

UNIVERZITA PARDUBICE

DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2015

Bc. Lukáš Janura

Dopravní fakulta Jana Pernera

Měření silničního hluku - statistická metoda při průjezdu

Bc. Lukáš Janura

Diplomová práce

2015

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

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne

Bc. Lukáš Janura

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš Janura**
Osobní číslo: **D13708**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Provozní spolehlivost dopravních prostředků a infrastruktury:
Ochrana životního prostředí v dopravě**
Název tématu: **Měření silničního hluku - Statistická metoda při průjezdu**
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem diplomové práce bude na základě znalosti základních vlastností a parametrů statistické metody při průjezdu - The statistical pass-by method - srovnat výhody s dalšími postupy pro porovnávání dopravního hluku na různých površích vozovek pro různé složení silniční dopravy sloužícími k vyhodnocení různých typů povrchů vozovek. Bude posouzena možnost využití výsledků pro trvale udržitelný rozvoj dopravy i snižování negativních účinků na životní prostředí a zdraví člověka díky účinnému omezení nadměrné hlukové zátěže ze silniční dopravy. Bude vypracována metodika pracovního postupu pro měření a zpracování získaných dat.

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího práce

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran textu a přílohy

Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

[1] ČSN ISO 11819-1 - Akustika - Měření vlivu povrchů vozovek na dopravní hluk - Část 1: Statistická metoda při průjezdu. Český normalizační institut, 2000.

[2] FEHRL, Study SI2.408210 Tyre/Road Noise + annexes, FEHRL report, 2006.

[3] FEHRL, Report on state-of-the-art of test methods, Seventh Framework Programme, FP7-217920, Netherlands, 2008.

[4] HAIDER, M., SANDBERG, U., Noise Classification Methods for Urban Road Surfaces, User manual: Measurement methods. European Commission DG Research, SILENCE, 2006.

[5] DŮRR, J., ZRZAVÝ, J., TREŠL, O., Snížení hluku z povrchu při použití speciální asfaltové směsi pro obrusnou vrstvu vozovek. Silniční obzor, Česká silniční společnost, říjen, 2011, ISSN 0322-7154.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Vítězslav Křivánek, Ph.D.

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Brno

Datum zadání diplomové práce: **25. února 2015**

Termín odevzdání diplomové práce: **22. května 2015**



doc. Ing. Ivo Drahošský, Ph.D.

děkan

L.S.



doc. Ing. Michael Lata, Ph.D.

vedoucí katedry

V Pardubicích dne 25. února 2015

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat všem, kteří mi s touto prací jakkoli pomohli, poradili, poskytli podklady nebo své praktické zkušenosti a rady, panu Ing. Vítězslavovi Křivánkovi Ph.D. za vedení práce a pomoc při zpracování. Dále chci poděkovat Dopravnímu VaV centru (CZ.1.05/2.1.00/03.0064), na jehož infrastruktuře byl prováděn výzkum a za poskytnuté přístroje potřebné k měření.

Anotace

Cílem diplomové práce bude na základě znalosti základních vlastností a parametrů statistické metody při průjezdu - The statistical pass-by method - srovnat výhody s dalšími postupy pro porovnávání dopravního hluku na různých površích vozovek pro různé složení silniční dopravy sloužícími k vyhodnocení různých typů povrchů vozovek. Bude posouzena možnost využití výsledků pro trvale udržitelný rozvoj dopravy i snižování negativních účinků na životní prostředí a zdraví člověka díky účinnému omezení nadměrné hlukové zátěže ze silniční dopravy. Bude vypracována metodika pracovního postupu pro měření a zpracování získaných dat.

Klíčová slova

Měření, Statická metoda při průjezdu, Hluk, Rychlost, Porovnání, Regresní přímka

Annotation

The aim of this thesis is usage of the knowledge of basic characteristics and parameters of statistical methods in case of passing vehicles "The statistical pass-by method" and compare advantages with other procedures for comparing traffic noise on the different road surfaces and different types of traffic composition for serving to evaluate characteristics of various types of road surfaces. It will be evaluate possibility of results usage for sustainable development of traffic and reducing of negative effects on environment and to human health due to effective reduction of excessive traffic noise pollution. It will be developed workflow methodology for measurement and data processing.

Keywords

Measurement, The statistical pass-by method, Noise, Speed, Comparison, Regression line

Obsah

Obsah	7
Seznam Obrázků	9
Seznam tabulek	10
Seznam grafů	10
Úvod.....	11
1 Literární rešerše	12
1.1 Definice hluku.....	12
1.2 Účinky hluku na člověka	14
1.3 Lidské ucho.....	16
1.3.1 Škodlivé účinky hluku na organismus člověka	17
1.4 Veličiny a základní pojmy	19
1.4.1 Akustická rychlost.....	19
1.4.2 Akustický tlak.....	19
1.4.3 Akustické vlnění.....	19
1.4.4 Akustická intenzita	20
1.4.5 Akustický výkon.....	20
1.4.6 Kmitočet	21
1.4.7 Vlnová délka.....	21
1.5 Nejvyšší přípustné hladiny hluku v ČR	21
1.5.1 Nejvyšší hodnoty hluku v chráněném venkovním prostoru	22
1.6 Hluk produkovaný silničními dopravními prostředky	24
1.6.1 Vnitřní hluk	24
1.6.2 Vnější hluk	25
1.6.3 Hluk od příslušenství vozidla a motoru.....	25
1.6.4 Valivý hluk	26
1.6.5 Hluk způsobený rychlostí vozidla	27
1.6.6 Aerodynamický hluk	27
1.7 Hluk ovlivněný prostředím	27
1.7.1 Vliv terénu okolí.....	27
1.7.2 Klimatické podmínky a jejich vliv	27

1.8 Prostředky ke snižování hlukové zátěže	28
1.8.1 Protihluková úprava obrusných vrstev vozovky	28
1.8.2 Protihlukové valy	32
1.8.3 Protihlukové stěny	33
1.9 Metody měření hluku	37
1.9.1 Metoda CPX	38
1.9.2 Metoda SPB	40
2 Metodika měření	42
2.1 Výběr lokality	42
2.2 Použité přístroje	43
3 Vlastní měření	49
3.1 Místo měření č. 1 – Česká Ivanovice R43	50
3.1.1 Popis místa měření č. 1	50
3.1.2 Naměřené údaje z místa měření č. 1 – Česká Ivanovice	51
3.1.3 Výsledky naměřených hodnot v místě č. 1 – Česká Ivanovice	52
3.1.4 Regresní přímky z místa č. 1 – Česká Ivanovice	55
3.1.5 Dílčí závěr z místa měření č. 1	57
3.2 Místo měření č. 2 - Černovická U mostu přes ulici Havraní - II/374 Brno	58
3.2.1 Popis místa měření č. 2	58
3.2.2 Naměřené údaje z místa měření č. 2 – Černovická U mostu přes ulici Havraní	59
3.2.3 Výsledky naměřených hodnot v místě č. 2 – Černovická U mostu přes ulici Havraní	60
3.2.4 Regresní přímky z místa měření č. 2 – Černovická U mostu přes ulici Havraní	62
3.2.5 Dílčí závěr z místa měření č. 2	63
4 Závěr	64
5 Seznam použité literatury	66
6 Přílohy	68

Seznam Obrázků

Obr. 1 - Ustálený hluk v závislosti na čase [14]	13
Obr. 2 - Přerušovaný hluk v závislosti na čase [14]	13
Obr. 3 - Nepravidelný hluk v závislosti na čase [14].....	13
Obr. 4 - Impulsní hluk v závislosti na čase [14]	14
Obr. 5 - Průběh váhových křivek filtrů typů A, B, C a D [15]	15
Obr. 6 - Přehled kmitočtových oblastí při poslechu hudby [16].....	16
Obr. 7 - Lidské ucho [17].....	17
Obr. 8 - Šíření zvukové vlny [7]	20
Obr. 9 - Šíření hluku vlivem rozložení teplotních vrstev a působením větru [8]	28
Obr. 10 - Protihluková stěna z dřevocementových tvarovek [30]	35
Obr. 11 - Protihluková stěna z panelů ze sklovláknového betonu [30]	35
Obr. 12 - Protihluková stěna z panelů z recyklovaných plastů [30]	36
Obr. 13 - Protihluková stěna z hliníkových panelů [31].....	36
Obr. 14 - Celkový pohled na měřící přívěs CPX s tažným vozidlem. [11]	39
Obr. 15 - Umístění jednotlivých měřících mikrofonů na přívěsu CPX dle normy ISO//DIS 11819-2 [10]	39
Obr. 16 - Požadavky na místo měření metodou SPB [10].....	41
Obr. 17 - Požadovaný poměr signálu k hluku pozadí pro jednotlivé vozidlo [13].....	42
Obr. 18 - Mikrofon Brüel & Kjær, typ 4189 [32].....	43
Obr. 19 - Předzesilovač Brüel & Kjær ZC 0032 [33].....	44
Obr. 20 - Zvukový analyzátor, Brüel & Kjær, typ 2270 [34]	45
Obr. 21 - Zvukový analyzátor, Brüel & Kjær, typ 2250 [34]	46
Obr. 22 - Laserová puška Riegl LR90-235/P [35].....	46
Obr. 23 - Mikrofonní kalibrátor Brüel & Kjær, typ N 4231 [32]	47
Obr. 24 - Anemometr Airflow typ WP4ask [36]	47
Obr. 25 - Termohygrobarometr, Airflow typ C4130 [36]	48

