

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



## **Vnější hluk osobních automobilů a motocyklů**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Ing. František Lachnit, Ph.D.

Zpracoval: Bc. Tomáš Radovský

PRAHA 2018

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Tomáš Radovský

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

**Vnější hluk osobních automobilů a motocyklů**

Název anglicky

**Exterior noise of cars and motorcycles**

---

### **Cíle práce**

Cílem práce je charakterizovat vliv hluku způsobeného vozidly na člověka a okolí. Uvést legislativní a normativní podmínky v oblasti vnějšího hluku automobilů a motocyklů. Charakterizovat hlavní zdroje hluku automobilů a motocyklů a možnosti snižování. Provést měření vnějšího hluku vybraných automobilů a motocyklů a měření vyhodnotit.

### **Metodika**

Vliv vnějšího hluku motorových vozidel na člověka a okolí.

Legislativa a normativní podmínky pro měření hluku.

Technická opatření na snižování hluku osobních automobilů a motocyklů.

Měření vnějšího hluku vybraných automobilů a motocyklů nových, s delší dobou provozu a s upraveným výfukovým systémem a vyhodnocení měření.

**Doporučený rozsah práce**

50 stran

**Klíčová slova**

hluk, vnější hluk vozidel, měření hluku, omezování hluku

---

**Doporučené zdroje informací**

Beran, V.. Chvění a hluk. Plzeň: FEL ZČU, 2010, ISBN 978-80-7043-916-6.

First, J.. Zkoušení automobilů a motocyklů: příručka pro konstruktéry. Praha : S&T CZ, 2008, ISBN 978-80-254-1850-5.

Nový, R.. Hluk a chvění. Praha: České vysoké učení technické, 2009, ISBN 978-800-1043-479.

Vyhláška č. 341/2014 Sb. o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích

---

**Předběžný termín obhajoby**

2016/17 LS – TF

**Vedoucí práce**

Ing. František Lachnit, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra vozidel a pozemní dopravy

---

Elektronicky schváleno dne 15. 1. 2016

doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 19. 1. 2016

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 26. 03. 2018

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou/bakalářskou práci na téma: Vnější hluk automobilů a motocyklů vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom že, na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne: .....

.....

Bc. Tomáš Radovský

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval všem, kteří mne při tvorbě této práce jakýmkoliv způsobem podpořili. Také bych rád poděkoval Ing. Františku Lachnitovi, Ph.D za jeho podněty a připomínky.

# Abstrakt

Diplomová práce pojednává o vnějším hluku vozidel, o legislativě s ním spojené a o vlivu hluku na člověka a životní prostředí.

V teoretické části je uvedena fyzikální podstata zvuku a definice hluku. Zároveň jsou zde uvedeny zdroje hluku u motorových vozidel. Jsou zde rozebrány účinky hluku na člověka a životní prostředí. Je zde uvedena také legislativa, která se touto problematikou zabývá a jednotlivé hlukové zkoušky.

V praktické části se nachází rozbor a vyhodnocení měření vnějšího hluku vybraných vozidel. Účelem práce je analyzovat vliv hluku na člověka a životní prostředí, provést praktické měření vnějšího hluku vozidel a toto měření vyhodnotit.

Měřil se hluk motocyklů, a naměřené hodnoty byly porovnávány s hlukovými limity a s údaji z technických průkazů vozidel.

## **Klíčová slova**

Hluk, vnější hluk vozidel, měření hluku, omezování hluku

# Abstract

The diploma thesis concerns with outer noise of motorized vehicles, the legal restrictions associated with it, and its effect on people and environment.

The fundamentals of sound and the definition of noise are established in the theoretical part, along with the sources of noise in motorized vehicles. Their effects on people and environment are consequently analyzed and put into perspective of their respective legislation. Individual noise tests are also being described in this part of the thesis.

A real-world study and evaluation of outer noise of selected motorized vehicles itself is in the following practical part.

The main goal of the thesis lies in analyzing the impact of noise on people and environment, carrying out of an actual measurement of the outer noise of selected vehicles and evaluation of its results.

The noise of motorcycles was measured and the acquired results were compared to the values obtained from the vehicle's license.

## **Key words**

Noise, external noise of vehicles, noise measurement, noise reduction

# Obsah

|  |    |
|--|----|
| Abstrakt.....                                    | v  |
| Obsah .....                                      | vi |
| 1. Úvod.....                                     | 1  |
| 2. Cíl práce a metodika .....                    | 2  |
| 2.1 Cíl práce .....                              | 2  |
| 2.2 Metodika .....                               | 2  |
| 3. Teoretická východiska .....                   | 3  |
| 3.1 Zvuk .....                                   | 3  |
| 3.1.1 Šíření zvuku .....                         | 4  |
| 3.2 Akustický tlak .....                         | 6  |
| 3.3 Vlnová délka .....                           | 8  |
| 3.4 Hluk.....                                    | 10 |
| 3.4.1 Zdroje mechanického hluku.....             | 10 |
| 3.4.2 Zdroje aerodynamického hluku .....         | 10 |
| 3.4.3 Rozdělení hluku dle časového průběhu ..... | 11 |
| 3.5 Snižování hluku.....                         | 11 |
| 3.6 Zdroje hluku v motorových vozidlech .....    | 12 |
| 3.6.1 Hnací ústrojí.....                         | 13 |
| 3.6.2 Hluk na styku pneumatika – vozovka.....    | 21 |
| 3.6.3 Aerodynamický hluk.....                    | 22 |
| 3.7 Vliv hluku na člověka .....                  | 24 |
| 3.7.1 Sluchový systém .....                      | 24 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 3.7.2  | Účinky hluku na lidský organismus.....                     | 25 |
| 3.8    | Hluk a životní prostředí.....                              | 28 |
| 3.8.1  | Protihluková opatření v silniční dopravě .....             | 29 |
| 3.9    | Legislativa .....  | 30 |
| 3.10   | Motorová vozidla.....                                      | 31 |
| 3.11   | Metody měření hluku .....                                  | 32 |
| 3.11.1 | Přímé měření hladin akustického tlaku.....                 | 32 |
| 3.11.2 | Metody založené na měření hladin akustické intenzity ..... | 33 |
| 3.12   | Přehled hlukových zkoušek .....                            | 33 |
| 3.12.1 | Vnější hluk vozidel .....                                  | 34 |
| 3.12.2 | Vnější hluk stlačeného vzduchu[12].....                    | 38 |
| 3.12.3 | Vnitřní hluk vozidel[16] .....                             | 39 |
| 3.12.4 | Hlukové limity motorových vozidel .....                    | 41 |
| 4.     | Praktická část práce .....                                 | 42 |
| 4.1    | Místo měření .....   | 42 |
| 4.2    | Použité měřicí přístroje .....                             | 43 |
| 4.2.1  | Kalibrátor CESVA CB-5 .....                                | 43 |
| 4.2.2  | Hlukoměr SC 310 .....                                      | 44 |
| 4.2.3  | Příslušenství .....  | 45 |
| 4.3    | Měřená vozidla.....  | 46 |
| 4.3.1  | Yamaha XS 400 .....  | 46 |
| 4.3.2  | Triumph Speedmaster .....                                  | 49 |
| 4.3.3  | Yamaha X-Max 400.....                                      | 51 |
| 4.3.4  | Jawa 250/353 .....   | 54 |
| 5.     | Výsledky a jejich hodnocení.....                           | 58 |



|       |  |    |
|-------|--|----|
| 5.1   | Yamaha XS 400 .....  | 58 |
| 5.2   | Triumph Speedmaster .....                                      | 59 |
| 5.3   | Yamaha X-Max 400.....  | 60 |
| 5.4   | Jawa 250-353 .....   | 61 |
| 5.4.1 | Porovnání jednotlivých vozidel z hlediska vnějšího hluku ..... | 62 |
| 6.    | Závěr .....  | 64 |
|       | Seznam použitých zdrojů.....                                   | 65 |
|       | Seznam obrázků a tabulek .....                                 | 67 |
|       | Seznam použitých veličin a jednotek.....                       | 69 |
|       | Příloha 1 - Fotografie z měření .....                          | 70 |

# 1. Úvod

Hluk jako takový je nedílnou součástí doby, ve které žijeme, a se stále rostoucím počtem motorových vozidel je zdroj hluku v životním prostředí více a více diskutované téma. Lidská sídla v blízkosti pozemních komunikací jsou vystavována v podstatě neustálé nadměrné hlukové zátěži. O důležitosti regulace hluku tedy není pochyb.

Ačkoli jsou uzákoněny limity, které by měly stroje účastníci se provozu na pozemních komunikacích dodržovat, jejich majitelé často využívají faktu, že hodnocení vzniklého hluku bývá subjektivní a překročení limitů tudíž neprokazatelné, a svá vozidla upravují.

Úkolem diplomové práce je poskytnout objektivní změření hlukové zátěže způsobené vozidly, která prošla takovouto úpravou.

V teoretické části práce budou rozebrány fyzikální podstata zvuku a jeho šíření okolním prostředím, možnosti snižování hluku a zdroje hluku u motorových vozidel. Dále budou rozebrány účinky hluku na lidský organismus, legislativa, která se problému týká, a hlukové zkoušky motorových vozidel.

V praktické části budou popsána měřená vozidla, na nich provedené úpravy oproti originálnímu stavu, a vyhodnocení dat z měření. Součástí vyhodnocení bude popis vlivu těchto úprav na vnější hluk vozidel a porovnání s hlukovými limity.

Cílem této práce je uvést teorii hluku v oblasti motorových vozidel, provést měření vnějšího hluku vozidel s upraveným výfukovým systémem podle normativních podmínek, a následně toto měření vyhodnotit.

Po vyhodnocení měření bude provedena diskuze o nelegálních úpravách a vlivu těchto úprav na okolní prostředí.

## **2. Cíl práce a metodika**

### **2.1 Cíl práce**

Cílem této diplomové práce je charakterizovat vliv hluku na člověka a životní prostředí a uvést jeho fyzikální podstatu, dále pak analyzovat legislativní a normativní podmínky v oblasti vnějšího hluku automobilů a motocyklů, jeho měření a možnosti jeho snižování.

Praktická část bude spočívat v provedení měření vnějšího hluku vybraných motorových vozidel s provedenými úpravami výfukového systému, zpracování výsledků měření a analyzování vlivu těchto úprav na vnější hluk vozidel a okolní prostředí.

### **2.2 Metodika**

Metodika této práce bude spočívat v uvedení teoretického základu v oblasti hluku, legislativy a provedení měření dle normativních podmínek uvedených v kapitole 3.12.

Měřená vozidla budou upravena oproti originálnímu stavu, cílem bude vyhodnotit vliv těchto úprav na vnější hluk vozidel, vliv na životní prostředí a člověka a vliv na způsobilost k provozu na pozemních komunikacích.

Celkově budou měřena čtyři vozidla kategorie L různého data výroby, popsaná v kapitole 4.3. Úpravy budou spočívat ve změně výfukového systému, protože právě ten má u vozidel kategorie L největší vliv na vnější hluk. Proběhne statická zkouška – měření v klidu, a dynamická zkouška – měření za jízdy.

Aby byly dodrženy normativní podmínky měření (kapitola 3.12), bylo nutné vybrat vhodné místo měření. Nejlepším se ukázalo být bývalé vojenské letiště Hradčany.

Naměřená data z hlukoměru jsou ve formátu .txt, po převedení do programu MS Excell bude nalezena nejvyšší hodnota z daného měření a vypočítá se průměr z opakovaných měření.

Výsledky se porovnají s údaji v technickém průkazu vozidel a hlukovými limity, poté proběhne diskuze o vlivu úprav na okolní prostředí.

### 3. Teoretická východiska

V této kapitole se práce zabývá fyzikální podstatou zvuku, definicí hluku a jeho zdrojů u motorových vozidel, dále pak vlivem hluku na člověka a životní prostředí, uvedením druhů hlukových zkoušek a legislativou týkající se vnějšího hluku vozidel.

#### 3.1 Zvuk

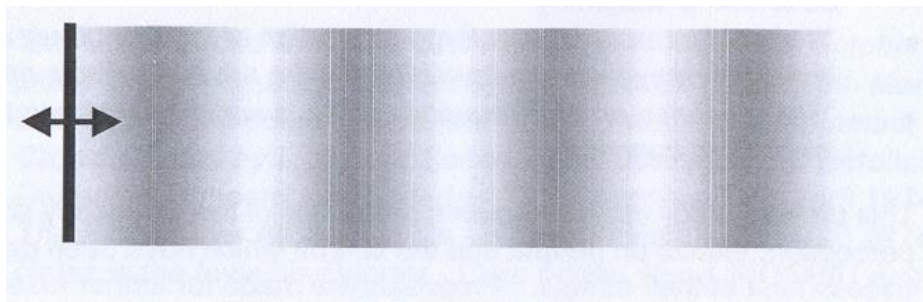
Zvuk jako fyzikální jev je mechanické vlnění v látkovém prostředí; dochází k postupnému podélnému vlnění a k periodickému zhušťování a zředování částic prostředí ve směru šíření vlnění, jak je patrné na obr. 1.

Počet zhuštění a zředění za sekundu nazýváme frekvence vlnění a rychlost vlnění nazýváme rychlost zvuku. Ta závisí na fyzikálních vlastnostech prostředí, ve kterém šíření nastává, proto je pro každé prostředí a podmínky charakteristická.

Frekvenční spektrum lze rozdělit na tři části[6]:

- Infrazvuk frekvence vlnění do 20 Hz
- Slyšitelný zvuk frekvence vlnění od 20 Hz do 20 kHz
- Ultrazvuk frekvence vlnění od 20 kHz

*Obr. 1: Vlnění*



*Zdroj: [17]*

### 3.1.1 Šíření zvuku

Pro výpočet rychlosti zvuku v tekutině platí všeobecně vztah[6]:

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho_t}} \quad (1)$$

kde

$c$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ] – rychlost šíření zvuku,

$K$  [Pa] – modul objemové pružnosti,

$\rho_t$  [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ] – hustota tekutiny.

Pro šíření zvuku vzduchem nebo jiným plynem se dá toto šíření považovat za adiabatický děj, modul pružnosti lze uvést takto[6]:

$$K = k * p_b \quad (2)$$

kde

$k$  [-] – Poissonova konstanta (pro suchý vzduch  $k=1,403$ ),

$p_b$  [Pa] – barometrický tlak,

po dosazení:

$$c = \sqrt{\frac{k * p_b}{\rho_t}} \quad (3)$$

Pomocí stavové rovnice upravíme a získáme:

$$c = \sqrt{k * r * T} \quad (4)$$

kde

$r$  [ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ] – plynová konstanta (pro suchý vzduch  $r=287,11$ )

$T$  [K] – termodynamická teplota.

Pro šíření zvuku suchým vzduchem platí po dosazení konstant toto:

$$c = 20,07 * \sqrt{T} \quad (5)$$

Z předchozích vztahů je zřejmé, že rychlost šíření zvukového vlnění vzduchem je závislé na jeho teplotě. V tuhých látkách se mohou šířit podélné i příčné vlny. Při podélném vlnění kmitají částice ve směru šíření vlnění, kdežto příčné vlnění způsobuje kmitání částic kolmo na směr šíření vlnění.

Pro rychlost podélného vlnění v tyči z tuhého pružného materiálu platí vztah[7]:

$$c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho_p}} \quad (6)$$

kde

$E$  [N.m<sup>-2</sup>] – dynamický modul pružnosti v tahu,

$\rho_p$  [kg.m<sup>-3</sup>] – hustota materiálu.

Pro šíření v deskách (obdélníkový průřez) je třeba ve vztahu zahrnout vliv kontrakce ve formě poissonova čísla[1]:

$$\mu = \frac{E-2*G}{2*G} \quad (7)$$

kde  $G$  [Pa] – dynamický modul pružnosti ve smyku.

Pro rychlost šíření podélných vln v deskách potom platí[4]:

$$c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho*(1-\mu^2)}} \quad (8)$$

V tab. 1 jsou uvedeny rychlosti šíření zvuku podélným vlněním ve vybraných materiálech

Tab. 1: Rychlosti šíření zvuku v různých prostředích

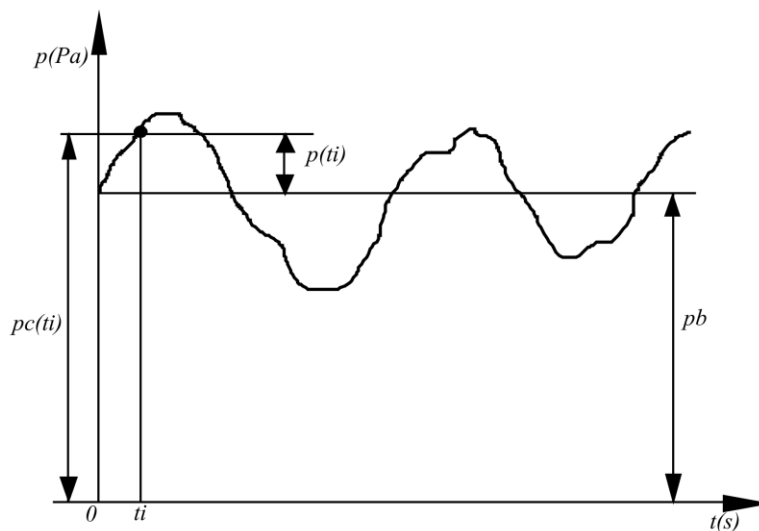
| Materiál    | Hustota materiálu            | Rychlost šíření podélných vln |
|-------------|------------------------------|-------------------------------|
|             | $\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ] | $c_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]    |
| Vzduch 0°C  | 1,27                         | ≈331                          |
| Vzduch 20°C | 1,21                         | ≈343                          |
| ocel        | 7850                         | ≈5750                         |
| hliník      | 2700                         | ≈4800                         |
| sklo        | 2700                         | ≈5250                         |
| korek       | 250                          | ≈500                          |
| Měkká guma  | 900                          | ≈70                           |
| Tvrdá guma  | 1100                         | ≈1400                         |

Zdroj: [6]

### 3.2 Akustický tlak

Z fyzikální podstaty mechanického vlnění vyplývá, že v jeho směru dochází k zředování a zhušťování částic materiálu, ve kterém se zvuk šíří. Z makroskopického hlediska je to časově proměnlivá složka tlaku superponovaná na barometrický tlak.

