

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



## **Akustická měření v dopravě**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Ing. Bohuslav Peterka, Ph.D.

Zpracoval: Bc. Petr Zíka

PRAHA 2012

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra jakosti a spol. strojů

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zíka Petr

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

**Akustická měření v dopravě**

Anglický název

**Acoustic measurements in ground traffic**

### Cíle práce

Cílem práce je popsat v současnosti používané metody měření hlukové zátěže v městské dopravě. Dále budou popsány vlivy zvýšené emise hluku na životní prostředí a možnosti omezení hlukové zátěže. Vlastní práce diplomanta bude založena na sestavení vhodné metodiky měření, dále pak na zpracování a vyhodnocení dat získaných terénním měřením ve vybrané lokalitě s konkrétním technickým řešením dopravní stavby.

### Metodika

Student vyhledá odbornou literaturu a související informační zdroje k tématu práce. Student zpracuje literární rešerši, v které zmapuje současný stav poznání v oblasti zadané problematiky. Dále se student seznámí s pokyny Technické fakulty pro vypracování a odevzdání bakalářské práce. Student bude pracovat systematicky a průběžné výsledky bude konzultovat s vedoucím práce. V souladu s vytyčenými cíli bude sestavena metodika měření a vyhodnocení získaných dat. Data budou získána měřením v městském provozu a užitím vhodných metod následně zpracována a vyhodnocena. Student vypracuje čistopis práce a ten v řádném termínu odevzdá na sekretariátu katedry.

### Osnova práce

1. Úvod
2. Literární rešerše
3. Metodika
4. Vlastní práce
5. Závěr
6. Literatura
7. Přílohy

**Rozsah textové části**

60-70 stran

**Klíčová slova**

akustika, měření hluku, doprava

**Doporučené zdroje informací**

Vaňková, M. a kol.: Hluk, vibrace a ionizující záření, část I a II.

SMETANA, Ctirad et.al. Hluk a vibrace. Měření a hodnocení. Praha 1998. 188 s. ISBN 80-90 1936-2-5

Němec, J.-Ransdorf, J.-Šnědrle, M.: Hluk a jeho snižování v technické praxi. SNTL Praha, 1995.

Beranek, L.L.: Noise and Vibration Control. McGraw-Hill Book Company, New York, 1971.

Beranek, L.L.: Snižování hluku. ČSVTS Praha, 1995.

Metodika měření hluku silniční dopravy,  
Zpravodaj MŽP3/1996-Příloha.

Příslušné normy ČSN EN ISO

**Vedoucí práce**

Peterka Bohuslav, Ing., Ph.D.

**Termín zadání**

listopad 2010

**Termín odevzdání**

duben 2012

**prof. Ing. Josef Pošta, CSc.**  
Vedoucí katedry



**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**  
Děkan fakulty

V Praze dne 8.2.2011

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Bohuslavu Peterkovi, Ph.D. za cenné rady při tvorbě diplomové práce. Velký dík také patří Ing. Miloslavu Písařovi, pracovníku společnosti Ochrana životního prostředí, s. r. o., za cenné informace a poznatky.

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že tuto diplomovou práci Akustická měření v dopravě jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce Ing. Bohuslava Peterky, Ph.D. Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu literatury.

V Praze dne: .....

.....

Bc. Zíka Petr

## **Anotace**

Diplomová práce se zabývá měřením hluku v silniční městské dopravě, zejména měřením hluku při přejezdu vozidel přes příčný zpomalovací práh a mimo něj. Diplomová práce je členěna do tří hlavních kapitol. Mezi tyto kapitoly patří jako první literární rešerše, která seznamuje čtenáře s fyzikální podstatou hluku, účinky hluku na člověka a současný stav problematiky v oblasti hluku v silniční dopravě. Další kapitolou je metodika měření, kde se seznámíme s metodickým postupem a zásad při měření hluku v silničním městském provozu. Dále následuje kapitola vlastní práce, ve které se provádí zpracování dat získané měřením hluku v silničním provozu a výpočet ekvivalentní hladiny akustického tlaku. Následně jsou vyvozena protihluková opatření v dané lokalitě.

## **Klíčová slova**

Dopravní hluk, měření, doprava, příčný zpomalovací práh, ekvivalentní hladina akustického tlaku.

## **Annotation**

The diploma thesis deals with the measuring procedure of urban traffic noise especially by measuring noise emitted by road vehicles crossing a speed humps and off it. The diploma thesis is divided into three main chapters. A literary research introducing the reader the nature of noise in terms of physics, effects of noise on human beings and current state of the issue in the area of road traffic noise is the topic of the first of these chapters. Another chapter covers the measuring methodology and the methodological procedure and principles for measuring urban traffic noise are introduced. Then the chapter of the own work follows in which data gained by measuring road traffic noise and calculation of the equivalent sound pressure level are processed. Subsequently, the inferred reducing measures in the area.

## **Key words**

Traffic noise, measuring, traffic, speed humps, equivalent sound pressure level.

<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2 LITERÁRNÍ REŠERŽE .....</b>	<b>2</b>
2.1 HLUK JAKO NEGATIVNÍ FAKTOR PRO ŽIVOTNÍ A PRACOVNÍ PROSTŘEDÍ .....	2
2.2 TERMINOLOGIE AKUSTIKY .....	3
2.3 VZNIK A ZDROJE HLUKU .....	4
2.4 ŠÍŘENÍ HLUKU .....	6
2.5 ZVUK A JEHO VLASTNOSTI .....	7
2.6 ZÁKLADNÍ VELIČINY CHARAKTERIZUJÍCÍ ZVUK A JEHO ŠÍŘENÍ.....	9
2.6.1 Akustické vlnění a jeho časový průměr.....	9
2.6.2 Akustický tlak.....	11
2.6.3 Rychlost šíření zvuku .....	12
2.7 OKOLNOSTI PODÍLEJÍCÍ SE NA VZNIKU HLUKU V SILNIČNÍ AUTOMOBILOVÉ DOPRAVĚ .....	13
2.7.1 Vnější hluk v silniční automobilvé dopravě.....	13
2.7.2 Vnitřní hluk v silniční automobilvé dopravě.....	13
2.7.3 Valivý hluk vozidla.....	14
2.7.4 Aerodynamický hluk vozidla .....	14
2.7.5 Zdroj hluku z energetického zařízení a příslušenství vozidel .....	14
2.7.6 Hluk v závislosti na rychlosti vozidel.....	15
2.8 ZÁKLADNÍ POZNATKY O VNÍMÁNÍ ZVUKU .....	15
2.8.1 Frekvenční rozsah lidského ucha.....	15
2.8.2 Oblast slyšení.....	16
2.8.3 Fyziologie sluchového smyslu.....	16
2.9 VLIV HLUKU NA ZDRAVÍ ČLOVĚKA.....	17
2.10 ZDRAVOTNÍ ÚČINKY HLUKU.....	17

2.10.1 Poškození sluchového aparátu.....	17
2.10.2 Poruchy spánku.....	18
2.10.3 Vliv hluku na kardiovaskulární systém .....	18
2.10.4 Hluk a duševní onemocnění .....	19
2.10.5 Obtěžování hlukem.....	19
2.10.6 Vliv hluku na celkovou nemocnost.....	19
2.11 HLUKOVÉ EMISE A IMISE .....	20
2.12 MĚŘENÍ AKUSTICKÝCH IMISÍ .....	21
2.13 ZAZNAMENANÉ HODNOTY O MĚŘENÍ AKUSTICKÝCH IMISÍ .....	22
2.14 ZÁSADY PRO MĚŘENÍ AKUSTICKÝCH IMISÍ VE VENKOVNÍCH PROSTORECH .....	23
2.15 SOUČASNÝ STAV .....	24
2.15.1 Normy, předpisy, směrnice pozemního dopravního hluku.....	24
2.15.2 Stará hluková zátěž.....	25
2.15.3 Problematika s hlukovou zátěží v ČR .....	26
2.15.4 Náklady spojené na řešení protihlukových opatření v ČR.....	26
2.15.5 Hluk a lidé v číslech .....	27
2.16 STRATEGICKÉ HLUKOVÉ MAPOVÁNÍ .....	28
2.16.1 Startegická hluková mapa.....	28
2.16.2 Akční hlukový plán.....	29
2.17 PROTIHLUKOVÁ OPATŘENÍ V SILNIČNÍ DOPRAVĚ.....	30
<b>3 METODIKA .....</b>	<b>33</b>
3.1 CÍL METODIKY .....	33
3.2 ZÁMĚR MĚŘENÍ .....	34
3.3 VÝZNAMNOST VÝSLEDKŮ NAMĚŘENÝCH HODNOT.....	34



3.4 TERMINOLOGIE URČENÁ K VYJÁDŘENÍ PODÍLU NA PŮVODU HLUKU .....	35
3.5 OKOLNOSTI ZÁVISEJÍCÍ NA PROSTŘEDÍ DANÉ LOKALITY .....	36
3.5.1 Význam okolního terénu.....	36
3.5.2 Závislost na klimatických podmínkách .....	36
3.6 VLASTNÍ POPIS METODIKY MĚŘENÍ HLUKU V SILNIČNÍ DOPRAVĚ .....	37
3.6.1 Příprava měření hluku .....	37
3.6.2 Stanovení měřících bodů a doby měření.....	37
3.6.3 Příprava stanoviště a samotné měření hluku.....	38
3.6.4 Zpracování naměřených dat .....	39
3.6.5 Využití dat k legislativním účelům .....	39
3.7 MÍSTO MĚŘENÍ .....	39
3.7.1 Poloha mikrofonu .....	40
3.7.2 Současný stav zklidňování dopravy v ulici Na Jarově.....	41
3.7.3 Dopravně inženýrské údaje.....	42
3.8 MĚŘICÍ PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ HLUKU .....	42
3.8.1 Měřicí řetězec přístrojů .....	43
3.8.2 Digitální hlukoměr Testo 816 .....	44
3.8.3 Kalibrátor Voltcraft SLC-100.....	46
3.8.4 Laserový měřič vzdálenosti Toolcraft LDM 70 .....	46
3.8.5 Meteorologická stanice sencor .....	47
<b>4 VLASTNÍ PRÁCE .....</b>	<b>47</b>
4.1 PARAMETRY PRO VÝPOČET HLADINY HLUKU PODLE STANOVENÉ METODIKY.....	47
4.2 ZADÁNÍ VSTUPNÍCH VÝPOČTOVÝCH KRITÉRIÍ .....	49
4.3 TEORETICKÝ VÝPOČET EKVIVALENTNÍ HLADINY HLUKU .....	50

4.3.1 Stanovení faktorů <b>F1, F2, F3</b> .....	50
4.3.2 Korekce <b>Dz</b> na vliv zástavby.....	51
4.3.3 Přirážka na přejezd vozidel přes příčný práh.....	52
4.4 VYPOČTENÉ HODNOTY TEORETICKÉHO VÝPOČTU .....	52
4.4.1 Posuzovaný první bod.....	52
4.4.2 Posuzovaný druhý bod.....	53
4.5 VÝPOČET EKVIVALENTNÍ HLADINY AKUSTICKÉHO TLAKU Z NAMĚŘENÝCH HODNOT .....	53
4.5.1 Výpočet <b>LAeqv</b> bodě 1 (7,5 m od osy komunikace).....	54
4.5.2 Výpočet <b>LAeqv</b> bodě 2 (15 m od osy komunikace).....	54
4.5.3 Výpočet <b>LAeqv</b> bodě 3 (7,5 m od osy komunikace).....	55
4.5.4 Výpočet <b>LAeqv</b> bodě 4 (15 m od osy komunikace).....	55
4.5.5 Přehled výsledků výpočtů <b>LAeq</b> z naměřených hodnot.....	56
4.6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ A TEORETICKÝCH VÝPOČTŮ .....	57
4.7 VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT Z HLEDISKA STANOVENÝCH LIMITŮ HLUKU VE VENKOVNÍM PROSTORU .....	57
4.8 NÁVRHOVÁ PROTIHLUKOVÁ OPATŘENÍ.....	58
4.8.1 Varianta 1- dopravně organizační opatření.....	58
4.8.2 Varianta 2 - stavebně technická opatření.....	60
4.8.3 Zhodnocení efektivity vybraných protihlukových opatření.....	61
<b>5 ZÁVĚR</b> .....	<b>62</b>
SEZNAM ZKRATEK .....	63
SEZNAM SYMBOLŮ.....	63
SEZNAM OBRÁZKŮ .....	63
SEZNAM TABULEK .....	64

<b>6 SEZNAM LITERATURY</b> .....	<b>65</b>
<b>7 PŘÍLOHY</b> .....	<b>I</b>
PŘÍLOHA 1 .....	I
PŘÍLOHA 2 .....	IV
PŘÍLOHA 3 .....	V
PŘÍLOHA 4 .....	VII
PŘÍLOHA 5 .....	VIII

# 1 Úvod

Hluk se stal v posledních desetiletích vážnou zátěží pro obyvatelstvo. Z pohledu ochrany životního prostředí se hluk řadí ve vyspělých státech hned za znečištění ovzduší a ochranu povrchových vod. V současnosti je stále více občanů postiženo nadměrným hlukem, jedná se o průmyslový hluk a zejména o hluk ze silniční dopravy. Odhaduje se, že 67 mil. Evropanů je pravidelně vystaveno hluku ze silniční dopravy, hluk obecně ovlivňuje kvalitu našeho života.

Snížení hluku ze silniční dopravy lze dosáhnout kombinací a rozvojem různých nástrojů ke snížení hluku v technické, plánovací a právní hladině. Efektivní využití těchto nástrojů vyžaduje kombinaci mnoha veřejných a soukromých aktérů na národní i mezinárodní úrovni.

Silniční doprava nebo jiné druhy dopravy vedou ke zhoršení životního prostředí. Zpravidla se jedná o hlukovou zátěž, znečištění ovzduší a vibrace. Míru těchto negativních účinků udává především způsob vedení komunikací, technický stav vozidel a intenzita dopravy. Nejvíce by se mělo přihlížet na hlukovou zátěž, která má přímý negativní účinek na lidský organismus.

Účinky hluku negativního charakteru na člověka mohou být různorodé, jejich projev záleží na fyziologických vlastnostech jedince. Typické negativní účinky hluku na člověka mající vliv na psychiku, zvýšení krevního tlaku, ztrátu pozornosti a jiné účinky.

Tato diplomová práce je zaměřena na měření hluku, který je způsobený silniční dopravou a přejezdem vozidel přes příčný zpomalovací práh v ulici Na Jarově v Praze. Naměřená data jsou následně zpracována dle vypracované metodiky a metodiky autora [1]. Jejím cílem je porovnání naměřených skutečných hodnot ekvivalentní hladiny akustického tlaku a teoretického výpočtu dle metodiky. Následně se provádí porovnání s limitními hodnotami stanovenými pro venkovní prostředí. V neposlední řadě jsou navržena opatření ke snížení akustického tlaku vlivem silničního provozu a jisté upozornění na negativní účinky hluku, se kterými se stále více setkáváme v běžném životě.

## 2 Literární rešerže

### 2.1 Hluk jako negativní faktor pro životní a pracovní prostředí

Definice hluku je zpravidla každý nežádoucí zvuk, který je téměř vždy negativním produktem civilizačního systému. Průmyslové požadavky na veliký počet vysoce výkonných strojů a dopravních prostředků, mají za následek rostoucí znečišťování životního a pracovního prostředí hlukem. V současném stavu při rozvoji dopravy a veškeré techniky všech odvětví, hluk zasahuje všem a zpravidla ve všech oblastech našeho života. V evropském programu pro ochranu životního prostředí jsou prioritními směry snižování či úplného zamezení negativních prvků v přírodě a v politice správy v oblasti životního prostředí. Například jeden z evropských programů je „LIFE+“.

Program LIFE+ se skládá ze tří částí (pilířů) nazvaných „LIFE+ Příroda a biologická rozmanitost“, „LIFE+ Politika a správa v oblasti životního prostředí“ a „LIFE+ Informace a komunikace“ [2]. Při podrobnější studii tohoto programu vyplývá, že hluk se řadí zpravidla hned za znečištění ovzduší a ochranu povrchových vod.

Důvody, které způsobují zvyšování hluku, můžeme seřadit do níže uvedených bodů [3] :

- vývoj techniky směřuje ke stálému zvyšování výkonů strojů a technologických zařízení. Protože mechanický výkon je úměrný akustickému výkonu,
- technický pokrok přináší i změny principu funkce strojů. (Například. parní lokomotivy jsou nahrazeny hlučnějšími diesel – elektrickými.),
- tendence vylehčování konstrukcí strojů, staveb, zařízení vedou často ke ztrátě zvukoizolačních schopností a způsobují prudké zvýšení vyzařování akustického výkonu,

- umístování nových druhů strojních zařízení uvnitř budov (čerpadla, výtahy, klimatizace, stroje pro domácnost, výkonná reprodukční zařízení) způsobují zvýšené znečištění prostředí hlukem.

## 2.2 Terminologie akustiky

V této kapitole přiblížím termíny a definice týkající se akustiky, měření a snižování hluku. Termíny jsou stanoveny dle české technické normy **ČSN 01 1600**, vychází ze současných norem v oblasti akustiky a obsahuje aktuální termíny používané v akustice, cílem této normy je co v největší možné míře zachovat soulad se současným stavem poznání a praktickou částí v akustickém oboru.

Všeobecné termíny podle normy [4]:

➤ **Akustický tlak**

Efektivní hodnota okamžitých akustických tlaků za daný časový interval, pokud není stanoveno jinak,

➤ **Akustická výchylka**

Efektivní hodnota okamžitých výchylek částice za daný časový interval, pokud není stanoveno jinak,

➤ **Akustická rychlost**

Efektivní hodnota okamžitých rychlostí částice za daný časový interval, pokud není stanoveno jinak,

➤ **Rychlost šíření zvuku**

Velikost vektoru fázové rychlosti volné postupné zvukové vlny,

➤ **Akustická intenzita**

Tok akustické energie ve stanoveném směru a smyslu plochou kolmou k tomuto směru, dělený touto plochou,

➤ **Akustická energie**

Časový a plošný integrál normálové složky akustické intenzity přes uzavřenou fiktivní plochu, kde akustická intenzita je reálnou částí součin

okamžitého akustického tlaku a akustické rychlosti (ve stejném bodě plochy),

➤ **Hladina akustického tlaku,  $L_p$**

Logaritmus poměru daného akustického tlaku k referenčnímu akustickému tlaku; hladina akustického tlaku v decibelech je dvacetinásobek dekadického logaritmu tohoto poměru,

➤ **Hluk**

Nepříjemný nebo nežádoucí zvuk, nebo jiné rušení,

➤ **Akustická emise**

Zvuk šířený vzduchem, vyzařovaný přesně určeným zdrojem hluku (např. zkoušeným zařízením) při stanovených pracovních a montážních podmínkách,

➤ **Akustická imise**

Zvuk šířený vzduchem, přijímaný v daném místě,

➤ **Hluk pozadí**

Celkové rušení ze všech zdrojů v soustavě, použité pro vytváření, přenos, detekci, měření nebo záznam signálu,

➤ **Ozvěna**

Zvuková vlna, která se odrazila a přichází s tlakovou velikostí a v časovém intervalu po přímém zvuku, že je rozeznatelná jako jeho opakování.

➤ **Akustický rozruch**

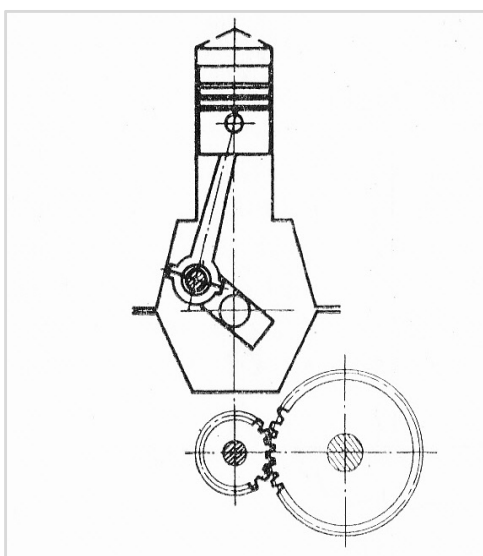
Kmitající povrch tělesa způsobí akustický rozruch plynného (kapalného) prostředí a svoji mechanickou energii odevzdá akustickému prostředí.

## 2.3 Vznik a zdroje hluku

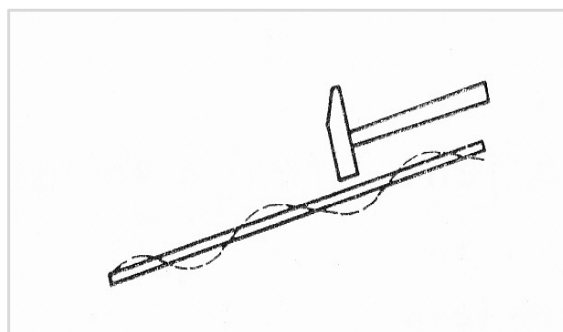
Potencionální zdroje hluku jsou zařízení a předměty nebo vyhrazené prostředí, ve kterém vzniká akustická energie, která se dále šíří do okolí. Dle autora [5] rozlišujeme dvě základní příčiny vzniku akustické energie.

