



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Pavel Kubka

Hluková emise dopravního prostředku

Diplomová práce

2015



K616 **Ústav dopravních prostředků**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Pavel Kubka

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – DS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Hlukové emise dopravního prostředku**

Název tématu (anglicky): Noise emissions of road vehicles

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:
- uveďte emise dopravního prostředku a jejich vliv na životní prostředí
- zaměřte se na emise hluku
- zpracujte teorii energetické emise
- uveďte zdroje hlukové emise
- uveďte metody eliminace hluku automobilu a motocyklu
- proveďte experiment měření a ovlivňování hluku

Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího diplomové práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Předpisy EHK 41
First J.: Zkoušení automobilů a motocyklů

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jiří First

Datum zadání diplomové práce:

27. června 2014

(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce:

31. května 2015

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
- b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia



doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.
vedoucí
Ústavu dopravních prostředků



prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

.....
Bc. Pavel Kubka
jméno a podpis studenta

V Praze dne27. června 2014

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji Ing. Jiřímu Firstovi za odborné vedení a konzultování diplomové práce a za rady, které mi poskytoval po celou dobu mého studia a dále bych chtěl poděkovat Ing. Josefu Míkovi, Jiřímu Benešovi, Přemyslu Tomanovi a Daliboru Tomanovi za umožnění přístupu k mnoha důležitým informacím a materiálům. V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat svým rodičům.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr mého studia na ČVUT v Praze Fakultě Dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne

podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

HLUKOVÁ EMISE V DOPRAVNÍM PROSTŘEDKU

Diplomová práce
Květen 2015
Pavel Kubka

ABSTRAKT

Hlavním cílem této diplomové práce je charakterizovat a podrobit analýze zdroje hlukových emisí u motorových vozidel. Úvod práce je zaměřen na popis emisí vznikajících při provozu vozidla. Hlukové emise jsou popsány od vzniku až po její potlačení. Praktická část se věnuje měření výfuku závodního motocyklu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Emise, Hluk, zdroj hluku, eliminace, šíření

ABSTRACT

The main goal of this master's thesis is describe and analyze sources of vehicle's noise emissions. Introduction of this thesis is intended on description of emissions which are rising during vehicle's operation. The noise emissions are described since origin to repression. The practical part is focused on measurement of exhaust of racing motorcycle.

KEY WORDS

Emission, Noise, Source of noise, elimination, diffusion

Obsah

Obsah	4
1. Úvod	6
2. Emise	7
2.1. Vibrace	7
2.2. Exhalace a částice	10
2.3. Elektromagnetické záření	13
2.4. Světlo	14
2.5. Nečistoty	16
3. Hlukové emise	18
3.1. Teorie energetické emise	18
3.2. Energie kmitajícího bodu	21
3.3. Veličiny a jednotky hluku	33
3.4. Legislativa související s hlukem	33
3.5. Zařízení pro měření hluku	34
3.6. Metody měření hluku	36
3.7. Kritéria hodnocení hluku	39
3.8. Zdroje hlukové emise	40
4. Metody eliminace hluku automobilu a motocyklu	42
4.1. Pasivní eliminace	42
4.2. Aktivní eliminace	51
4.3. Účinek hluku na člověka	52
5. Experiment měření a ovlivňování hluk	54
5.1. Statická metoda 2 m max	54
5.2. Praktické Měření	54
6. Závěr	62
7. Použité zdroje	63
7.1. Literatura	63

7.2	Elektronické zdroje	63
8.	Seznam obrázků, tabulek a grafů	65
8.1.	Seznam obrázků.....	65
8.2.	Seznam tabulek.....	66
8.3.	Seznam grafů	66
9.	Seznam použitých zkratk	67
12.	Přílohy.....	67

1. Úvod

Jedním z významných celosvětových problémů je v dnešní době velké množství emisí, které se vyskytují v životním prostředí. Jednou z hlavních příčin znečištění planety je automobilová doprava. Nárůst vozidel v 90. letech dvacátého století byl obrovský, z tohoto důvodu byly zavedeny emisní normy. Vyspělé země západní Evropy zamezují vjezd vozidlům, která produkují vysoké množství emisí, do center velkých měst nebo jejich historických částí. Některé země přispívají vlastníkům ekologickým vozidel či zvýhodňují nákup vozidel s nízkou produkcí emisí.

Česká republika v tomto pohledu zatím zaostává, ale po vzoru západních zemí připravuje pro své hlavní město vyhlášky, omezující vjezd motorových vozidel nesplňujících emisní limity. Vzhledem k vysokému průměrnému věku tuzemského vozového parku jsou tyto limity nižší než například v některých městech Spolkové republiky Německo. Jednou z možností, jak snížit hluk a exhalace z motorových vozidel, je vytlačení dopravy mimo obydlená místa nebo zvýšení zájmu o hromadnou dopravu.

Dle mého názoru je dnes již nezbytné redukovat počet vozidel pohybujících se v hustě obydlených oblastech, tak aby nedocházelo k snižování k životní úrovni. Jedním z druhů emisí, která obyvatele měst nejčastěji obtěžuje, jsou emise hluku vozidel. Z tohoto důvodu jsem se v mé diplomové práci zaměřil právě na tento druh emisí a pokusil jsem se jej co nejpřesněji charakterizovat a popsat způsoby jeho eliminace.

První část této diplomové práce obsahuje výčet emisí, které jsou produkovány dopravními prostředky, popsány jsou zkoušky, legislativa, příčiny vzniku a veličiny daných emisí. V dalších částech se věnuji především hlukové emisi vozidla. Popisuji hluk od jeho vzniku až ke způsobům jeho eliminace, jeho vliv na lidské zdraví, způsoby jakými je měřen. V závěru práce jsem provedl experiment, který měl za úkol změřit hlukové emise výfuku pro motocykl do 50 ccm³. Výfuk pro tento experiment vytvořil student bakalářského studia na Vysokém učení technickém v Praze, Přemysl Toman.

2. Emise

Slovo emise neboli pollutant, pochází z latinského výrazu e-mitto. Význam zmíněného slova je vysílat, vydávat nebo vypouštět. Pojem emise je využíván v mnoha oborech, především v ekologii, kde jsou za emise považovány jednotlivé druhy škodlivých látek či znečištění v ovzduší. Rozlišujeme dva druhy emisí, primární a sekundární emise. Primární emise neprošla při tvorbě žádnou chemickou reakcí a vychází přímo ze zdroje do ovzduší. Naopak sekundární emise se vytvářejí reakcemi v atmosféře, pomocí fotoaktivace nebo reakcí s primárními pollutanty. Slovem imise označujeme látky, které se dostaly do styku s životním prostředím. Příkladem jsou těžké kovy vyskytující se v půdě podél pozemní komunikace. [1,9]

Emise dopravního prostředku

Hlavním tématem této práce jsou emise hlukové. Jim je věnována samostatná část práce začínající 3. kapitolou. Při provozu dopravního prostředku vznikají tyto emise:

- Hluk
- Vibrace
- Exhaláty a částice
- Elektromagnetické záření
- Světlo
- Nečistoty
- Jiné

2.1. Vibrace

Vibrace vzniká pohybem pružného tělesa v prostředí, jehož jednotlivé body kmitají kolem své rovnovážné polohy. Nejčastěji při provozu strojů a přístrojů, motorů dopravních či jiných prostředků, ale třeba i pohybem lodní paluby vlivem mořských vln. Z těchto zdrojů se přenášejí na člověka přímo nebo prostřednictvím dalších materiálů, médií či zařízení (sedadlem traktoru, palubou lodí, plošinou vrtné soupravy, podlahou bytu v blízkosti zdrojů vibrací apod.). Příčiny vibrací v dopravním prostředku jsou:

- Nevyvážené hmoty rotujících částí (kola, hřídele, atd.)
- Nevyvážené hmoty posuvných částí (písty, ojnice)
- Nerovnost vozovky

Tlumením vibrací pomocí pružných materiálů, jako je například pryž, zvyšujeme životnost dopravního prostředku a cestovní komfort pro posádku. [1]

2.1.1. Veličiny a jednotky vibrací

Hladinu vibrací, kterou používáme pro posouzení míry vibrací, harmonického kmitání a efektivní hodnotu zrychlení vypočítáme dle následujících vzorců:

Hladina vibrací

$$L(a) = 20 \log \frac{a_{ef}}{a_0} \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

kde $a_0 = 10^{-6} \text{ [m.s}^{-2}\text{]}$

a_{ef} – efektivní hodnota zrychlení vibrací v měřeném místě v m.s^{-2}

Harmonické kmitání

$$a_{ef} = \frac{a_{max}}{\sqrt{2}} \cong 0,707 a_{max} \quad [\text{m.s}^{-2}] \quad (2)$$

a_{max} – maximální amplituda zrychlení

Efektivní hodnota zrychlení

$$a_{ef} = a_0 * 10^{\frac{L(a)}{20}} \quad [\text{m.s}^{-2}] \quad (3) \quad [1]$$

2.1.2. Legislativa související s vibracemi

- **Zákony**
 - 37/1977 sb.;46/1980 – Hygienický předpis Ministerstva zdravotnictvím
- **Normy**
 - ČSN EN 30 326-1 – Laboratorní metoda hodnocení vibrací vozidlových sedadel
 - ISO 2631 – Hodnocení expozice člověka celkovými vibracemi
 - ISO 8041:1984 – Vibrace působící na člověka; Měřicí přístroje
 - ISO 10 326 – Vibrace sedadel

Jde pouze o vybranou legislativu, která se soustředí na mechanické kmitání vyskytující se v dopravním prostředku. [1]

2.1.3. Zařízení pro měření vibrací

- **Vibrace se zdrojem od nerovnosti vozovky**

Při této zkoušce je měřeno celé vozidlo na jakémkoliv úseku vozovky, na kterém jsme schopni definovat povrch s nejméně budící amplitudou a frekvencí svých nerovností. Většina měření se provádí na uměle vytvořeném úseku neboli paved road čili zkušebním polygonu. Dalším zkušebním místem je válcová zkušebna, kde lze za pomoci hydropulzů nebo tormentační stolice vytvořit umělé překážky.

- **Vibrace od nevyvážené rotující hmoty nebo nevyvážené částí vozidla**
Toto měření probíhá bez vlivů nerovnosti vozovky. Válcové zkušebna musí být nastavena tak, aby nezpůsobovala jiné vibrace. Nejvhodnější jsou dynamometry nebo jednoduché válcové zkušebny.
- **Zkouška separátních sedadel**
Laboratorní zkouška prováděna podle ČSN EN 30 326-1 (ISO 10 326). Při zkoušce je použit pulzační stůl, na němž je připevněno sedadlo z vozidla. Vstupní kmitání vytváří pulzační stůl.
- **Zkušební figuríny a impaktory**
Při zkoušení vibrací přenášející se na člověka od podlahy, sedadla či plošiny se používá zkušební figurína nebo impaktor. V hlavě nebo hrudníku zkušební figuríny je zabudován třísosý snímač zrychlení, který měří hodnoty co nejbližší reálnému provozu. Impaktory slouží k celkovému snímání vibrací přenášející se například ze sedadla motocyklu. Zkouška probíhá podle legislativy vztažené ke zkouškám pasivní bezpečnosti.
- **Zařízení pro měření mechanického kmitání**
Měření mechanického kmitání provádíme souborem přístrojů. Výstupem jsou fyzikální veličiny, které můžeme porovnat přímo s kritérii hodnocení. Mezi naměřené veličiny patří zrychlení [$m \cdot s^{-2}$] dále pak rychlost [$m \cdot s^{-1}$], amplituda [m] a frekvence [Hz]. [1]

2.1.4. Kritéria hodnocení vibrací

Nejvyšší přípustné hodnoty jsou dány hygienickým předpisem MZdr. 46/1980. Pro všechna pracoviště tedy i pro dopravní prostředky platí limity, kterou vychází z:

- Doby působení
- Druhu práce (fyzická, duševní, náročná duševní),
- Kontinuity působení [1]

2.1.5. Vliv vibrací na lidské zdraví

Jízda po narušené vozovce či v terénu vytváří vibrace, které jsou přenášeny na člověka skrz volant nebo karoserii vozidla. Vibrace může způsobit i chod spalovacího motoru, převážně starší vozidla měla problém s přenášením vibrací do interiéru. Kritické jsou frekvence mezi 4 - 8 Hz. Jedná se o frekvence, kdy lidské tělo nebo jeho části rezonují. Člověk vnímá vibrace pomocí soustavy, která ovlivňuje psychosomatickou citlivost. Jde o celkové fyziologické a psychologické vnímání zprostředkované různými receptory. Vzniklé vzruchy se dostávají centrální nervovou soustavou do mozku, kde se sjednocují a vznikají tím subjektivní vjemy. Při přenosu vibrací na celé tělo dochází k napětí svalů, které udržují tělo v

rovnovážné poloze. Vibrace jsou přenášeny pasivním způsobem a jsou pociťovány jako nepříjemné. Zdravotní potíže způsobené vibracemi se dostavují až po delší době, okamžité následky jsou především psychického rázu. Po delší době působení nastává únava, vytváří se nepříjemný pocit a snižuje soustředění. Vibrace postihují trávicí ústrojí, zádomé svalstvo, pohlavní a močové ústrojí, ženské reprodukční orgány a ostrost vidění. Nepříznivé podmínky vibrací zasahují především řidiče kamionů, obsluhu stavebních strojů, bagrů a drtičů. [18]

2.2. Exhalace a částice

Exhalace jsou produkovány spalovacím motorem. Prudce oksyločené palivo je spalováno ve spalovacím prostoru, kinetická energie vytvořená spalováním se přenáší na píst, který je stlačen dolů a tím rozpohybuje klikovou hřídel. Po spalování vzniknou výfukové plyny, které obsahují exhalace i pevné částice.

2.2.1. Složky obsažené v exhalacích a jejich účinky na lidské tělo

- **Oxid uhelnatý – CO**

Toxický plyn, který snižuje schopnost krve vázat kyslík. Při vdechování způsobuje nevolnost, závratě, bolest hlavy, ospalost a zmatenost. Delší působení oxidu uhelnatého má neblahé účinky na orgány včetně mozku a srdce.

- **Oxidy dusíku – NO, NO₂**

Mají velký vliv na tvorbu kyselých dešťových srážek. Svým působením snižují imunitní ochranu proti virovým onemocněním, zejména pak bronchitidě a zápalu plic.

- **Uhlovodíky – HC**

Uhlovodíky vznikají zejména v benzínových motorech. Například benzen je nebezpečný kvůli svým karcinogenním vlastnostem. Ostatní uhlovodíky způsobují ospalost, dráždění očí a kašel.

- **Oxid siřičitý - SO₂**

Dráždí horní cesty dýchací, vyvolává kašel. Při menších koncentraci vytváří astma, zánět průdušek, negativně ovlivňuje krvetvorbu, způsobuje rozedmu plic a poškozuje srdeční sval. U ženského pohlaví ovlivňuje menstruační cyklus.

- **Oxid uhličitý – CO₂**

Nedýchatelný bezbarvý plyn, který je bez zápachu. Vyšší koncentrace způsobuje ztrátu vědomí a následně smrt udušením. V krvi vytlačuje kyslík působením na hemoglobin, tím se nedostává dostatek kyslíku do tkání těla a mozku.

- **Pevné částice**

Pevné částice vznikají v průběhu spalovacího procesu v motoru, největší množství je vyprodukováno v motorech vznětových. U novodobých vznětových motorů je zařazen filtr pevných částic, který by měl většinu těchto částic pohltit. Složení a obsah částic je závislý na zdroji a vstupu do ovzduší. Velikost částic bývá od několika nanometrů až po 0,5 mm. Částice nejvíce zatěžují dýchací cesty. Postupně se zachycují od nosohltanu, kde zůstávají největší částice. Do plicních sklípků projdou až nejmenší částice o rozměrech 0,1 μm. [12,16,17,18,21]

2.2.2. Emisní normy

V roce 1993 vešla v platnost Evropská emisní norma, která vycházela z US Federal 83. Emisní norma je rozděluje vozidla do kategorií od Euro 1 až Euro 6. Norma Euro 6 je platná od 1. září 2014. Tuto normu musí splňovat vozidla vyrobená od 1. září 2015. Každá kategorie má přesně stanovený emisní limit. V České republice tato norma slouží při výpočtu ekologické daně. Ta má za úkol snížit počet starších vozidel prostřednictvím ekologického poplatku při změně vlastníka vozidla v kategorii Euro 2 a nižší. V kamionové dopravě slouží k určení výše mýtného. Západní země využívají emisní normu k určení výše silniční daně z vozidla. Větší města v západních zemích pouští do center měst pouze automobily s emisní normou euro tři a výše. Přehled emisních limitů zážehových motorů s přímým vstřikováním a vznětovým motorem zobrazuje obrázek č. 1. [12,13]

Emisní limity pro nová vozidla s zážehovým motorem						
	Platnost od	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	HC+NOx (g/km)	PM
Euro I	12/92	2,72	-	-	0,97	-
Euro II	01/97	2,20	-	-	0,5	-
Euro III	01/00	2,30	0,20	0,15	-	-
Euro IV	01/05	1,00	0,10	0,08	-	-
Euro V	09/09	1,00	0,10	0,06	-	0,005*
Euro VI	08/14	1,00	0,10	0,06	-	0,005*

Emisní limity pro nová vozidla s vznětovým motorem						
	Platnost od	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	HC+NOx (g/km)	PM
Euro I	01/92	3,16	-	-	1,13	0,14
Euro II	01/96	1,00	0,15	0,55	0,70	0,08
Euro III	01/00	0,64	0,06	0,50	0,56	0,05
Euro IV	01/05	0,50	0,05	0,25	0,30	-
Euro V	09/09	0,50	0,05	0,18	0,23	0,005
Euro VI	08/14	0,50	0,09	0,08	0,17	0,005

Obrázek 1: Emisní normy vznětový a zážehových motorů s přímým vstřikováním [12]

2.2.3. Druhy zkoušek exhalací

Exhalační zkoušky se provádějí třikrát během života výrobku, vždy v akreditované zkušebně.

Zkoušky při schvalování

- Legislativa
Druh a rozsah této zkoušky je závislý na Legislativě. Vozidla musí splňovat Předpisy EHK nebo Směrnice EHS a také musí být homologována.
- Typ motoru
Při zkoušce rozlišujeme zážehové a vznětové motory, také počet pracovních cyklů, dvoudobý či čtyřdobý motor. Další možnost rozlišení je v přetváření kinetické energie na krouticí moment, možnosti jsou přímočarým nebo rotačním pohybem pístu.
- Druh paliva
Nejběžněji používaná paliva v motorových vozidlech jsou nafta, benzín, ethanol, LPG, CNG, elektřina nebo kombinace těchto paliv. Každý druh paliva má specifické měření.
- Kategorie vozidel
Rozlišujeme nákladní nebo osobní vozidla a také motocykly.
- Technická úroveň soustavy a komptabilita
Technické parametry zkoušky budou odlišné pro vozy, které mají či nemají palubní diagnostiku, katalyzátor apod.

Kontrola shody výroby a udržení jakosti

Zkouška je prováděna v akreditované zkušebně s podrobnými informacemi o výrobku od výrobce. Zkouškám podléhají nákladní i osobní vozy. Stáří zkoušených vozidel se pohybuje od vozů nových až do stáří pěti let nebo s maximálním nájездem 100 000 km. Ověřují se tím zařízení sloužící ke snižování emisí v průběhu života vozidla, po dobu užívání včetně údržby. Při výběru je použit náhodný výběr nebo daný specifický algoritmus.

Zkouška vozidel v provozu

Zkoušku provádí stanice technické kontroly a emisí. Měření je stanoveno vyhláškou ministerstva dopravy ČR č. 302/2001 Sb. Při kontrole se rozlišuje typ pohonné jednotky, druh paliva a technické úrovně systému řídicího systému.

Zařízení pro měření exhalací

Pro homologační měření jsou zařízení přesně definována Předpisem EHK a směrnicí EHS.