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Korekce pro stanovení hygienických limitů hluku v chráněných venkovních prostorech staveb a v chráněném venkovním prostoru [18].....	23
Tabulka 2 - Kategorie zvukové pohltivosti protihlukových stěn [30].....	33
Tabulka 3 - Naměřené údaje z místa měření č. 1 - Česká Ivanovice.....	51
Tabulka 4 - Výsledky naměřených hodnot v místě č. 1 – Česká Ivanovice.....	52
Tabulka 5 - Hladiny akustického tlaku v místě č. 1 - Česká Ivanovice.....	54
Tabulka 6 - Statický index při průjezdu v místě měření č. 1 - Česká Ivanovice.....	54
Tabulka 7 - Referenční rychlosti a váhové činitele pro různé kategorie silničních komunikací [13].....	55
Tabulka 8 - Naměřené údaje z místa měření č. 2 – Černovická U mostu přes ulici Havraní...59	
Tabulka 9 - Výsledky naměřených hodnot v místě č. 2 – Černovická U mostu přes ulici Havraní.....	60
Tabulka 10 - Hladiny akustického tlaku vozidel v místě č. 2 – Černovická U mostu přes ulici Havraní.....	61
Tabulka 11 - Statický index při průjezdu v místě měření č. 2 – Černovická U mostu přes ulici Havraní.....	61

Seznam grafů

Graf 1 - Naměřené údaje z místa měření č. 1 - Česká Ivanovice.....	51
Graf 2 - Průměrná rychlost vozidel v místě měření č. 1 - Česká Ivanovice.....	52
Graf 3 - Regresní přímka porovnání měření hlučnosti osobních vozidel - Česká Ivanovice...55	
Graf 4 - Regresní přímka porovnání měření hlučnosti dvounápravových těžkých vozidel - Česká Ivanovice.....	56
Graf 5 - Regresní přímka porovnání měření hlučnosti vícenápravových těžkých vozidel - Česká Ivanovice.....	56
Graf 6 - Naměřené údaje z místa měření č. 2 - Černovická U mostu přes ulici Havraní.....	59
Graf 7 - Průměrná rychlost vozidel v místě č. 2 - Černovická U mostu přes ulici Havraní.....	60
Graf 8 - Regresní přímka porovnání měření hlučnosti osobních vozidel - Černovická U mostu přes ulici Havraní.....	62
Graf 9 - Regresní přímka porovnání měření hlučnosti dvounápravových těžkých vozidel - Černovická U mostu přes ulici Havraní.....	62
Graf 10 - Regresní přímka porovnání měření hlučnosti vícenápravových těžkých vozidel - Černovická U mostu přes ulici Havraní.....	63

Úvod

Cílem této diplomové práce je analýza hluku silničních motorových vozidel, jako jsou nákladní, osobní automobily, autobusy atd. S využitím statické metody při průjezdu na různých druzích vozovek a různého složení dopravy. Problematika hluku v dopravě je dnes hojně rozšířeným tématem a je zpracováno mnoho studií, které se právě tímto zabývají. V této práci se zabývám jak samotným měřením, tak i porovnáním s dalšími postupy, které lze použít při měření hluku v dopravě. Porovnání probíhá mezi metodou SPB, kde prostor okolo mikrofonu je volný v rozsahu volného akustického pole 360° ISO 11819-1 a mezi mikrofonem umístěným na desce, díky které dochází k eliminaci hluku za mikrofonem a snímáme pouze rozsah volného akustického pole 180° ISO 11819-4. Měření bude probíhat synchronně, ve stejný čas. Důvodem k tomuto porovnání je snížení nároků na prostředí, ve kterém měření probíhá. Za použití měřicí desky, kdy je třeba poloviční rozsah volného akustického pole, by tak mělo být jednodušší hledání vhodného místa. Díky tomu, že dominantní složkou hluku z automobilové dopravy je zdroj ze styku pneumatika vozovka až od rychlosti cca 40 km/h u osobních automobilů a u nákladních automobilů až od rychlosti cca 60 km/h [37], jsou volena místa měření s vyšším rychlostním limitem. Dále jsou výsledky posouzeny pro využití v trvale udržitelném rozvoji dopravy.

1 Literární rešerše

1.1 Definice hluku

Zvuk a jeho vlastnosti lze velmi jednoduše fyzikálně popsat, ať se šíří prostředím (imise), nebo je přímo u zdroje (emise). Hluk lze po lékařské stránce považovat za zvuk, který působí přímo dobrou funkci sluchového orgánu (specifické účinky), popřípadě díky jeho prostřednictvím v nejrůznějších intenzitách jinak působí negativně na člověka (nespecifické účinky). Tyto vlivy nadměrně silného zvuku, působícího v nevhodné situaci, příliš častého, nebo i působícího na slabšího jedince (bez ohledu na fyzikální vlastnosti tohoto jedince) je možné poměrně přesně objektivně pozorovat a popsat.

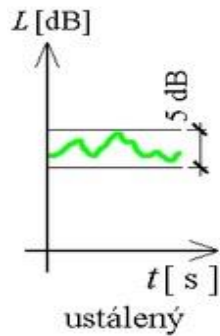
Právní definice hluku by měla vzít v úvahu jak výše uvedená vymezení, tak ovšem i zahrnout jeho další společenská negativa. Samotné vymezení není vůbec jednoduché. Z hlediska platného práva tak činí jednotlivé právní předpisy pro oblasti jimi upravované. Proto jej vymezíme, aniž bychom se nyní blíže zabývali zákonnými definicemi, jako zvuk, který člověka poškozují (na zdraví, majetku, na životním prostředí), ruší anebo obtěžuje.

Prakticky se dnes v boji proti hluku hledají odpovědi na otázku, nakolik je dnes technicky a ekonomicky možné realizovat jeho omezení. Technicky má hluk tu výhodu, že jeho chování je relativně přesné dle fyzikálních zákonů, díky této výhodě je možné využívat nejrůznějších výpočtových metod a tím dosahovat větší přesnosti než tomu je např. u různých předpovědí počasí. Energie hluku podléhá entropii a nezanechává rezidua a v prostředí se nekumuluje. Z ekonomického hlediska je přirozené, že snižování hluku bude spojeno s finančními náklady ať už na stavbu ochranných bariér (protihlukové stěny, zemní valy), nebo na úpravu zařízení produkujících hluk. Opatření snižující hluk u zdroje (emise), která jsou obecně nejúčinnějším opatřením, má navíc v některých případech i příznivé technické dopady – nižší vibrace zařízení a jeho vyšší životnost. V případě imisí je zde i ekonomický přínos, který lze spočítat ze ztrát či přínosů způsobených nepřikročením k opatřením proti hluku. [1]

Z hlediska kmitočtového složení a časového průběhu se charakterizují následující povahy hluku:

a) Hluk ustálený

Jedná se o zvuk, jehož hladina se v čase nemění, popřípadě kolísá o hodnotu menší než 5 dB, který je znázorněn na Obr. 1.