První případ představuje chvějící se povrch strojů, stěn budov, technologických zařízení, popř. jejich částí (Obr. 1) a (Obr. 2). Rozruchy akustické povahy se přenesou od kmitajícího povrchu na okolní prostředí, nejčastěji vzduch. Takto předávaná akustická energie souvisí s rozměry zdroje a stavem jeho kmitání. Kmity vznikají i v jednotlivém zdroji hluku z různých příčin, např. nevyvážeností, nárazy mechanismů, nerovnoměrnými účinky při přenosu sil a pohybů [5].

Obr. 1 Chvění pístových strojů



Obr. 2 Chvění těles

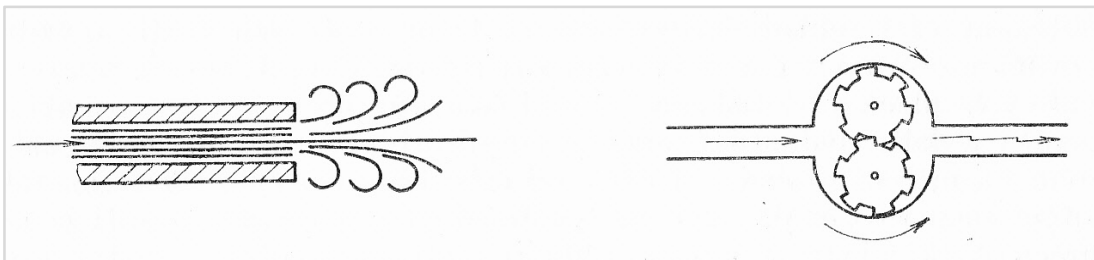


Zdroj: **Němec, Jaroslav.** *Hluk a jeho snižování v technické praxi.* 1. vydání. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1970. str. 340. L 13-B3-IV-31/22248/XI.

Druhou závažnou příčinou vzniku akustické energie je neustálené proudění plynného nebo i kapalného prostředí (Obr. 3). Jako zdroj hluku se jeví část prostoru, kde neustálené proudění existuje, zejména místa nejintenzivnějších změn rychlosti nebo objemu. V elastických prostředích se šíří dva druhy zvukových vln: tlakové a smykové. V plynech jsou zvukové vlny tlakové. Smykové vlny se vyskytují pouze druhořadě, jako následek viskozity plynu. V ideálním plynu by se vzduchové částice pohybovaly pouze rovnoběžně se směrem šíření zvuku. Také v kapalinách mají tlakové vlny hlavní význam. Smykové vlny mají význam vedlejší, avšak větší než v plynech [6].



Obr. 3 Proudění plynů a kapalin jako příčina hluku



Zdroj: **Němec, Jaroslav.** *Hluk a jeho snižování v technické praxi.* 1. vydání. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1970. str. 340. L 13-B3-IV-31/22248/XI.

Příkladem tohoto vzniku akustické energie jsou ventilátory, ejektory, pulsující proudění ve výfuku nebo sání pístových strojů, ventily pro vypouštění stlačených plynů atd. [5].

Reálné zdroje hluku v sobě mnohdy spojují obě příčiny v různém spojení. Příkladem může být kondenzační jednotka chladicího zařízení. Příčinou hluku je chladicí ventilátor, obtékání částí chladicím vzduchem, tření rotačních částí o vzduch, chvění kompresoru vyplývající z nevyvážeností rotoru nebo klikového hřídele kompresoru, chvění vlivem různorodé struktury valivých ploch v ložiskách, chvění plechových krytů magnetostrikčními účinky.

Jednotlivé dílčí příčiny můžeme někdy rozbořem založeným na měření rozeznat. Liší se od sebe frekvenčním složením, intenzitou a směrovým působením. Rozbořem příčin hluku a jeho zdrojů stanovujeme nejzávažnější příčiny a jejich pořadí, v jakém se mají omezovat. Podle původu příčiny volíme přiměřená technická opatření ke snížení hluku ve zdroji [5].

## 2.4 Šíření hluku

Od zdroje se zvukové vlny mohou šířit buď přímo prostřednictvím média, které zdroj obklopuje (převážně vzduch), tedy jako zvuk šířený vzduchem, nebo prostřednictvím spojovacích prvků, jimiž je zdroj připevněn do strojního nebo stavební konstrukce, vede chvění dále těmito objekty jako zvuk vedený konstrukcí, a posléze je vyzářen do vzduchu povrchem některé chvějící součásti strojní nebo

stavební konstrukce, která má k vyzařování zvuku předpoklady. Vzhledem k tomu, že běžně používané konstrukční materiály mívají schopnost dobře přenášet zvukové vlny, aniž by je podstatnějí mírou na této cestě tlumily, dochází často k intenzivnímu vyzařování hluku i v místech mnohdy značně vzdálených od zdroje [5].

## 2.5 Zvuk a jeho vlastnosti

Zvukem rozumíme každé mechanické vlnění, které se šíří od zdroje ve vlnoplochách libovolné prostředí, fázovou rychlostí závislou na fyzikálních vlastnostech prostředí. Zvuk vzniká kmitáním částic pružného prostředí, která na sebe vzájemně působí elastickými silami. Zvuk je zvláštní případ tzv. elastických vln. Rozruch se šíří ze zdroje fázovou rychlostí, ale prostředí, které ho přenáší, se nepohybuje, nýbrž částice prostředí kmitají kolem rovnovážných ploch. Dalším závažným faktem je, že šíření zvuku je spojeno s přenosem energie [3].

Důležitým parametrem je vlnová délka definována vztahem:

$$\lambda = cT = \frac{c}{f} \quad [\text{m}] \quad (2.1)$$

$\lambda$  - vlnová délka [m]

$c$  - fázová rychlost, rychlost plochy konstantní fáze ve směru šíření [m.s<sup>-1</sup>]

$T$  – perioda [s]

$f$  – frekvence [Hz]

Leží – li frekvence zvuku v rozsahu slyšitelnosti lidského ucha, tj. od 16 Hz do 20 kHz, vnímáme zvuk sluchem. Akustické vlnění o frekvenci vyšší než 20 kHz spadá do oblasti ultrazvuku. Akustické vlnění o kmitočtu nižším než 16 Hz se označuje jako infrazvuk.

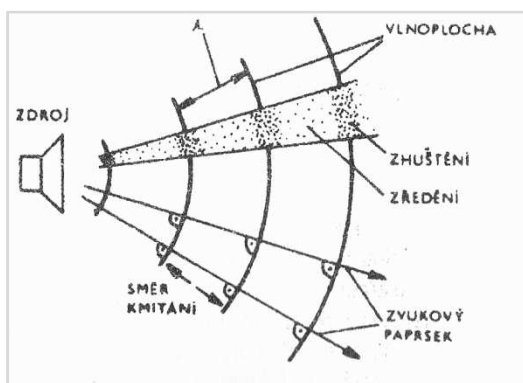
Projevuje- li se zvuk rušivě, je – li nežádoucí nebo nepříjemný, označujeme jej jako hluk. Hlukem může být například čistý tón, častěji však jde o směs zvuků o různých frekvencích.

Akustické vlnění postupuje od místa rozruchu na všechny strany. Je-li prostředí izotropní, šíří se rozruch všemi směry stejně rychle. Místa, do nichž dospělo vlnění ze zdroje za tutéž dobu, leží na spojitě ploše, tzv. vlnoploše. Vlnoplochou rozumíme geometrické místo bodů, které kmitají v daném okamžiku se stejnou fází. V obecných případech mohou mít vlnoplochy libovolný tvar.

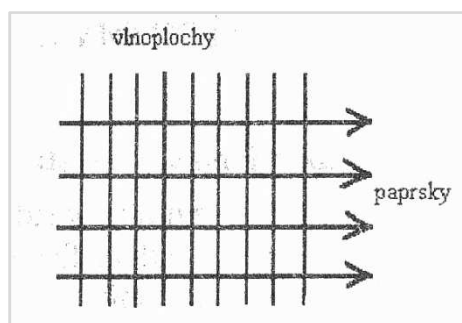
Zvlášť důležité jsou:

- vlnoplochy kulové - vznikají při šíření vlnění z bodového zdroje, je-li zdroj rozruchu menší než vlnová délka vzniklého vlnění (Obr. 4),
- vlnoplochy rovinné – vznikají při šíření vlnění z plošných zdrojů, je-li zdroj rozruchu v podstatně větší než vlnová délka vzniklého vlnění obrázek. Velmi přibližně se kulové vlnoplochy ve velké vzdálenosti od zdroje považují za rovinné. Rovinné vlnoplochy se dají poččetně jednodušeji zpracovat, a proto většinu úvah provádíme právě pro tento druh vlnoploch. Kulové a rovinné vlny se vyskytují pouze při šíření vlnění prostorem bez překážek, tj. volným akustickým polem (Obr. 5).

Obr. 4 Vlnoplochy kulové

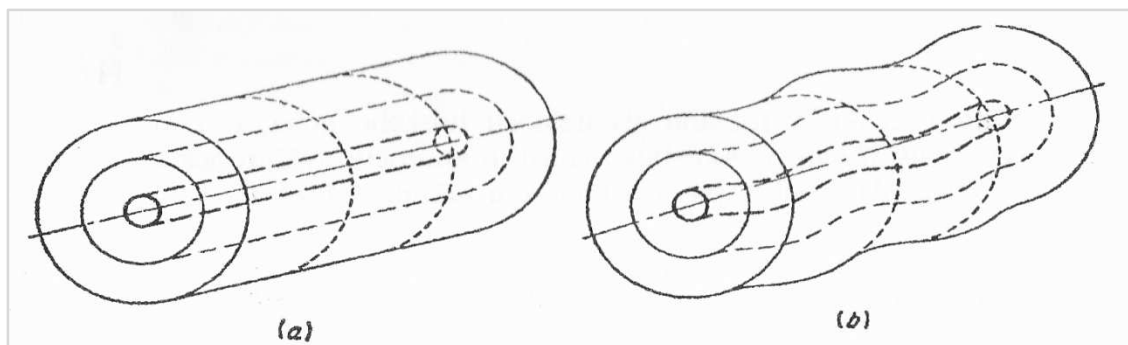


Obr. 5 Vlnoplochy rovinné



Zdroj: **Vaňková, Marie.** *Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí.* 1. část. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 1995. str. 140. ISBN 80-214-0695-X.

Obr. 6 a) Jednorozměrná válcová vlnoplocha, b) dvojrozměrná válcová vlnoplocha



Zdroj: **Vaňková, Marie.** *Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí.* 1. část. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 1995. str. 140. ISBN 80-214-0695-X.

Vlnoplochy složitější povahy např., válcové vznikají při šíření vlnění z libovolného zdroje zvuku. Jsou vlastně přechodným typem mezi rovinou a kulovou vlnou, (Obr. 6). Při nerovnoměrném vyzařování radiálním směru vzniká dvojrozměrná válcová vlnoplocha.

## 2.6 Základní veličiny charakterizující zvuk a jeho šíření [5]

### 2.6.1 Akustické vlnění a jeho časový průběh

Zvuk se ve vzduchu i v jiných prostředích šíří od zdroje jako vlnění. Směr jeho šíření určuje zvukový paprsek, kolmý k vlnoploše, který se může odrážet na ohraničujících plochách nebo i lomit v prostředí. Akustické vlnění, přenášející současně akustickou energii, se projevuje v daném prostředí změnami některých veličin určující stav prostředí. Jsou to zejména: kmitání částic, prostředí kolem rovnovážné polohy, střídavé zhušťování a zředování a s tím související změny tlaku nebo vnitřních napětí, postupné přenášení rozruchu na sousední částice atd.

Jak bylo již naznačeno, určující veličiny závisí na místě pozorování (měření) v prostoru, na čase, intenzitě akustického jevu apod. Jako nejjednodušší v případě časového průběhu některé z určujících veličin je sinusový, resp. kosinusový průběh, předepsaný matematickým výrazem

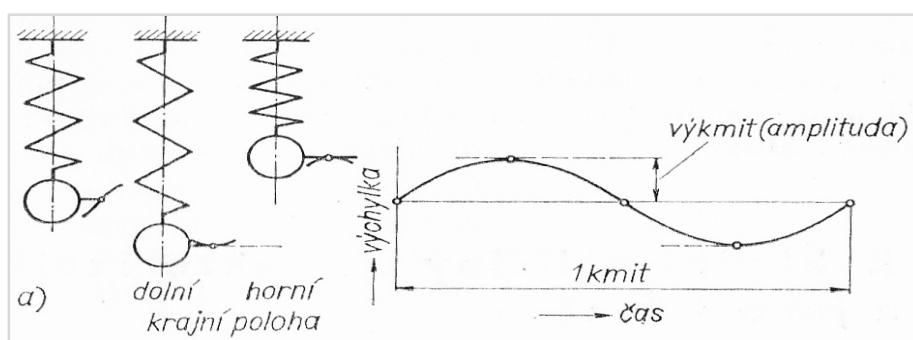
$$a_t = a_{max} \cos(2\pi ft + \varphi) \quad (2.2)$$

a odvozený na (Obr. 7) rozvinutí z kmitů koule zavěšené na pružině. Na (Obr. 8), který vyznačuje delší časový úsek, značí  $a_t$  okamžitou velikost určující veličiny v čase  $t$ ,  $a_{max}$  její maximální velikost (amplitudu),  $\varphi$  je fázový úhel,  $t$  je čas v sekundách. Stejně okamžité hodnoty se opakují po uplynutí obvykle velmi krátké doby  $T$ , označované jako doba jednoho kmitu v sekundách [s]. V akustice trvá doba jednoho kmitu asi setiny až desítitisíciny sekundy. Počet kmitů za jednu sekundu určuje frekvence  $f$  v [Hz] a souvisí s dobou jednoho kmitu  $T$  podle vztahu (2.3).

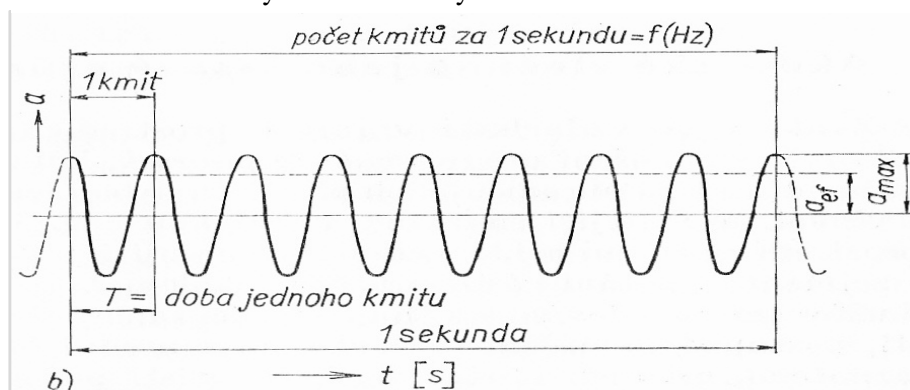
$$f = \frac{1}{T} \quad [\text{Hz}] \quad (2.3)$$

Hodnota  $2\pi f$  označuje tzv. úhlovou rychlost v kmitavém ději. Lidské ucho kmitočty zvuků rozlišuje poměrně citlivě, a proto je údaj o kmitočtovém složení hluku jedním z nejvýznamnějších.

Obr. 7 Sinusové kmity a veličiny popisující periodické kmitání z kmitů koule



Obr. 8 Sinusové kmity s delším časovým úsekem

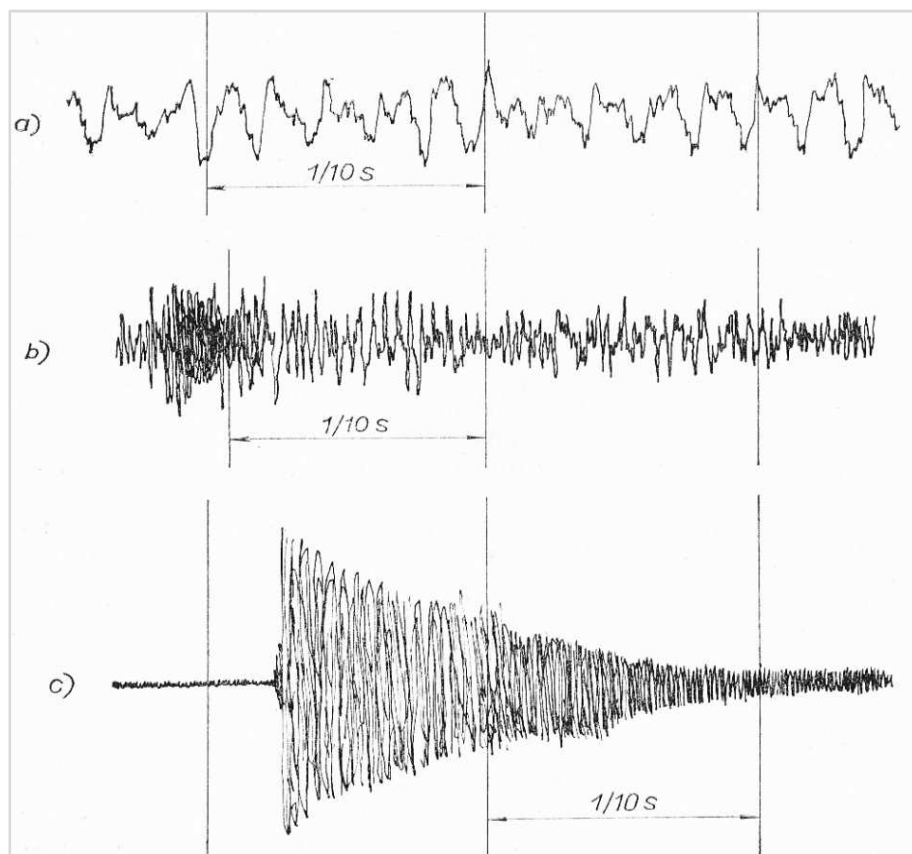


Zdroj: **Němec, Jaroslav.** *Hluk a jeho snižování v technické praxi.* 1. vydání. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1970. str. 340. L 13-B3-IV-31/22248/XI.

## 2.6.2 Akustický tlak

Akustické vlnění ve vzduchu se projevuje zejména akustickým tlakem  $p_t$ , který působí na sluchový orgán nebo na měřicí přístroje určené k měření hluku. Při jednoduchém zvuku se sinusovým průběhem se akustický tlak mění v souladu s křivkou naznačenou na (Obr. 7), při složitějších hlucích se mění např. podle (Obr. 9). Akustický tlak vyznačuje kladné i záporné odchylky od klidové hodnoty barometrického tlaku, které se střídají v souladu s frekvenčním nebo časovým průběhem jiného tvaru než sinusového. Vyjadřuje se v [Hz].

Obr. 9 Průběh akustických kmitů vyvolaných hlukem při časovém rozvinutí: **a)** uvnitř automobilu, **b)** v průmyslovém provozu, **c)** impulsový hluk při úderech kladiva do ocelového nosníku



Zdroj: **Němec, Jaroslav. Hluk a jeho snižování v technické praxi.** 1. vydání. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1970. str. 340. L 13-B3-IV-31/22248/XI.

### 2.6.3 Rychlost šíření zvuku

Rychlost šíření zvuku  $c$  vyznačuje, jak daleko dospěje zvukový rozruch od míst a pozorování za jednu sekundu ve směru šíření zvuku, tj. ve směru zvukového paprsku. Pro plyny jiné materiály je charakteristickou konstantou, která se mírně mění s teplotou. Pro vzduch se při teplotě 20 °C uvažuje rychlost zvuku  $c = 343 \text{ m.s}^{-1}$ . Při jiných teplotách je  $c [\text{m.s}^{-1}]$  dána podle vztahu kde  $\vartheta$  je teplota vzduchu [°C].

$$c = 331,6 \sqrt{1 + \frac{\vartheta}{273}} \quad [\text{m.s}^{-1}] \quad (2.4)$$

Plyny odlišného složení než vzduch mají poněkud jinou rychlost šíření zvuku. Významně se liší vodík, kterým se šíří zvuk rychlostí  $c = 1200 \text{ [m.s}^{-1}]$ . V technické praxi jsou změny šíření vzduchu málo významné, neboť jen mírně mění povahu hlukových jevů, výrazněji se uplatní při uvažování výfukových potrubí tepelných strojů, kde se uvažuje např. pro výfuk naftových motorů rychlost šíření zvuku  $c = 450$  až  $500 \text{ [m.s}^{-1}]$ . Rychlosti šíření zvuku za běžných podmínek v některých plynech a kapalinách uvádí (Tab. 1) spolu s některými dalšími konstantami.