- Dynamometr
Víceúčelové zařízení, jehož konstrukce může mít jeden či dva válce. Využívají se jako simulátory zatížení motoru ve skutečném provozu. Dynamometr vytváří odpor motoru. Tím je vytvořena simulace zátěže motoru v provozu.
- Opacimetr
Přístroj slouží k měření kouřivosti vznětových motorů. Opacimetr musí být během měření umístěn v přesné vzdálenosti od zdroje. Tato vzdálenost je mezinárodně dána 430 mm. Funkce přístroje je založena na snímání prostupu světla, jedna jeho strana je vybavena zdrojem světla a druhá přijímačem. Měří se intenzita světla, které projde skrz kouř.
- Analyzátor plynů
Emisní plyny CO, CO₂, HC a NO₂ jsou měřeny pomocí analyzátoru. Plyny jsou měřeny buď jednotlivě nebo jako celek. Aby přístroj fungoval s nejvyšší přesností, musí udržet stálou teplotu, tlak a průtok plynu. [1,11]

2.3. Elektromagnetické záření

Při provozu vozidel dochází k produkci elektromagnetického záření o frekvenci 30 – 1000 MHz. Zdrojem záření bývá zapalování nebo jiná elektronická jednotka. Provozem těchto zařízení vzniká rušení rádiového a televizního signálu nebo jiných elektronických zařízení. Při konstrukci vozidel je záření eliminováno ochrannými prvky, které pohltí nežádoucí vlivy. Pohlcovací a obranná schopnost vůči elektromagnetickému záření vozidla se nazývá elektromagnetická kompatibilita. [1]

2.3.1. Veličiny a jednotky elektromagnetického záření

- Intenzita elektrického pole [$\mu\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$]
- Zrychlení elektrického pole [dB]
- Frekvence f [Hz]
- Délka (rozměr) $d, l, r, h \dots$ [m]
- Otáčky n [$1\cdot\text{min}^{-1}$]

2.3.2. Legislativa související s elektromagnetickým zářením vozidel

- Předpisy EHK/OSN č. 10 – Elektromagnetická kompatibilita
- Směrnice EHS/ES č. 72/254; 95/54 – Elektromagnetická kompatibilita osobních a nákladních vozidel
- Směrnice EHS/ES č. 97/24(9) - Elektromagnetická kompatibilita motocyklů [1]

2.3.3. Metoda měření elektromagnetického záření

Měření se provádí na otevřeném prostranství nebo v uzavřené komoře. Hodnocení měření se vyhodnocuje podle dané legislativy například EHK č. 10.

- **Měření širokopásmových emisí vozidel**

Toto měření je určeno především pro zážehové motory, kde je zdrojem elektromagnetických emisí zapalování. Šířka pásma měřicího přístroje nebo přijímače je menší než vykazuje zapalování motoru.

- **Měření úzkopásmových emisí vozidel**

Zcela opačný smysl měření oproti širokopásmovému. Při úzkopásmovém měření je pásmo měřicího přístroje větší než vozidla. Zdrojem emisí je elektronický systém vozidla.

- **Měření samostatných elektronických jednotek**

Každá elektronická jednotka projde samostatných měřením. Měří se jak v úzkopásmovém tak širokopásmovém spektru. [1]

2.3.4. Vliv elektromagnetického záření na člověka

Krátkodobé zatížení organismu elektromagnetických záření nezpůsobí tělu žádné trvalé následky. Tělo se brání vytvářením vyššího množství adrenalinu. Srdce zvýší počet úderů, prokrví se svalstvo a zvýší se hladina cukru v krvi, čímž dochází k navýšení hustoty krve. Zažívací ústrojí je utlumeno nebo dokonce dochází k jeho zastavení. Po přerušení působení záření se tělo vzpamatovává ze stresu a vrací se do normální své činnosti. Při dlouhodobém zasažení těla, například ve spánku, adrenalin nedokáže vyrovnat mimořádnou situaci a dochází k neobvyklému režimu těla. Barva kůže zasaženého jedince se postupně mění na bledě šedavou, svraští se kůže a naježí se vlasy s chlupy. Buňky zasaženého jedince ztrácí svoji vitalitu a při jejich dělení dochází k oslabení genetického kódu. Důsledkem toho může vznikat nádorové onemocnění. Elektromagnetické záření člověku ovlivňuje i biorytmus, narušuje žlázu umístěnou u kořene nosu, která vylučuje různé hormony během dne a noci. Při působení záření vylučuje nesprávné hormony pro danou část dne a tím naruší biorytmus jedince. Neblahé účinky záření se projevují i na alergiky, jelikož oslabuje bránicí schopnost žláz proti působení alergenu. [24]

2.4. Světlo

Světlo, které je viditelné, je elektromagnetické záření. Zářívá v rozmezí vlnových délek 380–760 nm. Vozidlo je vybaveno dálkovými a potkávacími světly, které zvyšují viditelnost pro řidiče i posádku při zhoršených světelných podmínkách. Směrové světly slouží k signalizaci změny směru jízdy. Zadní světly slouží k přenášení informací k ostatním účastníkům provozu.

Světlo má však i neblahé účinky. Lidské oko je v určitém rozsahu citlivé na světlo. Citovost oka je ovlivňována prostředím, musíme také brát ohled na odlišnou citlivost každého jedince. Relativní citlivost oka v závislosti na vlnové délce ukázala, že lidské oko dokáže vnímat pouze světlo o kmitočtu nižším než 400 Hz a vyšším než 700 Hz. [1]

2.4.1. Veličiny a jednotky světelné emise

- **Svítivost - f**

Zdroj světla vytváří světelný tok v kuželu. Vrchol kuželu je umístěn ve zdroji světla. Jednotkou svítivosti je kandela [cd].

- **Osvětlení - E**

Základní jednotka je Lux [lx]. Osvětlení můžeme popsat také jako celkový světelný tok na jednotku plochy.

- **Světelný tok - F**

Relativní výkon světla, vzhledem k citlivosti lidského oka. Jednotka světelného toku je lumen [lm].

- **Odrazivost**

Poměr mezi svítivostí a osvětlením, které je vyjádřeno množstvím odraženého světla. Základní jednotka je [cd.lux⁻¹]. [1]

2.4.2. Legislativa související se světelnou emisí

Předpisy, směrnice a normy udávají správné nastavení, umístění a citlivost světel. Každé světlo umístěno na vozidle musí být legislativně schváleno. [1]

2.4.3. Kritéria hodnocení světelných emisí

Světlometry

Potkávací a dálkové světlometry mají podle tabulek přesně určeny parametry osvětlení v luxech. Pro pravostranné řízení je symetricky převrácené.

Světelné signalizace

Hodnoty jsou stanovené předpisem. Hlavním kritériem hodnocení je minimální a maximální hodnota svítivosti v referenční ose každé svítilny. [1]

2.4.4. Emise světla a jeho vliv na člověka

Při nesprávném nastavení světlometů může dojít k oslnění protijedoucího vozidla, což může mít za následek nehodu s vážnými následky či smrtí. Pokud je automobil vybaven neschválenými světlometry, které mají nevhodně zvolenou chromatičnost světla použitého zdroje, osvětlení stíží viditelnost nebo dokonce znemožní rozlišování barev. Mnoho řidičů používá neschválené světlometry s výbojkovými sadami HID, které mají nesoulad

v barevném tónu světla nebo rozdílné teploty chromatičnosti světla. Světlo může mít negativní vlivy při odpočinku, kdy dochází ke špatnému ladění organismu. Tento vliv nezasahuje pouze účastníky dopravního provozu, ale i obyvatele budov v blízkosti dopravních tepen. [23]

2.5. Nečistoty

Při provozu dopravního prostředku dochází k rozptylu vody, ledu, bahna, kamení nebo sněhu od rotujících kol vozidla. Množství a složení nečistot ovlivňuje především stav komunikace a technické zařízení zabraňující v co možné nejvyšší míře odletu nečistot od vozidla. [1]

2.5.1. Systémy zabraňující emisí nečistot

- **Blatník**

Z pravidla je součástí karoserie vozidla. Je umístěn nad kolem vozidla a z části zakrývá pneumatiku.

- **Lapač nečistot**

Zabraňuje odletu částic od kol. Je umístěn na spodní hraně blatníku, rámu nebo plošině na náklad. Vyroben je z pružného materiálu.

- **Separátor vzduch-voda**

Dovolí proudění vzduchu a zároveň zadrží odstříkující vodu a nečistoty. Je umístěn v blatníku nebo v lapači nečistot.

- **Absorpční zařízení**

Energie proudu vody či sněhu je absorbována do zařízení, které je umístěno v nadkolí, blatníku či lapači nečistot. [1]

2.5.2. Legislativa související s emisí nečistot

Směrnice EHS/ES č.

- 78/549;94/78 – kryty kol motocyklu
- 91/226 – zařízení proti rozstříku vody osobních a nákladních vozidel [1]

2.5.3. Metoda zkoušky emisí nečistot

Prvky zabraňující emisím nečistot jsou zkoušeny přímo na vozidle nebo v laboratorních podmínkách.

Zkoušené prvky:

- Geometrické charakteristiky systémů
- Účinnost absorpčních komponent (pro kategorii M,N)
- Účinnost separátoru vzduch – voda (pro kategorii M,N) [1]

2.5.4. Vliv emisí nečistot na člověka

Při provozu vznikají nečistoty v různých velikostech. Pro člověka jsou nejvíce nebezpečné částice s velikostí od PM_{10} , $PM_{2,5}$ až po $PM_{1,0}$. Pro příklad velikost PM_{10} jsou částice do velikosti 10 mikrometrů. Díky své nízké váze neklesají částice ihned na zem, ale poletují vzduchem několik hodin, dokud je nesmyje déšť. Polétavý prach obsahuje sírany, amonné soli, uhlík, některé druhy kovů, dusičnany popřípadě těkavé organické látky nebo polyaromatické uhlovodíky. Největší škody způsobují částice dýchacímu ústrojí. Při delším pobytu v místech s vyšším množstvím nečistot v ovzduší se částice dostávají do plic, kde se usazují a vytváří náběhy na různá onemocnění. Mezi nejzávažnější patří astma, plicní choroby, rakovina plic. Způsobit mohou rovněž poškození nenarozených dětí již v prvním měsíci těhotenství, častější onemocnění dýchacích cest u dětí. U jedinců vyššího věku zvyšuje počet onemocnění cukrovkou, vysoký krevní tlak a různé srdeční onemocnění. Například v Evropě předčasně zemře na následky vdechování polétavého prachu 348 tisíc lidí. Veškerá úmrtí nejsou způsobena pouze emisemi z automobilové dopravy. Doprava je však jedním z největších přispěvovatelů. [22]

3. Hlukové emise

Nežádoucí zvuk neboli hluk je tvořen mechanickým kmitáním pružného prostředí. Kmitání se šíří konečnou rychlostí. Rychlost akustické vlny je přibližně $340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Člověk vnímá pouze zvuky ve frekvenčním pásmu od 20 do 20 000 Hz, proto je zbytečné zkoušet vozidla na vyšší či nižší mez. Každý člověk nemá stejný práh slyšitelnosti, a proto není škodlivost hluku pro každého příjemce stejná. Při stanovení hygienických limitů dopravního prostředku je brán ohled na technické podmínky a škodlivost vozidel. S vývojem vozidel přichází i snižování limitů hluku. Zdrojem hluku je:

- Spalovací proces motorů (chemické zvuky)
- Pohyb mechanismu (mechanické zvuky)
- Proudění vzduchu (aerodynamické zvuky)
- Rozhraní dopravního provozu – Tento zdroj nelze ovlivnit z hlediska vývoje vozidla. Intenzita, hodnota nebo výskyt je závislá na okolním prostředí komunikace, složení povrchu vozovky nebo rychlostním limitu komunikace.

Při zkoušení vozidla se vždy měří vnější hluk jedoucího vozidla a stojícího vozidla. Zkouška vnitřního prostoru je prováděna pro vytvoření co největšího komfortu pro cestující. [1]

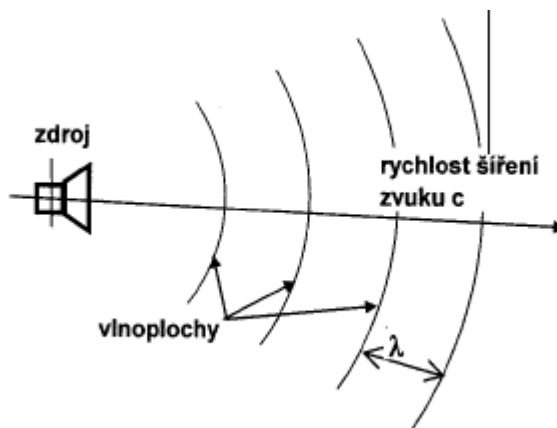
3.1. Teorie energetické emise

V případě některých emisí je sledovanou a limitovanou jednotkou dynamická veličina. Pro hlukovou emisi je to akustický tlak, respektive jeho změna. Zvuk přijímaný lidským uchem je způsoben změnami (kmitáním) tlaku prostředí (vzduchu). K eliminaci hluku je tedy nezbytná znalost teorie kmitání.

3.1.1. Akustické vlnění

Ve formě akustického vlnění se zvuk může šířit v plynech, kapalinách i v pevných látkách. Šíření vln v izotropním prostředí je přímočaré. Částice v prostředí mohou kmitat podélně i přímočaře. Podélné vlnění má přesně dán směr kmitů, kdežto u příčného udává směr rovina, na kterou dochází k vlnění. Při lineárně polarizovaném vlnění působí všechny kmity v jedné rovině. Musíme mít na paměti, že pohyb částic není shodný se šířícím se vlněním, částice naopak vytvářejí kmitavý pohyb kolem svých rovnovážných poloh. Šíření akustického vlnění doprovází přenos energie. Plynné a kapalné látky jsou pouze objemově stlačitelné, proto probíhá pouze k podélnému akustickému vlnění. Kdežto v elastických materiálech probíhá podélné a příčné akustické vlnění, a to díky pružnosti v tahu, tlaku i smyku. Kombinace namáhání u příčného a podélného vlnění vytváří kmitání ohybové.

Zdroj zvuku vytváří vlnoplochy, kterými postupuje akustické vlnění. Šíření vln je patrné z obrázku č. 2. Vlnoplocha je charakteristická tím, že je homogenní v daném časovém okamžiku, neboli ve stejném okamžiku je totožný akustický tlak. Směr určuje akustický paprsek, který je kolmý na vlnoplochu.

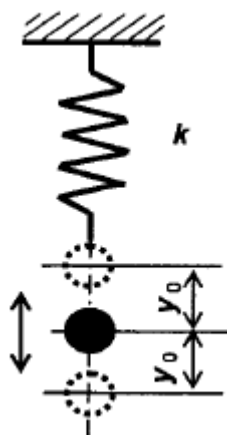


Obrázek 2: Šíření zvuku ve vlnoplochách [4]

Pevné látky, plyny a kapaliny jsou schopny přenášet kmity. Hmotný element prostředí je schopen vytvořit tzv. oscilátor. Jestliže se vychýlí hmotný bod ze své rovnovážné polohy, vznikají síly, které se ho snaží do této polohy vrátit. Pro představu si lze představit jako nejjednodušší oscilátor pružinu, strunu či ladičku, která vytváří svým kmitáním zvuk. [4]

3.1.2. Lineární oscilátor

Důležitými sledovanými veličinami pro hlukové analýzy jsou amplituda a kmitočet (frekvence). Způsob zjištění obou hodnot a jejich vliv na emisi lze vysvětlit pomocí lineárního oscilátoru, obrázek č. 3. Pohyb oscilátoru je periodický, pohybující se po přímce.



Obrázek 3: Lineární oscilátor [4]

Z pohybové rovnice hmotného oscilátoru, lze získat časový průběh pohybu hmotného bodu.

$$m \frac{\partial^2 y}{\partial \tau^2} + ky = 0 \quad (4)$$

y [m] výchylka,

m [kg] hmotnost kmitajícího bodu,

τ [s] čas,

k [N/m] tuhost pružiny

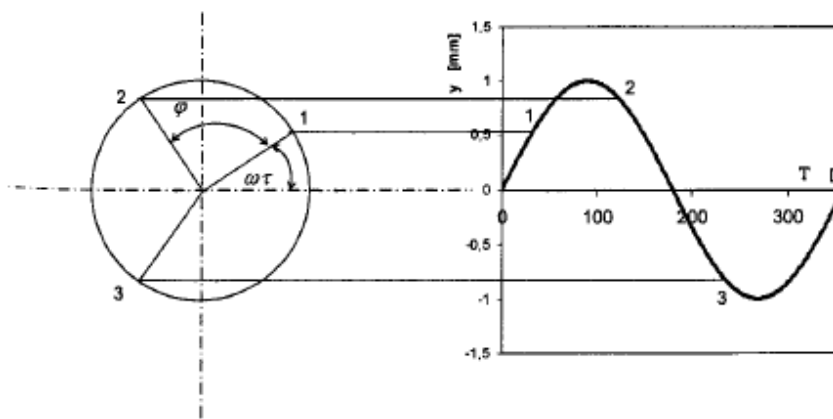
po vyjádření získáme okamžitou hodnotu výchylky neboli kmity bez tlumení. Časový průběh harmonického kmitání znázorňuje obrázek č. 4.

$$y = y_0 \sin(\omega_0 \tau + \varphi_0) \quad (5)$$

ω_0 [1/s] vlastní úhlový kmitočet,

φ_0 [-] fázový úhel,

y_0 [m] amplituda výchylky kmitání



Obrázek 4: Časový průběh harmonického kmitání [4]

Informace o úhlovém kmitočtu oscilátoru lze získat derivováním rovnice a zpětným dosazením do rovnice předchozí. Vnější síly způsobí kmitání lineárního oscilátoru. Vztah pro úhlový kmitočet

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (6)$$

Ze vztahu (10) je patrný význam jednotlivých veličin. Z časového průběhu harmonického kmitání lze vyčíst dobu kmitu T [s]. Počátek doby kmitu je v rovnovážné poloze přes obě krajní polohy zpět do rovnovážné polohy. Průmět průvodiče y_0 otáčejícího se konstantní

úhlovou rychlostí ω lze pro zápis a vyjádření problému zapsat pomocí teorie komplexních čísel. Tedy platí podle Eulerova

$$\cos\varphi + j\sin\varphi = e^{j\varphi} \quad (7)$$

Po dosažení $\varphi = (\omega\tau + \varphi_0)$ získáme okamžitou hodnotu vychýlení kmitání, kterou lze vyjádřit jako imaginární či reálnou část ze vzorce, který vyjadřuje vektor otáčející se s konstantní úhlovou rychlostí.

$$Y = y_0 e^{j(\omega\tau + \varphi_0)} \quad (8)$$

Y komplexní hodnota výchylky kmitání [4]

3.1.3. Kmitočet

Kmitočet f [Hz] neboli frekvence je počet kmitů hmotného bodu za sekundu. Hodnota frekvence lze získat ze vztahu

$$f = \frac{1}{T} \quad (9)$$

Po úpravě vzorce lze vypočítat úhlový kmitočet ω

$$\omega = 2\pi f \quad (10) [4]$$

3.2. Energie kmitajícího bodu

Energie kmitajícího bodu je složena z energie potenciální E_p a pohybové E_k . Zákon o zachování energie říká, že součet musí být konstantní

$$E_p + E_k = E = konst. \quad (11)$$

Kinetická energie se vypočítá

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (12)$$

v [m/s] rychlost kmitajícího bodu

Potenciální energii lze také vyjádřit výrazem ze vztahu 2.8

$$E_p = \int_0^u F \cdot du = \int_0^u m\omega^2 u \cdot du = \frac{1}{2}m\omega_0^2 \omega^2 \sin^2(\omega\tau + \varphi_0) \quad (13)$$

