

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy



**Měření hluku v místech konkrétního dopravně-inženýrského
opatření**

Diplomová práce

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

Autor práce: Bc. Daniel Smejtek

Praha 2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Daniel Smejtek

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Měření hluku v místech konkrétního dopravně-inženýrského opatření

Název anglicky

Noise measurements in the specific locations of traffic-engineering measures

Cíle práce

Cílem práce je charakterizovat vliv hluku způsobeného vozidly a dopravou na člověka a okolí. Uvést legislativní a normativní podmínky v oblasti dopravního hluku. Charakterizovat dopravně-inženýrská opatření pro snižování hlukové zátěže. Provést měření hlukové zátěže v místech konkrétních dopravně-inženýrských opatření a vyhodnotit je.

Metodika

Vliv hluku z dopravy na člověka a okolí.

Legislativa a normativní podmínky pro měření hluku v dopravě

Dopravně-inženýrská opatření pro snižování hlukové zátěže

Měření hlukové zátěže v místech konkrétních dopravně-inženýrských opatření a jejich vyhodnocení

Doporučený rozsah práce

50 stran

Klíčová slova

hluk, dopravní hluk, hluková zátěž, měření hluku, omezování hluku

Doporučené zdroje informací

Křivánek, V.. Comparison of Noise Level Measurement of Road Surfaces in the Czech Republic Using the Close Proximity Method, Transactions on transport sciences , Vol. 7, no. 3 (2014), s. 109-116.

Křivánek, V.. Noise Impact on Inhabitants in Residential Areas under Various Anti-Noise Measures, Transactions on transport sciences , Vol. 6, no. 3 (2013), s. 125-132.

Liberko, M., Ládyš, L.. Výpočet hluku z automobilové dopravy – Manuál 2011. Praha : ŘSD, 2011.

Nový, R.. Hluk a chvění. Praha: České vysoké učení technické, 2009, ISBN 8001043479.

Smetana, C. a kol.. Hluk a vibrace – měření a hodnocení. Praha: Sdělovací technika, 1998, ISBN 80-901936-2-5.

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. František Lachnit, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 17. 2. 2015

doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 27. 4. 2015

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 28. 03. 2016

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma „Měření hluku v místech konkrétního dopravně-inženýrského opatření“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Františka Lachnita, Ph.D. a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury.

V Praze, dne:

.....
Podpis

Poděkování:

Tímto bych rád poděkoval Ing. Františku Lachnitovi, Ph.D za odborné vedení a pomoc při psaní této práce a Ing. Davidu Marčevovi za pomoc při měření a zpracování dat.

Abstrakt: Tato diplomová práce se zabývá měřením hluku generovaného silniční dopravou. V teoretické části je popsána fyzikální podstata zvuku, šíření zvuku, způsob vnímání zvuku člověkem, účinky hluku na člověka, metody snižování hluku, zdroje hluku ze silniční dopravy, legislativa týkající se hluku a dopravně-inženýrská opatření. V praktické části byl měřen hluk. Vyhodnocoval se hluk na autobusové zastávce, rozdíl hlučnosti na rovné vozovce a na vozovce se zpomalovacím prahem a rozdíl hlučnosti na komunikaci s odlišnou maximální povolenou rychlostí.

Klíčová slova: hluk, dopravní hluk, hluková zátěž, měření hluku, omezování hluku

Noise measurements in the specific locations of traffic-engineering measures

Summary: This thesis deals with measurements of noise generated by road traffic. In theoretical part is described physical essence of sound, sound spread, perception of sound by human, effects of noise on human, methods of noise reduction, sources of noise from road traffic, legislation regarding noise and traffic-engineering measures. In practical part the noise was measured. Evaluate the noise at the bus stop, different noise level on straight road and sleeping policeman and different noise level on roads with different maximum speed allowed.

Key words: noise, traffic noise, noise load, noise measurement, noise restricting

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce	3
3	Metodika.....	3
4	Hluk.....	4
4.1	Zdroje zvuku.....	4
4.2	Šíření zvuku.....	5
4.2.1	Odraz, ohyb a lom zvukových vln	6
4.2.2	Vliv prostředí na šíření zvuku	8
4.3	Základní akustické veličiny	8
4.4	Vnímání zvuku	11
4.4.1	Anatomie lidského ucha	13
4.4.2	Účinky hluku na člověka.....	14
4.5	Hlukové emise a imise.....	15
4.6	Metody snižování hluku	15
4.6.1	Redukce hluku ve zdroji.....	15
4.6.2	Metoda dispozice.....	16
4.6.3	Metoda izolace	16
4.6.4	Využití prostorové akustiky	16
4.6.5	Osobní ochranné pomůcky.....	17
4.7	Hluk v silniční dopravě.....	17
4.7.1	Chemické zvuky.....	18
4.7.2	Mechanické zvuky.....	18
4.7.3	Aerodynamické zvuky.....	19
4.8	Legislativa	20
4.8.1	Stará hluková zátěž.....	21
4.8.2	Limity hluku ve vnitřních prostorech.....	22

4.8.3	Limity hluku ve venkovním prostoru.....	22
4.9	Hlukové mapy a strategie	22
4.9.1	Strategická hluková mapa	23
4.9.2	Akční plán	23
5	Dopravně-inženýrská opatření	24
5.1	Nízkonákladová opatření	25
5.2	Středněnákladová opatření	25
5.3	Vysokonákladová opatření	30
6	Měření	33
6.1	Přístrojové vybavení	33
6.2	Měřicí místa.....	34
6.3	Meteorologické vlivy.....	37
6.4	Doba měření	37
6.5	Výsledky měření.....	38
7	Závěr.....	43
8	Seznam literatury.....	45
9	Seznam obrázků	48
10	Seznam tabulek	49
11	Seznam použitých symbolů.....	50
12	Seznam příloh.....	51

1 Úvod

Hluk je nedílnou součástí běžného života všech lidí. Poškozuje jak obyvatelstvo, tak i jeho okolí. Hlavními zdroji hluku jsou především různé formy dopravy (silniční, železniční a letecká). Dalšími zdroji jsou různé pracovní (průmyslová výroba) nebo mimopracovní aktivity (různé sportovní či kulturní události). Neustále se zvyšující hladina hluku, zapříčiněná zejména rostoucím počtem automobilů a tím zvýšenou intenzitou dopravy a rostoucí urbanizací, má negativní dopad na lidský organismus. Ovlivňuje nejen zdravotní stav, ale i psychiku, chování a celkovou pohodu člověka. Vnímání hluku člověkem je velmi individuální, každý člověk reaguje na stejné hlukové podněty různě. Většina obyvatel si však neuvědomuje, že žije v prostředí nadměrně zatížené hlukem.

Hlukem se zabývá zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku. Stanovují hygienické limity hluku na pracovišti, pro chráněné venkovní prostory, pro chráněné venkovní prostory staveb a pro chráněné vnitřní prostory staveb.

Existuje celá řada způsobů snižování hluku. Nejúčelnější je snižování hluku přímo ve zdroji. Dalšími možnostmi jsou odizolování zdroje hluku, vhodné umístění zdroje hluku, nebo používání osobních ochranných pomůcek. Nejčastější je kombinace více metod. Snižování hluků také může přinést technický pokrok a vývoj nových bezhlučných technologií.

Kromě negativních dopadů na člověka poškozují silniční i ostatní formy dopravy také životní prostředí. Zejména znečištěním ovzduší emisemi výfukových plynů, vibracemi a již zmíněným hlukem. Úroveň toho znečištění je závislá hlavně na intenzitě dopravy, technickém stavu vozidel a způsobu vedení komunikace.

Intenzitu dopravy, rychlost a způsob vedení komunikace ovlivňují dopravně-inženýrská opatření. Organizují a regulují dopravu pro zajištění efektivního využívání postavených komunikací, plynulosti a hospodárnosti dopravy. Zvyšují bezpečnost dopravy a snižují dopady případných dopravních nehod. Zklidňování dopravy snižuje negativní fyzické a sociální dopady dopravy na městský život a tím zvyšuje kvalitu života ve městech.

Tato diplomová práce se dělí na dvě hlavní části: literární rešerši a praktické měření. Rešerše se zabývá teoretickými poznatky v oblasti hluku a dopravně-inženýrských opatření. Uvádí základní akustické veličiny a objasňuje problematiku vnímání zvuku, šíření zvuku, vliv hluku na člověka, možnosti snižování hluku, mechanismy vzniku hluku ze silniční dopravy a

vysvětluje pojem dopravně-inženýrská opatření. V druhé části jsou výsledky měření hluku na vybraných dopravně-inženýrských opatřeních a vyhodnocení naměřených dat. Při měření hluku je nutné postupovat dle normy ČSN ISO 1996.

2 Cíl práce

Cílem práce je charakterizovat vliv hluku způsobeného vozidly a dopravou na člověka a okolí. Vyjmenovat možnosti snižování hlukové zátěže. Popsat zdroje hluku způsobovaného dopravou. Uvést legislativní a normativní podmínky v oblasti dopravního hluku. Charakterizovat dopravně-inženýrská opatření pro snižování hlukové zátěže. Provést měření hlukové zátěže v místech konkrétních dopravně-inženýrských opatření a vyhodnotit je.

3 Metodika

Nejprve se v odborné literatuře vyhledají informace o problematice hluku a zpracuje se literární rešerše. Pro praktická měření se vyhledají vhodná dopravně-inženýrská opatření. Doba měření, umístění mikrofону a meteorologické podmínky v průběhu měření musí splňovat požadavky dané Zákonem č. 258/2000 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací a normou ČSN ISO 1996. Během měření se zaznamenávají údaje o intenzitě dopravy. Naměřená data se zpracují a vyhodnotí.

4 Hluk

Za hluk považujeme každý rušivý, škodlivý nebo pro člověka nepříjemný zvuk. Zvuk představuje z fyzikálního hlediska mechanické vlnění pružného prostředí ve frekvenčním rozsahu 20 Hz až 20 kHz. Zvuk s frekvencí od 20 Hz do 40 Hz nazýváme nízkofrekvenční a od 8 kHz do 16 kHz vysokofrekvenční. Akustické kmitání o frekvenci nižší než 20 Hz nazýváme infrazvuk a zvuk o frekvenci nad 20 kHz ultrazvuk. Subjektivně rozlišujeme hlasitost, barvu a výšku zvuku. (Jandák, 2007)

4.1 Zdroje zvuku

Fyzikálně nejjednodušším zdrojem zvuku je zářič nultého řádu, nazývaný také monopól nebo unipól. Lze si ho představit jako pulzující kouli vyzařující akustickou energii do všech směrů se stejnou fází a amplitudou. Tím vytváří zvukové pole kulových vln. Se vzdáleností od zdroje klesá akustický tlak v poli kulových vln úměrně. Akustická intenzita však klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje.

Ve velké vzdálenosti od zdroje zvuku se kulová vlna se zvětšujícím se poloměrem kulových vln mění ve vlnu rovinnou. Před plošným zářičem, jehož rozměry jsou mnohem větší než vlnová délka vyzařovaného zvuku, vzniká pole rovinných zvukových vln. Šířící se rovinné vlny zůstávají stejné, nemění se plocha jejich vlnoploch a proto se akustická intenzita a akustický tlak nemění se vzdáleností od zdroje. Toho využívají tzv. trubkové „telefony“.

Pokud kmitá soufázově nekonečná řada bodových zdrojů, pak se akustická energie šíří do všech směrů kolmých na řadu bodových zdrojů a vytváří se válcové zvukové vlny. Takový zdroj zvuku označujeme jako liniový zdroj. Je to například hustě jedoucí proud automobilů nebo dlouhý vlak.

Pokud dva blízké bodové zdroje pulzují v protifázi, označujeme je jako akustický zdroj prvního řádu, nebo akustický dipól. Interferencí dvou zvukových polí se vytváří směrově závislé zvukové pole, které lze zobrazit dvěma kulovými plochami, dotýkajícími se v místě, kde dipól leží a orientované ve směru spojnice obou zářičů. Nejúčinnější vyzařování je ve směru dipólu, naopak do roviny kolmé na osu dipólu a procházející jeho středem je vyzařování teoreticky nulové. (Smetana, 1998)

4.2 Šíření zvuku

Zvuk se šíří daným prostředím od zdroje prostřednictvím vln přenášejících akustickou energii. Rozkmitané částice narážejí do sousedních částic a vlnění se tak šíří rychlostí c :

$$c = k \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (1)$$

kde: k konstanta [-]
 E modul pružnosti prostředí [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$]
 ρ hustota prostředí [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

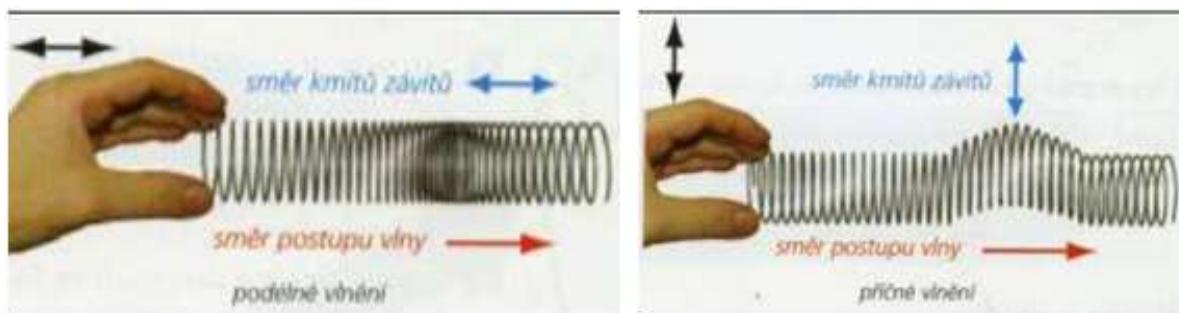
Rychlost šíření zvuku v různých prostředích je uvedena v následující tabulce (tab. 1).

Tab. 1: Rychlost šíření zvuku v různých prostředích

prostředí	Rychlost zvuku [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
Vzduch (20 °C, 1013 hPa)	344
Mořská voda (13 °C)	1500
Beton	1700
Dřevo bukové a dubové	3400
Hliník	5100
Ocel	5000
Sklo	5200
Led	3200
PVC	2380
Korek	500
Kaučuk	40

Zdroj: Beran, 2010

Zvuk ve formě akustického vlnění se může šířit v kapalinách, plynech i pevných látkách. Vlnění dělíme na podélné a příčné (obr. 1), podle toho zda částice prostředí kmitají ve směru šíření vlnění nebo kolmo k němu. U podélného vlnění je směr kmitání jednoznačně určen směrem šíření vlnění, u příčného vlnění jsme nuceni udávat také rovinu, ve které částice kmitají. Pokud všechny kmity probíhají v jedné rovině, nazýváme takové vlnění lineárně polarizované.



Obr. 1: Podélné a příčné vlnění

Zdroj: <http://www.zsvysoka.cz/vlneni/d-1394>

U kapalin a plynů může nastat pouze podélné akustické vlnění. To je způsobeno tím, že tyto látky jsou pružné pouze ve smyslu objemové stlačitelnosti. U elastických materiálů se může vyskytovat vlnění podélné i příčné, neboť vykazují pružnost nejen v tlaku a tahu, ale i smyku. Kombinací těchto namáhání vzniká i kmitání ohybové.

Důležitým faktem je, že částice kmitají pouze kolem svých rovnovážných poloh a nepohybují se ve směru šířícího se vlnění. Šíření akustického vlnění je spojeno s přenosem energie. (Nový, 1995)

4.2.1 Odraz, ohyb a lom zvukových vln

Přímočaré šíření akustického vlnění je ovlivněno odrazem od překážek, ohybem v prostředí s proměnnými vlastnostmi, a nebo lomem při přechodu z jednoho prostředí do druhého.