Obr. 2: Akustický tlak



Zdroj: [7]

Z obrázku č. 2 vyplývá, že okamžitý akustický tlak lze vyjádřit vztahem[7]:

$$p(t) = p_c(t) - p_b \quad (9)$$

kde

$p_c(t)$  [Pa] – celkový tlak v čase  $t$ ,

$p_b$  [Pa] – barometrický tlak.

Tyto změny tlaku lze nazvat akustický tlak. Amplituda akustického tlaku při nejběžnějších zvukových signálech bývá v okolí  $0,1 \text{ kPa}$ .

Konvenčně stanovenou hodnotu akustického tlaku, který je při použití čistého tónu o frekvenci  $1 \text{ kHz}$  ještě možné zachytit lidským uchem, nazýváme prahový akustický tlak, a jeho hodnota je  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ . Pro speciální použití, jako jsou například ultrazvukové skenery, se užívají zvukové signály s hodnotou akustického tlaku až  $2 \text{ Mpa}$ .

Množství zvukové energie, které projde jednotkovou plochou kolmou na směr šíření zvukového vlnění za jednotku času, lze nazvat intenzita vlnění. Prahová hodnota intenzity vlnění, kterou je ještě lidské ucho schopné rozpoznat, je  $I_0 = 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ .

Hodnoty intenzit vlnění se pohybují v rozmezí několika desítek  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ , z tohoto důvodu byla zavedena logaritmická škála, která prahové intenzitě přiřazuje nulovou hodnotu. Tuto veličinu nazýváme hladina intenzity zvuku a má umělou jednotku  $1 \text{ Bel} [1 \text{ B}] = 10 \text{ deciBel} [10\text{dB}]$ .

Pro hladinu akustické intenzity a hladinu akustického tlaku platí následující vztahy[2]:

$$L_I = 10 * \log \frac{I}{I_0} \quad (10)$$

$$L = 10 * \log \frac{p(t)^2}{p_0^2} \quad (11)$$

Při praktickém měření hluku se zpravidla nepočítá s okamžitými hodnotami akustického tlaku  $p(t)$ , ale využívá se jeho efektivní hodnota  $p_{ef}$ , což je fiktivní neměnná hodnota, která by při stejném sledovaném časovém úseku měla stejný energetický vliv jako má skutečný okamžitý akustický tlak za daný čas.



Pro její výpočet lze použít tento vztah[6]:

$$p_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p(t)^2 dt} \quad (12)$$

kde  $T$  [s] – sledovaný čas.

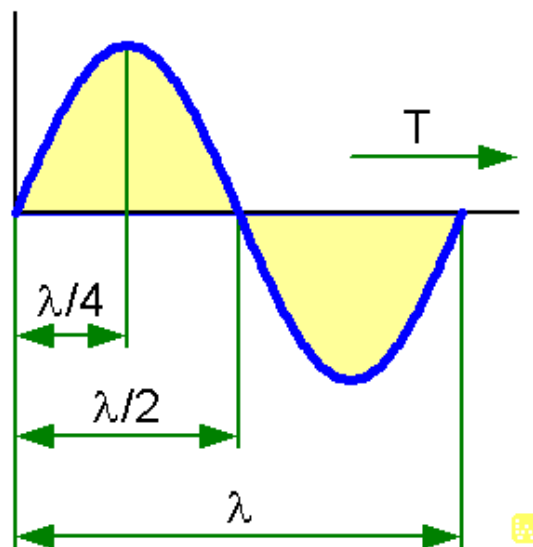
Při harmonických zvukových signálech tento vztah platí následovně[1]:

$$p_{ef} = \frac{p(t)}{\sqrt{2}} = 0,707 * p(t) \quad (13)$$

### 3.3 Vlnová délka

Vlnová délka je charakterizována jako vzdálenost mezi dvěma body ležícími na jedné vlně a ve stejné poloze z hlediska periodicity a tedy vzdálenost, kterou urazí jedna vlna za jednu periodu.

Obr. 3: Vlnová délka



Zdroj: <http://vlnova-delka.wikina.cz/>

Délka vlny je závislá na veličinách vyjádřených ve vztahu[6]:

$$\lambda = c * T = \frac{c}{f} = 2\pi * \frac{c}{\omega} \quad (14)$$

kde

$T$  [s] – perioda,

$\omega$  [rad.s<sup>-1</sup>] – úhlová frekvence ( $\omega = 2\pi * f$ ),

$\pi$  [-] – Ludolfovo číslo.

Vlnová délka je z mnoha hledisek důležitý parametr – hraje podstatnou roli při vyzařování zvukového vlnění a při rychlosti jeho šíření. Velmi důležitá je také při navrhování odhlučnění prostorů. Pro vznik vlnění v materiálu je potřebné, aby jeho celkové rozměry byly větší než polovina vlnové délky.

Z tohoto důvodu se v menších předmětech nedokáží šířit ani vznikat zvukové vlny určitých vlnových délek.

Tab. 2: Vlnová délka

| Materiál    | Vlnová délka $\lambda_c$ [m] |        |        |         |           |
|-------------|------------------------------|--------|--------|---------|-----------|
|             | 50 Hz                        | 250 Hz | 500 Hz | 1000 Hz | 10 000 Hz |
| Ocel        | 115                          | 23     | 11,5   | 5,75    | 0,575     |
| Hliník      | 54                           | 10,8   | 5,4    | 2,7     | 0,27      |
| Korek       | 5                            | 1      | 0,5    | 0,25    | 0,025     |
| Měkká guma  | 18                           | 3,6    | 1,8    | 0,9     | 0,09      |
| Hutný beton | 46                           | 9,2    | 4,6    | 2,3     | 0,23      |

Zdroj: [7]

## **3.4 Hluk**

Pod pojmem hluk si lze představit zvuk z jakéhokoliv zdroje, který má vyšší intenzitu a má na člověka nežádoucí vliv - jako jev v dopravě s sebou přináší negativní vliv na psychiku a zdraví posádky dopravních prostředků i okolní prostředí.

Hluk může mít periodický nebo neperiodický charakter, pro jeho měření se používá hlukoměr.

V kontextu vnějšího hluku motorových vozidel rozlišujeme dva druhy hluku: mechanický a aerodynamický.

### **3.4.1 Zdroje mechanického hluku**

Mechanický hluk je zvuk mechanicky buzený od vibrujících povrchů strojů a jejich částí; povrch vibrujícího tělesa způsobí akustický rozruch v okolí tělesa a odevzdá svoji mechanickou energii akustickému prostředí. Energie se pak v podobě akustických vln šíří do celého akustického prostředí až ke přijímači.

Do této kategorie hluku lze zařadit hluk způsobený chodem motoru, hluk od valení pneumatik, i přenos vibrací způsobený nerovnostmi povrchu vozovky přes nápravy vozidla na celou konstrukci vozidla.

### **3.4.2 Zdroje aerodynamického hluku**

Hluk aerodynamického původu lze charakterizovat jako zvuk, který vzniká v důsledku působení proudu vzduchu na okolní obklopující prostředí. Příčinou tedy není kmitání těles, ale pohyb vzduchu.

### 3.4.3 Rozdělení hluku dle časového průběhu

Dle časového průběhu lze hluk rozdělit do těchto kategorií[6]:

- Ustálený – hladina se nemění v časovém průběhu více než o 5 dB.
- Proměnlivý – hladina se mění v časovém průběhu více než o 5 dB.
- Přerušovaný – hladina se mění náhle, v průběhu hlučného intervalu je ale ustálená.
- Nepravidelný – hladina se mění zcela náhodně.
- Impulsní – hluk je tvořen jednotlivými zvukovými impulsy s trváním do 200 ms, případně sledem impulsů následujících po sobě v intervalech delších než 10 ms.

### 3.5 Snižování hluku

Snižování hluku spočívá v jeho tlumení. Podstata tlumení je v přeměně zvukové energie v jinou, nejčastěji tepelnou energii. Úbytek energie může trojím způsobem[4]:

- Třením vzduchových částic ke kterému dochází při proudění póry pohltivého materiálu
- Snižováním potenciální energie zvukové vlny která vniká do pohltivého materiálu čímž se sníží akustický tlak
- Nepružnou deformací tělesa, na které dopadá zvuková vlna

Ke ztrátě zvukové energie dochází kombinací těchto tří základních pochodů.

Pohltivé vlastnosti materiálu lze vyjádřit činitelem zvukové pohltivosti  $\alpha$ [4]:

$$\alpha = \frac{P_p}{P_{dop}} \quad (15)$$

kde

$P_p$  [W] – pohlcený akustický výkon,

$P_{dop}$  [W] – celkový dopadající akustický výkon.

Podobným činitelem lze definovat činitele zvukové odrazivosti  $\beta$ [4]:

$$\beta = \frac{I_{odr}}{P_{dop}} \quad (16)$$

kde

$I_{odr}$  [W.m<sup>-2</sup>] – odražená zvuková intenzita,

$I_{dop}$  [W.m<sup>-2</sup>] – celková dopadající zvuková intenzita.

Při výpočtu musí platit[4]:

$$\alpha + \beta = 1 \quad (17)$$

Možnosti snižování vnějšího hluku motorových vozidel budou uvedeny u jednotlivých zdrojů hluku.

### 3.6 Zdroje hluku v motorových vozidlech

Celkový hluk, který je způsobován motorovými vozidly, je výsledkem součtu částečných zdrojů hluku. Míra, kterou se podílejí tyto dílčí zdroje na celkové hlučnosti vozidla, závisí na jízdních podmínkách, typu a technickém stavu vozidla, jeho karoserii.

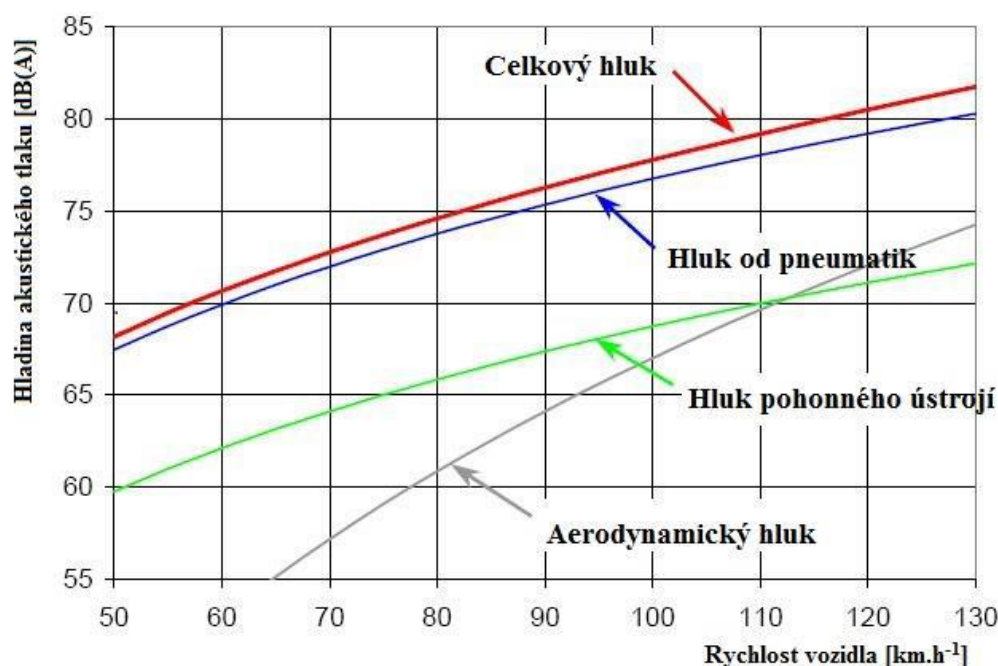
Při snižování emisí hluku je třeba zkoumat tyto kategorie samostatně a jejich postupným upravováním jednotlivě snižovat celkovou hladinu vydávaného hluku.

Zdroje lze zařadit do následujících skupin[7]:

- Hnací ústrojí
- Hluk na styku pneumatika - vozovka
- Aerodynamický hluk

Vnější hluk vozidel rozdělený podle vzniku v závislosti na rychlosti je znázorněn na obrázku č. 4.

Obr. 4: Hluk vozidel v závislosti na rychlosti



Zdroj: *Tire Pavement Noise: Strategic Plannig Workshop-2004. www.fhwa.dot.gov.*

### 3.6.1 Hnací ústrojí

Hnací ústrojí je základem každého motorového vozidla. V současné době se nejčastěji skládá z pístového spalovacího motoru, převodového systému a dalších, jako jsou chladičská soustava, sací a výfukový systém.

Jednotlivé komponenty jsou za účelem omezení přenosu vibrací spojené s konstrukcí vozidla prostřednictvím pružných spojů. Přesto však k přenosu na ostatní části karoserie dochází, a hluk proniká jak do okolí vozidla, tak i do prostoru pro pasažéry. Tím se znehodnocuje komfort jízdy pro celou posádku.

#### 3.6.1.1 Motor

V současné době se lze u osobních automobilů setkat nejčastěji se čtyřdobými vznětovými a zážehovými spalovacími motory. U motocyklů jsou to zpravidla zážehové, dvoudobé i čtyřdobé, ale existují i výjimky, jako například motocykl indické produkce Royal Enfield.

Hlavní rozdíl mezi vznětovým a zážehovým motorem je v palivu a přípravě směsi tohoto paliva se vzduchem. U zážehového motoru je základním palivem benzín a regulace je kvantitativní, k zážehu paliva dochází pomocí zapalovací svíčky elektrickým impulzem.

U vznětového je to nafta a regulace paliva je kvalitativní, ke vznícení paliva dochází pouze stlačením vzduchu ve válci. Vznětové motory také dosahují vyšších kompresních poměrů (6 – 12 Mpa), u zážehového je to 2,5 – 5,5 Mpa[5].

Existují motory dvoudobé, čtyřdobé, různých konstrukcí z hlediska uspořádání a počtu válců nebo umístění ve vozidle.

### **Mechanický hluk motoru**

Mechanický hluk motoru je vytvářen vibracemi pohybujících se dílů a jejich vzájemným kontaktem. Největší podíl na tomto typu hluku mají provozní vůle mezi jednotlivými díly a nebo v jejich uložení.

Mechanický hluk způsobuje klikový mechanismus, ventilový rozvod a pohyb pístu s ojnící ve válci. Hlavní pohyb pístu ve válci je rovnoběžný s osou válce, při reálném chodu motoru dochází ale i k pohybu, který je kolmý na osu válce[5].

- Posuvné části: píst, pístní kroužky, pístní čep a posuvná část ojnice.
- Rotující součásti: ojniční čep, rameno klikového hřídele a rotující část ojnice.

Při jejich vzájemném pohybu vznikají setrvačné síly, které pokud jsou nevyvážené, vyvolávají chvění a kmitání celého motoru, které je zdrojem vnějšího hluku.

Snížení mechanického hluku lze dosáhnout správným seřízením motoru a výměnou opotřebovaných součástí.

#### **3.6.1.2 Převodové ústrojí**

Převodové ústrojí zajišťuje změnu převodového poměru a přenos točivého momentu na kola. U osobních automobilů se zpravidla používá mechanická vícestupňová převodovka s čelním ozubením, nebo planetová automatická převodovka. U motocyklů je to buď mechanická vícestupňová převodovka s čelním ozubením, nebo automatická s plynulou změnou převodového poměru – variátor.

Převodovka je uzavřený akustický prvek, ze kterého se hluk šíří vibracemi povrchu skříně. Přes uchycení převodovky ve vozidle se může hluk šířit na karoserii či rám vozidla, což je nežádoucí.

Snížení hluku převodového ústrojí lze dosáhnout použitím vhodného typu maziva a udržování nezvětšených provozních vůlí.

### 3.6.1.3 Výfukový a sací systém

Hluk výfukového a sacího potrubí je způsoben prouděním pracovní náplně motoru. Pro utlumení hluku z výfukového systému se používá tlumič – vizte dále. Pro utlumení hluku ze sacího systému se používá v potrubí tlumící hmota (papír, textil), která zároveň slouží jako čistič nasávaného vzduchu.

U osobních automobilů jsou používány z pravidla dva druhy tlumiče výfuku s rozdílným frekvenčním laděním. U motocyklů je to pouze jeden typ.

Obzvláště u vozidel kategorie L, tedy motocyklů, jsou úpravy výfukového systému velice diskutované téma. Mnozí majitelé motocyklů chtějí zvuk svého stroje přizpůsobit podle svých představ, ušetřit hmotnost, případně změnit výkonové parametry vozidla.

Nedovolené úpravy výfukových systémů však mají nepříznivý vliv na vnější hluk vozidel, což bude dokázáno měřením v kap. 4.

#### Definice[13]

- „**Výfukovým systémem**“ nebo „**tlumičem**“ se rozumí úplná souprava dílů nezbytných k omezení hluku vytvářeného motorem
- „**Původním výfukovým systémem nebo tlumičem**“ se rozumí systém toho typu, který byl namontován na vozidlo při schválení typu nebo při rozšíření typu.
- „**Nepůvodním výfukovým nebo tlumícím systémem**“ se rozumí systém odlišného typu, než kterým je vozidlo vybaveno při schválení typu nebo rozšíření typu.
- „**Dílem výfukového systému**“ se rozumí jedna z jednotlivých částí, které spolu tvoří výfukový systém



## Označení původních dílů výfukového systému motocyklu[13]

### Výfukový systém bez označení

Původní výfukové systémy nemusejí být opatřeny homologační značkou, pokud byly schváleny do provozu před 1. 7. 2001, nebo byly schváleny individuálně, např. stavba nebo dovoz ze zahraničí.

Pro schválení motocyklu do provozu na silničních komunikacích musel být výfukový systém testován ve zkušebním ústavu a musel splňovat požadavky na hlukové limity.

### Výfukový systém s označením jednotlivých dílů

Motocykly registrované po datu 1. 7. 2001, musí mít označení původního výfukového systému podle pravidel směrnice 97/24/ES. Předepsaným značením nemusí být opatřeny trubky a úchyty jednotlivých komponentů výfukového systému.