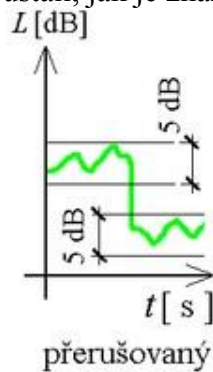


Obr. 1 - Ustálený hluk v závislosti na čase [14]

b) Hluk Proměnný

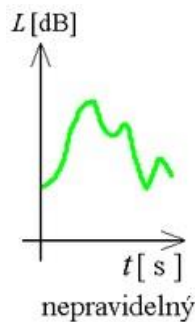
U proměnného hluku hladina v čase kolísá o více než 5 dB. Tento hluk je ještě rozdělen na:

- Přerušovaný – Hladina akustického tlaku se náhle změní a v průběhu intervalu hluku se ustálí, jak je znázorněno na Obr. 2



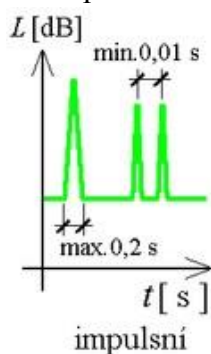
Obr. 2 - Přerušovaný hluk v závislosti na čase [14]

- Nepravidelný – Zde se hladina hluku mění náhodně v čase, viz Obr. 3.



Obr. 3 - Nepravidelný hluk v závislosti na čase [14]

- Impulsní – Zvuk je tvořený impulsy, které trvají do 20 ms, nebo sledem po sobě následujících impulsů v intervalech, které jsou delší než 10 ms, viz Obr. 4.



Obr. 4 - Impulsní hluk v závislosti na čase [14]

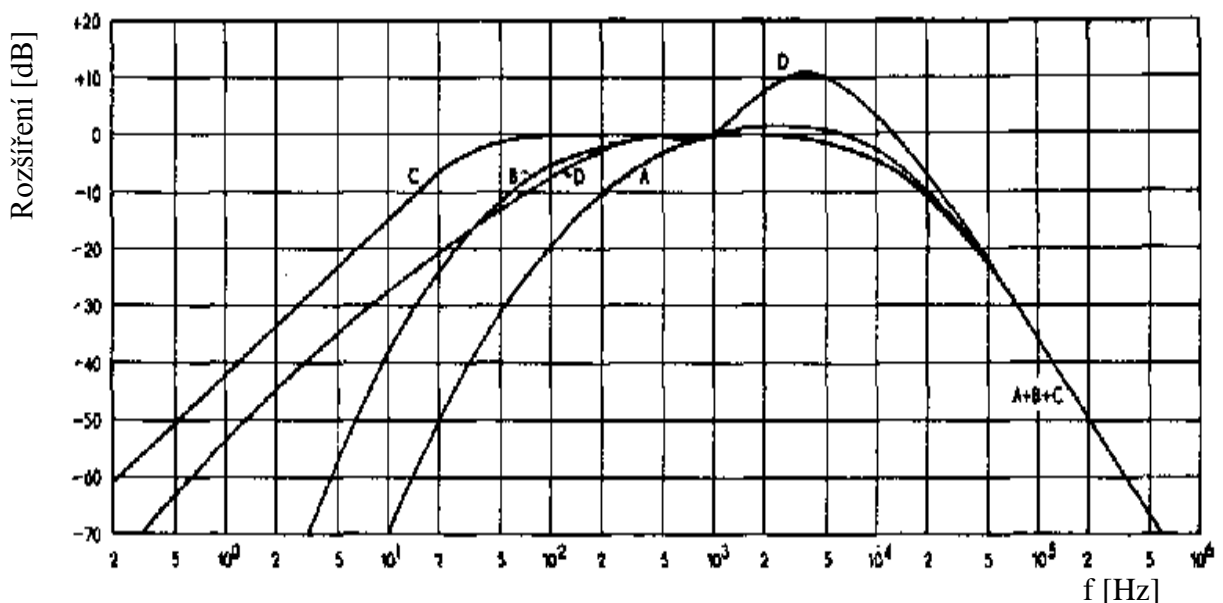
c) Vysokofrekvenční hluk

Tento zvuk je tvořen z výrazných kmitočtových složek v oblasti vyšší než 8 kHz. Tohoto hluku je možné dosáhnout také neakustickými rušivými vlivy, jako jsou např. vítr, elektrické a magnetické pole nebo vibrace atd.

1.2 Účinky hluku na člověka

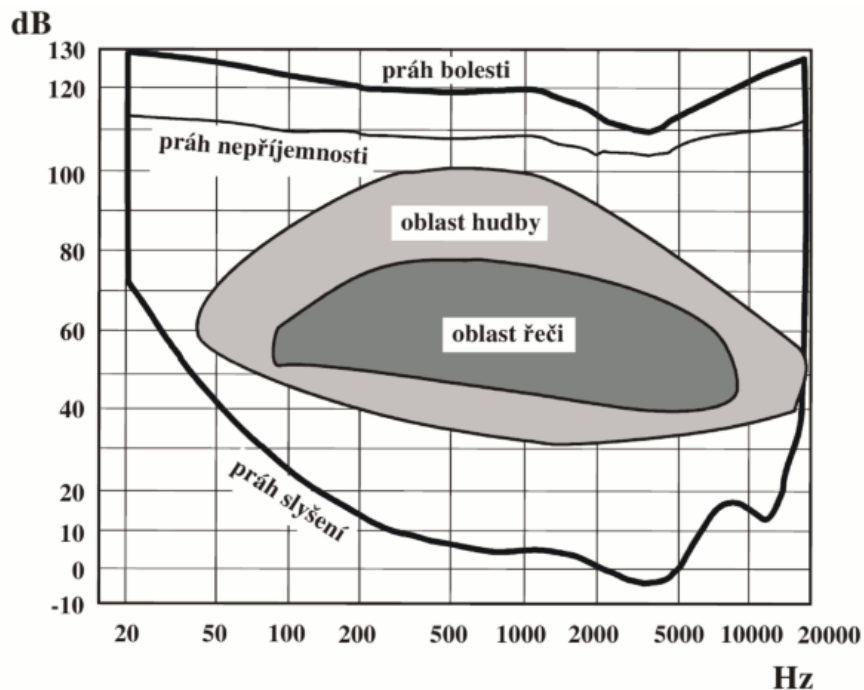
Působení hluku se na rozdíl od jiných nepříznivých vlivů neprojevuje většinou bezprostředně ani poruchou sluchu. Nejdůležitějším a nejvážnějším nepříznivým účinkem je poškození sluchového aparátu. Dále má hluk vliv i na imunitní a kardiovaskulární systém a zdraví. U každého člověka existuje stupeň tolerance k rušivým účinkům hluku. K popisování účinků zvuku se používá hladina hluku vyjádřená v decibelech a korigovaná kmitočtově za použití pásmového váhového filtru. Díky němu se bere v úvahu to, že zvuk vnímáme pro každý kmitočet s různou citlivostí. Hladina hluku se označuje dB nebo dB (A) při použití váhového filtru. Váhové filtry jsou zařízení s kmitočtovými charakteristikami, které odpovídají charakteristikám lidského sluchu a používají se ke korigování kmitočtu (zvuk v různém kmitočtu je vnímán sluchem s nestejnou citlivostí). Mezinárodně standardizované jsou filtry označené A, B, C a D, který se používá pro letecký průmysl. Průběh váhových křivek filtrů typů A, B, C a D je znázorněn na Obr. 5. Citlivosti lidského ucha nejvíce odpovídá filtr A. Při hodnocení vlivu hluku ve venkovním prostoru se postupuje podle hodnot hluku vyjádřených v ekvivalentních hladinách akustického tlaku L_{Aeq} (tedy v časově integrovaných hodnotách

hluku) a dalších kritérií ve vazbě na způsob využití území, druhy zdrojů hluku atd. Takové vyjádření vlivu hluku však není dokonalé, nepříznivé účinky hluku záleží i na jeho dalších vlastnostech, jako je maximální hladina hlukových událostí, jejich frekvence v čase nebo denní době. Převládající způsob hodnocení hluku dle ekvivalentní hladiny je však užitečný, srovnáváme-li vzájemně podobné hlukové situace. V běžné praxi se podle ekvivalentních hladin posuzuje ustálený nebo proměnný hluk, jako např. hluk z dopravy, hluk z většiny průmyslových zdrojů apod. Předpokládá se, že souhrnný efekt hlukových událostí vnímaných člověkem je úměrný součtu jejich zvukové energie (princip stejné energie). Proto se stanovuje jako průměr celkové energie za určitý čas T (16 hodin, 8 hodin, 1 hodina apod.), tj. ekvivalentní hladina akustického tlaku $L_{Aeq,T}$, která je odvozena integrací hlukových úrovní s váhovým filtrem A, který záznam hluku přizpůsobuje citlivosti lidského sluchového orgánu. Rizika vyplývající z expozice hluku, jsou vyjádřena stanovením nejvýše přípustných hladin zvuku, které jsou obsahem Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. [2]



Obr. 5 - Průběh váhových křivek filtrů typů A, B, C a D [15]

Člověk je schopen slyšet zvuk, který se pohybuje v rozsahu frekvencí přibližně 16 – 16 000 Hz. Dalším ukazatelem prostředí, kde se člověk pohybuje, je hladina akustického tlaku, kde tato hladina kolísá mezi 25 a 105 dB. Na Obr. 6 je znázorněn přehled o kmitočtových oblastech při poslechu hudby, nebo při rozhovoru.