F [N] síla v pružině

u [m] okamžitá hodnota výchylky kmitání

ω_0 [m/s] možnost považovat za amplitudu rychlosti kmitání

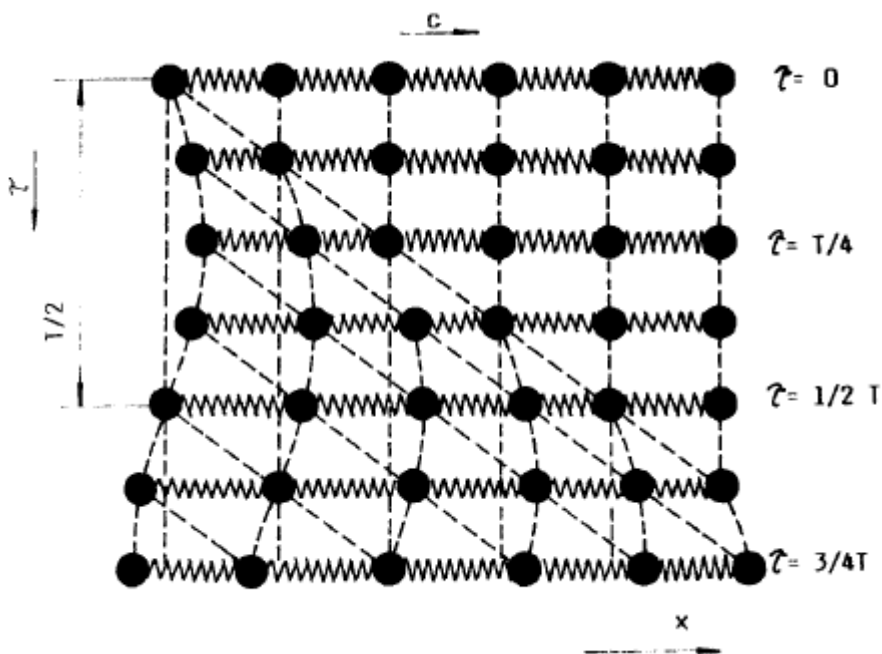
Celková energie kmitajícího vztahem

$$E = \frac{1}{2} m u_0^2 \omega^2 \quad (14)$$

Celková energii kmitajícího bodu s konstantní hmotností m při kmitu je závislá na kvadrátu součinu úhlové frekvence a amplitudy výchylky. [4]

3.2.1. Podélné vlnění v bodové řadě

Bodové vlnění je jednodušším případem vlnění, které se normálně šíří v trojrozměrném prostoru. Bodové vlnění se šíří po souřadné ose a tvoří bodovou řadu. Hmotné body plynného či kapalného prostředí ovlivňují mezimolekulární síly, v schématickém obrázku znázorněny jako pružiny. Při neutrálním stavu mají pružiny shodné předpětí všech bodů v ose x . Pokud se nějaký bod vychýlí z rovnovážné polohy, spustí se řetězová reakce, kdy bod po bodu s daným zpožděním rozhybe ten další. Velikost šíření akustického signálu s konečnou velikostí. Následný vývoj akustické vlny je znázorněn na obrázku č. 5, kde je zakreslen průběh výchylky vytvářejícího se podélného vlnění v bodové řadě. Tímto způsobem lze zakreslit i příčné vlnění, při kterém dochází k pohybu molekul kolmo na šíření signálu.



Obrázek 5: Vývoj akustické vlny v bodové řadě [4]

Okamžitý stav výchylky za určitý časový interval značí písmeno **T**, písmeno **c** značí konečnou rychlost molekul. Na neharmonické vlnění se aplikují Fourierové vzorce odvozené pro sinusové vlny. Pro hmotný bod, který přenáší akustický signál, se v technické akustice používá písmeno **u**.

$$u = \sin(\omega\tau + \varphi_0) \quad (15)$$

u [m] akustická výchylka

u_o [m] amplituda akustické výchylky

Akustická výchylka charakterizuje délku částice od její rovnovážné polohy ve vektorové veličině. Podobný případ lze použít pro popsání příčného vlnění v bodové řadě. Pro stanovení okamžité akustické výchylky se bere zřetel, že se rozruch šíří v bodové řadě rychlostí zvuku **c** [m/s], proto bude opožděn o čas $\Delta\tau$ v délce **x**.

$$\Delta\tau = \frac{x}{c} \quad (16)$$

Zápis vzorce pro výchylku kmitajícího bodu lze napsat

$$u = u_o \sin\omega\left(\tau \pm \frac{x}{c}\right) \quad (17)$$

Kladný směr šíření v ose **x** zastává ve vztahu záporné znaménko, kladné znaménko slouží pro opačný směr šíření. [4]

3.2.2. Vlnová délka

Důležitý akustický parametr umožňující modelování v akustice. V obrázku č. 4 nacházející se v kapitole 3.1.2 Lineární oscilátor, je zakótovaná vlnová délka **λ** [m], která je vzdáleností mezi sousedními body bodové řady se stejným akustickým stavem v daném okamžiku. Tuto vzdálenost urazí zvuková vlna po dobu jednoho kmitu **T**. Vztah mezi frekvencí, délkou vlny a šířením zvuku [4]

$$\lambda f = c \quad (18)$$

3.2.3. Akustická rychlost

Akustická rychlost **v** [m/s] popisuje rychlost akustické vlny s jednotlivými částicemi kmitajícími v prostředí. Ze vzorce (19) se po provedení parciální derivace podle času vyjádří akustická rychlost.

$$v = \frac{\partial u}{\partial \tau} = \omega \cdot u_o \cdot \cos\left[\omega\left(\tau \pm \frac{x}{c}\right)\right] \quad (19)$$

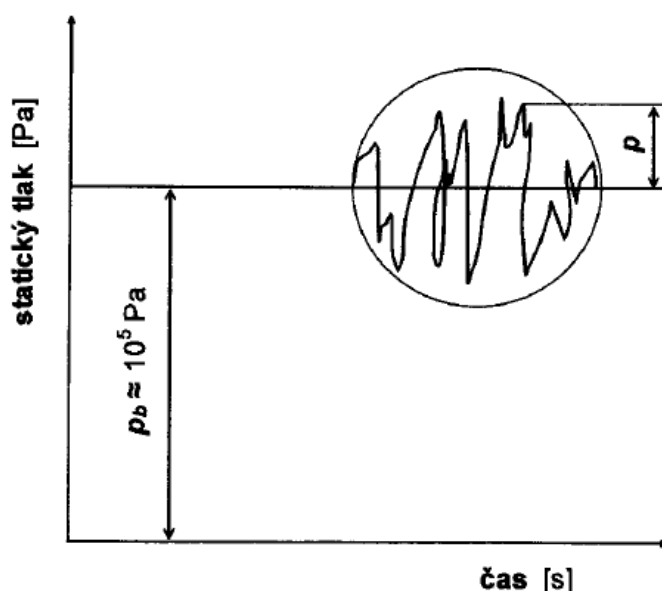
Akustická rychlost vyplyne ze součinu výchylky amplitudy a kruhové frekvence.

$$v_o = \omega \cdot u_o \quad (20)$$

Výchylka se od akustické rychlosti liší pootočením o $\pi/2$, což vyplývá z goniometrických funkcí sin a cos. Akustická rychlost je odlišná od rychlosti šíření zvuku, protože je o několik řád nižší, přesto je jednou z nejdůležitější akustických veličin. [4]

3.2.4. Akustický tlak

Změna tlaku vychází ze šíření vlnění v daném čase, kdy dochází ke shromažďování vyššího počtu kmitajících částic vyúsťující v přetlak nebo naopak při nižším shlukování částic dochází k podtlaku. Akustický tlak souvisí s barometrickým tlakem, kdy se součet tlaků nazývá celkový statistický tlak. Hodnota barometrického tlaku je 100 000 Pa, kdežto akustický tlak je nižší. Ucho běžného jedince vnímá přibližně od hodnot $2 \cdot 10^{-5}$ Pa. Na obrázku č. 6 je znázorněn součet akustické tlaku p a tlaku barometrického p_b .



Obrázek 6: Časový průběh celkového statického tlaku ve vzduchu [4]

Průběh akustického tlaku lze vyjádřit rovnicí ve tvaru

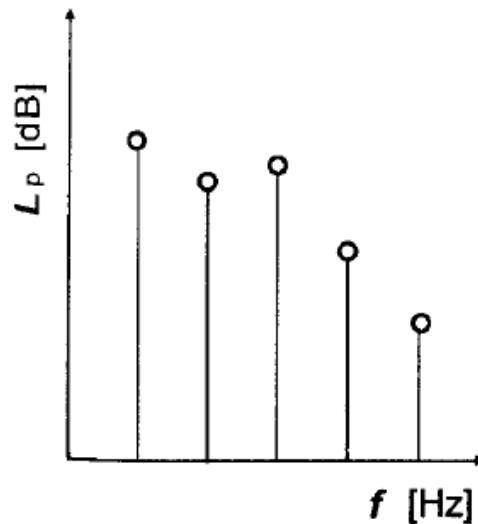
$$p = p_o \cos \left[\infty \omega \left(\tau \mp \frac{x}{c} \right) \right] \quad (21) [4]$$

3.2.5. Akustické spektrum

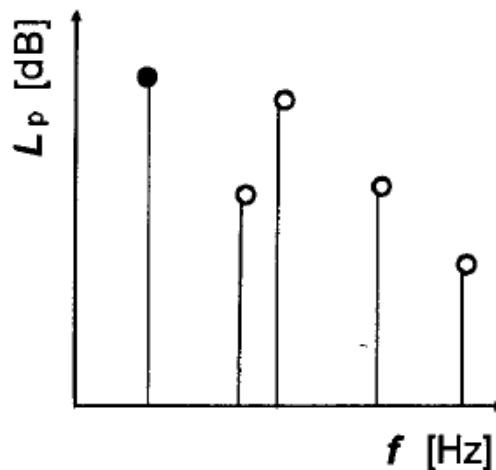
Z akustických veličin jako jsou akustický tlak, akustická rychlost, intenzita zvuku či akustický výkon spadající do hladin, je tvořeno akustické spektrum. Škála hodnot je tvořena hodnotami kmitočtu zmíněných veličin. Hluk nebo zvuk není tvořen signály o jediném kmitočtu nýbrž pestrou škálou signálů, proto se vytváří spektra čárová (diskrétní) nebo spojitá.

- **Čárové spektrum**

Slouží od jednoznačného popisu periodického signálu až po určení jednotlivých složek signálu. Člověk je převážnou většinu času vystavován harmonickým a neharmonickým signálům. Harmonický signál tvoří na frekvenční ose stejnoměrné rozložení jednotlivých složek, jak je zřejmé z obrázku č. 7. Neharmonické signály nemají ustálené frekvence ve stejných rozestupech. V praxi se lze setkat s neharmonickými signály u výfuku či sání pístových motorů a kompresorů. Průběh neharmonického signálu je zřejmý z obrázku č. 8.



Obrázek 7: Diskrétní spektrum periodického signálu [4]

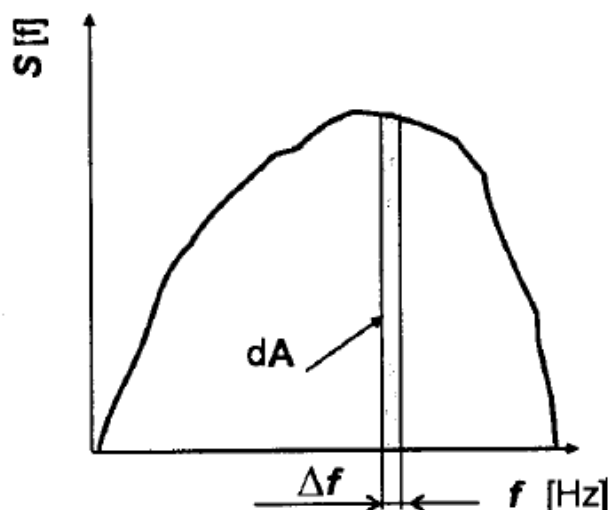


Obrázek 8: Diskrétní spektrum neperiodického signálu [4]

- **Spojité spektru**

Sledované spojité veličiny jsou rozloženy v celém kmitočtovém rozsahu. Do spojitého spektra lze zařadit i neperiodické děje. Frekvenční osa je spojitě zaplněna spektrálními čarami o nekonečné hustotě. Délku spektrální čáry nelze považovat za amplitudu z důvodu

nárůstu celkové energie nad maximální mez, proto máme pojem spektrální hustota. Hodnotu veličiny můžeme přirovnat k šířce 1 Hz frekvenčního pásma. Příklad spojitého spektra můžeme vidět na obrázku č. 26. Spojité spektrum se reálně vyskytuje u leteckých proudových letadel, ventilátoru a karoserií dopravní prostředků. [4]



Obrázek 9: Spektrum spojité [4]

3.2.6. Spektrální analýza

Spektrální analýza vyšetřuje tónové složení hluku či hudby díky Fourierovi transformaci. Analýza vychází z funkce $s(\tau)$, kde jsou integrovány harmonické členy $S(\omega)$.

$$s(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega \quad (22)$$

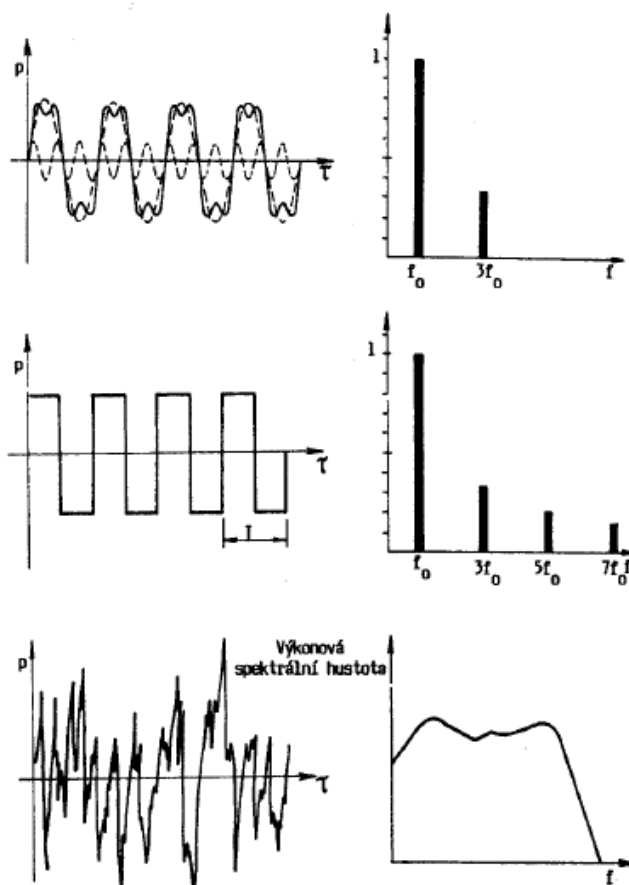
Harmonické vlny tvoří zvuk s časovou závislostí $e^{j\omega\tau}$ o amplitudě $S(\omega)d\omega/2$ v pásmu od ω do $\omega + d\omega$. V následující rovnici je každý harmonický člen integrál signálu $s(\tau)$

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau \quad (23)$$

Veličina S představuje spektrální rozklad veličiny s , která se nazývá spektrum funkce. U spojitých spekter si sice můžeme představit, že se spektrální čáry k sobě kupí v nekonečné hustotě a vytváří nám problém popsany v předešlé kapitole. Na obrázku č. 10 jsou uvedeny příklady různých akustických signálů. První část obrázku zobrazuje kombinaci dvou harmonických signálů. Druhá část je periodický obdélkový signál, který v provozu dopravního vozidla nalezneme jen těžko. Třetí část obsahuje nahodilý neperiodický signál, který má nejbližší k produkovanému hluku z vozidla. [4]

Časový průběh
akustického signálu

Kmitočtové spektrum



Obrázek 10: Zvukové signály a jejich spektra [4]

3.2.7. Hladina akustického tlaku

Lidské sluchové ústrojí je schopno zaznamenat bez poškození nejnižší zvukový signál odpovídající $20 \mu\text{Pa}$ což je $5 \cdot 10^9$ krát menší nežli barometrický tlak. Pro lepší rozlišení lidské ucho rozeznává tzv. barvu zvuku, což je schopnost rozeznávat zvuky různých kmitočtů. Pro lepší vyjádření akustického tlaku se používá hladina akustického tlaku, protože při použití jednotek Pascal by docházelo k častým chybám. Hladina akustického tlaku je vztahována k určitému pásmu kmitočtů či určitému kmitočtu, bez určení by tento údaj neměl věrohodnou váhu kvůli neurčité poloze signálu. [4]

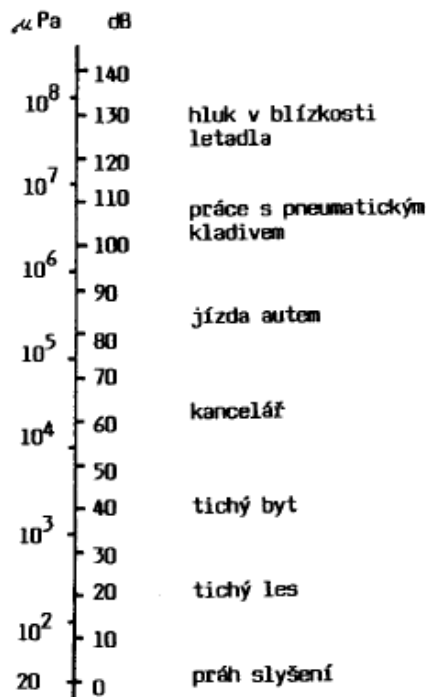
Hladina akustického tlaku L_p [dB]

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad (24)$$

p [Pa] sledovaný akustický tlak (efektivní hodnota)

p_0 [Pa] referenční akustický tlak

Počátek logaritmické stupnice je 0 dB, která odpovídá $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa. Zvýšení hladiny akustického tlaku o 20 dB odpovídá zdesateronásobení akustického tlaku. Obrázek č. 11 znázorňuje typické zdroje hluku s hodnotami v decibelech. Použití logaritmické stupnice lépe znázorní subjektivní sluchový vjem oproti lineární stupnici s jednotkami Pascal. [4]



Obrázek 11: Hladiny akustického tlaku v různém prostředí [4]

3.2.8. Hladina intenzity zvuku L_1 [dB]

$$L_i = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (25)$$

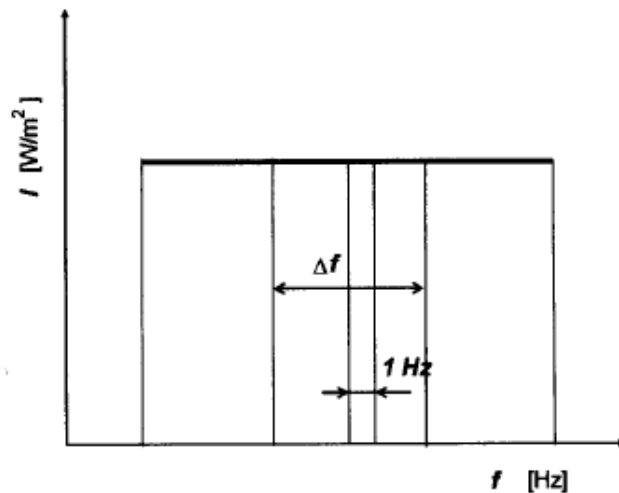
I_0 [W/m²] referenční hodnota intenzity zvuku

I [W/m²] intenzita zvuku sledovaného akustického signálu

Na obrázku č. 12 je znázorněn graf, na kterém je vynesena konstantní frekvence o šíři pásma 1 Hz pro určení energie z frekvenčního pásma Δf většího než 1 Hz. Ze zákona o zachování energie vyplývá, že v širším kmitočtovém pásmu musí být obsaženo vyššího množství akustické energie.

$$I = I_1 \Delta f \quad (26)$$

Kde I_1 [W/m²] je intenzita zvuku pro šíři pásma 1 Hz.