– Motocykly registrované od 1.7. 2001 do 27. 3. 2006  
Tlumič výfukového systému musí být označen značkou „e“ a následnou identifikační značkou státu, který udělil schválení typu. Příklad na obr. 5.

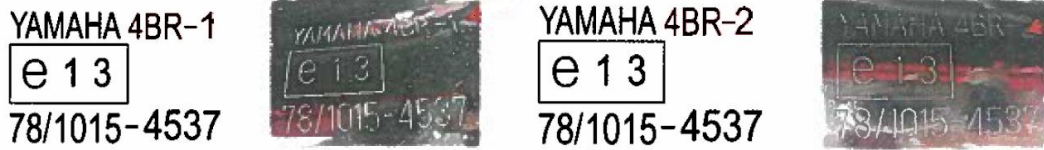
*Obr. 5: Homologační značka výfuku*



*Zdroj: [19]*

– Motocykly registrované od data 28. 3. 2006  
Tlumič výfukového systému musí být povinně označen značkou „e“ a následnou identifikační značkou státu, který udělil schválení typu, názvem výrobce vozidla nebo výrobní značkou, identifikačním číslem dílu a číslem schválení typu konstrukční části. Příklad na obr. č. 6.

Obr. 6: Homologační značka výfuku



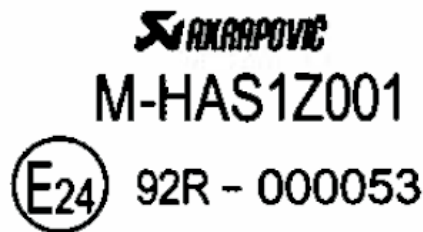
Zdroj: [19]

## Označení nepůvodních dílů výfukového systému motocyklu

### Označení dle předpisu EHK č.92

Nepůvodní výfukový systém, nebo jeho díl musí být označen výrobní nebo obchodní značkou výfukového systému a jeho součástí, obchodním názvem přiděleným výrobcem, značkou „E“ v kroužku následovanou identifikační značkou státu, který udělil schválení typu a číslem schválení typu konstrukční části. Příklad na obr. č. 7.

Obr. 7: Homologační značka výfuku



Zdroj: [19]

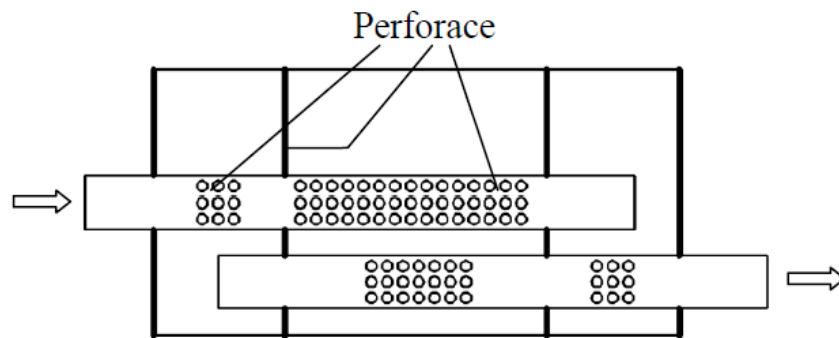
Doposud existují čtyři druhy tlumičů, každý z nich využívá jiné principy pro tlumení zvukových vln, a to reflexní, absorpční, rezonanční a interferenční.

### **Reflexní tlumič**

Reflexní tlumič je tvořen několika komorami a několika děrovanými trubkami. Při tlumení zvuku se u tohoto způsobu kladou do cesty zvukovým vlnám překážky, čímž dochází k jejich tlumení.

Tento typ tlumiče je vhodný pro tlumení zvuků nižších a středních frekvencí.

Obr. 8: Reflexní tlumič



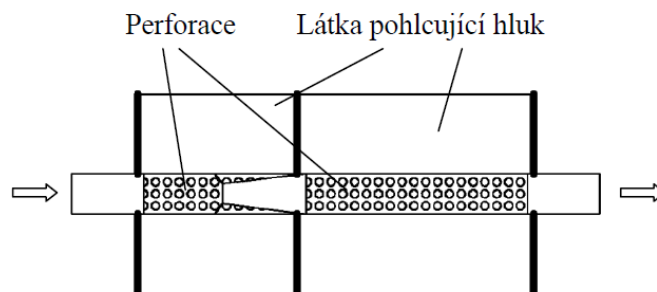
Zdroj: [5]

### Absorpční tlumič

Při tomto druhu tlumení dopadají zvukové vlny do měkkého porézního materiálu, který je pohlcuje. Tlumič tohoto typu je složen z perforované trubky a jedné či více komor.

Tento typ tlumiče zachycuje zvuky vyšších frekvencí.

Obr. 9: Absorpční tlumič



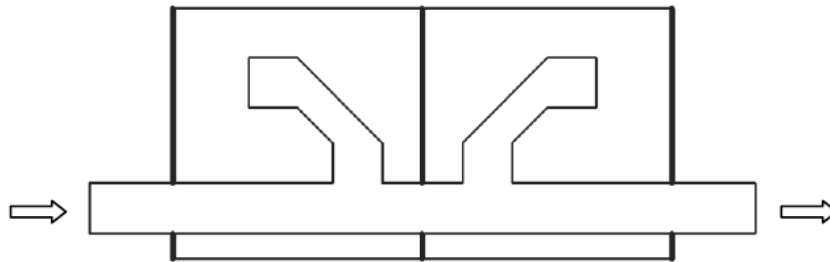
Zdroj: [5]

### Rezonanční tlumič

Proud spalin je zaváděn do komor kde se pulsace spalin fázově obracejí. V konečném výsledku dojde k jejich potlačení.

Tento typ tlumiče dosahuje relativně silného útlumu, ale pouze v rozmezí určitých frekvencí.

Obr. 10: Rezonanční tlumič

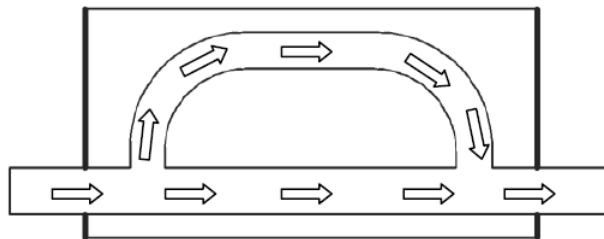


Zdroj: [5]

### Interferenční tlumič

Při použití interferenčního typu tlumiče je proud spalin rozdělen do různě dlouhých drah, které jsou následovně spojeny (obr. 8). V tom případě nastane fázové posunutí tlakových vln a při vhodně zvolených délkách drah působí tlakové vlny proti sobě, čímž dojde k útlumu.

Obr. 11: Interferenční tlumič



Zdroj: [5]

### Kontrola výfukových systémů Policí ČR

Referenční hodnota hladiny vnějšího akustického tlaku vozidla nesmí být během provozu překročena. Z tohoto důvodu by se neměly provádět jakékoliv zásahy do výfukového systému vozidla.

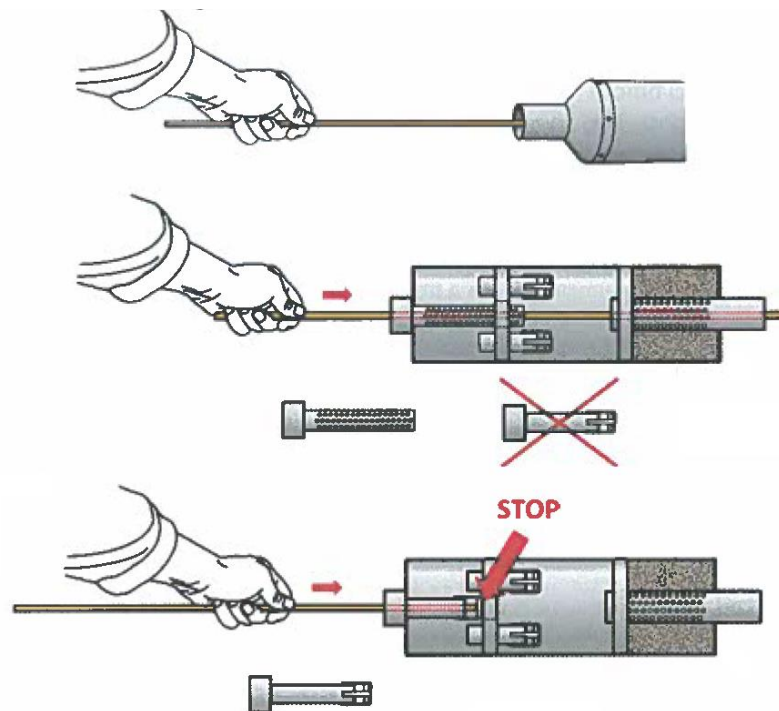
Dle autora [18] by měla hlídka policie ČR postupovat takto:

- Subjektivně posoudíme, zda hlučnost motocyklu nezatěžuje okolí nadměrným hlukem.
- Pokud hluk motocyklu zjevně překračuje běžnou hlučnost, ověříme, zda není proveden neschválený zásah do konstrukce výfukového systému.
- Výfukový systém musí obsahovat vždy tlumič hluku.

Neschválenou změnu tlumiče identifikujeme snadno pomocí vhodného nástroje, který zastrčíme do ústí výfuku (obr. 12).

Pokud lze vhodný nástroj zasunout téměř do větší části výfukového systému, je tlumič upraven tak, že svým provedením neodpovídá původním parametrům, pro které byl typově schválen. Neplní tak homologační požadavky.

Obr. 12: Princip kontroly výfukového systému



Zdroj: [19]

Zároveň ale autor[19] uvádí, že v současné době hlídka nemůže změřit skutečnou hodnotu hluku, takže nedoporučuje používat závalu stupně „C“ (vozidlo není způsobilé k provozu). Údajně se tak lze vyhnout případným právním sporům.

Pokud provozovatel nesouhlasí se subjektivním hodnocením, že jeho motocykl nesplňuje hlukový limit, a požaduje prokázání skutečného hluku kontrolním měřením, policie pro správné řízení zajistí tyto důkazní prostředky:

- K overení demontáže tlumiče použije kontrolní test (obr. 12).
- Podrobně nafotí celý výfukový systém vozidla.
- Pro správné řízení se doporučuje provedení kontrolního měření hluku na náklady provozovatele ve zkušebním ústavu. Toto měření musí být provedeno u výfukového systému, který je v souladu se zajištěnou fotodokumentací.

Policie tedy nemá objektivní nástroje na to, aby při silniční kontrole změřila vnější hluk vozidla a v případě překročení hlukových limitů nemůže vozidlo na místě odstavit.

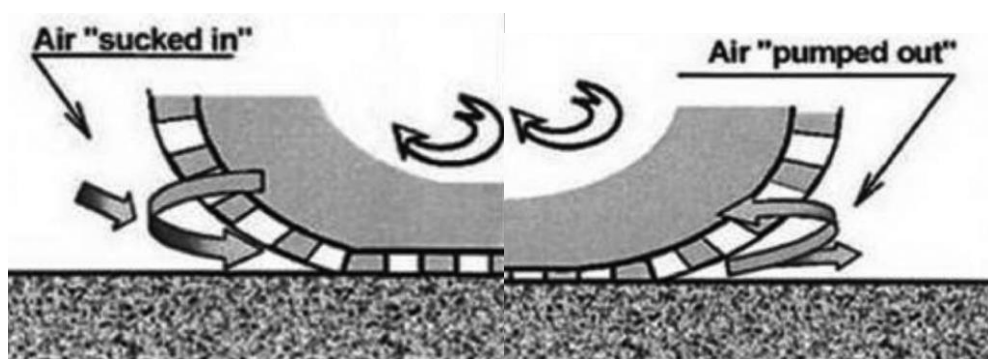
### **3.6.2 Hluk na styku pneumatika – vozovka**

Každá pneumatika na běhounu má kolem celého obvodu vzorek, označovaný jako dezén, který si lze představit jako soubor různých lamel a drážek. Při pohybu vozidla vpřed dochází k odvalování pneumatiky a tím k nárazům jednotlivých dezénových bloků na povrch vozovky – tento jev si lze představit jako úder gumové paličky, dochází k radiální vibraci pneumatiky.

Pneumatika naráží odvalováním na výstupky povrchu vozovky, její bočnice se rozvibrují a jsou zdrojem hluku v rozsahu nízkých frekvencí 500 až 1000 *Hz*; kdyby byly oba materiály pružné, vyzářená energie by byla výrazně nižší[18].

V místě kontaktu vozovky s pneumatikou jsou drážky v dezénu pneumatiky postupně stlačovány a deformovány, je z nich vytlačován vzduch a při dalším otočení opět nasáván, jak je patrné na obr. 13.

Obr. 13: Sání vzduchu pneumatikou



Zdroj: [18]

Stlačováním a opětovným nasáváním vzduchu vzniká energie a je vyzařována do okolí, tento jev lze přirovnat k tleskání. Vzorek pneumatiky je schopný vyzařovat hluk v rozsahu vyšších frekvencí 1000 až 2000 Hz.

Největší význam co se hluku týče má dezén pneumatiky. Při nižších rychlostech se projeví vibrace pneumatiky, při vyšších rychlostech sání a vytlačování vzduchu.

### 3.6.3 Aerodynamický hluk

Jeho vznik je způsobený prouděním vzduchu okolo karoserie a jeho následným vířením nebo prudkou změnou tlaku vzduchu při proudění. Jeho podíl na celkovém hluku vozidla závisí na velikosti hladin ostatních zdrojů hluku.

Druh proudění (laminární nebo turbulentní) je závislý na jejich fyzikálních veličinách (hustota, kinematická a dynamická viskozita), tvaru a rozměru obtékaného tělesa a rychlosti jeho pohybu.

Druh proudění lze určit pomocí Reynoldsova kritéria[1]:

$$R_e = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad (18)$$

kde

$\rho$  [kg.m<sup>-3</sup>] – hustota tekutiny,

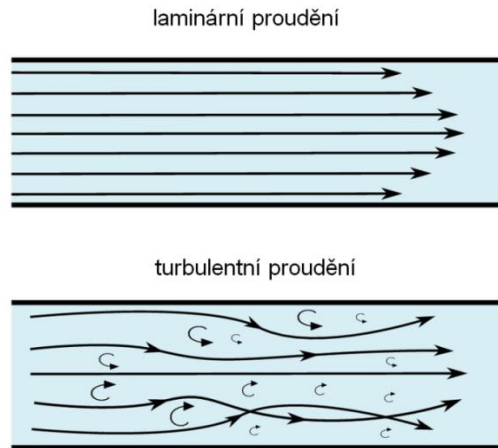
$\nu$  [m.s<sup>-1</sup>] – rychlost tekutiny,

$D$  [m] – charakteristický rozměr,

$\mu$  [kg.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>] – dynamická viskozita tekutiny ( $\mu = \nu * \rho$ ),

$\nu$  [m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>] – kinematická viskozita.

Obr. 14: Druhy proudění



Zdroj: <https://www.cfdsupport.com/OpenFOAM-Training-by-CFD-Support/sketch-laminar-flow-turbulent-flow.png>

Pro každé vozidlo platí samozřejmě různé rychlosti, kdy se proudění mění z laminárního na turbulentní. Proudění vzduchu také vytváří odpor proti pohybu.

Z rovnice je patrné, že odpor proti pohybu je přímo úměrný druhé mocnině rychlosti vozidla, největší ploše průřezu vozidla a koeficientu  $c_x$ [1].

$$F_d = \frac{1}{2} * \rho * v^2 * c_x * A \quad (19)$$

kde

$A$  [m<sup>2</sup>] – průřez vozidla kolmý na směr jízdy,

$F_d$  [N] – aerodynamický odpor,

$c_x$  [-] – součinitel aerodynamického odporu,

$\rho$  [kg.m<sup>3</sup>] – hustota vzduchu,

$v$  [km.h<sup>-1</sup>] – rychlost vozidla.



Součinitel aerodynamického odporu  $c_x$  je zjišťován experimentálně a je závislý na tvaru a povrchu tělesa. Snížením  $c_x$  se sníží odpor vozidla proti pohybu, klesne spotřeba paliva a sníží se i hlučnost vozidla.

## 3.7 Vliv hluku na člověka

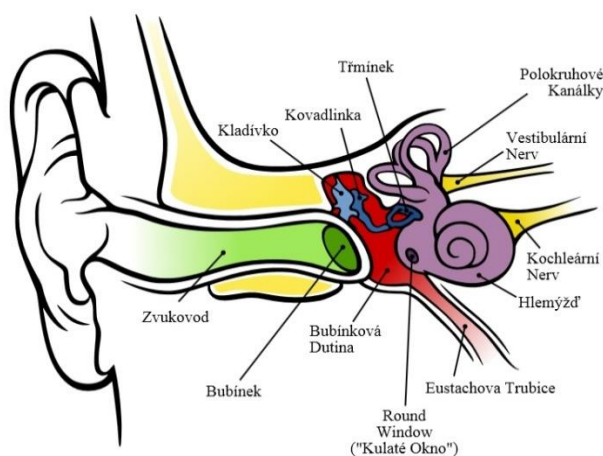
V této kapitole bude popsán lidský sluchový systém, vliv hluku na člověka a uvedeny jednotlivé účinky.

### 3.7.1 Sluchový systém

Sluch je schopnost vnímat zvuky, která je vlastní živočichům, kteří jsou vybaveni smyslovým orgánem – uchem. Sluch zaznamenává a vyhodnocuje zvuky vznikající v zevním prostředí. Tyto zvuky mohou mít různé významy informací: orientace v prostoru, varování před nebezpečím, některé zvuky mohou být i emotivní – hudba, zpěv. Funkce sluchu je založená na přeměně mechanických kmitů tekutiny vnitřního ucha na nervové impulzy.

Lidský sluchový aparát můžeme rozdělit na zevní, střední a vnitřní ucho. K ústrojí ucha vnitřního je připojeno ústrojí rovnovážné[9].