Tab. 1 Hustota, rychlost a vlnový odpor v některých plynech

Plyn	Hustota $\rho_0 [\text{kg/m}^3]$	Rychlost zvuku $c [\text{m/s}]$	Vlnový odpor $\rho_0 \cdot c [\text{N} \cdot \text{s/m}^3]$
Vzduch, 20 °C, 760 mm Hg	1,21	344	414
Kysličník uhličitý, CO <sub>2</sub>	1,98	258	512
Kysličník uhelnatý, CO	1,25	337	420
Vodík, H	0,09	1270	114
Dusík, N	1,25	336	420
Kyslík, O	1,43	317	455
Vodní pára	0,58	405	235

Zdroj: Němec, Jaroslav. *Hluk a jeho snižování v technické praxi*. 1. vydání. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1970. str. 340. L 13-B3-IV-31/22248/XI.

## **2.7 Okolnosti podílející se na vzniku hluku v silniční automobilové dopravě**

### **2.7.1 Vnější hluk v silniční automobilové dopravě**

Převážně vzniká při provozování vozidel na pozemních komunikacích, kde ho registrují lidé, kteří jsou v blízkosti pozemní komunikace. Jsou to např. lidé žijící v okolních domech, chodci, cyklisti. Postižení osob hlukem závisí na několika faktorech jako např. vzdálenost od vozovky, kategorie komunikace, sestava terénu (stoupání či klesání), rychlost pohybujících se vozidel, intenzita vozidel, druh pohybu vozidel (akcelerace, decelerace, zrychlení). Nejčastějším zdrojem hluku jsou i podvozkové části (mechanismy vozidla), nebo také konstrukce pneumatik a jejich dezén (zimní a letní vzorek), rázy dynamického charakteru při přejíždění nerovností na vozovce. Mezi zdroje hluku v silniční dopravě také patří přepravované náklady, respektive hluk vycházející z konstrukce ložných ploch a speciálních koreb na přepravu sypkých materiálů, kulatin dřeva, manipulačních zařízení (hydraulické manipulátory) a prostředků (nádoby atd.).

V silniční dopravě, zejména v oblastech blízkosti úroňových křižovatek se velikost hladiny hluku značně zvyšuje. V těchto lokalitách se hladina hluku rychle mění, zpravidla je to dáno pohybem vozidel v městském provozu, kdy vzniká takzvané krátké zastavení. Krátké zastavení spočívá zpomalení z počáteční rychlosti vozidla (decelerace) až k úplnému zastavení, kdy určitou dobu stojí a pak vozidlo akceleruje až na původní rychlost. Při krátkém zastavení, hladina hluku kolísá. V případě kde jsou zástavby vysokých budov, se zvuk odráží od fasády domů a hladina hluku je zde vyšší, než na otevřených komunikacích. Hlavním zdrojem hluku ze silničního provozu je hustota dopravy.

### **2.7.2 Vnitřní hluk v silniční automobilové dopravě**

Podíl na tvorbě hluku vozidel, mají hned několik zdrojů hluku a vibrací, počínaje motorem vozidla a konče různými doplňky, určeným ke zlepšení jízdních vlastností vozidla a pohodlí jak řidiče, tak osádky vozidla. Zdroje hluku, které souvisí s uskutečněním pohybu vozidla, jsou většinou mezi sebou provázány.



### **2.7.3 Valivý hluk vozidla**

Valivý hluk vzniká stykem dotykové plochy pneumatiky s povrchem vozovky. V stykové ploše mezi vozovkou a povrchem pneumatiky vzniká tření a vibrace, které zapříčiní zdroj valivého hluku.

Vibrace se přenáší do pneumatiky a povrchu vozovky, poté se šíří dále do blízkého okolí. Intenzita valivého hluku závisí na konstrukci pneumatiky a geometrie podvozku vozidla. Pokud se jedná o kola vozidla, zdrojem vyzařovaného hluku vzniká zejména kontakt stykové plochy s podložkou, intenzita a frekvence jsou ovlivněny rychlostí kola, tlak v pneumatikách, vyváženost kola, počtu kol a zatížení vozidla.

### **2.7.4 Aerodynamický hluk vozidla**

Tento hluk je zapříčiněn prouděním vzduchu a vytváření se turbulencí kolem karosérie vozidla a jeho podvozku. Při zvýšení rychlosti vozidla, stoupá i hladina hluku. Nejen rychlost zvyšuje hladinu hluku, ale i čelní plocha vozidla, tvar karosérie, tvar přepravovaného nákladu.

### **2.7.5 Zdroj hluku z energetického zařízení a příslušenství vozidel**

Patří mezi primární zdroje v automobilové dopravě, dělí se na statický a dynamický hluk. V případě motorové trakce pomocí spalovacího motoru, je skladba hluku tvořena hlukem samotné spalovací části motoru, rozvodové ústrojí, příslušenství motoru jako jsou např. chladič systém (ventilátor), elektr. systém (alternátor). Dále skupina prvků zajišťující pohodlí osádky vozidla, např. klimatizace a ventilátor pro topení vozidla. Návrh pro snížení hluku může být např. výměna opotřebených rotační částí (ložiska, hřídele) nebo jejich vyvážení (ventilátory).

### **2.7.6 Hluk v závislosti na rychlosti vozidel**

Pohybem vozidel jak už je známo vzniká hluk, rychlost vozidel má významný podíl na druhu vyzařovaného hluku. V obecných zásadách platí, že při nízké rychlosti vozidla přibližně při  $30 \text{ km.h}^{-1}$  převažuje valivý hluk, při střední rychlosti vozidla přibližně  $60 \text{ km.h}^{-1}$  dominuje hluk motoru, při vysokých rychlostech např.  $200 \text{ km.h}^{-1}$  převažuje aerodynamický hluk.

## **2.8 Základní poznatky o vnímání zvuku**

### **2.8.1 Frekvenční rozsah lidského ucha**

Lidské ucho vnímá zvuk v rozsahu frekvencí asi od 16 Hz do 20 000 Hz. Uvádí se však, že spolehlivý sluchový vjem vzniká až při 32 Hz. S přibývajícím věkem dochází postupně ke ztrátě slyšení vysokých tónů až přibližně po 10 000 Hz. Nejcitlivější je ucho ve frekvenční oblasti kolem 1 000 Hz, což odpovídá frekvenčnímu rozsahu lidské řeči [3].

Podle autora [7] významným zdrojem rozmrzelosti je i nízkofrekvenční hluk (tedy takový, v jehož spektrálním složení převládají frekvence přibližně do 200 Hz, percepčně charakterizovatelný jako „dunivý“). Dle autorů [8] dokonce uvádějí, že stížnosti na tento typ hluku (vyskytující se u zdrojů jako jsou větráky, ventilační systémy, tepelná čerpadla a těžké automobily) tvoří 71% všech stížností. Jejich terénní studie prokázala významně vyšší rozmrzelost v oblastech s nízkofrekvenčním hlukem ve srovnání s oblastmi charakterizovanými hlukem s převahou středních frekvencí, a to při srovnatelných hladinách hluku dB (A). Také autoři [9] v laboratořích podmínkách ukázali, že hluk s vyšším zastoupením nízkých frekvencí způsobuje vyšší rozmrzelost.

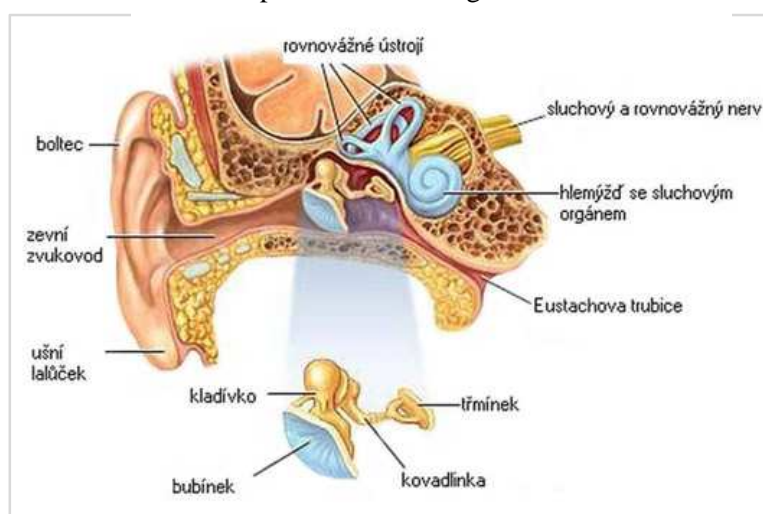
## 2.8.2 Oblast slyšení

Oblast slyšení je vymezena prahem slyšení a prahem bolesti. Aby byl zvuk slyšitelný, musí jeho intenzita, resp. akustický tlak, dosáhnout určité prahové hodnoty (práh slyšení), která je frekvenčně závislá. Při zvyšování intenzity zvuku dospějeme k takové hodnotě intenzity (práh bolesti), při níž se objevuje bolestivý vjem, taktéž do jisté míry frekvenčně závislý. Všechny slyšitelné zvuky leží mezi prahem slyšení a prahem bolesti [3].

## 2.8.3 Fyziologie sluchového smyslu

Zvuky přecházejí do vlastního smyslového ústrojí (Cortyho orgán ve vnitřním uchu), nejprve procházejí v tzv. zevním a pak středním uchem. Zevní ucho je tvořeno boltcem a zvukovodem, který je ukončen tzv. bubínkem. Bubínek (membrána tympani) kmitá ve stejné frekvenci, s jakým kmitočtem přichází zvukový stimulus a předává tento stimulus (frekvenci), dál, a to prostřednictvím tří na sebe navazujících kůstek středního ucha. Jde o kladívko, kovádlínku a třmínek. Impulsy (frekvence) se přenáší, aniž by se zkreslily, na tzv. oválné okénko. Prostor středního ucha je spojen s nosohltanem, Eustachovou trubicí, všechny sluchové prvky jsou znázorněny podle autora [10] na (Obr. 10). To je velmi důležité, protože tímto kanálem je vyrovnáván tlak ve vnitřním uchu s tlakem atmosférickým nedochází k deformaci bubínku [11].

Obr. 10 Popis sluchového orgánu



Zdroj: Operativa. *Krajské nemocnice T. Bati, a. s.* [Online] 2008. [Citace: 28. 10 2011.] <http://www.kntb.cz/o-nemocnici/zdravotnicka-oddeleni/chirurgicke-obory/orl-usni-nosni-krcni/operativa-orl/>.

## **2.9 Vliv hluku na zdraví člověka**

Jak už bylo řečeno v první kapitole, hluk je nežádoucí zvuk, který je ve většině případů vyprodukovan civilizační společností. Vědecké studie hluku dokazují, že hluk má negativní účinky na lidské zdraví. Hlavní funkcí sluchového orgánu je varovný systém pro lidský organizmus. Lidský organizmus reaguje na každý hluk jako varovný signál a spouští celou řadu mechanismů [8].

Při reakci na hluk dochází např. [12]:

- zvýšení krevního tlaku,
- zrychlení tepu,
- stažení periferních cév,
- zvýšení hladiny adrenalinu,
- ztrátám hořčíku.

## **2.10 Zdravotní účinky hluku [13]**

Za dostatečně prokázané nepříznivé zdravotní účinky hluku je v současnosti považováno poškození sluchového aparátu, vliv na kardiovaskulární systém, obtěžování a rušení spánku a nepříznivé ovlivnění osvojování řeči a čtení u dětí.

### **2.10.1 Poškození sluchového aparátu**

Podstatou poškození sluchového aparátu jsou z fyziologického hlediska zprvu přechodné a posléze trvalé funkční a morfologické změny smyslových a nervových buněk Cortiho orgánu vnitřního ucha. Poškození sluchu je dostatečně prokázano u pracovní expozice hluku v závislosti na výši ekvivalentní hladiny hluku a trvání let expozice. Riziko sluchového postižení existuje i u hluku v mimopracovním prostředí při různých činnostech spojených s vyšší hlukovou zátěží - např. u lidí žijících v těsné blízkosti frekventovaného letiště nebo velmi rušných komunikací.

Epidemiologické studie prokázaly, že u více než 95 % exponované populace nedochází k poškození sluchového aparátu ani při celoživotní expozici hluku v životním prostředí a aktivitách ve volném čase při 24 hodinové ekvivalentní hladině do 70 dB. Nelze však zcela vyloučit možnost, že by již při nižší úrovni hlukové expozice mohlo dojít k malému sluchovému poškození u citlivých skupin populace, jako jsou děti, nebo osoby současně exponované i vibracím nebo ototoxickým lékům či chemikáliím. Je též známé, že zvýšená hlučnost v místě bydliště přispívá k rozvoji sluchových poruch u osob profesionálně exponovaných rizikovým hladinám hluku na pracovišti. Sluchové poškození může nezanedbatelně zvyšovat dlouhodobý poslech velmi hlasité reprodukované hudby (např. častá účast na diskotékách nebo koncertech).

### **2.10.2 Poruchy spánku**

K dalším velmi nepříjemným zdravotním účinkům hluku patří nepříznivé ovlivnění spánku. Prokazatelně se projevuje obtížemi při usínání, probouzením, alterací délky a hloubky spánku, zejména redukcí REM fáze spánku. Může docházet ke zvýšení krevního tlaku, zrychlení srdečního pulsu, arytmiím, vasokonstrikci, změnám dýchání. Efekt narušeného spánku se projevuje i následující den např. rozmrzelostí, zhoršenou náladou, snížením výkonu, bolestmi hlavy nebo zvýšenou únavností. Objektivně bylo prokázáno i zvýšení spotřeby sedativ a léků na spaní. Senzitivní skupinou populace jsou starší lidé, pracující na směny, lidé s funkčními a mentálními poruchami, osoby s potížemi se spaním. Na rušení spánku hlukem nedochází v hlučných lokalitách k adaptaci obyvatel ani po více letech.

### **2.10.3 Vliv hluku na kardiovaskulární systém**

Ovlivnění kardiovaskulárního systému bylo prokázáno v řadě epidemiologických a klinických studií u populace (včetně dětí) žijící v hlučných oblastech kolem letišť, průmyslových závodů nebo hlučných komunikací. Akutní hluková expozice aktivuje autonomní nervový a hormonální systém a vede k přechodným změnám, jako je zvýšení krevního tlaku, tepu a vasokonstrikce.

Po dlouhodobé expozici se u citlivých jedinců z exponované populace mohou vyvinout trvalé účinky, jako je hypertenze a ischemická choroba srdeční. Všeobecný závěr WHO je, že kardiovaskulární účinky jsou spojeny s dlouhodobou expozicí ekvivalentní hladině hluku v rozmezí 65 - 70 dB a více, pokud jde o letecký nebo dopravní hluk. Avšak tato asociace je slabá a je poněkud silnější pro ICHS než pro hypertenzi. Nicméně i toto malé riziko je potencionálně závažné vzhledem k velkému počtu takto exponovaných osob. Na základě některých epidemiologických studií je odhadována míra relativního rizika kolem 1,5 pro hypertenzi a ICHS u lidí exponovaných denní ekvivalentní hladině hluku mezi 70 - 80 dB.

#### **2.10.4 Hluk a duševní onemocnění**

Nepředpokládá se, že by hluk mohl být přímou příčinou duševních nemocí, ale patrně se může podílet na zhoršení jejich symptomů nebo urychlit rozvoj latentních duševních poruch. Zvýšená citlivost vůči rušivým účinkům hluku může být indikátorem subklinické duševní poruchy.

#### **2.10.5 Obtěžování hlukem**

Obtěžování hlukem je nejobecnější reakcí lidí na hlukovou zátěž. Je dáno jednak fyzikálními vlastnostmi zvuku (intenzita, frekvence a délka expozice) a dále je velmi ovlivněno tzv. osobnostními charakteristikami příjemce. V populaci je cca 10% velmi senzitivních vůči hluku a naopak 10% nadměrně tolerantních a pro 80% populace platí, že se zvyšující se hlučností roste adekvátně i kvantita odpovědi (pocit rozmrzelosti a obtěžování). Při působení hluku jsou velmi důležité i vlivy neakustické: sociální, psychologické faktory a faktory ekonomické povahy, což potvrzují různé výsledky studií, které prokazují u stejných hladin hluku rozdílný efekt u exponované populace.

#### **2.10.6 Vliv hluku na celkovou nemocnost**

Zvýšení celkové nemocnosti bylo zjištěno v řadě epidemiologických studií u souborů obyvatel, exponovaných neprofesionálně vysokým hladinám hluku. Nejpravděpodobnějším vysvětlením tohoto jevu je důsledek působení chronického

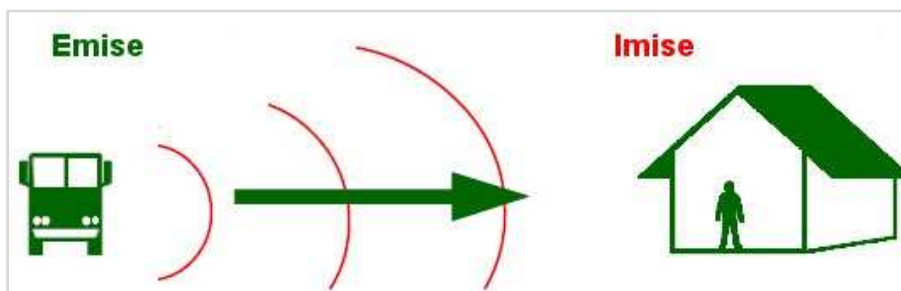
stresu. Může jít o poruchy krevního tlaku, ICHS, některá onemocnění zažívacího traktu, zánětlivá onemocnění, nižší odolnost vůči infekci. Bylo zjištěno, že k rozdílům v nemocnosti docházelo až po delší době strávené v hlučném prostředí u cévních onemocnění až po 5 - 10 letech, u nervových onemocnění po 8 - 10 letech expozice.

## 2.11 Hlukové emise a imise [14]

Podstatou rozlišování mezi emisemi a imisemi hluku tvoří vazba, kterou má hluk ke zdroji, jež ho vyvolává, či vazba hluku k místu jeho příjmu. Zabýváme – li se charakteristikami akustické energie, kterou generuje nějaký zdroj hluku, jenom ve vztahu ke zdroji hluku) nezávislé na tom, jakými akustickými parametry tuto akustickou energii popisujeme), jde o hlukové emise. Pokud nás zajímá akustická energie v místě příjmu příjemcem, jde o hlukové imise. Názorný příklad můžeme vidět na (Obr. 11).

Je zřejmé, že hlukové emise jsou nezávislé na kvalitách okolního prostředí. V případě hlukových imisí je to však jinak. Velikost akustické energie v místě jejího příjmu příjemcem závisí jednak na:

Obr. 11 Hluková emise a imise



- a) hlukových emisích zdroje,
- b) způsobu šíření akustické energie z místa jejího vzniku k místu jejího příjmu příjemcem.

## 2.12 Měření akustických imisí [15]

Metody měření a hodnocení hluku v místě pobytu osob jsou legislativně zabezpečeny vyhláškou č. 13/1997 Sb. O ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Směrnice, jimiž se stanoví způsob měření a hodnocení hluku a ultrazvuku v pracovním prostředí, (Směrnice č. 42), směrnice, jimiž se stanoví způsob měření a hodnocení hluku ve stavbách pro bydlení, ve stavbách občanského vybavení a ve venkovním prostoru (Směrnice č. 43) a směrnice, jimiž se stanoví způsob měření a hodnocení hluku z leteckého provozu (Směrnice č. 44), jsou částí této vyhlášky. Od roku 1992 je v platnosti norma ČSN ISO 01 1621, část 1, 2, 3. Popis a měření hluku prostředí, která stanoví základní veličiny pro popis hluku v mimo pracovním prostředí a doporučuje základní postupy pro jejich stanovení. Norma ČSN ISO 3740 stanoví metody měření hlukových charakteristik strojů, technologických zařízení a jiných výrobků a také popisuje metody měření hluku v místech pobytu osob. Určuje obecné principy použití metod měření hluku a měřené veličiny, které jsou nutné pro získání informací o hluku, hodnocení hladin hluku a provedení opatření pro jeho snižování.

Při měření akustických imisí zjišťujeme údaje, které jsou významné z hlediska posouzení působení hluku na člověka a při hodnocení akustické kvality prostředí. Jsou to zejména hladina akustického tlaku  $A-L_{pA}$ , její časový průběh, ekvivalentní hladina akustického tlaku  $A-L_{Aeq}$ , frekvenčního složení hluku, impulsivní a neimpulsivní charakter hlukového signálu, charakter akustického pole apod. Výsledky měření se používají pro obecnou situaci o hlukové situaci v místech pobytů osob, pro srovnání nadměrných hodnot s přípustnými hodnotami uvedenými v hygienických předpisech [16], v normách a jiné dokumentaci a v neposlední řadě také ke zhodnocení účinnosti plánovaných a realizovaných opatření ke snížení hluku v budovách i vnějším prostředí.