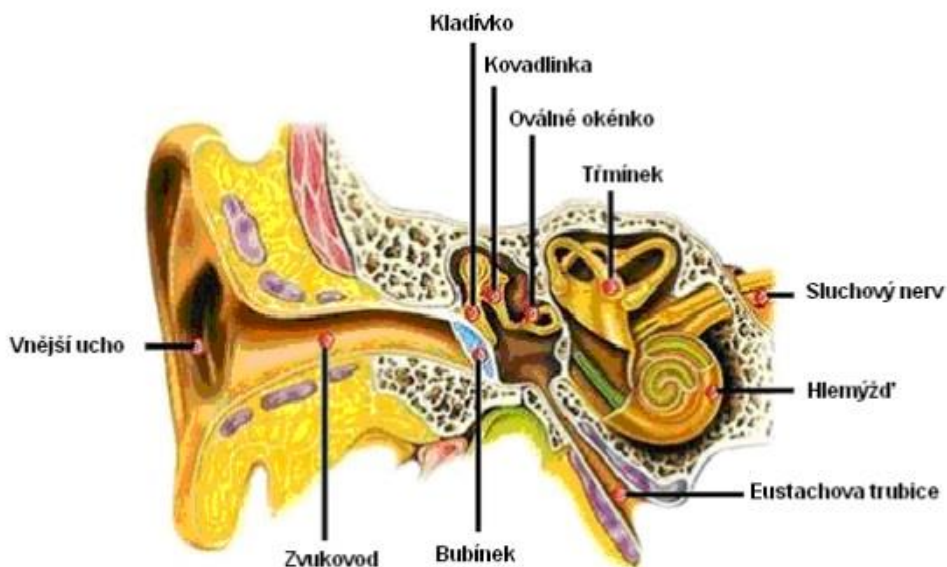


Obr. 6 - Přehled kmitočtových oblastí při poslechu hudby [16]

1.3 Lidské ucho

Patří mezi jeden z velmi složitých orgánů v lidském těle. Samotná reprodukce zvuku je podřízena správnou funkcí lidského organismu, předně jeho nervů. Jevy při kterých dochází ke správné interpretaci zvuku v lidském uchu, jsou jiné, než při jeho šíření v prostředí.

Lidské ucho jakožto sluchový orgán se skládá ze středního, vnějšího a vnitřního ucha. Vnější ucho spojuje okolní prostor s bubínkem, který tvoří překážku ve zvukovodu. Toto spojení je velmi dobré při frekvencích 800 Hz, ale zůstává stále dobré i ve větších frekvencích. Pokud je však frekvence pod 400 Hz, kvalita přenosu se výrazně zhoršuje. Chvění bubínku se mechanicky přenáší prostřednictvím středního ucha do ucha vnitřního. Vnitřní ucho představuje další odpor pro vedení zvuku. Vnímání zvuku nervy nastává podél basální membrány ušního závitku, kterému se říká hlemýžď. Zde také probíhá frekvenční analýza zvuku. Zvuky s rozličnou frekvencí zaznamenává membrána vnitřního ucha jako maximální záchvěvy v různých vzdálenostech od oválného okénka. Schéma lidského ucha je znázorněno na Obr. 7 [3]



Obr. 7 - Lidské ucho [17]

1.3.1 Škodlivé účinky hluku na organismus člověka

Tyto účinky je možné rozdělit do následujících skupin: [2]

- a) Specifické – Lze je označit za sluchové. Závislost jejich vlastností, je přímo na sluchovém analyzátoru, u kterého je postižena jeho činnost.
- b) Systémové – Tzv. mimo sluchové. Tyto účinky ovlivňují procesy probíhající v cévách i v srdci, způsobují poruchy metabolismu, vegetativní rovnováhy, spánku, pohody či výkonnosti.

1.3.1.1 Specifické účinky

- a) Chronické akustické trauma
 - Porucha činnosti se zánikem smyslových buněk. Dochází k přetížení sluchu a poškození zevní smyslové buňky. Jedná se o dlouhodobé a silné vystavení organismu hluku.
- b) Akustické a explozní trauma
 - Lze snadno dojít k mechanickému poškození, díky vlivu krátkého impulsu hluku s vysokou intenzitou (100 – 140 dB) např. výstřel.
- c) Zhoršení zpracování a vštěpování poznatků
 - Při vykonávání práce dochází díky hluku k narušení některých pohybů i koordinace. Klesá soustředěnost a zhoršuje se schopnost učení. Při některých činnostech lze hudbou navodit ovšem příjemnější atmosféru. Musí být ale správně

zvolená. Práce vykonávaná v hluku, při které je nutná velká dávka soustředění, může způsobovat různá onemocnění jako např. vysoký krevní tlak.

d) Maskování

- Maskováním se rozumí působení dvou hluků, kde dochází ke zhoršení vnímání toho hluku, který je slabší. [2]

1.3.1.1 Systémové účinky

- a) Funkční poruchy emocionální rovnováhy
- b) Funkční poruchy motorických a smyslově-motorických funkcí s ergonometrickými důsledky, jako jsou poruchy pohybové koordinace, úrazovost nebo změny zrakového pole
- c) Ovlivnění kvality sociální interakce (klesá kvalita komunikace)
- d) Funkční poruchy v aktivaci CNS (centrální nervové soustavy) způsobují
 - Hormonální odpovědi
 - Vegetativní reakce
 - Poruchy spánku
 - Biochemické reakce

Tyto účinky působí především na ostatní části organismu a jsou podmíněné subjektivním vnímáním hluku. Hluk, který vyvolává tyto účinky, může způsobovat rušení, jako například zasahování do lidského spánku nebo práce či do komunikace, případně rozmrzelost. Tu lze definovat jako stav psychiky člověka, na kterou působí mimovolné vnímání vlivů, nebo se člověk podřizuje okolnostem, které jsou mu nepříjemné, protože zasahují do jeho soukromí. Ovlivňují jeho odpočinek, nebo činnosti. Výsledkem toho, je podrážděnost nebo pocit odporu.

Mezi nejčastější změny patří změna krevního tlaku, svalů. Změny spánku a to jak kvality, tak i délky. Dále mohou zasahovat i do schopností se učit a koncentrovat.

Všechny tyto změny mohou vést ke komplexnímu ovlivnění celého organismu. Ovlivnění se může týkat poruch na sociální a emocionální úrovni, jako jsou podrážděnost a poruchy komunikace. Další ovlivnění zasahuje do snížené odolnosti na psychickou zátěž, pocit únavy a snížení výkonnosti. [2]

1.4 Veličiny a základní pojmy

1.4.1 Akustická rychlost

Je rychlost, se kterou se pohybují kolem své rovnovážné polohy částice vzduchu pod působením akustického tlaku. Akustická rychlost se pohybuje mezi $5 \cdot 10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$ (práh slyšitelnosti) a $1,6 \cdot 10^{-1} \text{ m.s}^{-1}$ (práh bolesti). Udává se v $[\text{m.s}^{-1}]$. [22]

1.4.2 Akustický tlak

„Zvuková vlna je rozruch v hmotném prostředí, který se projevuje zředováním a zhušťováním tohoto prostředí. V místech s vyšší hustotou je vyšší tlak, v místech se zředěným prostředím je nižší tlak. Za akustický tlak p jsou označovány tyto změny tlaku. Akustický tlak je proto superponován na statickém barometrickém tlaku. Vzhledem k tomu, že pro akustický tlak nelze určit směr jedná se o skalární veličinu. Velikostí akustického tlaku, pokud není uvedeno jinak, se rozumí jeho efektivní hodnota a uvádí se v Pa.“ [23]