Obr. 15: Sluchový systém člověka



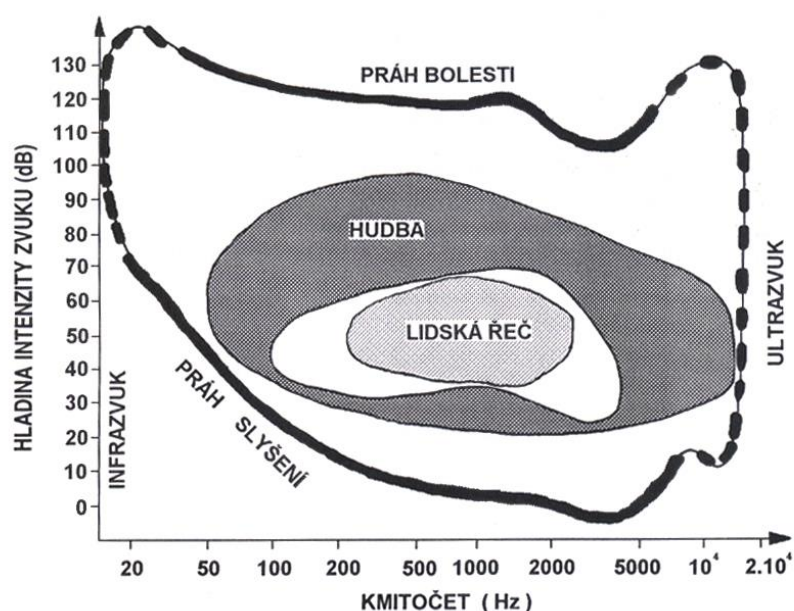
Zdroj: [http://www.khshk.cz/e-learning/kurs2a/2\\_1\\_1.jpg](http://www.khshk.cz/e-learning/kurs2a/2_1_1.jpg)

### 3.7.2 Účinky hluku na lidský organismus

Normálně slyšící člověk je schopen zaznamenat slyšitelné frekvence přibližně v rozmezí 16 Hz až 20 kHz. S přibývajícím věkem se však zhoršuje slyšitelnost vyšších frekvencí.

Mezi 500 až 2000 Hz lze nalézt kmitočty, které jsou důležité pro slyšení řeči, obvyklý lidský hlas mívá frekvenci od 200 do 4000 Hz. Pro srozumitelné pásmo řeči postačuje výrazně užší pásmo zvuků ležící mezi 1-3 kHz, zbytek se podílí hlavně na barvě hlasu. Hladina akustického tlaku, který člověk vytvoří při běžném hovoru je 40 až 60 dB, při křiku je to asi 80 dB[17].

Obr. 16: Pásmo slyšitelnosti



Zdroj: [16]

Při hodnocení vlivu hluku na lidský organismus je nutné si uvědomit, že nelze jednoduše popsat fyziologický vliv a jeho závažnost. Účinek hluku je totiž velmi variabilní a je ovlivněn řadou faktorů nefyzikálních (sociální faktory, psychika, emocionalita, zdravotní stav jedince, životospráva apod.).

V praxi tak nezdávka dochází k tomu, že lidé exponovaní určitou hladinou hluku v daných podmínkách nepotvrzují platnost stanovených limitů – z populace lze vydělit jak skupinu lidí velmi citlivých, tak osob velmi odolných, které stojí vně kvantitativní závislosti[3].

Pro hodnocení lze přijmout tzv. Lehmannovo schéma účinků[16].

Hladina akustického tlaku  $A$ ,  $L_A$ :

- $> 120 \text{ dB}$  - nebezpečí poškození buněk a tkání
- $> 90 \text{ dB}$  - nebezpečí pro sluchový orgán
- $> 60 \text{ až } 65 \text{ dB}$  - nebezpečí pro vegetativní systém
- $> 30 \text{ dB}$  - nebezpečí pro nervový systém a psychiku

### 3.7.2.1 Auditivní účinky

Takzvané auditivní (specifické) účinky se projevují přímo na sluchovém orgánu. Při hladině akustického tlaku  $A$  od  $120 - 140 \text{ dB}$  dochází k poškození bubínku, převodních kůstek a struktur vnitřního ucha.

Dle místa poškození rozlišujeme tyto poruchy[9]:

- Centrální
- Periferní
- Převodní
- Percepční
- Kochleární
- Retrokochleární

### 3.7.2.2 Extraauditivní účinky

Extraauditivní (nespecifické) poruchy mají účinek na různé části organismu. Projevují se v celém rozsahu intenzit hluku. Ovlivňují neurohormonální a neurovegetativní regulace, spánek, vyšší nervové funkce (učení, koordinace), biochemické reakce. Způsobují ztížení řečové komunikace, pocit rozmrzelosti a nespokojenosti, a negativně ovlivňují odpočinek organismu a tím pádem i jeho výkonnost.

V souvislosti s tímto typem účinku se objevuje pojem sluchové hlucinace. V důsledku toho, že člověk není schopný přesně lokalizovat zdroj zvuku, snadno tomuto jevu podlehne, například slyší šepotání ve tmě, chození po bytě, a podobně.

### **3.7.2.3 Akutní účinky**

Za akutní účinky hluku lze považovat stres a tomu odpovídající obrana organismu[17]:

- Poškození sluchového aparátu
- Zvýšení krevního tlaku
- Zrychlení tepové frekvence
- Zvýšení hladiny adrenalinu
- Snížení výkonnosti, paměti a pozornosti
- Úlekové reakce
- Vliv na psychiku – únava, deprese, agresivita, neochota, rozmrzelost

### **3.7.2.4 Chronické účinky**

Do těchto účinků lze zařadit tzv. civilizační choroby[17]:

- Fixování akutních účinků
- Vznik hypertenze
- Kardiovaskulární onemocnění
- Pocity únavy
- Nespavost
- Snížení imunitních schopností organismu

### **3.7.2.5 Posunutí prahu sluchového aparátu**

K tomuto jevu dochází, je-li sluchový aparát vystaven akustickému signálu, jehož parametry překračují určité meze. Poté dochází k dočasnému nebo trvalému poškození sluchu.

Velikostí změny sluchu na dané frekvenci je rozdíl hodnot prahu slyšitelnosti před expozicí a po expozici. Podle časového průběhu rozlišujeme dočasný posun prahu – po maximálně 16 hodinách od expozice se sluchový aparát vrací do původního stavu.

Tento jev lze pozorovat například při návštěvě diskoték nebo multikin. Trvalý posun je jev, kdy po zkončení hlukové expozice práh již nedosahuje původní hodnoty. Tento jev si lze představit jako trvalé poškození sluchu. V tomto případě je nutné rozlišit trvalé poškození sluchu způsobené stárnutím organismu a poškození sluchu způsobené nadměrnou expozicí hluku[9].

### 3.7.2.6 Akustické trauma

Zvláštní kategorií jsou exploze a impulsní hluky. Svým nastupujícím maximem a stejně prudkým poklesem jsou schopné vyvolat přímé poranění. Toto nebezpečí vzniká u všech tlakových hodnot přes 130 dB, při kterých dochází k akutnímu poškození sluchu. Zpravidla je to změna trvalá a nevratná[17].

## 3.8 Hluk a životní prostředí

Podle organizace WHO je v zemích EU více než 40 % populace vystaveno hladině akustického tlaku vyšší než 55 dB. 20 % populace žije v hladině hluku vyšší než je 65 dB. Při zohlednění celkové situace se dá říci, že polovina občanů EU žije v prostředí, které neposkytuje akustický komfort.

Hluk jako takový je nedílnou součástí životního prostředí. V tab. 3 jsou uvedeny zdroje různých zvuků a přibližné rozsahy hodnot jejich akustického tlaku. Z předešlé kapitoly vyplývá, že hluk působí na člověka negativně. Tento fakt vedl mnoho zemí k sestavení zákonů a norem které chrání obyvatele před touto nežádoucí zátěží.

Tab. 3: Zdroje hluku v životním prostředí

| Zdroj hluku               | Hladina [dB] |
|---------------------------|--------------|
| Tichý les                 | 15 až 20     |
| Šepot, studovna, knihovna | 30 až 37     |
| Tichý hovor               | 50 až 60     |
| Normální řeč              | 65 až 69     |
| Křik                      | 85 až 90     |
| Zbýječka                  | 95 až 100    |
| Hra na klavír, koncert    | 105 až 110   |
| Start proudového letadla  | 125 až 130   |

Zdroj: [8]

Hluk v životním prostředí lze vyjádřit jako obtěžující zvuk ve venkovním prostředí vytvořený lidskou činností. Obecně:

- Hluk vytvářený dopravními prostředky
- Hluk vytvářený silniční dopravou
- Hluk vytvářený železniční dopravou

- Hluk vytvářený leteckou dopravou
- Hluk vytvářený zdroji z průmyslové činnosti

Lze říci, že hluk v životním prostředí neustále narůstá. Při obtěžování hlukem občané mohou podat oficiální stížnost na místní orgán ochrany veřejného zdraví.

### **3.8.1 Protihluková opatření v silniční dopravě**

Druhy protihlukových opatření v silniční dopravě obsahují opatření u zdroje hluku, na dráze šíření hluku a u příjemce hluku – na objektech, kam hluková zátěž dopadá. Základní přístupy lze strukturovat následovně[3]:

- Urbanisticko–architektonická opatření: Hlavní nástroje opatření se mohou uplatňovat v rámci územního plánování.
- Urbanisticko–dopravní řešení: Navrhovaný systém by měl preferovat vedení nových tras v dostatečné vzdálenosti od chráněných budov, měl by vyloučit tranzitní dopravu z centra měst a vyloučit těžkou nákladní dopravu v blízkosti obytných souborů.
- Dopravně–organizační opatření: Omezení rychlosti vozidel, dynamické řízení dopravního proudu, tzv. „zelená vlna“.
- Stavebně–technická opatření: Opatření u zdroje hluku – zabezpečení podmínek pro plynulý provoz vozidel, budování krytů vozovky, využívání nízkohlučných povrchů, vedení tras tunelem.

Zdaleka ne všechna opatření může realizovat pořizovatel akčního plánu, většinou je opatření třeba řešit systémově a s nadhledem.

## 3.9 Legislativa

Metody měření a zkoušení uvedené v následující kapitole jsou založené na normách ISO a předpisech EHK.

Pro vozidla kategorie L je platná směrnice 97/24/ES a dále předpisy EHK/OSN

- EHK/OSN č. 9 Vnější hluk kategorie L<sub>2</sub>, L<sub>4</sub>, a L<sub>5</sub>
- EHK/OSN č. 41 Vnější hluk kategorie L<sub>3</sub>
- EHK/OSN č. 63 Vnější hluk kategorie L<sub>1</sub>

Mezinárodní normy ISO pro kategorii L jsou:

- ISO 362-2 Měření hluku vyzařovaného jedoucimi vozidly kategorie L<sub>3</sub>, L<sub>4</sub>, a L<sub>5</sub>
- ISO 5130 Měření hluku stojících vozidel (platí také pro kategorii M a N)
- ISO 9645 Měření hluku vyzařovaného jedoucimi vozidly kategorie L<sub>1</sub> a L<sub>2</sub>

Kategoriemi M a N se zabývá směrnice 70/157/EHS o hladině akustického tlaku motorových vozidel. EU schválení typu podle této směrnice platí do 1.7.2016. Dále od tohoto data se členské státy musí řídit nařízením EU č. 661/2009.

Předpisy EHK/OSN:

- EHK/OSN č. 51 Emise hluku čtyřkolových vozidel
- EHK/OSN č. 59 Náhradní výfukové systémy
- EHK/OSN č. 117 Emise zvuku ze styku pneumatika/vozovka, valivý odpor a adheze za vlhka.

Mezinárodní normy ISO pro kategorii M a N jsou:

- ISO 362-1 Měření hluku vyzařovaného jedoucimi vozidly kategorie M a N
- ISO 362-3 Měření hluku vyzařovaného jedoucimi vozidly kategorie M a N ve vnitřních prostorech
- ISO 16254 Měření hluku vyzařovaného jedoucimi vozidly kategorie M a N při nízkých provozních otáčkách a rychlostech

V rámci předpisů ČR v oblasti hluku je platný zákon č.258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a o změně souvisejících zákonů, v němž je ochrana lidského zdraví před hlukem uvedena v §30 - 34. Hygienické limity hluku lze nalézt v nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.

### 3.10 Motorová vozidla

Motorové vozidlo je takové vozidlo, které využívá pro svůj pohyb hnací sílu motoru.

Dle usnesení o konstrukci vozidel v dokumentu EHK/OSN/ECE/TRANS/WP.29/78/Rev.4 se dají motorová vozidla rozdělit do čtyř základních kategorií, které se dělí dále na podkategorie, jak je patrné v tab. 4.

Tab. 4: Kategorie vozidel

| Kategorie | Podkategorie | Popis   |
|-----------|--------------|---|
| L         | L1           | Dvoukolová vozidla s objemem motoru do 50 cm <sup>3</sup> nebo maximální rychlostí do 50 km.h <sup>-1</sup>                             |
|           | L2           | Tříkolová vozidla s objemem motoru do 50 cm <sup>3</sup> nebo maximální rychlostí do 50 km.h <sup>-1</sup>                              |
|           | L3           | Dvoukolová vozidla s objemem motoru nad 50 cm <sup>3</sup> nebo maximální rychlostí nad 50 km.h <sup>-1</sup>                           |
|           | L4           | Vozidla se třemi asymetricky umístěnými koly s objemem motoru nad 50 cm <sup>3</sup> nebo maximální rychlostí nad 50 km.h <sup>-1</sup> |
|           | L5           | Vozidla se třemi symetricky umístěnými koly s objemem motoru nad 50 cm <sup>3</sup> nebo maximální rychlostí nad 50 km.h <sup>-1</sup>  |
| M         | M1           | Vozidla určená k přepravě osob s nejvýše osmi sedadly kromě sedadla řidiče  |
|           | M2           | Vozidla určená pro přepravu osob s více než osmi sedadly kromě sedadla řidiče a s maximální hmotností nepřevyšující 5 t.                |
|           | M3           | Vozidla určená pro přepravu osob s více než osmi sedadly kromě sedadla řidiče a s maximální hmotností převyšující 5 t.                  |
| N         | N1           | Vozidla určená pro přepravu nákladů s maximální hmotností nepřevyšující 3,5 t.  |
|           | N2           | Vozidla určená pro přepravu nákladů s maximální hmotností převyšující 3,5 t ale nepřevyšující 12 t.                                     |
|           | N3           | Vozidla určená pro přepravu nákladů s maximální hmotností převyšující 12t.  |
| T         |              | Zemědělské a lesnické traktory.   |
| Ss        |              | Samojízdné pracovní stroje.   |

Zdroj: [1]



## 3.11 Metody měření hluku

Základním přístrojem pro měření hluku je mikrofon snímající akustický tlak. Aby byly jasné a relevantní výsledky měření, je nutné dodržet stanovené podmínky a postup, které jsou dány nějakým druhem předpisu.

Rozlišujeme dvě metody, přímé měření hladin akustického tlaku a měření hladin akustické intenzity.

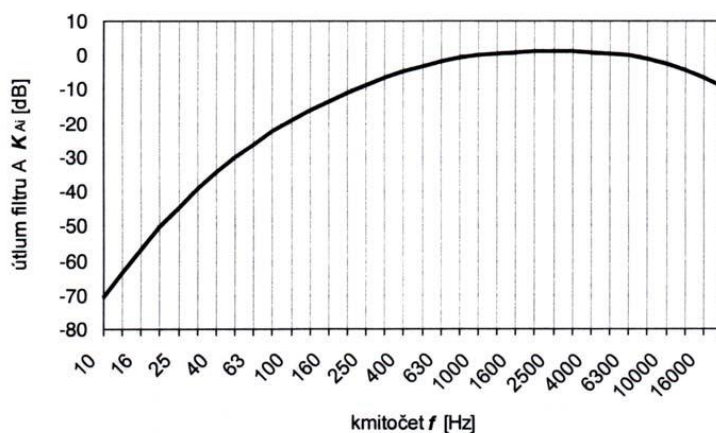
### 3.11.1 Přímé měření hladin akustického tlaku

Hladina akustického tlaku je číselný údaj odečtený z měřicího přístroje – musí být jasně dána poloha mikrofonu od zdroje. Tato hladina akustického tlaku  $A - L_A$  [dB(A)] je hodnota, která se koriguje váhovým filtrem A, díky čemuž dobře aproximuje subjektivní vnímání člověka v oblasti nižších hodnot akustického tlaku.

U časově proměnného průběhu zvukového signálu (vizte kap. 3.4.3) je zaváděna ekvivalentní hodnota akustického tlaku  $A - L_{Aeq,T}$  [dB(A)] jako fiktivní ustálená hladina akustického tlaku v daném časovém úseku.

Měřením akustického tlaku v síti definovaných bodů a následovným vykreslením spojnic jeho hladin vznikne hluková mapa měřeného prostředí.

Obr. 17: Váhový filtr A



Zdroj: [2]

### 3.11.2 Metody založené na měření hladin akustické intenzity

U tohoto typu měření je důležitá volba měřicí plochy, která by měla být co nejjednodušší. Nejčastěji se lze setkat s kvádry, válcovými tělesy nebo kulovými plochy.

Tato plocha se rozdělí na  $n$  dílčích ploch  $S_i$ , uprostřed každé z nich se změří normálová složka intenzity  $I_{ni}$ . Výsledný akustický výkon  $W$  lze určit jako součet všech měření[2]:

$$W = \sum_{i=1}^n I_{ni} * S_i \quad (20)$$

Dalším způsobem je metoda skanování. Ta spočívá ve snímání intenzity za spojitého pohybu sondy konstantní rychlostí na měřené ploše. Sonda uskutečňuje pohyb pásmem o šířce  $b$  po dráze  $l$ , pro stacionární zvukové pole následně platí vztah[2]:

$$W = \int_S I_n * dS = b \int_l I_n * dl \quad (21)$$

## 3.12 Přehled hlukových zkoušek

Hlukové zkoušky motorových vozidel lze rozdělit na statické a dynamické (jízdní) dle toho, zda je vozidlo při zkoušce v klidu, nebo v pohybu. Jako další kritérium lze uvést to, jestli se měří vnější či vnitřní hluk. Do samostatné skupiny lze zařadit hlukové zkoušky, které jsou aplikovány na specifický druh vozidla (pracovní stroje, vozidla vynavená dalšími pracovními systémy).

