĚŘÍCÍ PROSTORY A MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJE.....	- 39 -
5.1.1 Speciální měřicí prostory – komory.....	- 39 -
5.1.2 Generátory akustických signálů.....	- 41 -
5.2 MIKROFONY.....	- 41 -
5.2.1 Směrová charakteristika.....	- 41 -
5.2.2 Rozdělení mikrofonů.....	- 42 -

5.2.2.1 Uhlíkové mikrofony.....	- 43 -
5.2.2.2 Elektrodynamické mikrofony .....	- 44 -
5.2.2.3 Elektrostatické mikrofony.....	- 44 -
5.2.2.4 Elektromagnetické mikrofony .....	- 45 -
5.2.2.5 Elektretové mikrofony .....	- 45 -
5.2.2.6 Piezoelektrické mikrofony .....	- 46 -
5.2.2.7 Mikrofonní předzesilovače a zesilovače .....	- 47 -
5.3 MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJE A ANALYZÁTORY .....	- 47 -
5.3.1 Intenzitní sonda .....	- 48 -
5.3.2 Kalibrace .....	- 49 -
5.3.3 Filtry.....	- 50 -
5.4 METODY A PŘÍSTROJE MĚŘENÍ HLUKU MOTOROVÝCH VOZIDEL .....	- 52 -
5.4.1 Měřicí přístroje.....	- 52 -
5.4.2 Měření rychlosti .....	- 53 -
5.5 PODMÍNKY MĚŘENÍ .....	- 53 -
5.5.1 Místo .....	- 53 -
5.5.2 Vozidlo.....	- 54 -
5.6 ZKUŠEBNÍ METODY .....	- 55 -
5.6.1 Měření akustického tlaku vozidel za jízdy .....	- 55 -
5.6.1.1 Vozidla bez převodovky .....	- 56 -
5.6.1.2 Vozidla s ručně ovládanou převodovkou.....	- 57 -
5.6.1.3 Výběr převodového poměru .....	- 57 -
5.6.1.4 Vozidla s automatickou převodovkou.....	- 58 -
5.6.1.5 Interpretace výsledků.....	- 59 -
5.6.2 Měření hluku vydávaného stojícími vozidly .....	- 60 -
5.6.2.1 Hladina akustického tlaku v blízkosti vozidel.....	- 60 -
5.6.2.2 Akustická měření .....	- 60 -
5.6.2.3 Zkušební místo – místní podmínky.....	- 60 -
5.6.2.4 Rušivé zvuky a vliv větru .....	- 61 -
5.6.3 Metody měření .....	- 61 -
5.6.3.1 Povaha a počet měření .....	- 61 -
5.6.3.2 Umístění a příprava vozidla.....	- 61 -
5.6.3.3 Měření hluku v blízkosti výfuku .....	- 62 -
5.6.3.4 Umístění mikrofonu.....	- 62 -
5.6.3.5 Provozní podmínky motoru .....	- 63 -
5.6.3.6 Výsledky.....	- 63 -
5.7 NORMA ČSN ISO 5128 .....	- 64 -
5.7.1 Předmět a oblast působnosti normy.....	- 64 -
5.7.2 Druhy zkoušek .....	- 64 -
5.7.2.1 Verifikační zkoušky.....	- 64 -
5.7.2.2 Monitorovací zkoušky .....	- 65 -
5.7.3 Měřené veličiny.....	- 65 -
5.7.4 Měřicí zařízení .....	- 65 -

5.7.5 Akustické prostředí, povětrnostní podmínky, hluk pozadí .....	- 66 -
5.7.6 Podmínky zkušební dráhy .....	- 66 -
5.8 STAV VOZIDLA .....	- 66 -
5.8.1 Stav motoru a pneumatik.....	- 66 -
5.8.2 Zatížení vozidla .....	- 67 -
5.8.3 Větrací otvory, okna, pomocné zařízení, nastavitelná sedadla .....	- 67 -
5.9 PROVOZNÍ PODMÍNKY .....	- 68 -
5.9.1 Konstantní rychlosti .....	- 68 -
5.9.2 Plná akcelerace.....	- 68 -
5.9.3 Zkouška se stojícím vozidlem .....	- 69 -
5.10 POLOHY MIKROFONU .....	- 70 -
5.10.1 Poloha mikrofonu vzhledem k sedadlu .....	- 70 -
5.10.2 Poloha mikrofonu pro místa k stání.....	- 71 -
5.10.3 Poloha mikrofonu pro lůžka .....	- 71 -
5.11 POSTUP ZKOUŠKY.....	- 71 -
5.12 PROTOKOL O ZKOUŠCE.....	- 72 -
<b>6. EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ HLUKU VOZIDLA .....</b>	<b>- 73 -</b>
6.1 DATUM MĚŘENÍ.....	- 73 -
6.2 MÍSTO MĚŘENÍ .....	- 73 -
6.3 MĚŘENÝ OBJEKT .....	- 73 -
6.4 MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ.....	- 73 -
6.5 CÍLE ŘEŠENÍ .....	- 74 -
6.6 MĚŘENÍ HLUKU .....	- 75 -
6.7 POLOHY MIKROFONU .....	- 75 -
6.8 ZPŮSOB MĚŘENÍ .....	- 76 -
6.9 NAMĚŘENÉ HODNOTY .....	- 77 -
6.10 ZÁVĚRY .....	- 85 -
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>- 86 -</b>
<b>SEZNAM LITERATURY .....</b>	<b>- 87 -</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>- 88 -</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>- 89 -</b>
<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>- 89 -</b>



## ÚVOD

Vlivem technického rozvoje dochází k neustálému zvyšování nejen výkonnosti strojů ale i k zvyšování hlučnosti. Hlučnost těchto strojů má za následek snižování kvality životního prostředí. Na základě mnohých publikací a výzkumných prací můžeme konstatovat, že příčinou nadměrného hluku v životním prostředí je z 90 % hluk strojů, dopravních nebo jiných technologických zařízení.

Stejně závažná je i otázka technická. Hluk je průvodním jevem chvění, které způsobuje namáhání materiálu vedoucí až k přímé poruše. Ekonomické důsledky těchto poruch mohou v některých případech překročit i pořizovací náklady daného stroje nebo dopravního prostředku.

Zvuk se může šířit v plynech, kapalinách i v pevných látkách ve formě akustického vlnění a dále je důležitým informačním zdrojem. Pomocí technické diagnostiky můžeme provádět údržbu daného objektu nebo vozidel.

Hlavním cílem této diplomové práce je seznámit čtenáře s problematikou metodiky měření hluku, hlukové analýzy a její vliv na údržbu vozidla. Dalším cílem je zprostředkovat díky této diplomové práci vlastní praktické měření vnitřního hluku vozidla.

Díky těmto analýzám hluku můžeme provádět pravidelnou údržbu vozidla kdy můžeme odhalit počátky problému, který nemá prozatím vliv na funkčnost vozidla..

## **1. Základní pojmy a veličiny v akustice**

### **1.1 Hluk jako faktor životního prostředí**

Zvuk je přirozeným projevem přírodních jevů a životní aktivity člověka. Slyšení je přitom pro něho jedním z nejbohatších informačních zdrojů a velmi účinným poplašným systémem. Hlukem se může označit každý nežádoucí zvuk. Jinak nelze hluk přesněji fyzikálně definovat, neboť velmi záleží na vztahu člověka k danému zvuku. Pro někoho může být tento zvuk hlukem, ale pro jiného občana bude důležitým zdrojem informací. Proto boj proti hluku není bojem proti hluku vůbec, ale bojem proti zbytečně neúměrně silnému hluku, který ruší a znepríjemňuje pobyt a práci člověka, popřípadě ohrožuje jeho zdravotní stav.

Nadměrný hluk zaujímá v řadě faktorů ohrožujících naše životní prostředí stále důležitější místo. Účinky hluku na lidský organismus se nijak výrazně výstražně neprojevují. Dočasné snížení citlivosti sluchu jsou často překrývány jinými zdravotními potížemi a proto se jim nevěnuje obvyklá pozornost. Hluk nevyvolává hromadný výskyt onemocnění a jiné katastrofální situace. Účinek hluku je navíc individuálně různý podle osoby, na kterou působí.

V současné době je na škodlivé účinky hluku soustředěna pozornost mnoha odborníků v oblasti zdravotnictví. Stejně tak se měřením a snižováním hluku zabývají stále větší skupiny odborníků různých profesí.

Jednou z nejzávažnějších vlastností zvuku a hluku je, že se šíří na poměrně velké vzdálenosti, stovky metrů i více. Přitom se šíří stejně dobře vzduchem i vodou nebo pevnou látkou, např. konstrukcí stavby. Za určitých podmínek se může akustické vlnění odrážet, lomit a ohýbat. Když působí např. pouze jeden zdroj hluku, může obklopit naše pracoviště nebo místo pobytu v důsledku uvedených afektů akustická energie tak, že není možno předem určit kde je zdroj umístěn. To se projevuje zejména uzavřených a polozavřených prostorech. V důsledku tohoto projevu působí hluk na každého, kdo je v dosahu akustické energie. Postihuje tedy nejenom toho, kdo zdroj obsluhuje, ale i osoby, které se zdrojem nemají nic společného a pro něž je hluk nežádoucí a zbytečný. Jako výstižný příklad je možné uvést silniční vozidlo, které často využívá pouze jedna osoba. Hlukem tohoto vozidla není zasažen pouze jeho uživatel, ale tisíce lidí na ulicích města a v přilehlých obytných budovách. Ve volném terénu může běžný dopravní prostředek svým hlukem zamořit území o ploše několika čtverečních kilometrů.

V technické literatuře se někdy udává, že vzrůst hlučnosti v našem životním prostředí činí cca 1 dB za rok. Tento údaj je pouze hrubý, ukazuje prudký vrůst hlučnosti a varuje nás před dalším možným nepříznivým vývojem. Těžko by se dnes našla významnější skupina lidí, která by nebyla denně exponována ve značné míře akustickou energií. Všichni občané našich měst jsou v mimopracovní době exponováni dopravním hlukem.

Vývoj techniky směřuje ke stálému zvyšování výkonu strojů a technologických zařízení. Mezi mechanickým a akustickým výkonem existuje přímá úměrnost, což je hlavní důvod růstu hlučnosti.

K růstu hlučnosti přispívají i některé tendence při vylehčování konstrukcí strojů a zařízení. Významným měřítkem kvality výrobků se stává poměr mezi výkonem a vlastní hmotností. Vylehčené a ne zcela dobře z hlučového a vibračního hlediska vyvinuté konstrukce strojů často ztrácejí zvukoizolační schopnost a způsobují prudké zvýšení vyzařování akustických výkonů.

Z naznačených příčin vzniku a růstu hlučnosti lze učinit závěr, že z hlediska ochrany člověka před nadměrným hlukem je potřeba si všimnout zejména oblastí: konstrukce a výroby strojů a zařízení, pracovního prostředí, venkovního prostoru a vnitřního prostoru obytných budov a staveb.

## **1.2 Účinky hluku na člověka**

Základem určujícím účinek hluku je jeho intenzita. Člověk se necítí dobře v prostředí s nezvykle nízkou hladinou akustického tlaku. Hodnoty okolo 20 dB považuje většina lidí již za hluboké ticho. Hladinu 30 dB hodnotí lidé jako příjemné ticho. Od 65 dB výše se začínají již nepříznivě projevovat účinky hluku zejména změnami vegetativních reakcí. Při trvalém pobytu v prostředí, kde hladiny akustického tlaku přesahují 85 dB již vznikají trvalé poruchy sluchu. Současně se ve větší míře projevují účinky na vegetativní systém a celou nervovou soustavu. Při 130 dB se obvykle účinky hluku mění na bolesti ve sluchovém orgánu. K protržení bubínku dochází při hladinách okolo 160 dB.

Nebezpečnost hluku spočívá v tom, že lidský organismus nemá prakticky proti působení akustických signálů významnější obranné funkce. Problém ochrany sluchu není pouze v technickém řešení, ale také v ekonomické oblasti, neboť výrobek, u kterého se budou aplikovat protihluková opatření, se může stát mnohonásobně dražším.

Je proto nutné vždy zvolit kompromis mezi technickými a ekonomickými možnostmi společnosti, přičemž hygienické předpisy jsou hlukovým kritériem.

### **1.3 Metody boje proti hluku**

Je třeba se při snižování hluku soustředit hlavně na oblast výroby a použití strojů, kde se mohou podnikat nejúčinnější opatření. Nejlepších výsledků se dosahuje při minimálních finančních nákladech kombinací všech dosažitelných opatření.

### **1.4 Metoda redukce hluku ve zdroji**

Spočívá buď v úplném odstranění hluku nebo ve snížení jeho hlučnosti. Tento způsob boje s hlukem dává širší opatření, která vyžadují především mnohem nižší finanční náklady. V dnešní situaci není možné navrhovat stroje a strojní zařízení zcela bezhlučná, což by ani nebylo žádoucí, protože zvuk vyzařovaný strojním zařízením může odhalit případnou poruchu resp. odhalí technický stav stroje.

### **1.5 Metoda dispozice**

Je založena především na situování hlučných zařízení nebo hlučných prostorů, které nejsou dostatečně izolovány od míst, kde hluk může ovlivnit akustickou pohodu v chráněných prostorech. Je na to třeba pamatovat zejména při územním plánování, projekci budov nebo dopravních tepen.

### **1.6 Metoda izolace**

Spočívá ve zvukovém odizolování hlučného zařízení nebo celého hlučného prostoru od prostoru chráněného. Této metody využívá především stavební akustika. Stroje, u nichž není jiná možnost jak snížit hluk, jsou opatřeny zvukoizolačními kryty nebo zákryty, jejichž účelem je zamezit šíření hluku do okolního prostoru.

### **1.7 Metoda prostorové akustiky**

Využívá poznatky o hlukové pohltivosti, což je vlastnost některých hmot a konstrukcí, jejichž úkolem je pohlcovat akustickou energii a přeměňovat ji na teplo.

Této metody se používá k udržování hlučnosti uvnitř místností a v určitých akusticky náročných procesech.

## 1.8 Metoda použití ochranných pomůcek

Uplatňuje se tehdy, když z určitých důvodů nebylo možné použít metody předešlé nebo v případě, že jsou předešlé metody nedostačující.

Nejlepších výsledků při snižování hluku se dosáhne při využití vhodné kombinace všech uvedených metod. Přednostně je třeba využít ty metody, které při daném řešeném problému dávají nejvyšší snížení hlučnosti a přitom jsou cenově dostupné.

## 1.9 Akustické veličiny

### 1.9.1 Veličiny charakterizující akustické emise

Přehled veličin určujících akustické emise strojů a technologických zařízení:

- Hladina akustického tlaku  $A$ ,  $L_{pA}$ , ve vzdálenosti  $d = 1$  m od obrysu zkoušeného stroje nebo v referenční vzdálenosti  $R = 1.3$  m resp. 10 m od myšleného centra vyzařování zvuku;  $L_{pA}$ :

$$L_{pA} = 10 \log \left( \frac{p_A}{p_0} \right)^2,$$

$p_A$                       efektivní hodnota akustického tlaku v dané vzdálenosti od zdroje hluku při použití filtru A zvukoměru [Pa]

$p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Pa      referenční hodnota akustického tlaku

- Hladina akustického tlaku v kmitočtovém pásmu ve vzdálenosti  $d = 1$  m nebo  $R = 1.3$  resp. 10 m od zkoušeného stroje;  $L_{p,\Delta f}$

$$L_{p,\Delta f} = 10 \log \left( \frac{p}{p_0} \right)^2,$$

$p$                       efektivní hodnota akustického tlaku v příslušném kmitočtovém pásmu  $\Delta f$

- Hladina akustického výkonu  $A$ ;  $L_{WA}$ :

$$L_{WA} = 10 \log \frac{P_A}{P_0},$$

$P_A$  akustický výkon stanovovaný při použití váhového filtru A  
 $P_0 = 10^{-12}$  W referenční hodnota akustického výkonu

- Hladina akustického výkonu v kmitočtovém pásmu  $L_{W,\Delta f}$ :

$$L_{W,\Delta f} = 10 \log \frac{P}{P_0},$$

$P$  akustický výkon v příslušném kmitočtovém pásmu  $\Delta f$  [W]

- Směrový index  $G_v$ :

$$G_v = L_i - L_m + 3,$$

$G_v$  směrový index zdroje vyzařujícího akustickou energii ve směru  $v$  nad rovinou odrážející zvuk

$L_i$  hladina akustického tlaku na daném měřicím místě ve směru  $v$  [dB]

$L_m$  průměrná hladina akustického tlaku na měřicí ploše

$$L_m = 10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i} \right],$$

$n$  počet měřicích míst.

- Činitel směrovosti  $Q_v$ :

$$Q_v = \text{anti log} \frac{G_v}{10}$$

## 1.9.2 Veličiny charakterizující akustické imise

Přehled veličin určujících hluk prostředí:

- Hladina akustického tlaku  $A$ ;  $L_{pA}$ :

$$L_{pA} = 10 \log \left( \frac{p_A}{p_0} \right)^2,$$

$p_A$  efektivní hodnota akustického tlaku váženého filtrem A v daném místě prostředí [Pa]

$p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Pa referenční hodnota akustického tlaku

- Ekvivalentní hladina akustického tlaku  $A$ ;  $L_{Aeq,T}$ :

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A(t)^2}{p_0^2} dt \right],$$

$p_A(t)$  okamžitá hodnota akustického tlaku  $A$  [Pa]

$t_2 - t_1 = T$  časový interval, pro nějž je určena ekvivalentní hladina [s]

- Hladina akustického tlaku v kmitočtovém pásmu;  $L_{p,Af}$ :

hladina akustického tlaku stanovena při použití oktávového, resp. 1/3-oktávového filtru

- Maximální hladina akustického tlaku  $A$ ;  $L_{A \max}$ :

nejvyšší naměřená hodnota hladiny akustického tlaku  $A$  v určeném časovém intervalu

- Minimální hladina akustického tlaku  $A$ ;  $L_{A \min}$ :

nejnižší naměřená hladina akustického tlaku  $A$  v určeném časovém intervalu

- Hladina expozice (SEL);  $L_{AE}$ :

$$L_{AE} = 10 \log \left[ \frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A(t)^2}{p_0^2} dt \right],$$

$t_2 - t_1$  měřicí časový interval [s]

$t_0 = 1$  s referenční časový interval

$p_A(t)$  okamžitá hodnota akustického tlaku  $A$  v daném místě prostředí [Pa]

$p_0$  referenční hodnota akustického tlaku [Pa]

- Procentní (distribuční) hladina;  $L_{AN,T}$ :

hladina akustického tlaku  $A$ , která je překročena v  $N$  % doby z uvažovaného časového intervalu.

- Číslo třídy hluku;  $N$ :

číslo, které charakterizuje nebezpečnost sledovaného hluku se zřetelem k jeho škodlivému působení především na sluch. Jeho hodnota je dána největším z dílčích čísel tříd hluku stanovených z hladin akustického tlaku v oktávových pásmech pomocí tabulky dílčích hodnot čísel tříd hluku.

- Hladina rušení;  $L_R$ :

$$L_R = L_{Aeq,T} + (L_{A1,T} - L_{A90,T}),$$

$L_{Aeq,T}$  ekvivalentní hladina akustického tlaku A [dB]

$L_{A1,T}, L_{A90,T}$  procentní hladiny [dB]

V některých speciálních případech se pro popis hluku prostředí dále používá:

- dlouhodobá průměrná hladina akustického tlaku A;  $L_{Aeq,LT}$ :

průměr pro dlouhodobý časový interval ekvivalentních hladin akustického tlaku A pro řadu referenčních časových intervalů obsažených v dlouhodobém časovém intervalu

$$L_{Aeq,LT} = 10 \log \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0,1(L_{Aeq,T})_i} \right],$$

$N$  počet vzorků retenčního časového intervalu

$(L_{Aeq,T})_i$  ekvivalentní hladina akustického tlaku A  $i$ -tého retenčního intervalu [dB]

- hodnotící hladina;  $L_{Ar,T}$ :

ekvivalentní hladina akustického tlaku A korigovaná s ohledem na tónový a impulsní charakter zvuku. Pro každý rozhodující referenční časový interval je dána vztahem:

$$(L_{Ar,T})_i = (L_{Aeq,T})_i + K_{1i} + K_{2i},$$

$(L_{Aeq,T})_i$  ekvivalentní hladina akustického tlaku A během  $i$ -tého referenčního časového intervalu [dB]

$K_{1i}$  korekce na tónový charakter zvuku pro  $i$ -tý referenční časový interval [dB]

$K_{2i}$  korekce na impulsního charakter zvuku pro  $i$ -tý referenční časový interval [dB]



- dlouhodobá průměrná hodnotící hladina;  $L_{Ar,LT}$ :

průměr pro dlouhodobý časový interval hodnotících hladin pro řadu referenčních časových intervalů:

$$L_{Ar,LT} = 10 \log \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0,1(L_{Ar,T})_i} \right],$$

$N$  počet vzorků referenčního časového intervalu

$(L_{Ar,T})_i$  hodnotící hladina  $i$ -tého vzorku

## 2. Hluk a technický stav objektu

Pod pojmem hluk je označován nežádoucí zvuk ve frekvenčním pásmu od 20 Hz do 20 kHz. Pohybující se části strojů budí vibrace jejich povrchu a formou hluku dochází k přenosu energie ze stroje do okolního prostředí. Hluk, jako bezdotykově měřitelnou diagnostickou veličinu, lze využít jako zdroj informace o technickém stavu zařízení. Na vytváření hluku se podílí třecí síly a mikroskopické silové impulzy, generované vzájemným pohybem drsných nebo nepřesně opracovaných ploch v místě styku dvojic dílů. Hluk se šíří s výrazným směrovým účinkem vzduchem, pevnou hmotou a kapalinou. Nevýhodou hlukové diagnostiky jsou parazitní odrazy a interference v uzavřených prostorech. Lokalizaci závady dále omezuje hluk okolních objektů.

Specifické zdroje hluku u točivých strojů a jiných objektů jsou:

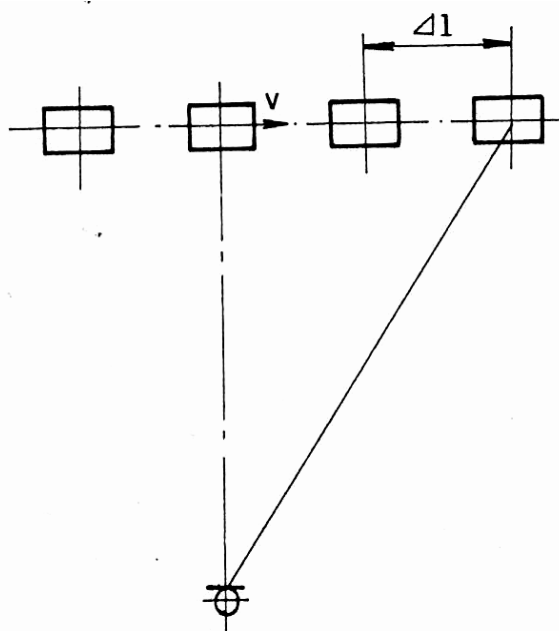
- ložiska (mechanické rázy způsobené vzájemným stykem poškozených prvků, vnitřní nevyvážené hmoty v ložisku, prokluz daný nedokonalým odvalováním valivých prvků)
- převodovky (mechanické rázy během záběru zubů)
- spalovací motory a kompresory (nerovnoměrné proudění plynů při sacím a výtlačném procesu)
- elektrické točivé stroje (aerodynamický hluk ventilátoru, tření kartáčů, magnetostrikce)
- transformátory (magnetostrikce plechů)

## 2.1 Hluk dopravních prostředků

V sídlištích a centrech moderních měst převažují hluky, jejichž zdroji jsou dopravní prostředky. Zvláště velké zvýšení hlučnosti vlivem dopravy je možno pozorovat v blízkosti dopravních magistrál, výpadových silnic, velkých křižovatek a letišť.

Hladina akustického tlaku  $A$ , vyvolaná jednotlivými dopravními prostředky, závisí na několika faktorech:

- na mechanickém výkonu motoru
- na rychlosti vozidla
- na režimu práce motoru
- na technickém stavu vozidla
- na kvalitě vozovky
- na okolní zástavbě
- na povětrnostních podmínkách



Obr. 1: Schéma dopravního proudu

Hluk způsobovaný dopravou roste převážně s počtem automobilů, s jejich rychlostí a se zvyšováním nosnosti nákladních automobilů. Na Obr. 1 je uvedeno schéma dopravního proudu ke vztahu ke kontrolnímu bodu. Závislost hladiny

akustického tlaku A na intenzitě provozu se běžně kontroluje ze vzdálenosti 7,5 m od osy dopravního proudu. Hlučnost automobilů je závislá na rychlosti jejich pohybu.

## **2.2 Ekvivalentní hladina akustického tlaku A dopravního proudu**

Základní údaje o poklesu ekvivalentní hladiny akustického tlaku A v závislosti na vzdálenosti pozorovatele od osy dopravního proudu vyplynou z následujícího odvození. Schéma uvažovaného případu je na Obr. 1: Schéma dopravního proudu. Pro řešení je uvažována přímá vozovka procházející otevřenou krajinou, po níž projíždějí vozidla o konstantním akustickém výkonu., stejné rychlosti pohybu a konstantních vzdálenostech mezi sebou. Dopravní prostředky budou pro zjednodušení řešení vyzařovat akustickou energii rovnoměrně do všech stran.

Výsledný účinek hluku na pozorovatele bude dán superpozicí účinků jednotlivých vozidel.