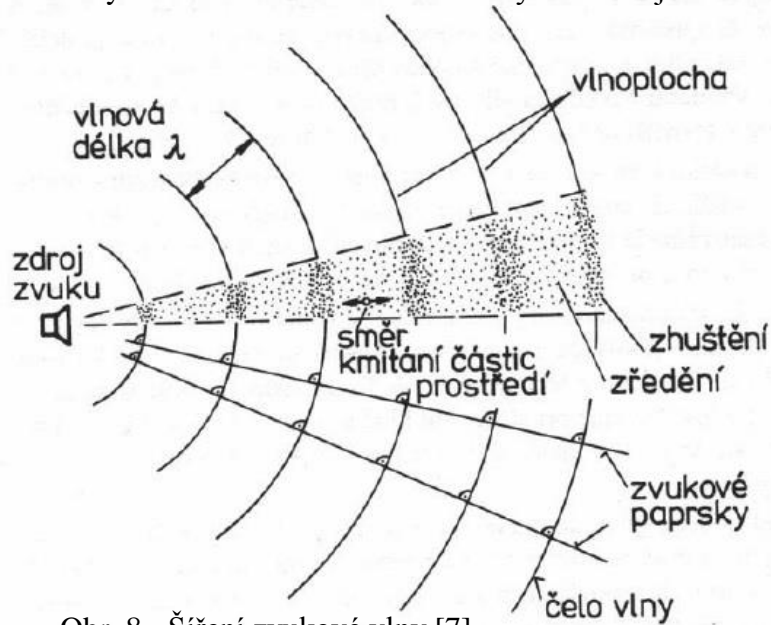
Nejvyšší akustický tlak, který dokáže snést lidské ucho, se nazývá práh bolesti. Naproti tomu práh slyšitelnosti má akustický tlak milionkrát nižší. Aby se nemuselo pracovat s tak obrovským rozsahem hodnot, používá se zhuštěná logaritmická stupnice, která je zapsána v dB (decibely). Na této stupnici začínají hodnoty akustického tlaku na hodnotě 0 dB (práh slyšitelnosti) a 120 dB jako hodnota pro akustický tlak prahu bolesti. Pokud se sečtou dvě hodnoty stejně silných zvuků, výsledná hodnota nebude dvounásobná, ale zvýší se o 3 dB. [24]

1.4.3 Akustické vlnění

Zvuk lze charakterizovat, jako mechanické kmitání prostředí, které je pružné, v rozsahu frekvencí 20 – 20 000 kmitů za vteřinu. K šíření zvuku slouží jak plynné, kapalné, tak i pevné látky ve formě akustického vlnění. Toto vlnění lze rozdělit na příčné a podélné podle toho, jestli ke kmitání dochází ve směru kterým se vlnění šíří, nebo směrem na něj kolmým. O podélné vlnění se jedná, když směr kmitání je ve směru vlnění. Příčné vlnění musí být navíc charakterizováno rovinou, ve které k příčným kmitům dochází.

Důležitým faktem je, že částice kmitají kolem rovnovážných poloh a nepohybují se jednosměrně se šířením vlnění. Neméně podstatné je spojení akustického vlnění s přenosem energie.

V plynech a kapalinách se vyskytuje jen podélné akustické vlnění, z toho důvodu, že tyto látky jsou pružné jen při působení tlaku (jsou stlačitelné). U látek, které mají elastické vlastnosti, se vyskytuje jak podélné, tak i příčné vlnění, protože tyto látky jsou pružné jak v tlaku a tahu, tak i ve smyku. Schéma šíření zvukové vlny znázorňuje Obr. 8. [7]



Obr. 8 - Šíření zvukové vlny [7]

1.4.4 Akustická intenzita

Je to vektor, který je charakterizovaný měřítkem akustické energie procházející jednotkou plochy. Akustická intenzita má vlnový charakter a je dána vzorcem: [22]

$$I = p \cdot u \text{ [W.m}^{-2}\text{]}$$

p = tlak [Pa]

u = rychlost [m.s⁻¹]

1.4.5 Akustický výkon

Akustický výkon P je definován v ustáleném stavu takto: je to práce, která je vykonána za jednotku času. Práci lze charakterizovat jako součin dráhy a síly. Tam kde jsou časové úseky malé, se okamžitý výkon počítá jako součin rychlosti v [m.s⁻¹] a působící síly. Díky tomu, že definice akustického tlaku je dána jako síla působící na sledovanou plochu. Je vzorec pro výpočet následující: [7]

$$P = I \cdot S \text{ [W]}$$

I = akustická intenzita [W.m²]

S = sledovaná plocha [m²]

1.4.6 Kmitočet

Kmitočet je periodický počet změn akustického tlaku za vteřinu. Subjektivně ho vnímáme jako výšku tónu. Zvuk tónu má pouze jeden kmitočet, při kterém je v čase průběh hodnot akustického tlaku harmonický. Jeho tvar odpovídá funkcím sinus či kosinus. Při harmonickém průběhu se nejvyšší dosažená hodnota akustického tlaku nazývá amplituda A [Pa]. [25]

$$f = \frac{1}{T} \text{ [Hz]}$$

T = doba kmitu

Hz = hertz

1.4.7 Vlnová délka

Je to dráha, kterou vlna urazí během jednoho svého kmitu za čas T . Lze jí charakterizovat, i jako nejbližší vzdálenost dvou míst v prostoru, u kterých je v daném akustický tlak stejný. Vlnová délka má jednotku λ [m]. [26]

λ = lambda

m = metr

1.5 Nejvyšší přípustné hladiny hluku v ČR

Zákon č.272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, určuje hygienické limity hluku a vibrací a tím má za cíl chránit zdraví všech obyvatel České republiky před účinky, které by způsobilo překročení těchto limitů. Nejvyšší přípustná ekvivalentní hladina akustického tlaku A je pro den 50 dB a pro noc 40 dB ve venkovním prostředí.

1.5.1 Nejvyšší hodnoty hluku v chráněném venkovním prostoru

Tyto hodnoty se vyjadřují tzv. ekvivalentní hladinou akustického tlaku $L_{Aeq,T}$. Ve dne se stanovují pro 8 souvislých nejhlučnějších hodin. V noci pouze pro hodinu, která je nejhlučnější. Pro hluk vyprodukovaný dopravou na silničních komunikacích s výjimkou účelových komunikací a železničních dráhách a dále pro hluk vyprodukovaný leteckým provozem se stanoví ekvivalentní hladina akustického tlaku pro celých 24 hod. Pro denní dobu 16 hod a pro noční 8 hod. [18]

Hygienický limit ekvivalentní hladiny akustického tlaku, s výjimkou hluku z leteckého provozu a vysokoenergetického impulsního hluku, se stanoví součtem základní hladiny akustického tlaku $L_{Aeq,T}$, který je roven 50 dB a korekcí přihlížejících ke druhu chráněného prostoru a denní a noční době podle tabulky 1. Pro vysoce impulsní hluk se přičte další korekce -12 dB. V případě hluku s tónovými složkami, s výjimkou hluku z dopravy na pozemních komunikacích a dráhách, a hluku s výrazně informačním charakterem se přičte další korekce -5 dB.[18]

Ekvivalentní hladina akustického tlaku se vypočítá jako ustálená hladina akustického tlaku se stejným účinkem na člověka ve sledovaném období jako hladina proměnlivá za stejný čas. Je vztažena vždy k určitému časovému intervalu T. [18]

$$L_{Aeq} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{T} \cdot \sum_{i=1}^n \left(t_i \cdot 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \right]$$

L_{Aeq} = ekvivalentní hladina akustického tlaku [dB]

T = doba měření

L_i = hladina zvuku i-tého vzorku měření

t_i = doba měření i-té hodnoty

n = počet naměřených údajů během intervalu T

Druh 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 ostatní venkovní prostor	0	5	10	20

Tabulka 1 - Korekce pro stanovení hygienických limitů hluku v chráněných venkovních prostorech staveb a v chráněném venkovním prostoru [18]

V noční době je pro chráněný venkovní prostor staveb přičtena korekce -10 dB, u železniční dopravy se používá korekce -5 dB.