Na základě výsledků z měření lze provést buď schválení typu vozidla, nebo posouzení míry nebezpečí způsobené hlukem vozidla.

Zkoušky jako takové tedy lze rozdělit do těchto kategorií[1]:

- Dynamické zkoušky
  - Vnější hluk
  - Vnitřní hluk
- Statické zkoušky
  - Vnější hluk
  - Vnitřní hluk
- Specifické hlukové zkoušky

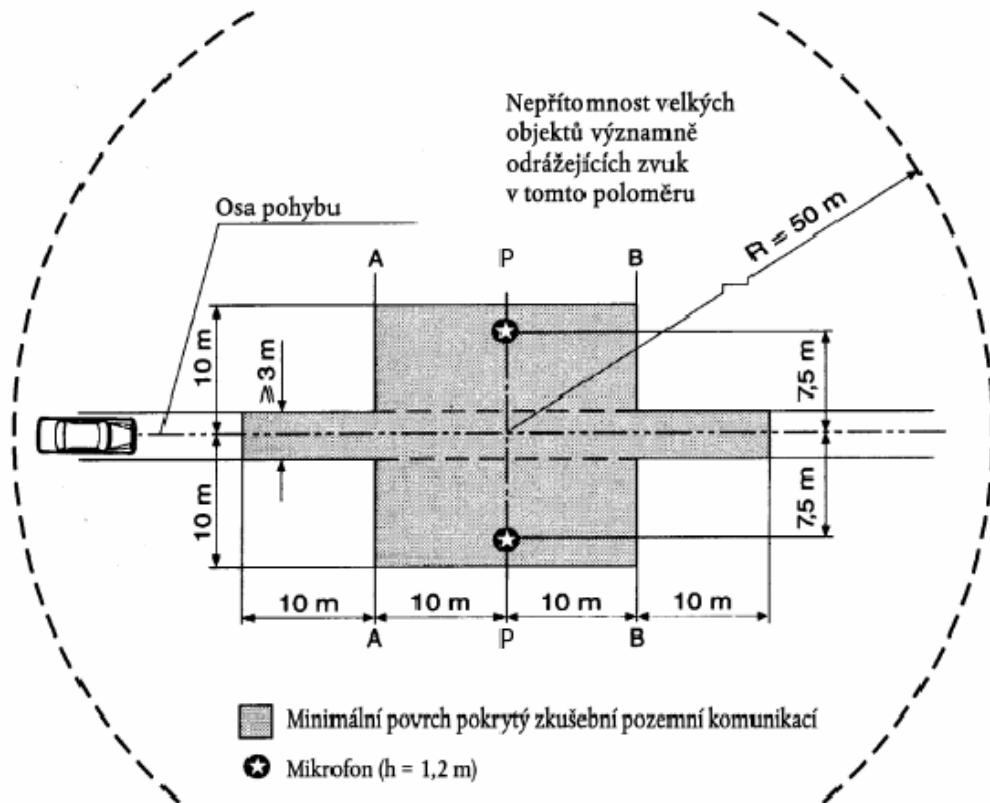
### 3.12.1 Vnější hluk vozidel

U měření vnějšího hluku vozidel jsou používány dva druhy zkoušek: statická a dynamická.

#### 3.12.1.1 Dynamická zkouška[14]

Obecně je při měření vnějšího hluku nutné zajistit, aby výsledky měření nebyly znehodnoceny a ovlivněny vnějšími vlivy. Z tohoto důvodu jsou stanoveny podmínky, určující podobu zkušební dráhy, její povrch a okolí. Zkoušky tohoto typu jsou zpravidla prováděny na dráze dle obrázku č. 18. Přesnou specifikaci dráhy se zabývá norma ISO 10844.

Obr. 18: Zkušební dráha



Zdroj: [14]

Hlukoměr, který před měřením prošel kalibrací, je umístěn dle obr. 18 ve vzdálenosti  $7,5 \pm 0,2$  m od osy zkušební dráhy a  $1,2 \pm 0,1$  m nad zemí. Jeho osa maximální citlivosti je

vodorovná a kolmá na zkušební dráhu. Na zkušební dráze je vyznačen akcelerační úsek mezi dvěma čarami *AA* a *BB* rovnoběžnými s čarou *PP* vzdálenými od této čáry 10 m.

Vozidlo se pohybuje tak, aby jeho střední podélná rovina byla v ose zkušební dráhy a jeho rychlost při přiblížení k čáře *AA* byla konstantní. V momentě, kdy vozidlo dosáhne čáry *AA*, začne plně akcelarovat do chvíle, kdy jeho poslední část dosáhne čáry *BB*.

Hluk je měřen po celou dobu, kdy se vozidlo nachází v akceleračním úseku a zaznamenává se jeho maximální hladina [dB(A)]. Rychlost, kterou vozidlo najíždí do akceleračního úseku, stejně tak jako rychlostní stupeň jsou stanoveny v tab. 5.

Měření se provádí z obou stran vozidla nejméně dvakrát. Na nepřesnost přístrojů se ze zjištěné hodnoty odečítá 1 dB (A).

Tab. 5: Rychlost vozidel při dynamické zkoušce

|  | Vozidla kategorie M a N |                            |                        |                      | Kategorie L     |                    |
|--|-------------------------|----------------------------|------------------------|----------------------|-----------------|--------------------|
|  | Bez převodovky          | Manuální převodovka        | Automatická převodovka | elektromobily        | Manuální převod | Automatický převod |
| Rychlostní st.   |                         | 2<br>2 a 3<br>3<br>X/2 X/3 |                        |                      | 2<br>2 a 3<br>3 |                    |
| V  | 50                      | 50                         | 50 30<br>40<br>50      | 50                   | 50              | 30<br>40<br>50     |
| N  | 3/4<br>1/2              | 3/4<br>1/2                 | 3/4<br>1/2             | 3/4 V <sub>MAX</sub> | 3/4             |                    |
| <i>V</i> – rychlost [km.h <sup>-1</sup> ]<br><i>V<sub>max</sub></i> – maximální deklarovaná rychlost [km.h <sup>-1</sup> ]<br><i>n</i> – otáčky při maximálním výkonu [1.min <sup>-1</sup> .]  |                         |                            |                        |                      |                 |                    |
| Rychlostní stupně: 2 platí pro vozidla se čtyřmi a méně převody<br>2 a 3 platí pro vozidla s více než čtyřmi převody<br>3 platí pro vozidla s více než čtyřmi převody, rozhodující je výkon, hmotnost nebo rychlost<br>X/2, X/3 platí pro kategorie jiné než L, M <sub>1</sub> , N <sub>1</sub> a mnohastupňové převodovky |                         |                            |                        |                      |                 |                    |

Zdroj: [11]

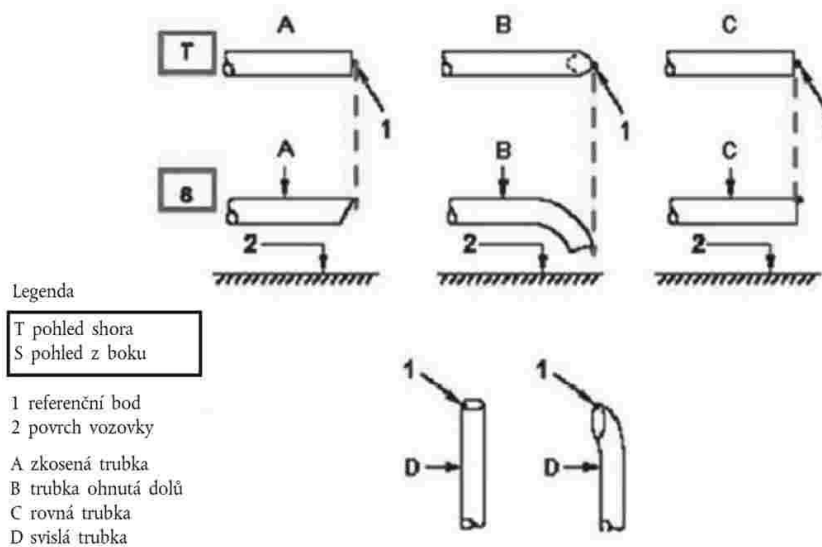
### 3.12.1.2 Statická zkouška[11]

Hluk se měří přímo u výfuku vozidla. U kategorie vozidel M a N je vyústění výfukového potrubí rozmanité, je nutné zvolit správnou polohu hlukoměru.

Nejprve je nutné určit referenční bod výfuku (obr. 19), od kterého se odvíjí poloha hlukoměru. Otáčky motoru se stanoví výpočtem z tab. 6 z otáček při maximálním výkonu vozidla. Po ustálení těchto otáček se akcelerátor uvolní.

Při zkoušce se měří celý průběh i s klesáním otáček z ustáleného stavu. Jako relevantní se bere nejvyšší hodnota  $L_A$  [dB(A)] ze tří po sobě jdoucích měření.

Obr. 19: Ústí výfuku



Zdroj: [11]

Tab. 6: Otáčky motoru při statické zkoušce

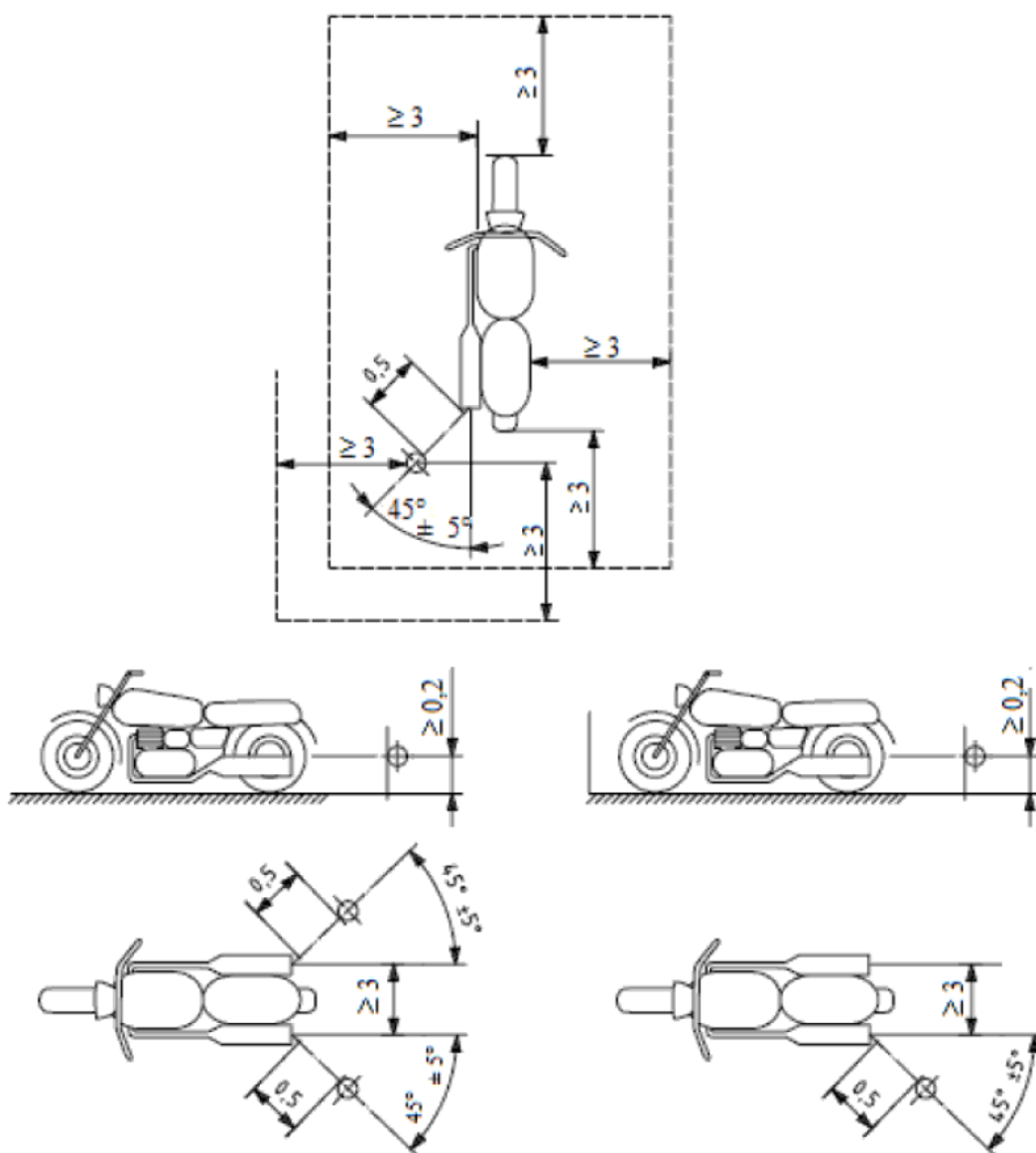
| Kategorie M a N, zážehové i vznětové motory                       | Kategorie L   |
|---|---|
| $\frac{3}{4} n$   | $\frac{3}{4} n$ (při $n < 5000 \text{ min}^{-1}$ .)<br>$\frac{1}{2} n$ (při $n > 5000 \text{ min}^{-1}$ ) |
| $n$ – otáčky při maximálním výkonu [ $1 \cdot \text{min}^{-1}$ .] |   |

Zdroj: [11]

U kategorie vozidel L je mikrofon zkalibrovaného hlukoměru umístěn ve vzdálenosti 0,5 m od ústí výfuku ve výšce 0,2 m nad vozovkou po úhlem  $45^\circ \pm 5^\circ$ , vizt obr. 20.

U vozidel této kategorie, které mají více výfuků, se měří každý výfuk zvlášť, pokud vzdálenost jejich ústí je větší než 0,3 m.

Obr. 20: Umístění hlukoměru při statické zkoušce vizidla kategorie L



Zdroj: [15]

### 3.12.2 Vnější hluk stlačeného vzduchu[12]

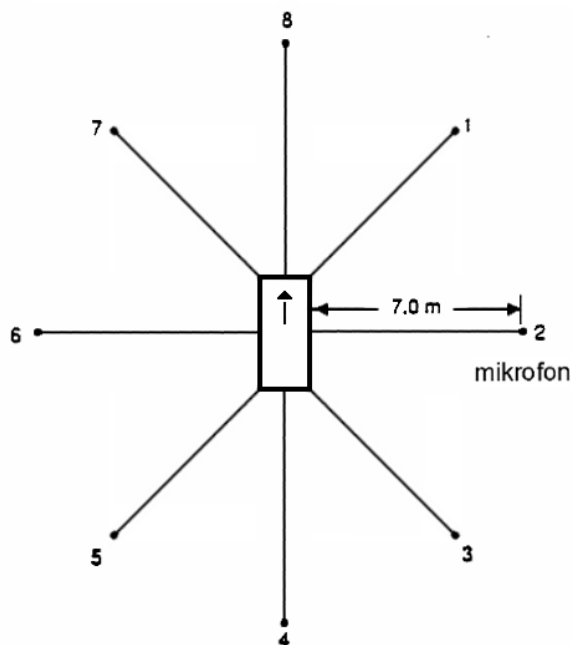
Tento typ zkoušky je určen především pro kategorie vozidel M a N, protože jsou zpravidla vybaveny tlakovzdušnými systémy brzd.

Mikrofon hlukoměru je umístěn ve vzdálenosti 7 m od obrysu vozidla, ve výšce 1,2 m nad povrchem zkušebního místa. Vozidlo je v klidu, tlak v systému stlačeného vzduchu je na nejvyšší provozní hodnotě. Následně se nechá motor běžet na chod naprázdno.

Hluk se měří při otevření tlakového regulátoru při použití provozní i parkovací brzdy. Jsou prováděna dvě měření při všech polohách mikrofonu.

Za výsledek lze považovat nejvyšší naměřenou hodnotu, sniženou o 1 dB (A).

Obr. 21: Umístění hlukoměru při měření hluku stlačeného vzduchu

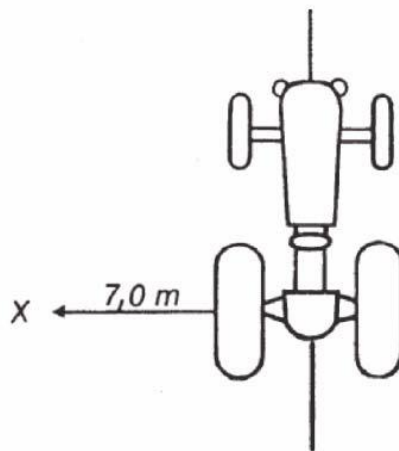


Zdroj: [12]

U vozidel kategorie T se neměří hluk přímo u výfuku, ale ve vzdálenosti 7 m od povrchu vozidla (obr. 21). U těchto vozidel je měřeno  $L_A$  [dB(A)] motoru, který běží na  $\frac{3}{4}$  otáček maximálního výkonu. Jestliže je vozidlo vybaveno omezovačem otáček, otáčky se ustálí na maximu, které omezovač dovolí.

Měření se opakuje nejméně dvakrát.

Obr. 22: Umístění hlukoměru při zkoušce vnějšího hluku vozidel kategorie T



Zdroj: [12]

### 3.12.3 Vnitřní hluk vozidel[16]

Měření vnitřního hluku vozidel se provádí ve třech různých režimech, a to při konstantní rychlosti, při plném zrychlení a při stojícím vozidle.

#### 3.12.3.1 Při konstantní rychlosti

Je měřeno spektrum hluku minimálně při pěti rychlostech od  $60 \text{ km.h}^{-1}$  (pokud je maximální rychlost vozidla nižší než  $60 \text{ km.h}^{-1}$ , platí 40 % maximální rychlosti), do  $120 \text{ km.h}^{-1}$  (pokud je maximální rychlost menší než  $120 \text{ km.h}^{-1}$ , platí 80% této rychlosti).

Vozidlo při této zkoušce projíždí konstantní rychlostí rovný úsek a hluk je měřen po dobu 5 s. Poté se rychlost zvýší a provádí se další měření při další konstantní rychlosti.