- **Odraz akustických vln**

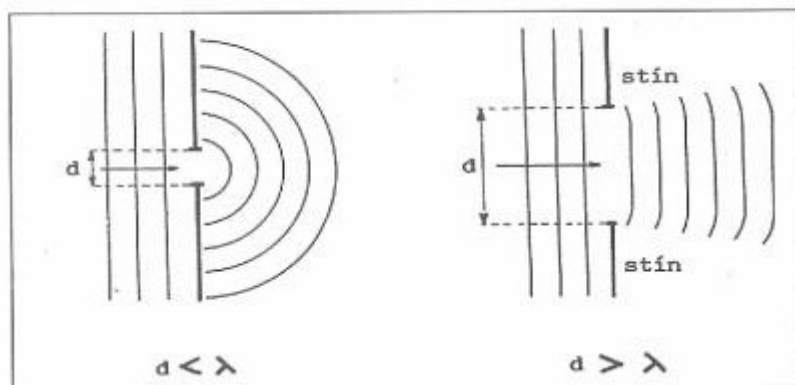
K odrazu zvukové vlny dochází, pokud její vlnová délka je srovnatelná nebo menší než rozměry odrazné plochy. U rovinné plochy, jejíž rozměry jsou podstatně větší než délka

dopadající vlny, lze použít zákon odrazu, tedy že úhel odrazu se rovná úhlu dopadu. U zakřivené plochy je odraz složitější. Odraz závisí na poloměru zakřivení, celkových rozměrech odrážející plochy a vzájemném poměru vlnové délky.

Odraz zvukových vln způsobuje koncentraci zvukové energie před překážkou, což má za následek zvýšení akustického tlaku. Naopak za překážkou vzniká tzv. akustický stín, kde na opačné straně překážky poklesne akustický tlak přibližně o tolik dB, o kolik vzrostl před překážkou. (Smetana, 1998)

- **Ohyb akustických vln**

Ohyb šířících se vln je důsledkem Huygensova principu, kde každé místo na hraně překážky je novým zdrojem kulových vln. Když složíme všechny dílčí účinky, dostaneme změnu směru šíření a tedy ohyb vln. Velikost odchýlení závisí na velikosti překážky a vlnové délce postupujícího vlnění. Z obr. 2 je zřejmé, že pokud je velikost otvoru výrazně menší než vlnová délka, vzniká nová kulová vlna. Je-li velikost otvoru větší než vlnová délka, projeví se ohyb vln.



Obr. 2: Průchod zvuku otvory v překážce

Zdroj: <http://mujweb.cz/kasparik.j/AKUSTIKA-ORGANOLOGIE.htm>

- **Lom akustických vln**

Lom paprsku akustické vlny nastává, pokud se vlna šíří do jiného prostředí. Je-li rychlost šíření zvuku v novém prostředí větší než v původním prostředí, lomí se směr paprsku

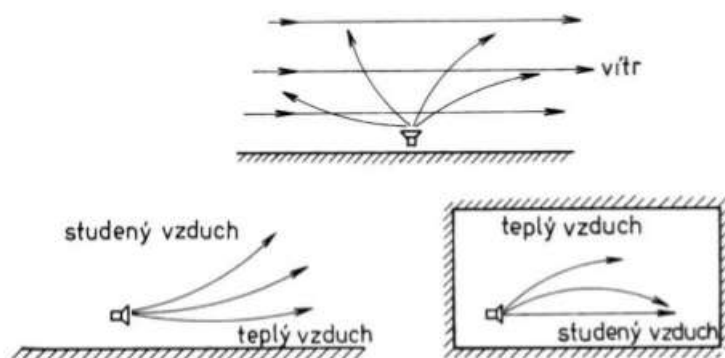
od kolmice ke styčné ploše prostředí. Pokud je úhel dopadu větší než tzv. mezní úhel, nastane úplný odraz. (Smetana, 1998)

4.2.2 Vliv prostředí na šíření zvuku

Pokud se hluk šíří v ideálním prostředí bez ztrát, je útlum závislý pouze na vzdálenosti. V reálném prostředí je však útlum zvýšen vlivem absorpce ve vzduchu, deště nebo sněhu, mlhy a větru. Relativní vlhkost prostředí a frekvence kmitání má velký vliv na útlum absorbcí. Při vyšších frekvencích jsou útlumy větší. (Dvořák, 2001)

Pokud se akustické vlnění pohybuje ve volném prostoru, může dojít ke změně směru šíření vlivem větru (obr. 3). Dalším vlivem větru je přídavný útlum (proti směru větru) nebo zisk (po směru větru) a to přibližně o tolik dB/100m, kolik desítek $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ je rychlost větru (např. pro $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ uvažujeme $1,5 \text{ dB}/100\text{m}$). (Smetana, 1998)

S rostoucí teplotou roste i rychlost šíření zvuku. Za normálních podmínek v atmosféře teplota klesá s nadmořskou výškou. Výjimkou je tzv. inverze, kdy teplota naopak s nadmořskou výškou roste. (Beran). Odlišně prohřáté vrstvy vzduchu se jeví jako jiné prostředí a nastává lom zvukového paprsku směrem do chladnějších vrstev (obr. 3). (Smetana, 1998)



Obr. 3: Vliv větru a teploty na směr šíření zvukového paprsku

Zdroj: Smetana (1998)

4.3 Základní akustické veličiny

Jako základní akustické veličiny můžeme označit akustickou rychlost, akustický tlak, akustický výkon, akustickou intenzitu, vlnovou délku, hladinu akustického tlaku, ekvivalentní hladinu akustického tlaku a hladinu intenzity zvuku.

- **Akustická rychlost**

Akustická rychlost v [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] je rychlost jakou kmitají jednotlivé částice prostředí, kterým se akustická vlna šíří. Akustická rychlost je jednou z nejvýznamnějších akustických veličin a je nutné ji důrazně odlišovat od rychlosti šíření zvuku. Její velikost je o několik řádů nižší než rychlost šíření zvuku. (Nový, 1995)

- **Akustický tlak**

Při pohybu částic v pružném prostředí dochází k jejich seskupování a rozptylování a tím dochází k malým změnám tlaku. Ten se nazývá akustický tlak p [Pa]. Člověk je trvale zatěžován barometrickým tlakem přibližně $p_b = 10^5$ Pa. Zdravý člověk je schopný zachytit tlakovou změnu $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa, která se nazývá prahový akustický tlak. (Beran, 2010)

- **Akustický výkon**

Akustický výkon P [W] udává množství akustické energie, kterou zdroj vyzáří do svého okolí za jednotku času. Je určující veličinou pro každý zdroj, která nezávisí na vnějších podmínkách ani pozorovateli. Je to vlastnost zdroje a jako takový je absolutním parametrem, který je využíván při porovnávání akustických zdrojů. (Beran, 2010)

- **Akustická intenzita**

Akustická intenzita I [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$] je vektor, který udává tok akustické energie v daném směru a smyslu plochou kolmou k tomuto směru, vztažený na jednotku plochy. V prostředí, které nemá vlastní pohyb, je vektor akustické intenzity roven součinu okamžitého akustického tlaku a odpovídající okamžité rychlosti částic ve stejném místě. (Smetana, 1998)

- **Vlnová délka**

Vzdálenost mezi dvěma nejbližšími body bodové řady, které mají stejný akustický stav, se nazývá vlnová délka λ [m]. Je to tedy vzdálenost, kterou urazí zvuková vlna za dobu jednoho kmitu. Mezi vlnovou délkou λ [m], rychlostí šíření zvuku c [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] a frekvencí f [Hz] a platí vztah (Nový, 1995):

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2)$$

kde: λ vlnová délka [m]
 c rychlost šíření zvuku [m.s⁻¹]
 f kmitočet signálu [W.m⁻²]

- **Hladina akustického tlaku**

Hodnoty akustického tlaku se pohybují ve velmi širokém rozsahu. Podle Weber-Fechnerova zákona je mezi objektivními akustickými veličinami a subjektivním vnímáním člověka logaritmická závislost. Proto se v akustice používají logaritmické stupnice. Tato stupnice má jako počáteční bod prahovou hodnotu (referenční) akustického tlaku $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa. Tomu odpovídá v decibelové stupnici 0 dB. Každý desetinásobek akustického tlaku se projeví zvýšením hladiny akustického tlaku o 20 dB. Hladina akustického tlaku L_p [dB], někdy také označována SPL (sound pressure level) je definována vztahem (Nový, 1995):

$$L_p = 20 \cdot \log \frac{p}{p_0} \quad [\text{dB}] \quad (3)$$

kde: p efektivní hodnota sledovaného akustického tlaku [Pa]
 p_0 referenční akustický tlak [Pa]

- **Ekvivalentní hladina akustického tlaku**

V případech, kdy hladina akustického tlaku v čase výrazněji kolísá (o více než 5 dB), není možné jednočíselně charakterizovat hlukovou situaci. Proto byla zavedena ekvivalentní hladina akustického tlaku L_{eq} [dB] pro hodnocení proměnných akustických signálů. Je to fiktivní ustálená hladina akustického tlaku, která na člověka působí v průběhu sledovaného času stejně jako proměnná hladina akustického tlaku za stejnou dobu. Je určena vztahem (Nový, 1995):

$$L_{eq} = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{pi}} \cdot \eta_i \quad [\text{dB}] \quad (4)$$

kde: η_i relativní četnost výskytu hladiny zvuku L_{pi} [-]
 L_{pi} střední hladina zvuku v i-tém hladinovém intervalu [dB]

- **Hladina intenzity zvuku**

Referenční hodnota intenzity zvuku neboli nejmenší intenzita, kterou je člověk schopný vnímat, je stanovena na $I_0 = 10^{-12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Hladina intenzity zvuku L_I [dB] je definována vztahem (Nový, 1995):

$$L_I = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} \quad [\text{dB}] \quad (5)$$

kde: I intenzita zvuku sledovaného akustického signálu [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]
 I_0 referenční hodnota intenzity zvuku [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]

4.4 Vnímání zvuku

Každý člověk vnímá akustický tlak a frekvence ve slyšitelném rozsahu 20 Hz až 20 kHz odlišně. Nevyhodnocuje pro různé frekvence stejnou hladinu akustického tlaku jako stejnou hlasitost. Proto se experimentálně určila jejich závislost a normalizovali se křivky hladin stejné hlasitosti (obr. 4). Křivka 0 dB se označuje jako práh slyšení. Hodnoty hladiny akustického tlaku okolo 20 dB většina lidí hodnotí jako hluboké ticho a necítí se dobře. Naopak při hladině 130 dB začíná hluk působit bolest ve sluchovém orgánu. Tato křivka se nazývá práh bolesti. Při hladině přibližně 160 dB dochází k protržení bubínku. Příklady zdrojů hluku a jejich přibližnou hladinu akustického tlaku jsou v tab. 2. (Nový, 1995)

Lidský sluch je rozdílně citlivý na frekvence vnímaného zvuku. Přesto je nutné jednoduše a jednočíselně vyjádřit hlukovou zátěž lidí od okolního prostředí. Proto je důležité přiblížit měřené akustické veličiny vlastnostem lidského ucha. Toho je dosaženo zařazením tzv. váhových filtrů do měřicího řetězce. Používá se více typů váhových filtrů. Nejdůležitější

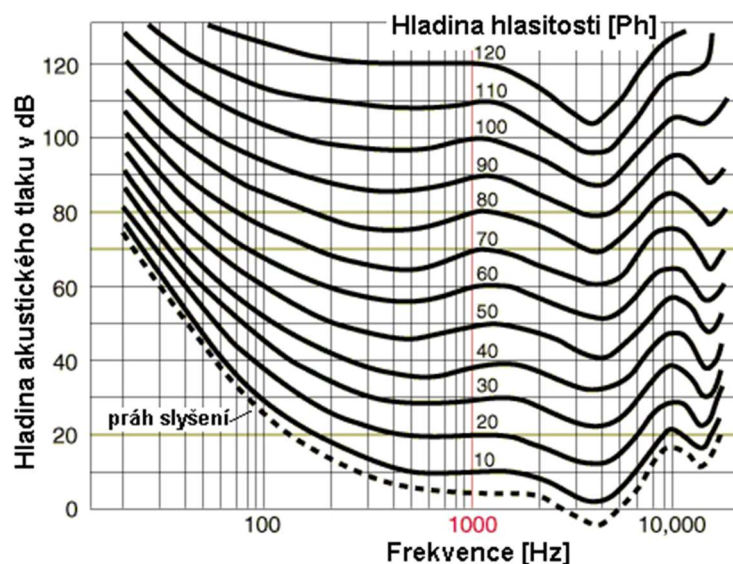
je váhový filtr A, který se nejvíce přibližuje k vnímání lidského ucha. Váhové filtry B a C jsou aproximací křivek stejné hlasitosti pro střední a vysoké hladiny akustického tlaku.

Tab. 2: Příklady zdrojů hluku a jejich přibližná hladina akustického tlaku

dB	Příklady a vnímání člověkem
0	práh slyšitelnosti
20	hluboké ticho, bezvětrí
30	šepot, velmi tichý byt či velmi tichá ulice
40	tlumený hovor, tikot budíku
50	klid, tichá pracovna, obracení stránek novin
60	běžný hovor
70	mírný hluk, běžný poslech televize
80	velmi silná reprodukováná hudba, vysavač v blízkosti
90	silný hluk, jedoucí vlak
100	sbíječka, maximální hluk motoru
110	velmi silný hluk, živá rocková hudba, kovárna kotlů
120	startující proudové letadlo ve vzdálenosti 300 m
130	práh bolestivosti
140	akustické trauma, startující proudové letadlo ve vzdálenosti 10 m
160	výstřel z pistole
170	zábleskový granát

Zdroj: Nový, 1995

Lidé jsou většinou vystavováni mnoha zvukům najednou, některé z nich jsou nežádoucí a lze je nazvat hlukem pozadí. Pokud jsou frekvenční složky hluku pozadí dostatečně silné ve srovnání se stejnými složkami poslouchaného zvuku, příjem zvuku a zvláště pak srozumitelnost řeči může být zhoršena nebo maskována. Maskující efekt lze chápat jako posunutí prahu slyšení, způsobené silnějším zvukem. Nejvýraznější posunutí prahu slyšení je okolo frekvence maskujícího zvuku. (Mišun, 1998)

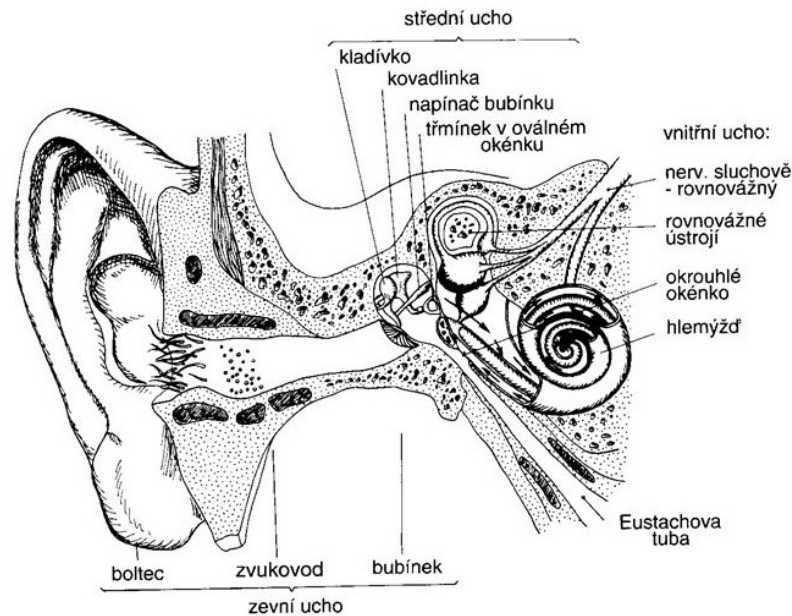


Obr. 4: křivky hladin stejné hlasitosti

Zdroj: (Yerges, 1978)

4.4.1 Anatomie lidského ucha

Lidské ucho (obr. 5) se skládá z vnějšího, středního a vnitřního ucha. Zvuk je ve vnějším uchu přijímán boltcem, který zachycuje velké množství akustické energie a po průchodu zužujícím se zvukovodem ji soustřeďuje na blánu bubínku. Zvukovod zároveň působí jako rezonátor. Na blánu bubínku přiléhají drobné kůstky středního ucha – kladívko, kovadlinka a třmínek se Silviovou kůstkou. Vyrovnávání tlaků působících na bubínek zajišťuje Eustachova trubice, která spojuje střední ucho s ústní dutinou. Rozruch se dále šíří do vnitřního ucha, kde je zachycen hlemýžděm. Na jeho membráně je umístěno Cortiho ústrojí, do něhož ústí jemná vlákna sluchového nervu. (Beran, 2010)



Obr. 5: Lidské ucho

Zdroj: (Beran, 2010)

4.4.2 Účinky hluku na člověka

Vliv hluku na člověka je nepochybně škodlivý, nepříjemný, rušivý a tím pádem nežádoucí. Působení hluku na člověka můžeme posuzovat v okamžiku jeho působení jako ztrátu koncentrace, snížení pracovní aktivity, atd. nebo jako následek působení vysokých hladin hluku v minulosti. Po několika minutách působení hluku na člověka dochází k posunu sluchového prahu. Sluchový orgán se rychle přizpůsobuje a hluk vnímá s menší hlasitostí. Pokud je člověk dlouhodobě vystavován hladinám akustického tlaku nad 85 dB často dochází k trvalému poškození sluchu nazývané sluchové trauma. Sluch může být porušen i krátkodobým akustickým podnětem, např. výbuchem. (Beran, 2010)

Poškození sluchového aparátu je prokázáno u expozice hlukem a je závislé na výši ekvivalentní hladiny akustického tlaku a době jeho působení. Zvýšené hodnoty hluku vedou dále ke zhoršení řečové komunikace, podrážděnostem a pocitu nespokojenosti. Může také překrývat a maskovat důležité akustické signály jako např. telefon, alarm nebo domovní zvonek.