Pravidla pro použití korekce:

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. [18]

2) Použije se pro hluk z dopravy na silnicích III. třídy a místních komunikacích III. třídy a dráhách. [18]

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. [18]

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 objízdové trasy. [18]

1.6 Hluk produkovaný silničními dopravními prostředky

Společným pojmem pro auta, vlaky a letadla je dopravní hluk. Z nichž pro nás je nejdůležitější ten automobilový. Lze jej dále rozdělit na hluk vnitřní a vnější. Vnitřní hluk obtěžuje obsluhu vozidla a cestující, vyskytuje se uvnitř vozu a bývá nejčastěji vyvolán jízdou auta po vozovce nebo hnacím ústrojím vozidla. Vnitřní hluk je jedním z ukazatelů komfortu vozidla a měl by splňovat požadavky na dobré a nerušené dorozumívání. Oproti tomu vnější hluk znepříjemňuje život lidem bydlících podél pozemních komunikací. Mohou to být sídliště v příměstských oblastech měst, domy v městské zástavbě atd. Tento hluk podléhá hygienickým předpisům a normám, které stanovují maximálně přípustné hladiny vnějšího hluku různých dopravních prostředků, nebo hluk přípustný vně budov. [19]

Zdrojem automobilového hluku jsou primárně pneumatiky, hnací jednotka automobilu, brzdy, obtékání vzduchu kolem vozidla a také samotná karoserie. Automobilky dosáhly při několikaletém vývoji a analyzování velkých úspěchů při snižování hladiny hluku hnací jednotky a také celé karoserie. Poslední dobou se však středem zájmu staly pneumatiky. Hodně výrobců často uvádí pojem tzv. nízkohlučné pneumatiky, přičemž hluk nejvíce ovlivňuje speciální uspořádání drážek dezénu, které má za následek snížení valivého odporu při jízdě a s tím se snoubí také i snížení hladiny vnějšího hluku. [19]

Ovšem pneumatika jako taková není přímým zdrojem hluku, je zapotřebí jejího kontaktu s povrchem vozovky, který tento hluk přímo ovlivňuje, stejně jako rychlost jízdy. Během vyšších rychlostí začíná převládat hluk z valení neboli hluk na styku pneumatiky a vozovkou. [19]

1.6.1 Vnitřní hluk

Vnitřní hluk automobilu je tvořen menším či větším množstvím nejrůznějších zdrojů. Počínaje motorem a konče příslušenstvím, které slouží ke zlepšení pohodlí posádky nebo funkce vozu. Zdroje hluku, související s pohybem vozidla, většinou bývají navzájem provázány. Dalšími zdroji hluku u vozidel, jsou např. házivost kol, části podvozku, nerovnoměrně tuhé pneumatiky (letní a zimní dezén), rázy způsobené přejezdem po nerovnosti na vozovce. Nemalý hluk mohou vydávat i přepravovaná břemena v ložném prostoru (kontejnery, korby). [4]

1.6.2 Vnější hluk

Vnější hluk ze silniční dopravy je ovlivněn různými okolnostmi. Na hustotě dopravy, na vzdálenosti od vozovky a na druhu vozovky.

Jedním z důležitých parametrů hluku v dopravě je její složení. Při zvyšujícím se počtu těžkých vozidel, roste i hladina hluku. V místech, kde se nachází stoupání, popřípadě zastávky, se výrazně hladina hluku mění.

V automobilech se nachází mnoho různých zdrojů hluku. Jsou to například tlumiče, ventilátor chlazení, převodovka, aerodynamický hluk, který je způsoben šířícím se větrem z povrchu vozidla.

Hladina hluku i její charakteristika jsou ovlivňovány blízkostí křižovatek. Na přechodech pro chodce, stejně jako na křižovatkách se hladina hluku mění rychleji podle toho, jak vozidla přijíždějí, brzdí, zpomalují, zastavují a znovu se rozjíždějí. Díky tomu dochází ke kolísání hladiny hluku. U městských komunikací, zejména tam, kde se nacházejí úzké uličky a vysoké budovy po obou stranách, je možné pozorovat tzv. kaňonový efekt. Tento efekt nastává, když se zvuk odráží od budov. Kvůli tomuto efektu bude v těchto místech hladina hluku vyšší, než na otevřených a širokých komunikacích. [4]

Na silniční dopravu a budování nových silničních tras je pohlíženo z více úhlů pohledu:

- 1) Snaha o co nejplynulejší dopravu – budování dálnic a komunikací podobného typu, které umožňují průjezd většího množství vozidel.
- 2) Díky průjezdu většího množství vozidel, dochází například k permanentnímu znečištění ovzduší, či hluku.

1.6.3 Hluk od příslušenství vozidla a motoru

Je jedním z nejvýznamnějších zdrojů hluku. Hluk vznikající v oblasti motoru je způsoben, jak už samotným chodem motoru a celého ústrojí, tak i jeho managementem. Do managementu motoru patří např. ventilátor chlazení, rezonance sacího a výfukového potrubí a turbodmychadlo. Z prvků bezpečnosti a komfortu jízdy lze jmenovat obvod klimatizace s kompresorem, ventilátor topení či posilovač řízení. Dalšími prvky vozidla, které způsobují hluk, mohou být hřídele a převodové ústrojí. Snížení hluku, který se dostává do okolí lze dosáhnout použitím tlumících materiálů.

Nedílnou součástí moderní doby je větší výroba a používání elektromobilů. U těchto vozidel je hluk z elektromotoru v porovnání s běžným spalovacím motorem podstatně nižší. V poslední době, se jedná o tom, zda by neměly být elektromobily z bezpečnostního hlediska doplněny umělými zvuky, aby byly pro chodce lépe slyšitelné. [6]

1.6.4 Valivý hluk

Vyvolává ho styk pneumatiky s vozovkou. V místě, kde k tomuto kontaktu dochází, vzniká tření a vibrace, které jsou přenášeny do vozovky, ve formě hluku a jsou šířeny do okolí.

Nerovnosti vozovky, především v intervalu vlnových délek 30 – 100 mm, vyvolávají u pneumatiky radiální kmitání. Intenzita hluku, který při tom vzniká, je tím větší, čím drsnější je povrch vozovky. Tato složka hluku dosahuje největší amplitudy při nejnižších frekvencích a spektrální skladba je funkcí rychlosti. Valivý hluk je dominantní složkou pro osobní automobily od 40 km/h a u nákladních od 60 km/h. Do těchto rychlostí převládá hluk produkovaný motorem. [20] [37]

V kontaktní zóně jsou drážky mezi dezénovými bloky postupně stlačovány a deformovány. Z těchto drážek je postupným otáčením pneumatiky a následným zvyšováním tlaku na sousedící dezénové bloky vytlačován vzduch. Při dalším pootočení pneumatiky dochází k uvolnění napětí a do drážky je na zadní straně kontaktní zóny opět nasáván vzduch. Po opuštění kontaktní zóny se prvky běhounu prudce vrátí do původní velikosti. Rychlý pohyb bloků běhounu způsobuje dále radiální a tangenciální vibrace pneumatiky. Stlačováním vzduchu a jeho následným nasáváním je vyzařována energie. Podobný jev lze pozorovat při tleskání rukou.

Hluk související se vzorkem pneumatik je vyzařovaný v rozsahu vysokých frekvencí 1 000 až 2 000 Hz. Pro redukci tohoto hluku lze možné použít kryt s otevřenou strukturou. [5]

Valivý hluk ovlivňuje řada faktorů:

- Kvalita, tlak a dezén pneumatiky (letní, zimní)
- Zda je vozovka mokrá či suchá
- Rychlost vozidla
- Textura povrchu vozovky
- Mezery v obrusné vrstvě
- Velikost zrn ve směsi, vlastní návrh této směsi

1.6.5 Hluk způsobený rychlostí vozidla

Dříve, nebyl vliv rychlosti na hluk jedním z hlavních parametrů. Mnohem důležitější byl běh motoru, sání a aerodynamické tvarování karosérie.