Ke zvyšování může docházet konstantním pomalým zrychlováním (cca  $0,1 \text{ m.s}^{-2}$ ) a měření nemusí být přerušeno, nebo postupným uváděním vozidla do daných rychlostí s přerušением měření.



### 3.12.3.2 Při plném zrychlení

Vozidlo projíždí rovný úsek ustálenou rychlostí, která odpovídá zhruba 45 % maximální rychlosti vozidla, poté plně akceleruje do rychlosti, která odpovídá cca 90 % maximální rychlosti vozidla, nejvýše však ale do  $120 \text{ km.h}^{-1}$ .

Při tomto jevu je měřeno spektrum vnitřního hluku.

Tab. 7: Hlukové limity motorových vozidel

| Kategorie vozidla   | Hlukový limit [dB] | Dokument stanovující limit |            |
|---|--------------------|----------------------------|------------|
| Vozidla kategorie L1<br>- s maximální konstrukční rychlostí nepřevyšující $25 \text{ km.h}^{-1}$<br>- s maximální konstrukční rychlostí přesahující $25 \text{ km.h}^{-1}$    | 66<br>71           | EHK/OSN č.63               |            |
| Vozidla kategorie L2<br>Vozidla kategorie L4 a L5   | 76<br>50           | EHK/OSN č.9                |            |
| Vozidla kategorie L3  | 80                 | EHK/OSN č.41               |            |
| Vozidla kategorie M1 s nejvýše devíti sedadly včetně sedadla řidiče   | 74                 | EHK/OSN č.51               |            |
| Vozidla kategorie M2 s více než devíti sedadly včetně sedadla řidiče a maximální hmotností do 3,5 t<br>- s výkonem motoru do 150 kW<br>- s výkonem motoru nad 150 kW          | 78<br>80           |                            |            |
| Vozidla kategorie M2 vybavená více než devíti sedadly včetně sedadla řidiče<br>- s maximální hmotností do 2 t<br>- s maximální hmotností nad 2 t, ale do 3,5                  | 76<br>77           |                            |            |
| Vozidla kategorie N1<br>- s maximální hmotností do 2 t<br>- s maximální hmotností nad 2 t, ale do 3,5 t   | 76<br>77           |                            |            |
| Vozidla kategorie N2 a N3 s hmotností převyšující 3,5 t<br>- s výkonem motoru do 75 kW<br>- s výkonem motoru nad 75 kW, ale do 150 kW<br>- s výkonem motoru vyšším než 150 kW | 77<br>78<br>80     |                            |            |
| Vozidla kategorie T<br>- s hmotností nenaloženého vozidla nepřevyšující 1,5 t<br>- s hmotností nenaloženého vozidla převyšující 1,5 t   | 85<br>89           |                            | 2009/63/ES |

### **3.12.3.3 Při stojícím vozidle**

Motor je v běhu naprázdno a je zařazen nultý rychlostní stupeň. Motor akceleruje plně do maximálních otáček a hluk je měřen po dobu 5 s.

### **3.12.4 Hlukové limity motorových vozidel**

Hlukové limity, které musí dané vozidlo jsou dány předpisem. V tab. 7 jsou uvedeny jednotlivé limity a předpisy, které je udávají.

## 4. Praktická část práce

V této části práce budou uvedeny měřicí přístroje, místo, kde měření probíhalo, a popsána jednotlivá vozidla. Zároveň zde budou popsány úpravy jednotlivých vozidel a vyhodnoceny výsledky měření, vliv úprav na vnější hluk vozidel a porovnání vozidel z hlediska vnějšího hluku s hlukovými limity a údaji v technických průkazech vozidel.

### 4.1 Místo měření

Aby byly dodrženy normativní podmínky měření, bylo nutné se vypravit na bývalé vojenské letiště Hradčany. Nachází se v severních Čechách, 50.6210239N, 14.7405642E . Fotografie z místa se nacházejí v příloze 1.

*Obr. 23: Lokalizace místa měření*

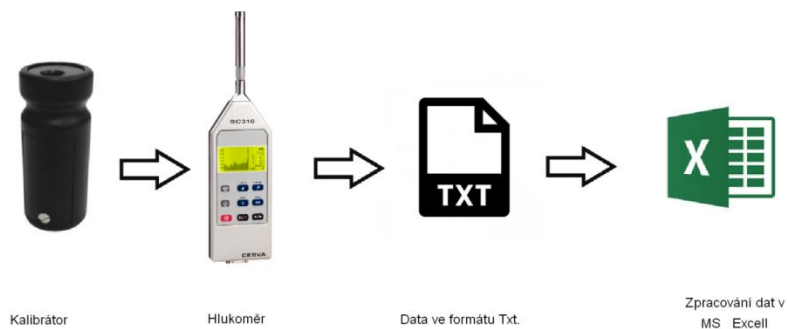


*Zdroj: <http://maps.google.com>*

## 4.2 Použité měřicí přístroje

Jak je patrné z obr. 24, při měření byl použit kalibrátor a hlukoměr. Naměřená data byla ve formátu .txt importována do programu MS Excell, kde byla následně zpracována a vyhodnocena.

Obr. 24: Okruh měřících přístrojů



### 4.2.1 Kalibrátor CESVA CB-5

Aby byly naměřené hodnoty platné, bylo nutné před měřením hlukoměr zkalibrovat na hodnotu 93,9 *dB*. Za tímto účelem byl použit kalibrátor CESVA CB-5. Po provedených hlukových zkouškách se kalibrace opakovala a nepřevyšovala rozdíl 1 *dB*.

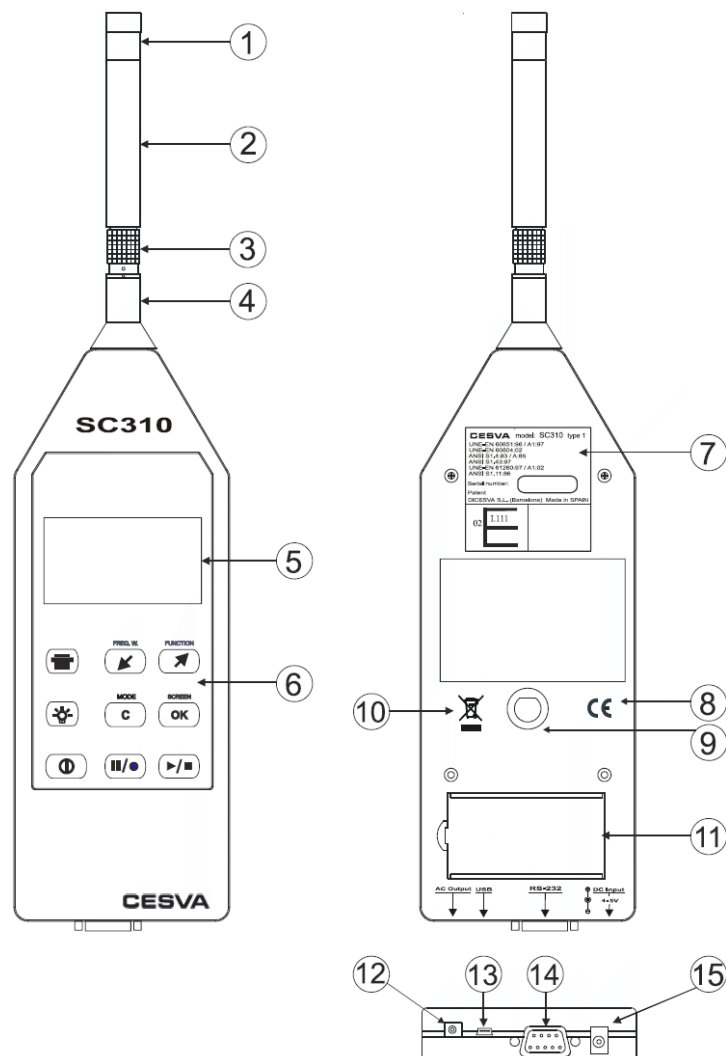
Obr. 25: Kalibrátor



Zdroj: [https://www.panacoustics.com/uploads/7/3/3/2/73322645/cb006\\_orig.jpg](https://www.panacoustics.com/uploads/7/3/3/2/73322645/cb006_orig.jpg)

## 4.2.2 Hlukoměr SC 310

Obr. 26: Hlukoměr



Zdroj: [20]

Hlavní součásti použitého hlukoměru jsou[20]:

1. **1/2" kondenzátorový mikrofon.** SC310 používá mikrofon C -130 (polarizovaný na 200 V) s předzesilovačem P-13 nebo předpolarizovaný mikrofon C-250 s předzesilovačem PA-14. Oba tyto mikrofony vyhovují třídě přesnosti 1.
2. **Předzesilovač.** SC310 je vybaven předzesilovačem Pa-13 nebpa-14, oba připojitelné LEMO konektorem.
3. **LEMO konektor pro předzesilovač.**
4. **LEMO konektor pro zvukoměr.**
5. **Obrazovka.** Podsvícený LCD displej.

6. **Klávesnice.**
7. **Výrobní štítek.** Obsahuje výrobce, typ, sériové číslo výrobku a normy, které přístroj splňuje
8. **CE značka.** Evropská značka shody
9. **Stativový závit.** Normalizovaný závit pro stativy W 1/4"
10. **Značka WEEE.** Směrnice o odpadu elektrického a elektronického zařízení
11. **Kryt baterie.**
12. **AC výstup.** Přímý výstup z předzesilovače bez frekvenčního vážení.
13. **USB konektor.** Mini-B USB konektor pro digitální komunikaci rozhraním USB 1.1
14. **RS-232 konektor.** Konektor pro připojení přístroje k PC nebo Bluetooth
15. **DC vstup.** Přívod stejnosměrného napětí (5V, 100mA)

Jedná se o výkonný, integračně průměrující zvukoměr třídy přesnosti 1. Vyhovuje IEC/EN 61672, IEC/EN 60651, IEC/EN 60804.

Základní verze je vybavena těmito moduly:

- Statisticky integrující zvukoměr
- Oktávový frekvenční analyzátor v reálném čase
- Třetinooktávový frekvenční analyzátor v reálném čase

#### **4.2.3 Příslušenství**

Aby bylo možné umístit hlukoměr do správné polohy (kap. 3.12) při statické i dynamické zkoušce, byl pro účely měření použit stativ a měřidlo vzdálenosti.

## 4.3 Měřená vozidla

Měřena byla čtyři vozidla kategorie L, různého data výroby a určení použití, detailněji popsána níže.

### 4.3.1 Yamaha XS 400

Obr. 27: Yamaha XS 400



Zdroj: <http://www.motorcyclespecs.co.za/>

Jedná se o motocykl japonské výroby, dnes řazený do podkategorie „youngtimer“ – je staršího data výroby a klasického vzhledu. Má dvouválcový, čtyřdobý vzduchem chlazený motor vybaven dvěma karburátory, kladívkovým zapalováním a šestirychlostní převodovkou. Další technické údaje jsou uvedeny v tab. 8.

Tab. 8: Technické údaje motocyklu Yamaha XS 400

|   |                                       |         |
|---|---------------------------------------|---------|
| Kategorie vozidla                                   | L3                                    |         |
| Tovární značka                                      | Yamaha                                |         |
| Výrobce vozidla                                     | Yamaha motor co. LTD, Iwata, Japonsko |         |
| Rok výroby  | 1982                                  |         |
| Maximální výkon[kW]/ [ot. min <sup>-1</sup> ]       | 20/8100                               |         |
| Palivo  | BA 95                                 |         |
| Zdvihový objem [cm <sup>3</sup> ]                   | 386                                   |         |
| Provozní hmotnost [kg]                              | 182                                   |         |
| Největší technicky přípustná/povolená hmotnost [kg] | 375/375                               |         |
| Nejvyšší rychlost [km.h <sup>-1</sup> ]             | 134                                   |         |
| Vnější hluk vozidla [dB]                            | Stojícího/ot.[min <sup>-1</sup> ]     | 76/4050 |
|   | Za jízdy                              | 82      |

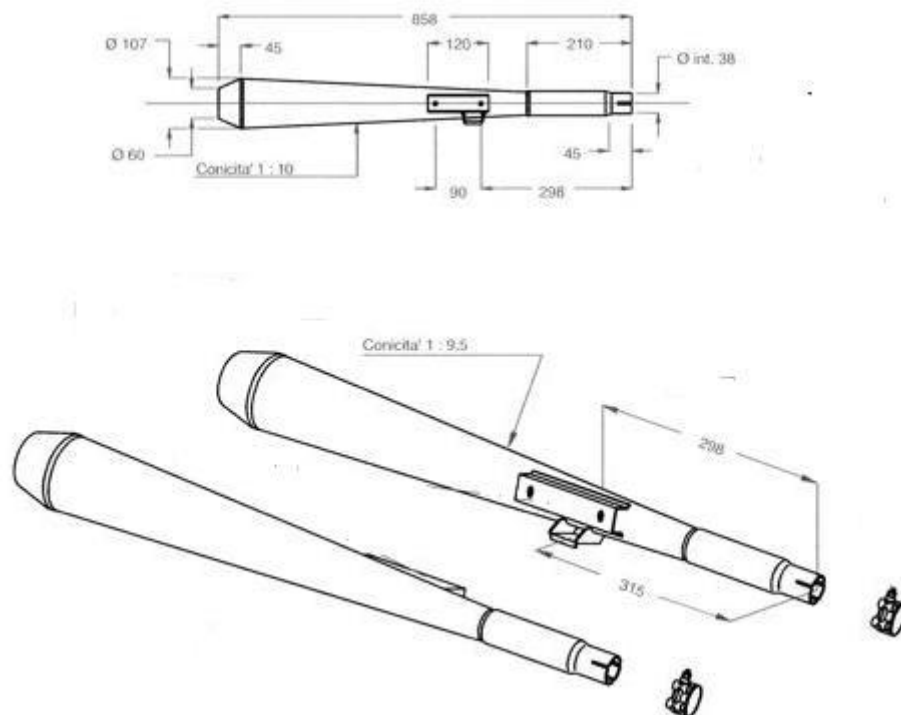
Zdroj: Technický průkaz vozidla

#### 4.3.1.1 Úpravy oproti originálnímu stavu

Do úprav spadá dobově laděný výfuk Sito montovaný v osmdesátých letech nejenom na japonské motocykly, ale i na produkci evropských značek. Historie této firmy sahá do roku 1954 do italského Turína.

Další úpravou oproti originálnímu stavu jsou otevřené vzduchové filtry – výsledkem je menší útlum hluku sání.

Obr. 28: Výfuky Sito



Zdroj: <https://aste.catawiki.it/kavels/14854213-yamaha-xs-250-360-400-1-serie-sito-marmitte>

#### 4.3.1.2 Průběh měření

Měření vnějšího hluku vozidla proběhlo dne 11.7. 2017 podle pomínek popsaných v kap. 3.12.1, na místě popsaném v kap. 4.1 a byly provedeny dvě zkoušky - statická a dynamická.



#### **4.3.1.3 Statická zkouška**

Jelikož se jedná o vozidlo kategorie L, otáčky při měření vnějšího hluku vozidla byly vypočteny dle tab. 6 v kap. 3.12.1.2.

Maximálního výkonu vozidlo dosahuje při 8100 *ot. min<sup>-1</sup>*. Po výpočtu tedy vychází 4050 *ot. min<sup>-1</sup>*. Hlukoměr byl umístěn dle obr. 20 v kap. 3.12.1.2. ve výšce 0,2 *m* nad povrchem zkušební dráhy, pod úhlem 45° a vzdálenosti 0,5 *m* od ústí výfuku, jelikož ústí obou výfuků nepřesahovala 0,3 *m*, měření proběhlo pouze z jedné strany vozidla.

Jedno měření obsahovalo tři po sobě jdoucí hodnoty akustického signálu z nichž ale pro platný výsledek nutné brát v potaz tu nejvyšší, počet opakování měření byl 5. Celkově tedy bylo tímto měřením získáno patnáct hodnot akustického signálu.

#### **4.3.1.4 Dynamická zkouška**

Jedná se o vozidlo kategorie L se šestistupňovou převodovkou, proto podle tab. 5 v kap. 3.12.1.1 měření proběhlo při rychlosti 50 *km.h<sup>-1</sup>* při zařazeném druhém a třetím rychlostním stupni.

Měření bylo provedeno z obou stran vozidla a počet opakování byl pět na druhý rychlostní stupeň a pět na třetí rychlostní stupeň.

Celkově tedy tímto měřením získáno dvacet hodnot akustického signálu.

### 4.3.2 Triumph Speedmaster

Obr. 29: Triumph Speedmaster



Zdroj: <http://www.motorcyclespecs.co.za/>

Triumph Speedmaster je motocykl anglické výroby, zařaditelný do podkategorie „chopper/cruiser“ – určený pro cestování a pohodlnou jízdu. Jeho dvouválcový, vzduchem chlazený čtyřdobý motor je vybavený elektronickým vstřikováním paliva, pětirychlostní převodovkou a bezkontaktním zapalováním. Další technické údaje jsou uvedeny v tab. 9.