## **2.3 Vliv akustického prostředí na strojní součásti**

### **2.3.1 Hlučnost valivých ložisek**

Příčiny hluku valivých ložisek lze shrnout do několika bodů. Vinou výroby mají oběžné dráhy a valivá tělesa ložisek odchylky od ideálního geometrického tvaru. Při vzájemném pohybu jednotlivých elementů ložiska potom vznikají mechanické rázy, které se dají považovat za zdroje budících sil. Chvění ložiska se jednak přímo a jednak prostřednictvím přiléhajících konstrukčních prvků vyzařuje ve formě akustické energie do okolního vzduchu, kterou lidské ucho vnímá jako nežádoucí hluk.

Další příčinou hluku ložisek je tzv. prokluz, který je původním jevem nedokonalého odvalování. Nepříznivě působí vnitřní nevyvážené hmoty v ložisku, které při vysokých otáčkách vyvolávají velké dynamické budící síly. Také vliv pohonu může ve vzájemné vazbě zvýšit vlastní hluk ložiska.

Akustická energie vyzařovaná valivým ložiskem není rovnoměrně rozložena na frekvenční ose. Ve spektru jsou zvláště zdůrazněny některé frekvence. Vlivem excentricity rotujících částí ložiska se výrazněji uplatňuje kmitočtová složka odpovídající základním otáčkám hřídele

$$f_z = \frac{n}{60}$$

kde jsou  $n$  [ot/min] otáčky hřídele.

Oválnost hřídele se projeví na dvojnásobné frekvenci  $2f_z$ . Lze takto určit celou řadu frekvencí, při nichž vlivem tvarových nedokonalostí ložisko vyzařuje diskrétní složky akustické energie. Ze změřeného spektra zvuku daného ložiska je možno potom určovat příčinu vzniku hluku.

Na hluku ložiska se může také nepříznivě projevit jeho uložení. Vzhledem k tomu, že valivá ložiska jsou poměrně malého rozměru, což má vliv na malý činitel vyzařování, připadá značná část vyzářené akustické energie na sekundárně vyzařovanou složku z okolní konstrukce. Účinným zdrojem hluku se může tedy ložisko stát pouze tehdy, když je dokonale mechanicky vázáno s okolní konstrukcí stroje. Chvění se potom přeneso do tyčí a desek, které v důsledku svých větších rozměrů již mohou téměř beze ztrát vyzařovat akustickou energii do okolního vzduchu. Tento jev bývá často zesílen, zejména když vlastní kmitočet součástky, např. desky je shodný s některou z diskretních složek chvění ložiska. U kovových materiálů nedochází k přirozenému útlumu. To je příčinou velkého zesílení rezonančních složek, které potom určují výslednou hlučnost ložiska.

Pro náročná valivá uložení je nutno volit ložisko z výběrové řady C6, což je provedení se sníženou hlučností. Při výrobě a montáži stroje je třeba zaručit sousost ložisek, vyvarovat se šikmému nalisování ložisek do pánví, nesprávných vůlí apod. Radiální vůle na ložiskách má být cca 10  $\mu\text{m}$ , což se dosahuje nalisováním ložiska na hřídel.

### 2.3.2 Hluk ozubených převodů a převodových skříní

Postupným záběrem jednotlivých zubů vznikají dynamické síly, které rozechvívají jednotlivé číste převodovky. Chvění přenesené zejména na její plášť je potom intenzivně vyzařováno do okolního prostředí. Z principu ozubených převodů vyplývá, že nejde zcela zamezit vzniku rázů při záběru jednotlivých zubů. Budící síly se periodicky opakují. Spektrum opakujících se silových impulsů závisí na časovém průběhu síly. Do kmitočtu

$$f = \frac{2}{T}$$

kde  $T$  (s) je doba trvání impulsu, mají složky spektra konstantní amplitudu. Nad tímto kmitočtem však již závisí na první a druhé derivaci síly podle času. Je tedy potřeba omezit spektrum budící síly nad uvedeným kmitočtem. Toho se dosáhne při malých hodnotách  $dF/d\tau$ , kde  $F$  je časový průběh budící síly. Prodlouží-li se doba trvání rázu z  $\tau_1$  na  $\tau_2$ , sníží se na hladinu budících sil o

$$\Delta L = 20 \log \frac{\tau_2}{\tau_1}.$$

Prodloužení doby rázu lze dosáhnout aplikováním pružných vložek zabudovaných do místa rázu. U ozubení se zmenšují záběrové rázy zvětšením poddajnosti zubů drážkami ve věnci kola. Také zmenšením vůlí v mechanismu lze významně snížit rázy. Při zmenšování vůlí klesá budící síla s druhou mocninou. Použitím vhodného mazacího prostředku se často sníží hluk o 4 až 6 dB. Kladeným požadavkům vyhovují kola se šikmým ozubením.

Časový průběh sil působících v ozubení je plynulejší než u zubů přímých. Zmenšuje se také vliv nepřesností, neboť u kol se šikmým ozubením je v záběru vždy jen několik zubů. Tím je také menší měrné zatížení a vzniklé rázy mají podstatně menší amplitudu.

V praxi se ukazují šikmá ozubení o 5 dB méně hlučná, než ozubení s přímými zuby. Na hluk má také značný vliv obvodová rychlost kol. Při změně obvodové rychlosti z  $u_1$  na  $u_2$  se změní hlučnost o hodnotu v dB

$$\Delta L = 23 \log \frac{u_1}{u_2}.$$

Budící síly, vznikající při rázu dvou těles, lze omezit dvěma způsoby. První je založen zmenšením relativních rychlostí obou těles. Druhý je založen na změně hmotnosti těles

$$\Delta L = 20 \log \frac{m_2}{m_1}.$$

Spektrum vyzařovaného zvuku z ozubených převodů bývá kombinované. Nad spojitou částí spektra vznikají jednotlivé diskretní složky. Základní kmitočet je dán otáčkami hřídele a nepřevyšuje obvykle 150 Hz. Je-li amplituda kmitání při této frekvenci velká, svědčí to o značné nevyváženosti jednoho z hřídelů nebo o jiné montážní nepřesnosti. Příčinou může být také poškozený jeden ze zubů.

Ve spektru hluku převodovek obvykle vznikají frekvenční složky odpovídající frekvenci záběru jednotlivých zubů

$$f_z = k \cdot \frac{n \cdot z}{60},$$

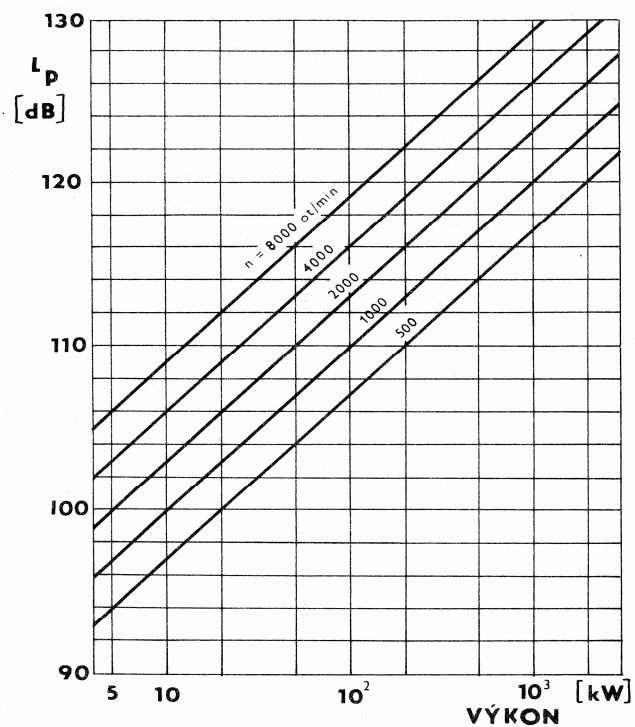
kde je  $z$  počet zubů,  $k = 1, 2, 3$  konstanta určující řád harmonické složky.

Kromě těchto složek se často ve spektru objevují kmitočty odpovídající kmitům zubů a hřídelů. Letmo uložené hřídele jsou z hlediska hlučnosti nevhodné. V neposlední řadě má na výsledný hluk převodovky podstatný vliv její skříň. Zásadně se nemají shodovat vlastní kmity převodové skříňe s diskretními složkami ozubení.

V některých případech, kdy jsou kladeny na hluk převodovky zvlášť vysoké nároky, je zapotřebí převodovky zakrýt zvukoizolačním krytem. Některé normy v zahraničí stanovují třídy kvality převodovek podle hlučnosti, kterou ve svém okolí vyvolávají.

### 2.3.3 Hluk pístových strojů

Do této skupiny se zařazují především spalovací motory a kompresory. Práce těchto strojů se vyznačuje přerušovaným sacím a výtlačným procesem. Nerovnoměrné proudění plynů spojené s tímto pracovním pochodem je jednou z hlavních příčin hlučnosti. Značný podíl na vyzařované akustické energii mají vibrace povrchu stroje. Je známo, že jak spalovací motory, tak i kompresory, které nejsou opatřeny tlumičem sání a výtlačku vytvářejí ve svém nejbližším okolí hladiny akustického tlaku i přes 120 dB. Za účelem získání určitého přehledu je uveden **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** z něhož je možno odečíst celkovou hladinu akustického výkonu dieselmotoru v závislosti na výkonu motoru.



**Obr. 2: Hladina akustického výkonu vzduchem chlazených haftových motorů**

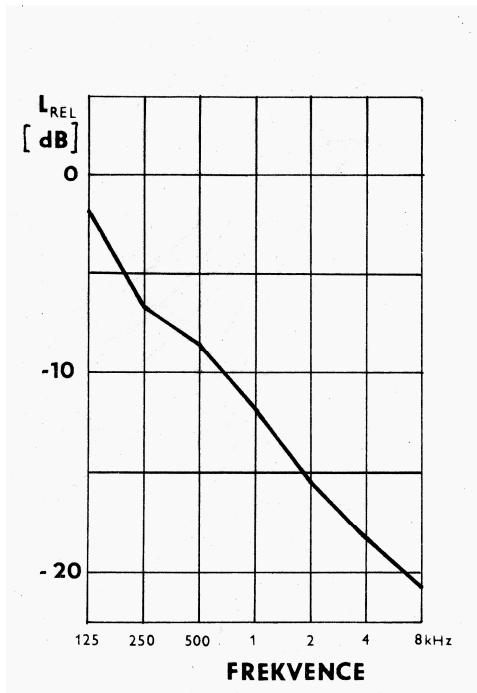
Početně lze určit přibližný celkový akustický výkon ze vztahu:

$$L_p = 61,3 + 10 \log P + 10 \log n,$$

kde je  $P$  (kW) výkon motoru,  $n$  (1/min) otáčky motoru.

U vodou chlazených naftových motorů lze očekávat hladiny minimálně o 4 dB nižší.

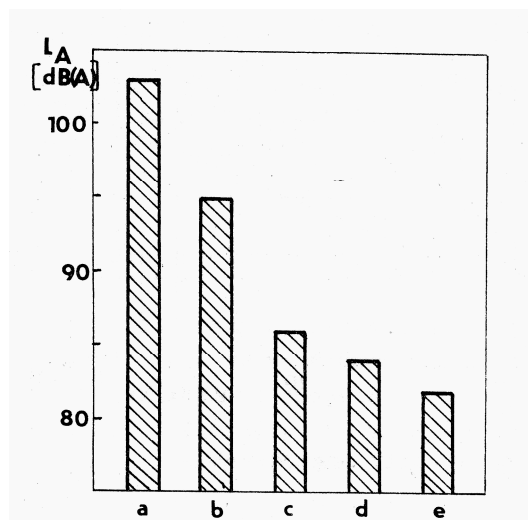
Relativní hladiny v oktávových pásmech pro tyto motory lze stanovit z diagramu na Obr. 3. Ve spektru je zahrnut pouze vlastní hluk motoru (zatlumené sání i výfuk).



**Obr. 3: Relativní hladina akustického tlaku dieselmotoru**

Ve výrobě i ve stavbách se velice často používají vzduchové kompresory.

Na Obr. 4 jsou uvedeny hladiny hluku v dB zjištěné pro jednotlivé dílčí zdroje kompresoru.



**Obr. 4: Hluk jednotlivých částí kompresoru**



- a) standartní provedení,
- b) bez sacího potrubí,
- c) o odtlačnými sacími ventily,
- d) sání vyustěno mimo prostor zkušebny,
- e) samotný motor.

Jestliže je potřeba instalovat pístové stroje (dieselagregáty, vzduchové kompresory) do budov, které jsou náročné na ochranu proti hluku, musí se problém snížení řešit pomocí zvukoizolačních krytů.

### 3. Měření akustických emisí

Akustická emise je zvuk, vyzařovaný zdrojem. Změřením jeho charakteristik (hladiny akustického tlaku, celkové vyzařované energie, časového a kmitočtového spektra, ...) se získají velmi cenné informace o zdroji zvuku, které je možno využít jak pro nedestruktivní diagnostiku materiálů i celých strojů a zařízení, tak pro hodnocení hlukové situace v okolí zdroje. Šíření poruch při namáhání materiálů, strojních a stavebních dílů a konstrukcí nebo chladnutí odlitků je doprovázeno emisí zvuku, jehož analýzou se získávají informace o probíhajících dějích. Rovněž mechanické pohyby jednotlivých částí strojních systémů emitují charakteristické zvuky, jejichž analýzou lze zjistit technický stav příslušné části systému. Akustická emise představuje jednu z užívaných metod nedestruktivní diagnostické analýzy.

Akustická emise v souvislosti s hodnocením hlukové situace v okolí zdroje se zabývá pouze měřením zvukové energie resp. hladiny akustického výkonu  $L_{WA}$ ,  $L_{W,df}$  vyzařovaného stroji a zařízeními do okolí zdroje při běžném provozu. Často je také značný zájem o směrové charakteristiky vyzařování vyjádřené veličinami směrový index  $G_\theta$  a činitel směrovosti  $Q_\theta$ . Pro porovnání hlukové emise různých strojů v místě obsluhy v podobných prostředích je někdy vhodné měřit hladinu akustického tlaku  $L_{pA}$ ,  $L_{p,df}$  ve vhodných místech v okolí zdroje. Výsledky takových měření pak slouží pro vyhodnocení hlukové situace v pracovním prostředí a představují jednu ze základních technických charakteristik daného výrobku.

Velkou změnou v hodnocení a posuzování hlučnosti výrobků a zařízení přinesla nová direktiva Evropské Unie pro strojírenství, která je v platnosti od počátku roku

1995 a která ukládá přímo deklarovat akustický výkon jako jednu z hlavních veličin u výrobků a strojů s hladinou akustického výkonu vyšší než 75 dB. Je zřejmé, že se určování akustického výkonu stává a stane jednou z nejvýznamnějších úloh v oblasti hodnocení a analýzy hluku. Pro představu lze uvést akustický výkon některých zdrojů.

Metodiky měření, popsané v současných normách, vycházejí převážně z měření akustického tlaku v okolí zdroje a následného výpočtu akustického výkonu vyzařovaného zdroje. Pro hodnocení hlučnosti zdroje, zvláště pak pro posouzení hlučnosti jednotlivých částí stroje nebo zařízení a lokalizaci významných zdrojů hluku daného zařízení se v poslední době využívá také měření intenzity zvuku.

### 3.1 Akustický výkon měřením akustického tlaku

Při tomto měření je uveden akustický tlak v daném místě blízko zdroje zvuku (zkoušeného stroje), jestliže pracuje v daných podmínkách své činnosti a svého upevnění na odrážející rovinný povrch při absenci hluku pozadí a odrazů od povrchů místnosti kromě roviny, na níž je zdroj umístěn. Jedná se o měření ve volném akustickém poli. Takové podmínky měření jsou splněny pouze ve speciálně upravené místnosti – bezodrazové místnosti (tiché komoře) nebo polobezodrazové zkušební místnosti. Běžně se takto testují zejména hudební nástroje. Někdy je možno se takovým podmínkám přiblížit při měření ve velké místnosti nebo na rovinném venkovním terénu. Kolem měřeného zdroje se stanoví hypotetická měřicí plocha ve tvaru polokoule nebo kvádrů a změří se průměrná hodnota akustického tlaku na povrchu této měřicí plochy. Měření se provádí sadou mikrofónů nebo jedním mikrofónem, který se postupně přemísťuje do jednotlivých měřicích míst na měřicí ploše. S využitím rotačního ramene pro mikrofón lze přemísťování mikrofónu po povrchu měřicí plochy provádět kontinuálně. Počet měřicích míst závisí na směrovosti vyzařování: čím víc se liší hodnoty směrového indexu  $G_v$ , tím větší počet měřicích míst se potřebuje. Z průměrné hodnoty změřených hladin akustického tlaku  $A$   $L_{pA}$  nebo hladin akustického tlaku v kmitočtovém pásmu  $L_{p, Af}$  se vypočítá příslušná hladina akustického výkonu v dB podle vztahu

$$L_w = L_p + 10 \log \frac{S}{S_0} + C$$

$S$             povrch měřicí plochy [ $m^2$ ]  
 $S_0$             referenční plocha  $1 m^2$

C malý korekční člen zahrnující vliv okolí teploty a tlaku [dB].

Akustický výkon zdroje lze stanovit také měřením akustického tlaku v difúzním akustickém poli. Takové pole lze realizovat v dozvukové komoře nebo speciální dozvukové zkušební místnosti, kde všechny stěny jsou dokonale odrazivé a mimo oblast velmi blízkou zdroji a stěnám komory se v důsledku mnohonásobných odrazů od stěn komory vytvoří difúzní akustické pole. Opět využitím sady mikrofónů nebo postupným přemísťováním jednoho mikrofónu se stanoví průměrné hladiny akustického tlaku ( $L_{pA}$ ,  $L_{pAf}$ ) difúzního akustického pole. Při výpočtu akustického výkonu stroje je třeba provést korekce na odrazy od stěn komory a použitých difuzérů. Příslušná hodnota hladiny akustického výkonu zdroje  $L_W$  a průměrná hodnota hladiny akustického tlaku  $L_p$  jsou pak spojeny vztahem

$$L_W = L_p + K_1, \quad K_1 = 10 \log \frac{V}{V_0} - 10 \log \frac{T}{T_0} + 10 \log \left( 1 + \frac{S\lambda}{8V} \right) - 10 \log \frac{B}{1000} - 14$$

$T$  doba dozvuku komory [s]

$V$  objem dozvukové komory [ $\text{m}^3$ ]

$\lambda$  vlnová délka ve středu oktávového nebo 1/3 oktávového pásma [m]

$S$  celková plocha stěn dozvukové komory plus plocha všech zvukových difuzérů použitých v dozvukové komoře [ $\text{m}^2$ ]

$T_0 = 1$  s,  $V_0 = 1$   $\text{m}^3$  referenční hodnoty.

V závislosti na vlastnostech dozvukové zkušební místnosti může být korekční člen  $K_1$  mírně modifikován.

I když lze uvedené veličiny v dozvukových komorách změřit v celku bez velkých problémů, snadněji a rychleji lze akustický výkon stroje v dozvukové komoře stanovit s využitím referenčního zdroje, jehož akustický výkon byl stanoven jednou z předešlých metod. V tomto případě stačí změřit hladinu akustického tlaku měřeného a referenčního zdroje. Hladinu akustického výkonu měřeného zdroje  $L_W$  se vypočítá ze vztahu

$$L_W = L_{Wr} + L_p - L_{pr}$$

$L_{Wr}$  hladina akustického výkonu referenčního zdroje [dB]

$L_p$  hladina akustického tlaku od měřeného zdroje [dB]

$L_{pr}$  hladina akustického tlaku od referenčního zdroje [dB].

Stroje a zařízení (turbíny, spalovací kotle, ...) nelze do tiché nebo dozvukové místnosti umístit a uvést do normálního provozu, a proto je měření prováděno zpravidla v provozních podmínkách. V důsledku odrazů od stěn místnosti je narušeno volné akustické pole, přičemž odrazy nejsou dostatečné pro vytvoření difúzního pole. V tomto případě se mluví o měření polodozvukovou nebo provozní metodou. Podobně jako při měření ve volném akustickém poli, se stanoví průměrná hladina akustického tlaku na hypotetické měřící ploše. Hluk od zdrojů, které jsou blízko měřeného zdroje a nelze je v průběhu měření vypnout (bez jejich provozu nelze zajistit pracovní režim měřeného stroje), je třeba odečíst v rámci opravy na pozadí. Při výpočtu příslušné hladiny akustického výkonu zdroje ( $L_{WA}$ ,  $L_{W,Af}$ ) je třeba provést korekci na odrazy od stěn místnosti. Například při měření za určitých podmínek se korekce stanoví podle vztahu

$$L_w = L_p + 10 \log \frac{S}{S_0} - K_2, \quad K_2 = 10 \log \left( 1 + 4 \frac{S}{A} \left( 1 - \frac{A}{S_v} \right) \right)$$

$L_p$	průměrná hladina akustického tlaku na měřící ploše opravená na pozadí [dB]
$S$	plošný obsah měřící plochy [m <sup>2</sup> ]
$S_v$	plošný obsah ohraničujících ploch včetně podlahy [m <sup>2</sup> ]
$A$	celková pohltivost prostoru [m <sup>2</sup> ].

Stanovení měřící plochy v konkrétním případě není v mnoha případech snadné. Proto existuje řada speciálních norem pro měření akustického výkonu různých strojů a zařízení. Pro zdroje, pro které měřící plochu nelze stanovit, se normalizují hodnoty hladin akustického tlaku v kontrolních bodech.

Při volbě měřící metody je třeba vzít v úvahu následující kritéria:

- velikost zdroje hluku, která je pro laboratorní měření udána v procentech objemu zkušební místnosti;
- zkušební prostředí, které je k dispozici pro měření;
- charakter hluku vyzařovaného zdrojem (na příklad širokopásmový, úzkopásmový s diskrétními kmitočty, ustálený, nestacionární, impulsní);
- sledovaný kmitočtový rozsah;
- nejvyšší požadovanou třídu přesnosti, jak je rozdělena v ČSN ISO 2204;
- požadované akustické údaje včetně hladiny akustického výkonu a dalších akustických informací (například směrovost zdroje, časový průběh).

### 3.2 Akustický výkon měřením intenzity

V posledních deseti letech byla věnována velká pozornost měření intenzity zvuku zejména v souvislosti s výzkumem vlastností a lokalizací zdrojů hluku. Další výhodou je, že při stanovení akustického výkonu zdrojů měřením intenzity zvuku, lze měření realizovat i při vysokém hlukovém pozadí v provozních podmínkách.

Z předcházející kapitoly je zřejmé, že při stanovení akustického výkonu měřením akustického tlaku je měřenou veličinou skalární veličina, závislá na vlastnostech okolního prostředí, které musí být dokonale známy a prostřednictvím korekčních faktorů musí být zahrnuty do výpočtu akustického výkonu měřeného zdroje. V případě intenzity zvuku, která je vektorovou veličinou, lze rušivé zdroje hluku eliminovat v průběhu vlastního měření intenzity. I když teoretické podklady pro měření intenzity byly známy již před 60 lety, rozvoj experimentálních technik byl umožněn až rozvojem digitálního zpracování signálu v reálném čase.

Měření intenzity zvuku ze vztahu

$$I_r = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) v_r(t) dt ,$$

kde složka intenzity zvuku  $I_r$  ve směru  $\vec{r}$  je vyjádřena jako průměrná hodnota součinu okamžitého tlaku  $p(t)$  a složky o okamžité rychlosti částice  $v_r(t)$  ve směru  $\vec{r}$  v témže místě akustického pole. Přitom časové průměrování se provádí zpravidla v rozmezí jedné periody. Protože  $p(t)$  i  $v_r(t)$  mají sinusový průběh, výsledek časového průměrování silně závisí na rozdílu fází obou veličin. Jsou-li ve fázi (např. volné pole), dostává se maximální hodnota, jsou-li v opačné fázi (např. stojaté vlnění v trubici), je výsledná hodnota nulová a tak nedochází k přenosu energie prostředím. Obdobný stav je v ideálním difúzním poli, kdy intenzita zvuku je ve všech směrech stejná a výsledný součet všech složek intenzity v daném bodě akustického pole je rovněž nulový.

Z výše uvedeného vztahu plyne, že v daném místě akustického pole je potřeba měřit současně akustický tlak a rychlost částic. K tomu se využívá Eulerovy rovnice ze které lze průměrnou rychlost ve směru  $\vec{r}$  podle vztahu

$$v_r = -\frac{1}{\rho} \int \frac{\partial p}{\partial r} dt ,$$

kde  $\rho$  je hustota vzduchu. Prakticky lze gradient tlaku stanovit přibližně měřením tlaku  $p_A$  a  $p_B$  ve dvou velmi blízkých bodech A a B. Pak dělením rozdílu tlaků  $p_B - p_A$  vzdáleností  $\Delta r$  bodů A a B se dostává vztah

$$v_r = -\frac{1}{\rho\Delta r} \int (p_B - p_A) dt .$$

Takovou aproximaci lze použít pouze za předpokladu, že vzdálenost separace měřících mikrofonů v bodech A a B je menší, než vlnová délka zvukové vlny ( $\Delta r \ll \lambda$ ). Hodnota akustického tlaku v daném okamžiku v oblasti mezi body A a B se může aproximovat aritmetickým průměrem tlaků v bodech A a B.