Hluk také působí potíže při spánku. Způsobuje obtíže při usínání, probouzení, změny délky a hloubky spánku. Může být příčinou zvýšení krevního tlaku, zrychlení srdečního pulsu, arytmie a změny dýchání. Výsledek narušeného spánku se pak projevuje následující den zvýšenou únavností, bolestmi hlavy, zhoršenou náladou a snížením výkonu. (Liberko, 2004)

4.5 Hlukové emise a imise

Při rozlišování hlukových emisí a imisí posuzujeme vztah mezi vlastním hlukem a jeho zdrojem (hluková emise) nebo vztah mezi hlukem a místem jeho příjmu (hluková imise). O hlukové emise se jedná, pokud sledujeme akustickou energii vyzařovanou zdrojem hluku pouze ve vztahu k samotnému zdroji. Na hlukové emise nemají vliv vlastnosti okolního prostředí, jsou závislé jen na zdroji hluku. Pokud mluvíme o hlukové imisi, zajímáme se o akustickou energii v místě jejího příjmu. Hodnota hlukových imisí je závislá na hlukových emisích zdroje a šíření akustické energie mezi zdrojem a místem příjmu. (Liberko, 2004)

4.6 Metody snižování hluku

Nejúčinnější opatření při snižování hluku je přímá redukce hluku ve zdroji. Dále se aplikuje metoda dispozice a metoda izolace, využívání znalostí prostorové akustiky a použití osobních ochranných pomůcek. Největší efekt snížení hlučnosti se dosáhne při použití vhodné kombinace všech uvedených metod. Primárně se používají metody, které při daném problému nejvíce snižují hlučnost a přitom jsou cenově dostupné. (Nový, 1995)

4.6.1 Redukce hluku ve zdroji

Tato metoda je založena na úplném odstranění zdroje hluku nebo ve snižování jeho hlučnosti. Je to nejúčinnější metoda, která vyžaduje nižší finanční náklady než dodatečná opatření. Metodu redukce hluku přímo u zdroje lze aplikovat při konstrukci a stavbě strojů, technologických a dopravních zařízení, dopravních prostředků atd. Například u kompresorů a spalovacích motorů se používá tlumení sání a výfuku. (Nový, 1995)

V oblasti techniky se opakovaně používají některé typické konstrukce, mechanismy nebo funkční principy, jako ozubené převody, klikové mechanismy, valivá ložiska, princip spalovacích motorů, atd. Hluk, který tyto prvky vytvářejí, je závislý na konstrukci,

materiálech a provozních parametrech. U podobných konstrukcí se projevují i akustické podobnosti. To umožňuje, abychom na základě dřívějších znalostí odhadli údaje o hlučnosti nebo volili přiměřené konstrukční řešení u plánovaných projektů. (Němec, 1970)

4.6.2 Metoda dispozice

Metoda dispozice spočívá ve vhodném umístění hlučných stojů a zařízení, respektive oddělení celých hlučných prostorů od chráněných a méně hlučných. Uplatňuje se především při územním plánování, projektování průmyslových závodů, letišť, dopravních tepen a to tak, aby hlučné stroje a provoz neovlivňovali akustickou pohodu ve chráněných prostorech, jako jsou sídliště, nemocnice, školská zařízení, rekreační oblasti, apod. (Nový, 1995)

4.6.3 Metoda izolace

Metoda izolace je založena na zvukovém odizolování hlučného zařízení, stroje nebo celého prostoru od chráněného prostoru. Toho využívá zejména stavební akustika, která se zabývá výpočtem, navrhováním a stavbou zvukoizolačních příček, stropů, krytů, apod. Hlučné stroje, u kterých nelze snížit hlučnost přímo ve zdroji, se dávají pod zvukoizolační kryty nebo zákryty, jejichž hlavním účelem je zamezit šíření hluku do okolí. (Nový, 1995)

4.6.4 Využití prostorové akustiky

Pokud zvuková vlna dopadne na plochu, její energie se zčásti pohltí. Schopnost plochy pohlcovat zvukovou energii se udává činitelem pohltivosti α . Tento činitel lze vyjádřit jako poměr energie pohlcené plochou k energii dopadající na tuto plochu. Vysoce odrazivé plochy jsou charakteristické nízkým činitelem pohltivosti.

Zrna a jiné částice, ze kterých se skládá konstrukce, jsou rozvibrovány dopadajícími zvukovými vlnami. Vibrace způsobují tření a okamžitou přeměnu akustické energie na energii tepelnou (teploty nepozorovatelné lidskými smysly). Aby bylo přeměněno dostatečné množství energie, musí být třecí plocha dostatečně velká. Proto jsou pro tyto účely nejvhodnější porézní látky nebo látky s mezerovitou strukturou. (Rubáš, 2011) Při snižování hlučnosti uvnitř místností se využívá této metody. (Nový, 1995)

4.6.5 Osobní ochranné pomůcky

U některých zařízení není možné hluk snížit předchozími popsányi metodami. V těchto případech se používají osobní ochranné pomůcky nebo zkracuje doba expozice hluku. Základním požadavkem na chrániče sluchu je dostatečný útlum hluku v širokém rozsahu frekvencí. Důležité jsou však i neakustické vlastnosti chrániče. Při nošení nesmí vyvolávat pocit tlaku, nesmí dráždit pokožku nebo padat při pohybu hlavou.

Různá intenzita hluku a různé pracovní podmínky dali vzniknout třem základním typům pomůcek:

- Pomůcky, které se zasunují do zvukovodu (pro hlučnost do 100 dB)
- Pomůcky, které chrání cele vnější ucho (pro hlučnost do 120 dB)
- Pomůcky, které chrání celou lebku (obr.6) (pro hlučnost nad 120 dB)

(Němec, 1970)



Obr. 6: Ochranná helma proti hluku

Zdroj: http://www.wampi.cz/Ochranne-prilby-c25_58_2.htm

4.7 Hluk v silniční dopravě

Hluk dopravních prostředků se rozděluje na vnitřní a vnější. Vnitřní hluk působí na posádku vozidla a je jedním z ukazatelů komfortu jízdy. Nepodléhá však legislativním předpisům. Je způsobován hnacím ústrojím a kontaktem pneumatik s povrchem vozovky. Vnější hluk působí na obyvatele pohybující se v okolí pozemní komunikace a podléhá tedy hygienickým předpisům, které udávají maximální přípustné hladiny hluku. (Beran, 2010)

Zdrojem hluku dopravních prostředků je spalování motoru (chemické zvuky), pohyb mechanismů (mechanické zvuky), proudění vzduchu a odvalování pneumatik (aerodynamické zvuky). (First, 2008) Hluk vyvolaný dopravou roste především s intenzitou dopravy. Je však závislý na dalších faktorech:

- Rychlost vozidla
- Mechanický výkon motoru
- Režim práce motoru
- Technický stav vozidla
- Kvalita vozovky
- Okolní zástavba
- Povětrnostní podmínky atd.

(Nový, 1995)

4.7.1 Chemické zvuky

Většina současných automobilů je vybavena spalovacími motory. Při zapálení směsi paliva se vzduchem dochází v motoru k náhlému zvýšení tlaku. To způsobuje hluk a vibrace. Jsou tu však i další zdroje hluku při chodu motoru. Je to hluk sání čerstvého vzduchu, výfuku spalin, chlazení motoru a dalších podpůrných systémů. Jako řešení se jeví použití elektrického pohonu, který je výrazně tišší. Účinek by to však mělo jen při nízkých rychlostech, protože při rychlé jízdě začínají dominovat ostatní složky hluku z dopravy. (Murphy, 2014)

4.7.2 Mechanické zvuky

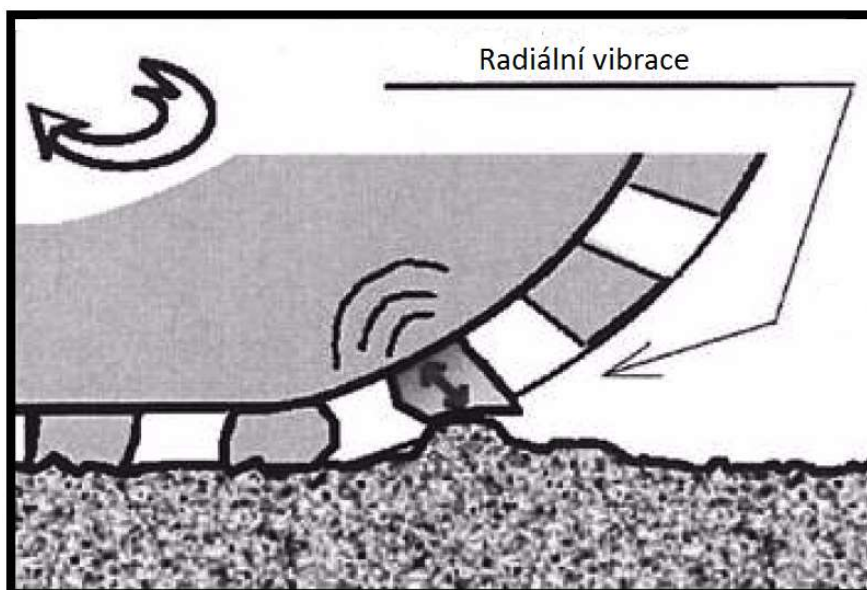
Hlavním zdrojem mechanických zvuků dopravních prostředků jsou valivá ložiska, ozubené převody a klikový mechanismus. Valivá ložiska, na rozdíl od téměř bezhlučných kluzných ložisek, bývají významným zdrojem hluku. To je způsobeno odchylkou oběžné dráhy a valivých těles ložisek od ideálního geometrického tvaru. Nerovnoměrné pohyby a rázy vzniklé vlivem těchto nepřesností způsobují chvění, které se přenáší do okolní konstrukce. (Němec, 1970) Další příčinou hluku ložisek je tzv. prokluz. Ten je způsoben nedokonalým odvalováním, které při vysokých otáčkách vyvolává velké dynamické budící síly. (Nový, 1995)

Postupným záběrem zubů ozubených převodů vznikají dynamické síly, které rozkmitávají jednotlivé části převodovky. Vzniklé chvění se přenáší na skříň převodovky a vyzařuje do okolí jako hluk. Hluk klikového mechanismu je u dopravních prostředků nevýznamný. (Němec, 1970)

4.7.3 Aerodynamické zvuky

Příčinou vzniku aerodynamického hluku není kmitání povrchu pevných těles, ale rychlé změny tlaku vzduchu způsobené karoserií jedoucího vozidla. Tlakový rozruch je pak příčinou vzniku akustických vln. (Mišun, 1998)

Při odvalování pneumatik dochází v tzv. kontaktní zóně k postupnému narážení jednotlivých dezénových bloků na povrch vozovky. To způsobuje radiální vibrace pneumatiky (obr. 7). Rozvibrované bočnice pneumatik se stávají zdrojem hluku v rozsahu nízkých frekvencí od 500 do 1 000 Hz. Snížení hlučnosti je možné použitím pružného povrchu vozovky s malou velikostí kameniva.



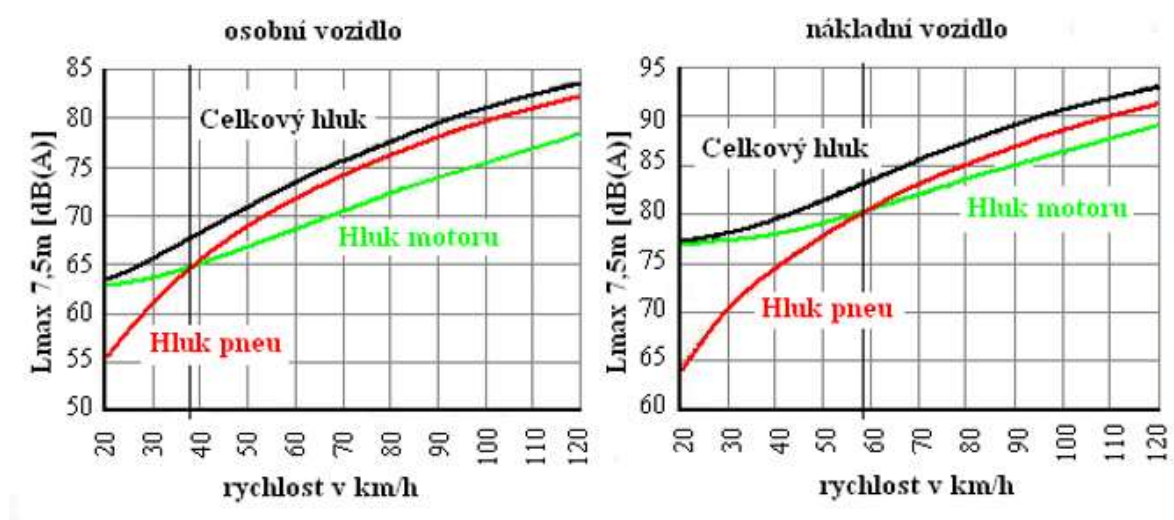
Obr. 7: Radiální vibrace pneumatiky

Zdroj: Gottvaldová, 2011

V kontaktní zóně dochází k postupnému deformování a stlačování drážek mezi dezénovými bloky. Z těchto drážek je vytlačován vzduch zvyšováním tlaku na sousedící dezénové bloky, způsobený otáčením pneumatiky. Po dalším pootočení pneumatiky se napětí

uvolní a na zadní straně kontaktní zóny je vzduch opět nasáván. Po opuštění kontaktní zóny se dezén rychle vrátí do původního tvaru, což má za následek radiální a tangenciální vibrace pneumatiky. Hluk související se vzorkem pneumatik je vyzařovaný v rozsahu vysokých frekvencí od 1 000 do 2 000 Hz. (Gottvaldová, 2011)

Hlavním zdrojem hluku automobilů je při nízké rychlosti (přibližně 40 km.h⁻¹ u osobních automobilů a 60 km.h⁻¹ u nákladních automobilů) spalovací motor. Při rychlosti přibližně do 200 km.h⁻¹ převládá hluk od pneumatik, způsobený jejich odvalováním po vozovce. Při překročení rychlosti 200 km.h⁻¹ se stává dominantním aerodynamický hluk, způsobený obtékáním vzduchu kolem vozidla. Závislost hluku na rychlosti vozidla je patrná z obr. 8. (Křivánek, 2013)



Obr. 8: Závislost hluku na rychlosti vozidla

Zdroj: Křivánek, 2013

4.8 Legislativa

Hlukem se zabývá zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví v §30 - §34. Definiuje hluk jako zvuk, který může být škodlivý pro zdraví a jehož hygienické limity stanoví prováděcí předpis. Dále udává osobu zodpovědnou za dodržování těchto limitů hluku jako: „provozovatele letiště, vlastníka, případně správce pozemní komunikace, vlastníka dráhy.“ Zároveň dává i jistou úlevu pro osoby provozující zdroj hluku a letiště, u kterých je hluk omezen na rozumně dosažitelnou hladinu. Tuto hladinu definuje jako: „poměr mezi náklady

na protihluková opatření a jejich přínos ke snížení hlukové zátěže fyzických osob s ohledem na jejich počet.“

Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. *o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku* popisuje měření a hodnocení hluku pro denní (6:00 až 20:00) a noční dobu (22:00 až 6:00) a udává hygienické limity hluku na pracovišti, pro chráněné venkovní prostory, pro chráněné venkovní prostory staveb a pro chráněné vnitřní prostory staveb.