Tab. 9: Technické údaje motocyklu Triumph Speedmaster

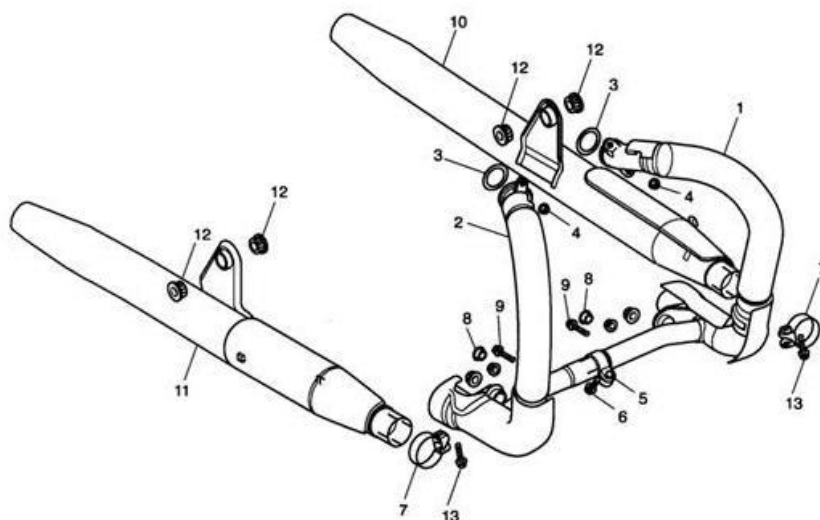
|   |  |         |
|---|--|---------|
| Kategorie vozidla                                   | L3   |         |
| Tovární značka                                      | Triumph                                    |         |
| Výrobce vozidla                                     | Triumph motorcycles LTD,<br>Velká Británie |         |
| Rok výroby  | 2001                                       |         |
| Maximální výkon[kW]/ [ot.min <sup>-1</sup> ]        | 40,6/6750                                  |         |
| Palivo  | BA 95                                      |         |
| Zdvihový objem [cm <sup>3</sup> ]                   | 865  |         |
| Provozní hmotnost [kg]                              | 250  |         |
| Největší technicky přípustná/povolená hmotnost [kg] | 450/450                                    |         |
| Nejvyšší rychlost [km.h <sup>-1</sup> ]             | 172  |         |
| Vnější hluk vozidla [dB]                            | Stojícího/ot.[min <sup>-1</sup> ]          | 87/3400 |
|   | Za jízdy                                   | 80      |

Zdroj: Technický průkaz vozidla

### 4.3.2.1 Úpravy oproti originálnímu stavu

Motocykl je oproti originálnímu stavu vybaven otevřenými koncovkami výfuků, dodávanými přímo výrobcem. Ten však ale udává, že nemají žádnou homologaci. Jde o příslušenství, které lze k motocyklu oficiálně zakoupit.

Obr. 30: Schéma výfukového systému



Zdroj: <https://storage.googleapis.com/pfk-megabucket-732/TPL/images/100066111-0-2.jpg>

### 4.3.2.2 Průběh měření

Měření vnějšího hluku vozidla proběhlo dne 11. 7. 2017 podle podmínek popsanych v kap. 3.12, na místě popsaném v kap. 4.1 a byla provedena statická a dynamická zkouška.

### 4.3.2.3 Statická zkouška

Jelikož se jedná o vozidlo kategorie L, otáčky při měření vnějšího hluku vozidla byly vypočteny dle tab. 6 v kap. 3.12.1.2

Maximálního výkonu vozidlo dosahuje při  $6750 \text{ ot. min}^{-1}$ . Po výpočtu tedy vychází  $3400 \text{ ot. min}^{-1}$ . Hlukoměr byl umístěn dle obr. 20 v kap. 3.12.1.2 ve výšce  $0,2 \text{ m}$

nad povrchem zkušební dráhy, pod úhlem  $45^\circ$  a vzdálenosti  $0,5\text{ m}$  od ústí výfuku, jelikož ústí obou výfuků nepřesahovala  $0,3\text{ m}$ , měření proběhlo pouze z jedné strany vozidla.

Jedno měření obsahovalo tři po sobě jdoucí hodnoty akustického signálu, z nichž ale pro platný výsledek nutné brát v potaz tu nejvyšší, počet opakování měření byl pět.

Celkově tedy bylo tímto měřením získáno patnáct hodnot akustického signálu.

#### **4.3.2.4 Dynamická zkouška**

Jedná se o vozidlo kategorie L s pětistupňovou převodovkou, proto podle tab. 5 v kap. 3.12.1.1 měření proběhlo při rychlosti  $50\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  při zařazeném druhém a třetím rychlostním stupni.

Měření bylo provedeno z obou stran vozidla a počet opakování byl 5 na druhý rychlostní stupeň a 5 na třetí rychlostní stupeň. Celkově bylo tedy tímto měřením získáno dvacet hodnot akustického signálu.

#### **4.3.3 Yamaha X-Max 400**

*Obr. 31: Yamaha X-Max 400*



Zdroj: [http://www.motorcyclespecs.co.za/model/yamaha/yamaha\\_X-Max\\_400\\_14.htm](http://www.motorcyclespecs.co.za/model/yamaha/yamaha_X-Max_400_14.htm)

Jedná se o vozidlo kategorie L. Motocykl zařaditelný do podkategorie „skútr“. Vozidlo určené výhradně do městského provozu, vybavené jednoválcovým čtyřdobým motorem

a koncovým převodem s plynulou změnou převodového poměru – variátorem. Další technické údaje lze nalézt v tab.10.

Tab. 10: Technické údaje motocyklu Yamaha X-Max 400

|   |                                   |         |
|---|-----------------------------------|---------|
| Kategorie vozidla                                   | L3                                |         |
| Tovární značka                                      | Yamaha                            |         |
| Výrobce vozidla                                     | MBK industrie, Rouvroy, Francie   |         |
| Rok výroby  | 2008                              |         |
| Maximální výkon[kW]/ [ot. min <sup>-1</sup> ]       | 23,18/7500                        |         |
| Palivo  | BA 95                             |         |
| Zdvihový objem [cm <sup>3</sup> ]                   | 394,9                             |         |
| Provozní hmotnost [kg]                              | 211                               |         |
| Největší technicky přípustná/povolená hmotnost [kg] | 410/410                           |         |
| Nejvyšší rychlost [km.h <sup>-1</sup> ]             | 150                               |         |
| Vnější hluk vozidla [dB]                            | Stojícího/ot.[min <sup>-1</sup> ] | 85/3750 |
|   | Za jízdy                          | 77      |

Zdroj: Technický průkaz vozidla

#### 4.3.3.1 Úpravy oproti originálnímu stavu

Na motocyklu byl namontován laděný výfuk Akrapovič, vyrobený přesně pro tento typ motocyklu.

Výrobce<sup>1)</sup> udává nárůst točivého momentu o 2,3 Nm při 6900 ot.min<sup>-1</sup>, ztrátu váhy 6 kg a zvýšení výkonu o 1,5 kW při 8000 ot.min<sup>-1</sup>. Na svých internetových stránkách také výrobce udává že výrobek splňuje podmínky uvedené v kap. 3.6.1.3 a tedy je opatřen homologací.

---

<sup>1)</sup><https://www.akrapovic.com/#!/motorcycle/product/scooter/14658?brandId=41&modelId=316&yearId=413>

Obr. 32: Laděný výfuk Akrapovič



Zdroj: [https://ww1.motobuykers.com/img/productos/original/AKRS-Y4SO10-HZAASS\\_1.jpg](https://ww1.motobuykers.com/img/productos/original/AKRS-Y4SO10-HZAASS_1.jpg)

#### 4.3.3.2 Průběh měření

Měření vnějšího hluku vozidla proběhlo 11. 7. 2017 podle podmínek popsaných v kap. 3.12, na místě popsaném v kap. 4.1 a byly provedeny dvě zkoušky. Statická a dynamická.

#### 4.3.3.3 Statická zkouška

Jelikož se jedná o vozidlo kategorie L, otáčky při měření vnějšího hluku vozidla byly vypočteny dle tab. 6 v kap. 3.12.1.2.

Maximálního výkonu vozidlo dosahuje při  $6750 \text{ ot.min}^{-1}$ . Po výpočtu tedy vychází  $3750 \text{ ot.min}^{-1}$ . Hlukoměr byl umístěn dle obr. 20 v kap. 3.12.1.2 ve výšce  $0,2 \text{ m}$  nad povrchem zkušební dráhy, pod úhlem  $45^\circ$  a vzdálenosti  $0,5 \text{ m}$  od ústí výfuku.

Jedno měření obsahovalo tři po sobě jdoucí hodnoty akustického signálu z nichž ale pro platný výsledek nutné brát v potaz tu nejvyšší, počet opakování měření byl pět.

Celkově tedy bylo tímto měřením získáno patnáct hodnot akustického signálu

#### 4.3.3.4 Dynamická zkouška

Jedná se o vozidlo kategorie L s automatickou převodovkou, proto podle tab. 5 v kap. 3.12.1.1 měření proběhlo při rychlostech 30, 40 a 50  $km.h^{-1}$ .

Měření bylo provedeno z obou stran vozidla a počet opakování byl 5 při rychlosti 30  $km.h^{-1}$ , 5 při rychlosti 40  $km.h^{-1}$  a 5 při rychlosti 50  $km.h^{-1}$ .

Celkově bylo tedy tímto měřením získáno třicet hodnot akustického signálu.

#### 4.3.4 Jawa 250/353

Obr. 33: Jawa 250/353



Zdroj: [http://jawarmaniak.4fan.cz/zajimave\\_obrazky/](http://jawarmaniak.4fan.cz/zajimave_obrazky/)

Motocykl československé výroby, legendární „kývačka“, vybavený jednoválcovým dvoudobým, vzduchem chlazeným motorem s kladívkovým zapalováním a čtyřrychlostní převodovkou.

Dnes jej při stáří 57 let lze zařadit do podkategorie „veterán“. Technické údaje uvedeny v tab. 11.

Tab. 11: Technické údaje motocyklu Jawa 250/353

|   |                           |
|---|---------------------------|
| Kategorie vozidla                                   | L3                        |
| Tovární značka                                      | Jawa-ČZ                   |
| Výrobce vozidla                                     | Závody 9.května,<br>Praha |
| Rok výroby  | 1961                      |
| Maximální výkon[kW]/ [ot. min <sup>-1</sup> ]       | 8,82/4750                 |
| Palivo  | BA 95                     |
| Zdvihový objem [cm <sup>3</sup> ]                   | 248,5                     |
| Provozní hmotnost [kg]                              | 142                       |
| Největší technicky přípustná/povolená hmotnost [kg] | 302/302                   |
| Nejvyšší rychlost [km.h <sup>-1</sup> ]             | 105                       |

Zdroj: Technický průkaz vozidla

#### 4.3.4.1 Úpravy oproti originálnímu stavu

Upraveny jsou výfuky s vyjmutelnými tlumivkami. První soubor měření byl proveden bez nich, po instalaci proběhl další. Konstrukce výfuků je znázorněna na obr. 34.

Obr. 34: Konstrukce výfuků motocyklu Jawa 250/253



Zdroj: <http://www.veteran-dily.cz> [editováno]



Obr. 35: Montáž tlumivek



#### 4.3.4.2 Průběh měření

Měření vnějšího hluku vozidla proběhlo 11. 7. 2017 podle pomínek popsanych v kap. 3.12, na místě popasném v kap. 4.1, a byly provedeny dvě zkoušky. Statická a dynamická.

Obě zkoušky byly provedeny nejprve s výfuky bez tlumivek, poté proběhlo jejich opakování po montáži tlumivek (obr. 35).

#### 4.3.4.3 Statická zkouška

Jelikož se jedná o vozidlo kategorie L, otáčky při měření vnějšího hluku vozidla byly vypočteny dle tab. 6 v kap. 3.12.1.2.

Maximálního výkonu vozidlo dosahuje při  $4750 \text{ ot. min}^{-1}$  (tab.11 v kap. 4.3.4). Po výpočtu tedy vychází  $3600 \text{ ot. min}^{-1}$ . Hlukoměr byl umístěn dle obr. 20 v kap. 3.12.1.2 ve výšce  $0,2 \text{ m}$  nad povrchem zkušební dráhy, pod úhlem  $45^\circ$  a vzdálenosti  $0,5 \text{ m}$  od ústí výfuku. Jelikož ústí obou výfuků nepřesahovala  $0,3 \text{ m}$ , měření proběhlo pouze z jedné strany vozidla.

Jedno měření obsahovalo tři po sobě jdoucí hodnoty akustického signálu z nichž ale pro platný výsledek nutné brát v potaz tu nejvyšší, počet opakování měření byl 5.

Celkově po opakování s neupravenými výfuky tedy bylo tímto měřením získáno třicet hodnot akustického signálu.

#### **4.3.4.4 Dynamická zkouška**

Jedná se o vozidlo kategorie L s čtyřstupňovou převodovkou, proto podle tab. 5 v kap. 3.12.1.1 měření proběhlo při rychlosti  $50 \text{ km.h}^{-1}$  při zařazeném druhém rychlostním stupni.

Měření bylo provedeno z obou stran vozidla a počet opakování byl pět. Celkově po opakování s neupravenými výfuky bylo tedy tímto měřením získáno dvacet hodnot akustického signálu.

## 5. Výsledky a jejich hodnocení

### 5.1 Yamaha XS 400

Tab. 12: Přehled získaných hodnot pro motocykl Yamaha XS 400

|                          | Průměr naměřených hodnot [dB] | Směrodatná odchylka měření [dB] |      | Hodnota dle technického průkazu [dB] | Rozdíl hodnot [dB] |
|--------------------------|-------------------------------|---------------------------------|------|--------------------------------------|--------------------|
| <b>Statická zkouška</b>  | 95,25                         | 0,93                            |      | 76                                   | 19,25              |
| <b>Dynamická zkouška</b> | 83,30                         | 2. rychlostní st.               | 2,74 | 80                                   | 3,30               |
|                          |                               | 3. rychlostní st.               | 2,65 |                                      |                    |

Výrobce vozidla udává, že vnější hluk při statické zkoušce je 76 dB (tab. 8 v kap.4.3.1).

S úpravami oproti originálnímu stavu popsanými v kap. 4.3.1 bylo naměřeno 95,25 dB. To je o 19,25 dB více, než udává výrobce, a o 15,25 dB více, než je hlukový limit (tab.7 v kap. 3.12.4)

Při dynamické zkoušce výrobce udává 80 dB (tab. 8 v kap.4.3.1). Naměřeno bylo 83,30 dB. Je to o 3,30 dB více, než udává výrobce, a než je hlukový limit. Přestože se jedná o vozidlo registrované před 1. 7. 2001 a výfuky nemusí mít homologační značku ani štítek s údaji o vnějším hluku a jedná se o tovární výrobek, nesplňuje hlukový limit a motocykl by tedy neměl být užíván v provozu na silničních komunikacích.

Aby opět vozidlo splňovalo hlukový limit, bylo by nutné ho vybavit originálním výfukovým systémem a originálním vzduchovým filtrem – tzv. airboxem.

V praxi je to nicméně tak, že se jedná o 36 let starý motocykl a výfuky naprosto zapadají do jeho klasického vzhledu a vnější hluk nijak neprovokuje.

## 5.2 Triumph Speedmaster

Tab. 13: Přehled získaných hodnot pro motocykl Triumph Speedmaster

|                          | Průměr naměřených hodnot [dB] | Směrodatná odchylka měření [dB] |      | Hodnota dle technického průkazu [dB] | Rozdíl hodnot [dB] |
|--------------------------|-------------------------------|---------------------------------|------|--------------------------------------|--------------------|
| <b>Statická zkouška</b>  | 101,60                        | 1,17                            |      | 87                                   | 14,60              |
| <b>Dynamická zkouška</b> | 83,60                         | 2. rychlostní st.               | 1,24 | 80                                   | 3,60               |
|                          |                               | 2. rychlostní st.               | 1,22 |                                      |                    |

Výrobce vozidla udává, že vnější hluk při statické zkoušce je 87 dB (tab. 9 v kap. 4.3.2).

S úpravami oproti originálnímu stavu popsanými v kap. bylo naměřeno 101,60 dB. To je o 14,60 dB více, než udává výrobce, a o 21,60 dB více než je hlukový limit (tab. 7 v kap. 3.12.4).

Při dynamické zkoušce výrobce udává 80 dB (tab. 9 v kap. 4.3.2). Naměřeno bylo 83,60 dB. Je to o 3,60 dB více, než udává výrobce, a než je hlukový limit. Jedná se o vozidlo registrované po 1. 7. 2001 a výfuky tedy musí mít homologační značku (kap. 3.6.1.3) a štítek s údaji o vnějším hluku, a namontované výfuky jsou oficiální výrobek dodávaný výrobcem motocyklu, značku nemají.

Vozidlo nesplňuje hlukový limit a motocykl by tedy neměl být užíván v provozu na silničních komunikacích.

Aby opět vozidlo splňovalo hlukový limit, bylo by nutné ho vybavit originálním výfukovým systémem – tlumiči výfuku.

U motocyklů této kategorie jsou takovéto úpravy výfuku poměrně běžné. Ke stylu tohoto motocyklu se hutný zvuk hodí, to ale nemění nic na tom, že tím nadměrně zatěžuje životní prostředí a zdraví člověka.

## 5.3 Yamaha X-Max 400

Tab. 14: Přehled získaných hodnot pro motocykl Yamaha X-Max 400

|                          | Průměr naměřených hodnot [dB] | Směrodatná odchylka měření [dB] |      | Hodnota dle technického průkazu [dB] | Rozdíl hodnot [dB] |
|--------------------------|-------------------------------|---------------------------------|------|--------------------------------------|--------------------|
| <b>Statická zkouška</b>  | 109,4                         | 0,69                            |      | 85                                   | 24,40              |
| <b>Dynamická zkouška</b> | 88,20                         | 30 km.h <sup>-1</sup>           | 1,04 | 77                                   | 11,20              |
|                          |                               | 40 km.h <sup>-1</sup>           | 1,34 |                                      |                    |
|                          |                               | 50 km.h <sup>-1</sup>           | 0,97 |                                      |                    |

Výrobce vozidla udává, že vnější hluk při statické zkoušce je 85 dB (tab. 10 v kap. 4.3.3).

S úpravami oproti originálnímu stavu popsanými v kap. 4.3.3.1 bylo naměřeno 109,4 dB. To je o 24,40 dB více, než udává výrobce, a o 29,40 dB více, než je hlukový limit (tab. 7 v kap. 3.12.4). Což je vzhledem k tomu, že se jedná o vozidlo určené hlavně do městského provozu, téměř alarmující zjištění.

Při dynamické zkoušce výrobce udává 77 dB (tab. 10 v kap. 4.3.3). Naměřeno bylo 88,20 dB. Je to o 11,20 dB více, než udává výrobce, a o 8,20 dB více než je hlukový limit. Jedná se o vozidlo registrované po datu 1. 7. 2001, výfuk musí mít homologační značku a vozidlo štítek s údaji o vnějším hluku.

Výrobce namontovaného výfuku udává, že splňuje podmínky viz kap. 3.6.1.3. Měřením ale bylo dokázáno, že vozidlo hlukový limit nesplňuje. Motocykl by neměl být užíván v provozu na silničních komunikacích.