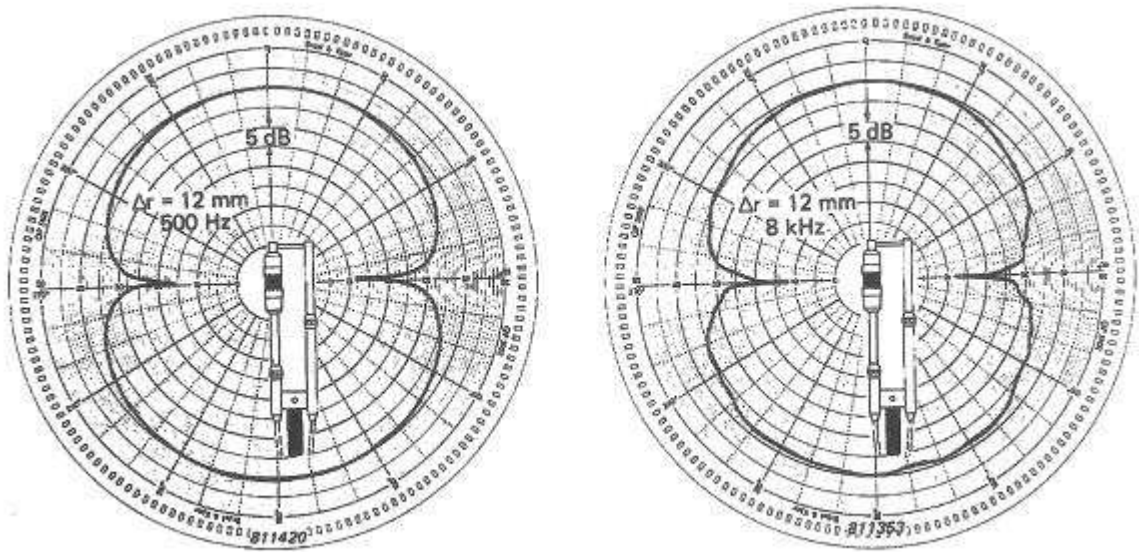
Při použití rovnice  $I_r = \frac{1}{T} \int_0^T p(t)v_r(t)dt$  se získá

$$I_r = -\frac{p_A + p_B}{2\rho\Delta r} \int (p_A - p_B) dt .$$

Je třeba zdůraznit, že se jedná o aproximační vztah, jehož platnost je omezena podmínkami měření, zejména frekvenčním rozsahem. V případě, že paprsek dopadající vlny není rovnoběžný s osou válcových mikrofonů, v jejímž směru se stanovuje gradient tlaku, měří se pouze složka intenzity rovnoběžná se směrem gradientu. Při dopadu vlny kolmo osy detektorů závisí na pořadí detektorů A a B. Při změně pořadí detektorů, resp. při změně orientace dopadající zvukové vlny se změní znaménko  $I_r$ . Je-li zdroj umístěn vzhledem k sondě tak, že  $I_r > 0$ , nazývá se takový zdroj aktivní, při  $I_r < 0$  se jedná o zdroj reaktivní. Na Obr. 5 je ukázána směrová charakteristika sondy  $|I_r| = f(\alpha)$  s 1/2" mikrofony a 12 mm distanční vložkou. Je zřejmé, že teoretická směrová charakteristika sondy má kosinusový charakter.

$$I_r = \left| \vec{I} \right| \cos \alpha ,$$

kde  $\alpha$  je úhel mezi směrem intenzity zvukové vlny a osou detektoru.



**Obr. 5: Směrové charakteristiky sond**

Zpracování signálu z obou mikrofonů lze provést dvěma různými způsoby. Přímá metoda vychází bezprostředně ze vztahu  $I_r = -\frac{P_A + P_B}{2\rho\Delta r} \int (p_A - p_B) dt$ , kde signály z mikrofonů jsou digitalizovány a potřebné matematické operace včetně filtrace jsou prováděny digitálně. Nepřímá metoda je založena na rychlé Fourierově transformaci.

Při měření výkonu zdroje pomocí intenzity je třeba, obdobně jako při měření výkonu měřením akustického tlaku, provést integraci přes měřící plochu. Vzhledem k vektorovému charakteru intenzity a uvedeným směrovým charakteristikám mikrofonní sondy lze snadno eliminovat příspěvek od okolních zdrojů, které nejsou uvnitř měřící plochy (měřený zdroj = aktivní zdroj, okolní zdroje (pozadí) = reaktivní zdroj).

#### **4. Měření akustických imisí**

Při měření akustických imisí se zjišťují údaje, které jsou významné z hlediska posouzení hluku na člověka a při hodnocení akustické kvality prostředí. Jsou to zejména hladina akustického tlaku  $A - L_{pA}$ , její časový průběh, ekvivalentní hladina akustického tlaku  $A - L_{Aeq}$ , kmitočtové složení hluku, impulsní a neimpulsní charakter hlukového signálu, charakter akustického pole apod. Výsledky měření se používají pro obecnou informaci o hlukové situaci v místech pobytu osob, pro srovnání naměřených hodnot s přípustnými hodnotami uvedenými v Hygienických předpisech, normách a jiné dokumentaci a v neposlední řadě také ke zhodnocení účinnosti plánovaných a realizovaných opatření ke snížení hluku v budovách i vnějším prostředí.

Metody měření akustických imisí se stanovují s ohledem na:

- účel měření
- místo měření (venkovní prostor, uvnitř budovy, pracovní prostředí)
- požadovanou přesnost měření
- dobu trvání hluku
- charakter hluku (časový průběh, kmitočtové složení)
- charakter zvukového pole (pole přímých vln, pole odražených vln)
- hluk pozadí
- fyzikální vlastnosti měřeného prostředí (rychlost větru, teplota, vibrace, elektromagnetické pole apod.)

Existuje řada reálných situací, kdy správné měření a vyhodnocení naměřených údajů může podstatně ovlivnit hodnocení hlukové situace. Zvláště tehdy, kdy vznikají pochybnosti, zda jsou dodržovány nebo naopak překračovány nejvyšší přípustné hodnoty hluku. Pak významně záleží na teoretických znalostech i praktických zkušenostech experimentátora.

Při měření se nejčastěji používají integrační zvukoměry, hlukové dozimetry, datové záznamníky pro vzorkování rozložení hladin akustického tlaku v čase a statistické hladinové analyzátory pro určení procentních hladin. Před každým měřením a po skončení každé série měření je třeba provést kalibraci všech přístrojů.

#### **4.1 Hluk v pracovním prostředí**

Při měření imisních hodnot na pracovištích se rozlišuje:

- přímé měření hlukové zátěže osob
- měření hluku na pracovních místech
- měření hluku v pracovních prostorech

Při přímém měření hlukové zátěže se mikrofon umístí na exponovanou osobu. S výhodou se používá dozimetru, který se zpravidla vkládá do levé horní vnější kapsy pracovního oděvu. Při měření je třeba dbát na to, aby při práci byla použita správná technologie a aby pracovní doba byla využívána obvyklým způsobem.



Měření hluku na pracovních místech se provádí tehdy, jestliže se pracující během směny zdržují převážně na jednom pracovním místě a při pobytu mimo toto místo se nepohybují v prostorech, ve kterých je hladina akustického tlaku  $A$ ,  $L_{p,A}$  o více jak 10 dB větší než hluk na jejich pracovním místě. Mikrofon se umístí přímo na pracovní místa ve výšce hlavy exponované osoby. V případě sedící osoby do výšky 70 cm nad sedadlem, v případě, že osoba pracuje vstojе, 150 cm nad podlahou. Při měření za přítomnosti pracovníka se volí měřicí místo ve vzdálenosti 20 cm od ucha těchto osob. Na zvukoměru se volí časová charakteristika F (Fast) pro ustálený a proměnný hluk a I (Impulse) pro hluk impulsního charakteru. Údaje o hluku na pracovních místech lze využít také jako podklad pro nepřímé zjištění hlukové zátěže exponovaných osob.

Měření hluku v pracovním prostoru se používá zejména tam, kde pracovníci převážnou část směny přecházejí a mění pracovní místa. V tomto případě se měří hluk obvyklým způsobem v určitém počtu měřicích míst charakteristických pro daný prostor. Doporučené metody měření a zpracování jsou podrobně uvedeny v Příloze č. 42 Vyhlášky č. 13/1977 Sb. Pokud pracující při pobytu mimo pracovní prostor nejsou vystaveni hladinám akustického tlaku  $A$  o více jak 10 dB vyšším než je hladina akustického tlaku  $A$  v pracovním prostoru, slouží tato měření také jako podklad pro nepřímé určení hlukové zátěže pracujících.

## **4.2 Hluk ve venkovním prostředí a ve stavbách pro bydlení**

Při měření imisních hodnot v mimopracovním prostředí existují dvě hlavní lokality, kde se provádí hodnocení akustického klimatu:

- venkovní prostředí
- prostředí uvnitř budov.

Při měření hluku ve venkovním prostoru např. mezi obytnými budovami, v parcích apod. se měří na jednom nebo několika místech a to vždy tam, kde se zdržuje nejdéle největší počet lidí, nebo v místech, kde jsou lidé nejvíce obtěžováni hlukem, a nebo v místech, která jsou rozhodující pro šíření hluku do chráněného prostoru. Je-li rozdíl hladin akustického tlaku  $A$  mezi sousedícími měřicími místy větší jak 5 dB, je třeba počet měřicích míst zvýšit. Při hodnocení hlukové situace obytných budov je rozhodující místo před fasádou budovy, v níž jsou okna obytných místností. Měřicí mikrofon upevněný na nekmitající tyči se umístí před zavřená okna v příslušném podlaží budovy ve vzdálenosti 2 m od fasády směrem ven z budovy kolmo na obvodový

plášť tak, aby osa nejvyšší citlivosti směřovala k hlavnímu zdroji hluku. Je-li zdrojem hluku hluk z leteckého provozu, volí se měřící místa minimálně 2 m od obvodových stěn objektů a mikrofon ve výšce nejméně 1,5 m nad povrchem okolí se orientuje tak, aby hlavní osa citlivosti mikrofonu byla vertikální a směřovala vzhůru.

Při měření hluku uvnitř budovy se rozlišuje měření obytných místnostech bytů a měření v budovách sloužících k ubytování osob nebo v budovách občanského vybavení. V obytných místnostech bytů se provádí měření zpravidla ve středu místnosti ve vzdálenosti nejméně 1,5 m od okna a 1 m od stěn. V ostatních budovách se volí měřící místo tam, kde se zdržuje největší počet lidí nebo tam, kde při předběžném měření byla zjištěna největší hladina akustického tlaku A. Liší-li se hladina akustického tlaku A na sousedních místech o více jak 5 dB, je třeba provést měření a vyhodnocení na větším počtu měřících míst. Výška mikrofonu se volí v obvyklých případech 1,2 a 1,5 m nad podlahou. Okna i dveře v měřených místnostech musí být zavřeny a musí být zamezeno vzniku hluku z činnosti osob zde bydlících.

Pro všechna měření ustáleného a proměnného hluku je z hlediska posuzování jeho vlivu na zdraví předepsáno měření při dynamice měřidla F (Fast). Při měření impulsního hluku je předepsána dynamika měřidla I (Impulse). Hodnotící veličiny a jejich maximální přípustné hodnoty jsou stanoveny podle toho, zda hluk proniká do budovy zvenčí nebo zda je hodnocen hluk šířící se ze zdrojů uvnitř budovy.

Je-li příčinou hluku v místnosti nebo budově hluk pronikající z venkovního prostředí, je třeba provést vždy buď současné měření vnějšího hluku nebo není-li možné provést současná měření, provede se měření venkovního hluku za přibližně stejných hlukových podmínek.

### **4.3 Faktory ovlivňující výběr metod měření akustických imisí a zpracování výsledků**

Přesnost měření a hodnocení hlukové situace

Přesnost měření akustických imisí a jejich hodnocení závisí na použitém způsobu měření a množství získaných údajů. Byly zavedeny tři třídy přesnosti měření:

- Speciální (podrobná) měření, I. třída přesnosti, slouží k hodnocení hluku ve zvláštních případech. Tato měření vyžadují použití zvukoměrů a měřících řetězců 1. a 2. třídy přesnosti s pásmovými filtry umožňující podrobnou frekvenční a

časovou analýzu hluku. (Výsledek měření se od skutečné hodnoty liší o méně jak 0,5 dB).

- Běžná (kontrolní) měření, II. třída přesnosti, se užívají k získání podrobnějších informací o hluku, eventuelně k porovnání výsledků měření s hygienickými předpisy. Používají se přesné zvukoměry s pásovými filtry, zařízení pro měření ekvivalentních hladin apod. (Výsledek měření se od skutečné hodnoty liší o méně než 2 dB).
- Přehledová měření, III. třída přesnosti, slouží k získání základních informací o hluku v místech pobytu lidí. Měří se jednoduchými postupy bez složitějších vyhodnocování. Je možné použít např. zvukoměru s oktávovými filtry. (Výsledek získaný přehledovým měřením se od skutečné hodnoty liší o méně jak 5 dB).

#### Doba a délka měření

Významnou roli při hodnocení akustických imisí jak v pracovním tak mimopracovním prostředí má volba doby a délky měření. Měření se provádí vždy v době, která je typická pro hlukovou situaci v dané lokalitě. Délka měření se volí v závislosti na povaze hluku a na požadované přesnosti.

V pracovním prostředí při podrobném měření ustáleného hluku se měří všechny veličiny hodnotící akustické imise desetkrát v intervalech rovnoměrně rozložených v průběhu směny, při běžném měření ustáleného hluku se měří alespoň desetkrát hladina  $L_{Aeq,T}$  a třikrát hladina  $L_{p,\Delta f}$  a při přehledovém měření ustáleného hluku alespoň třikrát  $L_{Aeq,T}$ . Při podrobném měření proměnného hluku se doporučuje opakovat v průběhu směny expozici hluku pětkrát, pro běžná měření třikrát a přehledová měření jedenkrát. Přitom celková doba měření, tj. součet dob trvání měřících intervalů, musí být při podrobném měření nejméně 10 % doby trvání směny, při běžném měření 3 % a přehledovém měření 1 % doby trvání směny. Údaje musí být doplněny dobou pobytu pracovníků na jednotlivých pracovních místech nebo v pracovních prostorech.

V mimopracovním prostředí se volí doba měření tak, aby odpovídala průměrné situaci. V místech, kde je rozhodujícím zdrojem hluku silniční doprava, volí se měření zpravidla v době mezi 7. a 14. hodinou. Délka časového intervalu je závislá na hustotě dopravy. Při intenzivním provozu se zpravidla volí časový interval 10 minut, při malém počtu projíždějících vozidel 20 minut a déle. V době měření musí projet minimálně 50 vozidel a být zastoupeny všechny druhy dopravních prostředků, které se v dané lokalitě vyskytují.

Měření hluku z leteckého provozu se provádí 24 hodin zpravidla v charakteristickém dni, který je základem pro vyhodnocení měření, přičemž za charakteristický den se považuje takový den, v němž letecký provoz dosahuje tzv. směrodatné hustoty.

#### Povaha hluku

Podle časového průběhu hladin akustického tlaku A,  $L_{pA}$ , lze rozdělit hluk na:

- ustálený
- proměnný: - neimpulsního charakteru
  - impulsního charakteru (s opakovací frekvencí menší než 20 Hz nebo větší než 20 Hz)

V případě ustáleného hluku se hladina akustického tlaku A mění nejvýše v rozmezí 5 dB. Ustálený hluk trvá dlouhodobě v porovnání s intervalem měření a doba jeho trvání je porovnatelná s délkou pracovní doby, délkou pobytu osob v uvažovaném prostoru, časovým úsekem dne apod.

Za proměnný se považuje hluk, jehož hladina akustického tlaku A se ve všech naznačených časových úsecích mění opakovaně v rozmezí větším než 5 dB. Kolísavý hluk se vyznačuje pozvolnými a plynulými změnami, přerušovaný hluk náhlými a výraznými změnami.

Zjištění, zda jde o hluk ustálený nebo proměnný, se provádí měřením průběhu  $L_{pA}$  v čase při dynamické charakteristice F (Fast). Rozčlenění hladin akustického tlaku A v čase se nejnázne zjistí čtením na zvukoměru v intervalech přiměřených změnám hladin, nebo přesněji časový, záznamem  $L_{pA}$ .

Zjištění, zda jde o hluk oklusního charakteru, se provede srovnáním měření hladiny akustického tlaku A,  $L_{AI}$  při časové konstantě I (Impulse) a  $L_{AS}$  při časové konstantě S. Je-li rozdíl mezi naměřenými hodnotami větší než 5 dB, považuje se hluk za impulsní. Ukáže-li měření, že jde o hluk impulsní, určí se současně, zda je opakovací frekvence větší nebo menší než 20 Hz.

Z hlediska kmitočtového složení lze ustálený hluk rozdělit na hluk:

- se spojitým spektrem
- se smíšeným spektrem: - s převažující spojitou částí
  - s převažujícími diskrétními složkami

- tónového charakteru
- vysokofrekvenční

Kmitočtové složení ustáleného hluku se spojitým nebo smíšeným spektrem s převažující spojitou částí je dostatečně charakterizováno hladinou akustického tlaku v oktávových pásmech. Spektrum s převažujícími diskrétními složkami se zjišťuje úzkopásmovými analyzátory se šířkou pásma nejvýše 1/3 oktávy.

Zejména při posuzování hluku na pracovištích s náročnější duševní prací je třeba znát, zda hluk má tónový charakter či nikoliv. Tónový charakter hluku lze zjistit subjektivním posouzením (zkušení experimentátoři) nebo přesněji pomocí úzkopásmové frekvenční analýzy. Tónovost hluku se projeví výraznými čárovými složkami, jejichž kmitočty jsou celistvým násobkem základního kmitočtu a jejichž hladiny akustického tlaku jsou o více než 5 dB vyšší než v sousedních kmitočtových pásmech. Hluk s výraznými složkami v oblasti kmitočtů vyšších než 8 kHz se označuje jako vysokofrekvenční.

#### Hluk pozadí

Za hluk pozadí se považuje údaj na zvukoměru, který není vyvolán měřeným hlukem. Výsledky měření a hodnocení budou tím spolehlivější, čím bude větší odstup měřeného hluku od hluku pozadí. Nemůže-li se během měření pozadí zcela vyloučit zdroj hluku (např. při měření hlukové charakteristiky silniční komunikace), považuje se za hluk pozadí procentní (distribuční) hladinu akustického tlaku  $L_{A,99}$ .

Hluk pozadí je třeba měřit před vlastním měřením hluku na stejných měřících místech a ve stejných veličinách jako měřený hluk. Je-li rozdíl mezi naměřeným hlukem a hlukem pozadí větší než 10 dB, neovlivňuje hluk pozadí měřenou hodnotu. Je-li zjištěný rozdíl od 4 dB do 6 dB, odečtou se od změřených hladin hluku 2 dB, je-li rozdíl od 6 do 9 dB, odečte se od změřených hladin hluku 1 dB. Zjistí-li se hluk pozadí o méně než 4 dB nižší než měřený hluk, nelze měření hodnotit. V tomto případě je nutné měření opakovat, ale zajistit přitom takové podmínky, aby rozdíl hladiny měřeného hluku a hladiny pozadí byl větší než 4 dB.

#### Fyzikální vlastnosti prostředí

Výsledky měření hlukové situace, zvláště ve venkovním prostředí, mohou být ovlivněny řadou fyzikálních faktorů, které je třeba brát v úvahu při zpracování výsledků měření.

Každé měření hluku ve venkovním prostoru musí být doplněno nejméně měřením rychlosti proudění vzduchu a měřením teploty. Při rychlostech větru  $3 \text{ ms}^{-1}$  až  $5 \text{ ms}^{-1}$  je třeba provádět korekce naměřených hodnot s ohledem na rychlost proudění vzduchu a na druh použitého krytu stanované výrobcem přístroje. Při rychlostech větru nad  $5 \text{ ms}^{-1}$  nelze měření provádět. Je-li rychlost větru do  $3 \text{ ms}^{-1}$ , užiije se kryt proti větru, který prakticky neovlivní vlastnosti měřících mikrofonů.

Dále je třeba zabezpečit, aby měřící mikrofon nebyl při měření vystaven otřesům, vibracím, magnetickým nebo elektrickým polím, nadměrné teplotě nebo chladu, nadměrné vlhkosti nebo jiným vlivům, které by ovlivnily vlastnosti měřícího mikrofonu a tím znehodnotily měřené hodnoty. Výrobce mikrofonu deklaruje zpravidla povolený rozsah fyzikálních vlivů a uvádí jej v technické dokumentaci.

#### **4.4 Omezování imisí hluku**

K ochraně před nepříznivými účinky hluku v místech pobytu osob se musí provádět technická, organizační a další opatření k tomu, aby na těchto místech byl omezen hluk na nejmenší možnou míru, zvláště pak aby nebyly překročeny nejvyšší přípustné hodnoty stanovené Vyhláškou č. 13/1977 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Podle této vyhlášky jsou občané i organizace povinni zabezpečit, aby se při provozu zařízení i při konání jiných činností, při nichž může vznikat hluk, zamezilo vzniku a šíření hluku. Zejména v noční době (od 22 hodin do 6 hodin) musí být omezena hlučnost projevu osob ve všech místech jejich pobytu. Reprodukční zařízení (hudební nástroje, rozhlasové a televizní přijímače) mohou být používána jen takovým způsobem, aby nezúčastněné osoby nebyly rušeny. Ve veřejných dopravních prostředcích je dovoleno používat reprodukční zařízení jen tehdy, pokud hladina akustického tlaku  $A$  uvnitř dopravního prostředku nepřesahuje nejvyšší přípustné hodnoty. Při územním plánování je nutné dbát na to, aby před hlukem byly chráněny stavby pro bydlení a stavby občanského vybavení, zejména zdravotnická zařízení, vědecká pracoviště, školy a jiná společenská zařízení. Organizace jsou povinny zajišťovat provoz závodů, letišť a pozemních komunikací tak, aby nebyly překročeny hladiny hluku, podle nichž bylo rozhodnuto o urbanistickém řešení a využití území. Pokud nelze technickými ani organizačními prostředky zabezpečit, že nebudou překračovány nejvyšší přípustné hodnoty hluku na pracovních místech, musí organizace poskytnout osobní ochranné pomůcky k ochraně sluchu a pracovníci jsou povinni těchto

prostředků na pracovištích používat. Další náhradní opatření ke zmírnění škodlivých vlivů hluku mohou uložit organizaci orgány hygienické služby.

## **5. Měření hluku**

### **5.1 Měřicí prostory a měřicí přístroje**

Existuje celá řada metod měření hluku od jednoduchého určování hladiny akustického tlaku přes měření ekvivalentních a statistických hodnot až po frekvenční analýzy signálů a speciální měření např. pro určení akustického výkonu zařízení nebo výrobku. Volba přístupu a metod závisí na případech, které se řeší a na složitosti problému hluku, které tyto případy provázejí.

#### **5.1.1 Speciální měřicí prostory – komory**

Pro účely akustických měření je nezbytné zajistit a definovat vlastnosti zvukového pole. Pro laboratorní účely se proto volí uměle vytvořené prostory – komory, u kterých jsou známy veškeré akustické vlastnosti:

##### *Bezdozvukové komory*

Slouží pro měření, která mají být prováděna ve volném zvukovém poli. V těchto podmínkách bývá dosahováno nejpřesnějších výsledků určování akustického výkonu. Stěny, strop i podlaha v bezdozvukových komorách jsou pokryty zvukopohltivým materiálem, prakticky vylučujícím odraz zvukových vln. Dalším velmi podstatným parametrem těchto komor je jejich objem, který přímo určuje pro jak velké stroje, či výrobky může být komora použita. Tyto komory jsou však velmi nákladným celkem. V praxi existuje řada měření, která z důvodu rozměrnosti a hmotnosti měřeného zařízení není možno provádět v bezdozvukové komoře. Tyto situace se řeší měřením v prostorách částečně upravených – v komorách, které mají odrazivou podlahu tzv. polobezdozvukové komory.

##### *Dozvukové komory*

Jsou pravým opakem komor bezdozvukových. Jejich vnitřní plochy jsou záměrně neparalelní, s hladkou a tvrdou povrchovou úpravou, tedy s co nejlepší odrazivostí v co

největším frekvenčním rozsahu. Také u těchto komor je podstatnou vlastností jejich objem. Zvukové pole v dozvukových komorách se nazývá difúzním a je charakterizováno rovnoměrným rozložením zvukové energie ve všech bodech akustického pole. Náklady na zřízení těchto komor jsou podstatně nižší, než u stejně velkých komor bezdozvukových.

### *Běžné místnosti v akustické praxi*

Naprostá většina praktických měření se provádí v místnostech, které nejsou ani dozvukové ani bezdozvukové, ale z hlediska akustických parametrů se nacházejí někde uprostřed mezi oběma extrémů. V takových místnostech je obtížné určit měřicí místo v případě, kdy je nutno měřit zvuk, vyzařovaný určitým zdrojem. Naproti tomu při měřeních, spojených s hodnocením životního, či pracovního prostředí a ochranou zdraví, běžné místnosti zpravidla nečiní zvláštní potíže

Při měření a hodnocení hluku, vyzařovaného jednotlivými zdroji, je nutno dbát na vyloučení či omezení co největšího počtu možných metodických chyb. Hladiny měřené v příliš malé vzdálenosti od zdroje zvuku či hluku, se mohou výrazně lišit i při malých změnách polohy mikrofону zvukoměrného zařízení. Tato situace nastává při měření ve vzdálenosti menší, než délka vlny vyzařované měřeným zdrojem složky s nejnižším kmitočtem a také ve vzdálenosti menší, než zdvojnásobený největší rozměr zkoumaného zdroje zvuku, přičemž je vždy nutno brát v úvahu větší z obou uvedených vzdáleností. V praxi při měření akustického tlaku se nedoporučuje měření v blízkém zvukovém poli zdrojů zvuku a hluku.

Měření ve velké vzdálenosti od zdroje zvuku či hluku také nevylučuje metodické chyby. Jejich příčinami mohou být odrazy zvukových vln, přičemž amplituda odraženému zvuku může být stejná jako amplituda zvuku šířícího se přímo. Tato část tzv. vzdáleného pole se nazývá polem dozvukovým. Mezi blízkými a dozvukovým polem se nachází pole volné. Veškerá měření, s výjimkou speciálních případů a měření intenzity, by měla být prováděna právě v této oblasti volného zvukového pole. Mnohonásobné odrazy a malé rozměry místnosti mohou znamenat prakticky nemožnost dosažení této oblasti a v takových případech je nutnost zavedení korekcí (definovaných normou), které odpovídají vlastnostem měřícího prostoru a přítomnosti odražených zvukových vln.