Obrázek 12: Spektrum intenzity zvuku pro $\Delta f = 1 \text{ Hz}$ [4]

Z obrázku č. 12 vyplývá, že spektra totožného zvuku, zakreslená do diagramu pro různou šíři pásma se budou lišit. Spektrum o šíři pásma $\Delta f = 10 \text{ Hz}$ bude vykazovat jeho desetinasobek. Po převedení na decibelovou stupnici bude hladina intenzity zvuku ve frekvenčním pásmu šířky 10 Hz o 10 dB vyšší než hladina intenzity zvuku pro jednotkovou šíři pásma.

$$L_i = L_{1k} + 10 \log \Delta f \quad (27)$$

Rozmezí mezi 1 Hz a 10 Hz je pro měřicí aparatury velice úzké pásmo, proto se používá v technické praxi oktávové a třetinooktávové frekvenční pásmo. [4]

3.2.9. Vzájemná souvislost decibelových veličin

Ze vztahu mezi intenzitou zvuku a akustickým tlakem, lze po úpravě vytvořit vztah, který má velmi důležitý význam pro měření hladiny akustického tlaku. Z měření lze poté vyčíst hladinu intenzity zvuku.

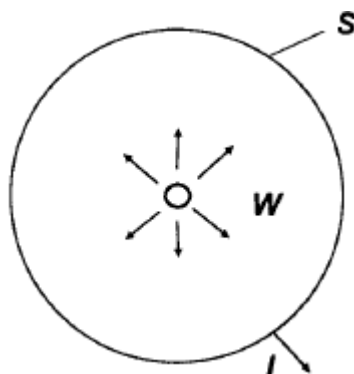
$$L_1 = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{\frac{p^2}{\rho c}}{\frac{p_0^2}{\rho_0 c_0}} = 20 \log \frac{p}{p_0} + 10 \log \frac{\rho_0 c_0}{\rho c} \quad (28)$$

Běžné klimatické podmínky změní poslední člen rovnice na hodnotu -0,2 dB, proto také zjednodušení vztahu na tvar.

$$L_{1l} = L_p - 0,2 \cong L_p \quad (29)$$

Hladina akustického výkonu L_w je také vyjadřována v decibelech, ale je nutné ji odlišit od ostatních hladin, především od hladin akustického tlaku a hladin intenzity zvuku. Hlavní rozdíl spočívá v tom, že akustický výkon je určen zářením určitého zdroje a je pouze

vlastností zdroje zvuku, naopak akustický tlak určuje děj v kontrolním místě. Na hodnotu akustického tlaku má velký vliv směr a vzdálenost od zdroje šíření. V cestě šíření nesmí být žádná překážka.



Obrázek 13: Zdroj zvuku vyzařující rovnoměrně do všech směrů [4]

Z obrázku č. 13 je patrné šíření energie do všech směrů rovnoměrně. Pokud zdroj akustické energie bude obklopena vytyčenou měřicí plochou S [m²], bude možné změřit intenzitu zvuku. Podmínka pro dobře provedené měření spočívá v projití veškerého akustického výkonu měřicí plochou.

$$L_w = \log \frac{w}{w_0} = 10 \log \frac{IS}{I_0 S_0}. \quad (30)$$

Rovnici můžeme poupravit, protože první část rovnice je hladina intenzity zvuku, která se nahradí hladinou akustického tlaku. Pro zjednodušení měření se zvolí referenční plocha $S_0 = 1 \text{ m}^2$, po úpravě bude tvar rovnice

$$L_w = L_p + 10 \log S \quad (31)$$

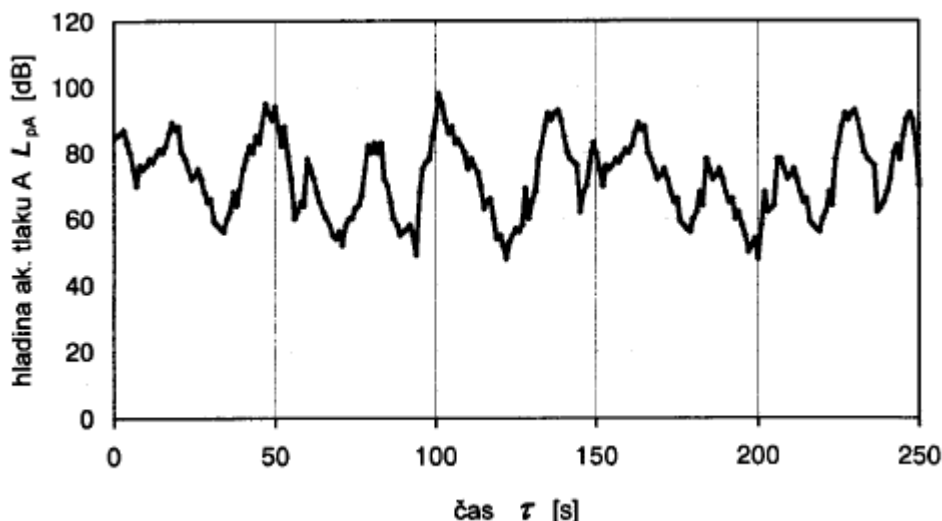
Velký vliv na šíření hladiny akustického tlaku a hladiny akustického výkonu má vzdálenost. Ve vzdálenosti 1 m od zdroje zvuku je rozdíl mezi hladinou akustického tlaku a akustického výkonu cca 10 dB. Zvýšením vzdálenosti od zdroje se rozdíl mezi veličinami zvětšuje. Pro příklad chladicí věži s výkonem 100 dB bude ve vzdálenosti 20m naměřena hladina akustického tlaku pouze 66 dB. [4]

3.2.10. Hodnocení proměnných hluků

Ekvivalentní hladina akustického tlaku **A**

Označení **A** vzniklo začátkem 90. let, poté bylo nahrazeno označením L_A v [dB(A)]. Písmeno **A** vychází z váhového filtru. V praxi se můžeme setkat se dvěma typy zvukového signálu s ustáleným a proměnným. Časově ustálený zvukový signál je nejjednodušší případ a může nastat pouze, pokud se v časovém intervalu nemění hladina akustického tlaku **A** o více než 5

dB. Hluk proměnný se naopak mění v čase o více než 5 dB, průběh proměnného signálu vidíme na obrázku č. 14. Hladina akustického signálu může vykazovat i proměnný přerušovaný hluk, který vzniká při provozu např. kompresoru. Při provozu vzniká proměnný i ustálený zvukový signál.



Obrázek 14: Typický časový průběh hladiny akustického tlaku v blízkosti komunikace [4]

Při velké kolísavosti hluku v čase je obtížné stanovit hodnotou hlukovou situaci hladinou akustického tlaku **A**, proto byla zavedena ekvivalentní hladina akustického tlaku **A** $L_{Aeq,T}$ [dB].

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{\tau_1 - \tau_2} \int_{\tau_1}^{\tau_2} \frac{p_A^2(\tau)}{p_0^2} d\tau \right] = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_0^T 10^{0,1L_{pA}} d\tau \right] \quad (32)$$

Jde o uměle vytvořenou hladinu akustického tlaku **A**, která působí v daném časovém úseku **T** stejně. Rovnice vychází z hypotézy, kdy celkový negativní účinek hluku je úměrný celkové imisi akustické energie za sledovaný čas **T**. Člen $p_A(\tau)$ je okamžitý akustický tlak **A** zvukového signálu. Pro praxi se vzorec upravil pomocí časového rozložení (histogramu) hladin akustického tlaku L_{pA} .

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{pAi}} \eta_i \quad (33)$$

η [-] relativní četnost výskytu hladiny akustického tlaku **A**

L_{pAi} [dB] střední hladina akustického tlaku **A** v *i*-tém intervalu

Pro určení rozložení hladin akustického tlaku **A**, se používá hladinový analyzátor, který je založen na principu rozdělení stupnic hladin jednotlivých tříd. Výstup analyzátoru je udáván v relativní či absolutní četnosti jednotlivých hladin akustického tlaku v daných třídách. Z údajů získaných z analyzátoru lze sestavit histogram. Ekvivalentní hladina akustického tlaku **A** byla vytvořena především pro hodnocení hluku letecké, silniční a železniční dopravy.

Postupem času se ekvivalentní hladina akustického tlaku **A** rozšířila do ostatních oblastí životního prostředí, přesto se pro maximální určení musí pracovat s rozptylem kontrolované veličiny. Histogram poskytuje maximální a minimální hladiny akustického tlaku **A**, průměrnou hodnotu, ale také je možno stanovit pravděpodobnost překračování předepsané hladiny zvuku. [4]

Hladina expozici zvuku je dána vztahem

$$L_{AE} = 10 \log \frac{1}{\tau_0} \int_{\tau_1}^{\tau_2} \frac{p_A^2(\tau)}{p_0^2} d\tau \quad (34)$$

Člen τ_0 [s] zastupuje referenční časový interval, $\tau_2 - \tau_1$ představují dlouhý časový interval, který se stanoví tak, aby obsáhl podstatný zvuk k posouzení hlukové situace [4]

3.2.11. Distribuční (procentní) hladina

Hodnocení hladiny akustického tlaku **A** uvedeme příkladu $L_{A1,1h}$, kde A1 popisuje překročení časového intervalu o 1% během jedné hodiny. Při tomto formátu zápisu pro daný časový interval nemohou být stanovené distribuční hladiny, jinak řečeno hladiny akustického tlaku, extrapolovány pro jiný časový interval. [4]

3.2.12. Hladina spektrální hustoty

Tento pojem je úzce spojen s měřením kmitočtových filtrů, protože kmitočtový filtr má danou šířku pásma propustnosti. Při zpracování dat se hladiny akustického tlaku musí přepočítat na úzké pásmo. Pro přepočet na střední pásmo se používá vzorec

$$L_{pt} = 10 \log \frac{(p^2/B)}{(p_0^2/B_0)} = L_p + 10 \log \left(\frac{B}{B_0} \right) \quad (35)$$

p	[Pa]	akustický tlak v pásmu
L_p	[dB]	hladina akustického tlaku v pásmu
B	[Hz]	efektivní šířka pásma filtru
B₀	[Hz]	referenční šířka pásma 1 Hz [4]

3.3. Veličiny a jednotky hluku

Přehled veličin a jednotek hluku je shromážděn v tabulce č. 1.

Tabulka 1: Veličiny a jednotky hluku [4]

Název označení	Jednotka označení
Hladina zvuku [L_a, L_b, L_c]	Decibel [dB]
Hladina akustického tlaku [L]	Son [son]
Hlasitost [N]	Pascal [Pa]
Akustický tlak [P]	Joule [J]
Akustický výkon [P (W)]	Watt [W]
[J (I)]	Watt na metr čtvereční [$w \cdot m^{-2}$]

- Hladina akustické tlaku, která slouží k hodnocení hluku:

$$L = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad [\text{dB}] \quad (36)$$

p - $20 \cdot 10^{-6}$ [Pa]

p_0 - akustický tlak

- Hladina akustického výkonu L_p :

$$L_p = 10 \log \frac{P}{P_0} \quad [\text{dB (P)}] \quad (37)$$

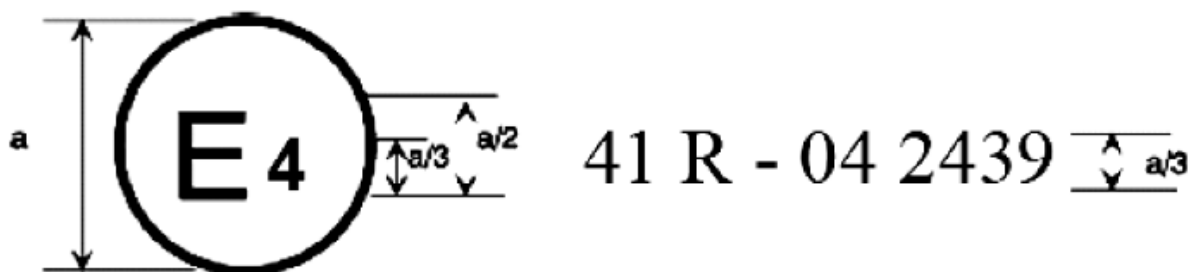
P - akustický výkon [W]

P_0 - referenční akustický výkon 10^{-12} wattů [W] [1]

3.4. Legislativa související s hlukem

- Předpisy EHK/OSN č.:
 - 41 – Vnější hluk vozidel kategorie L
 - 51 – Hladiny hluku vozidel s min. 4 koly
 - 63 – Vnější hluk mopedu
 - (59 a 92 – Náhradní výfukové systémy)

Všechna vozidla musí před zahájení výroby projít hlukovou zkouškou, podle předpisů EHK. Podnět k měření emisí hluku dává výrobce vozidla nebo jím pověřená firma. Výrobce vozidla musí uvést veškeré technické informace o vozidle, například typ motoru, pohotovostní hmotnost, parametry výfukové soustavy, palivo a další. V případě nedodržení emisních limitů stanovených předpisem EHK/OSN, nevydává příslušný orgán povolení pro provoz na pozemních komunikacích. Při splnění emisních limitů, získá vozidlo označení, které je vyobrazeno na obrázku č. 15. Označení je pro všechny evropské země stejné, liší se pouze číselným označením dané země. Číslo 41 označuje předpis EHK č. 41, velké písmeno R vyjadřuje danou zemi, v tomto příkladu bylo uvedeno Nizozemsko. První dvě číslice ze zbylých čísel označují, že schválení bylo provedeno podle EHK č. 41 ve znění série změn 04. Hodnota vzdálenosti „a“ je minimálně 8 mm. [1,6,7]



Obrázek 15: Značka schválení EHK/OSN č. 41 [7]

- **Směrnice EHS/ES č.:**
 - 1970/157; 2007/46; 81/334; 84/372; 84/424; 92/97; 96/20; 1999/101 – hladiny hluku a náhradní výfukové systémy vozidel kategorie M a N,
 - 97/24 (9) – Vnější hluk a výfukové systémy vozidel kategorie L (mimo elektromobily) [1]
- **Normy:**
 - ISO 362:2010 – Měření hluku vyzařovaného jedoucimi silničními vozidly
 - ISO 5128:1980 – Měření vnitřního hluku motorových vozidel
 - ISO 5130:2007 – Měření hluku stojícího vozidla
 - ISO 10844:2015 – Technické požadavky na testovací dráhy při měření hluku emitovaného silničními vozidly [1]

3.5. Zařízení pro měření hluku

○ Zkušební místo

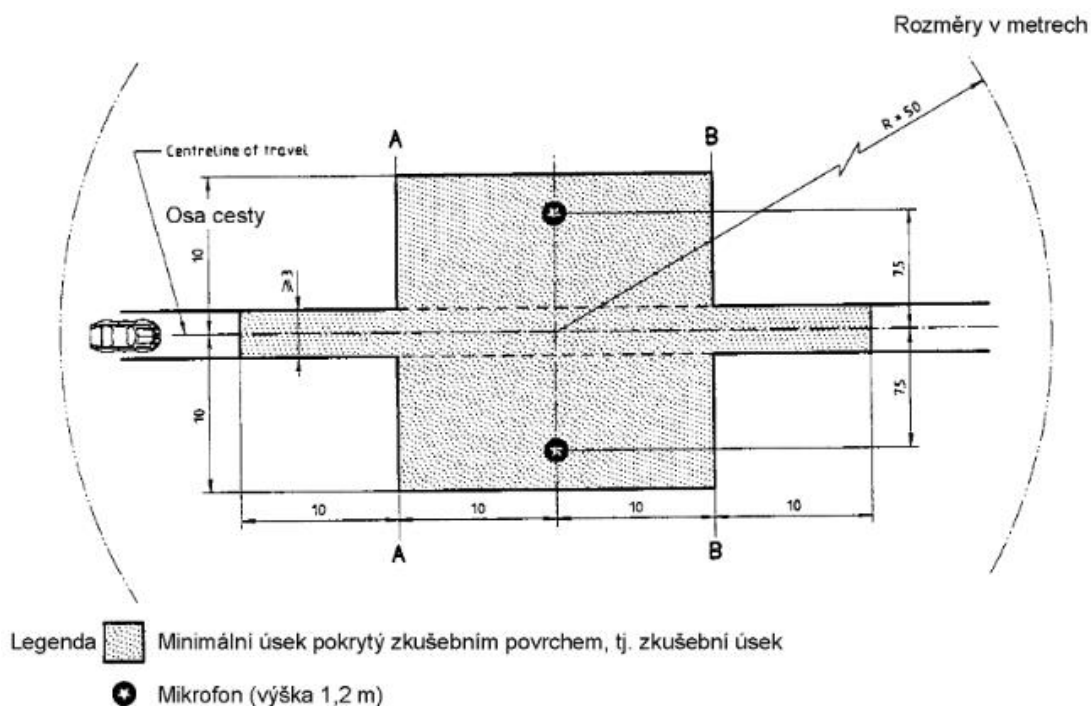
Měření hluku může být ovlivněno prostředím, proto je definován jeho geometrický tvar, okolí či fyzikální vlastnosti.

- Geometrické tvary

Plocha určena pro měření musí splňovat určité parametry. Na ploše se nesmí objevit překážka, která by ovlivňovala zvukové pole. Vozidlo se pohybuje na rovné a suché dráze.

- Okolí

Při měření nesmí být do 50m od vozovky žádný objekt, který by odrazil zvukovou vlnu. Objektem je myšlen dům, vyvýšenina, strom či plot. Při měření se měřící technik zaručí, že se mezi zkoušený automobil a mikrofon nedostane žádná překážka. Schéma měřící dráhy je přibliženo na obrázku č. 16. Měření probíhá pouze za příznivých povětrnostní podmínek, rychlost větru ve výšce mikrofonu nesmí překročit hranici 5 m/s. Každou jízdu se musí provést měření rychlosti větru. Měření nesmí být ovlivněno poryvy větru. Okolní teplota nesmí přesáhnout 40 °C a klesnout pod 0 °C. Při měření se zaznamenává rychlost a směr větru, relativní vlhkost, teplota a barometrický tlak.