Limity hlukových emisí vnějšího hluku jedoucích vozidel vztahující se k novým vozidlům udávají předpisy EHK 41, 51 a 63. Tyto limity jsou v následující tabulce (tab. 3).

Tab. 3: Limity hluku podle předpisů EHK 41, 51 a 63

Druh vozidla	Limit [dB (A)]
Mopedy do max. rychlosti 25 km.h-1	66
Mopedy s rychlostí nad 25 km.h-1	71
Motocykly do objemu motoru 80 ccm	75
Motocykly s objemem motoru 80 -175 ccm	77
Motocykly (kat. L) s objemem motoru >175 ccm	80
Osobní automobily	74
Autobusy přes 3,5 tuny	
s výkonem do 150 kW	78
s výkonem přes 150 kW	80
Autobusy a užitková vozidla	
S hmotností do 2 tun	76
S hmotností 2 – 3,5 tuny	77
Užitková vozidla přes 3,5 tuny	
S výkonem do 75 kW	77
S výkonem 75 - 150kW	78
S výkonem přes 150kW	80
Hluk stlačeného vzduchu	72

Zdroj: First, 2008

4.8.1 Stará hluková zátěž

Starou hlukovou zátěž definuje nařízení vlády č. 272/2011 Sb. jako stávající stav hluchnosti ve venkovním prostoru působený hlukem z dopravy vzniklý před 1. lednem 2001. Jinak řečeno, jedná se o hluk, který byl v daném místě už před zmíněným termínem.

Stará hluková zátěž definuje ve venkovním prostředí oblasti (zejména podél pozemních komunikací s velkou intenzitou dopravy), jejichž akustická situace je natolik nevhodná, že

další navyšování hlučnosti není přípustné bez speciálního posouzení. Limit staré hlukové zátěže pro denní dobu je 70 dB a pro noční dobu 60 dB. (Liberko, 2004)

4.8.2 Limity hluku ve vnitřních prostorech

Hodnoty hluku uvnitř staveb se stanovují ekvivalentní hladinou akustického tlaku $A_{L_{Aeq}}$ a maximální hladinou hladiny akustického tlaku L_{max} . Pro hluk z letecké dopravy a dopravy po pozemních komunikacích a drahách se určuje pro celou denní a noční dobu. Hygienické limity ekvivalentní hodnoty akustického tlaku A pro hluk uvnitř budov se určí pomocí základní hladiny akustického tlaku $A_{L_{Aeq}}=40$ dB, ke které se přičte korekce zohledňující využití prostoru a denní dobu. Tabulka korekcí pro vnitřní prostory je v příloze 1.

4.8.3 Limity hluku ve venkovním prostoru

Hluk ve venkovním prostředí se stanovuje ekvivalentní hladinou akustického tlaku $A_{L_{Aeq}}$ pro celou denní a noční dobu. Hygienické limity se určí obdobně jako u obytných místností součtem základní hladiny akustického tlaku $L_{Aeq}=50$ dB a korekcí zohledňující druh prostoru a denní dobu. Tabulka korekcí pro venkovní prostory je v příloze 2.

4.9 Hlukové mapy a strategie

Evropská unie se snaží regulovat velikost environmentálního hluku pomocí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES, která zavazuje členské státy k vytvoření strategických hlukových map, jejich zveřejnění a v návaznosti na výsledky hlukového mapování přijetí akčních plánů. V České republice je tato směrnice zabudována do vyhlášky č. 523/2006 Sb. o hlukovém mapování. Tato vyhláška udává mezní hodnoty hlukových ukazatelů, jejich výpočet pro hluk z průmyslu a dopravy, základní požadavky na akční plány a strategické hlukové mapy a způsob jejich zveřejnění.

Proces strategického hlukového mapování se rozděluje do dvou opakujících se kroků: strategické hlukové mapy a akční plány. Tento proces se opakuje každých 5 let. Od roku 2007 se povinně vypracovává pro aglomerace s více než 250 000 obyvatel, hlavní silnice s intenzitou větší než 6 milionů vozidel ročně, železniční tratě s intenzitou větší než 60 000 vlaků ročně a letiště s více než 50 000 přistání nebo vzletů ročně. (Akční hlukový plán, 2008)

4.9.1 Strategická hluková mapa

Strategická hluková mapa (příloha 3) prezentuje graficky, textově a tabulkově stávající hlukovou situaci v řešené oblasti a ukazuje překročení příslušné mezní hodnoty, počet zasažených osob, obydlí, škol, nemocnic apod. vystavených hodnotám hlukového ukazatele. Tyto data zpracovává zvlášť pro každý typ zdroje hluku. Dále pak rozlišuje celodenní a noční (22:00 – 6:00) hlukové ukazatele. Strategická hluková mapa je podkladem pro strategické rozhodování a řízení hluku v území a pro vypracování akčních hlukových plánů.

Strategické hlukové mapy pořizuje Ministerstvo zdravotnictví a zpřístupňuje je veřejnosti v listinné podobě ve svém sídle každé pondělí a středu od 15:00 do 17:00 nebo v elektronické podobě na internetové adrese Ministerstva zdravotnictví.

4.9.2 Akční plán

Akční plán slouží jako podklad pro řízení postupů při vytváření budoucí akustické situace pomocí plánovaných opatření v rámci územního plánování, plánování dopravy, inženýrských opatření v oblasti dopravních systémů, řízení oblasti zdrojů hluku a snižování hluku pomocí ochranných protihlukových opatření. Cílem akčních plánů je snížení počtu obyvatel zasažených nadměrným hlukem. (Akční hlukový plán, 2008)

5 Dopravně-inženýrská opatření

Dopravně-inženýrská opatření jsou prvky, které organizují a regulují dopravu pro zajištění efektivního využívání postavených komunikací, bezpečnosti, plynulosti a hospodárnosti dopravy. Tato opatření lze rozdělit na:

- Nízkonákladová (dopravní značení)
- Středněnákladová (drobné stavební úpravy)
- Vysokonákladová (rozsáhlé stavební úpravy)

Dále je lze rozdělit z hlediska jejich časové platnosti na trvalé a krátkodobé. Trvalý charakter mívají při vzniku nových zdrojů dopravy (nové obytné oblasti a průmyslové zóny) nebo jako důsledek dokončení výstavby nových komunikací přebírající část zatížení stávajících komunikací. Krátkodobých opatření se využívá při vedení objízdných tras v důsledku uzavírek komunikací nebo záboru části komunikace při výstavbě nových přilehlých objektů.

Nepříznivý vývoj dopravní situace (např. zvýšený počet dopravních nehod, hustota dopravy, potencionálně nebezpečná místa, nevyhovující technický stav komunikace) vyžaduje změny v organizaci dopravy prováděné dopravně-inženýrskými opatřeními. (Nop, 1989)

Důležitým prvkem dopravního inženýrství je zklidňování dopravy. Je to proces omezování negativních fyzických a sociálních dopadů dopravy na městský život, a to hlavně pomocí snižování rychlostí a intenzit automobilové dopravy. Hlavními cíli jsou snižování nehodovosti a zkvalitnění života ve městech. Nejrozšířenější formou dopravního zklidňování je výstavba fyzických úprav na místních komunikacích v rezidenčních oblastech. Stále více se rozvíjí zklidňování dopravy v případě úprav hlavních místních komunikací a průjezdních úseků. Patří sem také snaha o úplné nebo alespoň částečné přemístění automobilové dopravy z center měst, koncepty redukce dopravy na území celého města, propagace alternativních druhů dopravy a změny v dopravní nabídce.

V minulosti je možné vysledovat evidentní trend v přechodu od regulace dopravní intenzity k regulaci rychlosti a od bodových opatření k celoplošným aplikacím zklidňovacích opatření. V současnosti se při vytváření městských prostranství (zejména v Dánsku a Holandsku) začínají uplatňovat principy sdílení veřejných prostorů (obr. 9). Díky stavebnímu uspořádání silničního prostoru nedochází k diskriminaci žádného způsobu dopravy. Ulice tak

kromě dopravy umožňuje i provozování různých sociálních a rekreačních aktivit. (Pokorný, 2008)



Obr. 9: Sdílení veřejných prostorů

Zdroj: Pokorný, 2008

5.1 Nízkonákladová opatření

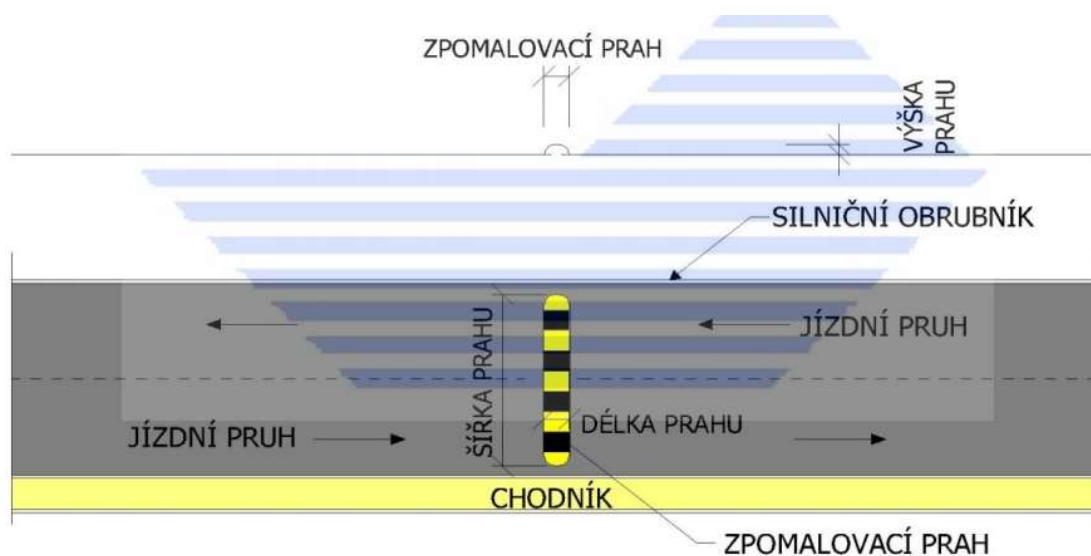
Dopravně-inženýrská opatření jsou navrhována na základě odůvodněné potřeby změny v organizaci dopravy. Touto změnou může být zrušení, změna nebo doplnění dopravního značení s cílem informovat účastníky silničního provozu. Další možností je organizace dopravy (zvýšení plynulosti). V důsledku méně častého brždění a rozjíždění automobilů dochází ke snížení hlučnosti. Nepochybný vliv na vyzařování hluku má rychlost jedoucího automobilu. Snížením maximální povolené rychlosti tedy lze zmenšit emise hluku. Tato opatření řadíme mezi nízkonákladová. (Nop, 1989)

5.2 Středněnákladová opatření

Příkladem středněnákladových opatření může být výstavba středních dělicích ostrůvků na přechodech pro chodce pro zvýšení bezpečnosti chodců. Ke zklidnění dopravy se dále používá opticko-akustická brzda, zúžení vozovky, šikana nebo příčné (zpomalovací) prahy, které nutí řidiče zpomalit a tím zvyšují bezpečnost a zmírňují následky případných

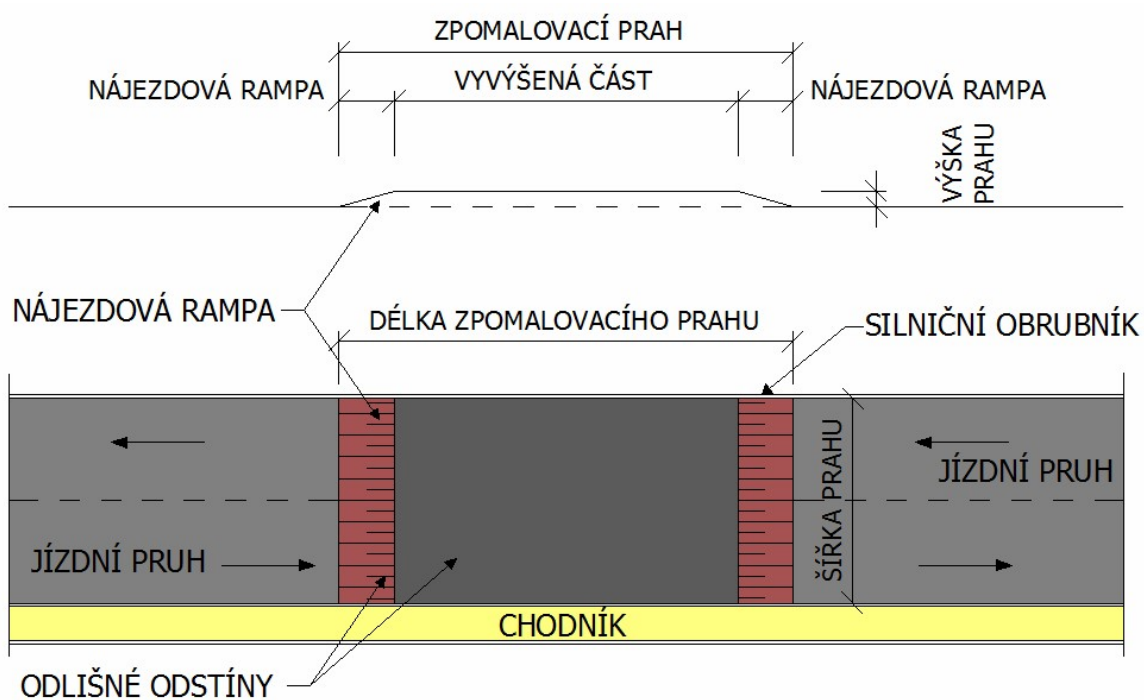
dopravních nehod. (Nop, 1989) Možné negativní následky umístění příčných prahů jsou zvýšení hladiny emisí a hluku, náročnější údržba komunikace, problémy s odvodněním komunikace, překážka pro cyklistickou dopravu, vyšší opotřebení krytu vozovky vlivem dynamických účinků vozidel.