### **5.1.2 Generátory akustických signálů**

Generátory akustických signálů jsou používány při různých měřeních s použitím zdroje zvuku se známými akustickými parametry. Jedná se o měření akustického výkonu strojů porovnávací metodou, zvukoizolačních vlastností materiálů, zjišťování dozvuku místnosti atd.

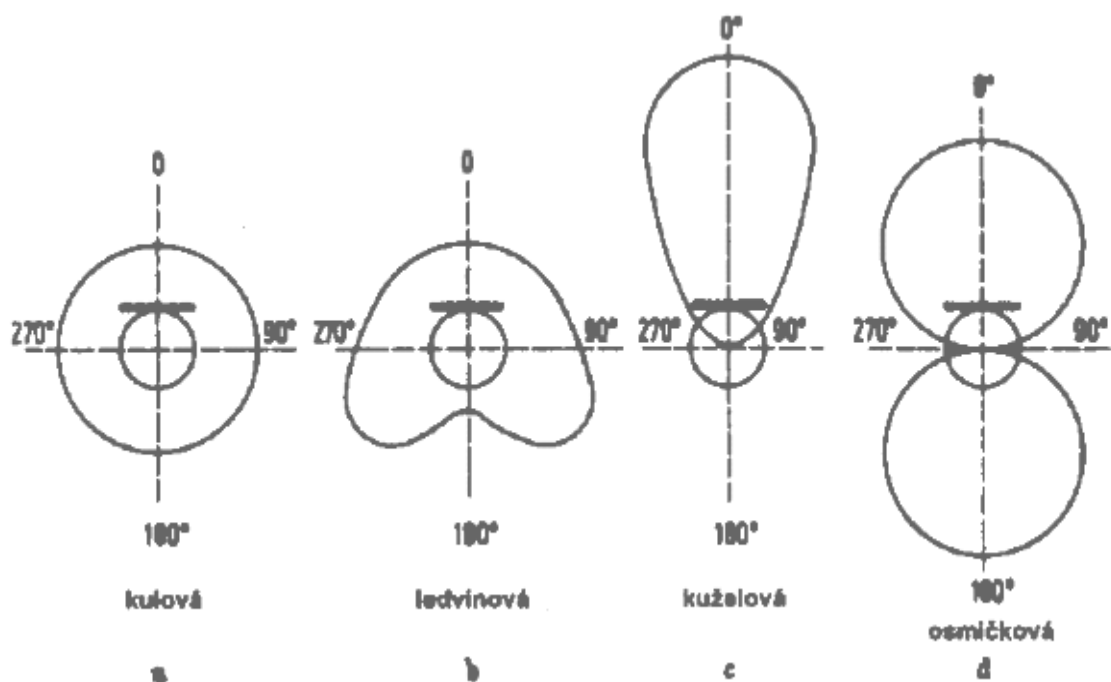
Zdroje zvuku akustického výkonu jsou vyráběny na základě různých principů. Běžné jsou reproduktorové soustavy, které jsou nejobvyklejší při měřeních ve stavební akustice. Dalším zdrojem zvuku bývají konstruovány jako speciální odstředivé ventilátory poháněné výkonným elektromotorem se setrvačnickovým rotorem zajišťujícím velmi stabilní otáčky. Celý agregát je konstrukčně upraven tak, aby co nejméně svým povrchem narušoval akustické pole, které vytváří. Zdroje akustického výkonu bývají řešeny jako pár speciálních reproduktorů křížově zapojených a pracujících.

Všechny zdroje zvuku a akustického výkonu jsou řízeny výkonovou jednotkou, která je buď kompaktně zabudována zpravidla do reproduktorových skříní nebo je samostatnou částí generátorových systémů. Tyto řídicí jednotky umožňují generovat různé typy signálů.

## **5.2 Mikrofony**

### **5.2.1 Směrová charakteristika**

Směrová charakteristika je závislost citlivosti mikrofону na úhlu, který svírá akustická osa mikrofónu s osou akustického zdroje. Jak již bylo řečeno, tlakové mikrofony jsou všesměrové - mají kulovou směrovou charakteristiku. Gradientní mikrofony jsou směrové. Podle konstrukce mohou mít kulovou, ledvinovou, kuželovou a osmičkovou charakteristiku. Směrová charakteristika může být závislá na kmitočtu.



**Obr. 6: Směrová charakteristika mikrofonů**

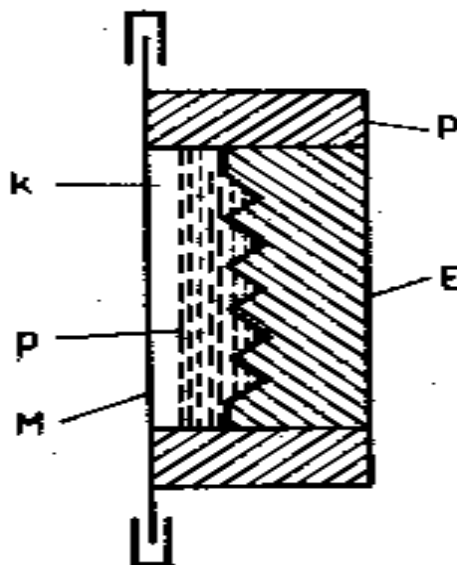
### 5.2.2 Rozdělení mikrofonů

Mikrofony se rozdělují podle různých kritérií. Např. podle druhu akustického přijímače (tlakové, gradientní, vlnové) nebo podle směrové charakteristiky, či druhu mechanického systému (membránové, bezmembránové) atd. Dále se mohou mikrofony dělit podle druhu elektromechanického měniče:

- Uhlíkové
- Elektrodynamické
- Elektrostatické
- Elektromagnetické
- Elektretové
- Piezoelektrické

### 5.2.2.1 Uhlíkové mikrofony

Uhlíkové mikrofony pracují na principu změny přechodového odporu uhlíkových zrnků, jimiž prochází stejnosměrný napájecí proud.



Obr. 7: Uhlíkový mikrofon

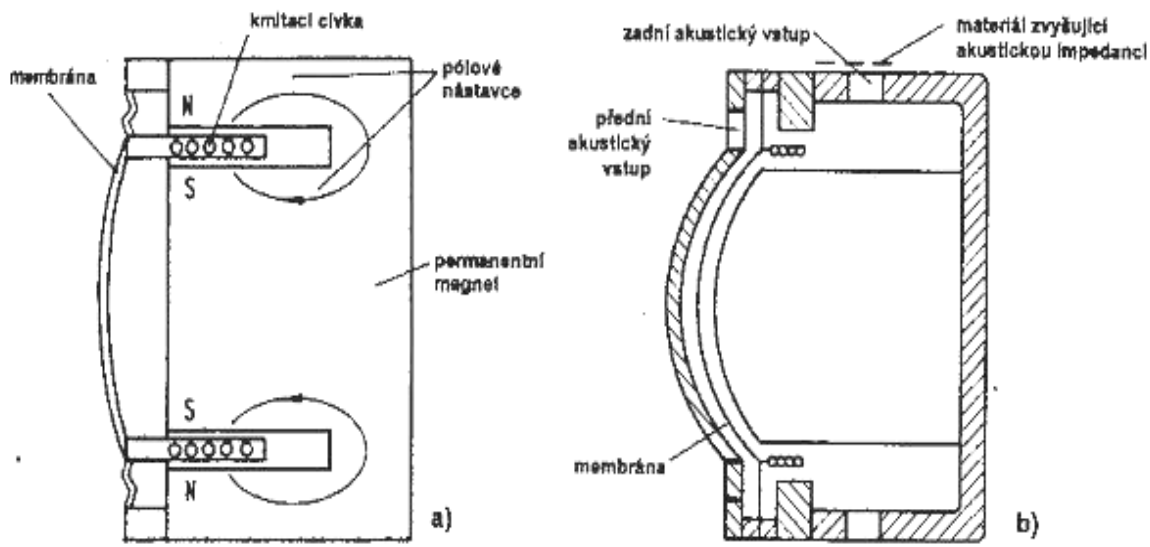
- M – membrána
- E – pevná uhlíková elektroda
- p – uhlíková zrnka
- PK – plstěný kroužek

Plstěný kroužek s pevnou uhlíkovou elektrodou tvoří tzv. uhlíkovou komoru vyplněnou z 85 % uhlíkovými zrnky. Stejnosměrný proud se přivádí jedním pólem k pevné elektrodě a druhým k membráně. Zvukové vlny, dopadající na plochu membrány, ji rozkmitají tak, že stlačuje uhlíkový prach, jehož přechodový odpor se mění v rytmu kmitání membrány. Tak se moduluje klidový stejnosměrný napájecí proud. Střídavá složka napájecího proudu je vlastní hovorový proud. Nevýhodou uhlíkového mikrofonu je jeho velké zkreslení a nestabilní přenosové vlastnosti. Výhodný je tím, že umožňuje přenášet velký výkon (až 1 mW) na poměrně velké vzdálenosti bez zařazení zesilovačů, má jednoduchou konstrukci a tím i nízkou cenu.

### 5.2.2.2 Elektrodynamické mikrofony

S elektrodynamickými mikrofony se v praxi lze setkat velmi často. Vyznačují se širokým kmitočtovým pásmem, malým zkreslením, nízkým šumem a robustní konstrukcí. Elektrodynamický mikrofon může být s membránou anebo bez ní (páskový). Je-li membrána použita, je s ní spojena kmitací cívka, která se v rytmu změn akustického tlaku pohybuje v magnetickém poli permanentního magnetu. Pohybem cívky v magnetickém poli se v ní indukuje napětí úměrné rychlosti změny akustického tlaku. U páskových mikrofonů je membrána s cívkou nahrazena příčně zvlněnou hliníkovou fólií ve tvaru pásku. Pásek je rozechvíván změnami akustického tlaku a přímo v něm se indukuje nízkofrekvenční elektrický signál.

Elektrodynamické mikrofony mohou být tlakové nebo gradientní. Snímací prvek zůstává stejný, mění se jen mechanická konstrukce. U gradientních mikrofonů se akustický tlak přivádí i na zadní stranu membrány (resp. pásku). Dynamické mikrofony jsou nízkaimpedanční se jmenovitou impedancí 200 Ohmů. Jejich citlivost bývá kolem 1,5 mV/Pa. Kvalitní výrobky uspokojivě přenášejí signály v rozsahu 30 Hz-15 kHz, při zkreslení menším než 0,5 %.



Obr. 8: Elektrodynamický mikrofon

### 5.2.2.3 Elektrostatické mikrofony

Elektrostatický mikrofon je často nesprávně označován jako kondenzátorový.

V elektrostatickém mikrofonu tvoří membrána, zachycující dopad zvukového vlnění, jednu desku deskového kondenzátoru (s kapacitou 30 – 100 pF), v němž se kumuluje elektrický náboj. Druhou část kondenzátoru, k němuž je připojeno stejnosměrné polarizované napětí (30 – 200 V), tvoří pevná elektroda. Změny akustického tlaku rozehvívají membránu, čímž se mění vzdálenost desek kondenzátoru a tedy i jeho kapacita. Zajistí-li se, aby se náboj při změně kapacity kondenzátoru nemohl rychle vyrovnávat, potom se při zmenšení kapacity kondenzátoru (zvětšení vzdálenosti membrány od pevné elektrody) zvětší napětí na kondenzátoru (považuje-li se náboj za konstantní). Požadavek pomalého vyrovnávání náboje při změně kapacity je zajištěn pomocí rezistoru, který zvýší vnitřní odpor zdroje polarizačního napětí.

Náboj na kondenzátoru je možné získat buď pomocí zdroje stejnosměrného polarizovaného napětí, nebo pomocí tzv. elektretu - dielektrický materiál nesoucí permanentní elektrický náboj. Tento materiál je nanesen na jednu elektrodu a proto není zapotřebí zdroj polarizačního napětí.

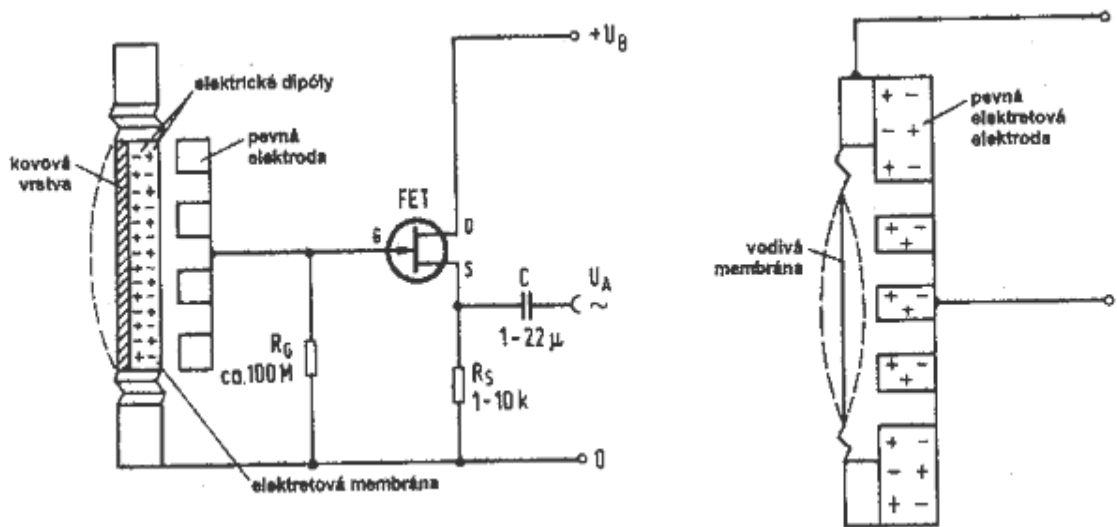
Elektrostatické mikrofony se vyznačují velkou výstupní impedancí, vyrovnanou frekvenční charakteristikou, vysokou citlivostí, malým zkreslením a vysokou stabilitou svých vlastností. Proto se používají ve studiové technice a pro měřicí účely.

#### **5.2.2.4 Elektromagnetické mikrofony**

Elektromagnetické mikrofony pracují na stejném fyzikálním principu jako elektrodynamické mikrofony. U těchto mikrofonů je snímací cívka pevná. Není tedy spojena s membránou. Pohyb chvějky, která je s membránou spojena, případně přímo membrány, mění magnetický tok cívkou a tím v ní indukuje nízkofrekvenční signál. Elektromagnetické mikrofony se vyznačují malými rozměry a nízkou cenou, ale také omezeným kmitočtovým rozsahem (300-3400 Hz). Jsou vhodné jen pro přenos řeči.

#### **5.2.2.5 Elektretové mikrofony**

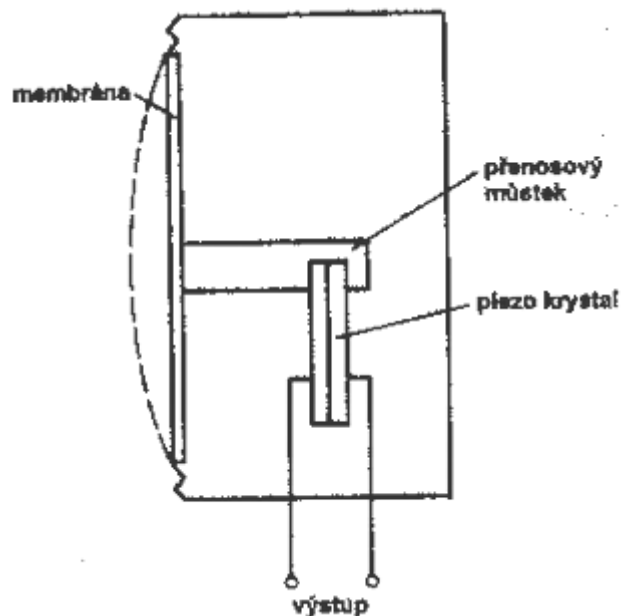
Kromě elektrostatických mikrofonů s polarizačním napětím se používají i elektrostatické mikrofony elektretové. U těchto mikrofonů je jedna elektroda opatřena vrstvou elektretu. Elektret je dielektrický materiál nesoucí permanentní elektrický náboj. Není tedy potřebný zdroj polarizačního napětí.



Obr. 9: Elektretový mikrofon

### 5.2.2.6 Piezoelektrické mikrofony

Tyto mikrofony využívají piezoelektrického jevu. U některých látek vzniká při mechanickém namáhání tlakem nebo ohybem elektrický náboj, který se snímá elektrodami. Piezoelektrické mikrofony mají poměrně velkou impedanci ( vnitřní kapacita kolem 1 nF) a citlivost 1-3 mV/Pa.



Obr. 10: Piezoelektrický mikrofon

### 5.2.2.7 Mikrofonní předzesilovače a zesilovače

Mikrofonní předzesilovače jsou obvykle velmi malé kompaktní konstrukce tvořící rukověť mikrofonu. Součástí předzesilovače je tedy i kabel osazený mikrokonektory. Elektronicky tvoří předzesilovače kapacitní měřící můstek s kondenzátorem mikrofonní vložky.

Podstatnou vlastností předzesilovačů je jeho fázová linearita, což je konstruováno pro získání optimální fázové charakteristiky při měření intenzity. Navíc tyto předzesilovače nabízejí velmi plochou amplitudovou odezvu na nízkých frekvencích, což zabraňuje přírůstkovým špičkám při nízkofrekvenčních měřeních.

Další částí měřicího řetězce bývá vlastní zesilovač. Tyto jednotky bývají nejrůznější konstrukce, včetně variant se zabudovanými pásmovými propustmi a filtry.

Speciálním nasazením mikrofonních zesilovačů je jejich kompaktní spojení s měřicími magnetofony. Tato varianta je používána pro nejrůznější měření v terénních podmínkách nebo obecně pro případy nutnosti záznamu velkých objemů dat. S rozvojem a použitím moderní měřicí techniky se začíná v běžných případech ustupovat od použití měřicích magnetofonů. Přesto existuje velký prostor pro jejich využití právě pro jejich stále významně menší rozměry a hmotnost v poměru k počtu kanálů a množství zaznamenávaných dat.

## 5.3 Měřicí přístroje a analyzátory

Pro oblast měření a analýzy zvuku a hluku existuje celá řada měřicích přístrojů a analyzátorů, které lze při jistém zjednodušení rozdělit do tří skupin:

1. Zvukoměry a zvukoměrné analyzátory a speciální přístroje a systémy
2. Přenosné analyzátory
3. Laboratorní analyzátory a multianalyzátory

Velkou a velmi důležitou oblastí je měření hluku pro posouzení jeho vlivu na člověka a životní prostředí. Základními měřicími přístroji pro tuto oblast jsou zvukoměry. Jejich konstrukce odpovídá dohodnutým mezinárodním standardům. Přesné integrační zvukoměry jsou vybaveny možností měření základních akustických veličin, možností měření s vestavěným přepínatelným oktávovým filtrem a možností přenosu

dat na PC do programu umožňujícím další evidenci naměřených dat a jejich organizaci do databáze.

Dále v oblasti hodnocení hluku existují speciální přístroje jako osobní hlukoměrné dozimetry a dále celé měřicí systémy pro monitorování hlukové zátěže používané např. na letištích, městech apod.

### 5.3.1 Intenzitní sonda

Pro měření intenzity zvuku párem mikrofonů byla vyvinuta intenzitní sonda, která je tvořena právě dvojicí mikrofonů a předzesilovačů umístěných ve speciálním přípravku tvořeným dvěma konzolkami. Mezi mikrofony je pevná distanční vložka pro zajištění jejich požadované vzdálenosti



**Obr. 11: Intenzitní sonda**

Nedílnou součástí intenzitní sondy již bývá dálkové ovládání zamontované do rukověti, kde bývá zároveň základní indikace funkce a přebuzení při měření. Takové uspořádání umožňuje ovládání celého měření z místa intenzitní sondy, což je velmi výhodné zvláště při větších rozměrech měřeného objektu. Konstrukce intenzitní sondy umožňuje také uspořádání mikrofonního páru vedle sebe, což však není příliš vhodné řešení z hlediska přesnosti a opakovatelnosti měření. Výhodou tohoto uspořádání je velmi precizní umístění mikrofonů v měřicím zvukovém poli vzhledem k jeho ovlivňování intenzitní sondou a shodnost umístění kompenzačních otvorů, a tedy ideální shodnost této kompenzace pro oba mikrofonní kanály. Běžné a praktické je z hlediska měření v provozu bývá uspořádání mikrofonů proti sobě.

Je nezbytné se zmínit o zvláštích kalibrace intenzitní sondy. Kalibrace na akustický tlak jednotlivých mikrofonů se nijak neliší od běžných postupů. U intenzivní



sondy je však nutné ověření základních parametrů jako P-I index, intenzita zvuku a rychlost částic. Tyto parametry jsou kontrolovány pomocí speciálního přípravku a zdrojem bílého šumu. Celá metodika je vždy přesně popsána jako součást kalibrátoru intenzity. Řada zavedených norem pro určování akustického výkonu metodu měření intenzity zvuku vždy vyžaduje tuto speciální kalibraci, a tak kalibrátor intenzity je většinou neodmyslitelnou součástí výbavy pro taková měření

### 5.3.2 Kalibrace

Kalibrace mikrofonních vložek je prováděna při výrobě a za normálních podmínek má trvalou platnost. Kalibrace je v tomto případě ověřování elektrických vlastností konkrétního měřícího řetězce.

Kalibrační metody mohou být rozděleny do dvou skupin: Laboratorní metody a metody kalibrace před měřením přímo v podmínkách provádění měření. Laboratorní metody jsou vesměs záležitosti výrobce a specializovaných pracovišť a pro běžné uživatele má podstatně větší význam znalost možnosti ověření kvality používaného mikrofonu přímo v podmínkách prováděného měření.

Nejobvyklejší technikou provozní kalibrace je použití kalibrátoru akustického tlaku. Jeho funkce je založena na použití budící membrány – kondenzátorového mikrofonu, speciálně vyvinutého pro tento účel. Další možností je použití pistofonu. Funkce pistofonu je odvozena od pohybu pístu s kmitočtem 250 Hz vyvolující akustický tlak 124 dB.

Pistofon je také součástí kalibrátoru – kalibrační soustavy – pro kalibraci intenzitní sondy. Vznik této soupravy byl podmíněn potřebou ověřit vlastnosti a základní dynamické parametry intenzitní sondy. Souprava sestává z pistofonu, zdroje bílého šumu a speciální komůrky, která modeluje volné a difúzní akustické pole. Součástí sady je kalibrační barometr pro odečet aktuálního akustického tlaku a tím daných korekcí. Použití kalibrátoru intenzitní sondy je přesně dáno návodem a většinou bývá ošetřeno i normami.

Mimo uvedené příklady existují i další metody provozní kalibrace – ověřování mikrofonů:

### *Měření referenčního napětí mikrofonních zesilovačů*

Měřicí zesilovače a analyzátory mají vestavěné referenční napětí (obvykle 50 mV na frekvenci 1 kHz). Tohoto napětí se využívá k porovnání minimální citlivosti mikrofonní vložky. Pro tyto účely se uvádí na každém kalibračním listě K-faktor vyjadřující rozdíl mezi referenční citlivostí a citlivostí mikrofonu při otevřeném obvodu.

### *Kalibrace vloženým napětím*

Porovnávací metoda založená na měření výstupní odezvy mikrofonu (měřícího řetězce) při vybuzení kalibrátorem – zdrojem akustického tlaku – a po přivedení napětí do série s mikrofonním kondenzátorem.

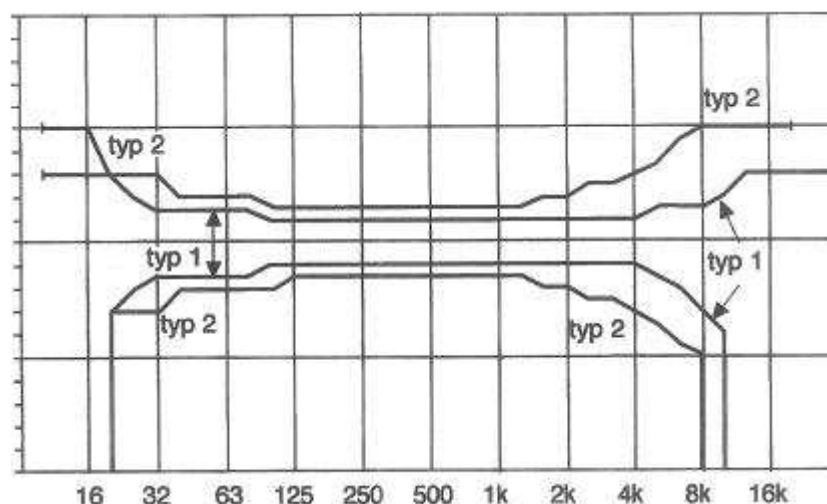
### *Kalibrace elektrostatickým aktuátorem*

Kalibrační vybuzení je provedeno nikoli zdrojem zvuku, ale vychýlením membrány mikrofonu elektrostatickým polem. Toto je realizováno přiblížením pevné kovové desky do těsné blízkosti membrány a přivedením napětím na desku, resp. mezi takto vzniklé elektrody. Jedná se o velmi přesný test, kdy je podstatně jednodušší vyvinout adekvátní vybuzení mikrofonu, než realizovat zvukový signál.

## **5.3.3 Filtry**

Hlukoměrná technika není již představitelná bez filtrů, ať již váhových, upravujících integrální kmitočtovou charakteristiku v celém kmitočtovém rozsahu, nebo bez použití selektivních či pásmových propustí.