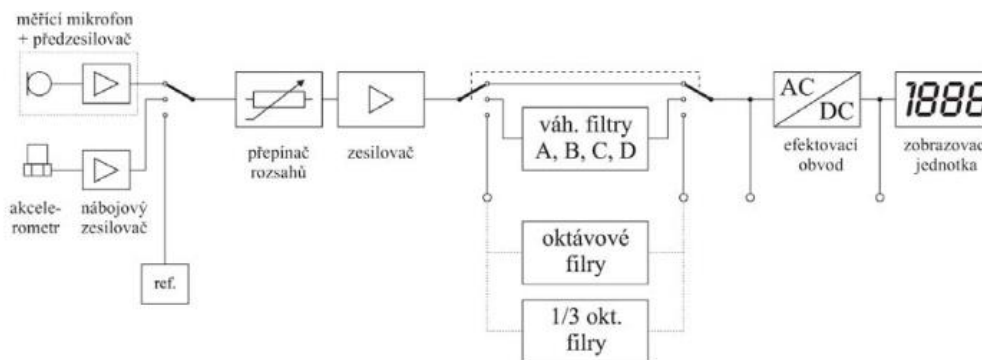
Obrázek 16: Zkušební dráha pro měření hluku [6]

- Fyzikální vlastnosti povrchu

Maximální reziduální pórovitost struktury na zkušebním okruhu je 8%. Při překročení pórovitosti je nutné sledovat koeficient absorpce zvuku. Za vyhovující je považován povrch s koeficientem absorpce $\alpha \leq 0,1$. $TD \geq 0,4$ mm je minimální potřebná hodnota hloubky struktury, měřené objemovou metodou. Vhodný povrch je považován za vhodný, pouze pokud byl vytvořen podle předpisu EHK č. 51 či ISO 10844.1994. [1]

- **Zvukoměr**

Blokové schéma zvukoměru je vyobrazené na obrázku č. 17. Zvukoměr pro měření emise hluku používá váhový filtr „A“, který se vyznačuje rychlou odezvou. Při každém měření je zvukoměr kalibrován. Kalibrace se provádí před i po měření a odchylka nesmí být větší než 1dB. [1,26]



Obrázek 17: Blokové schéma zvukoměru [26]

- **Rychloměr a otáčkoměr**

Pro měření nejsou vyžadovány žádné speciální rychloměry ani otáčkoměry. Vyžadována je přesnost s největší povolenou odchylkou $\pm 2\%$ rychlosti a otáček. Pro měření postačí ve většině případů přístroje zabudované v palubní desce vozidla. [1]

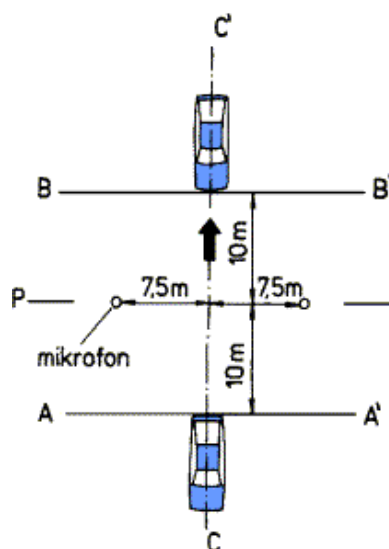
3.6. Metody měření hluku

Vozidlo musí být uvedeno do běžných provozních podmínek. Kontrola se týká teploty motoru, seřízení, zapalovacích svíček a karburátoru. Pneumatiky určené výrobcem vozidla, jsou nahuštěny na předepsaný tlak, dezén pneumatik nesmí být nižší, než stanovuje vyhláška čili 1,6 mm. [1,6,7]

3.6.1. Vnější hluk vozidla

- **Vnější hluk jedoucích vozidel**

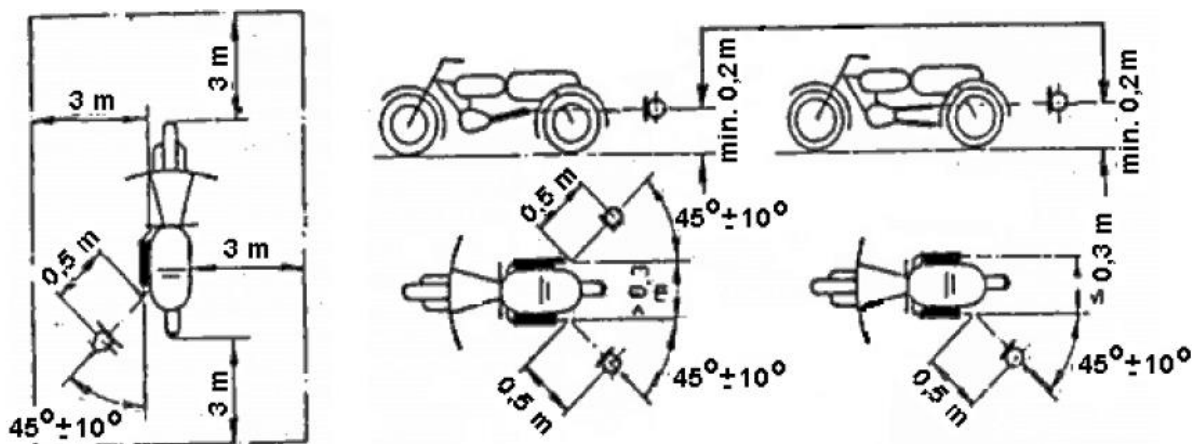
Schéma měření je vyobrazené na obrázku č. 18. Vozidlo se rozjede na stanovenou rychlost se zařazeným rychlostním stupněm, které předepisuje předpisem EHK. Jakmile vozidlo protne čáru AA' akceleruje na vyznačené dráze, která je ukončena čárou BB'. Délka úseku mezi čarami je dlouhá 20 m. Při průjezdu mezi čarami se vozidlo drží referenční čáry CC', kvůli dodržení dané vzdálenosti mezi mikrofony. Mikrofon je umístěn $7,5 \pm 0,2$ m od referenční čáry, ve výšce $1,2 \pm 0,1$ m. Po celou dobu pohybu vozidla po vyznačené dráze je měřen hluk. Pro další zpracování se pouze zaznamená nejvyšší hladina hluku v [dB(A)]. Měření je prováděno dvakrát z každé strany. [1,6]



Obrázek 18: Schéma měření vnější hluku jedoucího vozidla [6]

o **Vnější hluk stojících vozidel**

Při měření stojícího vozidla se zvukoměr umístí 0,5 m od ústí výfuku vozidla ve výšce 0,2 m. Maximální citlivost výfuku se nachází na ose rovnoběžné s výfukovým systémem. Výjimku tvoří vertikální výfuk, který svírá úhel se svislou osou $45^\circ \pm 10^\circ$. Při měření více výfuků se každý výfuk měří zvlášť. Rozteč výfuků musí být větší než 0,3 m. Při měření je vozidlo v klidu při zapnutém zahřátém motoru na provozní teplotu, bez zařazeného rychlostního stupně. Motor se vytočí na předepsané otáčky. Hodnota otáček motoru se liší podle typu vozidla. Po dosažení hodnoty se otáčky stabilizují na konstantní hodnotu. Po dosažení otáček se začne zaznamenávat hladina hluku, poté se uvolní akcelerační pedál a nechají spadnout otáčky motoru. Hladina hluku se měří do spadnutí otáček na volnoběh. Měření je platné pokud se neliší hodnoty třech naměřených hodnot o více než 2 [dB]. Posuzovaná hodnota je nejvyšší naměřený hluk. Princip měření pro kategorii L je patrné na obrázku č. 19 [1,6,7].

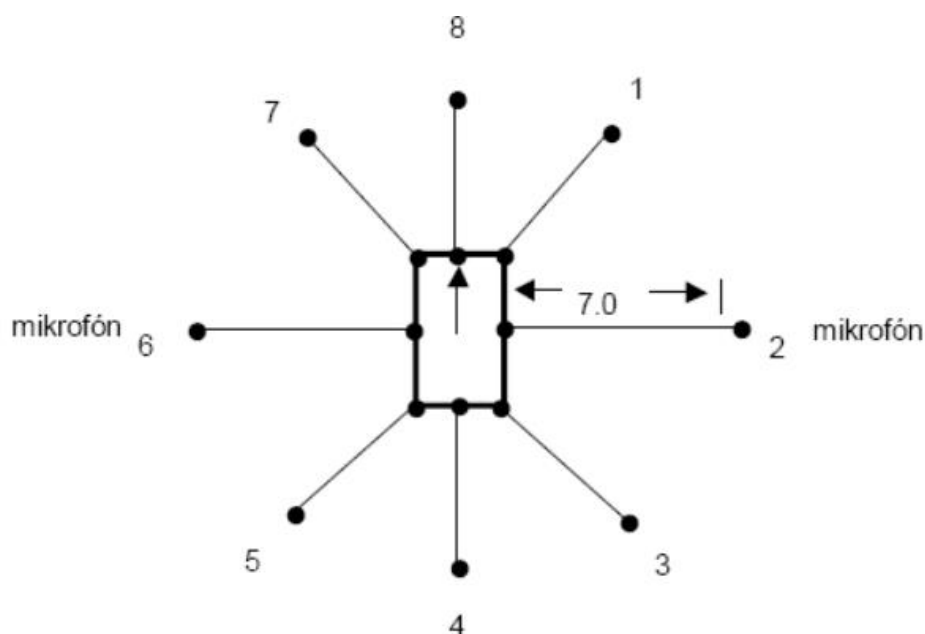


Obrázek 19: Schéma měření stojícího vozidla - motocykl [7]

- **Vnější hluk stlačeného vzduchu**

Zkouška určena především pro vozidla s brzdovým systémem na bázi stlačeného vzduchu. Umístění mikrofónů dáno přesnými rozměry, okolo vozidla ve vzdálenosti 7 m a výšce nad vozovkou 1,2 m. Přesné rozmístění nalezneme na obrázku č. 21.

Měření je prováděno na stojícím vozidle při volnoběžných otáčkách. Brzdová soustava je natlakovaná do nejvyšší provozní hladiny. Nejvyšší hluk tvoří otevřený tlakový regulátor. Regulátor se otevře při stlačení brzdového pedálu či zajištění parkovací brzdy. Zaznamenáváme dva pokusy ve všech polohách mikrofónů, počítá se nejvyšší naměřená hodnota, od které se odečte 1 dB. [1,6]



Obrázek 20: Schéma měření stlačeného vzduchu [6]

3.6.2. Hluk uvnitř vozidla

Do vozidla je instalovány mikrofony podle normy ISO 5128, která platí pro vozidla se sedadly. Vozidla, kde se osoby přepravují ve stoje se umístí mikrofón ve výšce $1,6 \pm 0,1$ m nad podlahou. Vozy s lůžkovou úpravou mají umístěn mikrofón ve výšce $0,15 \pm 0,02$ m nad lůžkem. V okolí 0,15 m od mikrofónu se nesmí nacházet žádná pevná část či čalounění.

- **Při konstantní rychlosti**

Hluk se měří v pěti rychlostních stupních od 60 do 120 km/h. Vozidla, která nedosáhnou rychlosti 60 km/h, první měření provedou v 40% maximální rychlosti a poslední měření v 80% maximální rychlosti, pokud vozidlo není schopno dosáhnout rychlosti 120 km/h. Hluk je měřen po dobu pěti sekund na rovném úseku při konstantní rychlosti. Po změření prvního úseku zrychlí vůz akcelerací cca $0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Po dosažení požadované konstantní rychlosti se znovu měří 5 s, přičemž při zrychlování může být měření přerušeno či nemusí. Takto se měření pětikrát opakuje.

- **Při plném zrychlení vozidla**

Na rovném úseku se vozidlo rozpohybuje do 45% své maximální rychlosti, při odpovídajícím zařazeném rychlostním stupni. Z této rychlosti prudce vozidlo akceleruje na rychlost odpovídající 90% své maximální rychlosti. Rychlost nesmí překročit rychlost 120 km/h, pro vozidla s vyšší maximální rychlostí.

- **Při stojícím vozidle**

Měření probíhá od volnoběžných do maximálních otáček motoru při zařazeném rychlostním převodovém stupni neutrál. Měření probíhá 5 s. [1,6]

3.7. Kritéria hodnocení hluku

Limity pro vnější hluk jedoucích vozidel předepsané předpisem nalezneme v tabulce č. 2.

Limitní hodnoty se vztahují pouze k nově vyrobeným vozidlům. [1,6,7]

Tabulka 2: Hlukové limity vozidla [1,6,7]

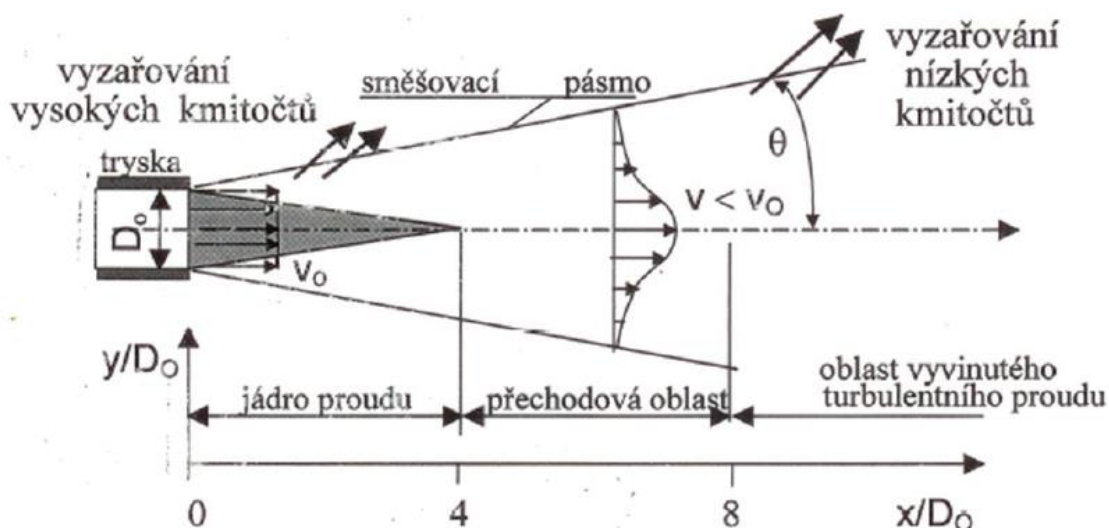
Druh vozidla	Limit[dB(A)]
Mopedy do max. rychlosti 25 km.h ⁻¹	66
Mopedy s rychlostí přes 25 km.h ⁻¹	71
Motocykly do objemu motoru 80 ccm	75
Motocykly do objemu motoru 80 - 175 ccm	77
Motocykly (kat. L) s objemem motoru > 175 ccm	80
Osobní automobily	74
<u>Autobusy a užitková vozidla</u>	
s hmotností do 2 tun	76
S hmotností 2 – 3,5 tuny	77
<u>Užitková vozidla přes 3,5 tuny</u>	
S výkonem do 75 kw	77
S výkonem 75 – 150 kw	78
S výkonem přes 150 kw	80
<u>Pozn.:</u> Limitní hodnoty jsou zvýšeny o 1 až 2 dB (A) pro různá technická řešení, jako je přímý vstřík, provoz mimo vozovku nebo určitá výkonová hmotnost.	
Hluk stlačeného vzduchu	72

3.8. Zdroje hlukové emise

Emise hluku mají tři příčiny vzniku.

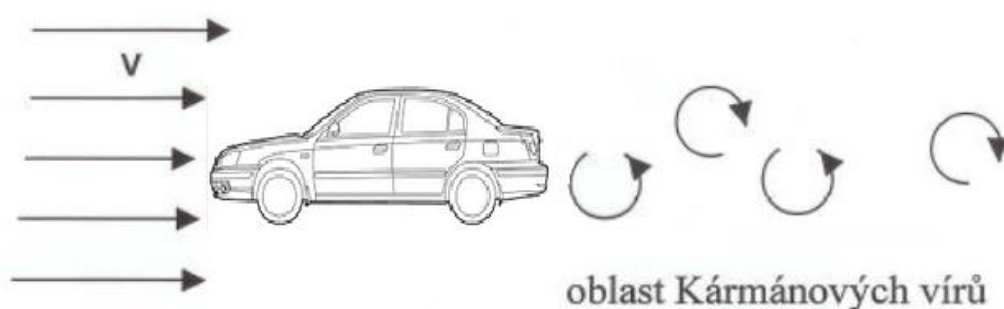
- **Aerodynamický hluk**

Velký vliv na velikost vyzařovaného hluku má obtékající proud vzduchu okolo tělesa automobilu nebo prudký pokles tlaku vzduchu při proudění.



Obrázek 21: Hluk při výtoku tlakového vzduchu z trysky [3]

Hluk se vytváří při proudění spalin z výfukového systému. Princip proudění plynu z výfuku vysvětluje obrázek č. 21.



Obrázek 22: Hluk při obtékání těles- nestabilní proudění za automobilem - vznik vírů [3 s úpravou autora]

Vzduch proudící okolo karoserie vytváří za vozidlem víry vzduchu, které produkují emise hluku. Schéma tvorby víru zobrazuje obrázek č. 22.

- **Hluk motoru a převodové skříně**

Hlukové emise v agregátu vozidla vytváří mechanické tření pohyblivých součástí a chemický proces při spalování. Hluk vzniká otíráním dvou pevných součástí motoru,

například při pohybu ozubených kol v převodové skříní, rotaci klikové hřídele při zdvihání ventilu v hlavě motoru.

○ **Hluk při valení pneumatik**

Při jízdě dochází k deformaci pneumatiky o zpevněnou vozovku. Deformace pneumatiky vytváří odpor proti valení. Velikost valivého odporu je závislá na šířce pneumatiky, tlaku pneumatiky, rychlosti vozidla či součiniteli valivého odporu. [2,3,12,13]

Tabulka 3: Součinitelé valivého odporu [13]

Povrch	f_K	Povrch	f_K
Asfalt	0,01 – 0,02	Travnatý terén	0,081 – 0,15
Beton	0,015 – 0,025	Hluboký písek	0,15 – 0,30
Dlažba	0,02 – 0,03	Čerstvý sníh	0,20 – 0,30
Polní cesta – suchá	0,04 – 0,15	Bahnitá půda	0,20 – 0,40
Polní cesta – mokrá	0,08 – 0,20	Náledí	0,01 – 0,025

4. Metody eliminace hluku automobilu a motocyklu

Hluk je nežádoucí aspekt při provozu vozidla. Najdeme i hluk, který lze tolerovat. Myšlen je hluk ze sportovně založeného vozidla, kde při vývoji je vyladěn výfuk a pohonná jednotka na tzv. burácející zvuk. U elektromobilu jsou přidávány zvuky napodobující hluk motoru pro zpříjemnění jízdy. Tyto výrobky musí splňovat předepsané hlukové směrnice, při nedodržení hrozí poškození zdraví. S vývojem automobilů se zvyšují požadavky pro vyšší komfort při provozu či zlepšení životního standartu, čímž je myšleno bydlení nebo trávení volného času v blízkosti pozemní komunikace. [2,3]

4.1. Pasivní eliminace

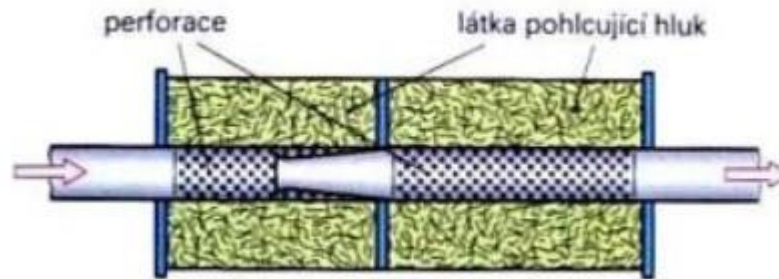
Pasivní eliminace hluku je rozdělena do pěti částí:

- **Metoda redukce hluku ve zdroji**

Principem této metody je nalezení zdroje zvuku a posléze odstranění nebo co nejnižší snížení hlučnosti. Jedná se o metodu s nejvyšší účinností eliminace hluku, protože se hluk eliminuje již při vývoji a nejsou třeba dodatečná opatření. Metoda redukce hluku ve zdroji je hojně používána při vývoji strojů, technologických a dopravních zařízení, dopravních prostředků atd. Například u motorových vozidel a motocyklů se metoda uplatnila při úpravě sání a výfuků spalovacích motorů. Vývoj bohužel nedovoluje vytvořit stroj zcela bezhlučný. Některé případy dokonce vyžadují vyzařování zvuku, což je indicie pro stav stroje nebo upozornění na jeho existenci. Příkladem může být pohyb elektromobilu ve městě, kdy může dojít k jeho přehlednutí chodci či dalšími účastníky provozu.

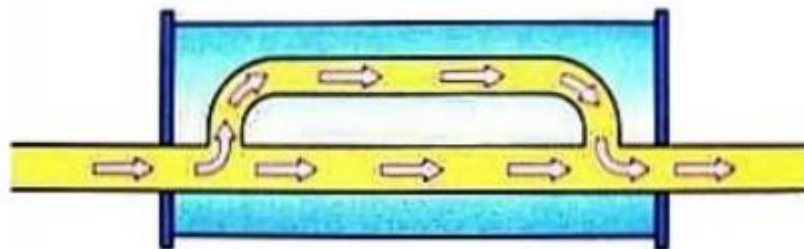
- Eliminace hluku z výfukového potrubí

Řez absorpčním tlumičem popisuje obrázek č. 23. Obal tvoří plech, vnitřní prostor je rozdělen na dvě nebo více komor, kterým prochází výfukové potrubí s perforováním uvnitř tlumiče. Výplň tlumiče je tvořena minerální vatou nebo skelnými vlákny. Tlumič je uzpůsoben pro hluky s vyšší frekvencí.