Metody měření akustických imisí se stanovují s ohledem na:

- účel měření,
- místo měření (venkovní prostor, uvnitř budovy, pracovní prostředí),



- požadovanou přesnost měření,
- dobu trvání hluku,
- charakter hluku (časový průběh, kmitočtové složení),
- charakter zvukového pole (pole přímých vln, pole odražených vln),
- hluk pozadí,
- fyzikální vlastnosti šířeného prostředí (rychlost větru, teplota, vibrace, elektromagnetické pole apod.).

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

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

### **2.13 Zaznamenané hodnoty o měření akustických imisí**

U každého měření hluku v lokalitách pobytu osob, nebo v pracovním a mimopracovním místě je nezbytně nutné vhodným způsobem zaznamenat aktuální podmínky měření i dostatečné množství naměřených údajů. Zpravidla ze záznamů je vytvořen protokol o měření.

Podle autora [15] v záznamu by mělo být:

- název, místo, datum, měření, jména osob provádějících měření,
- seznam použitých norem nebo předpisů,

- seznam použitých měřících přístrojů,
- charakteristika zdrojů hluku,
- charakteristika prostoru měření včetně rozměru, akustických úprav, cest šíření hluku apod.,
- popis měřících míst,
- charakter zvukového pole,
- údaje o povaze hlukového signálu,
- hluk pozadí,
- doba měření, doba trvání hluku, doba měřících intervalů,
- fyzikální a atmosférické podmínky při měření.

## **2.14 Zásady pro měření akustických imisí ve venkovních prostorech**

U měření hluku ve venkovním prostoru např. mezi obytnými budovami, na veřejných místech apod. se většinou měří na jednom nebo více místech, kdy v určitých lokalitách se zdržuje větší počet lidí, nebo v případě kdy hluk nejvíce obtěžuje lidi a v lokalitách, které jsou hlavní pro šíření hluku do chráněného místa. Je-li rozdíl hladin akustického tlaku  $A$  mezi sousedními měřícími místy větší jak 5 dB, je třeba počet měřících míst zvýšit [15]. U zpracování a vyhodnocení hlukové zátěže obytných budov je důležité místo před omítkou budovy, v níž jsou bytové jednotky. Měřicí přístroj (mikrofon) upevněný na stativu se umístí před zavřená okna ve vzdálenosti min. 2 m od fasády směrem ven z budovy, kolmo na stěnu budovy tak, aby osa nejvyšší citlivosti směřovala k hlavnímu zdroji hluku.

Je-li zdrojem hluku hluk z leteckého provozu, volí se měřící místa minimálně 2 m od obvodových stěn objektů a mikrofon ve výšce nejméně 1,5 m

nad povrchem okolí se orientuje tak, aby hlavní osa citlivosti mikrofonu byla vertikální a směřovala vzhůru [15].

Dle autora [17] je-li zdrojem hluku automobilová doprava, volí se měřicí místa minimálně 2 m od fasády objektů a mikrofon je umístěn 1,5 - 3 m nad povrchem vozovky z důvodu stínění hluku chodcem. Orientace mikrofonu je umístěna tak, aby hlavní osa citlivosti byla v horizontální poloze.

## **2.15 Současný stav**

### **2.15.1 Normy, předpisy, směrnice pozemního dopravního hluku**

V současnosti legislativní úprava nařizuje povinnost nepřekročení předepsaných hlukových limitů, dále předepisuje stanovený postup při porušení těchto legislativních nařízení. Ochranná opatření stanovená zákonem obsahují tzv. strategické hlukové mapování.

Limity hluku, výpočet a také samotné měření je náplní vládního nařízení č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací dříve předpis 148/2006 Sb.

Uvedené zákony nejsou kompletní legislativou zabývající se hlukovou problematikou pro dopravní hluk, ale je zde řada zákonů, které nejsou v kapitole podrobně popsány jako např.:

- Zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů. Součástí tohoto zákona jsou paragrafy § 30 až § 34, které se zabývají ochranou před hlukem, vibracemi a neionizujícím zářením.
- Zákon č. 222/2006 Sb. o integrované prevenci a omezování znečištění, o integrovaném registru znečišťování a o změně některých zákonů (zákon o integrované prevenci).
- Zákon 561/2006 Sb. seznam aglomerací pro účely hodnocení a snižování hluku.

- Vyhláška 523/2006 Sb. o hlukovém mapování.
- ČSN EN 1793 – 3:1998 (73 7060) Zařízení pro snížení hluku silničního provozu – Zkušební metody stanovení akustických vlastností – Část 3: Normalizované spektrum hluku silničního provozu.
- ČSN ISO 1996 – 3:1993 (01 1621) Akustika – Popis a měření hluku prostředí – Část 3. Použití při stanovení nejvyšších přípustných hodnot hluku.

Směrnice EU 2002/49/ES pro hodnocení a řízení hluku ve venkovním prostředí vznikla v reakci na neuspokojivý a neefektivní přístup jednotlivých členských zemí k řešení hlukové politiky. Směrnice má snahu sjednotit postup všech členských států. Má za úkol poskytovat metodiku pro zjišťování hlukové zátěže, umožňuje výměnu získaných informací mezi jednotlivými členy a rovněž obsahuje doporučení pro zavedení hlukového mapování a zlepšení informovanosti obyvatelstva o jejich hlukové situaci. Směrnice rovněž zavádí jednotné hlukové indikátory environmentálního hluku a harmonizovanou metodiku pro jeho hodnocení [18].

Tato směrnice má za cíl snížit nepříznivý vliv environmentálního hluku na člověka.

### **2.15.2 Stará hluková zátěž**

Starou hlukovou zátěží se rozumí stav hlučnosti způsobený silniční a železniční dopravou, který nastal před koncem roku 2000. Speciální limit pro starou hlukovou zátěž byl stanoven proto, aby se především v okolí hlavních silnic dosáhlo snadného splnění limitu bez nutnosti zásadních stavebních úprav a nákladných investic. Pomineme-li, že i vysoký limit 70 dB je u mnoha silnic trvale překračován, jedná se o hazardní hru se zdravím obyvatel. Podle odborných zdravotnických vyjádření totiž hluk na úrovni 70 dB má již trvalé negativní účinky na zdraví [19].

### **2.15.3 Problematika s hlukovou zátěží v ČR [20]**

V největších českých a moravských městech, jmenovitě v Praze, Brně a Ostravě, žije deset procent lidí v oblastech, kde jsou překračovány hlukové limity. V některých menších obcích se jedná až o čtvrtinu obyvatel. I to je jeden ze závěrů zprávy o kvalitě životního prostředí v České republice za rok 2010, kterou schválila vláda.

V některých obcích je nadměrným hlukem, který pochází hlavně ze silniční dopravy, zatížena i víc než čtvrtina lidí, což ovlivňuje kvalitu života v těchto obcích a komplikuje jejich další rozvoj, konstatuje zpráva, kterou kabinetu předložil ministr životního prostředí Tomáš Chalupa.

Dáno je to především tím, že ve vesnicích a malých městech stojí část domů hned u frekventovaných silnic.

V okolí hlavních silnic, kde je nadměrný hluk, žije v ČR v průměru cca 600 lidí na 1 kilometr komunikace, což je zhruba dvojnásobná hodnota, než je průměr zemí Evropské unie. Resort v této souvislosti připravuje s ministerstvem zdravotnictví nový protihlukový zákon.

### **2.15.4 Náklady spojené na řešení protihlukových opatření v ČR**

V současné době patří Česká republika mezi státy, které mají nejpřísnější podmínky týkající se protihlukových opatření v blízkosti dopravních komunikací. Odpovědnost nesenou za provoz komunikace, tedy v našem případě budování protihlukových opatření, spadá na vlastníka komunikace. V případě dálnic, rychlostních komunikací a silnic I. tříd, je majitelem Ředitelství silnic a dálnic Č. R. Kraj nese zodpovědnost za silnice II. a III tříd. V současné legislativa neumožňuje žádný podíl spoluúčasti občanů a vše hradí státní správa. Každý z občanů má právo na ochranu zdraví z veřejných financí a spousta obyvatel práva využívá.

V případě nových staveb je tato problematika řešena standardem především v podobě výstavbou protihlukových stěn. Sporadicky se objevují místa kde u staré hlukové zátěže je stát povinen v relativně krátké době, řádově pár

roků, vyřešit všechny trasy z dřívějších dob např. Marie Terezie. Jedná-li se o komunikaci, která prochází středem historického města či obce, není možné z praktického hlediska výrazně snížit hlukovou zátěž pro obyvatele oblastí.

Výstavba protihlukových stěn není v zástavbě mnohdy možná, protihluková okna nejsou také vždy stoprocentním řešením. Takové případy lze prakticky řešit pouze převedením tranzitních tras mimo obce. Tato snaha v průběhu doby probíhá, ovšem jednorázová výstavba obchvatů všech postižených lokalit není reálná, finanční náklady jsou obrovské, administrativní příprava trvá i více jak deset let do začátku stavby. V poslední době, kdy nám leckde končí časově omezené výjimky k provozování silnic, kdy se nám ze státního rozpočtu nedostává financí na průběžné řešení nastalé situace a kdy je zároveň věc takto legislativně řešena, popisuje autor odborného článku [21].

Odhadem Ředitelství silnic a dálnic, budou náklady ve spojení na vyřešení staré hlukové zátěže v oblasti hlavních komunikací a dálnic, řádově v desítkách miliard korun.

#### **2.15.5 Hluk a lidé v číslech [19]**

- až **40% evropské populace** je vystaveno takové míře hluku, která může způsobit škody na zdraví,
- **100.000.000 obyvatel** EU je zasaženo nadlimitním hlukem přesahujícím 65 decibelů,
- škody způsobené hlukem v rámci Evropské unie se odhadují na **13 až 28 miliard euro**,
- v **Praze** je nadlimitním hlukem zasaženo kolem **7,6 % obyvatel**, tedy **přes 90.000 lidí**,
- asi **200.000 obyvatel Berlína** žije v ulicích, kde jsou **překročeny limity pro hluk**,

- dle nedávných studií je **kvůli hluku z dopravy v Dánsku ročně hospitalizováno 800 - 2200 osob** a dochází ke **200 - 500 samovolným potratům**,
- v Evropě je dlouhodobý vliv dopravního hluku příčinou tří procent všech úmrtí na srdeční selhání.

## **2.16 Strategické hlukové mapování [22]**

### **2.16.1 Startegická hluková mapa**

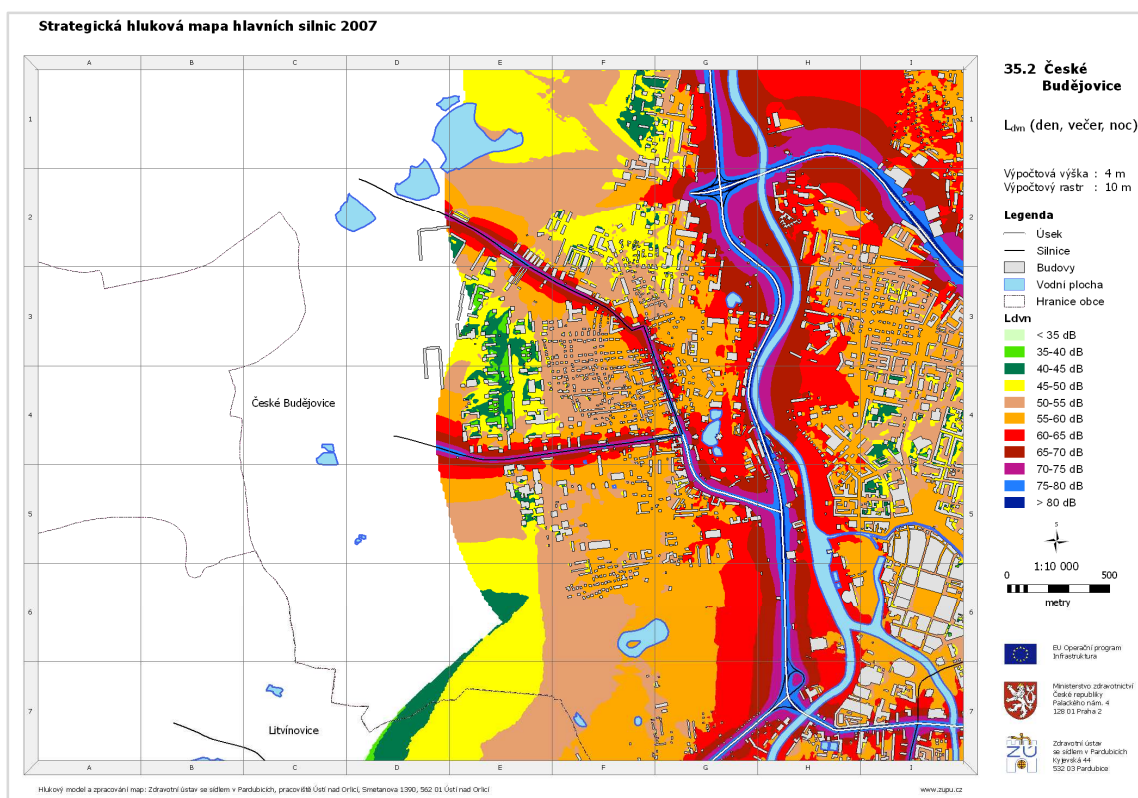
Strategická hluková mapa je hlukovou mapou plošného typu, jejíž výstupy a velikost zpracovaného území odpovídá cíli zpracování tohoto materiálu, a sice že mapa má být podkladem pro strategické rozhodování a řízení hluku v území, a tedy prioritním podkladem pro zpracování akčních hlukových plánů.

Strategická hluková mapa nejen graficky, ale i v textové a tabulkové podobě prezentuje s použitím hlukového ukazatele  $L_{dvn}$  a  $L_n$  údaje o stávající hlukové situaci a ukazuje překročení příslušné dohodnuté mezní hodnoty, počet zasažených osob v uvažovaném hlukovém pásmu nebo počet obydlí, škol, nemocnic apod. vystavených hodnotám hlukového ukazatele v řešené oblasti. Strategická hluková mapa je vždy vypracována pro data předcházejícího roku, než je stanoven termín dokončení. Jako základních vstupních údajů bylo použito oficiálního sčítání dopravy z roku 2010 (ŘSD ČR) a pro intenzity v roce 2012 mělo být použito růstových koeficientů vydaných ŘSD ČR. Za správnost těchto vstupních údajů zodpovídá zadavatel a zpracovatelé strategických hlukových map.

Strategická hluková mapa je vypracována tak, aby dokumentovala hlukovou situaci v pásmech po 5 dB. Struktura textové i grafické části vychází ze základních požadavků specifikovaných přílohou č. 2. vyhlášky č. 523/2006 Sb. Ukázku hlukové mapy můžeme vidět na části mapy Českých Budějovic na (Obr. 12).

Hlavní úlohou strategické hlukové mapy by mělo být vytvoření kvalitního podkladu pro stanovení kritických míst tzv. „hot spots“ v území, tzn. stanovení lokalit, kde dochází k překračování mezních hodnot v některém ze zvolených ukazatelů ve vztahu k počtu osob.

Obr. 12 Strategická hluková mapa části Českých Budějovic



Zdroj: Hlukové mapy. Ministerstvo zdravotnictví. [Online] 3. 2 2007. [Citace: 22. 2 2012.]  
[http://hlukovemapy.mzcr.cz/image.aspx?obr=Mapy/Silnice/JC\\_Ldvn/CeskeBudejovice%201\\_10000\\_2%20Ldvn.png](http://hlukovemapy.mzcr.cz/image.aspx?obr=Mapy/Silnice/JC_Ldvn/CeskeBudejovice%201_10000_2%20Ldvn.png)

### 2.16.2 Akční hlukový plán

Cílem směrnice 2002/49/ES je na základě stanovených priorit definovat společný přístup k prevenci nebo omezení škodlivých, či obtěžujících účinků hluku ve venkovním prostředí.



Akční hlukový plán je tedy podkladem pro řízení postupů při vytváření budoucí akustické situace pomocí plánovaných opatření v rámci územního plánování, inženýrských opatření v oblasti dopravních systémů, plánování dopravy, snižování hluku ochrannými protihlukovými opatřeními a řízením oblasti zdrojů hluku.

Poslání akčního plánu je tedy snížení počtu zasažených obyvatel. Akční hlukový plán má jednoznačně charakter strategického dokumentu nad globálními daty a jeho náplň je taxativně specifikována ve vyhlášce č. 523/2006 Sb., v příloze č. 3.

Výstupní data z hlukového mapování jsou důležité pro další kroky odstraňování hlukové zátěže. Dle evropské legislativy mají na strategické hlukové mapy přímou návaznost akční hlukové plány, které obsahují nástroje na vyřešení situace v lokalitách, kde při hlukovém mapování bylo zjištěno překročení limitních hodnot hluku. Důležitou součástí akčních hlukových plánů je následné opatření pro snížení hlukové zátěže v postižené lokalitě (ulice, čtvrt) a podrobný časový plán. Důležitým faktem je, že při zpracování akčních hlukových plánů musí být zapojena veřejnost.

## **2.17 Protihluková opatření v silniční dopravě**

Velká většina protihlukových opatření, která jsou upřednostněna v jiných státech Evropské unie potřebují nejen systémové přístupy, ale i pomoc státu resp. odpovědných institucí a úřadů. Můžou to být zásahy typu územní plánování obcí, systémy nadregionálního i regionálního dopravního řešení, regulační prvky dopravy, požadavky na vozidla, které mají nižší emisní hlukové parametry.

Druhy protihlukových opatření ze silniční dopravy obsahují jak opatření u zdroje hluku či na dráze šíření hluku a u příjemce resp. na objektech jako jsou např. budovy.

Základní přístupy na protihluková opatření lze strukturovat následovně:

- a) urbanisticko – architektonická opatření,

- b) urbanisticko – dopravní opatření,
- c) dopravně – organizační opatření,
- d) stavebně – technická opatření.

Ne všechna opatření však může realizovat a ovlivňovat provozovatel zdroje hluku, resp. pořizovatel akčního plánu. Řadu opatření je třeba řešit systémově a ovlivňovat je v rámci dalších legislativních kroků, a to v rámci různých rezortů, tedy i mimo rezort ministerstva dopravy (např. Ministerstvo pro místní rozvoj – zásady územního plánování), ministerstvo životního prostředí (hodnocení záměrů na ŽP) apod.

### **Urbanisticko – architektonická opatření**

Hlavní zásady opatření se mohou uplatňovat právě v rámci územního plánování:

- 1) komplexní řešením obytných souborů z hlediska funkčního uspořádání – vhodná je např. bloková zástavba,
- 2) plánování nové chráněné zástavby v dostatečné vzdálenosti od hlavních pozemních komunikací.

### **Urbanisticko – dopravní opatření**

Navrhovaný systém dopravního řešení by měl preferovat:

- 1) nové trasy komunikací vést vždy v dostatečné vzdálenosti od chráněných budov,
- 2) vyloučit či minimalizovat tranzitní dopravu z centra a obytných území,
- 3) vyloučit těžkou nákladní dopravu v blízkosti obytných souborů,
- 4) organizovat klidové zóny s vyloučením automobilové dopravy a s časově omezeným vjezdem vozidel pro zásobování v centrálních částech města a sídel.

## **Dopravně – organizační opatření**

### *Omezení rychlosti všech nebo jen nákladních vozidel*

Redukce jízdní rychlosti je účinným regulačním opatřením pro dopravní hluk. Lokální omezení rychlosti jsou však účinná z hlediska hluku pouze a jen tehdy, jsou – li uplatňována bez opatření, která zvyšují akceleraci vozidel. Při uplatňování tohoto opatření je však vždy nutné zajistit plynulost dopravy a podpořit neagresivní styl jízdy řidičů. Vedle rychlostních limitů lze však rychlost účinněji redukovat technickými opatřeními např. umělým zúžením, komunikací, případně směrovým zbržděním vozidel na vjezdu do obcí, příčné pruhy pro důraznější uvědomění si rychlosti, případně použití příčných retardérů apod. Velmi účinné se jeví poměrový monitoring rychlosti apod. Těmito opatřeními lze dosáhnout redukce hluku o přibližně 2 – 3 dB.

Pokles dopravní intenzity na polovinu přináší znatelný pokles hladiny hluku, a to až o 3 dB. Pokles hladiny akustického tlaku až o -10 dB může způsobit odklon až přibližně o 90% dopravy – obchvatové komunikace.