Jak doba postupovala, docházelo ke konstrukčním úpravám těchto prvků a tím i ke snižování hluku jimi vydávaným. Hlavním prvkem stále zůstává hluk od motoru hlavně při rozjíždění, zrychlování a pomalé jízdě. Při jízdě střední rychlostí se nejvíce projevuje hluk aerodynamický nebo valivý. [6]

1.6.6 Aerodynamický hluk

Vzniká důsledkem proudění vzduchu a turbulencí vzduchu, které nastávají okolo karosérie a podvozků vozidel. Tento hluk se zvyšuje s rostoucí rychlostí, větší plochou vozidla, úpravou karosérie a uložením přepravovaného nákladu i jeho charakteru. [6]

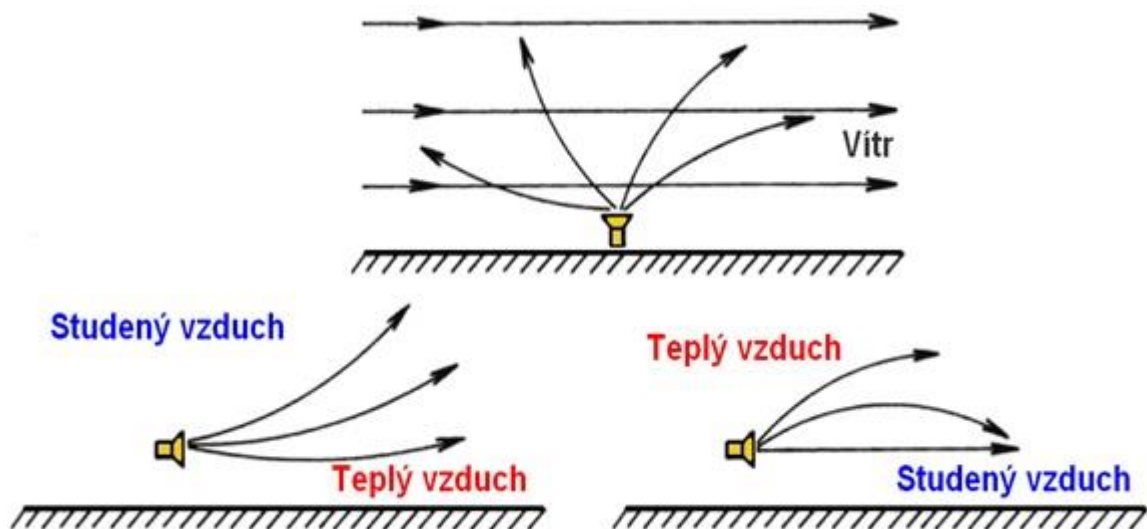
1.7 Hluk ovlivněný prostředím

1.7.1 Vliv terénu okolí

Vliv okolního terénu a jeho vlastnosti mají velký vliv na šíření hluku do okolí. Je zde zastoupeno pohlcování zvukových vln terénem nebo okolní zástavbou, případně i odrazy zvukových vln od překážek nebo od okolní zástavby. Umělé překážky, zástavba a typ terénu mají velký vliv na výslednou hladinu hluku. Dá se říci, že největší vliv budou mít překážky, které se nacházejí v blízkosti silnic. [21]

1.7.2 Klimatické podmínky a jejich vliv

Klimatické podmínky a jejich vliv na úroveň hluku, se projevují významněji až od vzdálenosti 100 m od zdroje hluku. Jedná se například o útlum hustou mlhou (útlum až 30 dB/km) či sněhovou pokrývkou, která snižuje účinnost zvukových vln odražených od zasněžených ploch, které měly původně nižší pohltivost zvuku. Dalším jevem, který ovlivňuje šíření zvukových vln, je lom zvukového paprsku. Tento jev nastává z teplejších vrstev vzduchu směrem k chladnějším. Můžeme ho pozorovat jak v uzavřených objektech, tak i v otevřených prostorech. Kvůli působení pohybu prostředí, které je způsobeno větrem, může v otevřených prostorech docházet k unášení částic a tím dojde ke změně směru zvukové vlny, viz Obr. 9.



Obr. 9 - Šíření hluku vlivem rozložení teplotních vrstev a působením větru [8]

1.8 Prostředky ke snižování hlukové zátěže

Prostředky, které slouží, jako protihluková ochrana před zátěží z dopravy se nechají rozdělit na dvě základní skupiny. Aktivní a pasivní.

- a) Aktivní opatření – opatření na zdroji hluku. Například protihluková úprava obrusných vrstev.
- b) Pasivní opatření – opatření v dráze šíření hluku. Například protihlukové stěny a valy.

1.8.1 Protihluková úprava obrusných vrstev vozovky

Aktuálně existuje hned několik technologií konstrukčních vrstev vozovky, které se dají označit jako nízkohlučné. V praxi lze aplikovat v zásadě všechny rozvíjené nízkohlučné úpravy obrusných vrstev vozovky, od drenážních koberců, přes uzavřené obrusné vrstvy s malou mezerovitostí až po tenkovrstvé úpravy makrotextury. Nyní jsou ve stádiu vývoje v Evropě poroelastické povrchové úpravy s pryží, které dokáží snížit hladinu hluku až o 10 dB, při rychlosti 50 km/h. [27] U velkého horizontálním namáhání povrchu vozovky, jako je třeba ostrá změna směru jízdy, brzdění, akcelerace vozidel, je vhodné použít obrusné vrstvy s upravenou texturou, které jsou méně náchylné na působení mechanických účinků. Doporučuje se využít upravené asfaltové koberce mastixové či některou z tenkovrstvých úprav. Další možností na snížení emisí dopravního okolí a dopravního hluku je úprava

technologie konstrukce vozovek, která využívá již řadu let předností některých specifických směsí a technologických postupů pro obrusné vrstvy asfaltových vozovek nebo úprav betonových vozovek. Standardně používané konstrukční vrstvy, jako jsou litý asfalt nebo vymývaný beton, mohou snížit hladinu hluku v průměru do 3 dB. Na západě Evropy existují bohaté zkušenosti s využitím otevřených a drenážních asfaltových koberců (Porous Asphalt, Flüsterasphalt), které byly v souvislosti s problematikou hluku aplikovány jako forma tzv. akustických obrusných vrstev. Dělí se navíc na jednovrstvé a dvouvrstvé. V případě drenážních koberců dnes můžeme hovořit již o třetí generaci těchto úprav. [27]

1.8.1.1 Vymývaný beton

Betonové kryty představují obecně fungující systém uzavřené obrusné vrstvy bez výrazné makrotextury. Tento technologický krok přispívá ke snížení hluku na počátku, ale v důsledku omezené odolnosti proti ohlazení se tento efekt po relativně krátké době vytrácí. Z tohoto důvodu byla vyvinuta technologie vymývaného betonu, který snižuje vlivy oscilace pneumatiky. [27]

1.8.1.2 Nízkohlučné asfaltové koberce mastixové

Speciálním typem asfaltových koberců jsou asfaltové koberce mastixové, které mají sníženou hlučnost. Aplikují se jako možná varianta protihlukové technologie drenážních koberců (LSMA). Použití této směsi je vhodné zejména na vysoce zatížených vozovkách. Stavební technickou charakteristikou textury minimálních podélných nerovností je možné dosáhnout snížení hlukových emisí až cca 4 dB. V této souvislosti se dosud uplatňovaly směsi typu LSMA 0/8 nebo LSMA 0/5 a to v Rakousku a Německu. Směsi LSMA 0/8 nebo LSMA 0/5 je možné využít v porovnání např. s drenážními koberci, jako protihlukové opatření pro všechny dopravní rychlosti. Další výhodou je možnost použití těchto směsí pro všechny třídy dopravního zatížení. Podrobnější vysvětlení v [9].

U směsi s menší zrnitostí (0/5) je snížena únosnost a trvanlivost vrstvy při velkém dopravním zatížení a proto je obzvláště vhodná pro snížení hluku pneumatik osobních vozidel. Tento typ směsi je dle dosavadních zkušeností aplikovatelný na pozemní komunikace se středním dopravním zatížením. U těchto směsí lze docílit v porovnání s SMA 0/8 snížení hlukové zátěže o 2,0 - 2,5 dB. Samostatnou skupinou asfaltových koberců mastixových je v Německu vyvinutá směs LOA 5D, která je označovaná též jako „düsseldorfská asfaltová směs“. Tato

směs je v porovnání s nízkohlučnými SMA podobná svou mezerovitostí běžným asfaltovým kobercům mastixovým (5-7% obj.) Dle provedených hlukových měření bylo zjištěno snížení hluku až o 5 dB při rychlosti 50 km/hod. Ztráta schopnosti snižovat hluk nebyla při opakovaných měřeních zjištěna ani po dvou letech. Podrobnější vysvětlení v [9].