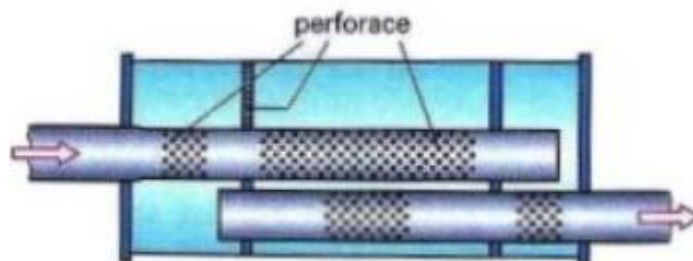
Obrázek 23: Absorpční tlumič [2]

Dalšími variantami eliminace hluku ve výfukovém potrubí jsou rezonanční (interferenční) eliminační tlumič a reflexní tlumič. Princip proudění spalin v rezonančním eliminačním tlumiči je vyobrazen na obrázku č. 24. Proud spalin je rozdělován do dvou nebo více proudů, čímž se prodlužují či zkracují dráhy spalin. Na konci tlumiče se spaliny opět spojí v jeden proud, při proudění se zvukové vlny částečně ruší. Resonanční tlumič je schopen vyrušit silný hluk s určitými frekvencemi.



Obrázek 24: Rezonanční (interferenční) eliminační tlumič [2]

Reflexní tlumič funguje na podobném principu jako tlumič absorpční, ale tlumič není vyplněn minerální vatou a potrubní neprochází tlumičem v celém kuse, nýbrž je rozdělen na dvě části, které se částečně překrývají, jak je patrné z obrázku č. 25. Perforovaná úprava pomáhá průniku spalin do komor, kde je zvuk tlumen. Tlumič lze použít pro tlumení nižších a středních frekvencí.



Obrázek 25: Reflexní tlumič [2]

Výše zmíněné tlumiče lze kombinovat pro lepší eliminaci hluků rozdílných frekvencí. Tlumiče mohou tvořit jeden celek, jak vyobrazeno na obr. č. 26, nebo mohou být zapojeny v sériovém uspořádání každý zvlášť.



Obrázek 26: Kombinovaný tlumič [2]

Hluk vzniklý nasávaným zvukem je utlumován vzduchovým filtrem, který plní nejen funkci čištění nasávaného vzduchu, ale také pohlcuje nežádoucí hluk.

○ Eliminace hluku z pohybového mechanismu

Hluk z motoru, převodové či rozvodové skříně vytváří vůle v pohybovém mechanismu, proto je nutné vůle v motoru snížit na co nejmenší možný rozměr. Při vytváření vůlí musíme brát ohled na životnost dílů motoru. Je nutné dodržovat kompromis mezi životností a užitnými vlastnostmi.

Spalovací motor by nemohl fungovat bez chlazení a mazání, proto obsahuje provozní kapaliny, jako je motorový olej a chladicí kapalina. Motorový olej plní při oběhu mazací soustavou tlumící efekt vibrací a hluku. Při testu dieselových motorů jsem použil dva různé motorové oleje s rozdílnou viskozitou. Jak je patrné z tabulky č. 4, při použití dvou totožných vozidel se stejným agregátem, pneumatikami a palivem, se hluk velmi lišil. Test probíhal za běžných venkovních podmínek. Použitý automobil byl Volkswagen Sharan s dieslovým motorem.

Tabulka 4: Rozdíl hlukových emisí při použití rozdílných olejů [24]

Označení oleje	505.01 5W40	506.01 0W30
Teplota oleje [°C]	110	110
80 km/h [dB]	65,2	62,9
100 km/h [dB]	67,8	65,4
130 km/h [dB]	71,7	68,6
Volnoběžné otáčky motoru [dB]	43,3	44,3
Maximální rychlost vozidla [dB]	80,6	78,1

○ Použití pneumatiku s nižšími hlukovými emisemi

V roce 2013 uvedla na trh firma Pirelli pneumatiky s technologií *Pirelli Noise Cancelling Systém* pro snížení hlukových emisí. Do pneumatiky byla vložena pod běhoun izolační pěna z polyuretanu. Izolace pohlcuje hluk z vibrací konstrukce pneumatiky za jízdy. Schéma pneumatiky s izolační vrstvou můžeme vidět na obrázku č. 25. Výrobce uvádí snížení hluku o 2 až 3 decibely. Z důvodu nákladnosti výroby se pneumatiky prozatím využívají u prémiové značky Audi ve vozech vyšší třídy. Ostatní výrobci se snaží snížit hlučnost pneumatik vývojem směsi či úpravou vzorku pneumatiky.



Obrázek 27: Řez pneumatikou s izolační vrstvou [7]

○ **Metoda dispozice**

Metoda je založena na separaci hlučných prostor od méně hlučných. Využívá se při projektování průmyslových zón, dopravních komunikací, letišť a územních plánování. Ve vozidle se jedná o umístění motoru a převodové skříně vůči posádce. Separací se docílí utlumení hluku z motorového prostoru.

○ **Metoda izolace**

Hlučný stroj odizolujeme speciálními přípravky pro izolaci, jako jsou kryty, zákryty, izolační pěny atd. Zredukuje se či zcela omezí zdroj hluku.

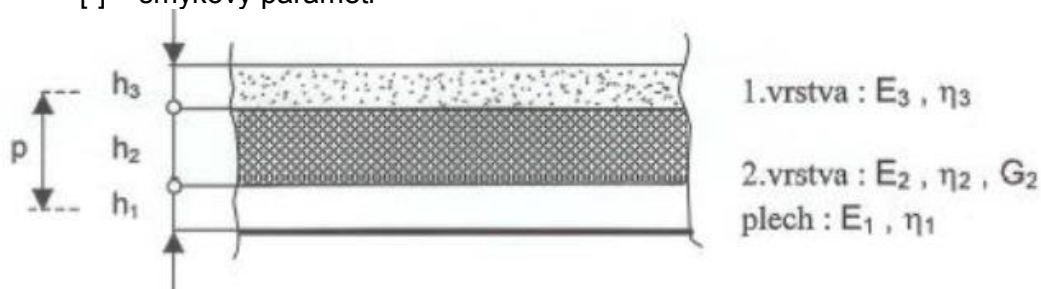
Antivibrační nátěry:

Běžné konstrukční materiály používané při výrobě vozidla mají většinou nízké hodnoty materiálového tlumení. Pro zvýšení útlumu chvění a vibrací se používají materiály s vyšším tlumením. Tyto materiály se aplikují na běžné konstrukční materiály a tím vzniknou tzv. vrstvené materiály. Často se aplikují antivibrační nátěry. Skládají se z různých umělých hmot. U automobilu se využívají na odhlučnění podběhu vozidla, kde snižují hluk od pneumatik či odletu pevných částic z vozovky. Nejvyšší účinnost antivibračních nátěrů se pohybuje do 200 Hz. Velmi hustá konzistence po nátěru ztuhne a vytvoří ochranu karoserie před korozi.

Z obrázku č. 28 je vidět složení dvouvrstvého antivibračního nátěru na rovinnou desku. Nátěr se může natřít po obou stranách plochy pro zvýšení účinnosti. Výsledný činitel vnitřního tlumení určíme ze vzorce

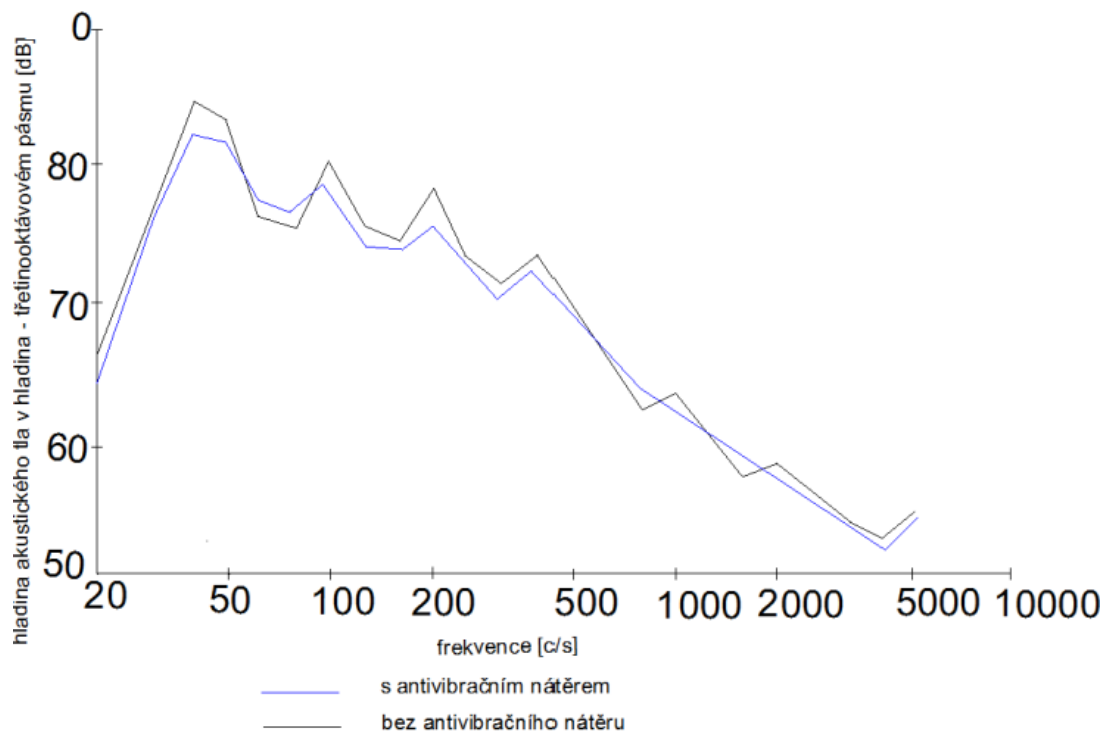
$$\eta = \eta_2 \frac{E_3 h_3}{B_1} p^2 \frac{e}{1+e^2} \quad (37)$$

kde B_1 [N.m] – ohybová tuhost základní desky
 p [m] – vzdálenost neutrálních rovin 1. a 3. vrstvy
 e [-] – smykový parametr



Obrázek 28: Řez materiál s nanesenou vibroizolací [3]

V minulém století v 60. letech byl použit antivibrační nátěr na střechu osobního automobilu. Z obrázku č. 29. vyplývá zřetelné snížení hluku.



Obrázek 29: Využití antivibračního nátěru v praxi [5]

Vibroizolace:

Hnací agregát vozidla způsobuje nežádoucí vibrace. Pro eliminaci či výraznou redukci využíváme pružné uložení neboli vibroizolaci, která se umístí mezi agregát a rám vozidla. Aktivní vibroizolace je především umístěna v místech, kde vznikají nejvyšší vibrace, jako jsou například motor, převodová skříň nebo výfuk. Pasivní izolace slouží k ochraně citlivých součástí vozidla. Pružné uložení zamezuje přenášení sil z jedné platformy na druhou.

Zásady aktivní izolace kmitů:

- Maximální snížení budící síly
- Eliminace rezonančních jevů při návrhu
- Izolace spojů mezi izolovanou součástí a ostatními částmi (výfukový systémem a podobně)
- Vytvářet nízkofrekvenční soustavu kvůli budícím frekvencím

○ **Silentblok**

Silentblock pochází z anglického spojení Silent, čili „ticho“, a block znamená v překladu zajistit. Využívá se při konstrukci motocyklů, automobilů, letadel, obráběcích strojů apod. Hlavní využití je uložení hnacího agregátu či náprav ke karoserii vozidla. Silentblock je bezúdržbový prvek s vysokým namáháním. Při provozu vozidla, motor

vytváří odlišné vibrace vůči podvozku. Vzniká interference, působení dvou a více odlišných vibrací na silentblock. Uložení motoru nepřenáší pouze vibrace, ale také síly vzniklé z kroutícího momentu motoru, proto se dnes u uložení motoru vkládají silentblocky s hydraulickým tlumením. Princip hydraulického tlumení je založen na membráně s měchem ovládaným elektromagnetickým ventilem. Při volnoběžných otáčkách eliminuje vibrace pouze membrána, která je deformována, a přebytečný vzduch uniká otevřeným elektromagnetickým ventilem. Při zatížení motoru se deformuje pryžový měch, na který působí tlak kapaliny přes škrťací trysku ve spojovacím kanálu. Při zatížení je elektromagnetický ventil uzavřen. Silentblock je vyráběn z přírodních kaučuků či polyuretanu. Tvrdost pryžových směsí je 50 až 80 shore. Nevýhoda přírodních kaučuků je v životnosti. Při dlouhodobém namáhání ztrácí své vlastnosti, měkne a nedokáže eliminovat vibrace a přenášet síly. Polyuretanové silentblocky se využívají pro jejich vlastnosti u sportovních vozů nebo při přestavbě. Mají větší stálost a tuhost než přírodní kaučuk. Zvyšují stabilitu vozu a zlepšuje jízdní vlastnosti.

○ **Metoda využívající zvukové pohltivosti materiálů**

Materiál či konstrukce dokáže pohltit akustickou energii a transformuje ji na tepelnou energii. Využívá se ve vnitřních prostorech vozidla. Schopnost pohlcovat hluk určujeme podle základních vlastností, které jsou pórovitost, odpor proti proudění a součinitel absorpce.

○ pórovitost

$$h = 1 - \frac{\rho_A}{\rho_M} = \frac{V_P}{V_C} = \frac{\text{objem pórů}}{\text{celkový objem}} \quad (38)$$

kde ρ_A [kg/m³] hustota porézního materiálu
 ρ_M [kg/m³] hustota vláknitého materiálu

○ odpor proti proudění [N.s/m⁴]

$$R_1 = -\frac{1}{v} \frac{\Delta p}{\Delta x} = -\frac{tS}{V} \frac{\Delta p}{\Delta x} \quad (39)$$

kde Δp statický rozdíl tlaků napříč homogenní vrstvy tloučky
 v rychlost proudění materiálem
 V objem vzduchu proudící skrze testovaný vzorek během doby t
 S plocha vzorku (jedna strana)

○ součinitel absorpce

je to poměr pohlcené energie ku dopadající energii

Používají se především porézní materiály, které velmi dobře tlumí okolní hluk. Používají se jako rohože, koberce, drcený textil, minerální nebo kokosová vlákna. Nejpoužívanější materiál je založen na pórovitosti s otevřenými buňkami z pěnového polyuretanu. Póry mají rozměr do 1 mm. Délka vlny proudícího zvuku je mnohem menší než póry tlumícího materiálu. Při vniknutí akustické vlny do materiálu vzniká oscilace či pohyb ve štěrbinách a spárách s frekvencí akustické vlny. Pohyb akustických vln vytváří tření a změny směru, následkem těchto změn v dráze letu se zmenšuje kinetická energie. Zmírněná energie snižuje i šíření hlukových emisí.

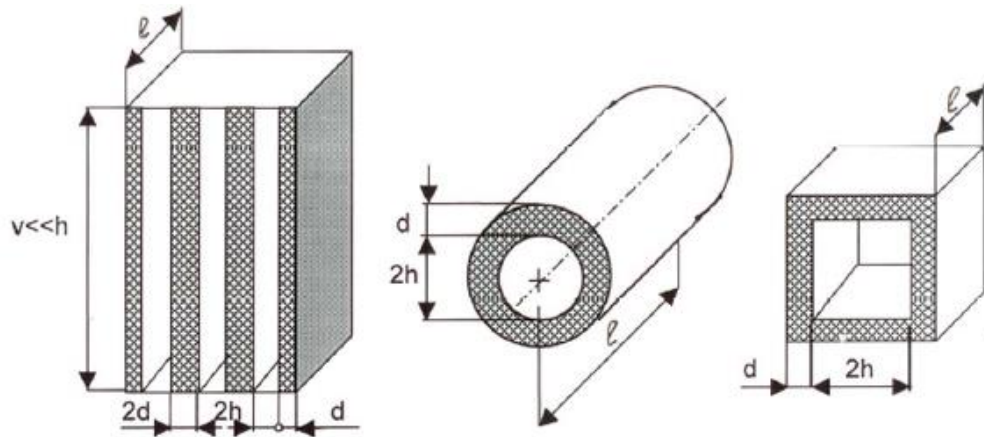
Základní fyzikální charakteristiky porézních materiálů:

- Pórovitost
- Průměr vláken
- Faktor struktury
- Odpor proti proudění

Rozsáhlé rovinné plochy jsou prověřeny na vlastní absorpci kvůli vyloučení odrazu lomu u hrany plochy. Přenos a šíření vibrací snižují pružné vložky různých provedení. Tlumení funguje na bázi zákona o odrazu vlnění na rozhraní stykových ploch mechanickým fázovým posunem. Snižování vibrací a přenosu vln vychází z rozdílů mechanického fázového posunu v dané části vozidla.

Absorpční tlumiče hluku potrubních systémů:

Tlumiče hluku se využívají při tlumení proudění plynu v potrubí. Ve vozidle a motocyklu se především využije ve výfukové, sací soustavě a vzdušných kanálech ventilátoru vozidla. Tlumič je vyvinut tak, aby docházelo k co nejmenší ztrátě proudění zvuku, což by zapříčinilo ztrátu výkonu motoru. Princip tlumení je založen na přeměně akustické energie na teplotu, která se vytváří třením kmitajících částic v dutinách či mezerách výplně v tlumiči výfuku. Obrázek č. 30 nám přiblíží typy tlumících systémů.



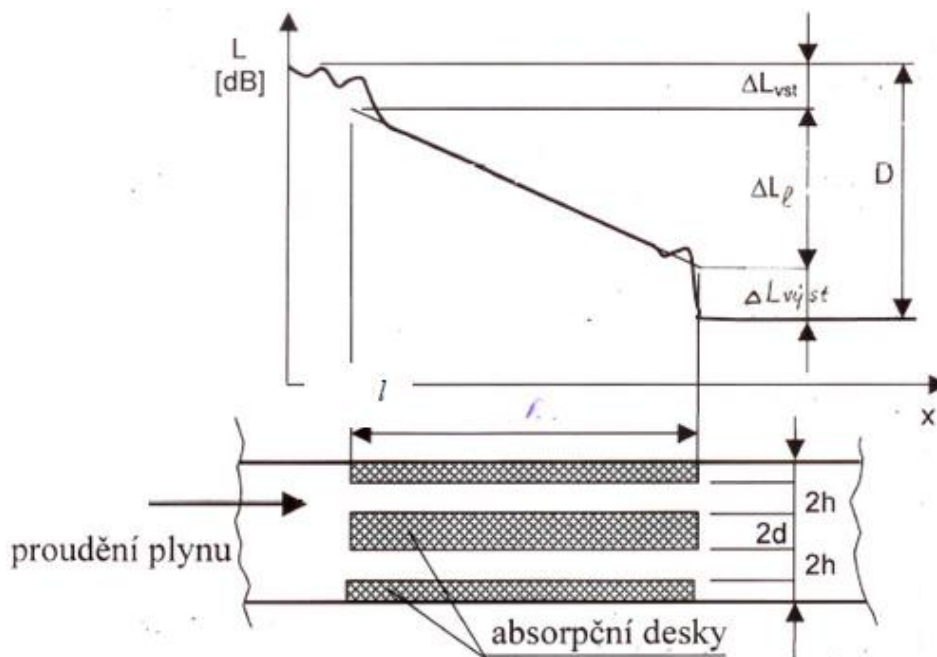
Obrázek 30: Typy absorpčních tlumičů hluku potrubních systémů – paralelní příčky, válec, obdélník [3]

Účinnost absorpčního tlumiče se hodnotí podle útlumu absorpčního tlumiče,

$$D = 10 \log \frac{W_0}{W_M} = 10 \cdot \log \frac{W_0}{W_0 \cdot 10^{-0,1(\Delta L_{vst} + \Delta L_l + L_{výst})} + W_{GP}} \quad (40)$$

- kde W_0 – akustický výkon vyzařován z potrubí bez použití tlumiče
 W_M – akustický výkon vyzařován z potrubí s použitím tlumiče
 ΔL_{vst} , $\Delta L_{výst}$ – vstupní a výstupní ztráty tlumiče
 ΔL_l – útlum tlumiče délky l
 W_{GP} – akustický výkon generován proudícím plynem v tlumiči

Průběh útlumu absorpčního tlumiče vidíme na obrázku č. 31. Medium proudí nízkou rychlostí, proto můžeme zanedbat hluk vznikající prouděním.