Váhové křivky se staly nedílnou součástí zvukoměrů, ale dnes se uvažuje vedle lineárního průběhu již pouze váhový filtr A a nejvýše ještě filtr C. Jejich průběh je mezinárodně definován v rozsahu kmitočtů 10 až 20 000 Hz. Filtry B i D ztratily svůj význam. Pro měření jsou důležité přípustné odchylky od normálního průběhu, tj. možné chyby měření. Tolerance průběhu kmitočtové charakteristiky u zvukoměru jako celku jsou na Obr. 12 ve dvou mezinárodně normovaných třídách přesnosti (ČSN IEC 651) a dávají informaci jaká chyba by mohla při měření z tohoto důvodu nastat.



**Obr. 12: Toleranční pole dvou kvalitativních tříd zvukoměrů podle mezinárodního doporučení ČSN IEC 651**

Podrobnější hlukoměrná měření vyžadují hodnocení v určitých kmitočtových pásmech. Běžně se používají pásmové filtry oktávové a třetinooktávové. Proti jmenovitému kmitočtu  $f_n$  platí pro hraniční kmitočty oktávových filtrů:

horní:  $f_{hor} = 1,415 \cdot f_n$ , dolní:  $f_{dol} = 0,707 \cdot f_n$

( $f_{hor} / f_n = f_n / f_{dol} = 2^{1/3}$ ,  $f_{hor} / f_{dol} = 2^{2/2} = 2$ )

pro pásmo třetinooktávové platí:

horní:  $f_{hor} = 1,26 \cdot f_n$ , dolní:  $f_{dol} = 0,709 \cdot f_n$

( $f_{hor} / f_n = f_n / f_{dol} = 2^{1/3}$ ,  $f_{hor} / f_{dol} = 2^{2/3} = 1,587$ )

Podobné vztahy platí i pro jiné filtry zlomů oktáv.

V pásmu propustnosti, kolem nominálního, jmenovitého (středního) kmitočtu  $f_n$  má mít pásmová propust o nejmenší zvlnění základního útlumu  $N$ , mimo pásmo propustnosti co největší útlum (ČSN EN 61260). Šířka přenášeného kmitočtového pásma mezi udávanými hraničními kmitočty je určena poklesem přenosové funkce o 3 dB proti základnímu útlumu. Pro určení odchylek možných od správné měřené hodnoty jsou na Obr. 13 udány tolerance útlumu pro určitý kmitočet.

Kmitočty pásmové propustí		Útlum [dB]
oktávové	třetinooktávové	
$f_n$ (= střední, jmenovitý)		$N_n$ (= základní)
0,84 · $f_n$ ... 1,19 · $f_n$	0,94 · $f_n$ ... 1,06 · $f_n$	$N_n + 1,0, -0,5$
0,71 · $f_n$ ... 1,41 · $f_n$	0,89 · $f_n$ ... 1,12 · $f_n$	$N_n + 6,0, -0,5$
$f_n \cdot 1/2$	0,79 · $f_n$ ... 1,26 · $f_n$	$\geq N_n + 13$
2,0 · $f_n$		$\geq N_n + 18$
$f_n \cdot 1/4$		$\geq N_n + 18$
4,0 · $f_n$		$\geq N_n + 40$
	$f_n \cdot 1/4$	$\geq N_n + 40$
	4,0 · $f_n$	$\geq N_n + 50$
$f_n \cdot 1/8$	$f_n \cdot 1/8$	$\geq N_n + 50$
8,0 · $f_n$	8,0 · $f_n$	$\geq N_n + 60$
		$\geq N_n + 60$

**Obr. 13: Předepsané útlumy  $N$  [dB] pásmových propustí**

Úzkopásmové propusti, analyzátoři a digitální filtry nejsou součástí zvukoměru a do nebo k měřicímu řetězci se připojují ke speciálním výstupům/vstupům.

## 5.4 Metody a přístroje měření hluku motorových vozidel

### 5.4.1 Měřicí přístroje

#### Akustická měření

- Zvukoměr nebo odpovídající systém měřících zařízení včetně krytu proti větru podle doporučení výrobce musí odpovídat alespoň požadavkům na přístroje typu 1 podle IEC 651, druhé vydání.
- Měří se za použití kmitočtové váhové křivky A a časové konstanty F.
- Pokud se použije systém, který zahrnuje periodické vzorkování hladiny akustického tlaku vážené váhovou křivkou A, je třeba, aby údaje byly zjišťovány v časových intervalech kratších než 30 ms.

#### Kalibrace

- Na počátku a na konci každé série měření se celý měřicí systém kalibruje zvukovým kalibrátorem, který splňuje požadavky na zvukové kalibrátory o třídě alespoň C1 podle IEC 942:1988. Bez dalšího seřizování nesmí být rozdíl mezi dvěma po sobě následujícími kalibracemi větší než 0,5 dB. Pokud je tato hodnota

překročena, výsledky měření získané po předchozí uspokojivé kalibraci se neberou v úvahu.

### **Splnění požadavků**

- Jednou ročně se musí ověřit, zda zvukový kalibrátor splňuje požadavky IEC 942:1988, a nejméně každé dva roky se musí ověřit, zda přístrojový systém splňuje požadavky IEC 651, druhé vydání; tyto skutečnosti musí ověřovat laboratoř, která je pověřená kalibrací podle odpovídajících norem.

### **5.4.2 Měření rychlosti**

- Otáčky motoru a rychlosti vozidla se měří přístroji s přesností  $\pm 2 \%$  a lepší.

### **Zařízení na měření meteorologických podmínek**

Zařízení na měření meteorologických podmínek užívané ke sledování podmínek okolního prostředí musí zahrnovat tato zařízení

- a) Zařízení pro měření teploty s přesností  $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- b) Zařízení pro měření rychlosti větru s přesností  $\pm 1 \text{ m/s}$ ;

## **5.5 Podmínky měření**

### **5.5.1 Místo**

Zkušební místo tvořící středový akcelerační úsek, obklopený zkušební plochou.

- Akcelerační úsek musí být rovinný; povrch dráhy musí být suchý a takový, aby hluk odvalování byl nízký.
- Zkušební dráha musí být taková, aby byly v rozsahu 1 dB dodrženy podmínky volného akustického pole mezi zdrojem zvuku a mikrofonem. Tato podmínka se považuje za splněnou, pokud se od středu akceleračního úseku nenalézají do vzdálenosti 50 m žádné velké objekty odrážející zvuk, jako jsou ohrady, skály, mosty nebo budovy. Povrch zkušebního místa musí vyhovovat ustanovení předpisu a nesmí na něm být prachový sníh, vysoká tráva, volná zemina nebo škvára. V blízkosti mikrofonu nesmí být žádné překážky, které by mohly mít vliv na akustické pole, a nikdo se nesmí nacházet mezi mikrofonem a zdrojem hluku.

Osoba, která měří, se nesmí nacházet na místě, ze kterého by ovlivňoval naměřené údaje.

- Nesmí se měřit za nepříznivých povětrnostních podmínek. Musí se zajistit, že výsledky nebudou ovlivněny poryvy větru.
- Jakákoli zvuková špička, která se jeví jako nesouvisející s vlastnostmi celkové hladiny akustického tlaku, se při odečtení údajů nebere v úvahu.
- Zařízení na měření meteorologických podmínek by se mělo nacházet těsně vedle zkušebního úseku ve výšce  $1,2 \pm 0,1$  m.
- Měření se neprovádí při teplotě okolního vzduchu v rozsahu od 0 °C do 40 °C.
- Zkoušky se nesmí provádět, pokud rychlost větru včetně poryvů během měření akustického tlaku překročí ve výšce mikrofonu 5 m/s; rychlost větru se musí měřit při každé zkušební jízdě.
- Během měření akustického tlaku se zaznamenají hodnoty udávající teplotu, rychlost a směr větru, relativní vlhkost a barometrický tlak

Hladina akustického tlaku vážená váhovou křivkou A jiných zdrojů zvuku, než je zkoušené vozidlo, a způsobená vlivem větru musí být nejméně o 10 dB (A) nižší než hladina akustického tlaku vozidla.

### **5.5.2 Vozidlo**

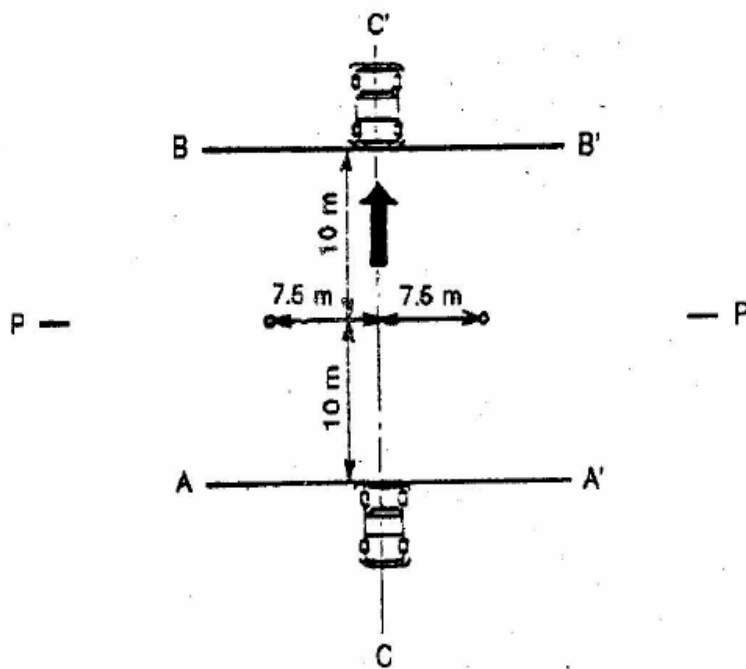
- Měření se provádějí s nenaloženými vozidly a s výjimkou neoddělitelných vozidel bez přívěsu nebo návěsu.
- Výrobce vozidla zvolí pro zkoušku takové pneumatiky, které odpovídají obchodní praxi a jsou dostupné na trhu. Musí odpovídat jednomu z rozměrů pneumatik určených pro dotyčné vozidlo výrobcem vozidla a splňovat minimální hloubku 1,6 mm hlavních drážek povrchu běhounu.
- Pneumatiky musejí být nahuštěny na tlak nebo tlaky odpovídající zkušební hmotnosti vozidla.
- Před zahájením měření se vozidlo přivede do běžných provozních podmínek, co se týče teploty, seřízení, paliva, zapalovacích svíček atd.
- Je-li vozidlo vybaveno pohonem více než jedné nápravy, provede se zkouška s pohonem určeným pro normální použití na silnici.

- Je-li vozidlo vybaveno jedním nebo více ventilátory s automatickým ovládacím mechanismem, nesmí se během měření do tohoto mechanismu zasahovat.

## 5.6 Zkušební metody

### 5.6.1 Měření akustického tlaku vozidel za jízdy

- Na každé straně vozidla se měří nejméně dvakrát. Pro účely je možno uskutečnit předběžná měření, na něž se nebere ohled.
- Mikrofon se umístí do vzdálenosti  $7,5 \pm 0,2$  m od vztažné přímky CC´dráhy a  $1,2 \pm 0,1$  m nad povrchem vozovky. Jeho osa maximální citlivosti musí být směřována vodorovně a musí být kolmá na dráhu vozidla (přímka CC´).
- Na zkušební dráze se vyznačí dvě přímky, AA´ a BB´, rovnoběžně s přímkou PP´ a umístěné 10 m před přímkou PP´ a 10 m za ní.
- Vozidlo musí přes akcelerační úsek jet po přímce tak, aby jeho střední podélná roviny byla co nejbližší k přímce CC´ a přibližuje se k přímce AA´ ustálenou rychlostí uvedenou níže. Když předek zkušebního vozidla dosáhne přímky AA´, klapka akcelérátoru musí být plně otevřena, jak nejrychleji je to možné, a podržena v této poloze, dokud zád vozidla nepřekročí přímkou BB´, poté se akcelérátor co nejrychleji uzavře.
- U kloubových vozidel, která sestávají ze dvou neoddělitelných jednotek považovaných za jediné vozidlo, se na návěs při stanovení okamžiku překročení přímky BB´ nebere ohled.
- Maximální hladina akustického tlaku vyjádřená v decibelech (dB(A)) vážených váhovým filtrem se měří, když je vozidlo řízeno mezi přímkami AA´ a BB´. Taková hodnota tvoří výsledek měření.



Obr. 14: Polohy pro měření vozidel za jízdy

### Použité zkratky

Písemné symboly užívané v tomto bodu mají tento význam:

S: otáčky motoru.

$N_A$ : rovnoměrné otáčky motoru při nájezdu k přímce AA'.

$V_A$ : rovnoměrná rychlost vozidla při nájezdu k přímce AA'.

$V_{max}$ : maximální rychlost udaná výrobcem vozidla.

#### 5.6.1.1 Vozidla bez převodovky

- U vozidel bez převodovky nebo bez ovládání převodů bude rovnoměrná rychlost při nájezdu k přímce AA' buď  $V_A = 50$  km/h, nebo  $V_A$  odpovídající  $N_A = \frac{3}{4} S$  a  $V_A \leq 50$  km/h.
- U vozidel kategorie  $M_1$  a u vozidel jiných kategorií než  $M_1$ , jejichž výkon motoru nepřevyšuje 225 kW (EHK), nebo  $V_A$  odpovídající  $N_A = \frac{1}{2} S$  a  $V_A \leq 50$  km/h.
- U vozidel, která nepatří do kategorie  $M_1$  a jejichž výkon motoru převyšuje 225 kW (EHK), nebo u vozidel poháněných elektromotorem  $V_A = \frac{3}{4} V_{max}$ , nebo  $V_A = 50$  km/h, vybere se nižší hodnota.



### 5.6.1.2 Vozidla s ručně ovládanou převodovkou

- Vozidlo se k přímkce AA' přiblíží ustálenou nájezdovou rychlostí s dovolenou odchylkou  $\pm 1$  km/h; vyjma případu, kdy jsou otáčky motoru kontrolním faktorem a dovolená odchylka je potom vyšší z hodnot  $\pm 2$  %, nebo  $\pm 50 \text{ min}^{-1}$  buď  $= 50$  km/h, nebo  $V_A$  odpovídající  $N_A = \frac{3}{4} S$  a  $V_A \leq 50$  km/h.
- U vozidel kategorie  $M_1$  a u vozidel jiné kategorie než  $M_1$ , jejichž výkon motoru nepřevyšuje 225 kW (EHK), nebo  $V_A$  odpovídající  $N_A = \frac{1}{2} S$  a  $V_A \leq 50$  km/h.
- U vozidel, která nepatří do kategorie  $M_1$  a jejichž výkon motoru převyšuje 225 kW (EHK), nebo u vozidel poháněným elektromotorem  $V_A = \frac{3}{4} V_{\max}$  nebo  $V_A = 50$  km/h, vybere se nižší hodnota.

### 5.6.1.3 Výběr převodového poměru

- U vozidel kategorií  $M_1$  a  $N_1$  vybavených převodovkou se čtyřmi a méně dopřednými rychlostními stupni se zkouška provede při zařazeném druhém rychlostním stupni.
- U vozidel kategorií  $M_1$  a  $N_1$  s převodovkou s více než čtyřmi dopřednými rychlostními stupni se zkouška provede postupně při zařazeném druhém a třetím rychlostním stupni. Vypočte se hodnota aritmetického průměru hladin akustického tlaku změřených při těchto dvou podmínkách.
- Vozidla kategorie  $M_1$ , která mají více než čtyři dopředné rychlostní stupně, jsou vybavena motorem s maximálním výkonem vyšším než 140 kW (EHK) a jejichž přípustný poměr maximálního výkonu k maximální hmotnosti převyšuje 75 kW (EHK)/t, však musí být zkoušena pouze při zařazeném třetím rychlostním stupni za předpokladu, že rychlost, při níž zád' vozidla při zařazeném třetím rychlostním stupni překračuje přímkku BB', je větší než 61 km/h.
- Pokud v průběhu zkoušky při druhém rychlostním stupni překročily otáčky motoru otáčky S, při kterých má motor maximální jmenovitý výkon, opakuje se zkouška při nájezdové rychlosti anebo při nájezdových otáčkách motoru snižovaných postupně po 5 % S až na takovou hodnotu, při které otáčky motoru již nepřekračují hodnotu S.

- Pokud se otáček motoru S dosáhne ještě při nájezdové rychlosti odpovídající otáčkám volnoběžným, proběhne zkouška jen při třetím rychlostním stupni a vyhodnotí se tomu odpovídající výsledky.

#### 5.6.1.4 Vozidla s automatickou převodovkou

Vozidla bez ručního voliče režimů

- Vozidlo se k přímce AA' různými rovnoměrnými nájezdovými rychlostmi – 30, 40, 50 km/h nebo  $\frac{3}{4}$  maximální rychlosti pro jízdu na silnici, pokud je tato hodnota nižší.
- Je-li vozidlo vybaveno automatickou převodovkou, kterou nelze zkoušet postupem uvedeným v následujících částech, musí se vozidlo zkoušet při různých nájezdových rychlostech, a to 30 km/h, 40 km/h a 50 km/h, nebo při třech čtvrtinách maximální rychlosti vozidla, kterou uvádí výrobce, pokud je tato hodnota nižší. Zaznamená se podmínka, při které bylo dosaženo nejvyšší hladiny akustického tlaku.

Vozidla vybavená ručním voličem režimů

- Vozidlo se k přímce AA' přiblíží nájezdovou rychlostí s dovolenou odchylkou  $\pm 1$  km/h; vyjma případu, kdy jsou otáčky motoru kontrolním faktorem a dovolená odchylka je potom vyšší z hodnot  $\pm 2$  % nebo  $\pm 50 \text{ min}^{-1}$ : buď  $V_A = 50 \text{ km/h}$  nebo  $V_A$  odpovídající  $N_A = \frac{3}{4} S$  a  $V_A \leq 50 \text{ km/h}$  u vozidel kategorie  $M_1$  a u vozidel jiných kategorií než  $M_1$ , jejichž výkon motoru nepřevyšuje 225 kW (EHK), nebo  $V_A$  odpovídající  $N_A = \frac{1}{2} S$  a  $V_A \leq 50 \text{ km/h}$  u vozidel, která nepatří do kategorie  $M_1$  a jejichž výkon motoru nepřevyšuje 225 kW (EHK), nebo u vozidel poháněným elektromotorem  $V_A = \frac{3}{4} V_{\max}$  nebo  $V_A = 50 \text{ km/h}$ , vybere se nižší hodnota.
- Pokud však v průběhu zkoušky u vozidel s více než dvěma samostatnými rychlostními stupni dojde k automatickému podřazení na první rychlostní stupeň, lze tomuto podřazení, podle výrobce, zabránit.

Poloha ručního voliče režimů

Zkouší se s voličem režimů v poloze doporučené výrobcem pro normální jízdu. Nucené řazení na nižší stupeň je nepřípustné.

### Přídavné rychlostní stupně

Je-li vozidlo vybaveno přídavnou převodovkou s ručním řazením nebo vícestupňovou nápravou, použije se poloha užívaná pro normální městský provoz. V každém případě jsou nepřipustné zvláštní polohy voliče režimů pro pomalou jízdu, parkování nebo brždění.

### Prevence řazení na nižší stupeň

Některá vozidla vybavená automatickou převodovkou (dva nebo více samostatné rychlostní stupně) mohou řadit na nižší převodový poměr, který se při městském provozu, podle údajů výrobce, běžně nepoužívá. Mezi převodové poměry, které se pro městský provoz nepoužívají, patří také převodový poměr určený pro pomalou jízdu, parkování nebo brždění. V takovém případě je možné zvolit kteroukoli z těchto změn:

- I. Zvýšení rychlosti vozidla maximálně na 60 km/h, aby se takovému řazení dolů předešlo;
- II. Udržení rychlosti vozidla na 50 km/h a omezení přívodu paliva do motoru na 95 % přívodu nutného pro plný výkon; tato podmínka se považuje za splněnou:
  - Pokud je úhel otevření klapky akcelérátoru omezen na 90 % plného úhlu v případě zážehového motoru;
  - Pokud je přívod paliva vstřikovacího čerpadla omezen na 90 % maximální hodnoty v případě vznětového motoru;
- III. Zavedení a použití elektronického ovladače, který zabrání podřazení na rychlostní stupeň nižší než stupně používané při normálním městském provozu, jak je stanovil výrobce

#### **5.6.1.5 Interpretace výsledků**

Měření hluku vydávaného vozidly za jízdy se považuje za platné, pokud rozdíl mezi dvěma po sobě následujícími měřeními na stejné straně vozidla není větší než 2 dB(A).

Zaznamená se údaj, který odpovídá nejvyšší hladině akustického tlaku. Je-li tento údaj o více než 1 dB(A) vyšší než maximální hladina akustického tlaku povolená pro zkoušenou kategorii vozidel, provede se s odpovídající polohou mikrofону druhá série

dvou měření. Tři ze čtyř takto získaných výsledků pro druhou polohu musejí spadat do předepsaných mezních hodnot.

Z důvodu možné nepřesnosti měřicího zařízení se údaje při měření na něm získané sníží o 1 dB(A).

## **5.6.2 Měření hluku vydávaného stojícími vozidly**

### **5.6.2.1 Hladina akustického tlaku v blízkosti vozidel**

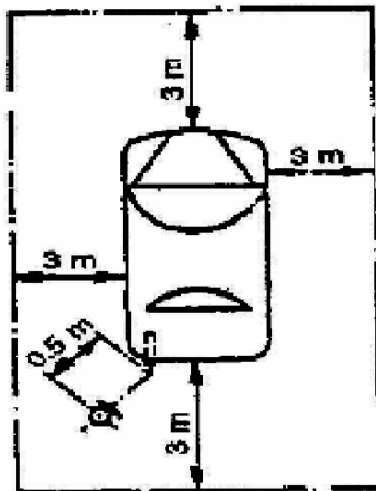
Aby byly usnadněny následné kontroly vozidel v provozu, měří se hladina akustického tlaku v blízkosti výstky výfukového systému podle následujících požadavků a výsledky měření se zanesou do zkušebního protokolu vytvořeného pro vydání certifikátu.

### **5.6.2.2 Akustická měření**

K měření se užije přesný zvukoměr.

### **5.6.2.3 Zkušební místo – místní podmínky**

- Měření se stojícím vozidlem by se měla provádět v místě, které odpovídá místu pro měření vozidel za jízdy, a odpovídá tedy ustanovením tohoto předpisu.
- Během zkoušky se v prostoru zkušebního úseku nesmí nacházet nikdo krom osoby, která měří a řidiče jejichž přítomnost nesmí ovlivnit naměřené údaje.



Obr. 15: Zkušební místo

#### 5.6.2.4 Rušivé zvuky a vliv větru

Údaje na měřicím přístroji vyvolané hlukem pozadí a větrem musejí být nejméně o 10 dB(A) nižší než měřená hladina akustického tlaku. Na mikrofonu může být užít vhodný kryt proti větru za předpokladu, že se v úvahu vezme jeho vliv na citlivost mikrofonu.

#### 5.6.3 Metody měření

##### 5.6.3.1 Povaha a počet měření

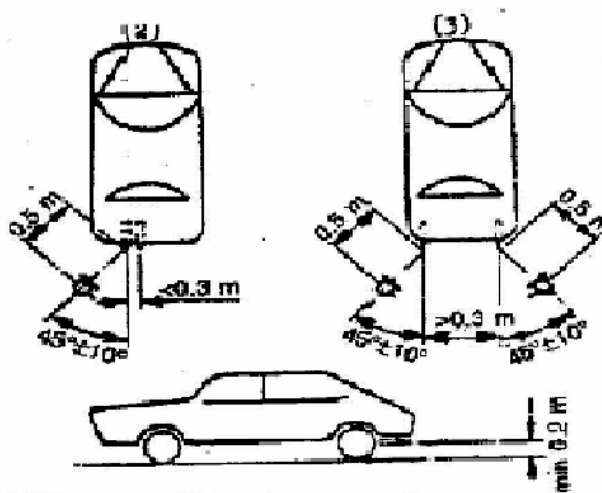
- V průběhu pracovní periody se změří maximální hladiny akustického tlaku vážená váhovou křivkou A a vyjádřena v decibelech (dB(A)).
- V každém měřeném bodě se měří nejméně třikrát.

##### 5.6.3.2 Umístění a příprava vozidla

- Vozidlo se umístí do středové části zkušebního úseku, volič rychlostního stupně je přeřazený do neutrální polohy a spojka sešlápnutá. Pokus to konstrukce vozidla neumožní, proběhne zkouška podle pravidel výrobce pro zkoušku motoru se stojícím vozidlem. Před každou sérií měření se motor uvede do běžných provozních podmínek, které uvádí výrobce.

- Je-li vozidlo vybaveno jedním nebo více ventilátory s automatickým ovládacím mechanismem, nesmí se během měření do tohoto mechanismu zasahovat.

### 5.6.3.3 Měření hluku v blízkosti výfuku

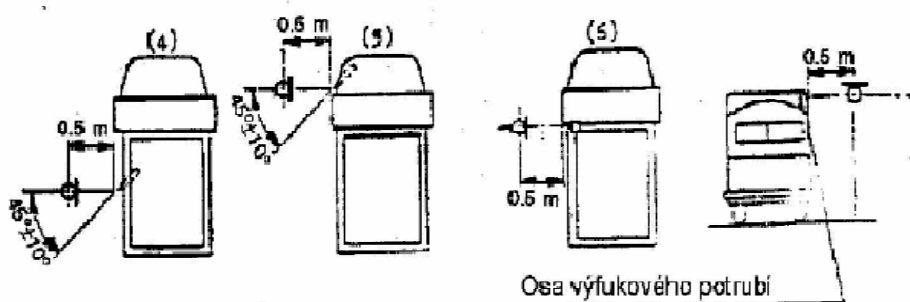


Obr. 16: Poloha mikrofonu v blízkosti výfuku

### 5.6.3.4 Umístění mikrofonu

- Výška mikrofonu nad zemí by měla být stejná jako výška potrubí výstky výfukových plynů, ale vždy musí být minimálně 0,2 m.
- Mikrofon musí směřovat k ústí průtoku plynů a musí být umístěn ve vzdálenosti 0,5 m od něj.
- Jeho osa maximální citlivosti musí být rovnoběžná se zemí a se svislou rovinou ve směru průtoku plynů svírat úhel  $45^\circ \pm 10^\circ$ . Je nutné dodržet pokyny výrobce zvukoměru z hlediska této osy. Vzhledem k této rovině se mikrofon umístí tak, aby byl co nejdále od podélné roviny vozidla. V případě pochyb se zvolí poloha, která umožňuje maximální vzdálenost od obrysu vozidla.
- Má-li výfuk dvě a více výustek, které jsou od sebe vzdáleny méně než 0,3 m, a které jsou napojeny na tentýž tlumič, provádí se pouze jedno měření. Poloha mikrofonu se určí vůči výustce, která se nachází nejbližší nejodlehlejšímu okraji vozidla nebo, pokud taková výustka neexistuje, vůči výustce, která je nejvýše nad zemí.