## **Stavebně – technická opatření**

Vhodná řešení, která snižují hlučnost zdroje hluku jsou :

### Opatření u zdroje hluku

- 1) zabezpečení podmínek pro plynulý pohyb vozidel,
- 2) budování krytů vozovky ze speciálních asfaltů. Problematika nízkohlučných povrchů je v současnosti předmětem řady významných projektů, a však zatím stále ještě s velmi rozporuplnými výsledky. Nízkohlučné povrchy mívají nižší životnost a také dochází k rychlejší degradaci jejich akustických vlastností, především v důsledku zanášení mezer nečistotami. Efekt nízkohlučného povrchu se efektivněji uplatňuje až od vyšších rychlostí jízdy, tzn. přibližně nad 60 km.h<sup>-1</sup>,
- 3) vedení tras zářezu, tunelem, galerií.

### Opatření na dráze šíření hluku

Akusticky neprůzvučné překážky postavené na dráze, šíření zvukových vln, vytváří za překážkou akustický stín a tím redukuje hladiny akustického tlaku za překážkou. Vhodným řešením je vytváření překážek typu: protihlukové clony, zemní valy, hmotné objekty. Protihlukové clony mohou redukovat v závislosti na jejich geometrických vlastnostech a morfologii terénu hladiny akustického tlaku až o 15 dB. Je používána celá řada různých druhů materiálů a různých druhů konstrukcí. Opatření tohoto typu lze v současnosti velmi přesně namodelovat a zjistit tak jeho akustický efekt pomocí výpočtových metod. To však vyžaduje zadání velmi přesných vstupních údajů.

## **3 Metodika**

Metodika měření slučuje měřící řetězce pro určení hlukové zátěže. Samotným výstupem měřených veličin je ekvivalentní hladina akustického tlaku  $L_{Aeq}$  [dB].

### **3.1 Cíl metodiky**

Cílem této metodiky je vypracovat návod na měření hlukových ukazatelů. Nezbytnou součástí této metodiky je měření klimatických podmínek místa měření a to teploty vzduchu, tlaku vzduchu, relativní vlhkosti vzduchu, rychlosti a směru proudění vzduchu. Praktické měření vychází ze základů a zásad, které vychází ze sbírky předpisů – nařízení vlády podle § 108 odst. 3 zákona č. 258/200 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, vyhlášky 523/2006 SB., kterou se stanoví limity hlukových ukazatelů, jejich výpočet a základní nárok na obsah strategických hlukových map (vyhláška o hlukovém mapování) a jsou ve spojení s § 25 vyhlášce č. 137/1998 o obecných technických požadavcích na výstavbu.

Zdroje hluku vyzařované dopravními prostředky závisí na několika faktorech. Tyto faktory je nezbytně nutné při měření identifikovat, z hlediska

návrhu protihlukových opatření. U této metodiky měření je nutné reagovat na výběr měřicího místa, určení skladby projíždějících vozidel a určení intenzity dopravy, popis pohybu vozidel a vlastnosti povrchu vozovky.

### 3.2 Záměr měření

Účelem měření hluku v silniční dopravě je získání objektivních informací o reálném hluku vyprodukovaném dopravními vozidly v silniční dopravě, při přejezdu zpomalovacího příčného prahu v závislosti na intenzitě provozu (denní doba v přesně stanovených intervalech), při přejezdu dopravních vozidel po stejné komunikaci (ulici), kde není instalován příčný zpomalovací práh za stejných klimatických podmínek

Tento zvolený postup spěje k určování emisí hluku dopravních vozidel v silniční dopravě tak, aby byly získány spolehlivé výsledky s běžnou třídou přesnosti. Znamená to, že pro nás platí druhý řádek od shora v (Tab. 2), kdy stačí měřit v určeném časovém rozpětí a minimální dobu měření. Pro přesnější získání dat bylo stanoveno měření po 180 min. a drobnou úpravou doby měření.

Tab. 2 Doby měření pro běžnou třídu přesnosti

Intenzita provozu	T [h]	T [min]	T [h]	T [min]
	Denní doba			
méně než 720	6.00 - 14.00	480	14.00 - 22.00	480
720 - 2400	8.00 - 12.00	60	13.00 - 17.00	60
2401 - 12 000	8.00 - 12.00	30	13.00 - 18.00	30
12 001 a více	7.00 - 12.00	15	12.30 - 19.00	15

Zdroj: Smetana, Ctirad. *Hluk a vibrace, Měření a hodnocení*. Praha : Sdělovací technika, 1998. str. 188. ISBN 80-90 1936-2-5.

### 3.3 Významnost výsledků naměřených hodnot

Výstupní naměřené hodnoty jsou nezbytně nutné k vyhodnocení specifických lokálních podmínek na emise hluku a pro samotné uskutečnění protihlukových opatření a jejich snížení v souladu se zákonem č. 258/200 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. U výsledků naměřených

hodnot, pořízené v rozdílných místních podmínkách lze následně vypracovat návrh protihlukových opatření.

Protihluková opatření v silniční automobilové dopravě mají prokazatelně příznivé výsledky a jde je poměrně snadno aplikovat. Pokud se jedná o imise, zřejmě mají i ekonomické výhody.

### **3.4 Terminologie určená k vyjádření podílu na původu hluku**

#### **Charakter hluku**

Záleží na časovém průběhu a kmitočtovém složení, následně se dělí na různé hlukové povahy:

- *hluk ustálený*

Je takový hluk, který je ustálený v časovém sledu a jeho hladina se neliší víc než o 5 dB (A),

- *hluk proměnný*

Na rozdíl od ustáleného hluku, proměnný má větší změny velikosti více než 5 dB (A),

- *vysokofrekvenční hluk*

Může být zapříčiněn nežádoucími účinky způsobené např. vibracemi, větrem, magnetické pole atd.

- *impulzivní hluk*

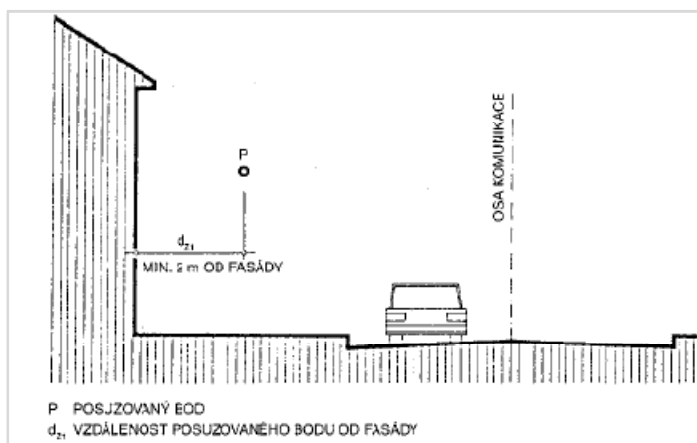
Vzniká samostatnými impulzy nebo sérií impulzů 1 až 200 ms dlouhých, s intervaly mezi pulzy delšími než 10 ms.

### 3.5 Okolnosti závislé na prostředí dané lokality

#### 3.5.1 Význam okolního terénu

Zejména okolí terénu a jeho vlastnosti mají důležitý dopad na šíření hluku do okolí. Vlastnost terénu, otevřeného prostoru, zástavby určuje pohlcování zvukových vln, případně jejich odrazení od překážek od okolní zástavby. Tyto faktory mají dopad na výslednou hladinu hluku. Velký podíl mají překážky v blízkosti dopravních komunikací. Podle metodiky pro výpočet ekvivalentní hladiny hluku je nutné dodržet vzdálenost 2 m od fasády [1]

Obr. 13 Dodržení vzdáleností od objektů



Zdroj: Metodika pro výpočet hladin hluku z automobilové dopravy. Ředitelství silnic a dálnic Č. R. [Online] 5. 1 2011. [Citace: 29. 12 2011.] <http://www.rsd.cz/rsd/rsd.nsf/c4036191b207fe78412566ab005dd08f/20456d08f5a75fcfc12570de004>

#### 3.5.2 Závislost na klimatických podmínkách

Úroveň hladiny hluku ovlivňují klimatické podmínky, projev klimatických podmínek zaznamenáme až při větších vzdálenostech od zdroje hluku. U menších vzdáleností se může projevit odraz zvukových vln od různých vrstev vzduchu, nebo také absorpce sněhové vrstvy. Směr lomeného zvukového paprsku míří k chladnějším vrstvám vzduchu, s tímto dějem se můžeme setkat ve volném prostoru nebo i uzavřeném objektu. U šířících se zvukových vln volným prostorem, může nastat změna směru postupující vlny vlivem unášením částic prostředí pohybem prostředí (větrem).

### **3.6 Vlastní popis metodiky měření hluku v silniční dopravě**

Z hlediska využití výstupních dat z naměřených hodnot metodiku rozdělíme na dva účelné způsoby, za účelem získání co nejvíce objektivních informací a skutečností, které budou posuzovány z hlediska legislativy a následná opatření.

#### **3.6.1 Příprava měření hluku**

*Seznam použitých měřících přístrojů:*

Hlukoměr Testo 816, měřící karta NI-9215, PC s nainstalovaným softwarem vytvořeným v programu LabView pro naše měření, kalibrátor Voltcraft SLC-100, stativ, kabel 10 m - nejlépe stíněná dvojlinka s jackem 3,5 mm a s dvoupinovým konektorem, fotoaparát Fujifilm, laserový měřič vzdálenosti Toolcraft LDM 70, meteorologická stanice Sencor.

*Seznam použitých norem, předpisů:*

ČSN EN ISO 3744, ČSN EN ISO 12001, sbírka předpisů - nařízení vlády č. 272/2011 Sb., metodika pro výpočet hluku silniční dopravy 2005.

#### **3.6.2 Stanovení měřících bodů a doby měření**

Umístění hlukoměru resp. měřícího bodu umístíme v blízkosti příčných zpomalovacích prahů 7,5 m a 15 m od osy komunikace. První měřený bod je 7,5m od osy komunikace v měřeném čase 6.00 – 8.00 hod a od 12.00 – 14.00 hod. Druhý měřený bod je umístěn 15 m od osy komunikace v měřeném čase 9.00 – 11.00 hod a od 15.00 – 17.00 hod.

Umístění bodu 3 a 4 je stejné se stejným časovým intervalem, ale liší se tím, že je umístěn v místech komunikace Na Jarově bez zpomalovacího příčného prahu.



### 3.6.3 Příprava stanoviště a samotné měření hluku

- změření vzdálenosti od osy komunikace

Ještě před tím než postavíme stativ s hlukoměrem, je nutné změřit vzdálenost od osy komunikace. Změření vzdálenosti provedeme laserovým měřičem Toolcraft LDM 70 bližší popis v níže uvedené kap.. Důležité je také změřit min. vzdálenost od fasády.

- montáž hlukoměru na stativ

Na hlukoměr připevníme pomocí šroubu destičku, která je součástí stativu. Hlukoměr s připevněnou destičkou zasuneme do stativu. Stativ rozložíme do jeho max. výšky 1,8 m.

- zapnutí a nastavení hlukoměru

Tlačítkem I/O přístroj aktivujeme. V první řadě deaktivujeme funkci automatického vypnutí tím, že při zapnutí přidržíme tlačítko *fast/slow*. Stejným tlačítkem nastavíme dobu měření a to na 125 ms. Nastavení váhového filtru provedeme tlačítkem *A/C*, v našem případě se jedná o filtr „A“, který odděluje frekvenci zachytitelnou lidským uchem. Tlačítkem *level* nastavíme měřicí rozsah 30 – 130 dB.

- kalibrace hlukoměru

Kalibrace měřícího řetězce se musí učinit vždy nejméně před zahájením měření, pro pečlivou práci je vhodné zkalibrovat přístroj i po měření, nebo dokonce i v průběhu měření. Každá změna při kalibraci oproti výchozímu nastavení napoví, zdali je nutné neměřené hodnoty opravit, nebo při značných změnách, zda jsou hodnoty uznatelné. Kalibrátor nasadíme na hlukoměr a pomocí tlačítka zapneme požadovanou kalibrační frekvenci: 114 dB. Pomocí šroubováku nastavíme na hlukoměru stejnou frekvenci.

- samotné měření hluku

Po dokončení nastavení základních funkcí hlukoměru propojíme hlukoměr s měřicí kartou, která je zapojena do PC. Karta dokáže měřit údaje až ze 4 hlukoměrů. V PC aktivujeme program Datalogger, který byl vytvořen v programu LabView pro ukládání naměřených údajů ve formátu **csv**. Grafické rozhraní programu můžeme vidět v příloze 2, Měření provádíme dle stanovených bodů a časových intervalů. V průběhu měření měříme klimatické podmínky pomocí meteorologické stanice Sencor .

#### **3.6.4 Zpracování naměřených dat**

Program Datalogger generuje naměřené hodnoty do řádků, vzorkování programu je nastaveno po 5 ms. Naměřené data jsou následně načtena do programu EXEL a zpracována pomocí statistických funkcí. Jednotlivé minuty a hodiny se zprůměrují a následně se aplikují do obecného vzorce pro výpočet ekvivalentní hladiny akustického tlaku (4.8).

#### **3.6.5 Využití dat k legislativním účelům**

Získané naměřené data akustických veličin se srovnají podle předepsaných nejvýše přípustných hodnot dle nařízení vlády č. 9/2002 Sb., tímto nařízením stanovíme technické požadavky na produkty v rámci emisí hluku příloha č. 4, stanovené hodnoty emisí pro zařízení popsané v příloze č. 1, dále nařízení vlády č. 272/2011 Sb. určující o ochraně zdraví před nežádoucími účinky hluku a vibrací.

### **3.7 Místo měření**

Místo měření se nachází v Praze 3 v ulici Na Jarově, souřadnice tohoto místa jsou: **50°5'23.060"N, 14°29'22.610"E** . Ulice je obestavěna rodinnými domy, panelovými domy a firemními objekty. Pozemní komunikace se prakticky nachází 8 m nebo také 4 m od obytných objektů. Ulice Na Jarově tvoří spojovací ulici mezi velice frekventovanou ulicí Koněvova a Malešickou ulicí. Tato skutečnost potvrzuje fakt, o velké intenzitě dopravy v ulici Na Jarově (viz blíže - kapitola intenzita

dopravy). Nedaleko od vyznačeného bodu na mapě na (Obr. 14) přibližně 200 m se nachází základní škola Jarov.

Při výběru měřeného místa jsme použili návrh dle metodiky [1] a (Obr. 13) dodržení vzdáleností od objektů.

Obr. 14 Místo měření v ulici Na Jarově



Zdroj: Mapy. Google maps. [Online] 2012. [Citace: 6. 3 2012.]  
<http://maps.google.cz/maps?q=ulice+na+jarov%C4%9B&oe=utf-8&rls=org.mozilla:cs:official&client=firefox&um=1&ie=UTF-8&hl=cs&sa=N&tab=wl>.

### **3.7.1 Poloha mikrofону**

Mikrofon byl umístěn na třínohý stativ do výšky 1,8 m blíže na (Obr. 15). Měřicí mikrofon byl orientován směrem ke komunikaci ve směru předepsaném výrobcem, čili osa nejvyšší citlivosti mikrofónu byla kolmá na podélnou osu komunikace a rovnoběžná s povrchem komunikace, výsledné umístění je dané rovinou membrány, která je umístěna rovnoběžně s dráhou vozidla pohybujících se po komunikaci. Vzhledem k možnosti povětrnostních vlivů byla na čelní stranu mikrofónu umístěna ochranná příslušenství.

Obr. 15 Poloha mikrofону



### 3.7.2 Současný stav zklidňování dopravy v ulici Na Jarově

Pod pojmem zklidňování dopravy rozumíme opatření, sloužící ke zvýšení užitné hodnoty komunikace, zlepšení životního prostředí, bezpečnosti a to zejména chodců a cyklistů na úkor doposud nadřazeného postavení automobilové dopravy - jako synonymum zklidňování dopravy by zřejmě bylo možné použít i výrazu humanizace dopravy. Hlavní snahou a úkolem zklidňování dopravy je sladit charakter uličního prostoru s funkcemi příslušné komunikace, která jím prochází. Principy zklidňování dopravy se postupně stávají součástí podkladů pro stavbu a úpravy pozemních komunikací [24].

V současné době pro zklidnění dopravy v ulici Na Jarově dominují fyzické prvky zklidňování dopravy. Primárním prvkem

Obr. 16 Příčný zpomalovací práh z montovaných dílců



pro zklidnění dopravy je zpomalovací práh, který je instalován v ulici na třech místech, jsou od sebe umístěny přibližně 300 m. Příčný práh je v provedení úzkého prahu montovaného z dílců viz (Obr. 16). Dalším zklidňovacím prvkem jsou svislá dopravní značení, která určují rychlost dopravních vozidel.

Prioritním cílem těchto zklidňovacích prvků je bezesporu snížení rychlosti motorových vozidel a tudíž zajištění větší bezpečnosti obyvatel v dané lokalitě.

### **3.7.3 Dopravně inženýrské údaje**

#### ***Intenzita dopravy:***

Nezbytnou součástí pro výsledky měření jsou dopravně inženýrské údaje, které udávají počet projíždějících vozidel a jejich rozdělení min. do dvou kategorií (skladba projíždějících vozidel), jako jsou nákladní vozidla a osobní vozidla (všechna vozidla s podvozkem os. automobilu). V našem případě jsem zvolil čas sčítání dopravy do třech hodin a to- ranní špička 8:00 h do 9:00 h, polední hodina 11:00 h do 12:00 h a odpolední špička 15:00 h do 16:00 h.

#### ***Popis silniční komunikace:***

Jedná se o zpevněný povrch, který je tvořen litým živičným materiálem (asfaltem) s drobnou nerovností a výtluky viz (Obr. 17).

Obr. 17 Struktura povrchu vozovky



### **3.8 Měřicí přístroje pro měření hluku**

Pro samotné uskutečnění měření a analýzu zvuku a hluku lze použít celou řadu měřících přístrojů, které spolehlivě zajistí bezproblémové měření. Důležitá je vhodná volba měřících přístrojů na základě měřené lokality a výstupních dat.

V našem případě se jedná o měření akustických veličin, které jsou vyzařované dopravními prostředky. V rámci dostupných přístrojů zapůjčených od TF ČZU je možné zajistit velmi přesné měření pro třídu přesnosti 2.

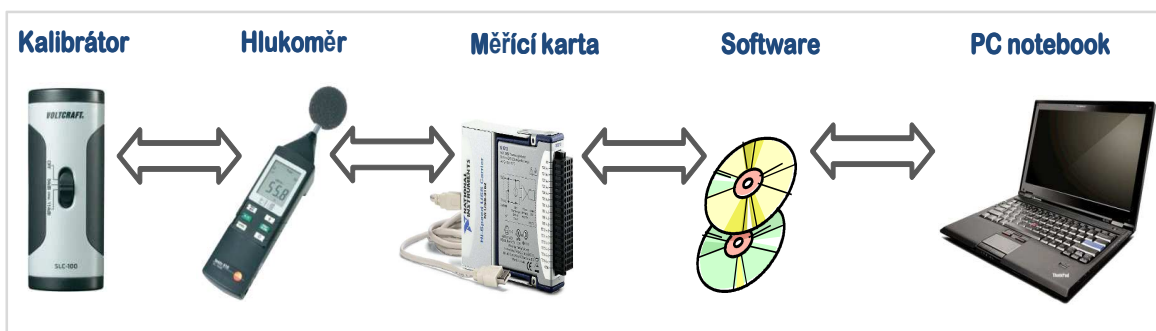
V současnosti máme podle normy **IEC 60651**(zvukoměry) dvě druhy tříd přesnosti. Třída přesnosti **1** slouží pro laboratorní použití. Třída přesnosti **2** slouží pro obecné použití v terénu.

Obecně pro měření zvuku v běžné atmosféře slouží jako snímač elektroakustický měnič – mikrofon (dynamický, kondenzátorový, pizelektrický), pomocí těchto přístrojů získáváme elektrické signály, které pokračují do dalších částí přístroje (filtry, výstupní zesilovač, zobrazovací nebo zapisovací zařízení) a v skutečném čase jsou zobrazovány na displeji hodnoty, popř. ukládány do paměti. Elektrická odezva na mechanické podněty musí být přesná, čili je důležité dodržet stanovené zásady v prostředí (teplota, tlak, vlhkost). Hlukoměry impulzivní umožňují detekovat hodnoty hluku, ale i stanovit špičkové hodnoty impulzního hluku.

### **3.8.1 Měřicí řetězec přístrojů**

Začátek měřicího řetězce tvoří kalibrátor, který zajišťuje kalibrování hlukoměru v místě měření, dále pokračuje samotným hlukoměrem, měřicí kartou, softwarem a PC. Názorně vidíme na (Obr. 18).