Obrázek 31: Grafické vyjádření ztrát prouděného plynu [5]

- **Metoda s použitím ochranné pomůcky**

Tato metoda se obvykle využívá u motocyklů či mopedů. Podle legislativy musí mít každý motocyklista helmu. Helma pohltí zvukové emise motocyklu i okolí. Použití v nákladním či osobním voze je nepravděpodobná.

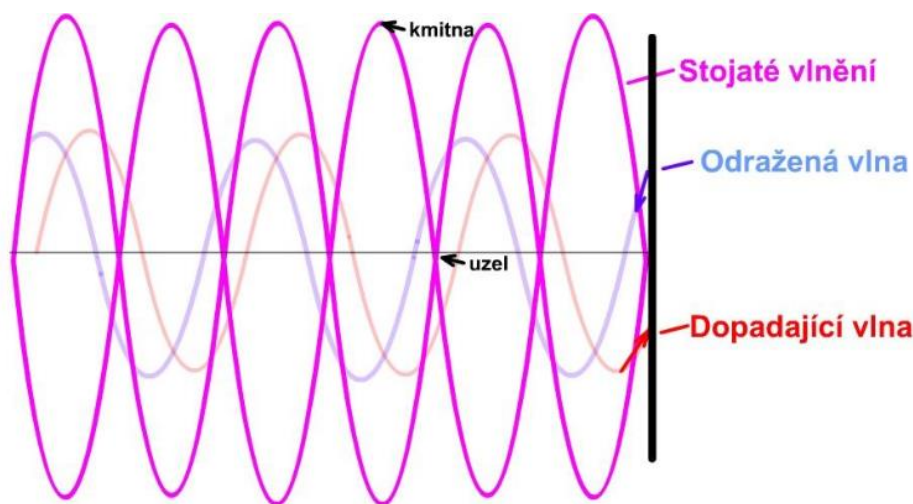
Pro nejvyšší účinnost snižování hluku dopravního prostředku je zapotřebí vhodně skombinovat předešle metody eliminace. Bohužel při vývoji vozu hrají velkou roli finance, proto je nutné zvolit prvky, které dosahují nejvyšší tlumivé účinky při co nejnižších nákladech. Vnější hluk vozidla bohužel jednoduše odstranit nelze. Při vyšších rychlostech vytváří hluk valení pneumatik a proudění vzduchu okolo karoserie, při stání či nižší rychlosti vozidla je hluk tvořen motorem a výfukovým systémem. Stavění protihlukových stěn je finančně náročné a ve městech ne vždy možné, ať už z důvodu estetiky, kvůli rozdílným vlastníkům pozemků nebo nedostatku místa, tudíž je nutné snížit rychlost na dané pozemní komunikaci či odsunout dopravu z obydlené oblasti. [2,3,4,5,24]

4.2. Aktivní eliminace

První zmínka o aktivní eliminaci byla v 80. letech dvacátého století, kdy se o to pokusila značka Bose auto-audio ve vozech Cadillac a Corvette. Při prudkém rozvoji elektromobilů se stejnou cestou vydala i společnost General Motors pro snížení hluku od valení kol a proudění vzduchu. [2]

4.2.1. Princip aktivního potlačení zvuku

Zvuk (hluk) se šíří vlnami s danou amplitudou. Pro potlačení nežádoucího hluku, který je vytvářen o určité frekvenci a amplitudě, vypouštíme do reproduktorů zvuk o stejné frekvenci a amplitudě, jen v obrácené fázi. Tímto zásahem se snižuje vlnění ve vzduchu a akustický tlak, který je eliminován protivlnou vycházející z reproduktorů. Schéma eliminace je vyobrazeno na obrázku č. 32.



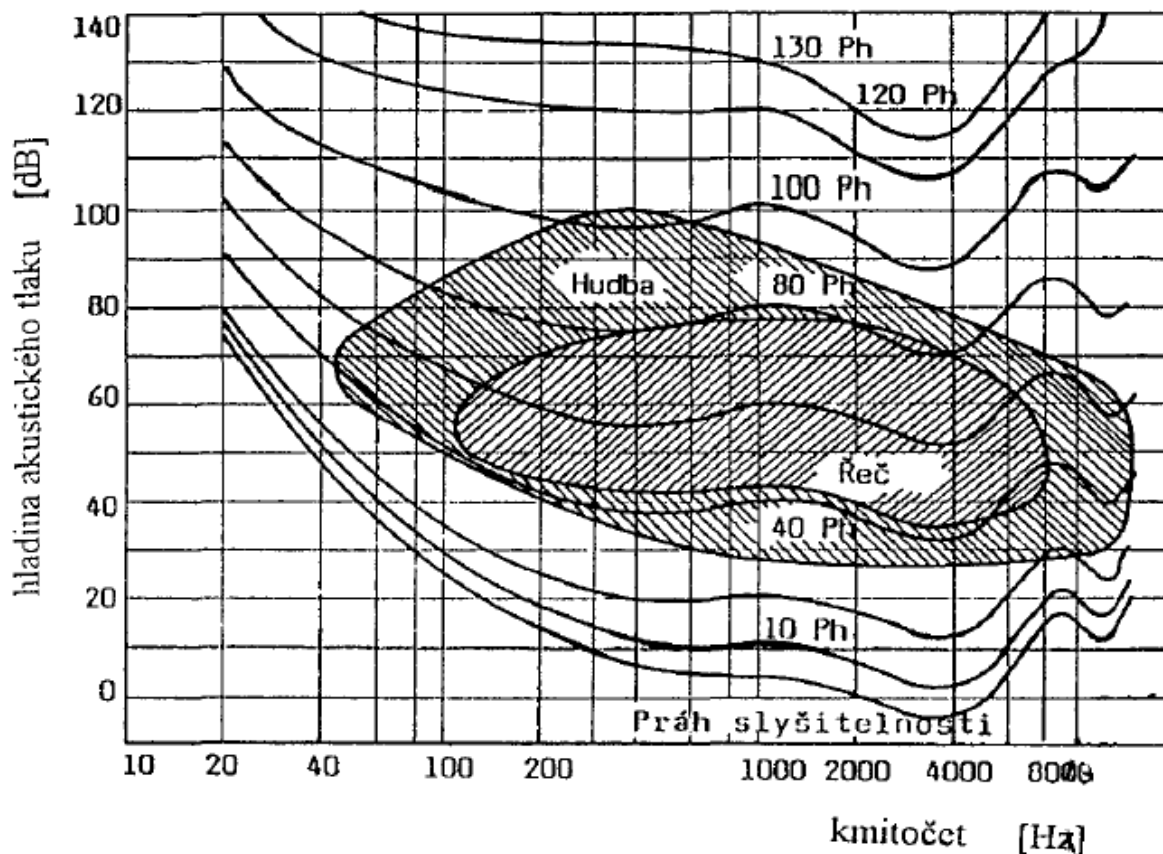
Obrázek 32: Vytvoření stojaté vlny [2]

Legislativně je zakázáno redukovat frekvenční pásma sirén záchranných složek. Od 80. let dvacátého století firma General Motors používala systém Active Noise Cancellation (ANC). Do kabiny vozu byl instalován mikrofón, který zaznamenával hladinu zvuku v kabině a poté systém vytvořil eliminaci proti hluku. Při srovnání vozidel s použitím aktivní eliminace hluku ve vozidle, výsledky ukázali snížení hluku až o 15 [dB] ve spektru otáček 1000 – 5000 ot/min. Aktivní eliminace se neuchytila ve vývoji dopravních prostředků, proto od ní výrobci vozidel opustili. [2]

4.3. Účinek hluku na člověka

Účinek hluku je určen jeho intenzitou. Pro hodnocení hluku se používá hladina akustického tlaku s váhovým filtrem A, protože při použití váhového filtru A hluková charakteristika odpovídá citlivosti ucha zdravého jedince. Pro lidské ucho je hodnota 20 db považováno za hluboké ticho, dlouhodobý pobyt v tomto prostředí je pro člověka nepříjemný, proto pro kosmonauty byla v kabině rakety vytvořena zvuková kulisa, při pobytu v prostředí s hlukem 30 dB se člověk cítí příjemně. Nepříznivé účinky se projevují od hodnoty 65 dB, kdy se vytváří vegetativní reakční změny. Velká pravděpodobnost poruchy sluchu je při dlouhodobém pobytu v prostředí s hladinou akustického tlaku vyšší než 85 dB. Vysoká hladina akustického tlaku nepoškozuje pouze sluchovou soustavu, ale také má neblahé účinky na vegetativní systém a celou nervovou soustavu. Bolest ve sluchovém ústrojí

způsobí hluk o 130 dB, při navýšení hluku na hodnotu 160 dB dochází k protržení bubínku. Přehled kmitočtového a amplitudového složení lidské řeči a hudby nalezneme na obrázku č. 33.



Obrázek 33: Kmitočtové a amplitudové složení lidské řeči a hudby [4]

Lidský organismus bohužel nemá prakticky žádné významnější obranné funkce proti působení akustických signálů. Oči dokážeme zavřít při působení ostrého světla, uši bohužel podobným způsobem ochránit nedokážeme. Jedinou možností, jak chránit sluchové ústrojí před negativními účinky, je zamezit průniku hluku do ústrojí. Při obsluze strojů nebo při jiném působení hluku je vytvořena legislativa, která cíleně určuje použití ochranných pomůcek. Například helma na jednostranném vozidle může sloužit jako ochranná pomůcka proti působení hluku. Technické řešení výrobků není jediný problém. Při vývoji nelze opomenout ekonomické hledisko. Jestliže vyrobíme výrobek s výbornými protihlukovými vlastnostmi, cena výrobku může mnohonásobně narůst. Je tedy nutné zvolit rovnováhu mezi technickými a ekonomickými možnostmi. Současně je nutné dodržet hygienické předpisy. Pracovní činnost v nadměrném hluku není tak efektivní jako práce v prostředí klidném a čistém. Snížení hluku na pracovišti nebo v dopravním prostředku přineslo mnoha společnostem snížení úrazovosti a nemocí na pracovišti. [4,13]

5. Experiment měření a ovlivňování hluk

Měření bylo provedeno na stroji s motorem do 50 ccm³. Motor byl použit z motocyklu Jawa pionýr, který byl vložen do sportovního rámu určeného pro motocyklové závody. Měření probíhalo podle předpisu Mezinárodní motocyklové federace (FIM).

5.1. Statická metoda 2 m max

Metoda slouží k měření hluku motocyklu určeného pro motocyklové závody. Při měření nesmí být v okruhu 10 m kolem motocyklu žádný objekt ani osoba, tedy nic, co by odráželo zvuk. Měření se provádí na stojícím motocyklu se zahřátým motorem. Mikrofon je postaven 50 cm od výfukového potrubí pod úhlem 45°, vzdálenost se měří od osy výfuku. Výška mikrofonu je určena výškou ústě výfuku, nejméně však 20 cm od země. Obsluhu stroje provádí jezdec. Motor je postupně vytáčen do předem určených otáček, které jsou stanoveny podle objemu motoru. Hluk nesmí překročit limit 96 dB/A pro dvoudobý motor a 94 dB/A pro motocykly se čtyřdobým motorem. Postup měření je obdobou předpisu EHK/OSN č. 41 a liší se pouze limity pro hlukové emise. Metoda EHK je uvedena v odstavci 3.6.1. Hladina akustického tlaku se zaznamenává ve váhovém filtru „A“. [8]

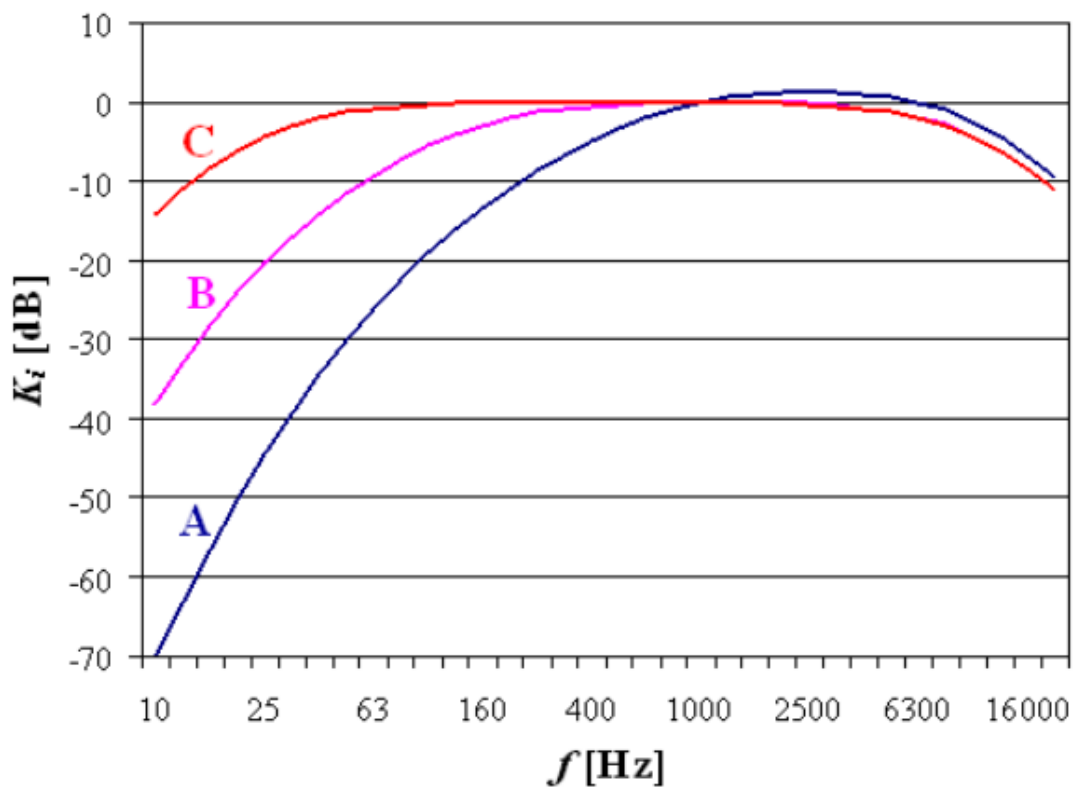
5.1.1. Váhový filtr

Lidský sluch má rozlišnou citlivost pro různé kmitočty, proto při poslechu nastává zkreslení. Pro zpřesnění se tedy zavedl pojem váhové filtry A, B, C a D. Váhový filtr typu D je používán pouze v letectví. Váhový filtr se používá k přepočtu skutečně naměřených hodnot za pomoci takzvaného korektoru. Vzorec pro výpočet korektoru nalezneme v rovnicích (41) a (42). Jsou to inverzní křivky hlasitosti u hladin 40 dB, 80 dB a 120 dB. Průběhy váhových filtrů nalezneme na obrázku č. 34. Na mezinárodní scéně je využíván váhový filtr A, který je používán pro měření hluku vozidla. Běžné hlukoměry jsou vybaveny některými typy filtru. Při měření je získána hladina zvuku, váhový filtr vytvoří korekci pro přepočet na hladinu zvuku, kterou lépe vnímá lidský sluch. [10]

$$K_i(f) = 20 \log \frac{R_i(f)}{R_a(1000)} \quad (41)$$

Písmeno „i“ značí váhový filtr A, B, nebo C. V rovnici (41) je naznačen výpočet váhového filtru A.

$$R_A(f) = \frac{12200^2 * f^4}{(f^2 + 20,6^2) * (f^2 + 12200^2) * \sqrt{(f^2 + 737,9^2)}} \quad (41)$$



Obrázek 34 Průběh váhových filtrů [10]

5.2. Praktické Měření

Měření se zúčastnil Ing. Jiří First, Ing. Josef Mík, Bc. Pavel Kubka, Přemysl Toman a Dalibor Toman.

5.2.1. Předmět měření

Předmětem měření byl výfuk kolegy Přemysla Tomana pro motocykl do 50 ccm³. Jedná se o rezonanční výfuk, který byl vytvořen pro motocyklové závody. Pro výrobu byl použit výfuk značky HIKONE. Jeho rozměry jsou skoro totožné se sériovými výfuky, ale musel být zalomen pro lepší dispoziční řešení na motocyklu. Výfuk byl provozován na motocyklových závodech. Průměr středové části byl 80 mm. Ukázkou výfuku najdeme na obrázku č. 35.



Obrázek 35: Měřený výfuk (Kubka Pavel 2015)

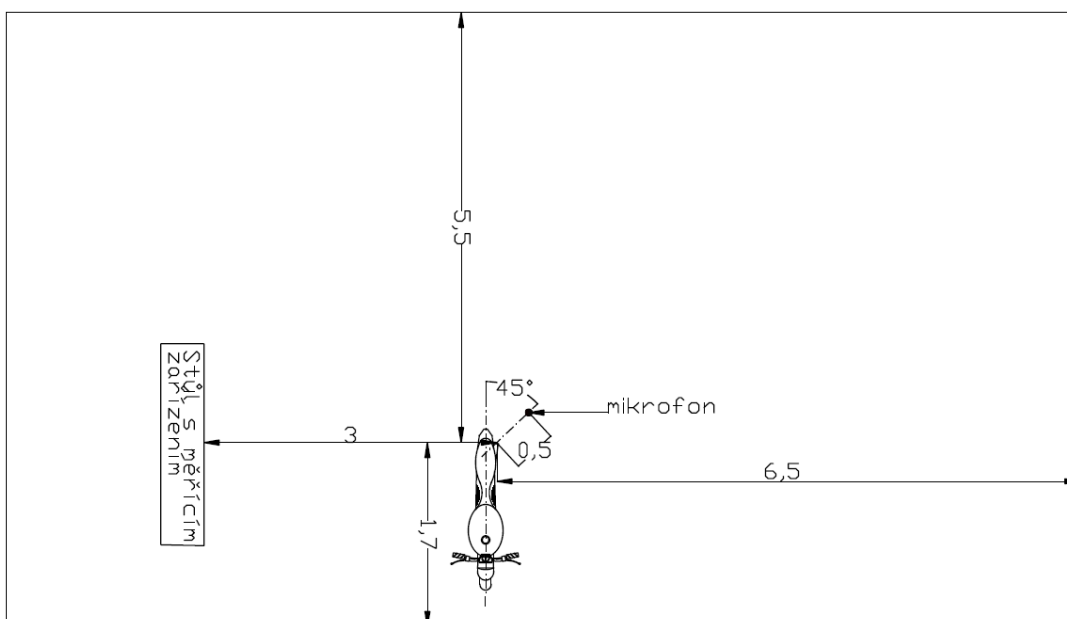
5.2.2. Místo měření

Měření probíhalo v Praze za normálních podmínek. Bohužel jsme nedodrželi rozměry prostoru okolo měřeného motocyklu. Jednoduché schéma měřeného prostoru obsahuje obrázek č. 36. Rozměry jsou uvedené v metrech. Mikrofon byl instalován ve stejné výšce s ústovou částí výfuku motocyklu.

Venkovní teplota: 14 [°C]

Atmosférický tlak: 987 [Pa]

Rychlost větru: v průběhu měření se vítr měnil mezi 1 – 6 m/s



Obrázek 36: Zjednodušené schéma měřicího místa (Kubka Pavel)

5.2.3. Použité přístroje

Seznam nástrojů použitých při měření.

- Digitální otáčkoměr
sloužil pouze pro upřesnění otáček, snímal impulsy na kabelu mezi indukční cívkou a svíčkou
- Analogový otáčkoměr
Výrobce DDR, pro představu je vyobrazen na obrázku č. 37.