- U vozidel s výfukem ve svislé poloze (např. užitková vozidla) se mikrofon umístí ve výšší výustky výfuku. Jeho osa bude svislá a bude směřovat nahoru. Musí být ve vzdálenosti 0,5 m od strany vozidla nejbliže k výustce výfuku.
- U vozidel, jejichž výfuk má výustky vzdálené více než 0,3 m od sebe, se měření provádějí pro každou výustku, jako by byla jediná. Nejvyšší hodnota se zaznamená.



**Obr. 17: Poloha mikrofonu v blízkosti výfuku ve svislé poloze**

### 5.6.3.5 Provozní podmínky motoru

- Stálé otáčky motoru dosahují této hodnoty:  $\frac{3}{4} S$  u zážehových i vznětových motorů.
- Po dosažení ustálených otáček se akcelerátor rychle navrátí do polohy volnoběhu. Hladina akustického tlaku se měří po celou pracovní periodu, která zahrnuje krátké držení ustálených otáček motoru a celou dobu poklesu otáček, a za výsledek zkoušky se považuje maximální odečet hladiny akustického tlaku.

### 5.6.3.6 Výsledky

- Údaje z měřicího přístroje se zaokrouhlují na nejbližší celý decibel;
- V úvahu se berou pouze hodnoty získané ze tří po sobě jdoucích měření, která se vzájemně liší o více než 2 dB(A);
- Nejvyšší z těchto měření je výsledkem zkoušky.

## **5.7 Norma ČSN ISO 5128**

### **5.7.1 Předmět a oblast působnosti normy**

Tato mezinárodní norma je prvním stupněm ve vývoji zkoušek umožňujících užitečné určování vnitřního hluku pro technické a smluvní účely. Stanovuje podmínky pro získání reprodukovatelných a porovnatelných měření akustického tlaku a spekter hluku uvnitř všech druhů silničních motorových vozidel včetně těch, kde řidič nebo cestující sedí v otevřené kabině nebo dokonce jen v dostatečně popsáném prostoru, ale s vyloučením traktorů a zemědělských strojů, které pokrývá ISO 5131.

Výsledky měření lze využít např.:

- Pro rozhodnutí, zda vnitřní hluk vozidla je či není v souladu hlukovou specifikací
- Pro odhad rizika poruchy sluchu v závislosti na expozici hluku
- Pro výpočet stupně rušení řeči
- Pro směrování programu přesnějšího měření vedoucího ke studiu postupů snižování hluku

Daný postup není určen pro měření oscilací tlaku při velmi nízkých frekvencích, ani pro odhad expozice hluku z hlediska pohodlí a bezpečnosti jako jsou únava a bdělost. Současný stav dosud neposkytuje dobrou korelaci mezi měřenými daty a komfortem a bezpečností.

### **5.7.2 Druhy zkoušek**

#### **5.7.2.1 Verifikační zkoušky**

Měření určená k ověření, že vozidla dodávaná výrobcem odpovídají hlukovým specifikacím.

Podmínky při každé zkoušce musí co možno odpovídat předepsaným podmínkám, pokud ale musí být provedeny nezbytné změny, tyto musí být udány v protokolu o zkoušce.



### 5.7.2.2 Monitorovací zkoušky

Měření pro kontrolu zda hluk vozidel je stále v mezích předepsaných limitů a že nenastaly zjistitelné změny od dodání nebo mezi jednotlivými vozidly dodávky.

Při monitorovacích zkouškách lze tolerovat malé odchylky od podmínek při typových zkouškách např.: lze zredukovat počet poloh mikrofonu a jízdních režimů. Jakékoliv odchylky musí být popsány v protokolu o zkoušce.

### 5.7.3 Měřené veličiny

Veškeré odečítání na zvukoměru se musí provádět při dynamické charakteristice „rychle“.

Ve všech polohách mikrofonu se při zkoušce typu a při monitorovací zkoušce měří hodnoty hladin akustického tlaku  $A$ ,  $L_{pA}$ , vyjádřeného v (dB).

Při dodatečných zvláštních zkouškách pro spektrální analýzu ve vybraných polohách mikrofonu musí být měřeny hodnotami hladiny akustického tlaku v oktávových nebo třetinooktávových pásmech, pokrývající rozsah nejméně od 45 Hz do 11 200 Hz.

Přednostně se měří hladiny akustického tlaku v třetinooktávových pásmech.

### 5.7.4 Měřicí zařízení

Zvukoměr musí být přesné třídy podle IEC 651 (typ 1).

Pokud se použije další měřicí zařízení, obsahující např. magnetofon nebo hladinový zapisovač, musí jejich elektroakustické parametry splňovat odpovídající ustanovení IEC 651, týkající se přístrojů třídy 1.

Pro měření hlukových spekter musí filtry splňovat požadavky IEC 225.

Celkové akustické vlastnosti měřicího zařízení se musí kontrolovat podle instrukcí výrobce, přednostně standardním zdrojem zvuku (např. pistofonem) na začátku a konci každé série měření. Shoda zvukoměru a požadavky na přístroje typu 1 podle IEC 651 se musí ověřovat v intervalu ne delším než 2 roky.

Doporučuje se, zvláště pro zkoušky při akceleraci, použití buď dvoustopého magnetofonu pro současný záznam hluku a rychlosti vozidla nebo XY zapisovače pro záznam závislosti hluku přímo na vozidle.

Měřicí zařízení musí minimálně pokrývat frekvenční rozsah 45 Hz až 11 200 Hz.

Rychlost vozidla a otáčky motoru se musí měřit s přesností nejméně 3 %.

### **5.7.5 Akustické prostředí, povětrnostní podmínky, hluk pozadí**

Zkušební prostranství musí být takové, že vně vyzařovaný hluk vozidla se dovnitř vozidla dostává pouze odrazem od povrchu vozovky nikoliv odrazem od budov, zdí nebo podobných velkých objektů vně vozidla. V průběhu měření musí být vzdálenost vozidla od velkých objektů větší než 20 m.

Teplota okolního vzduchu při provozu vozidla musí být v rozsahu  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Rychlost větru podle měřicí dráhy, měřená ve výšce přibližně 1.2 m, nesmí překročit 5 m/s. Ostatní meteorologické podmínky musí být takové, aby neovlivňovali měření. Rychlost větru a jeho směr vzhledem k měřicí dráze se musí udat do protokolu o měření.

Pro všechna měření hladin akustického tlaku A musí být spodní limit dynamického rozsahu daný hlukem pozadí a hladinou hluku vlastního měřicího zařízení nejméně 10 dB pod hladinou akustického tlaku A hluku vozidla.

### **5.7.6 Podmínky zkušební dráhy**

Hladiny akustického tlaku uvnitř motorových vozidel jsou obvykle značně ovlivňovány nerovností povrchu vozovky, hladké povrchy vozovek produkují odpovídající hladiny uvnitř vozidla, proto zkušební vozovka musí být tvrdá a pokud možno hladká a rovná, beze spár nebo zvlnění nebo podobné nerovnosti povrchu, které by mohly přispívat k hladinám akustického tlaku uvnitř motorového vozidla.

Povrch musí být suchý a beze sněhu, nečistoty, kamení, listí apod.

## **5.8 Stav vozidla**

### **5.8.1 Stav motoru a pneumatik**

Během zkoušky musí všechny provozní podmínky odpovídat specifikacím daným výrobcem, např. pokud jde o palivo, mazací olej, seřízení zapalování nebo vstřikovacího čerpadla. Bezprostředně před zahájením zkoušky musí být ustálena provozní teplota motoru např. jízdou střední rychlostí na odpovídající vzdálenost.

Použité pneumatiky musí být typu, který je výrobcem vozidla určen jako vhodný pro podmínky normálního užití a musí být nahuštěny na výrobcem předepsaný tlak.

Pokud je volitelné užití terénních pneumatik, musí být namontovány pneumatiky pro provoz na silnici.

Pneumatiky musí být téměř nové, avšak opotřebený jízdou minimálně na vzdálenost 300 km.

Typ pneumatik a tlak, na který byly v době zkoušky nahuštěny je nutné uvést v protokolu o měření. Usoudí-li se, že nevyváženost kol by mohla ovlivnit hluk uvnitř vozidla je třeba kola vozidla staticky a dynamicky vyvážit.

Jsou-li chladiče motoru vybaveny zařízením jako jsou žaluzie, musí se měření provádět za obou možností (otevřené a zavřené). Jejich poloha, při každé sérii měření musí být zaznamenána v protokolu o měření. Ventilátor chlazení motoru musí pracovat normálně.

### **5.8.2 Zatížení vozidla**

Vstupní podmínky pro naložení vozidla musí odpovídat ISO 1176. Vozidlo musí být bez nákladu.

Uvnitř vozidla smí být pouze jeho standardní vybavení, měřicí zařízení a nutná obsluha. V osobních vozidlech, v kabinách nákladních vozidel, traktorech a podobných vozidlech nesmí být přítomny více než dvě osoby (řidič a pozorovatel), v autobusech s více jak osmi sedadly ne více než tři.

### **5.8.3 Větrací otvory, okna, pomocné zařízení, nastavitelná sedadla**

Větrací otvory, jako střešní okna, všechny okna a vstupní nebo výstupní větrací otvory musí být pokud možno zavřeny, pokud se nezkoumá jejich vliv na vnitřní hluk vozidla.

Pomocné zařízení jako stírače okna, ventilátory topení nebo větrání a klimatizační zařízení nesmějí být po celou dobu zkoušek v provozu. Pokud se zjišťuje příspěvek hluku ventilačního systému a dalšího pomocného zařízení k celkovému hluku uvnitř vozidla, měření se opakuje s těmito zařízeními v provozu. Je-li některé přídatné zařízení automatické, musí se jeho provozní stav uvést v protokolu o měření.

Nastavitelná sedadla musí být seřízena do střední polohy rozsahu nastavitelnosti ve vodorovném i svislém směru.

Nastavitelné opěrky hlavy musí být ve střední poloze.

## **5.9 Provozní podmínky**

Provozní podmínky vozidla musí být takové, aby reprezentovaly vnitřní hluk, při kterémkoliv z následujících podmínek vhodných pro zkoušené vozidlo:

- Konstantní rychlosti
- Plná akcelerace
- Stojící vozidlo motorem za volnoběhu, jako doplňující zkouška pro užitková vozidla a autobusy se vznětovým motorem.

### **5.9.1 Konstantní rychlosti**

Zjišťují se hladiny akustického tlaku A při nejméně pěti rychlostních režimech stejně rozložených v intervalu pokrývajícím dále uvedený rozsah. Měří se v rozsahu od 60 km/h nebo 40 % maximální rychlosti vozidla (která z nich je menší) do 120 km/h nebo 80 % maximální rychlosti vozidla (která z nich je menší). Měří se jednou z následujících metod:

- a) Při pomalé akceleraci v rozsahu rychlostí dříve stanovených při velikosti akcelerace dostatečně malé (např.  $0.1 \text{ m/s}^2$ ), aby se získaly stejné hodnoty hladin akustického tlaku A jako při odpovídající konstantní rychlosti, hodnoty se odečítají při vybraných rychlostech
- b) Při jízdě vozidla vybranými rychlostmi při odečtení odpovídajících hodnot, pro každou konstantní rychlost se musí měřit nejméně po dobu 5 s.

Řazení musí být takové, aby byl užit nejvyšší převodový stupeň umožňující pokrýt celý rychlostní rozsah bez změny řazení.

### **5.9.2 Plná akcelerace**

Při zkoušce za plné akcelerace se postupuje takto:

- Rychlost vozidla a otáčky motoru se musí ustálit na stanovených počátečních podmínkách;

- Po dosažení ustálených podmínek se škrťící klapka co nejrychleji plně otevře a zaznamenává se zvuk až do dosažení 90 % otáček maximálního výkonu motoru udaných výrobcem vozidla nebo 120 km/h podle toho, která z hodnot je nižší. Musí se zabránit prokluzu kol, který ovlivňuje maximální hodnotu hladiny akustického tlaku A.

Počáteční provozní podmínky jsou stanoveny takto:

- Zařazen musí být nejvyšší rychlostní stupeň umožňující zkoušku bez překročení 120 km/h;
- Řazení se nesmí během měnit během zkoušky;
- Jestliže se při 90 % otáček maximálního výkonu a zařazeném nejvyšším rychlostním stupni je překračována rychlost 120 km/h, musí se zvolit nižší rychlostní stupeň, nikoli však nižší než třetí stupeň a u čtyř nebo pětirychlostní převodovky nebo nižší než druhý stupeň u třírychlostní převodovky. Pokud je rychlost 120 km/h při tomto nižším stupni ještě stále překračována, musí se měřit při tomto stupni v rozsahu rychlostí 60 km/h až 120 km/h;
- Je-li možné, musí se mechanismus „kick – down“ vyřadit z činnosti;
- Počátečními otáčkami motoru musí být nejnižší otáčky, které dovolují plynulé zvyšování otáček v průběhu zkoušky, nikoli však nižší než 45 % otáček maximálního výkonu, pokud se při nejnižším dovoleném rychlostním stupni při 90 % otáček maximálního výkonu nepřekročí rychlost 120 km/h, jinak počáteční otáčky motoru musí odpovídat silniční rychlosti vozidla 60 km/h;
- U vozidel s automatickou převodovkou se počáteční otáčky motoru musí ustálit na hodnotě co nejbližší 45 % otáček maximálního výkonu. Odpovídající silniční rychlost vozidla nesmí být vyšší než přibližně 60 km/h;
- Pokud dojde u vozidel s automatickou převodovkou k přeřazení dříve, než se dosáhne konečných 90 % otáček maximálního výkonu nebo 120 km/h, musí počátečními otáčkami být 50 % otáček, při nichž dochází ke změně řazení.

### **5.9.3 Zkouška se stojícím vozidlem**

Zkouška se stojícím vozidlem se provede s převodovkou v neutrálu takto:

- a) Motor běží ve volnoběžných otáčkách

- b) Škrťací klapka se musí co nejrychleji plně otevřít, a tím umožnit akceleraci motoru do nejvyšších otáček bez zatížení a musí zůstat plně otevřená nejméně 5 s.

## **5.10 Polohy mikrofonu**

Hluk uvnitř vozidla se může významně lišit v závislosti na místě. Měřicí body se musí zvolit takovým způsobem a v takovém množství, aby rozložení hluku bylo popsáno způsobem odpovídajícím umístění uší řidiče a cestujícího.

Jedno měřicí místo musí být na sedadle řidiče.

Pro osobní vozidla postačí další měřicí místo vzadu ve vozidle.

Místa pro sedící a stojící osoby se zvolí kde je to vhodné. Přesné umístění měřicích bodů se musí vyznačit v náčrtku. S výjimkou sedadla řidiče nesmí být vybrané místo během měření obsazeno.

Mikrofon nesmí být umístěn blíže než 0,15 m od stěn nebo čalounění.

Mikrofon musí být orientován horizontálně s osou maximální citlivosti udanou jeho výrobcem ve směru, kterým by hleděla osoba zájímavající dotyčné sedadlo nebo místo ke stání nebo, není-li tento směr stanoven, ve směru jízdy.

Použitý mikrofon musí být během zkoušky upevněn tak, aby nebyl ovlivněn vibracemi vozidla. Upevnění musí zabránit nadměrným výkmitům (větším než 20 mm) vůči vozidlu.

Nestanoví-li výrobce zvukoměru jinak, směr maximální citlivosti se musí shodovat se směrem referenčním.

### **5.10.1 Poloha mikrofonu vzhledem k sedadlu**

Vertikální souřadnice mikrofonu musí být  $0,7 \pm 0,05$  m nad průsečíkem neobsazeného sedadla s jeho zadní částí.

Horizontální souřadnice musí být střední rovina (nebo rovina symetrie) neobsazeného sedadla. Na sedadle obsazeném řidičem musí být horizontální souřadnice vysunuta o  $0,2 \pm 0,02$  m vpravo (vlevo pro vozidlo s pravostranným řízením) od střední roviny sedadla. Nastavitelná sedadla musí být seřizena do střední polohy rozsahu nastavitelnosti ve vodorovném i svislém směru.

### 5.10.2 Poloha mikrofonu pro místa k stání

Vertikální souřadnice musí být  $1,6 \pm 0,1$  m nad podlahou. Horizontální souřadnice musí odpovídat stojící osobě ve vybraných bodech.

### 5.10.3 Poloha mikrofonu pro lůžka

Na lůžkách jako jsou v nákladních automobilech s prostorem pro spaní nebo na nosítkách v sanitních vozech, musí být mikrofon umístěn  $0,15 \pm 0,02$  m nad středem neobsazeného místa pro hlavu ležící osoby.

## 5.11 Postup zkoušky

- Hladiny akustického tlaku A při konstantních rychlostech se zaznamenávají při nejméně pěti rychlostech;
- Při plné akceleraci se zaznamená maximální hodnota hladiny akustického tlaku A, která se vyskytla v daném rozsahu akcelerace a uvede se v protokolu o zkoušce.
- Při zkoušce se stojícím vozidlem se zaznamená hodnota hladiny akustického tlaku A při volnoběhu a maximální hodnota během otevření škrtkové klapky a uvedou se v protokolu o zkoušce. Další odečet se provede při ustálení maximálních otáček;
- Pro verifikační zkoušky se musí při každé poloze mikrofonu a při každém provozním stavu provést nejméně dvě měření. Je-li rozptyl výsledků měření hladin akustického tlaku A, získaných za kterékoli měřicí podmínky větší než 3 dB, musí se provádět další měření do doby, než se získají výsledky dvou po sobě následujících nezávislých měření, které jsou v rozpětí 3 dB. Za výsledek zkoušky se považuje střední hodnota těchto dvou výsledků. U zkoušek konstantní rychlosti se tyto střední hodnoty použijí pro získání regresní přímky. Hodnoty uváděné v protokolu o zkoušce se musí zaokrouhlit na nejbližší celý decibel. Pro monitorovací účely je vhodné provést jedno měření pro každé dané měřicí podmínky a zvolené polohy mikrofonu. Jakékoliv špičky, nemající souvislost s charakterem čtených hladin akustického tlaku, se neberou v úvahu.
- Jestliže údaje zvukoměru kolísají tak se stanoví střední hodnota odečtů. K náhodným extrémním výchylkám se nepřihlíží.

- V následujícím textu je popsán postup vyhodnocení zkoušky při konstantní rychlosti.
  - Do grafu se musí vynést lineární regresní přímka udávající hladinu akustického tlaku A jako funkci rychlosti vozidla, s lineárními měřítky pro  $L_A$  a rychlost. Přednostně se pro stanovení regresní přímky použije metoda nejmenších čtverců;
  - Pro nižší z rychlostí 120 km/h nebo 80 % maximální rychlosti vozidla se z regresní přímky odečte  $L_{pA}$ . Jsou-li při této nebo nižší rychlosti měřeny hladiny akustického tlaku A překračující tuto hodnotu  $L_{pA}$  o více jak 3 dB, musí se navíc udat i nejvyšší z těchto hodnot;
  - Oktávová nebo třetinooktávová spektra se musí stanovit pro rychlost co možná nejbližší rychlosti určené v předešlém odstavci, aby hodnoty A spektra byly o 2 dB od dříve uvedené regresní přímky.
  - Spektrum odpovídající rychlosti se musí uvést v protokolu o měření
  - Výskyt jasně slyšitelných tónů nebo hluku zřetelně rázové povahy se rovněž uvede v protokolu o zkoušce.

## 5.12 Protokol o zkoušce

Protokol o zkoušce musí obsahovat následující informace:

- a) druh zkoušky;
- b) zkušební prostranství, vozovka a povětrnostní podmínky, rychlost a směr větru;
- c) měřicí zařízení;
- d) hluk pozadí a korekce údajů, pokud byly použity;
- e) vozidlo, jeho motor, rychlostní stupně a rychlosti během zkoušek, pneumatiky (vzorek běhounu a opotřebení), huštění pneumatik, žaluzie chladiče (clony) a chladicí ventilátor;
- f) pomocné zařízení a jeho provozní podmínky, polohy otvorů seřiditelných sedadel;
- g) zatížení (naložení) vozidla, počet osob ve vozidle;
- h) polohy mikrofonu (uvedené v náčrtku);
- i) hladiny akustického tlaku A v daných polohách mikrofonu, spektrum hluku, pokud je měřeno a uvedení jakýchkoli korekcí údajů;
- j) přítomnost čistých tónů nebo hluku impulzivního charakteru.



## **6. Experimentální měření hluku vozidla**

### **6.1 Datum měření**

21.04.2009 ve dne

### **6.2 Místo měření**

- Areál Univerzity Pardubice
- Silnice I. třídy č.37 (Pardubice – Hradec Králové)

### **6.3 Měřený objekt**

Vozidlo: Ford Escort 1.8 benzin 16 V, 85 kW, r.v. 1998

Pneumatiky : Barum Polaris zimní 185/60 R14

### **6.4 Měřicí zařízení**

Mikrofon: Brüel @ Kjar

Typ: 4188

v.číslo: 2250 267

8012-OL-1302-08 (číslo kalibračního listu)



**Obr. 18: Mikrofon Brüel @ Kjeaar, typ: 4188**

Analyzátor: PULSE

Typ: 3032A

8012-OL-1301-08 (číslo kalibračního listu)



**Obr. 19: Analyzátor PULSE, typ: 3032A**

### 6.5 Cíle řešení

- Měření vnitřního hluku motorových vozidel
- Převod hladiny akustického tlaku na třetinooktávová spektra
- Vliv frekvenční analýzy na diagnostiku vozidla

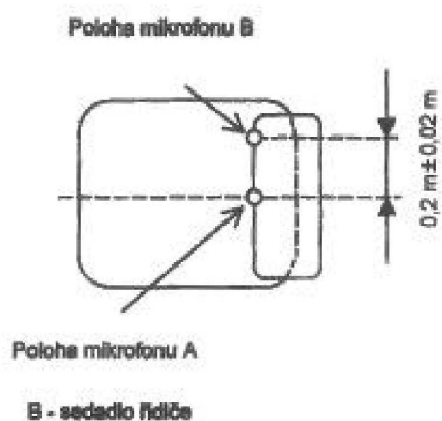
## 6.6 Měření hluku

Monitorovací měření hladiny akustického tlaku podle ČSN ISO 5128 bylo provedeno ve dvou režimech. Zkouška konstantní rychlosti a zkouška stojícího vozidla. Každá zkouška byla provedena na dvou měřících místech. Místo řidiče a místo spolujezdce na zadní sedačce. Během zkoušek byly ve vozidle dvě osoby. Řidič vozidla a obsluha měřícího řetězce.

## 6.7 Polohy mikrofonu

Poloha mikrofonu M1

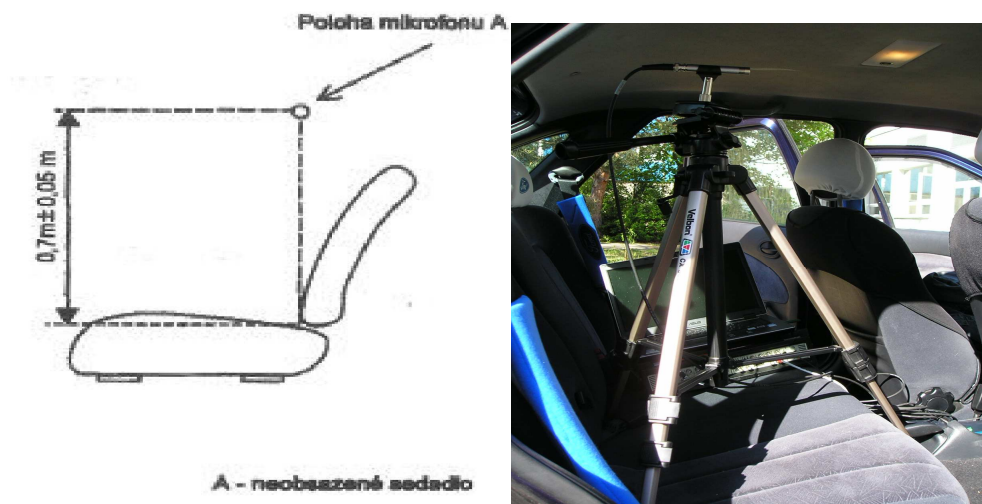
Mikrofon byl umístěn na sedadle řidiče dle normy ISO ČSN 5128.



Obr. 20: Poloha mikrofonu M1

Poloha mikrofonu M2

Mikrofon byl umístěn na zadním neobsazeném sedadle podle normy ISO ČSN 5128.



**Obr. 21: Poloha mikrofonu M2**

## 6.8 Způsob měření

### Zkouška konstantní rychlosti

Hladina akustického tlaku se zjišťovala při pěti rychlostních režimech. Měřilo se v rozsahu od 60 km/h do 120 km/h. Měření probíhalo při jízdě vozidla vybranými rychlostmi (60; 80; 90; 100; 120 km/h). Pro každou konstantní rychlost se muselo měřit po dobu nejméně 5 s.