Zpomalovací prahy se podle rozměrů dají rozdělit na krátké zpomalovací prahy (obr. 10), dlouhé zpomalovací prahy (obr. 11) a zpomalovací polštáře (obr. 12). Podmínkou pro správnou funkci zpomalovacích prahů je jejich včasná viditelnost. To zajišťuje dopravní značení, barevné odlišení od okolní komunikace (zejména nájezdových ramp), dostatečný rozhled před prahem a vhodné osvětlení. Zpomalovací prahy se umísťují do oblastí, kde je nezbytné zvýraznit nízkou hranici maximální povolené rychlosti: na vjezdech do pěších a obytných zón, u škol a jiných oblastí s větším pohybem dětí, před křižovatky na vedlejší komunikaci, před přechody pro chodce, před místy častých dopravních nehod atd. (Technické podmínky, 2013)



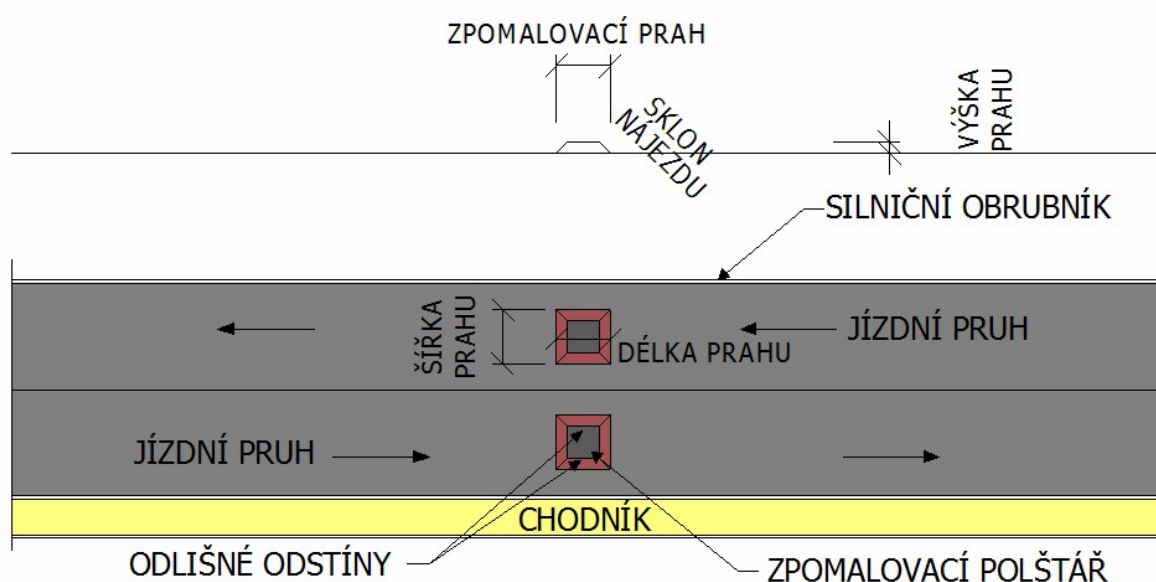
Obr. 10: Krátký zpomalovací prah

Zdroj: Technické podmínky, 2013



Obr. 11: Dlouhý zpomalovací práh

Zdroj: Technické podmínky, 2013



Obr. 12: Zpomalovací polštář

Zdroj: Technické podmínky, 2013

Účinným řešením snižování hluku z dopravy se ukázala úprava obrusných vrstev komunikací. V současnosti existuje několik technologií konstrukčních vrstev vozovky, které lze označit za nízkohlučné. Musí se rozlišovat provádění v intravilánu nebo extravilánu. Mimo obce je možné aplikovat v podstatě všechny doposud rozvíjené nízkohlučné úpravy obrusných vrstev. V obcích je situace složitější. Je to dáno odlišnou dopravní situací (malé oblouky v křižovatkách, zóny rozjíždění a zrychlování nebo naopak zpomalování a brzdění, čímž vznikají velké horizontální síly). Proto zde lze použít pouze obrusné vrstvy s upravenou texturou, které jsou méně citlivé na působení mechanických vlivů. (Valentin, 2010)

Pro měření vlivu povrchu vozovky na dopravní hluk se používá několik metod.

- **Metoda SPB**

Statistická metoda při průjezdu (statistical Pass-By). Běžná vozidla v dopravním proudu projíždí kolem postranního mikrofону. Zaznamenává se typ vozidla, rychlost a maximální hladina hluku. Po projetí statisticky významného počtu vozidel a následné regrese se vypočítá normalizovaná hladina hluku pro 50, 80 a 110 km.h⁻¹ (osobní vozidla) nebo 50, 70 a 85 km.h⁻¹ (těžká vozidla). Tato metoda je velmi přesná, bere v úvahu nejen hluk způsobený odvalováním pneumatik, ale také další vlivy (absorpci hluku motoru vozovkou). Konečným výsledkem je Statistical Pass-By Index (SPBI).

- **Metoda CPX**

Metoda malé vzdálenosti (CPX – Close proximity) využívá přívěsu vybaveného referenční pneumatikou (obr. 13), který je tažen za automobilem. Referenční pneumatika se nechá odvalovat po testované vozovce. V těsné blízkosti pneumatiky jsou připevněny mikrofóny. Pro každý segment vozovky se zaznamenává průměrná hladina akustického tlaku pro referenční rychlosti 50, 80 a 110 km.h⁻¹. Tato metoda měří pouze hluk vzniklý odvalováním pneumatiky, nebere v úvahu další akustické vlastnosti vozovky.



Obr. 13: Přívěs pro měření metodou CPX

Zdroj: Křivánek, 2010

- **Metoda OBSI**

Metoda OBSI (On Board Sound Intensity) je podobná metodě CPX. Místo mikrofonů však používá sondy akustické intenzity. Tím pádem není tato metoda citlivá na okolní hluk a nevyžaduje speciální přívěs.

- **Metoda CB**

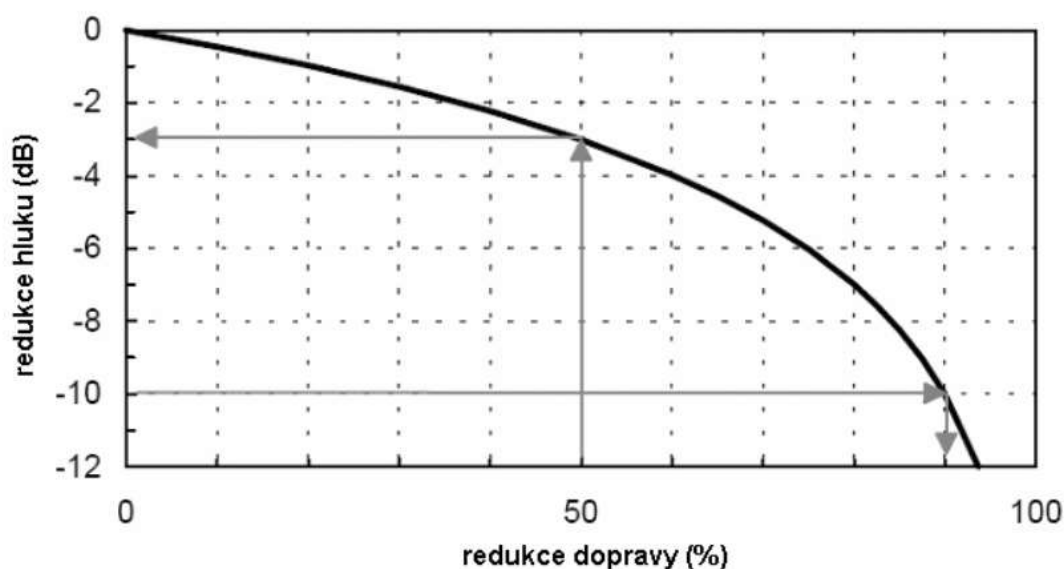
Při metodě CB (Coast-By) projíždí testovací automobil (s vypnutým motorem) s testovanými pneumatikami kolem mikrofonu různými rychlostmi. Měří se maximální hladina akustického tlaku a pomocí regrese se zjišťuje hladina akustického tlaku pro referenční rychlosti (80 km.h^{-1} pro osobní automobily a 70 km.h^{-1} pro nákladní automobily)

- **Metoda CPB**

Pro metodu CPB (Controlled Pass-By) se využívají dva vybrané automobily (jeden malý a jeden velký). Pro každé auto jsou vybrány dvě sady pneumatik. Automobil se zapnutým motorem projíždí kolem mikrofonu. Měří se maximální hladina akustického tlaku a dále se vypočítává průměrná hodnota pro konkrétní rychlosti. (Křivánek, 2010)

5.3 Vysokonákladová opatření

Za vysokonákladové opatření považujeme budování obchvatů měst, výstavbu tunelů a mostů nebo přestavbu křižovatky průsečné na okružní. Snížení hlučnosti ve městech lze dosáhnout odvedením nežádoucí tranzitní dopravy na tyto vystavěné obchvaty kolem měst. Vliv snížení intenzity dopravy na hlučnost je zobrazen na obr. 14. Další možností je odizolovat komunikaci pomocí protihlukových stěn (obr. 15) nebo zapuštěním do okolního terénu. Tato metoda však bývá finančně náročná a ne všude realizovatelná. (Křivánek, 2013)



Obr. 14: Vliv redukce dopravy na snížení hluku

Zdroj: Křivánek, 2010

U protihlukových stěn obecně platí, že čím je větší aktivní povrch tím větší je stupeň absorpce hluku, kterého lze dosáhnout různými kombinacemi tloušťky žeber, případně osovými vzdálenostmi žeber. Absorpční vrstva z lehkého mezerovitého betonu, jejímž základem je kamenivo zrnitosti 2-4 mm, je pouze na straně stěny odkud přichází hluk. Druhá strana může být hladká. (Hubertová, 2009)

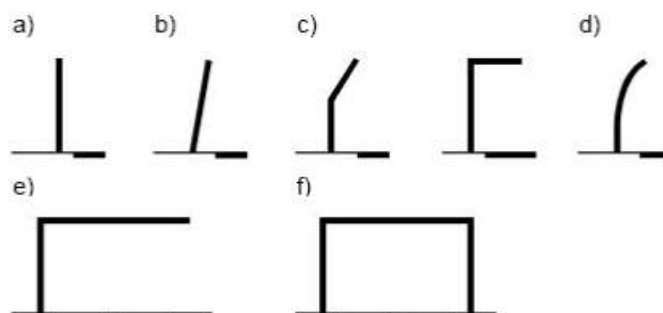


Obr. 15: Protihluková stěna

Zdroj: Hubertová, 2009

Protihlukové stěny mohou mít různé tvary (obr. 16):

- a) Svislé
- b) Šikmé
- c) Lomené
- d) Oblé
- e) Galeriové
- f) Tunelové



Obr. 16: Tvary protihlukových stěn

Zdroj: Jedlička, 2010

Vnímání povrchu protihlukové bariéry závisí na rychlosti s jakou se člověk kolem ní pohybuje. Rozptýlení pozornosti by mělo být u řidiče co nejmenší (řidič by měl být spíše jemně stimulován). Z hlediska psychologie plní povrchové úpravy bariéry dvě hlavní funkce. Pomáhají řidiči vnitřně členit úseky dálnice a vhodně se orientovat prostorem i časem. Lehce stimulují pozornost řidiče, vyvolávají orientačně-pátrací reflex. Při povrchových úpravách bariér je nutno přihlídnout i ke vzdálenosti bariéry od silnice.

Dle základního materiálu panelu lze protihlukové stěny rozdělit na:

- betonové,
- dřevěné (s ochranou proti povětrnostním vlivům),
- ocelové (s antikorozi ochranou),
- hliníkové (s povlakem nebo nátěrem),
- z cihlářských prvků,
- průhledné ze speciálního skla nebo plexiskla (nutná ochrana drobného ptactva),
- plastové (odolné proti povětrnostním vlivům - nesmí způsobit změnu tvaru, barvy),
- kombinované (betonové nebo cihlářské prvky vyplněné zeminou, ozeleněné stěnové prvky).

Barva hraje velmi důležitou roli při snaze zkombinovat návrh s okolním prostředím. Barva může „táhnout“ zrak řidiče směrem na bariéru nebo bariéru může upozadit. Rozmanitosti v barevném uspořádání lze dosáhnout vysázením rostlin a stromů - barva listí se přirozeně mění podle ročního období. Různorodosti povrchu bariéry lze dosáhnout prostřednictvím kontrastu (jemné a hrubé textury; změnou orientace vzorů; různých barev). Barevné či grafické pojetí je vhodné koncepčně řešit každých 150 až 300 metrů délky protihlukové bariéry. (Jedlička, 2010)

6 Měření

V rámci diplomové práce bylo provedeno několik měření hluku generovaného silniční dopravou, s účelem zjistit vliv dopravně-inženýrských opatření na hladinu generovaného hluku. Předmětem zkoumání byl vliv zpomalovacího prahu, omezení maximální povolené rychlosti a autobusová zastávka.

6.1 Přístrojové vybavení

Pro měření byl použit zvukoměr Cesva SC310 s třídou přesnosti 1 a váhovým filtrem A (obr. 17), zapůjčený katedrou vozidel a pozemní dopravy České zemědělské univerzity v Praze. Před vlastním měřením je nutné provést kalibraci pomocí akustických kalibrátorů. Po měření se nastavení zvukoměru nesmí lišit od původně nastavené hodnoty o více než 0,5 dB (pokud je odchylka větší, měření je neplatné). Během měření nesmí být mikrofon ani měřící zařízení vystaven nadměrným vibracím, otřesům, elektrickým nebo magnetickým polím, nadměrné teplotě nebo chladu, rychlému proudění vzduchu nebo jiným nepříznivým vlivům. Při venkovním měření musí být použit kryt proti větru.



Obr. 17: zvukoměr Cesva SC310

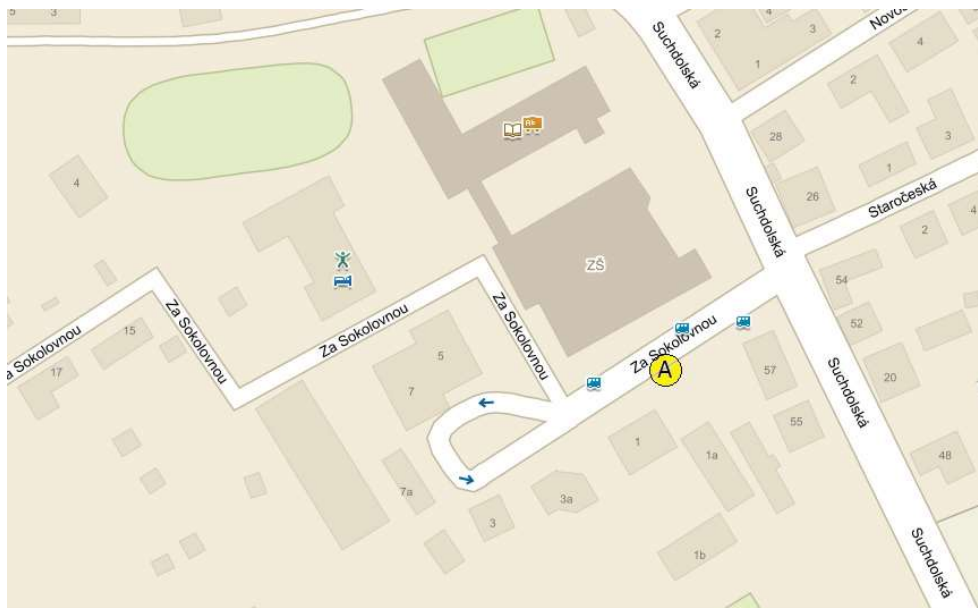
Zdroj: Uživatelská příručka

Zvukoměr CESVA SC310 je uživatelsky přívětivý zvukoměr/analyzátor, který měří současně široké spektrum parametrů, které se používají pro hodnocení hluku. Provádí jak kvantitativní analýzu (frekvenční analyzátor, zvukoměr), tak i kvalitativní (ukazatele impulzivity hluku, nízkých frekvencí, hodnocení hluku pozadí ve vnitřním prostoru atd.). Přístroj zaznamenává současně všechny parametry včetně váhových funkcí A, C a Z. (Metodický návod, 2001)

6.2 Měřicí místa

Při výběru měřicích míst je nutné dodržovat normy ČSN ISO 1996-1, odst. 5.2.3 a ČSN ISO 1996-2, odst. 5.3.2. Při měření hluku ve venkovním prostoru se měří na jednom nebo několika místech, a sice v místech, která jsou důležitá pro šíření hluku do chráněného prostoru, nebo kde se zdržuje nejdéle nejvíce lidí. Mikrofon se nastavuje směrem k nejvýznamnějšímu zdroji hluku a umísťuje se nejméně 3,5 m před plochu odrážející hluk a 1,2 až 1,5 m nad terénem (pro měření vlivu hluku na osoby ve venkovním prostoru). Pro měření vlivu hluku na okolní zástavbu se mikrofon umísťuje do výšky 3 m. (Metodický návod, 2001)

Měření proběhla v Praze v ulici Za Sokolovnou v místě autobusové zastávky Suchdol (dále jako místo A), v ulici Roztocká s maximální povolenou rychlostí 50 km.h⁻¹ (dále jako místo B) a 70 km.h⁻¹ (dále jako místo C) a v ulici Terronská na rovné vozovce (dále jako místo D) a na zpomalovacím prahu (dále jako místo E). Detailní umístění měřicích míst je zobrazeno na obr. 18-20. Provedení měřeného zpomalovacího prahu je vidět na obr. 21.