Obr. 18 Měřicí řetězec přístrojů



### 3.8.2 Digitální hlukoměr Testo 816

K měření byl použit digitální hlukoměr Testo 816, viz na (Obr. 19) s třídou přesnosti 2. Měřicím přístrojem lze změřit hlukovou hladinu s dílčími měřicími rozsahy, dvěma časovými vyhodnoceními, dvěma váhovými filtry a funkcí paměti maximální a minimální naměřené hodnoty. Podrobné technické parametry jsou uvedeny v (Tab. 3). Přesnost měření je  $\pm 1$  dB

Tab. 3 Technická data hlukoměru testo 816

<b>Senzor</b>	elektret-kondenzátorový měřicí mikrofon
<b>Celkový měřicí rozsah</b>	30...130 dB
<b>Dílčí měřicí rozsahy</b>	30...80 dB 50...100 dB 80...130 dB
<b>Automatický měřicí rozsah</b>	30...130 dB
<b>Frekvenční rozsah</b>	31,5 Hz až 8 kHz
<b>Frekvenční filtry</b>	A/C
<b>Vztažná frekvence</b>	1000 Hz
<b>Náhradní impedance mikrofону</b>	1 k $\Omega$ při 1 kHz
<b>AC/DC výstup</b>	impedance 100 Ohmů DC: výstup 10 mV/dB, výstupní impedance 1k ohm
<b>Závislost na absolutním tlaku</b>	-1,6*0,001 dB/hPa
<b>Takt měření</b>	125 ms (Fast) nebo 1s (Slow)
<b>Přesnost</b>	+1,0 dB (za ref. Podmínek- 94 dB při 1kHz)
<b>Displej</b>	čtyřřádkový LCD, Výška číslic 13 mm
<b>Rozlišení</b>	0,1 dB
<b>Aktualizace zobrazení</b>	0.5 s
<b>Baterie</b>	9V bloková (6f 22)
<b>Životnost baterie</b>	přibližně 70 hodin (alkalicko manganová)
<b>Provozní teplota</b>	0 až +40°C
<b>Provozní vlhkost</b>	10 až 90% rv
<b>Skladovací teplota</b>	-10 až +60°C
<b>Skladovací vlhkost</b>	10 až 75% rv
<b>Materiál pouzdra</b>	ABS
<b>Síťový zdroj</b>	8V

Zdroj: Hluk. *Testo*. [Online] 5. 1 2011. [Citace: 3. 12 2011.]  
[http://www.testo.cz/online/embedded/Sites/CZE/SharedDocuments/ProductBrochures/0563\\_8165\\_cz.pdf;jsessionid=F0D5643410941236635F0D194BD26B92](http://www.testo.cz/online/embedded/Sites/CZE/SharedDocuments/ProductBrochures/0563_8165_cz.pdf;jsessionid=F0D5643410941236635F0D194BD26B92).

## Ovládací prvky přístroje:

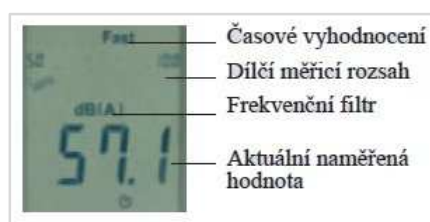
Obr. 19 Hlukoměr testo 816 a jeho popis tlačítek



Zdroj: Hluk. *Testo*. [Online] 5. 1 2011. [Citace: 3. 12 2011.]  
[http://www.testo.cz/online/embedded/Sites/CZE/SharedDocuments/ProductBrochures/0563\\_8165\\_cz.pdf;jsessionid=F0D5643410941236635F0D194BD26B92](http://www.testo.cz/online/embedded/Sites/CZE/SharedDocuments/ProductBrochures/0563_8165_cz.pdf;jsessionid=F0D5643410941236635F0D194BD26B92).

## Popis symbolů na LCD displeji:

Obr. 20 Popis symbolů



Zdroj: Hluk. *Testo*. [Online] 5. 1 2011. [Citace: 3. 12 2011.]  
[http://www.testo.cz/online/embedded/Sites/CZE/SharedDocuments/ProductBrochures/0563\\_8165\\_cz.pdf;jsessionid=F0D5643410941236635F0D194BD26B92](http://www.testo.cz/online/embedded/Sites/CZE/SharedDocuments/ProductBrochures/0563_8165_cz.pdf;jsessionid=F0D5643410941236635F0D194BD26B92).



### 3.8.3 Kalibrátor Voltcraft SLC-100

Pro naše potřeby nám poslouží kalibrátor zvukové hladiny značky Voltcraft typu SLC-100 , který je znázorněn na (Obr. 21). Pomocí kalibrátoru (příslušenství) je možné přístroj pomocí přiloženého kalibračního šroubováku zkalibrovat.

Obr. 21 Kalibrátor Voltcraft SLC-100



Zdroj: Kalibrátor hladiny zvuku SLC-100. *Voltcraft*. [Online] 20. 2 2010. [Citace: 28. 12 2011.] <http://www.voltcraft.cz/testovaci-a-zkusebni-pristroje-2/kalibrator-hladiny-zvuku-slc-100>.

### 3.8.4 Laserový měřič vzdálenosti Toolcraft LDM 70

Pro naše potřeby na měření vzdálenosti, jsme použili zapůjčený laserový měřič vzdálenosti viz (Obr. 22).

Obr. 22 Laserový měřič vzdálenosti Toolcraft LDM 70



Zdroj: Měřiče vzdálenosti. *Conrad*. [Online] 2011. [Citace: 8. 3 2012.] <http://www.conrad.cz/laserovy-meric-vzdalenosti-toolcraft-ldm-70.k826512#>

### 3.8.5 Meteorologická stanice sencor

Meteorologická stanice s měřením teploty, vlhkosti, rychlosti a směru větru, a množství srážek.

Obr. 23 Meteorologická stanice sencor SWS 180



## 4 Vlastní práce

### 4.1 Parametry pro výpočet hladiny hluku podle stanovené metodiky

Hlavním parametrem pro posuzování vlivu silniční městské dopravy na akustické znaky venkovního prostředí v obytné oblasti je ekvivalentní hladina akustického tlaku  $A$ ,  $L_{Aeq}$ . Souhrn postupů při výpočtu  $L_{Aeq}$  silniční dopravy lze vypsát těmito podstatnými body.

- zadání vstupních výpočtových veličin,
- výpočet  $L_{Aeq}$  v posuzovaném místě pro základní dopravně – urbanistický případ,
- zohlednění omezujících výhrad při řešení úloh (použití korekcí),
- vlastní výpočet výsledné hodnoty  $L_{Aeq}$ .

Jako vstupní výpočtové veličiny pro výpočet ekvivalentní hladiny hluku uvažujeme:

- a) průměrný počet dopravních vozidel, která projíždí určitým místem za jednu hodinu,
- b) skladbu dopravního proudu,
- c) výpočtové období,
- d) výpočtová rychlost,
- e) podélný sklon vozovky,
- f) druh struktury povrchu vozovky,
- g) pravoúhlá vzdálenost posuzovaného bodu osy vozovky,
- h) výška polohy mikrofonu nad vozovkou

Nezbytné veličiny pro výpočet  $L_{Aeq}$ , popisující urbanistický stav v území, jsou tyto body:

1. lokalizace a druh zástavby,
2. popis technických vlastností terénu,
3. topografie řešeného místa a jeho okolí,
4. přítomnost a lokalizace zeleně.

Za pomoci předchozích údajů stanovíme výpočet ekvivalentní hladiny hluku, jako samostatný výpočtový krok pro dopravně a místní stejnorodý úsek komunikace v posuzovaném bodě. Následně v tomto bodě zjistíme jistý útlum dopravního hluku (útlum při šíření hluku od vozovky k mikrofonu).

Význam veličiny získané v předešlém postupu pro posuzovaný bod, je fyzikálně interpretována jako hodnota  $L_{Aeq}$ , která se shoduje se stavem, kdy na úroveň hladiny hluku v bodě příjmu má vliv jenom provoz na komunikaci a útlumové vlastnosti terénu mezi komunikací a posuzovaným bodem.

Pro přednost specifických dopravě – urbanistických vlastností, kterými se posuzovaná oblast odlišuje od vlastností základní dopravně – urbanistické případy slouží korekce, jimiž se přizpůsobují výsledné parametry, získané pro základní dopravně urbanistickou situaci. Jsou použity tyto korekce:

- délka segmentu komunikace,
- šířka komunikace,
- útlum hluku nízkou zástavbou,
- útlum hluku pevnou překážkou,
- podíl vlivu zeleně.

Při výpočtu  $L_{Aeq}$  vychází, že se úloha vzhledem k stejnorodosti požadavků člení na podúlohy, v nichž jde výslednou  $L_{Aeq}$ . Počáteční zdroj dopravního hluku, kterým byl provoz na řešené komunikaci, se tím rozdělil na řadu dílčích zdrojů, tvořených provozem komunikace. Výsledná hodnota  $L_{Aeq}$  v posuzovaném místě bude tedy výsledkem působení řady podotknutých dílčích zdrojů dopravního hluku.

#### **4.2 Zadání vstupních výpočtových kritérií**

- intenzita dopravy byla stanovena na 750 vozidel za 1 hodinu,
- výpočtové období bylo stanoveno na dva pracovní dny, kdy pracovním dnem nemohl být den před a po dni pracovního klidu,
- výpočtová rychlost projíždějících vozidel byla stanovena na  $20\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ .

## 4.3 Teoretický výpočet ekvivalentní hladiny hluku

### 4.3.1 Stanovení faktorů $F_1, F_2, F_3$

Jednotlivé faktory mají tento význam:

- Faktor  $F_1$  vyjadřuje vliv rychlosti dopravního proudu a zastoupení osobních a nákladních vozidel s různými hlukovými limity v dopravním proudu na hodnoty  $L_{Aeq}$

$$F_1 = n_{OAd} \times F_{vOA} \times 10^{\frac{L_{OA}}{10}} + n_{NAAd} \times F_{vNA} \times 10^{L_{NA}/10} \quad [-] \quad (4.1)$$

$n_{OAd}$  denní průměrná hodinová intenzita dopravy osobních vozidel

$n_{NAAd}$  denní průměrná hodinová intenzita dopravy nákladních vozidel

$F_{vOA}$  funkce závislosti ekvivalentní hladiny akustického tlaku dopravního proudu osobních vozidel na rychlosti proudu.

Funkce  $F_{vOA}$  je dána rovnicí pro skutečnou rychlost jízdy  $v \leq 60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

$$F_{vOA} = 3,59 \times 10^{-5} \times 20^{0,8} = 0,000394 \quad [-]$$

$F_{vNA}$  funkce závislosti ekvivalentní hladiny akustického tlaku dopravního proudu nákladních vozidel na rychlosti proudu.

Funkce  $F_{vNA}$  je dána rovnicí pro skutečnou rychlost jízdy  $v \leq 60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

$$F_{vNA} = 1,5 \times 10^{-2} \times 20^{0,5} = 0,00335 \quad [-]$$

$L_{OA}$  hladina akustického tlaku  $L_{Aeq}$  osobních vozidel pro zadaný výpočtový rok je dána tabulkou C viz příloha 3.

$L_{NA}$  hladina akustického tlaku  $L_{Aeq}$  nákladních vozidel pro zadaný výpočtový rok je dána tabulkou C viz příloha 3.

$$F_1 = 740 \times 0,000394 \times 10^{\frac{74,1}{10}} + 0,00335 \times 15 \times 10^{80,2/10}$$

$$F_1 = 12585477,03 \quad [-]$$

- Faktor  $F_2$  jeho hodnota závisí na podélném sklonu nivelety, odečteno z tabulky D viz příloha 3.  $F_2 = 1,0$
- Hodnoty faktoru  $F_3$  se v závislosti na druhu krytu vozovky. Pro výpočtové rychlosti do  $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  se používá číselná hodnota **1,0**, viz tabulka E v příloze 3.

Podle vzorce (4.2) se vypočítá hodnota X, která se použije pro stanovení pomocné výpočtové veličiny Y ve vztahu (4.3).

$$X = F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 = 1 \times 1 \times 12585477,03 = 12585477,03 \quad [-] \quad (4.2)$$

$$Y = 10 \log X - 10,1 = 10 \log 12585477,03 - 10,1 = \mathbf{60,8} \text{ [dB]} \quad (4.3)$$

Základní ekvivalentní hladina v posuzovaném bodě se upravuje s ohledem na vlastnosti terénu.

$$L_x = Y - U = 60,8 - 0 = \mathbf{60,8} \text{ [dB]} \quad (4.4)$$

Rozeznáváme dva možné případy (odrazivý a pohltivý). Stanovení hodnoty U [dB] se provede výpočtem. V našem případě jsme vycházeli z odrazivého terénu. Vzdálenost posuzovaného bodu *d* od fasády.

$$U = -10 \log \frac{8}{d} = -10 \log \frac{8}{8} = 0 \quad [-] \quad (4.5)$$

#### **4.3.2 Korekce $D_z$ na vliv zástavby**

Korekce na vliv zástavby vyjadřuje ovlivnění hodnoty ekvivalentní hladinu akustického tlaku v důsledku odrazu zvukových vln od zástavby. Tato korekce se musí použít vždy, pokud vyhodnocujeme hluk před fasádou domu.

**Pro jednostrannou přilehlou zástavbu použijeme tento výpočet:**

$$D_{Z1} = +3 \text{ [dB]} \quad \text{pro } 0 < d \leq 15\text{m} \quad (4.6)$$

**Pro jednostrannou protilehlou zástavbu použijeme tento výpočet:**

$$D_{Z2} = +2,7 \text{ [dB]} \quad \text{pro } 0 < d \leq 20\text{m} \quad (4.7)$$

### **4.3.3 Přirážka na přejezd vozidel přes příčný práh**

Na úseku komunikace v měřeném bodě, kde vozidla intenzivně přejíždí přes příčný zpomalovací práh, je nutno k základní hladině hluku připočítat přirážku, která zohlední zvýšení ekvivalentní hladiny hluku. Hodnota této přirážky je stanovena na 1,9 dB.

## **4.4 Vypočtené hodnoty teoretického výpočtu**

Výpočet hodnot byl proveden za pomoci programu **Microsoft Office Excel 2007**. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v následující kapitole. Výpočet se vztahuje na dva posuzované body měření, které simulují skutečné body měření v terénu. V následujících kapitolách proběhne analýza teoretické hlukové zátěže a praktické. Hodnoty jsou uvedeny pro denní dobu.

### **4.4.1 Posuzovaný první bod**

V prvním bodě měřícího místa se vyskytuje komunikace II. třídy, chodník, přilehlé a protilehlé zástavby, povrch má tudíž odrazivý charakter.

#### **Uvažované korekce a přirážky:**

- korekce na vliv zástavby,
- přirážka na přejezd vozidel přes příčný práh.

Tuto přirážku jsem použil pro zohlednění zvýšení akustické hladiny hluku, vlivem přejezdu vozidel přes příčný zpomalovací práh.

Vypočítaná ekvivalentní hladina hluku v prvním posuzovaném bodě vyšla:

$$L_{Aeq,T1} = L_x + D_{z1} + D_{z2}$$

$$L_{Aeq,T1} = 60,8 + 3+2,7+1,9 = 68,4 \text{ [dB]}$$

#### 4.4.2 Posuzovaný druhý bod

Tak jako v prvním bodě měřícího místa se vyskytuje komunikace II. třídy, chodník, přilehlé a protilehlé zástavby, povrch má tudíž odrazivý charakter.

#### Uvažované korekce a přírázky:

- korekce na vliv zástavby.

Stejný výpočetní postup zopakujeme i v druhém bodě, kde nebudeme připočítat přírážku na příčný zpomalovací práh.

$$L_{Aeq,T2} = 66,5 \text{ [dB]}$$

#### 4.5 Výpočet ekvivalentní hladiny akustického tlaku z naměřených hodnot

Jak již bylo uvedeno, tak ekvivalentní hladina akustického tlaku je hladinou střední hodnoty akustického tlaku ve sledovaném časovém úseku. Podle metodiky [1] lze ekvivalentní hladinu vyčíslit jako hladinu časového integrálu intenzity zvuku děleného délkou časového intervalu. Ekvivalentní hladina akustického tlaku  $L_{Aeq}$  se vypočte dle vztahu (4.8).

$$L_{Aeq} = 10 \lg \frac{1}{\sum_{i=1}^n f_i} \cdot \sum_{i=1}^n f_i \cdot 10^{0,1 L_i} \quad (4.8)$$

$f_i$  - je míra časového výskytu hladin z měřeného časového úseku v procentech, sekundách nebo četnosti čtení.

$L_i$  – je střední hladina v  $i$ -tém hladinovém intervalu v dB.



#### 4.5.1 Výpočet $L_{Aeq}$ v bodě 1 (7,5 m od osy komunikace)

Výpočet  $L_{Aeq,B1}$  byl proveden na základě naměřených hodnot hlukoměru, který byl umístěn v místě příčného zpomalovacího prahu a to 7,5 m od osy komunikace. Časový interval  $fi$  byl zvolen po dvou tříhodinových měření. Od počátku 6:00 hod. do 8:00 hod., od počátku 12:00 hod. do 14:00 hod.

Meteorologické podmínky v měřeném místě jsou uvedené v příloze 5.

- Dále je nutné zohlednit hodnoty korekce pro jednostrannou a protilehlou zástavbu. Tato hodnota je **5,7 dB**.

Kdy střední hladina intervalu:

$$Li_{6-8h} = 64,8 \text{ dB}$$

$$Li_{12-14h} = 63,7 \text{ dB}$$

Při známé hodnotě střední hladiny intervalu můžeme vypočítat  $L_{Aeq,B1}$  ze známého vztahu (4.8). Uvedený výsledek již obsahuje patřičné korekce.

$$L_{Aeq,B1} = 65 \text{ dB}$$

#### 4.5.2 Výpočet $L_{Aeq}$ v bodě 2 (15 m od osy komunikace)

Výpočet  $L_{Aeq,B2}$  byl proveden na základě naměřených hodnot hlukoměru, který byl umístěn v místě příčného zpomalovacího prahu a to 15 m od osy komunikace. Časový interval  $fi$  byl zvolen po dvou tříhodinových měření. Od počátku 9:00 hod. do 11:00 hod., od počátku 15:00 hod. do 17:00 hod.

Meteorologické podmínky v měřeném místě jsou uvedené v příloze 5.

Korekce budou stejné jako v předešlém bodě.

Kdy střední hladina intervalu:

$$Li_{9-11h} = 64,9 \text{ dB}$$

$$Li_{15-17h} = 63,8 \text{ dB}$$

Při známé hodnotě střední hladiny intervalu můžeme vypočítat  $L_{Aeq,B2}$  ze známého vztahu (4.8). Uvedený výsledek již obsahuje patřičné korekce.

$$L_{Aeq,B2} = 67 \text{ dB}$$

#### **4.5.3 Výpočet $L_{Aeq}$ v bodě 3 (7,5 m od osy komunikace)**

Výpočet  $L_{Aeq,B3}$  byl proveden na základě naměřených hodnot hlukoměru, který byl umístěn 7,5 m od osy komunikace. Časový interval  $fi$  byl zvolen po dvou tříhodinových měření. Od počátku 6:00 hod. do 8:00 hod., od počátku 12:00 hod do 14:00 hod.

Meteorologické podmínky v měřeném místě jsou uvedené v příloze 5.

- Dále je nutné zohlednit hodnoty korekce pro jednostrannou a protilehlou zástavbu. Tato hodnota je **5,7 dB**.

Kdy střední hladina intervalu:

$$Li_{6-8h} = 62,8 \text{ dB}$$

$$Li_{12-14h} = 62,5 \text{ dB}$$

Při známé hodnotě střední hladiny intervalu můžeme vypočítat  $L_{Aeq,B3}$  ze známého vztahu (4.8). Uvedený výsledek již obsahuje patřičné korekce.

$$L_{Aeq,B3} = 64 \text{ dB}$$

#### **4.5.4 Výpočet $L_{Aeq}$ v bodě 4 (15 m od osy komunikace)**

Výpočet  $L_{Aeq,B4}$  byl proveden na základě naměřených hodnot hlukoměru, který byl umístěn 15 m od osy komunikace. Časový interval  $fi$  byl zvolen po dvou

tříhodinových měření. Od počátku 9:00 hod. do 11:00 hod., od počátku 15:00 hod. do 17:00 hod.

Meteorologické podmínky v měřeném místě jsou uvedené v příloze 5.

Korekce budou stejné jako v předešlém bodě.

Kdy střední hladina intervalu:

$$Li_{9-11h} = 62,9 \text{ dB}$$

$$Li_{15-17h} = 64,1 \text{ dB}$$

Při známé hodnotě střední hladiny intervalu můžeme vypočítat  $L_{Aeq,B4}$  ze známého vztahu (4.8). Uvedený výsledek již obsahuje patřičné korekce.

$$L_{Aeq,B4} = 65 \text{ dB}$$

#### 4.5.5 Přehled výsledků výpočtů $L_{Aeq}$ z naměřených hodnot

V níže uvedené tabulce (Tab. 4) jsou uvedeny vypočtené hlukové hladiny jednotlivých bodů z naměřených hodnot. Paradoxně můžeme vidět, že hlukové hodnoty naměřené ve větší vzdálenosti od zdroje hluku jsou větší než z krátké, je to dáno tím, že v měřeném intervalu byla větší intenzita silničního provozu.