### Zkouška se stojícím vozidlem

Zkouška se stojícím vozidlem se provedla dvěma způsoby:

- Maximální hladina akustického tlaku se naměřila když motor běžel při volnoběžných otáčkách.
- Maximální hladina akustického tlaku se měřila tak, že škrťací klapka se musela co nejrychleji plně otevřít a tím umožnit akceleraci motoru do nejvyšších otáček bez zatížení a zůstala plně otevřena po dobu 5 s.

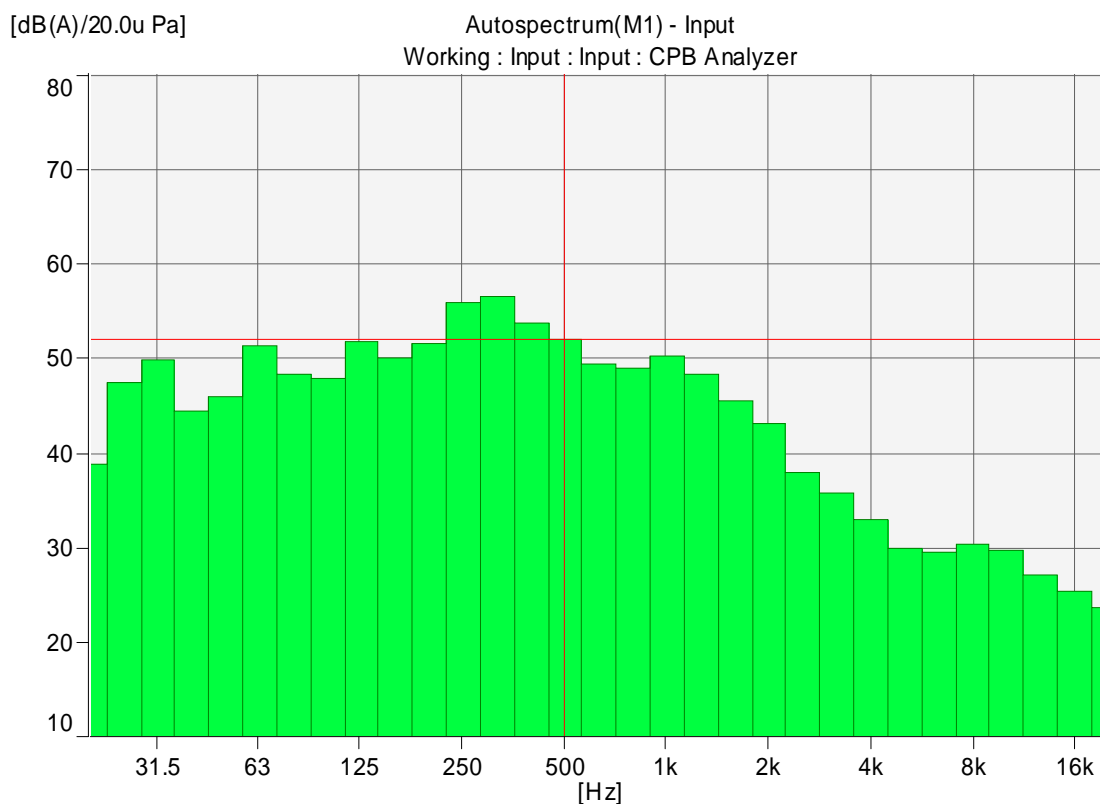
## 6.9 Naměřené hodnoty

Hladina akustického tlaku  $L_{pA}$  (dB)

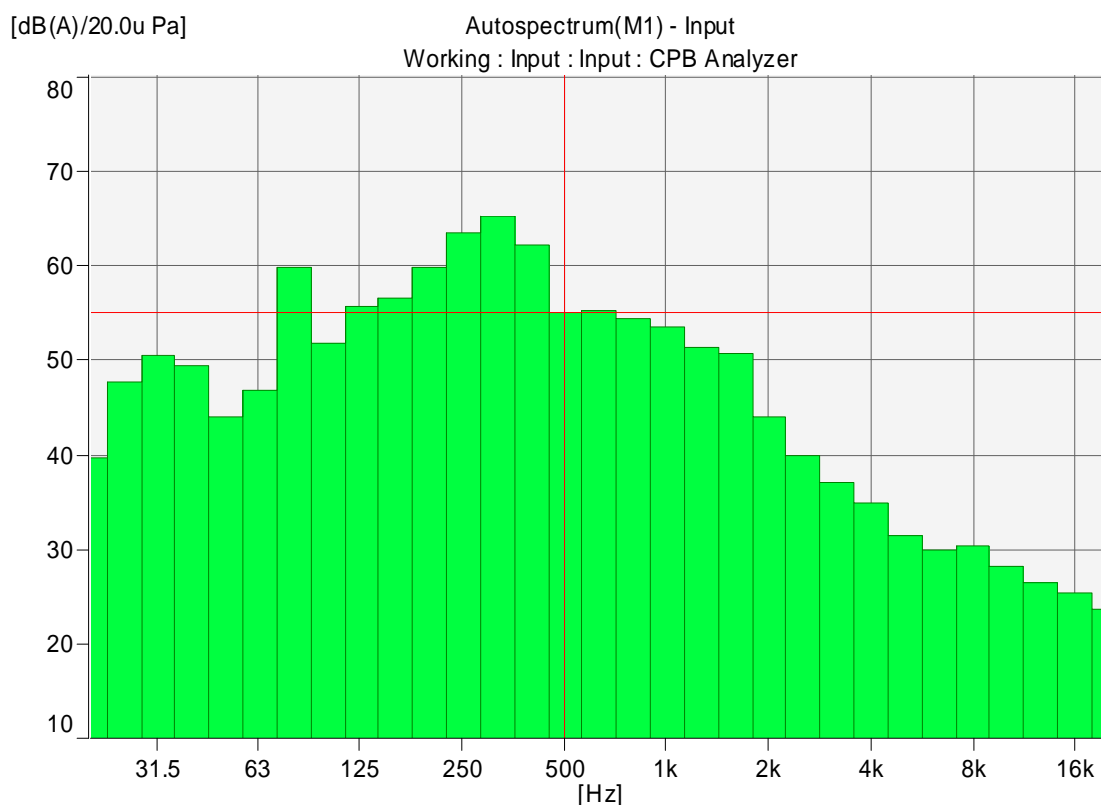
Režim měření	měřené místo / vozidlo	
	Ford Escort	
	M1	M2
60 km/h $L_{pA}$ (dB)	64.1	64.7
80 km/h $L_{pA}$ (dB)	70.3	70.9
90 km/h $L_{pA}$ (dB)	69.4	69.5
100 km/h $L_{pA}$ (dB)	69.2	71.2
120 km/h $L_{pA}$ (dB)	73	73.6
Volnoběh $L_{pA}$ (dB)	44.1	45.0
Akcelerace $L_{pAmax}$ (dB)	81.3	83.4
Max. otáčky $L_{pA}$ (dB)	80.5	83.0

Tab. 1: Hladiny akustických tlaků

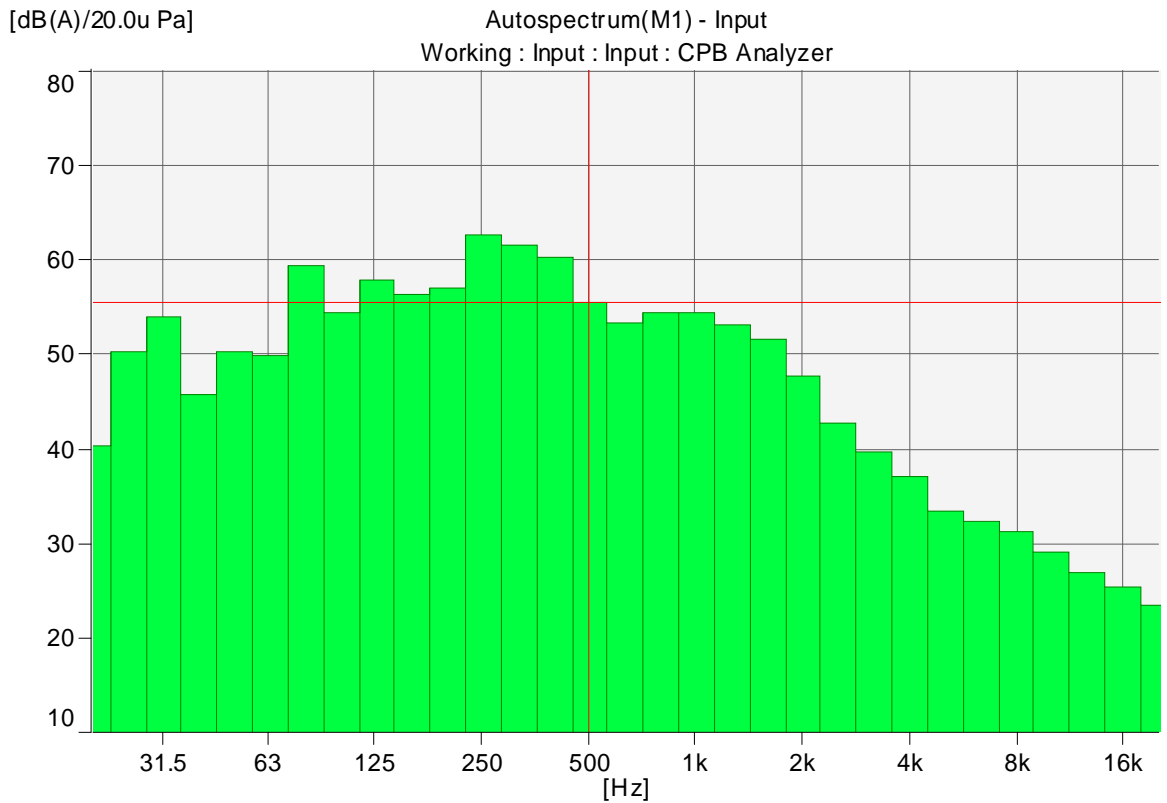
Hladina akustického tlaku  $L_{pA}$  (dB) a maximální hladina akustického tlaku  $L_{pAmax}$  (dB)



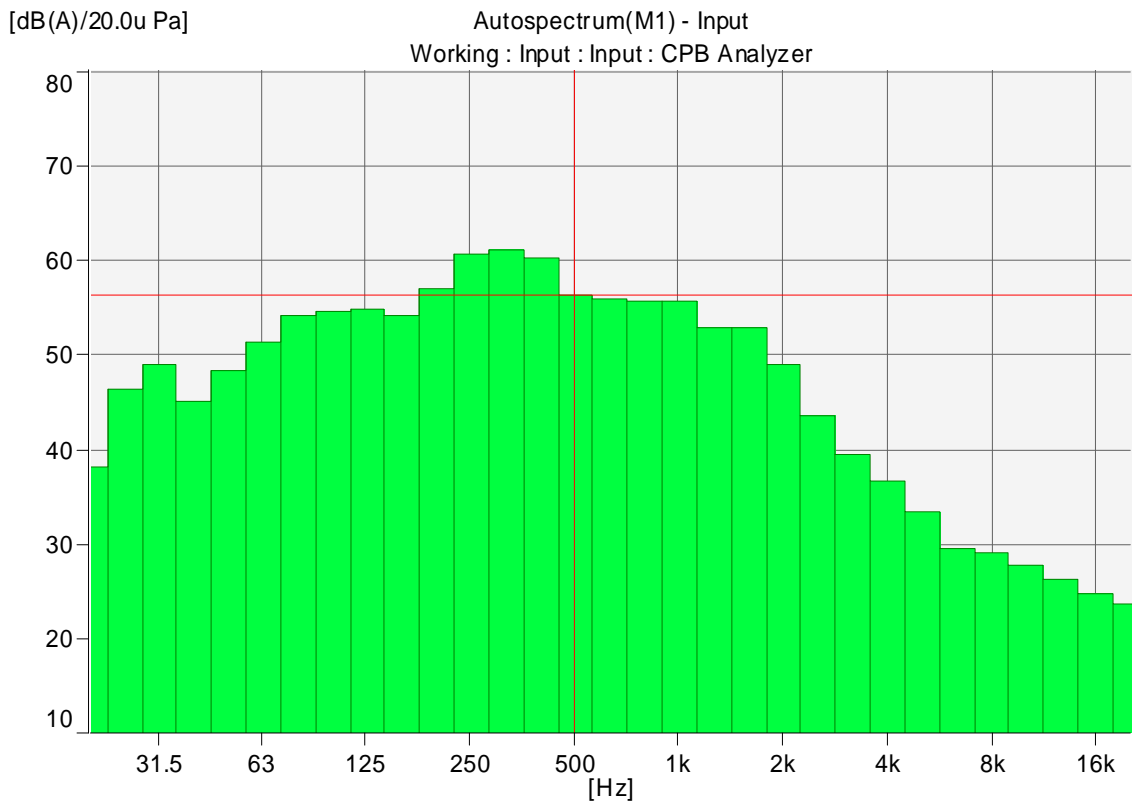
**Graf 1: Frekvenční spektrum při rychlosti 60 km/h v místě M1**



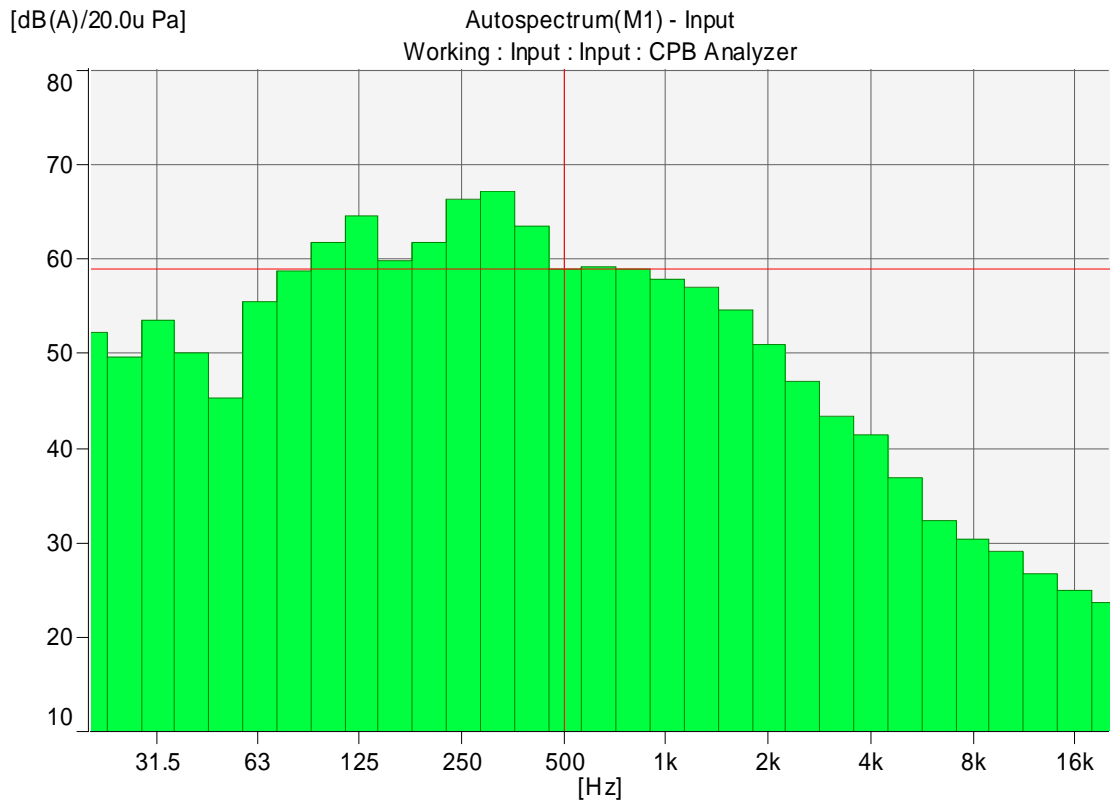
**Graf 2: Frekvenční spektrum při rychlosti 80 km/h v místě M1**



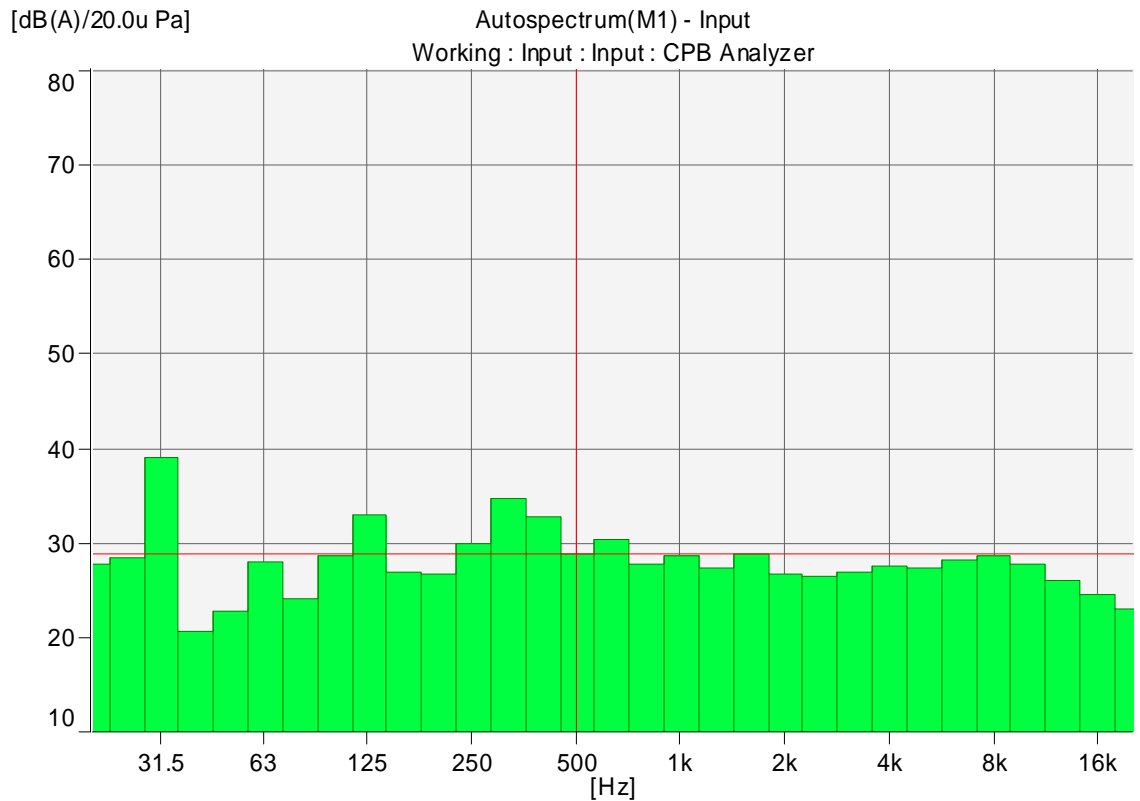
**Graf 3: Frekvenční spektrum při rychlosti 90 km/h v místě M1**