Obr. 18: Měřicí místo A

Zdroj: mapy.cz



Obr. 19: Měřicí místa B a C

Zdroj: mapy.cz



Obr. 20: Měřicí místa D a E

Zdroj: mapy.cz



Obr. 21: Měření zomalovací práh

Zdroj: vlastní

6.3 Meteorologické vlivy

Pro hodnocenou hlukovou expozici musí být reprezentativní meteorologické podmínky. Povrch silnice nesmí být mokrá nebo pokrytý sněhem. Měření se nesmí konat za podmínek teplotní inverze (pokud tyto podmínky nejsou předmětem zkoumání). Měření dále nesmí probíhat při rychlosti větru větší než $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, pokud se nejedná o speciální případy např. měření větrných elektráren apod. (Metodický návod, 2001)

Přehled meteorologických podmínek při měření je uveden v tab. 4. Data byla převzata z meteorologické stanice České zemědělské univerzity v Praze.

Tab. 4: Meteorologické podmínky při měření

	Za Sokolovnou	Roztocká	Terronská
Teplota [$^{\circ}\text{C}$]	22	23	25
Relativní vlhkost [%]	56	49	40
Rychlost větru [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	1,3	1,5	1,6

Zdroj: <http://meteostanice.agrobiologie.cz/>

6.4 Doba měření

Pro správné určení hladiny akustického tlaku je důležité určení vhodné doby (v roce, měsíci, týdnu a dni) a délky měření. Délka měření se volí tak, aby v jeho průběhu byly zachyceny všechny typické hlukové projevy, které se v místě nacházejí. Při měření hluku z dopravy se měření provádí tak, aby bylo možné stanovit výslednou hladinu pro celou denní nebo noční dobu. Pro měření se volí běžný pracovní den (úterý, středa nebo čtvrtek, pokud jsou pracovními dny a pokud jim předchází a po nich následuje pracovní den) v měsících od dubna do června, září a říjen.

V místě A probíhalo měření 30.6.2015 od 8:00 do 10:00. 1.7.2015 se konalo měření v místech D a E a to od 7:00 do 8:30 v místě E a od 8:30 do 9:45 v místě D. Na místech B a C se měřilo 2.7.2015, od 7:00 do 8:30 v místě C a od 8:30 do 10:00 v místě B.

6.5 Výsledky měření

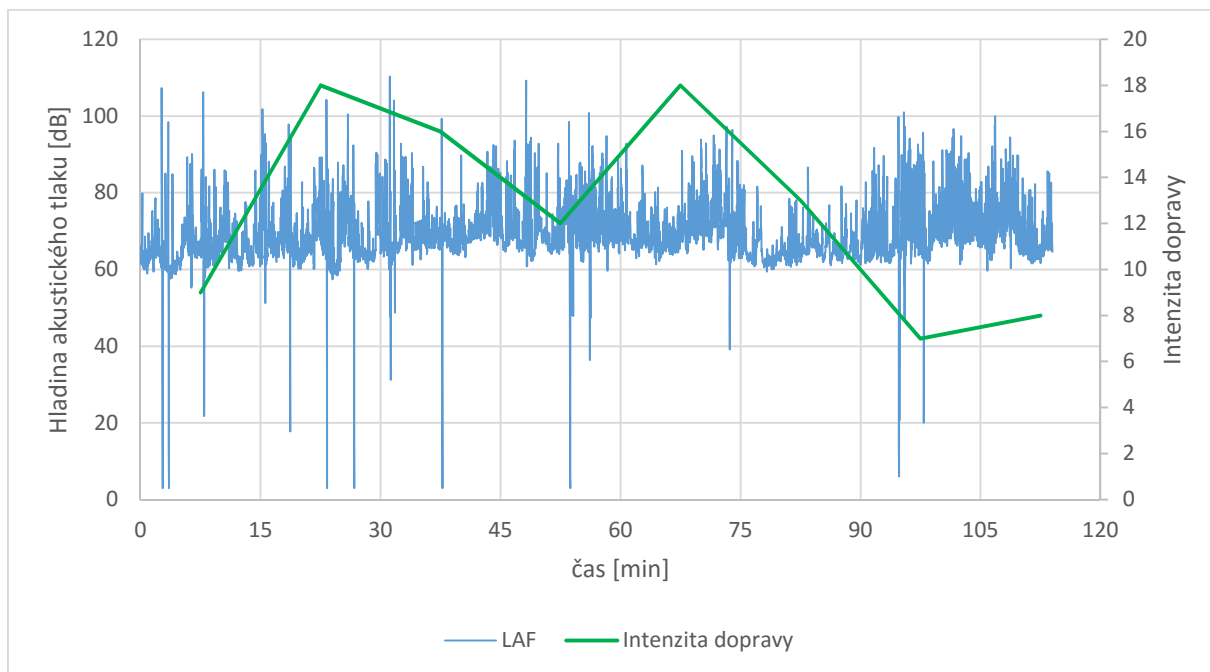
Hodnoty hluku se vyjadřují jako hladiny akustického tlaku v decibelech při použití váhového filtru A a dynamické charakteristiky Fast (rychle). Použitými akustickými deskriptory jsou ekvivalentní hladina akustického tlaku A , L_{AeqT} a maximální hladina akustického tlaku A , L_{pAmax} . Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce 5. Časové průběhy hladin akustického tlaku jsou graficky znázorněny grafy společně s intenzitou dopravy, která byla počítána v 15-ti minutových intervalech a v grafu je vždy vyznačena ve středu intervalu (obr. 22-26). Ukázka vybraných naměřených dat je v příloze 4.

Tab. 5: Výsledky měření

	Místo A (zastávka bus)	Místo B (50 km.h ⁻¹)	Místo C (70 km.h ⁻¹)	Místo D (rovná vozovka)	Místo E (zp. práh)
L_{Aeq} [dB]	81,1	80,6	82	83,8	82
L_{Amax} [dB]	112,5	112,5	112,5	113,7	112,6
Hodinová intenzita dopravy	64	1710	1802	439	469

Zdroj: vlastní

Na měřicí místo A se vztahuje stará hluková zátěž, limit ekvivalentní hladiny akustického tlaku pro denní dobu je tedy určen na 70 dB. Tato hodnota byla výrazně překročena (o více než 10dB), bylo naměřeno 81,1 dB. Intenzita dopravy je zde sice nízká (za hodinu projelo 30 kloubových autobusů a 34 automobilů), ale rozjíždějící se autobusy způsobují velký hluk. Překročení limitu je velký problém, jelikož se v těsné blízkosti nachází budova Základní školy Mikoláše Alše. Měření začalo v 8 hodin, tedy se začátkem vyučování na základní škole a trvalo necelé dvě hodiny. Z těchto důvodů by bylo vhodné provést další měření ve vnitřním prostoru školy. Nadměrný hluk přehlušuje výklad vyučujícího a narušuje soustředění žáků. Je tedy nutné tento problém co nejrychleji a nejefektivněji vyřešit.

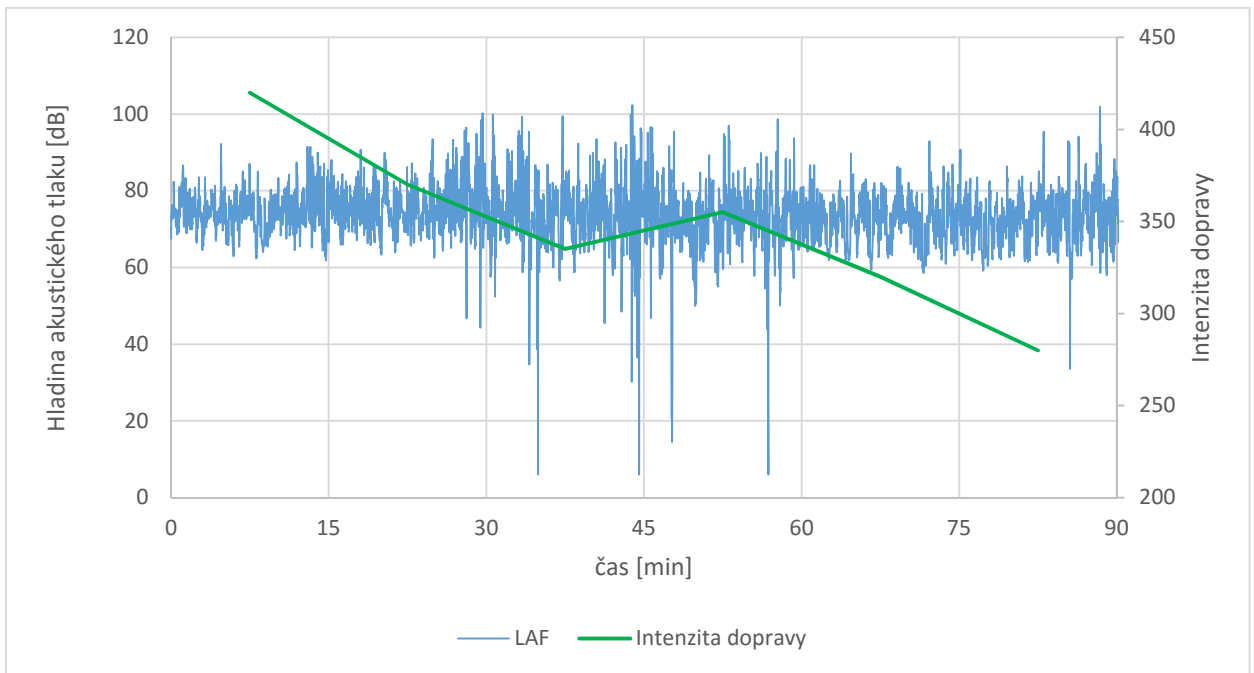


Obr. 22: Časový průběh hladiny akustického tlaku v místě A

Zdroj: vlastní

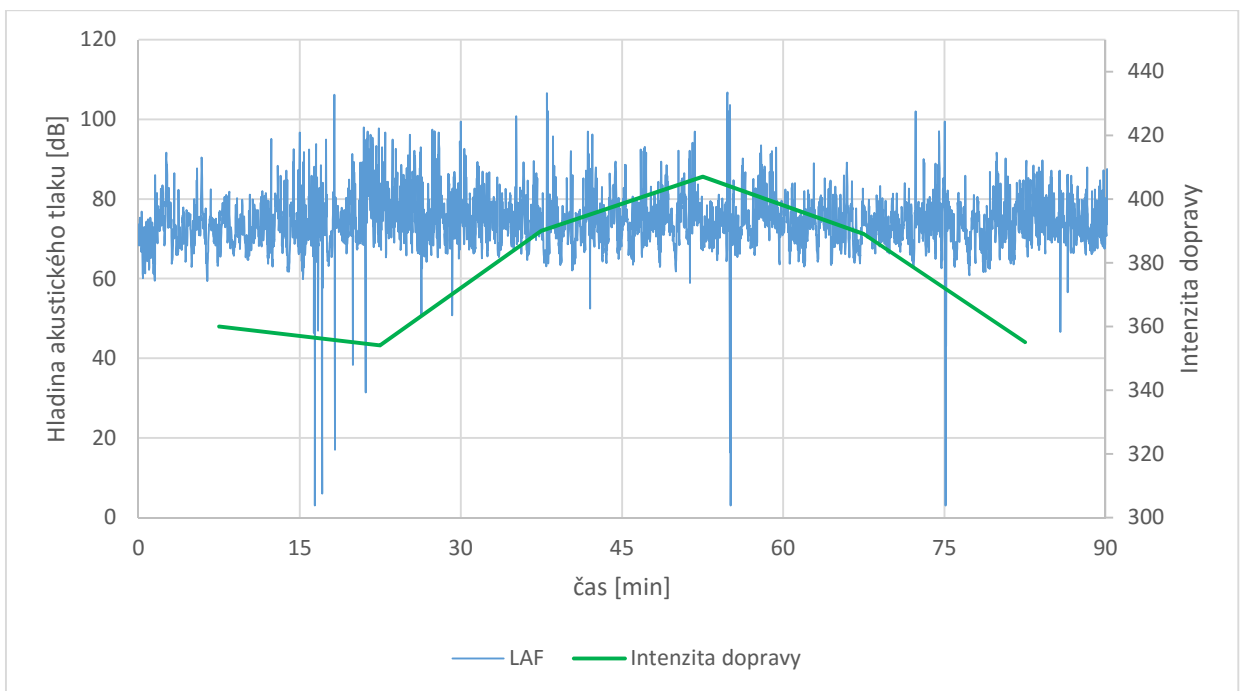
Stará hluková zátěž se vztahuje také na měřící místa B a C, limit ekvivalentní hladiny akustického tlaku tedy bude 70 dB. Zde se vyhodnocoval vliv maximální povolené rychlosti na hlučnost. Sledovaly se hladiny akustického tlaku při maximální povolené rychlosti 50 km.h⁻¹ a 70 km.h⁻¹. Snížení maximální povolené rychlosti ze 70 km.h⁻¹ na 50 km.h⁻¹ vedlo dle předpokladu k poklesu ekvivalentní hladiny akustického tlaku a to z 82 dB na 80,6 dB, tedy o 1,4 dB. Zde ovšem zůstává otázkou dodržování povolené rychlosti.

V tomto místě je vysoká intenzita dopravy a vede zde i železnice. Při měření na úseku s povolenou rychlostí 50 km.h⁻¹ projelo za hodinu 1575 osobních automobilů, 135 nákladních automobilů nebo autobusů a 13 vlaků. Na úseku s povolenou rychlostí 70 km.h⁻¹ projelo za hodinu 1633 osobních automobilů, 169 nákladních automobilů nebo autobusů a 10 vlaků. V obou případech byl limit překročen o více než 10 dB. V blízkém okolí se však nenacházejí žádné budovy ani zde není velký pohyb lidí, překročení limitu tedy není tak závažný problém jako v místě A.