Tab. 4 Přehled vypočtených výsledků  $L_{Aeq}$

		Výpočet $L_{Aeq}$ [dB]	
		7,5 m	15 m
s prahem	1	65	
	2		67
bez prahu	3	64	
	4		65

#### 4.6 Vyhodnocení výsledků měření a teoretických výpočtů

Nezbytnou součástí pro vypočtené a naměřené hodnoty hlukové hladiny je výsledné porovnání výsledků. V níže uvedené tabulce (Tab. 5) můžeme vidět výsledný rozdíl. Teoretický výpočet byl proveden pouze pro vzdálenost 7,5 m. Překvapivě rozdíl mezi těmito hodnotami není tak markantní jak se původně čekalo.

Tab. 5 Porovnání naměřených hodnot a teoretického výpočtu ekvivalentní hlukové hladiny

Posuzovaný bod			Výpočet z naměřených hodnot $L_{Aeq}$ [dB]	Výpočet z hodnot dle metodiky $L_{Aeq}$ [dB]	Rozdíl naměřených a teoretických hodnot $L_{Aeq}$ [dB]
7,5 m	s příčným prahem	1	65	68,4	3,4
	bez příčného prahu	3	64	66,5	2,5

#### 4.7 Vyhodnocení naměřených hodnot z hlediska stanovených limitů hluku ve venkovním prostoru

Pro venkovní prostor jsou stanoveny hlukové limity (blíže v příloze 1), které jsou definované dle hygienických předpisů MZd 41/77. Konkrétně limity pro venkovní prostor se posuzuje  $L_{Aeqp}$ , jenž základní hodnota činí **50 dB**. Dále se musí přihlížet ke korekci vyplývající pro místní podmínky podle tabulky (K 6 v příloze 1). V našem případě se jedná o smíšené zóny, kde korekce činí **+10 dB**. Limit pro naši posuzovanou lokalitu se stanovuje na hodnotu **60 dB**.

Při podrobnějším posuzování mezi naměřenými hodnotami a stanovených limitů, jsme získali cílené objektivní informace o skutečném vlivu (podílu) silniční dopravy na akustickou situaci v dané lokalitě, respektive v měřených bodech. Výsledné hodnoty překročených limitů vidíme v níže uvedené (Tab. 6). Grafickou podobu nalezneme v příloze 4.

Překročení stanovených limitů kde jsme spíše očekávali při přejezdu vozidel přes příčný zpomalovací práh, jsou limitované hodnoty překročeny i při běžném silničním provozu bez přejíždění příčných prahů.

Tab. 6 posouzení naměřených hodnot s limity

Posuzovaný bod			Výpočet z naměřených hodnot $L_{Aeq}$ [dB]	Stanovený limit pro venkovní prostředí $L_{Aeq}$ [dB]	Překročení stanovených limitů $L_{Aeq}$ [dB]
7,5 m	s příčným prahem	1	65	60	5
	bez příčného prahu	3	64	60	4
15 m	s příčným prahem	2	67	60	7
	bez příčného prahu	4	65	60	5

#### 4.8 Návrhová protihluková opatření

Na základě měření a metodických výpočtů se dospělo k překvapivým výsledkům, které vypovídají o tom, že v sledované ulici Na Jarově zejména v místech příčných zpomalovacích prahů, kde se nachází obytná zóna (řada rodinných a panelových domů) dochází k překročení limitované hladiny hluku. Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole, stanovený hlukový limit pro naši lokalitu je **60 dB**, prakticky ve všech měřených bodech byl hlukový limit překročen. Znamená to, že v případě vhodné volby protihlukového opatření může dojít ke snížení hluku pod stanovené limity hodnot.

Vzhledem k omezeným možnostem v našem případě lze uvažovat spíše o dopravně organizačních a stavebně technických opatřeních, které vedou k lokálnímu účinku snížení hluku.

##### 4.8.1 Varianta 1- dopravně organizační opatření

První varianta bude zaměřena na dopravně organizační opatření, zejména omezení jízdní rychlosti. V současné době již existuje v ulici Na Jarově dopravní

opatření v podobě svislých dopravních značení, které udávají maximální povolenou rychlost  $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  a příčných zpomalovacích prahů.

Při hlukových měřeních jsem se přesvědčil o faktu, že v měřené lokalitě skoro žádný řidič vozidla nerespektuje maximální povolenou rychlost. Tudiž tento fakt má za následek větší nebezpečí pro chodce přecházející vozovku a taky větší nárůst hlukových emisí vlivem zvýšené rychlosti vozidel.

Snížení rychlosti vozidel docílíme zklidňováním dopravy. Pro zklidnění dopravy použijeme psychologické a fyzické prvky, které mají donutit řidiče ke zvýšení pozornosti a snížení rychlosti.

### ***Psychologické prvky pro zklidňování dopravy***

- Jako samostatný psychologický prvek bych zvolil standardní svislé dopravní značení doplněné o zvýraznění značky umístěné v poli ze žlutou fluorescenční retroreflexní fólií viz (Obr. 24).

Obr. 24 Dopravní značka s fluorescenční retroreflexní fólií



Zdroj: Typové provedení značek. *Dopravní značky*. [Online] 22. 2 2005. [Citace: 15. 3 2012.] <http://www.dozna.cz/prod01.htm>

- Dále bych zvolil psychologický prvek suplující fyzický prvek. Jedná se o optickou úpravu povrchu vozovky, tak aby zvýšila vyžadovanou pozornost řidiče. Optické zúžení za pomoci vodorovného dopravního značení, rozšířením vodícím proužkem. Tento prvek bych umístil před kritickými místy resp. před každým přechodem pro chodce.
- Pro ekvivalentní náhradu za příčný úzký zpomalovací práh, bych zvolil zvýšenou plochu, která v podstatě plní svůj účel jako příčný práh, ale při samotném přejezdu vozidel produkuje menší hlučnost.

#### **4.8.2 Varianta 2 - stavebně technická opatření**

Podstatou stavebně technických opatření je vytvořit akusticky neprůzvučné překážky umístěné na dráze šíření zvukových vln, v místě za překážkou vzniká tzv. akustický stín, tím pádem se redukuje hladiny akustického tlaku. K dispozici je celá řada různých druhů stínění hluku a materiálu, ze kterých jsou vyrobeny. V našem případě jsme limitováni v možnostech použití různých protihlukových bariér. Proto bych se přikláněl k variantě opatření na dráze šíření hluku za pomoci vegetační bariéry a opatření na budovách.

Vegetační bariéra by byla umístěna v místech volného prostranství, zejména před panelovými domy. Vegetace vysazená za účelem snížení hluku by se měla skládat z řady listnatých stromů s kruhovým tvarem koruny jako je např. javor mléč. Na základě vysazené vegetace se vytvoří hluková bariéra, která sníží šíření zvukových vln až 1 – 2 dB.

Opatření na budovách má účinnější efekt nežli vegetační bariéra, ale z ekonomického hlediska je velice nákladná. Jedná se o zesílení obvodové fasády a výměnu starých oken za okna s vícekomorovým systémem.

### 4.8.3 Zhodnocení efektivity vybraných protihlukových opatření

Tab. 7 Celkové zhodnocení efektivity vybraných opatření

Charakter opatření	volba protihlukového opatření	efektivita	providitelnost	životnost	náklady
Dopravně organizační opatření	reflexní dopravní značky	3	4	3	3
	optické zúžení vozovky	2	3	3	3
	nahrazení příčných úzkých prahů za zvýšené plochy	4	3	3	2
Stavebně technická opatření	vegetační bariéra	2	2	3	3
	zesílení obvodové fasády	3	2	2	1
	výměna oken za vícekomorová	4	2	3	1

#### Hodnocení:

- 1 – nevhodné
- 2 – přijatelné
- 3 – dobré
- 4 – velmi dobré

Z výše uvedené tabulky (Tab. 7) lze vyvodit celkové hodnocení pro určitý výběr kritérií. Podle analytického přehledu vychází jako vhodná volba protihlukového opatření zvýraznění svislých dopravních značek. V kombinaci s vegetační bariérou bychom dosáhli snížení akustického tlaku přibližně o 4 - 5 dB.



## 5 Závěr

Jak již bylo zmíněno v úvodní části, hlavní náplní této diplomové práce bylo měření hluku v silničním provozu, konkrétně měření hluku hlukoměrem při přejezdu silničních vozidel přes příčný zpomalovací práh a mimo něj v ulici Na Jarově v Praze 3. Hlavní motivací pro tuto práci bylo bližší poznání hlukové problematiky v silničním provozu, poznání metodických postupů stanovené MŽP a veškerých měřících přístrojů souvisejících s měřením hluku. Dále se jednalo o ověření obecně známého faktu, že silniční doprava produkuje vysokou ekvivalentní hladinu akustického tlaku.

Vycházel jsem z potřebných literárních pramenů, naměřených dat získaných přímo v silničním provozu a empirických rad. Vlastní měření hluku jsem provedl ve dvou pracovních dnech. V prvním dni jsem prováděl měření za pomoci hlukoměru v ulici Na Jarově v blízkém místě příčného zpomalovacího prahu a to ve dvou bodech 7,5 m a 15 m od osy komunikace. V druhém dni se postup měření opakoval, ale v místě, kde nebyl příčný zpomalovací práh. V obou dnech se měřilo po tříhodinových intervalech.

Výsledná naměřená a zpracovaná data poukazují na hrozby, které hluk s sebou přináší, prokázaly to i teoretické výpočty, které se porovnávaly se skutečnými hodnoty. Ukázalo se, že hladina hluku v měřených bodech překračuje nejvyšší přípustné hodnoty pro venkovní prostředí místních podmínek denní doby. Měřením bylo zjištěno, že v denní době dosahuje ekvivalentní hladina akustického tlaku v druhém bodě 67 dB, což překračuje stanovený limit o 7 dB. Při dlouhodobém vystavení obyvatel žijících v přilehlých zástavbách v ulici Na Jarově může docházet k některým výše uvedeným účinkům hluku přímo na jejich zdraví, viz kapitola 2.8. Na základě výsledných hodnot byly vypracovány orientační návrhy protihlukového opatření, které sníží ekvivalentní hladinu akustického tlaku o 4-5 dB.

Vlastním přínosem k řešené problematice, byla studie hlukové problematiky v silniční dopravě a uvědomění si, že hluk nejen z dopravy je vážným problémem negativního vlivu na naši lidskou společnost.

## Seznam zkratek

ČSN	Česká technická norma
REM	fáze spánku
WHO	světová zdravotnická organizace Č. R.
ICHS	Ischemická choroba srdeční
EU	Evropská unie
ŽP	životní prostředí

## Seznam symbolů

$L_{Aeq}$	ekvivalentní hladina akustického tlaku
$\lambda$	vlnová délka
$c$	fázová rychlost
$T$	perioda
$f$	frekvence
$\varphi$	je fázový úhel
$a_{max}$	maximální amplituda
$t$	čas v sekundách.
$a_t$	okamžitá velikost určující veličiny v čase

## Seznam obrázků

OBR. 1 CHVĚNÍ PÍSTOVÝCH STROJŮ .....	5
OBR. 2 CHVĚNÍ TĚLES .....	5
OBR. 3 PROUDĚNÍ PLYNŮ A KAPALIN JAKO PŘÍČINA HLUKU .....	6
OBR. 4 VLNOPLOCHY KULOVÉ .....	8
OBR. 5 VLNOPLOCHY ROVINNÉ .....	8
OBR. 6 A) JEDNOROZMĚRNÁ VÁLCOVÁ VLNOPLOCHA, B) DVOJROZMĚRNÁ VÁLCOVÁ VLNOPLOCHA.....	9
OBR. 7 SINUSOVÉ KMITY A VELIČINY POPISUJÍCÍ PERIODICKÉ KMITÁNÍ Z KMITŮ KOULE .....	10
OBR. 8 SINUSOVÉ KMITY S DELŠÍM ČASOVÝM ÚSEKEM .....	10

OBR. 9 PRŮBĚH AKUSTICKÝCH KMITŮ VYVOLANÝCH HLUKEM PŘI ČASOVÉM ROZVINUTÍ: <b>A)</b> UVNITŘ AUTOMOBILU, <b>B)</b> V PRŮMYSLVÉM PROVOZU, <b>C)</b> IMPULSOVÝ HLUK PŘI ÚDERECH KLADIVA DO OCELOVÉHO NOSNÍKU .....	11
OBR. 10 POPIS SLUCHOVÉHO ORGÁNU .....	16
OBR. 11 HLUKOVÁ EMISE A IMISE .....	20
OBR. 12 STRATEGICKÁ HLUKOVÁ MAPA ČÁSTI ČESKÝCH BUDĚJOVIC .....	29
OBR. 13 DODRŽENÍ VZDÁLENOSTÍ OD OBJEKTŮ .....	36
OBR. 14 MÍSTO MĚŘENÍ V ULICI NA JAROVĚ .....	40
OBR. 15 POLOHA MIKROFONU .....	41
OBR. 16 PŘÍČNÝ ZPOMALOVACÍ PRÁH Z MONTOVANÝCH DÍLCŮ .....	41
OBR. 17 STRUKTURA POVRCHU VOZOVKY .....	42
OBR. 18 MĚŘÍCÍ ŘETĚZEC PŘÍSTROJŮ .....	43
OBR. 19 HLUKOMĚR TESTO 816 A JEHO POPIS TLAČÍTEK .....	45
OBR. 20 POPIS SYMBOLŮ .....	45
OBR. 21 KALIBRÁTOR VOLTCRAFT SLC-100 .....	46
OBR. 22 LASEROVÝ MĚŘIČ VZDÁLENOSTI TOOLCRAFT LDM 70 .....	46
OBR. 23 METEOROLOGICKÁ STANICE SENCOR SWS 180 .....	47
OBR. 24 DOPRAVNÍ ZNAČKA S FLURESCENČNÍ RETROREFLEXNÍ FÓLÍÍ .....	59

## Seznam tabulek

TAB. 1 HUSTOTA, RYCHLOST A VLNOVÝ ODPOR V NĚKTERÝCH PLYNECH .....	12
TAB. 2 DOBY MĚŘENÍ PRO BĚŽNOU TŘÍDU PŘESNOSTI .....	34
TAB. 3 TECHNICKÁ DATA HLUKOMĚRU TESTO 816 .....	44
TAB. 4 PŘEHLED VYPOČTENÝCH VÝSLEDKŮ <b>LAeq</b> .....	56
TAB. 5 POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT A TEORETICKÉHO VÝPOČTU EKVIVALENTNÍ HLUKOVÉ HLADINY .....	57
TAB. 6 POSOUZENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT S LIMITY .....	58
TAB. 7 CELKOVÉ ZHODNOCENÍ EFEKTIVITY VYBRANÝCH OPATŘENÍ .....	61

## 6 Seznam literatury

1. Metodika pro výpočet hladin hluku z automobilové dopravy. *Ředitelství silnic a dálnic Č.R.* [Online] 5. 1 2011. [Citace: 29. 12 2011.]  
[http://www.rsd.cz/rsd/rsd.nsf/c4036191b207fe78412566ab005dd08f/20456d08f5a75fcfc12570de0043533d/\\$FILE/hluk.pdf](http://www.rsd.cz/rsd/rsd.nsf/c4036191b207fe78412566ab005dd08f/20456d08f5a75fcfc12570de0043533d/$FILE/hluk.pdf). ISSN 1213-3393.
2. Evropský fond pro ochranu živ. prostředí LIFE +. *Životní prostředí.* [Online] 17. 3 2011. [Citace: 1. 10 2011.] <http://www.dotacenadosah.cz/zivotni-prostredi/evropsky-fond-pro-ochranu-ziv-prostredi-life>.
3. Vaňková, Marie. *Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí.* 1. část. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 1995. str. 140. ISBN 80-214-0695-X.
4. ČSN 01 1600. *Akustika - Terminologie,* Český normalizační institut, 2003, str. 80.
5. Němec, Jaroslav. *Hluk a jeho snižování v technické praxi.* 1. vydání. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1970. str. 340. L 13-B3-IV-31/22248/XI.
6. Beranek, Leo L. *Snižování hluku.* [překl.] Milan Břeský. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1965.
7. Řiháček, Tomáš. *Zvukové prostředí města a jeho vliv na prožívání.* 1. vydání. Brno : Masarykova univerzita, 2009. str. 244. ISBN 978-80-210-4809-6.
8. Persson - Waye, K a Rylander, R. *The prevalence of annoyance and effects after long-term exposure to low-frequency noise.* místo neznámé : Journal of Sound and Vibration, 2001. str. 240. 483 - 497.
9. Persson - Waye, at al. *Low frequency noise enhances cortisol among noise sensitive subjects during work performance.* místo neznámé : Life Sciences , 2002. str. 70. 745 - 758.

10. Operativa. *Krajské nemocnice T. Bati, a. s.* [Online] 2008. [Citace: 28. 10 2011.] <http://www.kntb.cz/o-nemocnici/zdravotnicka-oddeleni/chirurgicke-obory/orl-usni-nosni-krcni/operativa-orl/>.
11. Mourek, Jindřich. *Fyziologie*. 1. vydání . Praha : Grada Publishing, a.s., 2005. str. 204. ISBN 80-247-1190-7.
12. Vliv hluku na zdraví. *hluk&emise*. [Online] Ekologický právní servis, 5. 1 2007. [Citace: 9. 10 2011.] <http://hluk.eps.cz/hluk/vliv-hluku-na-zdravi/>.
13. Valešová, Kateřina. Zdravotní účinky hluku. *Státní zdravotní ústav*. [Online] Creative Commons, 3. 12 2006. [Citace: 10. 10 2011.] <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/zakladni-informace-o-monitorovani-hluku>.
14. Liberko, Miloš. Publikace. *European Network - Czech Republic*. [Online] [Citace: 29. 9 2011.] [http://osha.europa.eu/fop/czech-republic/cs/publications/files/hluk\\_text.pdf](http://osha.europa.eu/fop/czech-republic/cs/publications/files/hluk_text.pdf).
15. Vaňková, Marie. *Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí*. 2. část. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 1996. str. 161. ISBN 80-214-0818-9.
16. *Vyhláška Ministerstva zdravotnictví ČSR o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací č. 13/1977 Sb. Sv. č.37/1977*.
17. Písař, Miloslav. *Zásady při měření hluku ve venkovním prostoru*. [Diktafon] České Budějovice : 2011.
18. Hlaváček, Jan. Směrnice EU pro hodnocení a řízení hluku ovlivňujícího životní. *České dráhy*. [Online] 2003. [Citace: 5. 3 2012.] <http://www.cd rail.cz/VTS/CLANKY/1508.pdf>.
19. Hluk&emise. Hluk z dopravy. *Vliv hluku na zdraví*. [Online] 22. 1 2007. [Citace: 19. 2 2012.] <http://hluk.eps.cz/hluk/vliv-hluku-na-zdravi/>.
20. Tskové zprávy. *Ministerstvo životního prostředí*. [Online] 11. 1 2012. [Citace: 4. 2 2012.] [http://www.mzp.cz/cz/articles\\_120111\\_zpravaoovzdusi](http://www.mzp.cz/cz/articles_120111_zpravaoovzdusi).