**Graf 4: Frekvenční spektrum při rychlosti 100 km/h v místě M1**

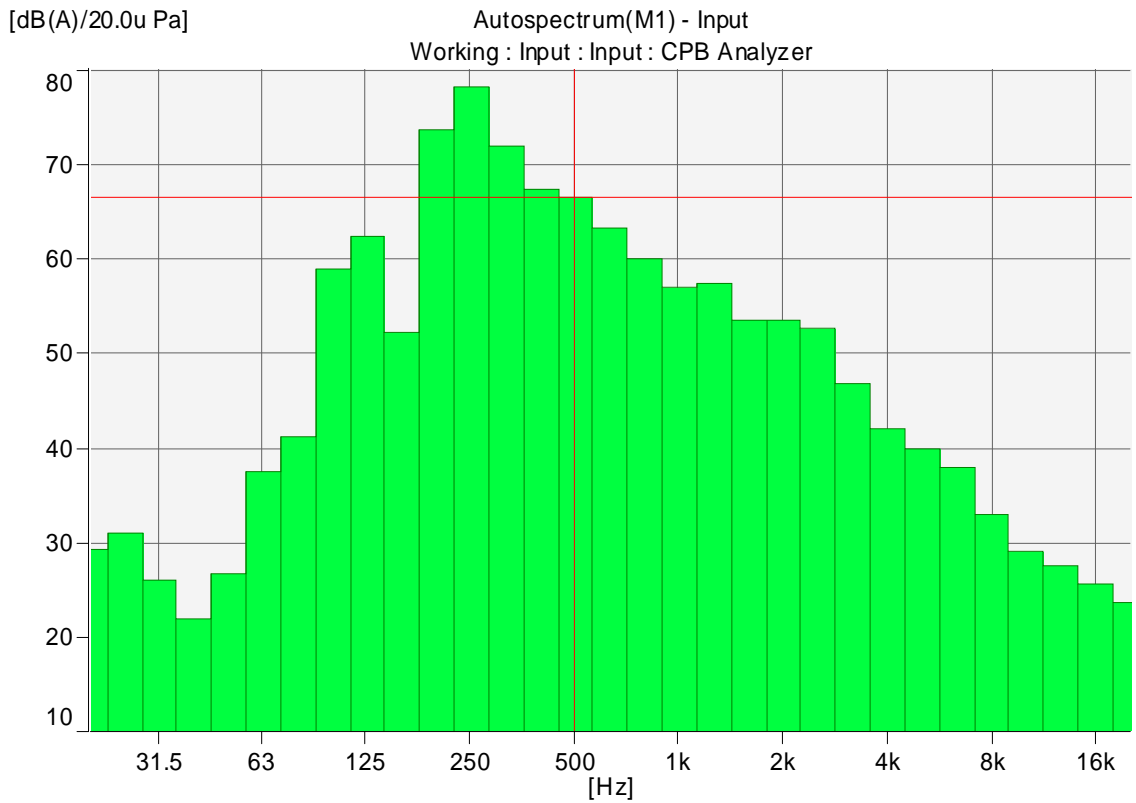


**Graf 5: Frekvenční spektrum při rychlosti 120 km/h v místě M1**

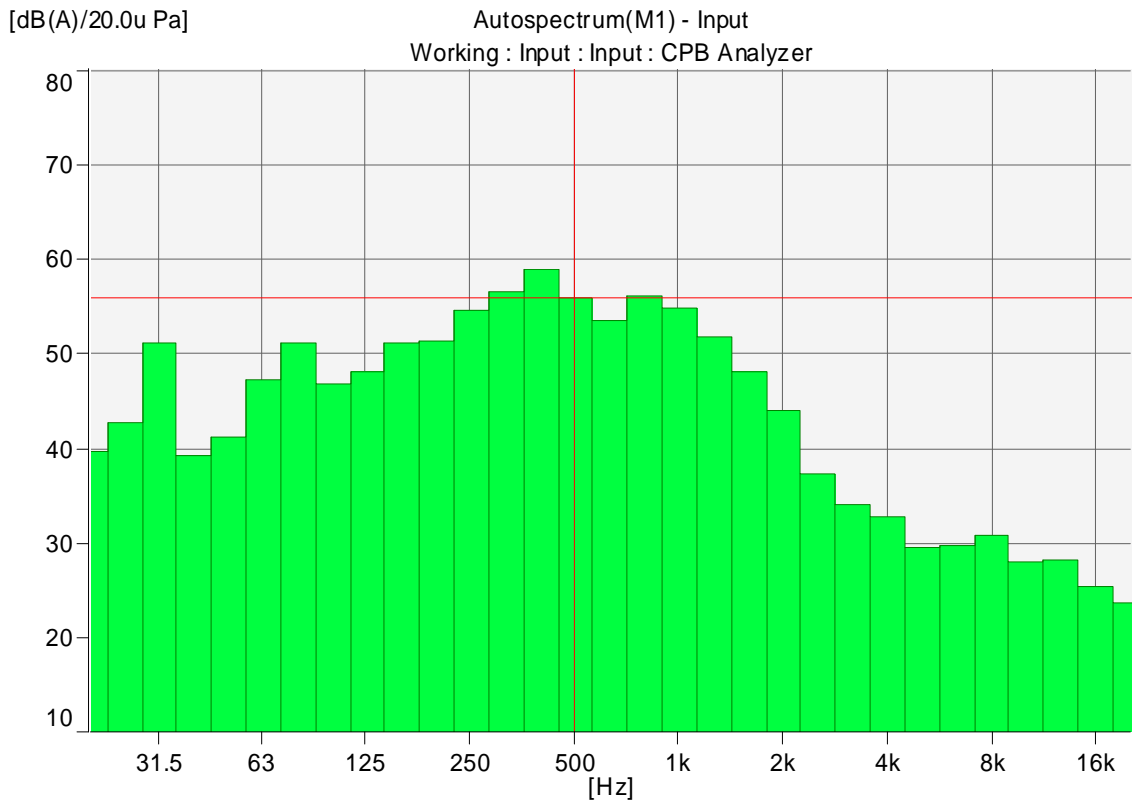


**Graf 6: Frekvenční spektrum volnoběhu v místě M1**

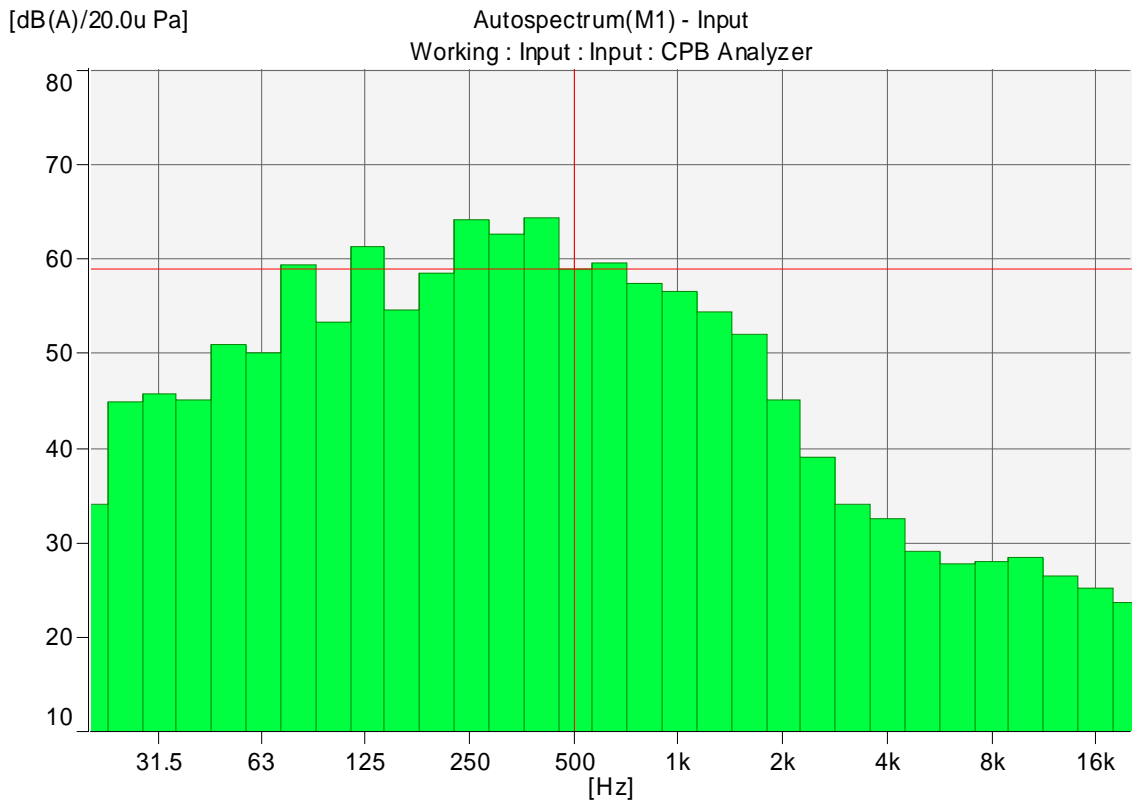




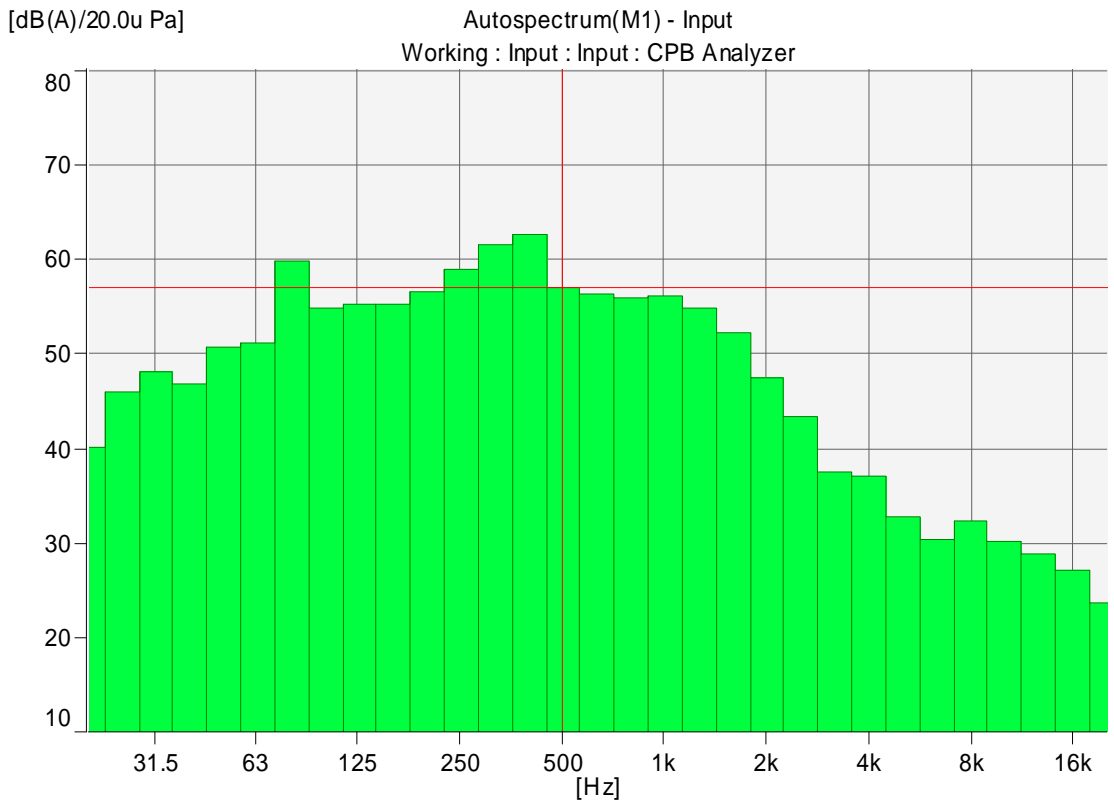
**Graf 7: Frekvenční spektrum maximálních otáček v M1**



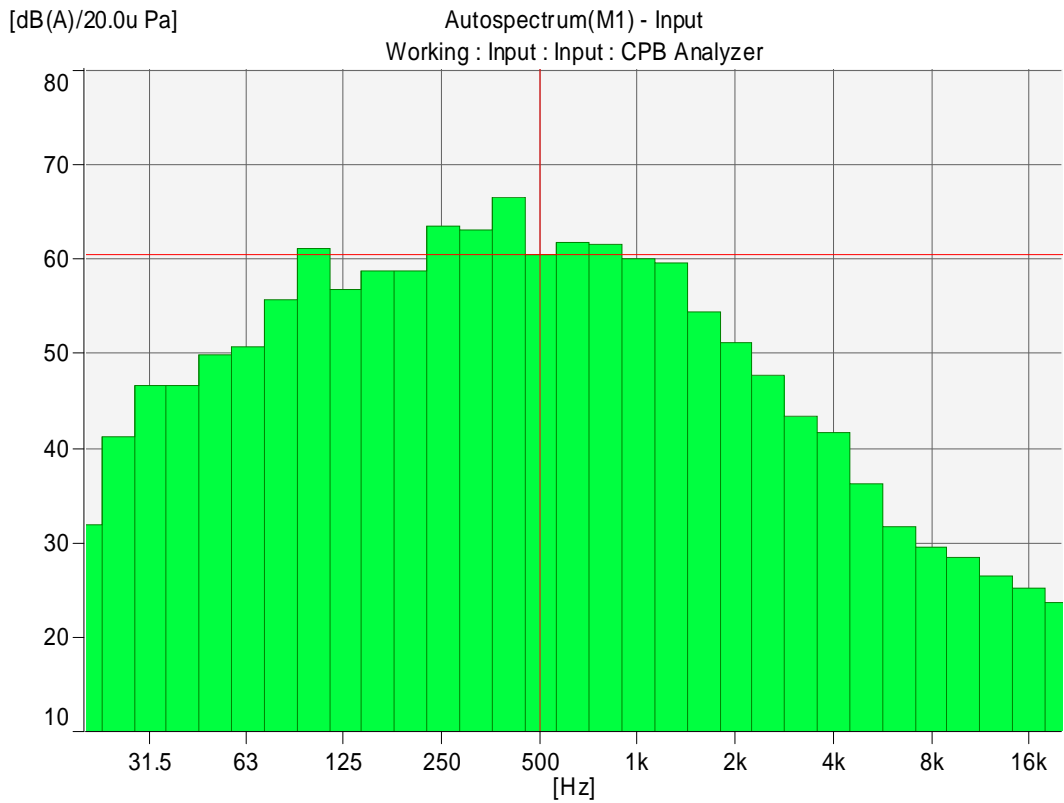
**Graf 8: Frekvenční spektrum při rychlosti 60 km/h v místě M2**



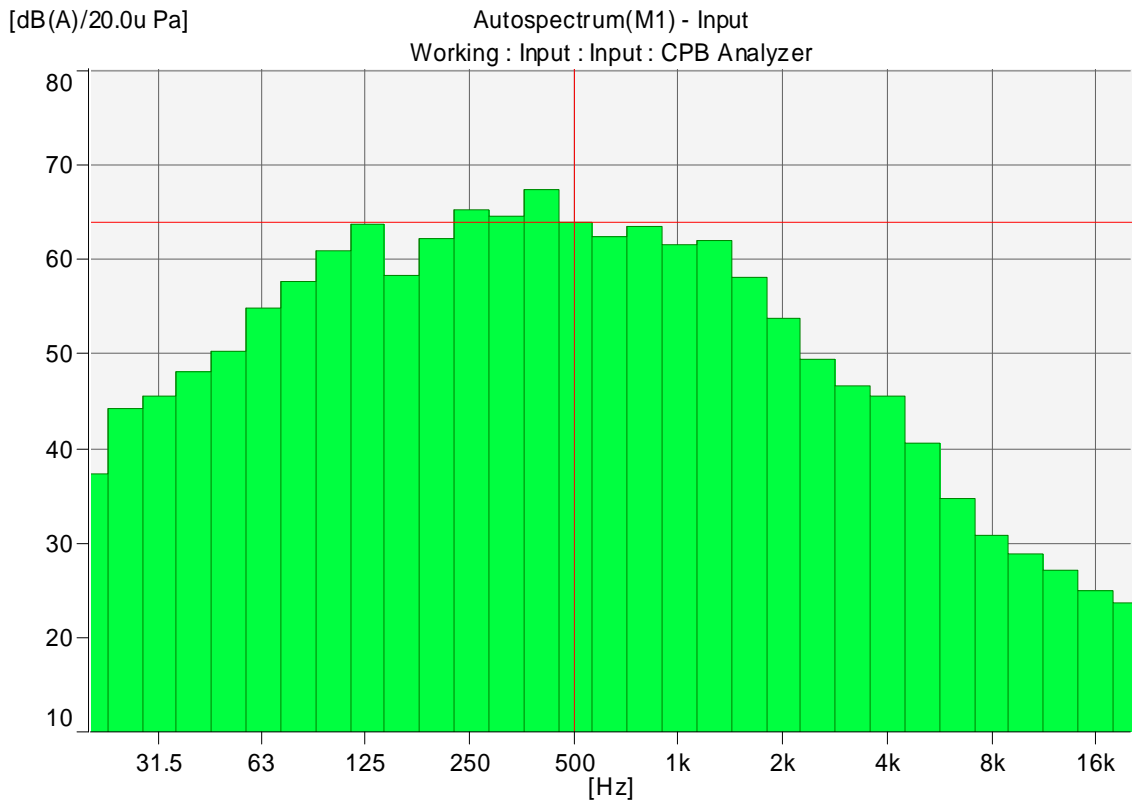
**Graf 9: Frekvenční spektrum při rychlosti 80 km/h v místě M2**



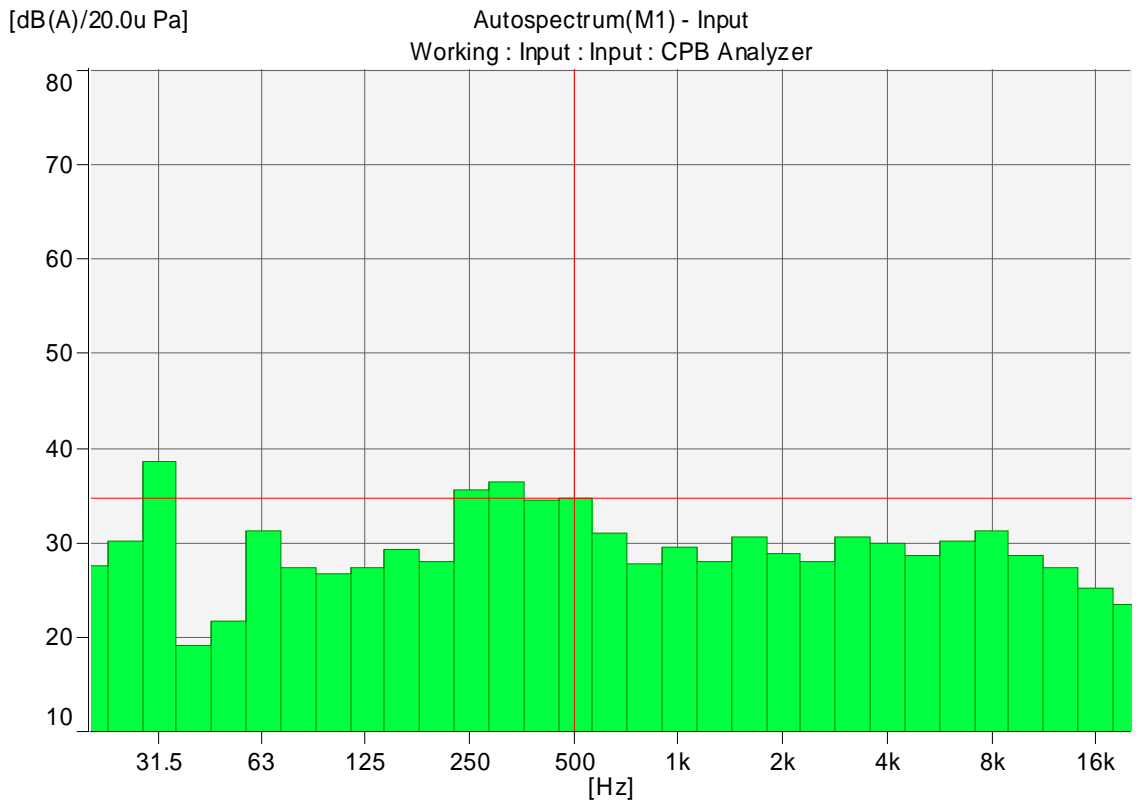
**Graf 10: Frekvenční spektrum při rychlosti 90 km/h v místě M2**



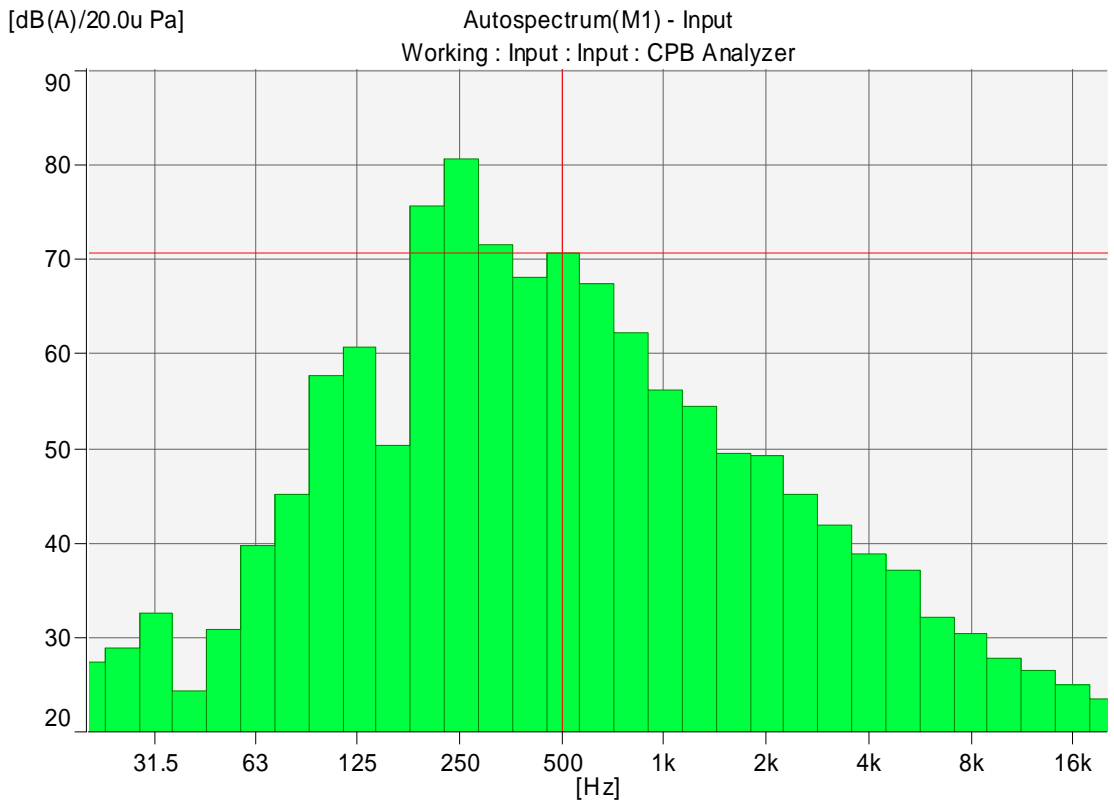
**Graf 11: Frekvenční spektrum při rychlosti 100 km/h v místě M2**



**Graf 12: Frekvenční spektrum při rychlosti 120 km/h v místě M2**



**Graf 13: Frekvenční spektrum volnoběhu v místě M2**



**Graf 14: Frekvenční spektrum maximálních otáček v místě M2**

## 6.10 Závěry

Subjektivní vnímání hluku se různými osobami značně liší. Proto pro objektivní posouzení hlukové situace bylo nutné provést měření v souladu s doporučenými metodami a postupy. Porovná-li se naměřené hladiny akustického tlaku v místě M1 a v místě M2 lze pozorovat minimální rozdíl hladiny akustického tlaku při každé měřené rychlosti. Je to způsobeno tím, že hluk je do vnitřní části vozidla vyzařován rovnoměrně. Průměrná hodnota naměřená v místě M1 je 69.2 dB a v místě M2 69.9 dB. Naměřené hodnoty se zvyšují se zvyšující se rychlostí vozidla. Minimální hodnoty hladiny akustického tlaku se naměřily při rychlosti 60 km/h a to v místě M1 64.1 dB a v místě M2 64.7 dB. Maximální hodnoty se naměřily v rychlosti 120 km/h a to v místě M1 73 dB a v místě M2 73.6 dB. Díky zimním pneumatikám se naměřily celkově vyšší hodnoty hladiny akustického tlaku. Při měření stojícího vozidla se zjistilo, že vyšší hladina akustického signálu působí v zadní části vozidla. Největší rozdíl se zjistil při měření maximálních otáček a to 2.5 dB.

Díky analyzátoru PULSE 3032 A se získaly 1/3 - oktávové spektra, které se dají rozdělit do příslušných frekvenčních pásem, a pomocí kterých lze určit např. artikulační index. Artikulační index je vhodný při porovnání jednotlivých vozů. Dále se může provést v závislosti na rychlosti porovnání hlučnosti pneumatik.

Měření a vyhodnocení hluku ze silničního vozidla jako diagnostický nástroj se opírá o předpoklad, že jakékoliv poškození se projeví zvýšením nebo poklesem hladiny akustického tlaku. Vzhledem k tomu, že hluk je vlnění tak tato diagnostická metoda je založena na sledování velikosti a změn jednotlivých parametrů popisujících toto vlnění v čase a ve frekvenčním spektru. Analýza zvukového signálu dává velké množství informací o diagnostikovaném vozidle. Lokalizace místa poškození závisí na kvalitním zpracování výsledků aby nedošlo k opravě nepoškozené části. Výhodou tohoto druhu diagnostiky je bezkontaktní metoda kdy technik nemusí být v přímém kontaktu s vozidlem. Další výhody jsou dostupná měřicí technika a množství odborné literatury. Nevýhody jsou: vliv rušivých signálů a nutnost podrobné frekvenční analýzy. Tato metoda není v praxi zatím rozšířená a lze ji použít jako metodu doplňkovou.

## **Závěr**

Vozidlo, jeho motor a systém tlumení hluku musejí být navrženy, vyrobeny a smontovány tak, aby vozidlo při normálním použití mohlo splňovat ustanovení předpisu EHK/OSN č.51 navzdory vibracím, kterým může být vystaveno. Systém tlumení hluku musí být navržen, vyroben a sestaven tak, aby mohl dostatečně vzdorovat korozním jevům, kterým je vystaven za podmínek používání vozidla. Měření hluku vozidla je ve většině případech preventivní údržba.

V diplomové práci je popsána kompletní postup měření hluku silničních vozidel. Jde o měření jak vnějšího tak vnitřního hluku silničního vozidla a návod na zhotovení protokolu o měření.

Dále je v práci popsána metodika měření hluku a hluk jako diagnostická veličina. Změnou hladiny akustického tlaku můžeme předejít poškození či poruše diagnostikovaného objektu. Pohybující se části strojů budí vibrace jejich povrchu a formou hluku dochází k přenosu energie ze strojů do okolního prostředí. Hluk jako diagnostická veličina je zdrojem informací o technickém stavu. Na vytváření hluku se podílejí třecí síly a mikroskopické silové impulzy, generované vzájemným pohybem drsných nebo nepřesně opracovaných ploch v místě styku dvojic dílů.

V poslední části je experimentální měření vnitřního hluku silničního vozidla a převod hladiny akustického tlaku na frekvenční spektra. Dále je pak v poslední kapitole uveden kompletní protokol o měření vnitřního hluku silničního vozidla.

## Seznam literatury

- [1] KREIDL Marcel, ŠMÍD Radislav. *Technická diagnostika*. 1. vydání. Praha 2006. BEN – technická literatura
- [2] SMETANA, Ctirad. *Hluk a vibrace – měření a hodnocení*. 1. vydání. Praha 1998
- [3] REMEK, Branko. *Experimentální měření v dopravní technice*. 1. vydání. Praha: ČVUT, 2004.  
ISBN 80-01-03057-1
- [4] VAŇKOVÁ, Marie. *Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí, část. II*. Brno: VUT, 1996. ISBN 80-214-0818-9
- [5] ČLUPEK, Jiří. *Silniční doprava – Emise, Elektromagnetická kompatibilita a hluk*. 1. vydání.  
Praha: Nakladatelství dopravy a turistiky spol. s r.o., 1997. ISBN 80-85884-75-5
- [6] MAŠÍN, Ivan a NĚMEČEK, Pavel. *Základy proaktivní údržby strojů a zařízení*  
1. vydání. 2004
- [7] VESELÝ, Oldřich. *Hluk dopravních prostředků a možnosti jeho snížení*. Bakalářská práce, r. 2007
- [8] ČSN ISO 5128. *Akustika – Měření vnitřního hluku motorových vozidel*.  
Praha: Český normalizační institut, 2002, 12 s.
- [9] PŘEDPIS č. 51 EHK/OSN. *Jednotná ustanovení o schvalování motorových vozidel, která mají nejméně čtyři kola, z hlediska jejich emisí*. Dodatek č. 50: Předpis č. 51, 2007.
- [10] PAVELKA, Michal. *Určení artikulačního indexu ve vnitřním prostoru vozidla*.  
Technická univerzita v Liberci
- [11] GRAJA, Milan. *Měření hluku*. Prezentace
- [12] [www.bksv.com](http://www.bksv.com)

## Seznam obrázků

Obr. 1: Schéma dopravního proudu .....	- 18 -
Obr. 2: Hladina akustického výkonu vzduchem chlazených haftových motorů.....	- 23 -
Obr. 3: Relativní hladina akustického tlaku dieselmotoru .....	- 24 -
Obr. 4: Hluk jednotlivých částí kompresoru .....	- 24 -
Obr. 5: Směrové charakteristiky sond.....	- 31 -
Obr. 6: Směrová charakteristika mikrofonů.....	- 42 -
Obr. 7: Uhlíkový mikrofon .....	- 43 -
Obr. 8: Elektrodynamický mikrofon .....	- 44 -
Obr. 9: Elektretový mikrofon.....	- 46 -
Obr. 10: Piezoelektrický mikrofon.....	- 46 -
Obr. 11: Intenzitní sonda.....	- 48 -
Obr. 12: Toleranční pole dvou kvalitativních tříd zvukoměrů podle mezinárodního doporučení ČSN IEC 651 .....	- 51 -
Obr. 13: Předepsané útlumy $N$ [dB] pásmových propustí .....	- 52 -
Obr. 14: Polohy pro měření vozidel za jízdy .....	- 56 -
Obr. 15: Zkušební místo.....	- 61 -
Obr. 16: Poloha mikrofonu v blízkosti výfuku .....	- 62 -
Obr. 17: Poloha mikrofonu v blízkosti výfuku ve svislé poloze.....	- 63 -
Obr. 18: Mikrofon Brüel @ Kjar, typ: 4188 .....	- 74 -
Obr. 19: Analyzátor PULSE, typ: 3032A .....	- 74 -
Obr. 20: Poloha mikrofonu M1 .....	- 75 -
Obr. 21: Poloha mikrofonu M2.....	- 76 -



## Seznam tabulek

Tab. 1: Hladiny akustických tlaků .....	- 77 -
---	--------

## Seznam grafů

Graf 1: Frekvenční spektrum při rychlosti 60 km/h v místě M1 .....	- 78 -
Graf 2: Frekvenční spektrum při rychlosti 80 km/h v místě M1 .....	- 78 -
Graf 3: Frekvenční spektrum při rychlosti 90 km/h v místě M1 .....	- 79 -
Graf 4: Frekvenční spektrum při rychlosti 100 km/h v místě M1.....	- 79 -
Graf 5: Frekvenční spektrum při rychlosti 120 km/h v místě M1.....	- 80 -
Graf 6: Frekvenční spektrum volnoběhu v místě M1 .....	- 80 -
Graf 7: Frekvenční spektrum maximálních otáček v M1.....	- 81 -
Graf 8: Frekvenční spektrum při rychlosti 60 km/h v místě M2 .....	- 81 -
Graf 9: Frekvenční spektrum při rychlosti 80 km/h v místě M2 .....	- 82 -
Graf 10: Frekvenční spektrum při rychlosti 90 km/h v místě M2 .....	- 82 -
Graf 11: Frekvenční spektrum při rychlosti 100 km/h v místě M2.....	- 83 -
Graf 12: Frekvenční spektrum při rychlosti 120 km/h v místě M2.....	- 83 -
Graf 13: Frekvenční spektrum volnoběhu v místě M2 .....	- 84 -
Graf 14: Frekvenční spektrum maximálních otáček v místě M2.....	- 84 -