Obr. 23: Časový průběh hladiny akustického tlaku v místě B

Zdroj: vlastní

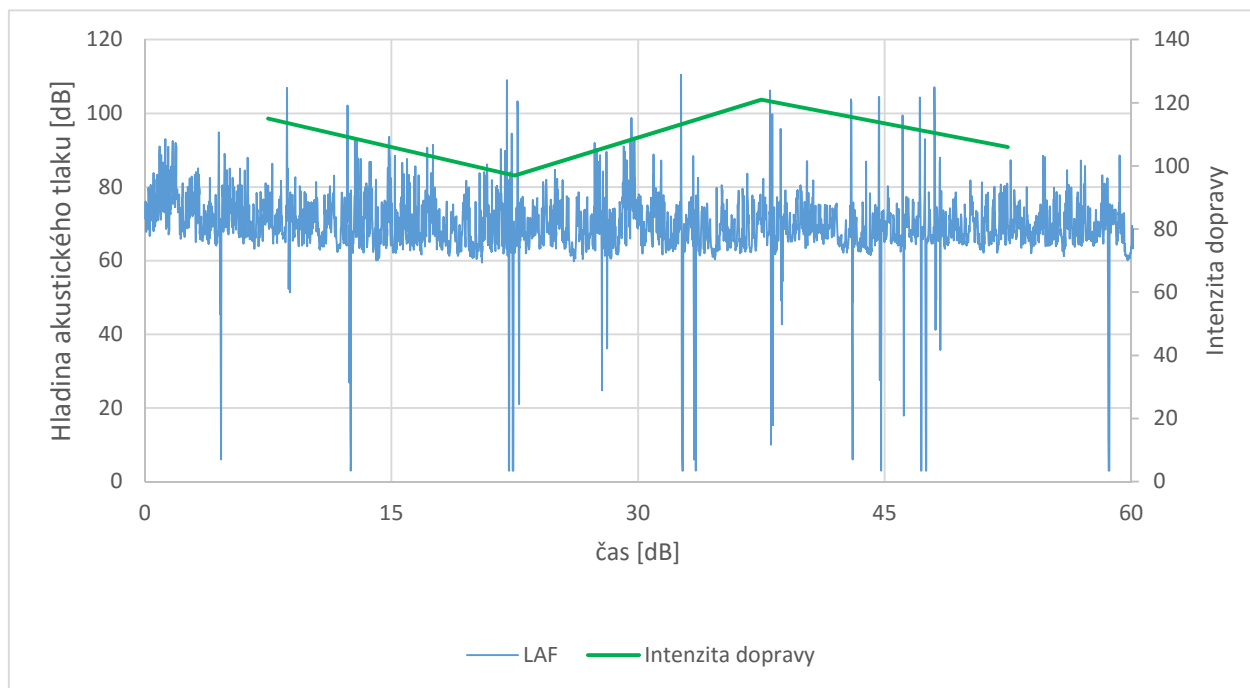


Obr. 24: Časový průběh hladiny akustického tlaku v místě C

Zdroj: vlastní

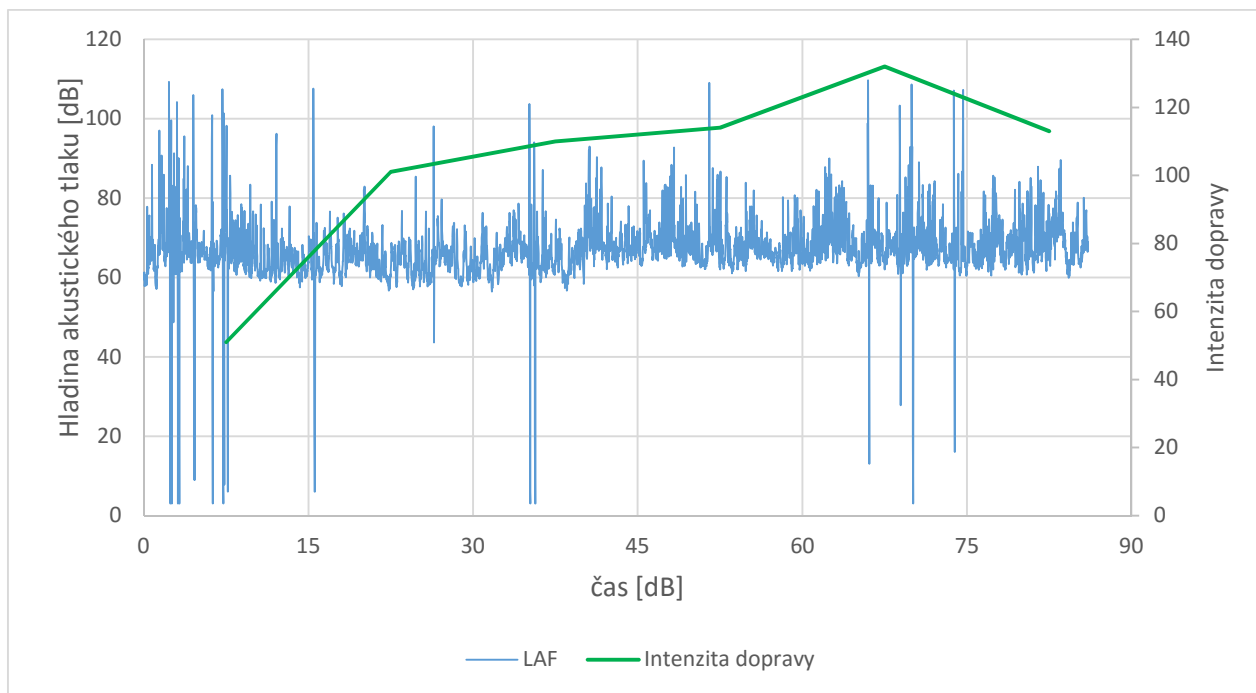
Obdobně jako v předchozích případech, i na měřící místa D a E, se vztahuje stará hluková zátěž. Limit ekvivalentní hladiny akustického tlaku pro denní dobu je tedy stejný jako v předchozím případě, a to 70 dB. V tomto místě se vyhodnocoval vliv zpomalovacího prahu na hladinu akustického tlaku. Měření vyvrátilo předpoklad, že zpomalovací práh zvýší hladinu akustického tlaku. Umístění zpomalovacího prahu snížilo ekvivalentní hladinu akustického tlaku z 83,8 dB na 82dB, tedy o necelé 2 dB. V obou případech, jak na zpomalovacím prahu, tak na rovné vozovce byl limit výrazně překročen.

Intenzita dopravy byla v době měření na zpomalovacím prahu 443 osobních automobilů za hodinu a 26 nákladních automobilů za hodinu. Při měření na rovné vozovce byla intenzita dopravy 415 osobních automobilů za hodinu a 24 nákladních automobilů za hodinu. Intenzita dopravy je zde výrazně nižší než v místech B a C, navíc zde nevede železnice, přesto je zde vyšší hluchnost. Je to způsobeno okolním prostředím. V místech B a C je otevřený prostor, zvukové vlny se tedy mohou volně šířit do okolí. Ale v místech D a E se zvukové vlny odrážejí od přilehlé zástavby obytných domů a zvyšují tak hluchnost.



Obr. 25: Časový průběh hladiny akustického tlaku v místě D

Zdroj: vlastní



Obr. 26: Časový průběh hladiny akustického tlaku v místě E

Zdroj: vlastní

Největším problémem je překračování limitů v místě A. To je způsobené zejména vysokým počtem autobusů, které zde nejen brzdí a rozjíždějí se z důvodu vystupování a nastupování lidí, ale také čekají s nastartovaným motorem kvůli natlakování brzdového systému. Dalším problémem je stáří některých autobusů. Vysoká intenzita je zde kvůli dopravní obslužnosti České zemědělské univerzity. Převedením části tohoto úkolu na linku číslo 147 by se snížila intenzita dopravy u základní školy a tím i hluchnost. Další možností je vysazení vysoké zeleně mezi zastávkou a základní školou.

7 Závěr

Za hluk považujeme každý zvuk, který je pro člověka nepříjemný, rušivý nebo škodlivý. Doprava je hlavním zdrojem hlukového zatížení obyvatelstva. Neustále se zvyšující počet vozidel a tím i intenzita dopravy má za následek i zvyšování hlukové zátěže. Dalšími vlivy určující úroveň hlukového zatížení jsou technický stav vozidla a vozovky, rychlost jedoucího vozidla, vzdálenost zdroje hluku a místa dopadu, meteorologické podmínky a mnoho dalších faktorů.

Vliv hluku na člověka je bezpochyby škodlivý. Může mít přechodné nebo trvalé následky. Při dlouhodobém vystavování člověka vyšším hladinám akustického tlaku dochází k trvalému poškození sluchu. Hluk zhoršuje řečovou komunikaci a může způsobovat zvýšení krevního tlaku, zrychlení srdečního pulsu nebo arytmií. Má také negativní dopad na psychiku člověka. Způsobuje podrážděnost, odvádí pozornost, snižuje pracovní výkonnost, zhoršuje podmínky pro spánek.

Z výše uvedených důvodů se snažíme hlukovou zátěž snižovat. Nejúčinnější metodou je snižování hluku přímo u zdroje. Dalšími způsoby snižování hluku jsou metoda dispozice, metoda izolace, využívání poznatků prostorové akustiky a používání osobních ochranných pomůcek. Největší účinnosti snížení hluku se dosáhne pomocí vhodné kombinace uvedených metod.

U dopravních prostředků se hluk rozděluje na vnitřní a vnější. Vnitřní hluk působí pouze na posádku vozidla. Vnější hluk působí na obyvatele nacházející se v okolí vozovky, a proto podléhá legislativním předpisům. Zdrojem hluku v automobilu je spalovací motor, pohyby mechanismů, odvalování pneumatik po vozovce a proudění vzduchu kolem vozidla. Hluk vyvolávaný dopravou je závislý na intenzitě dopravy, rychlosti vozidla, technickém stavu vozidla a vozovky, výkonu motoru, režimu práce motoru, okolní zástavbě, meteorologických podmínkách a další.

Hluk z dopravy můžeme také snižovat pomocí dopravně-inženýrských opatření, která zároveň zvyšují i bezpečnost, plynulost a hospodárnost dopravy. Tyto opatření lze rozdělit na nízkonákladová (úprava dopravního značení), středněnákladová (drobné stavební úpravy, např. vybudování středního dělicího ostrůvku na přechodu pro chodce, zpomalovací prahy) a vysokonákladová (rozsáhlé stavební úpravy, např. výstavba obchvatů kolem měst, mostů a tunelů, protihlukových stěn).

Bylo provedeno několik měření hluku generovaného silniční dopravou, s účelem zjistit vliv zpomalovacího prahu, omezení maximální povolené rychlosti a umístění autobusové zastávky na hladinu generovaného hluku. Hygienický limit ve všech měřených místech je 70 dB. Ve všech místech byl tento limit překročen o více než 10 dB. Omezení maximální povolené rychlosti vedlo k poklesu ekvivalentní hladiny akustického tlaku o 1,4 dB. U umístění zpomalovacího prahu se očekával nárůst ekvivalentní hladiny akustického tlaku z důvodu brzdění a rozjíždění vozidel. V tomto místě se však předpoklad nepotvrdil, zpomalovací práh snížil ekvivalentní hladinu akustického tlaku o 1,8 dB. Největším problémem je však překročení povolených limitů na autobusové zastávce, vedle které se nachází budova základní školy. Tento problém musí být řešen.

8 Seznam literatury

BERAN, Vlastimil: Chvění a hluk. 1. Vydání. Plzeň: Západočeská univerzita. 2010. 204s. ISBN 978-80-7043-916-6

FIRST, Jiří a kolektiv: Zkoušení automobilů a motocyklů. 1. vydání. Praha: České vysoké učení technické. 2008. 348 s. ISBN 978-80-254-1805-5

GOTTVALDOVÁ, Jana: Automobilový hluk. *Silnice železnice*. 26. 8. 2011, číslo 3, s. 27-30. ISSN 1801-822x

HUBERTO VÁ, M., MATĚJKA, O.: Protihlukové stěny Liadur a technologií TX Active. *Časopis stavebnictví*. Zář 2009, číslo 9, ISSN 1802-2030

KŘIVÁNEK, Vítězslav: Hluk z dopravy, snižování hlukové zátěže ze silniční dopravy. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., 2013.

LIBERKO, Miloš: Hluk v prostředí, problematika a řešení. Praha: Ministerstvo životního prostředí. 2004. 26s. ISBN 80-7212-271-1

Metodický návod pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí. Ministerstvo zdravotnictví – hlavní hygienik České republiky. 2001. 18 s.

MIŠUN, Vojtěch: Vibrace a hluk. 1. vydání. Brno: Vysoké učení technické. 1998. 177 s. ISBN 80-214-1262-3

MURPHY, E., KING, E. A.: Environmental noise pollution. 1. vydání. San Diego: Elsevier. 2014. 268 s. ISBN 978-0-12-411595-8

NĚMEC, J., RANS DORF, J., ŠNĚDRLE, M.: Hluk a jeho snižování v technické praxi. 1. vydání. Praha: Nakladatelství technické literatury. 1970. 338s. ISBN 04-222-70

NOP, Dušan: Dopravní inženýrství. 3. vydání. Brno: Vysoké učení technické. 1989. 146 s. ISBN 80-01-01606-4

NOVÝ, Richard: Hluk a chvění. 1. vydání. Praha: České vysoké učení technické. 1995. 389s. ISBN 80-01-01306-5

RUBÁŠ, Pavel: Příspěvek ke zvukové pohltivosti zařízení pro snižování hluku silničního provozu. *Buildinfo*. Zář 2011, číslo 5-6, s. 20-21. ISSN 1803-8921

SMETANA, Ctirad a kolektiv: Hluk a vibrace, měření a hodnocení. 1. vydání. Praha: Sdělovací technika. 1998. 188s. ISBN 80-901936-2-5.

Uživatelská příručka, Zvukoměr/frekvenční analyzátor Cesva SC310

VALENTIN, J., MONDSCH E IN, P.: Snižování hluku možnými úpravami obrusné vrstvy vozovky. *Silnice železnice*. 7.12.2010, číslo 5, ISSN 1801-822x

YERGES, Lyle F.: Sound, noise and vibration control. 2. vydání. New York: Van Nostrand Reinhold. 1978. 252 s. ISBN 0-442-29604-5

Internet:

Akční hlukový plán: Aglomerace Praha, Ministerstvo dopravy ČR. [online] publikováno 1.7.2008. [cit. 26. 11. 2015] Dostupné z: http://www.mdcr.cz/NR/rdonlyres/122FD4E5-C4AA-4072-8212CA8132730753/0/Aglom_Praha_kom_I_Akcni_plan_FINAL.pdf

DVOŘÁK, Josef: *Hluk ve vzduchotechnice (II) – šíření hluku ve volném prostředí*, [online] publikováno: 17. 8. 2001 [cit. 26. 11. 2015] Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/631-hluk-ve-vzduchotechnice-ii-sireni-hluku-ve-volnem-prostredi>

DVOŘÁK, Václav: *Vlnění*, [online] publikováno: 14. 5. 2015 [cit. 26. 11. 2015] Dostupné z: <http://www.zsvysoka.cz/vlneni/d-1394>

JANDÁK, Zdeněk: *Hluk v pracovním prostředí*. Státní zdravotní ústav. [online] publikováno: 13. 11. 2007 [cit. 26. 11. 2015] Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/hluk-v-pracovnim-prostredi>

JEDLIČKA, Jiří: *Protihlukové stěny*, Centrum dopravního výzkumu [online] publikováno: 19.3.2010 [cit. 26. 11. 2015] Dostupné z: <https://www.cdv.cz/file/seminar-skanska-protihlukove-steny/>

KAŠPAŘÍK, Jan: *Šíření zvuku*, [online] publikováno: není k dispozici [cit. 26. 11. 2015] Dostupné z: <http://mujweb.cz/kasparik.j/AKUSTIKA-ORGANOLOGIE.htm>

KŘIVÁNEK, Vítězslav: *Problematika hlučnosti povrchů vozovek*, Centrum dopravního výzkumu [online] publikováno: 19.3.2010 [cit. 26. 11. 2015] Dostupné z: <https://www.cdv.cz/file/seminar-skanska-problematika-hlucnosti/>

Meteorologická stanice České zemědělské univerzity v Praze [online] [cit. 26.11.2015] Dostupné z: <http://meteostanice.agrobiologie.cz/>

Osobní ochranné vybavení / ochranné přilby, [online] publikováno: není k dispozici [cit. 26. 11. 2015] Dostupné z: http://www.wampi.cz/Ochranne-prilby-c25_58_2.htm

POKORNÝ, Petr: *Historie zklidňování dopravy*. Centrum dopravního výzkumu. [online] publikováno: 22.12.2008 [cit. 26. 11. 2015] Dostupné z: <http://www.cdv.cz/historie-zklidnovani-dopravy/>

Technické podmínky. Zpomalovací prahy. Ministerstvo dopravy, Odbor pozemních komunikací. [online] publikováno: 2013 [cit. 26. 11. 2015] Dostupné z: <http://www.pjpk.cz/TP%2085.pdf>

Předpisy a zákony:

Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví v platném znění.

Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací v platném znění.

Vyhláška č. 341/2002 Sb., o schválení technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích. v platném znění

Vyhláška č. 523/2006 Sb., o hlukovém mapování. v platném znění Dostupná také z:
<http://portal.gov.cz/app/zakony/?path=/portal/obcan>

Směrnice EU 2002/49/ES, o hodnocení hluku ve venkovním prostředí v platném znění
Dostupné také z: <http://eur-lex.europa.eu>

ČSN ISO 1996: 2004 Akustika – Popis, měření a hodnocení hluku prostředí

ČSN EN ISO 11200: 2010 Akustika - Hluk vyzařovaný stroji a zařízeními

ČSN EN 61672: 2014 Elektroakustika - Zvukoměry

ČSN EN 60942: 2004 Elektroakustika – Akustické kalibrátory

ČSN EN 61260: 2014 Elektroakustika – Oktávové a zlomkooktávové filtry

EHK 41 – vnější hluk motocyklů – vozidel kategorie L

EHK 51 – hladiny hluku vozidel s min 4 koly

EHK 63 – vnější hluk mopedů – kategorie L

9 Seznam obrázků

Obr. 1: Podélné a příčné vlnění	6
Obr. 2: Průchod zvuku otvory v překážce	7
Obr. 3: Vliv větru a teploty na směr šíření zvukového paprsku	8
Obr. 4: křivky hladin stejné hlasitosti	13
Obr. 5: Lidské ucho	14
Obr. 6: Ochranná helma proti hluku	17
Obr. 7: Radiální vibrace pneumatiky	19
Obr. 8: Závislost hluku na rychlosti vozidla	20
Obr. 9: Sdílení veřejných prostorů	25
Obr. 10: Krátký zpomalovací práh	26
Obr. 11: Dlouhý zpomalovací práh	27
Obr. 12: Zpomalovací polštář	27
Obr. 13: Přívěs pro měření metodou CPX	29
Obr. 14: Vliv redukce dopravy na snížení hluku	30
Obr. 15: Protihluková stěna	31
Obr. 16: Tvary protihlukových stěn	31
Obr. 17: zvukoměr Cesva SC310	33
Obr. 18: Měřicí místo A	35
Obr. 19: Měřicí místa B a C	35
Obr. 20: Měřicí místa D a E	36
Obr. 21: Měřený zpomalovací práh	36
Obr. 22: Časový průběh hladiny akustického tlaku v místě A	39
Obr. 23: Časový průběh hladiny akustického tlaku v místě B	40
Obr. 24: Časový průběh hladiny akustického tlaku v místě C	40
Obr. 25: Časový průběh hladiny akustického tlaku v místě D	41
Obr. 26: Časový průběh hladiny akustického tlaku v místě E	42

10 Seznam tabulek

Tab. 1: Rychlost šíření zvuku v různých prostředích.....	5
Tab. 2: Příklady zdrojů hluku a jejich přibližná hladina akustického tlaku.....	12
Tab. 3: Limity hluku podle předpisů EHK 41, 51 a 63	21
Tab. 4: Meteorologické podmínky při měření.....	37
Tab. 5: Výsledky měření	38

11 Seznam použitých symbolů

c	rychlost šíření zvuku	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$
E	modul pružnosti prostředí	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}]$
f	frekvence	$[\text{Hz}]$
I	akustická intenzita	$[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}]$
I_0	referenční hodnota intenzity zvuku	$[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}]$
k	konstanta	$[-]$
L_{Aeq}	ekvivalentní hladina akustického tlaku při použití váhového filtru A	$[\text{dB}]$
L_{eq}	ekvivalentní hladina akustického	$[\text{dB}]$
L_I	hladina intenzity zvuku	$[\text{dB}]$
L_{max}	maximální hladina akustického tlaku	$[\text{dB}]$
L_p	hladina akustického tlaku	$[\text{dB}]$
L_{pi}	střední hladina zvuku v i -tém hladinovém intervalu	$[\text{dB}]$
P	akustický výkon	$[\text{W}]$
p	akustický tlak	$[\text{Pa}]$
p_b	barometrický tlak	$[\text{Pa}]$
p_0	prahový akustický tlak	$[\text{Pa}]$
v	akustická rychlost	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$
η_i	relativní četnost výskytu hladiny zvuku L_{pi}	$[-]$
λ	vlnová délka	$[\text{m}]$
ρ	hustota prostředí	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$

12 Seznam příloh

Příloha 1: Korekce pro stanovení hygienických limitů hluku v chráněném vnitřním prostoru

Příloha 2: Korekce pro stanovení hygienických limitů hluku ve venkovním prostoru

Příloha 3: Strategická hluková mapa aglomerace Praha

Příloha 4: Ukázka vybraných naměřených dat

Přílohy

Příloha 1: Korekce pro stanovení hygienických limitů hluku v chráněném vnitřním prostoru

Druh chráněného vnitřního prostoru	Doba pobytu	Korekce v dB
Nemocniční pokoje	doba mezi 6.00 a 22.00 hodinou	0
	doba mezi 22.00 a 6.00 hodinou	-15
Lékařské vyšetřovny, ordinace	po dobu používání	-5
Obytné místnosti	doba mezi 6.00 a 22.00 hodinou	0 ⁺⁾
	doba mezi 22.00 a 6.00 hodinou	-10 ⁺⁾
Hotelové pokoje	doba mezi 6.00 a 22.00 hodinou	+10
	doba mezi 22.00 a 6.00 hodinou	0
Přednáškové síně, učebny a pobytové místnosti škol, jeslí, mateřských škol a školských zařízení	po dobu používání	+5

Pro ostatní druhy chráněného vnitřního prostoru v tabulce jmenovitě neuvedené platí hodnoty pro prostory funkčně obdobné.

Účel užívání stavby je u staveb povolených před 1. lednem 2007 dán kolaudačním rozhodnutím, u později povolených staveb oznámením stavebního úřadu nebo kolaudačním souhlasem. Uvedené hygienické limity se nevztahují na hluk způsobený používáním chráněné místnosti.

⁺⁾ Pro hluk z dopravy v okolí dálnic, silnic I. a II. třídy a místních komunikací I. a II. třídy, kde je hluk z dopravy na těchto komunikacích převažující, a v ochranném pásmu drah se přičítá další korekce + 5 dB. Tato korekce se nepoužije ve vztahu k chráněnému vnitřnímu prostoru staveb povolených k užívání k určenému účelu po 31. prosinci 2005.

Příloha 2: Korekce pro stanovení hygienických limitů hluku ve venkovním prostoru

Druh chráněného prostoru	Korekce [dB]			
	1)	2)	3)	4)
Chráněný venkovní prostor staveb lůžkových zdravotnických zařízení včetně lázní	-5	0	+5	+15
Chráněný venkovní prostor lůžkových zdravotnických zařízení včetně lázní	0	0	+5	+15
Chráněný venkovní prostor ostatních staveb a chráněný ostatní venkovní prostor	0	+5	+10	+20

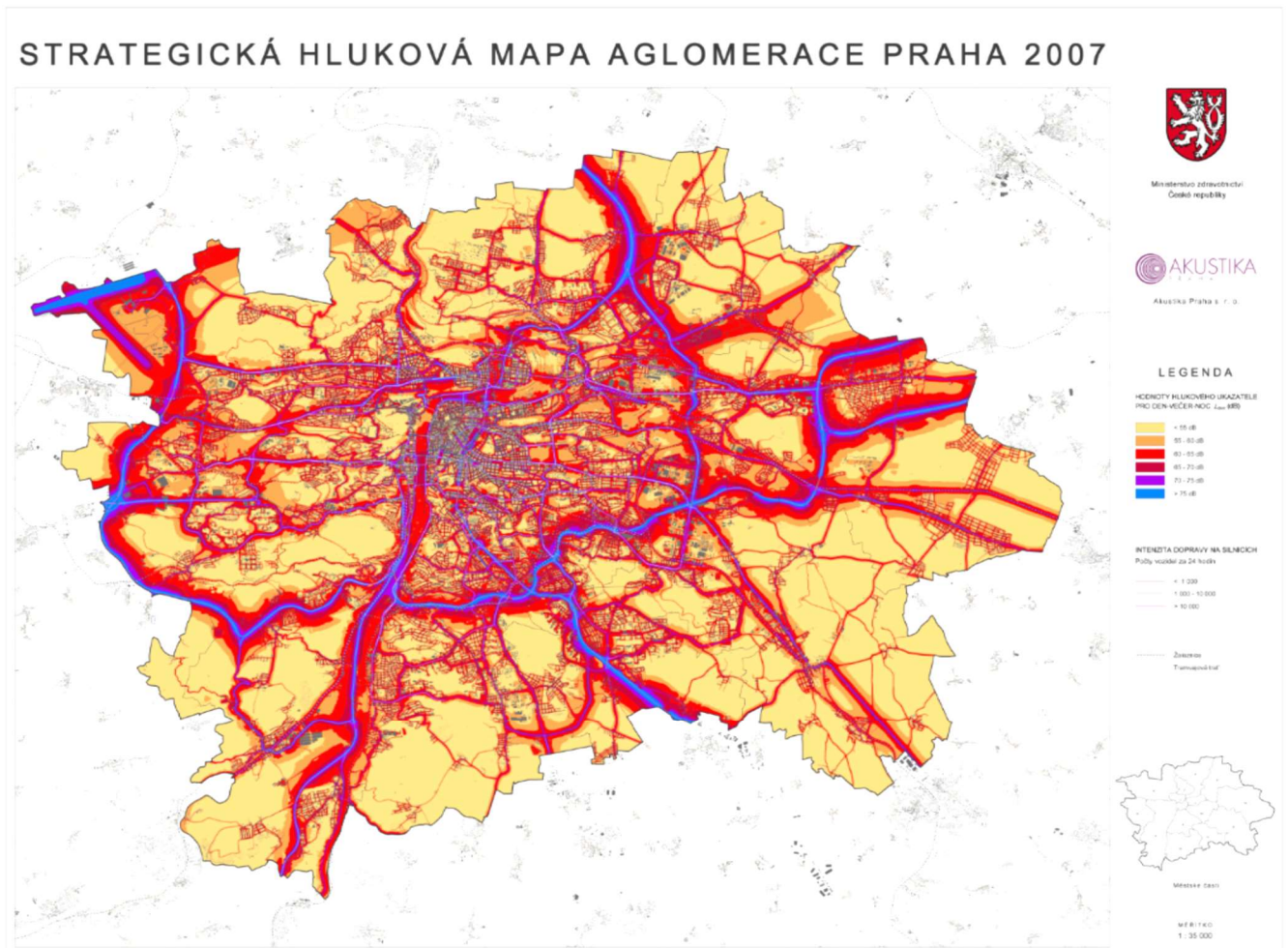
Korekce uvedené v tabulce se nesčítají.

Pro noční dobu se pro chráněný venkovní prostor staveb přičítá další korekce -10 dB, s výjimkou hluku z dopravy na železničních dráhách, kde se použije korekce -5 dB.

Pravidla použití korekce uvedené v tabulce:

- 1) Použije se pro hluk z provozu stacionárních zdrojů, hluk z veřejné produkce hudby, dále pro hluk na účelových komunikacích a hluk ze železničních stanic zajišťujících vlakové práce, zejména rozřadování a sestavu nákladních vlaků, prohlídku vlaků a opravy vozů.
- 2) Použije se pro hluk z dopravy na silnicích III. třídy a místních komunikacích III. třídy a dráhách.
- 3) Použije se pro hluk z dopravy na dálnicích, silnicích I. a II. třídy a místních komunikacích I. a II. třídy v území, kde hluk z dopravy na těchto komunikacích je převažující nad hlukem z dopravy na ostatních pozemních komunikacích. Použije se pro hluk z dopravy na dráhách v ochranném pásmu dráhy.
- 4) Použije se v případě staré hlukové zátěže z dopravy na pozemních komunikacích s výjimkou účelových komunikací a dráhách uvedených v bodu 2) a 3). Tato korekce zůstává zachována i po položení nového povrchu vozovky, prováděné údržbě a rekonstrukci železničních drah nebo rozšíření vozovek při zachování směrového nebo výškového vedení pozemní komunikace, nebo dráhy, při kterém nesmí dojít ke zhoršení stávající hlučnosti v chráněném venkovním prostoru staveb nebo v chráněném venkovním prostoru, a pro krátkodobé objízdné trasy. Tato korekce se dále použije i v chráněných venkovních prostorech staveb při umístění bytu v přístavbě nebo nástavbě stávajícího obytného objektu nebo víceúčelového objektu nebo v případě výstavby ojedinělého obytného, nebo víceúčelového objektu v rámci dostavby proluk, a výstavby ojedinělých obytných nebo víceúčelových objektů v rámci dostavby center obcí a jejich historických částí.

Příloha 3: Strategická hluková mapa aglomerace Praha



Příloha 4: Ukázka vybraných naměřených dat

Date_Hour	Elapsed_t(tt)_Time	LAtt	LAF
02.07.2015 7:02	0000:00:01	87	73,6
02.07.2015 7:02	0000:00:02	84,2	71,1
02.07.2015 7:02	0000:00:03	82,5	68,3
02.07.2015 7:02	0000:00:04	81,3	68,4
02.07.2015 7:02	0000:00:05	80,4	71,3
02.07.2015 7:02	0000:00:06	79,7	73,4
02.07.2015 7:02	0000:00:07	79,3	74,9
02.07.2015 7:02	0000:00:08	78,9	74,8
02.07.2015 7:02	0000:00:09	78,7	75,3
02.07.2015 7:02	0000:00:10	78,4	70
02.07.2015 7:02	0000:00:11	78	70,6
02.07.2015 7:02	0000:00:12	77,7	71,5
02.07.2015 7:02	0000:00:13	77,5	73,5
02.07.2015 7:02	0000:00:14	77,3	72,5
02.07.2015 7:02	0000:00:15	77,1	68,2
02.07.2015 7:02	0000:00:16	76,8	66,7
02.07.2015 7:02	0000:00:17	76,6	67,9
02.07.2015 7:02	0000:00:18	76,5	76,8
02.07.2015 7:02	0000:00:19	76,7	73,9
02.07.2015 7:02	0000:00:20	76,5	69,4
02.07.2015 7:02	0000:00:21	76,3	67,1
02.07.2015 7:02	0000:00:22	76,1	62,7
02.07.2015 7:02	0000:00:23	76	61,3
02.07.2015 7:02	0000:00:24	75,8	60,4
02.07.2015 7:02	0000:00:25	75,6	60,1
02.07.2015 7:02	0000:00:26	75,4	64,5
02.07.2015 7:02	0000:00:27	75,3	63,2
02.07.2015 7:02	0000:00:28	75,1	65,8
02.07.2015 7:03	0000:00:29	75	66,2
02.07.2015 7:03	0000:00:30	74,9	68,3
02.07.2015 7:03	0000:00:31	74,8	70,9
02.07.2015 7:03	0000:00:32	74,7	73
02.07.2015 7:03	0000:00:33	74,7	71,6
02.07.2015 7:03	0000:00:34	74,6	67,6
02.07.2015 7:03	0000:00:35	74,5	65,2
02.07.2015 7:03	0000:00:36	74,4	63,2
02.07.2015 7:03	0000:00:37	74,3	61,3
02.07.2015 7:03	0000:00:38	74,2	63,6
02.07.2015 7:03	0000:00:39	74,1	64,8
02.07.2015 7:03	0000:00:40	74	68,4
02.07.2015 7:03	0000:00:41	73,9	69,2
02.07.2015 7:03	0000:00:42	73,8	70,4