21. ČR, Ředitelství silnic a dálnic. Informační servis. *ŘSD*. [Online] 23. 5 2007. [Citace: 18. 2 2012.] <http://www.rsd.cz/doc/Informacni-servis/naklady-na-reseni-hlukove-zateze-dosahnou-nekolik-desitek-miliard-korun>.
22. Akční plány. *Ministerstvo dopravy*. [Online] 1. 7 2008. [Citace: 2. 3 2012.] [http://www.mdcz.cz/NR/rdonlyres/013FD506-F0C1-4C96-A221-7028A65E2241/0/JHC\\_Ak%C4%8Dn%C3%ADpl%C3%A1n\\_FINAL.pdf](http://www.mdcz.cz/NR/rdonlyres/013FD506-F0C1-4C96-A221-7028A65E2241/0/JHC_Ak%C4%8Dn%C3%ADpl%C3%A1n_FINAL.pdf).
23. Smetana, Ctirad. *Hluk a vibrace, Měření a hodnocení*. Praha : Sdělovací technika, 1998. str. 188. ISBN 80-90 1936-2-5.
24. Růžička, Miroslav. Dopravní inženýrství. *Moodle.czu.cz*. [Online] 2012. [Citace: 8. 3 2012.] <https://moodle.czu.cz/course/view.php?id=610>.
25. Metodické návody. *Národní referenční laboratoř pro komunální hluk*. [Online] 11. 12 2001. [Citace: 28. 9 2011.] [http://www.nrl.cz/metodika/postup\\_prostredi.php](http://www.nrl.cz/metodika/postup_prostredi.php).
26. Mikerásek, Rudolf. *Měření hluku v interiérech*. UTB ve Zlíně. Zlín :, 2010. str. 61, Bakalářská práce.
27. Testo 816. *Testo*. [Online] Leden 2011. [Citace: 18. 12 2011.] [http://www.testo.cz/online/embedded/Sites/CZE/SharedDocuments/ProductBrochures/0563\\_8165\\_cz.pdf](http://www.testo.cz/online/embedded/Sites/CZE/SharedDocuments/ProductBrochures/0563_8165_cz.pdf).
28. Hluk. *Testo*. [Online] 5. 1 2011. [Citace: 3. 12 2011.] [http://www.testo.cz/online/embedded/Sites/CZE/SharedDocuments/ProductBrochures/0563\\_8165\\_cz.pdf;jsessionid=F0D5643410941236635F0D194BD26B92](http://www.testo.cz/online/embedded/Sites/CZE/SharedDocuments/ProductBrochures/0563_8165_cz.pdf;jsessionid=F0D5643410941236635F0D194BD26B92).
29. Kalibrátor hladiny zvuku SLC-100. *Volcraft*. [Online] 20. 2 2010. [Citace: 28. 12 2011.] <http://www.volcraft.cz/testovaci-a-zkusebni-pristroje-2/kalibrator-hladiny-zvuku-slc-100>.
30. Hlukové mapy. *Ministerstvo zdravotnictví*. [Online] 3. 2 2007. [Citace: 22. 2 2012.] [http://hlukovemapy.mzcr.cz/image.aspx?obr=Mapy/Silnice/JC\\_Ldvn/CeskeBudejovice%201\\_10000\\_2%20Ldvn.png](http://hlukovemapy.mzcr.cz/image.aspx?obr=Mapy/Silnice/JC_Ldvn/CeskeBudejovice%201_10000_2%20Ldvn.png).

31. Mapy. *Google maps*. [Online] 2012. [Citace: 6. 3 2012.]

<http://maps.google.cz/maps?q=ulice+na+jarov%C4%9B&oe=utf-8&rls=org.mozilla:cs:official&client=firefox&um=1&ie=UTF-8&hl=cs&sa=N&tab=wl>.

32. Měřiče vzdálenosti. *Conrad*. [Online] 2011. [Citace: 8. 3 2012.]

<http://www.conrad.cz/laserovy-meric-vzdalenosti-toolcraft-ldm-70.k826512#>.

33. Typové provedení značek. *Dopravní značky*. [Online] 22. 2 2005. [Citace: 15. 3 2012.]

<http://www.dozna.cz/prod01.htm>.

## 7 Přílohy

### Příloha 1: Limity hluku [23]

#### Limity hluku v obytných a občanských stavbách

Tyto limity jsou stanoveny pro vnitřní obytné stavby. Jako nejvyšší přípustná hodnota ekvivalentní hladiny hluku  $L_{Aeqp}$  [dB] pro hluky pronikající zvenčí se uvažuje základní hladina 40 dB (A) s korekcí  $k_4$  na využití místností podle korekce K4.

Korekce  $k_4$  [dB] přípustných hladin na využití prostor

Druh a využití místností	Doba [h]	Korekce - $K_4$
Nemocniční pokoje	6.00 - 22.00 22.00 - 6.00	-5
Operační sály, spec. lékařské vyšetřovny, koncertní sítě, hlediště divadel a kin	0.00 - 24.00	-15
Obytné místnosti včetně obyt. Kuchyní, hotelové pokoje	6.00 - 22.00 22.00 - 6.00	-5
Lékařské ordinace, čítárny	0.00 - 24.00	0
Přednáškové sítě, učebny, posluchárny	0.00 - 24.00	336
Kulturní střediska, konferenční místnosti, soudní sítě, klubovny, tiché kavárny	0.00 - 24.00	317
Čekárny, vestibuly veřejných úřadoven a kultur. Zařízení, kavárny, restaurace	0.00 - 24.00	405
Prodejny, sportovní haly	0.00 - 24.00	493

Při výrazných tónových složkách se přičítá korekce - 5 dB.

\*) Ve výrobních a smíšených zónách, v centrech sídelních útvarů a na hlavních dopravních tepnách je pro hluk z dopravy přípustná další korekce +5 dB.

Současně se posuzuje i maximální hladina hluku  $L_{Amaxp}$ , která se koriguje k základní hodnotě 40 dB (A) podle korekcí  $k_4$  z (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**) a navíc na povahu hluku korekcí  $k_5$  podle (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**).



### Korekce $k_5$ [dB] přípustných hladin na povahu hluku

Povaha hluku - četnost opakování		Korekce - $K_5$
Hluk impulzivní, opakující se více než	100x/1hod	+5
	10 až 100x/1 hod	+10
	1 až 10x/1 hod	+15
	méně než 1x/1 hod	+20
Přerušovaný hluk, opakující se více než	10x/1 hod	0
	6 až 10x/1 hod	+5
	2 až 5x/1 hod	+10
	1x/1 hod	+15
	méně než 1x/1 hod	+20
	1x/8 hod	+25

### **Limity hluku ve venkovním prostoru**

Posuzuje se opět jak  $L_{Aeqp}$ , tak i  $L_{Amaxp}$ ; u základní hodnoty 50 dB (A) se přihlíží ke korekci  $k_6$  pro místní podmínky podle (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**), a jedná-li se o hluk impulzivní povahy (neplatí pro přerušovaný) i ke korekci  $k_5$  podle (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**). Hodnoty platí pro denní dobu (6.00 až 22.00 hod). V noční době (22.00 až 6.00 hod) se přípustné hladiny korigují o – 10 dB (A).

U využití území c), d), a e) podle (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**) se u bezprostředně navazujících hlavních komunikací připouštějí další korekce +10 dB za podmínek blíže definovaných v hygienických předpisech MZd 41/77, kde jsou definovány i další zmírňující podmínky pro mimořádné, časově omezené, činnosti. Naopak u využití dle d) a e) se pro hluk z provozoven uvedená korekce nahrazuje korekcí 0 dB.

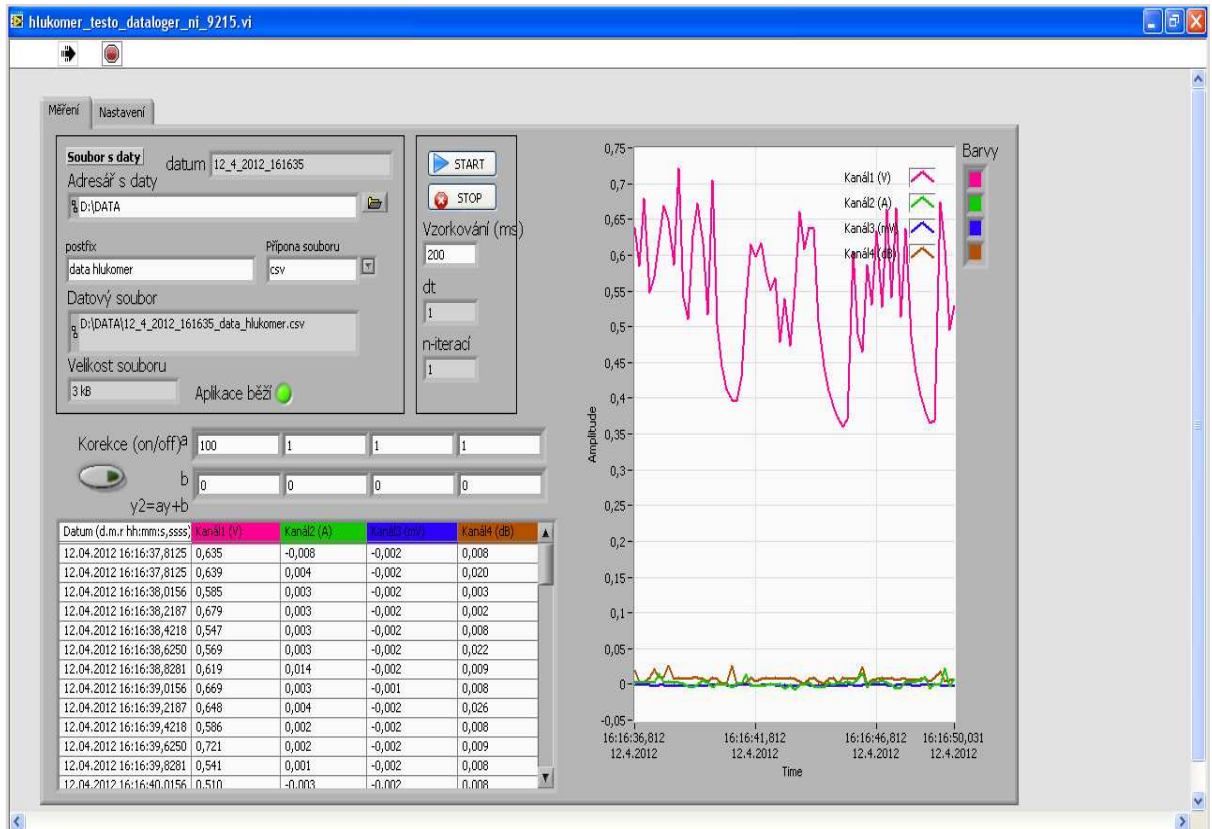
Korekce  $k_6$  [dB] přípustných hladin na místní podmínky

Způsob využití území	Korekce - $K_6$
a) rozsáhlé zdravotnické areály, přírodní rezervace	-10
b) rozsáhlé školní, kulturní a významné rekreační prostory, prostory vyžadující zvláštní ochranu	-5
c) obytné soubory na obytném území příměstském a menších sídelních útvarů	0
d) obytné soubory na obytném území uvnitř městské zástavby	+5
e) smíšené zóny	+10
f) výrobní zóny, centra sídelních útvarů a dopravní zóny s ojedinělými stavbami pro bydlení	+20

Přípustné hodnoty z hluku leteckého provozu jsou vázány složitějšími kritérii definovanými v hygienických předpisech MZd 41/77, vztahujících se i na omezení zástavby území.

Vnější (i vnitřní) hluk dopravních prostředků je vázán zvláštními předpisy, které se postupem času zpřísňují.

## Příloha 2: Grafické rozhraní programu Datalogger



**Příloha 3: Tabulky k určení teoretických hodnot z metodického postupu [1]**

**Tabulka C. Hladiny LOA, LNA v dB pro roky 2005 – 2011**

Výpočtový rok	Osobní automobily				Nákladní automobily			
	D+RK	I.třída	II.třída	III.třída	D+RK	I.třída	II.třída	III.třída
2005	74,6	74,8	74,9	75,6	80,9	81,1	81,4	82,4
2006	74,4	74,6	74,8	74,9	80,7	80,9	81,1	81,4
2007	74,3	74,4	74,6	74,8	80,4	80,7	80,9	81,1
2008	74,1	74,3	74,4	74,6	80,2	80,4	80,7	80,9
2009	74,1	74,1	74,3	74,4	80,2	80,2	80,4	80,7
2010	74,1	74,1	74,1	74,3	80,2	80,2	80,2	80,4
2011	74,1	74,1	74,1	74,1	80,2	80,2	80,2	80,2

Pro výpočtové roky po roce 2011 se použijí hodnoty  $L_{OA}$ ,  $L_{NA}$  v dB platné pro rok 2010.

**Tabulka D. Hodnoty faktoru  $F_2$  v závislosti na podélném sklonu nivelety**

Jednosměrná komunikace				Obousměrná komunikace	
stoupající		klesající		%	$F_2$
%	$F_2$	%	$F_2$		
$s < 1$	1,0	$s \leq 6$	1,79	$s < 1$	1,0
$1 \leq s < 2$	1,12	$s > 6$	2,50	$1 \leq s < 2$	1,06
$2 \leq s < 3$	1,25			$2 \leq s < 3$	1,13
$3 \leq s < 4$	1,42			$3 \leq s < 4$	1,21
$4 \leq s < 5$	1,60			$4 \leq s < 5$	1,30
$5 \leq s < 6$	1,79			$5 \leq s < 6$	1,40
$s = 6$	2			$s = 6$	1,50
$s > 6$	2,50			$s > 6$	2,50

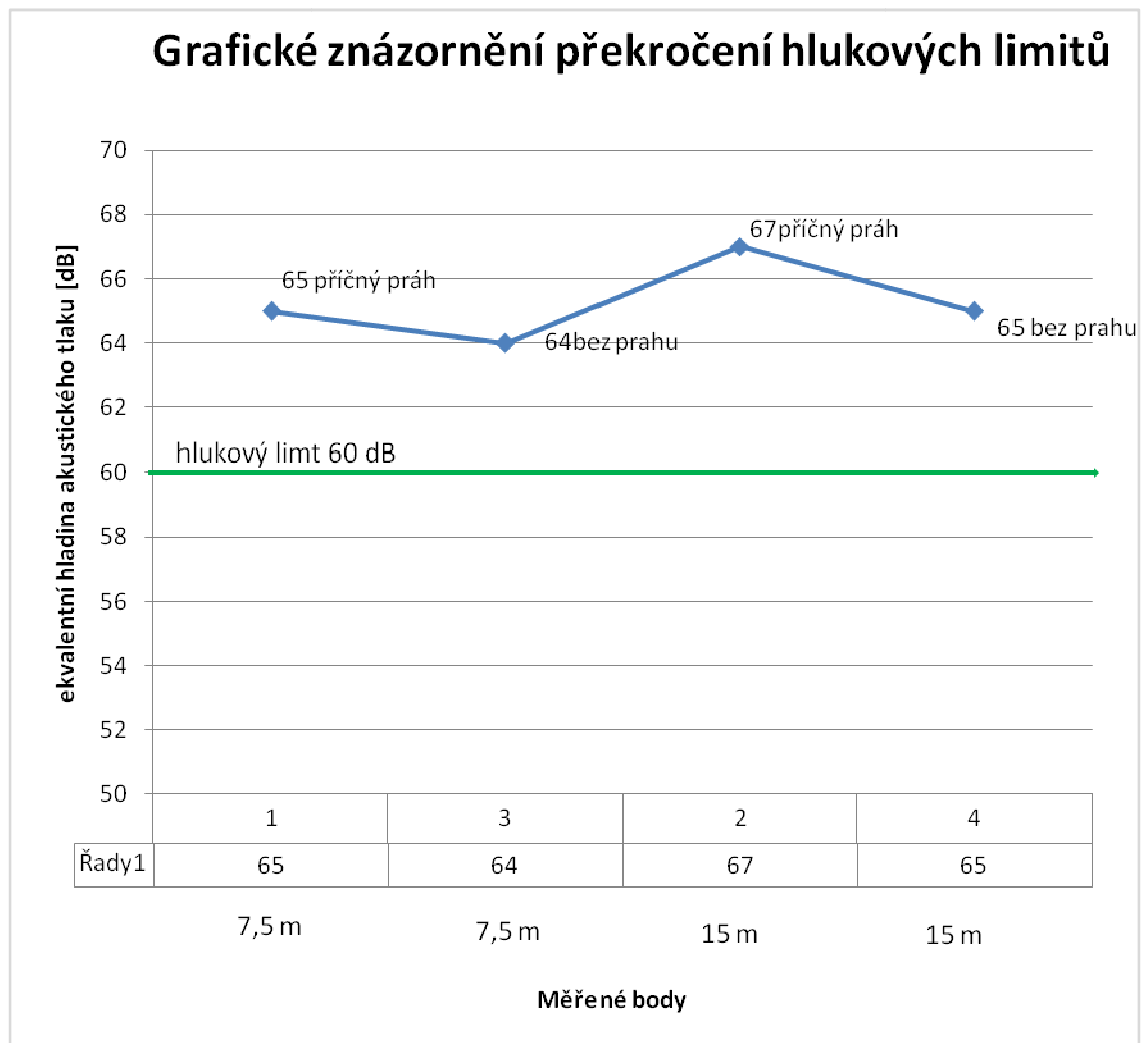
**Tabulka E. Hodnoty koeficientu F3 pro různé druhy krytu povrchu vozovek**

Kategorie	Druh krytu	F3	
A	a	Kryt z asfaltového betonu – ABO (do 8mm) Kryt z asfaltového betonu s uzavřeným povrchem Litý asfalt hrubozrnný frakce 2–5	1,0
	b	Kryt z asfaltového koberce AKT s přetržitou křivkou zrnitosti do 11 mm (např. typu RUMAC)	1,0
	c	Kryt z asfaltového koberce mastixového střednězrnného (AKMS) do 11 mm nebo jiné koberce se zrnitostí do 11 mm (např. typu ULM)	1,1
	d	Kryt z asfaltového betonu hrubozrnného (ABH) do 16 mm s použitím modifikovaného asfaltu	1,1
	e	Mikrokoberec prováděný za studena se zrnitostí do 8 mm (např. typ GRIPFIBRE)	1,2
	f	Litý asfalt hrubozrnný frakcí 1–4, 4–8	1,3
B	a	Cementobetonový kryt s úpravou povrchu pomocí tažené tkaniny	1,2
	b	Cementobetonový kryt s negativním příčným zdrsněním	1,2
	c	Cementobetonový kryt s jemným příčným zdrsněním	1,5
C	a	Kryt z drobné dlažby	2,0
	b	Kryt z hrubé dlažby	4,0

**Upozornění:**

Pro technologicky nové receptury a úpravy povrchu krytu vozovek se hodnota faktoru F3 musí zjistit na základě měření in situ, a to postupem dle mezinárodní normy ISO 11819-1: "Acoustics – Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise. Part 1: The statistical pass-by method".

#### Příloha 4: Grafické znázornění překročení hlukových limitů



## Příloha 5: Naměřené hodnoty klimatických podmínek

14.3. 2012

Posuzovaný bod 1 (7,5m)					
Čas [h]	Teplota [°C]	Relativní vlhkost [%]	Rychlost větru [km/h]	Barometrický tlak [hPa]	Podnebí
6:00	7,2	66	0,6	1045	oblačno
7:00	7,9	64	0,5	1048	oblačno
8:00	7,6	64	0,6	1047	oblačno

Posuzovaný bod 1 (7,5m)					
Čas [h]	Teplota [°C]	Relativní vlhkost [%]	Rychlost větru [km/h]	Barometrický tlak [hPa]	Podnebí
12:00	9,1	59	0,3	1051	oblačno
13:00	9,5	55	0,4	1051	polo jasno
14:00	9,8	54	0,2	1054	polo jasno

Posuzovaný bod 2 (15m)					
Čas [h]	Teplota [°C]	Relativní vlhkost [%]	Rychlost větru [km/h]	Barometrický tlak [hPa]	Podnebí
9:00	7,6	54	0,2	1046	oblačno
10:00	7,9	62	0,1	1047	oblačno
11:00	8,4	59	0,2	1047	oblačno

Posuzovaný bod 2(15m)					
Čas [h]	Teplota [°C]	Relativní vlhkost [%]	Rychlost větru [km/h]	Barometrický tlak [hPa]	Podnebí
15:00	9,6	59	0,2	1055	polo jasno
16:00	9,5	55	0,2	1056	polo jasno
17:00	9,1	58	0,3	1054	polo jasno

15.3.2012

Posuzovaný bod 3 (7,5m)					
Čas [h]	Teplota [°C]	Relativní vlhkost [%]	Rychlost větru [km/h]	Barometrický tlak [hPa]	Podnebí
6:00	7,1	68	0,3	1035	oblačno
7:00	7,5	68	0,3	1038	oblačno
8:00	7,7	66	0,2	1036	oblačno

Posuzovaný bod 3 (7,5m)					
Čas [h]	Teplota [°C]	Relativní vlhkost [%]	Rychlost větru [km/h]	Barometrický tlak [hPa]	Podnebí
12:00	8,3	61	0,3	1042	polojasno
13:00	9	59	0,2	1041	polojasno
14:00	9,1	59	0,4	1045	polojasno

Posuzovaný bod 4 (15m)					
Čas [h]	Teplota [°C]	Relativní vlhkost [%]	Rychlost větru [km/h]	Barometrický tlak [hPa]	Podnebí
9:00	7,6	66	0,5	1036	oblačno
10:00	7,8	64	0,5	1038	oblačno
11:00	8,1	64	0,4	1038	oblačno

Posuzovaný bod 4(15m)					
Čas [h]	Teplota [°C]	Relativní vlhkost [%]	Rychlost větru [km/h]	Barometrický tlak [hPa]	Podnebí
15:00	9,3	59	0,3	1045	polojasno
16:00	9,5	57	0,2	1047	polojasno
17:00	9,4	58	0,3	1046	polojasno