Aby opět vozidlo splňovalo hlukový limit, bylo by nutné ho vybavit originálním výfukovým systémem. V současném stavu škodí životnímu prostředí a má negativní vliv na zdraví člověka, a to nejvíce z měřených vozidel.

Je to o to horší, že jde o vozidlo určené výhradně do městského provozu, vliv na zdraví člověka tedy nebude zanedbatelný.

## 5.4 Jawa 250-353

Tab. 15: Přehled hodnot pro motocykl Jawa 250-353

|                          | Výfuky s tlumivkami           |                                 | Výfuky bez tlumivek           |                                 | Rozdíl hodnot [dB] |
|--------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------|
|                          | Průměr naměřených hodnot [dB] | Směrodatná odchylka měření [dB] | Průměr naměřených hodnot [dB] | Směrodatná odchylka měření [dB] |                    |
| <b>Statická zkouška</b>  | 99,65                         | 1,37                            | 107,35                        | 1,15                            | 7,70               |
| <b>Dynamická zkouška</b> | 2. rychlostní st. 76,15       | 2,05                            | 2. rychlostní st. 83,59       | 1,61                            | 7,44               |

U tohoto vozidla byly porovnávány pouze originální stav vůči upravenému, neboť nejsou k dispozici údaje deklarované výrobcem.

Při statické zkoušce s originálním výfukem byla naměřena hodnota 99,65 dB. Při dynamické to bylo 76,15 dB.

Při úpravě výfukového systému popsané v kap. 4.3.4 a patrné na obr. 35 bylo naměřeno 107,35 dB při statické zkoušce a 83,59 dB při dynamické zkoušce. Rozdíl hodnot činí 7,70 dB při statické zkoušce a 7,44 dB při dynamické zkoušce.

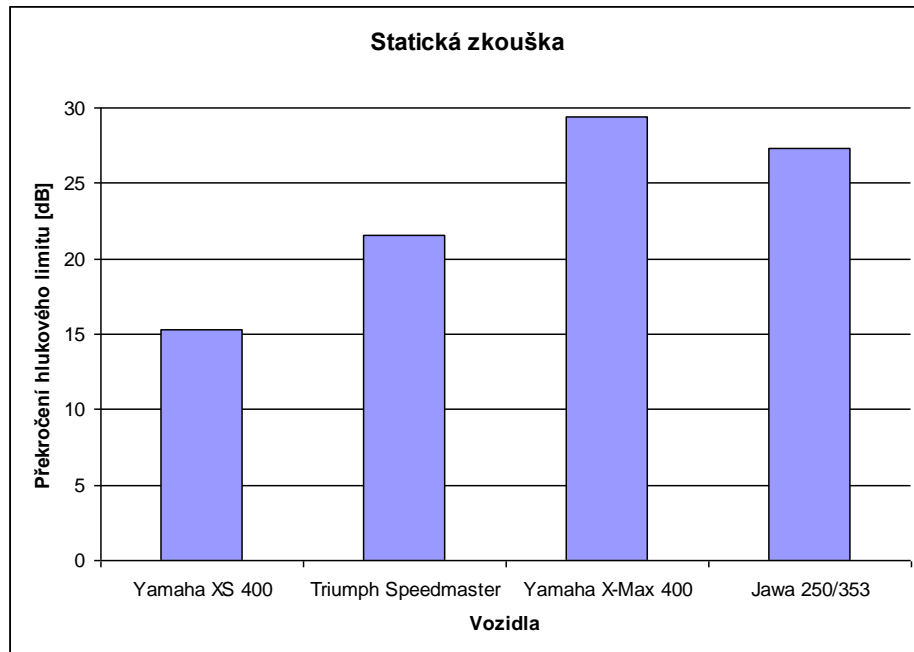
Při dynamické zkoušce s výfukem v originálním stavu hlukový limit splňuje, s demontovanými tlumivkami jej překračuje o 3,59 dB.

Při statické zkoušce překračuje hlukový limit o 19,65 dB s originálním výfukem a o 27,35 dB s upraveným výfukem. Vzhledem ke stáří stroje je možné, že při statické zkoušce se více projeví mechanický hluk motoru, a to z důvodu větších provozních vůlí.

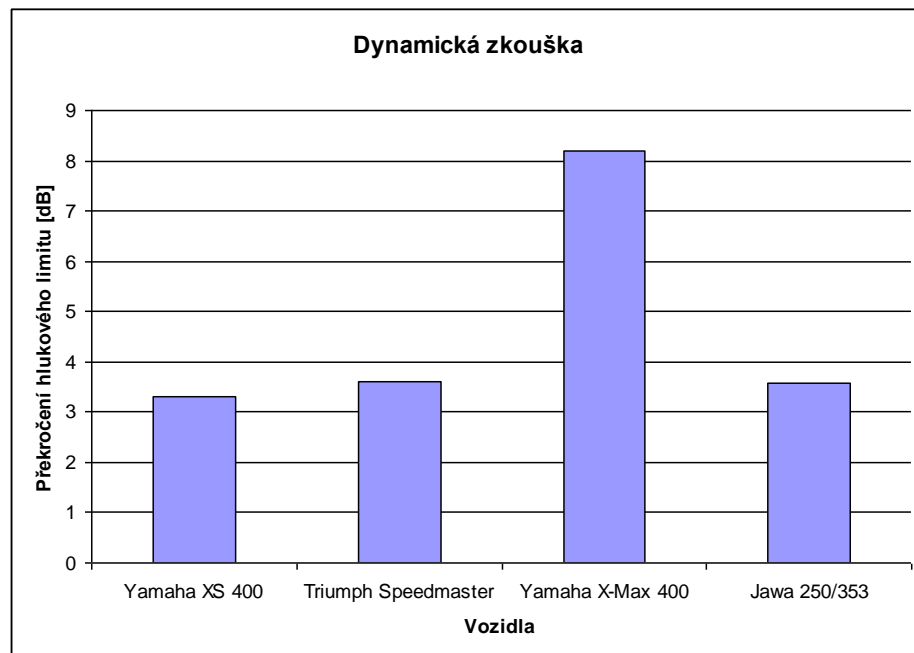
Vzhledem k tomu, že se jedná o 57 let staré vozidlo a v dnešním provozu se skoro nedá normálně užívat – slabé brzdy, malá viditelnost, absence směrových ukazatelů atd. – je kilometrový nájezd minimální, jeho vliv na životní prostředí nebude nejspíš nijak katastrofální.

## 5.4.1 Porovnání jednotlivých vozidel z hlediska vnějšího hluku

Obr. 36: Porovnání výsledků statické zkoušky pro jednotlivá vozidla



Obr. 37: Porovnání výsledků dynamické zkoušky pro jednotlivá vozidla



Z obr. 36 a 37 je patrné, že nejhlučnější z měřených vozidel je Yamaha X-Max 400, a to jak při statické zkoušce, tak i dynamické.

Je to zajímavé zjištění, protože se jedná o vozidlo nejnovějšího data výroby a zároveň určené především pro městský provoz. Z těchto předpokladů vyplývá, že by toto vozidlo mělo být naopak nejtichší.

Takto zvýšená hlučnost je způsobena použitým výfukem, který rozhodně nesplňuje požadavky pro provoz na silničních komunikacích. Jak ale bylo uvedeno v kap. 3.6.1.3, v současné době nemá Policie ČR způsob jak tuto skutečnost objektivně posoudit.

Měření potvrdilo, že úpravy výfukových systémů u vozidel kategorie L jsou nadměrnou zátěží pro životní prostředí a zdraví člověka.



## 6. Závěr

Jak se lze dočíst v úvodní části, hlavním úkolem této práce bylo analyzovat vnější hluk motorových vozidel za pomoci podkladů z teoretické části, která se zabývala fyzikální podstatou zvuku, definicí hluku, metodami jeho měření a legislativou, a části praktické, která se zabývala měřením vnějšího hluku vozidel a porovnáváním hluku způsobeného upravenými vozidly oproti jejich původnímu stavu.

Vycházel jsem z potřebných literárních pramenů a z dat získaných praktickým měřením. To jsem provedl v jeden den a proběhly dvě hlukové zkoušky – statická a dynamická. Měřena byla čtyři vozidla kategorie L, tedy motocykly, různého data výroby s upraveným výfukovým systémem.

V práci jsem dosáhl objektivního zhodnocení dopadu nedovolených úprav vozidel na jejich vnější hluk – měřením bylo dokázáno, že tyto úpravy velmi nepříznivě ovlivňují vnější hluk vozidel a mají negativní dopad na životní prostředí a zdraví člověka.

Z měřených vozidel ani jedno nesplnilo hlukový limit a nejhluchnější bylo vozidlo určené výhradně pro městský provoz, což jenom podtrhuje závažnost problému.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] FIRST, Jiří. *Zkoušení automobilů a motocyklů: příručka pro konstruktéry*. Praha: S&T CZ, 2008. ISBN 978-80-254-1850-5.
- [2] SMETANA, Ctirad. *Hluk a vibrace: měření a hodnocení*. Praha: Sdělovací technika, 1998. ISBN 80-901936-2-5.
- [3] ŘIHÁČEK, Tomáš. *Zvukové prostředí města a jeho vliv na prožívání*. Brno: Masarykova univerzita, Mezinárodní politologický ústav, 2009. ISBN 978-80-210-4809-6.
- [4] NĚMEC, Jaroslav, Jiří RANSDORF a Milan ŠNĚDRLE. *Hluk a jeho snižování v technické praxi*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1970. Řada strojírenské literatury.
- [5] APETAUER, M.: *Vznik vibrací a hluku ve strojích a jejich agregátech - Pístové spalovací motory*, skripta UJEP Ústí nad Labem, fakulta výrobních technologií a managementu, 2007.
- [6] NOVÝ, Richard. *Hluk a chvění*. Vyd. 3. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04347-9.
- [7] PETRÁK, Peter. *Hluk a vibrácie v dopravnej technike*. V Bratislave: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2015, 144 s. Edícia vysokoškolských učebníc (Slovenská technická univerzita). ISBN 9788022744997.
- [8] MURPHY, Enda a Eoin KING. *Enviromental Noise Pollution*. USA: elsevier, 2014. ISBN 978-0-12-411595-8.
- [9] HAVRÁNEK Jiří a kol.. *Hluk a zdraví*. 1.vyd. Praha: Avicenum, zdravotnické nakladatelství, n.p. 1990. 280 s. ISBN 80-201-0020-2
- [10] ISO/CD 11819-2 *Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: The close-proximity method, 2000 Tire/pavement noise study, NCAT Report 2004*, <http://www.pavetrack.com/documents/NCAT%20Reports/04-02%20Tire-- Pavement%20Noise%20Study.pdf>
- [11] EU. Předpis č. 41 Evropské hospodářské komise Spojených národů (EHK/OSN) . *Úřední věstník Evropské unie*. Dostupný také [http://www.telecom.gov.sk/externe/ehk\\_osn/ ehkmain.htm](http://www.telecom.gov.sk/externe/ehk_osn/ ehkmain.htm)

- [12] EU. Předpis č. 51 Evropské hospodářské komise Spojených národů (EHK/OSN) *Úřední věstník Evropské unie*. Dostupný také z:  
[http://www.telecom.gov.sk/externe/ehk\\_osn/ehkmain.htm](http://www.telecom.gov.sk/externe/ehk_osn/ehkmain.htm)
- [13] EU. Předpis č. 92 Evropské hospodářské komise Spojených národů (EHK/OSN) – *Úřední věstník Evropské unie*. Dostupný také z:  
[http://www.telecom.gov.sk/externe/ehk\\_osn/ehkmain.htm](http://www.telecom.gov.sk/externe/ehk_osn/ehkmain.htm)
- [14] ČSN ISO 362-1. *Měření hluku vyzařovaného jedoucimi silničními vozidly - Technická metoda - Část 1: Kategorie M a N*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Květen 2010..
- [15] ČSN ISO 362-2. *Měření hluku vyzařovaného jedoucimi silničními vozidly - Technická metoda - Část 2: Kategorie L*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Květen 2010.
- [16] ČSN ISO 5128. *Akustika - Měření vnitřního hluku motorových vozidel*. Praha: Český normalizační institut, Listopad 2002.
- [17] TOMÁŠ, Hellmuth, Michal JIŘÍ a Potužníková DANA. *Hluk v komunálním prostředí* [online]. [cit. 2018-02-16]. Dostupné z: <http://www.khshk.cz/e-learning/kurs2a/index.html>
- [18] MONDSCHNEIN, Petr. *Hluk na styku pneumatika - vozovka* [online]. 18.1.2012 [cit. 2018-02-16]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/hluk-na-styku-pneumatika-vozovka/>
- [19] DUŠEK, Vladimír. *Prokazování technické způsobilosti při silniční kontrole Policií ČR a neschválené změny motocyklů*. Trutnov, 2014. ISBN CSPD-2014/3.
- [20] CESVA instruments, *Villar, 20, bajos - 08041 BARCELONA*. Dostupné z: <http://cesva.com>

## Seznam obrázků a tabulek

|  |    |
|--|----|
| Obr. 1: Vlnění .....   | 3  |
| Obr. 2: Akustický tlak.....  | 6  |
| Obr. 3: Vlnová délka.....  | 8  |
| Obr. 4: Hluk vozidel v závislosti na rychlosti .....                             | 13 |
| Obr. 5: Homologační značka výfuku.....   | 16 |
| Obr. 6: Homologační značka výfuku.....   | 17 |
| Obr. 7: Homologační značka výfuku.....   | 17 |
| Obr. 8: Reflexní tlumič .....  | 18 |
| Obr. 9: Absorpční tlumič .....   | 18 |
| Obr. 10: Rezonanční tlumič .....   | 19 |
| Obr. 11: Interferenční tlumič .....  | 19 |
| Obr. 12: Princip kontroly výfukového systému.....                                | 20 |
| Obr. 13: Sání vzduchu pneumatikou.....   | 22 |
| Obr. 14: Druhy proudění.....   | 23 |
| Obr. 15: Sluchový systém člověka .....   | 24 |
| Obr. 16: Pásmo slyšitelnosti .....   | 25 |
| Obr. 17: Váhový filtr A.....   | 32 |
| Obr. 18: Zkušební dráha .....  | 34 |
| Obr. 19: Ústí výfuku .....   | 36 |
| Obr. 20: Umístění hlukoměru při statické zkoušce vozidla kategorie L .....       | 37 |
| Obr. 21: Umístění hlukoměru při měření hluku stlačeného vzduchu.....             | 38 |
| Obr. 22: Umístění hlukoměru při zkoušce vnějšího hluku vozidel kategorie T ..... | 39 |
| Obr. 23: Lokalizace místa měření.....  | 42 |
| Obr. 24: Okruh měřících přístrojů .....  | 43 |
| Obr. 25: Kalibrátor.....   | 43 |

|  |    |
|--|----|
| Obr. 26: Hlukoměr .....  | 44 |
| Obr. 27: Yamaha XS 400.....  | 46 |
| Obr. 28: Výfuky Sito .....   | 47 |
| Obr. 29: Triumph Speedmaster.....  | 49 |
| Obr. 30: Schéma výfukového systému .....                                   | 50 |
| Obr. 31: Yamaha X-Max 400 .....  | 51 |
| Obr. 32: Laděný výfuk Akrapovič.....                                       | 53 |
| Obr. 33: Jawa 250/353 .....  | 54 |
| Obr. 34: Konstrukce výfuků motocyklu Jawa 250/253 .....                    | 55 |
| Obr. 35: Montáž tlumivek.....  | 56 |
| Obr. 36: Porovnání výsledků statické zkoušky pro jednotlivá vozidla.....   | 62 |
| Obr. 37: Porovnání výsledků dynamické zkoušky pro jednotlivá vozidla ..... | 62 |
| <br>   |    |
| Tab. 1: Rychlosti šíření zvuku v různých prostředích .....                 | 6  |
| Tab. 2: Vlnová délka.....  | 9  |
| Tab. 3: Zdroje hluku v životním prostředí.....                             | 28 |
| Tab. 4: Kategorie vozidel.....   | 31 |
| Tab. 5: Rychlost vozidel při dynamické zkoušce .....                       | 35 |
| Tab. 6: Otáčky motoru při statické zkoušce .....                           | 36 |
| Tab. 7: Hlukové limity motorových vozidel.....                             | 40 |
| Tab. 8: Technické údaje motocyklu Yamaha XS 400 .....                      | 46 |
| Tab. 9: Technické údaje motocyklu Triumph Speedmaster .....                | 49 |
| Tab. 10: Technické údaje motocyklu Yamaha X-Max 400.....                   | 52 |
| Tab. 11: Technické údaje motocyklu Jawa 250/353.....                       | 55 |
| Tab. 12: Přehled získaných hodnot pro motocykl Yamaha XS 400.....          | 58 |
| Tab. 13: Přehled získaných hodnot pro motocykl Triumph Speedmaster .....   | 59 |
| Tab. 14: Přehled získaných hodnot pro motocykl Yamaha X-Max 400 .....      | 60 |
| Tab. 15: Přehled hodnot pro motocykl Jawa 250-353 .....                    | 61 |

## Seznam použitých veličin a jednotek

Frekvence  $f$  [Hz]

Rychlost šíření zvuku  $c$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]

Modul objemové pružnosti  $K$  [Pa]

Hustota  $\rho$  [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]

Poissonova konstanta  $k$  [-]

Barometrický tlak  $p_b$  [Pa]

Plynová konstanta  $r$  [ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]

Termodynamická teplota  $T$  [K]

Dynamický modul pružnosti v tahu  $E$  [ $\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$ ]

Dynamický modul pružnosti ve smyku  $G$  [Pa]

Perioda  $T$  [s]

Úhlová frekvence  $\omega$  [ $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ ]

akustický výkon  $P$  [W]

Zvukový intenzita  $I$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ]

Rychlost tekutiny  $v$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]

Dynamická viskozita tekutiny  $\mu$  [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ]

Kinematická viskozita  $\nu$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ]

Aerodynamický odpor  $F_d$  [N]

Součinitel aerodynamického odporu  $c_x$  [-]

Rychlost vozidla  $v$  [ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ]

Vzdálenost [m]

## Příloha 1 - Fotografie z měření