Obrázek 37: Otáčkoměr (Kubka Pavel)

Mikrofon

Výrobce: Brüel & Kjær; typ: 4188-A-021

Citlivost mikrofону: -30,8 [dB]; [1V/Pa]
29 [mV/Pa]

odchylka přístroje: 0,2 [dB]

- Měřicí aparatura
Výrobce: Brüel & Kjær; typ: 3650-B-119
Citlivost přístroje: -30,7 [dB]; [1V/Pa]
29 [mV/Pa]
- Měřicí pásmo
- Notebook
- Olovnice
- Značkovací sprej

5.2.4. Postup měření

Ustavili jsme motocykl na stanoviště, kde byl po celou dobu měření. Na připravený stůl jsme umístili měřící aparaturu a uvedli do provozního stavu. Pomocí vodováhy, olovnice a pásma jsme zaměřili a označili místo pro mikrofon. Po zkontrolování aparatury a motocyklu, jsme zahřáli motocykl do provozní teploty. Motor se uvedl do 8000 ot/min, nechal se spadnout do volnoběžných otáček a znovu byl roztočen do 8000 ot/min. Vytočení motoru do 8000 ot/min bylo kvůli odchylce měření provedeno šestkrát, po celou dobu byl zaznamenáván hluk motocyklu. Celý proces měření se opakoval s 5000 ot/min. Na obrázcích č. 38 a č. 39 je přiblížen postup měření otáček motoru a způsob zvyšování otáček motoru.



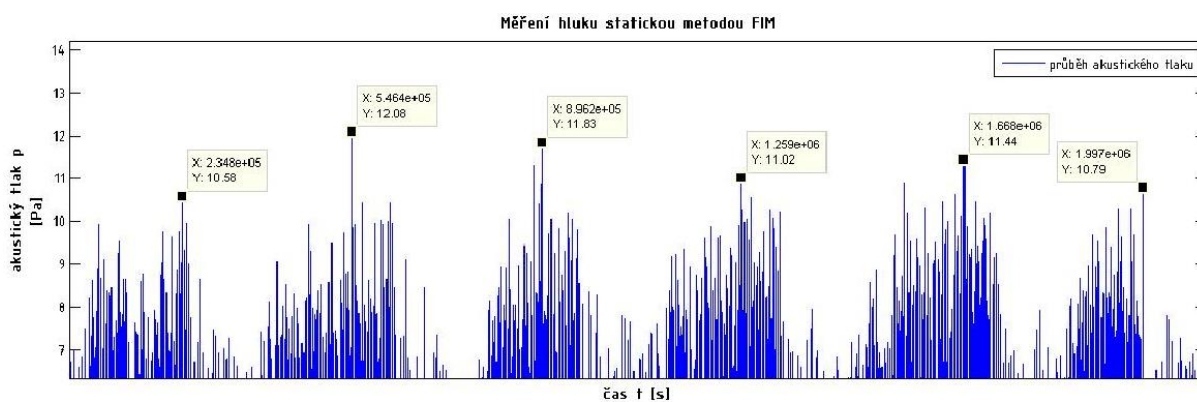
Obrázek 38: Použití hlukoměru při měření (Kubka Pavel)



Obrázek 39: Obsluha motocyklu při měření (Kubka Pavel)

5.2.5. Naměřené hodnoty

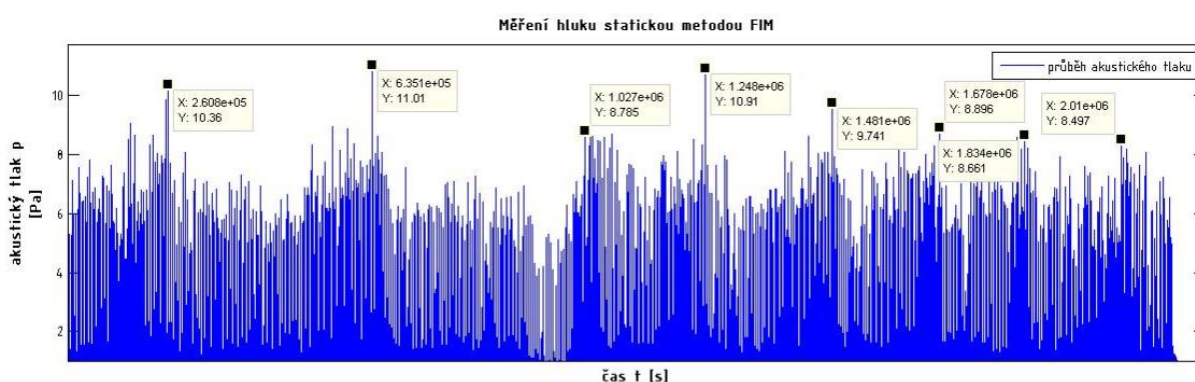
Výstup z měřicí aparatury byl v pascalech, proto bylo nutné v programu Matlab vytvořit grafy, posléze vyčíst nejvyšší maximální hodnoty a v programu MS Excel převést pomocí vzorce na hladinu akustického tlaku. Vzorec na výpočet hladiny akustického tlaku nalezneme v kapitole 3.2.7 Hladina akustického tlaku - vzorec (30). Záznam akustického tlaku pro 8000 ot/min nalezneme v grafu č. 1. Přepočítání na hladinu akustického tlaku s průměrnou hodnotou nalezneme v tabulce č. 5. Zpracování hluku pro 5000 ot/min nalezneme v grafu č. 2 a přepočítání na hladinu akustického tlaku v tabulce č. 6 níže.



Graf 1: Průběh akustického tlaku pro 8000 otáček (Pavel Kubka)

Tabulka 5 Hladina akustického tlaku pro 8000 ot/min

	1. hodnota	2. hodnota	3. hodnota	4. hodnota	5. hodnota	6. hodnota	Průměrná hodnota
Naměřený akustický tlak [Pa]	10,58	12,8	11,83	11,02	11,44	10,79	11,41
Hodnota akustického tlaku [Pa]	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	
Hladina akustického tlaku [dB]	114,4691	116,1236	115,4391	114,823	115,1479	114,6398	115,107



Graf 2: Průběh akustického tlaku pro 5000 otáček (Pavel Kubka)

V průběhu měření se objevila osoba v měřicím úseku, proto byl navýšen počet měření hluku.

Tabulka 6: Hladina akustického tlaku pro 5000 ot/min

	1. hodnota	2. hodnota	3. hodnota	4. hodnota	5. hodnota	6. hodnota	7. hodnota	8. hodnota	Průměrná hodnota
Naměřený akustický tlak [Pa]	10,36	11,01	8,785	10,91	9,741	8,896	8,661	8,497	11,41
Hodnota akustického tlaku [Pa]	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$
Hladina akustického tlaku [dB]	114,29	114,82	112,85	114,74	113,75	112,96	112,73	112,57	113,901

5.2.6. Zhodnocení výsledků

U měření při 8000 ot/min byl překročen limit hlukových emisí o 19 dB stanovený FIM. Příčinou překročení hlukového limitu, může mít za vinu nedodržení vzdálenosti od objektů k zdroji hluku, protože v druhém případě došlo také k překročení limitu. K ustálení 5000 ot/min bylo obtížné, protože volnoběh motocyklu byl 4000 ot/min a regulátor plynu byl velmi

citlivý. Hlukový limit při 5000 ot/min byl překročen o 17 dB. Jelikož provedení této statické zkoušky je skoro totožné s předpisem EHK/OSN č. 41, zkouška na stojícím vozidle, mohu porovnat limitní hodnoty předpisu s naměřenými. Limitní hodnota předpisu EHK č. 41 pro motocykl do 80 ccm³ je 74 dB, čili naměřené hodnota se liší o více než 30 dB. Tento typ výfuku tedy nemůže být schválen do provozu na pozemních komunikacích.

6. Závěr

Hlavním cílem mé diplomové práce bylo charakterizovat problematiku hlukových emisí u dopravních prostředků. V první části jsem uvedl všechny druhy emisí, které vznikají při provozu motorového vozidla. Přehled emisí obsahuje jejich vliv na člověka, způsoby měření těchto emisí, druhy zkoušek a možnosti jejich eliminace. Při vývoji vozidla musíme dbát na veškeré předpisy, normy či směrnice vydávané Evropskou unií či jinou institucí. V dnešní době je kladen velký důraz především na emisní hodnoty nově vyráběných vozidel. Limitní hodnoty jsou, v důsledku neustále rostoucího počtu vozidel, snižovány čím dál rychleji.

Při popisování hlukové emise jsem se nejprve zaměřil na zvuk. Nastínil jsem vznik zvuku, jakým způsobem a prostředím se šíří, jaké jsou jeho hlavní veličiny nebo ve kterých jednotkách se uvádí. Zdrojem hlukových emisí jsou spalovací motory, pohybové mechanismy, proudění vzduchu a dopravní rozhraní. Poslední zmiňovaný zdroj hluku jsem dál nerozvíjel, protože není ovlivněn dopravním prostředkem.

Způsoby eliminace hlukové emise jsem rozdělil na aktivní a pasivní opatření. Aktivní způsob eliminace hluku je pouze zmíněn, protože se praxí moc neosvědčil. Pro vytvoření přehledu pasivních metod eliminace hlukových emisí, jsem použil pět všeobecných metod eliminace hluku, které lze aplikovat ve vozidle. Podle předpisů EHK č. 41 a 51 jsem vytvořil přehled zkoušek, které musí motorová vozidla podstoupit před uvedením do provozu. V závěru práce jsem provedl experiment měření na výfuku závodního motocyklu. Výfuk poskytl student Českého vysokého učení v Praze Přemysl Toman, který tento výfuk vytvořil pro svou bakalářskou práci.

Byla provedena statická zkouška podle mezinárodní motocyklové federace (FIM). Z výsledků zkoušky bohužel vyplývá, že výfuk nesplňuje limit pro závodní užití. Špatné výsledky byly pravděpodobně způsobeny nedodržením vzdálenosti mezi zdrojem hluku a nejbližším objektem na měřícím místě. Protože provedená statická zkouška měla stejné parametry jako statická zkouška z předpisu EHK č. 41, porovnal jsem výsledky zkoušky také s limitními hodnotami pro provoz na pozemních komunikacích. Jelikož jsou tyto limity ještě přísnější, než limity pro závodní motocykly, nelze výfuk použít ani v běžném provozu. Naměřené hodnoty byly zpracovány v programu Matlab a Excel.

V budoucnu nebude s hlučností agregátů velký problém, jelikož nastává doba elektromobilů a hybridů. U těchto druhů vozidel vytváří hluk pouze odpor proti valení pneumatik nebo aerodynamické proudění. Při provozu ve městě, kde hluk z předem uvedených zdrojů vzniká jen zřídka, se situace zcela obrací. Tichý vůz může znamenat riziko pro chodce. Pokud chodec vozidlo neuslyší a vstoupí do vozovky, může dojít ke srážce vozidla s chodcem. Proto bych doporučil u elektromobilů vytvořit opatření nebo zařízení, které by upozorňovalo chodce na přítomnost vozidla.

7. Použité zdroje

7.1. Literatura

- [1] FIRST, J.; Zkoušení automobilů a motocyklů, Praha: S&T CZ s.r.o., 2008. 346 s
- [2] CHLÍBEK, Lukáš; Návrh výfukového potrubí pro vůz formule SAE; Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav automobilního a dopravního inženýrství, 2008. 65s., 12s. příloh, Vedoucí práce Ing. David Svída
- [3] MIŠUN, V.; Vibrace a hluk, Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ. CERM, s.r.o., 2005. 177 s
- [4] NOVÝ, R.; Hluk a chvění, Praha: nakladatelství ČVUT Praha, 2009. 400 s
- [5] URBAN, P.; Hluk motorových vozidel a jeho zjišťování; Praha: Ústav pro výzkum motorových vozidel, 1962. 158-164s
- [6] Předpis EHK č. 51 Vnější hluk vozidel kategorií M a N. Ženeva: Organizace spojených národů 1985. 22s
- [7] Předpis EHK č. 41 Hluk motocyklu. Ženeva: Organizace spojených národů 1985. 22s
- [8] ZUCHA, K.; Technické řády pro motokros, Brno: Českomoravská asociace motocyklového sportu 2015. 41s

7.2 Elektronické zdroje

- [9] Audi RS6 and RS7 get new rubber "Pirelli Noise Cancelling System" [online] 2015 [cit. 2015-02-17] Dostupné z <http://www.rs246.com/2013/07/16/audi-rs6-rs7-rubber-pirelli-noise-cancelling-system/>
- [10] Decibelové veličiny v akustice, kmitočtová pásma [online] 2015 [cit. 2015-02-15] Dostupné z http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_03.pdf
- [11] Emise [Online] 2015 [cit. 2015-01-13] Dostupné z <http://www.wikiskripta.eu/index.php/Emise>
- [12] EURO-normy [online] 2015 [cit. 2015-03-25] Dostupné z <http://www.ngk.de/cz/technicke-detaily/lambda-sondy/zakladni-vedomosti-o-emisich/euro-normy/>
- [13] Hluk a jeho působení na lidský organismus (Monitoring hladiny hluku) [online] 2015 [cit. 2015-01-20] Dostupné z <http://envi.upce.cz/pisprace/starsi/krato/hluk.htm>
- [14] Hluk z motorů a pneumatik [online] 2015 [cit. 2015-01-28] Dostupné z <http://hluk.eps.cz/hluk/hluk-z-motoru-a-pneumatik/>
- [15] Odpor valivý [online] 2015 [cit. 2015-01-28] Dostupné z <http://cs.autolexicon.net/articles/odpor-valivy/>
- [16] Oxid uhelnatý - základní přehled vlastností z hlediska BOZP [online] 2015 [cit. 2015-01-13] Dostupné z <http://www.bozpprofi.cz/33/oxid-uhelnaty-zakladni-prehled->

vlastnosti-z-hlediska-bozp-

uniqueidgOkE4NvrWuOKaQDKuox_Z8pypyTXYLIGIFz1qfel9wo/

- [17] Oxid uhličitý [online] 2015 [cit. 2015-01-13] Dostupné z <http://arnika.org/oxid-uhlicity>
- [18] Polétavý prach – neviditelná hrozba [online] 2015 [cit. 2015-03-17] Dostupné z <http://hluk.eps.cz/hluk/emise/poletavy-prach-%E2%80%93-neviditelna-hrozba/7>
- [19] Vibrace přenášené na člověka [online] 2015 [cit. 2015-02-17] Dostupné z <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/vibrace-prenasene-na-cloveka>
- [20] Vliv dopravy na životní prostředí [online] 2015 [cit. 2015-01-13] Dostupné z envi.upce.cz/pisprace/starsi/bechyn.doc
- [21] Vliv emisí pevných částic z dopravy na zdraví obyvatel [online] 2015 [cit. 2015-01-13] Dostupné z <http://www.mdcz.cz/NR/rdonlyres/0299A788-AA82-498F-A459-E847CD68749E/0/Emiseazdraviweb505.pdf>
- [22] Vlivy a účinky záření - Viditelné záření a světlo 2015 [cit. 2015-02-17] Dostupné z <http://www.osvetle.cz/index.php/18-zaklady-osvetleni/zareni/10-zareni>
- [23] Vliv umělých elektromagnetických vln na živé organismy [online] 2015 [cit. 2015-02-17] Dostupné z http://www.kpsoft.eu/_techinfo/00129/vliv_vln.pdf
- [24] Zajímavost: olej a hluk u dieselových motorů TDI Více [online] 2015 [cit. 2015-02-17] Dostupné z http://www.autorevue.cz/zajimavost-olej-a-hluk-u-dieselovych-motoru-tdi_2
- [25] Základy akustiky [online] 2015 [cit. 2015-02-15] Dostupné z <http://www.greif.cz/download/its075-zaklady-akustiky-prirucka-pro-zacatecniky.pdf>
- [26] Zvukoměr - akustický analyzátor [online] 2015 [cit. 2015-01-20] Dostupné z http://archiv.otevrena-veda.cz/users/Image/default/C1Kurzy/Fyzika/21_jiricek.pdf

8. Seznam obrázků, tabulek a grafů

8.1. Seznam obrázků

Obrázek 1: Emisní normy vznětový a zážehových motorů s přímým vstřikováním	11
Obrázek 2: Šíření zvuku ve vlnoplochách	19
Obrázek 3: Lineární oscilátor	19
Obrázek 4: Časový průběh harmonického kmitání	20
Obrázek 5: Vývoj akustické vlny v bodové řadě	22
Obrázek 6: Časový průběh celkového statického tlaku ve vzduchu	24
Obrázek 7: Diskrétní spektrum periodického signálu	25
Obrázek 8: Diskrétní spektrum neperiodického signálu	25
Obrázek 9: Spektrum spojitě	26
Obrázek 10: Zvukové signály a jejich spektra	27
Obrázek 11: Hladiny akustického tlaku v různém prostředí	28
Obrázek 12: Spektrum intenzity zvuku pro $\Delta f = 1$ Hz	29
Obrázek 13: Zdroj zvuku vyzařující rovnoměrně do všech směrů	30
Obrázek 14: Typický časový průběh hladiny akustického tlaku v blízkosti komunikace	31
Obrázek 15: Značka schválení EHK/OSN č. 41	34
Obrázek 16: Zkušební dráha pro měření hluku	35
Obrázek 17: Blokové schéma zvukoměru	36
Obrázek 18: Schéma měření vnější hluku jedoucího vozidla	37
Obrázek 19: Schéma měření stojícího vozidla - motocykl	37
Obrázek 20: Schéma měření stlačeného vzduchu	38
Obrázek 21: Hluk při výtoku tlakového vzduchu z trysky	40
Obrázek 22: Hluk při obtékání těles- nestabilní proudění za automobilem - vznik vírů	40
Obrázek 23: Absorpční tlumič	43
Obrázek 24: Rezonanční (interferenční) eliminační tlumič	43
Obrázek 25: Reflexní tlumič	43
Obrázek 26: Kombinovaný tlumič	44
Obrázek 27: Řez pneumatikou s izolační vrstvou	45
Obrázek 28: Řez materiál s nanesenou vibroizolací	46
Obrázek 29: Využití antivibračního nátěru v praxi	47
Obrázek 30: Typy absorpčních tlumičů hluku potrubních systémů – paralelní příčky, válec, obdélník	50
Obrázek 31: Grafické vyjádření ztrát prouděného plynu	51
Obrázek 32: Vytvoření stojaté vlny	52

Obrázek 33: Kmitočtové a amplitudové složení lidské řeči a hudby	53
Obrázek 34 Průběh váhových filtrů	55
Obrázek 35: Měřený výfuk	56
Obrázek 36: Zjednodušené schéma měřicího místa	56
Obrázek 37: Otáčkoměr	57
Obrázek 38: Použití hlukoměru při měření	58
Obrázek 39: Obsluha motocyklu při měření	59

8.2. Seznam tabulek

Tabulka 1: Veličiny a jednotky hluku	33
Tabulka 2: Hlukové limity vozidla	39
Tabulka 3: Součinitelé valivého odporu.....	41
Tabulka 4: Rozdíl hlukových emisí při použití rozdílných olejů	45
Tabulka 5: Hladina akustického tlaku pro 8000 ot/min	60
Tabulka 6: Hladina akustického tlaku pro 5000 ot/min	60

8.3. Seznam grafů

Graf 1: Průběh akustického tlaku pro 8000 otáček.....	59
Graf 2: Průběh akustického tlaku pro 5000 otáček.....	60

9. Seznam použitých zkratk

ČSN	Česká státní norma
ISO	Mezinárodní normalizační organizace
EHK	Evropská hospodářská komise
EHS	Evropské hospodářské společenství
M	Motorová vozidla, která mají nejméně čtyři kola a používají se pro dopravu osob
N	Motorová vozidla, která mají nejméně čtyři kola a používají se pro dopravu nákladů
L	Motorová vozidla zpravidla s méně než čtyřmi koly
ČR	Česká republika
LPG	Zkapalněný ropný plyn
CNG	Stlačený zemní plyn
FIM	Mezinárodní motocyklová federace
HID	Výbojka s vysokou intenzitou
MS	Microsoft