1.8.1.3 Nátěrové technologie

Nátěrové technologie jsou typické pro betonové vozovky a původně byly vyvinuty pro použití na vzletových a přistávacích drahách letišť za úplně jiným účelem. Ovšem tato technologie postupně našla uplatnění též v oblasti betonových dálnic. Z akustického hlediska vede použití kameniva úzké frakce ke snížení air-pumping efektu a k dílčímu omezení vlivu oscilace pneumatik. [27]

1.8.1.4 Protihlukové tenké asfaltové koberce

Technologie a pracovní postup tenkých asfaltových koberců s konstrukční tloušťkou do 25 mm jsou prováděny za tepla, přičemž pokládka je prováděna klasickými finišery. Použitím této technologie bylo v prvopočátku docíleno zlepšení protismykových vlastností a uzavření rozrušeného povrchu vozovky. Asfaltové koberce s použitím kameniva 0/4 nebo 0/8 a s mezerovitostí do 15% objemu, jsou z hlediska čáry zrnitosti podobné drenážnímu koberci, ale účelem není zlepšení drenážní schopnosti, primárním účelem je snížení air-pumping efektu. Problémem jsou malé a rychle se zanášející mezery, díky kterým nelze očekávat dlouhodobě vyšší absorpční schopnost. V současné době je možné do této skupiny zařadit dnešní mikrokoberce. Skupina těchto koberců vykazuje snížení hladiny hluku na úrovni 3 dB. Dalším zástupcem tenkovrstvých úprav (do tloušťky 25mm) může být asfaltový koberec s označením Rugosoft, který byl patentován francouzskou společností COLAS. Díky tomuto typu povrchové úpravy je možné dosáhnout snížení hluku až o 7 dB. Aplikace je prováděna v tloušťce 2-3 cm a tento typ koberce je možné použít jak v obci, tak mimo ni. Do této skupiny technologie lze dále zařadit směs Viaphone. [27]

1.8.1.5 Asfaltové koberce drenážní (PA)

Tento asfaltový koberec se výhradně vyznačuje použitím zrn největší frakce. Dokonce je doporučováno, aby bylo aplikováno více jak 90% - hmotnost drceného kameniva dané frakce, k dosažení co největší mezerovitosti. Jsou kladeny vyšší kvalitativní nároky na použité kamenivo i pojivo. Použití vysoce kvalitního kameniva a vysoce modifikovaných viskózních asfaltových pojiv, která musí mít vynikající lepivost a značnou odolnost proti stárnutí, se projevuje na výsledné ceně. Hlavním rozdílem drenážního koberce a směsi typu SMA je minimální podíl asfaltové malty. Aby se zamezilo stékání pojiva, přidávají se do směsi vhodná vlákna, tzv. nosič pojiva., což opět zvyšuje cenu. Mezi nejvíce uplatňované směsi asfaltových drenážních koberců patří PA8, PA11, PA16, ze kterých se za nejlepší kompromis považuje směs PA11. I přes výše uvedená opatření jsou PA v porovnání s jinými typy použitých směsí náchylné na vylamování zrn kameniva, hlavně při vyšších smykových silách, jako je prudké brzdění, náhlá změna směru jízdy atd. Díky PA technologii lze dosáhnout nejvýraznějšího snížení hluku i přesto, že dochází k postupnému snižování efektu snižování hluku v čase, vlivem nedostatečné údržby a nadměrného znečištění. PA jsou vhodné převážně pro použití na rychlostních komunikacích a dálnicích, procházejících v blízkosti zastavěného území, protože nejvyššího snížení hluku lze docílit při vyšších rychlostech. Novinkou v souvislosti s výše uvedeným jsou dvouvrstvé drenážní asfaltové koberce. Tato technologická úprava představuje dnes z hlediska trvalého efektu snížení hlučnosti inovativní a velmi zajímavou možnost. Jemnozrnější horní vrstva s uzavřenější strukturou (PA8) zajišťuje určitou ochranu před znečištěním, zatímco spodní vrstva (PA16) vytváří rezonanční prostor pro zachycení hluku. Pokládka s využitím konvenční stavební techniky při současném zajištění požadované kvality však dosud byla velmi těžko dosažitelná. V roce 2000 byl při pokládce dvouvrstvého otevřeného asfaltového koberce v Rotterdamu poprvé použit upravený finišer pro pokládku tzv. Kompaktasphalt (souběžná pokládka dvou vrstev metodou „horké do horkého“). Souvrství konstrukce vozovky v tomto případě tvořila vrstva otevřeného asfaltového koberce zrnitosti 11/16 (spodní vrstva) konstrukční tloušťky 5 cm a otevřený asfaltový koberec zrnitosti 0/2 konstrukční tloušťky 2 cm jako horní ochranná vrstva. Mezerovitost spodní hotové vrstvy se pohybovala v rozmezí 24,8 - 26,8 % objemu a mezerovitost horní hotové vrstvy činila 22,0 - 22,8% objemu. Z řady dosud provedených měření hladiny hluku vyplývá snížení hluku o 6 - 8 dB, přičemž další výsledky ukazují, že pravděpodobně dojde též k prodloužení životnosti a akustické účinnosti po delší období, jak

10 let. Tento typ úpravy je nicméně vhodný pro pozemní komunikace s rychlostmi vyššími než 50 km/hod. [27]

1.8.2 Protihlukové valy

Protihlukové valy jsou budovány ze zemin ve formě násypu podél železnic či dopravních tras automobilových prostředků. Na jeho povrch se zřizuje často vegetační ochrana například stromy, keře nebo travní porost. Ke zřizování valů se užívá také zemina vyztužená geosyntetickými materiály, které umožňují zřizovat val se strmými sklony svahů. Díky tomu dochází ke snížení zábor pozemků nutných ke zřízení protihlukových valů. Dalším typem je zřízení valu se strmým sklonem systémem Tensartech GreenSlope. Jedná se o konstrukci z vyztužené zeminy se zeleným lícem. Primární využití nachází u strmých svahů, které mají sklon líce do 70°. Tento systém nalezne uplatnění jak u malých strmých svahů a rodinných domků, tak u velkých staveb v dopravním stavitelství. Zemina na čele drží pomocí trvanlivých ocelových sítí s protikorozivní ochranou, které jsou s vyztuženým blokem (geomříží Tensar) spojeny pomocí účinných spojovacích prvků. Při instalaci jsou pohledové prvky pokryty protierozní georochozí nebo geotextilií, jejíž typ závisí na druhu budoucí vegetace.

Výstavba strmého svahu ze systému Tensartech GreenSlope je velmi jednoduchá. Pohledové prvky jsou doručeny na staveniště, vyskládány a připraveny pro umístění do finální pozice. Během instalace jsou geomříže spojeny s pohledovými prvky pomocí spojovací tyče. Poté jsou do čela umístěny vzpěry, aby byl vytvořen konstantní sklon líce, který umožňuje zhotoviteli snadné umístění zásypového materiálu za líc svahu.

Finální umístění jednotlivých prvků je velmi snadné, s minimálními finančními a časovými náklady na vytváření tvaru čela. [28] [29]

1.8.3 Protihlukové stěny

Tyto stěny zajišťují pohlcení zvuku. Jsou často využívány k ochraně životního prostředí proti nadměrnému hluku. Musí splňovat požadavky na pevnost, stabilitu a trvanlivost. Neméně důležitým parametrem je i estetické začlenění do okolí a dopravní bezpečnost. [30]

Protihlukové stěny lze rozdělit do několika podskupin:

- a) Odrazivá protihluková stěna
 - Snižuje hladinu hluku o maximálně 4 dB
- b) Absorbční protihluková stěna
 - Snižuje hladinu hluku o 4 – 8 dB
- c) Vysoce absorbční protihluková stěna
 - Snižuje hladinu hluku o minimálně 8 dB

Zvuková pohltivost těchto stěn je stanovena dle ČSN EN 1793-1:1997. K zhodnocení pohltivosti, kterou má daná protihluková stěna se používá hodnota DL_{α} [dB], díky této hodnotě se protihlukové stěny rozdělují do pěti kategorií. [30] Další důležitý parametr protihlukových stěn je vzduchová neprůzvučnost, která zabraňuje nebo omezuje šíření zvuku.

Kategorie	DL_{α}
A0	Neurčeno
A1	<4
A2	4-7
A3	8-11
A4	>11

Tabulka 2 - Kategorie zvukové pohltivosti protihlukových stěn [30]

1.8.3.1 Používané materiály protihlukových stěn

S ohledem na vhodná opatření pro Českou republiku v současnosti protihlukové stěny představují zřejmě nejčastější řešení při snižování hluku z dopravy. Dělí se hned dle několika způsobů. Z hlediska tvaru bývá upřednostňován svislý tvar z betonových dílců, dále nachází uplatnění též dřevo nebo plast. V poslední době také v malé míře nalézá své uplatnění vedle

speciálních polymerů například i odpadní pryž, sklo, lehké kovy nebo kombinace více materiálů nebo kompozitů. Nejčastěji používaným systémem je systém betonových protihlukových stěn. Stěna se v těchto případech dělí na pohltivou a nosnou část. Nosná část je vyrobená z železobetonu, která při dodržení předepsaného způsobu vyztužení vyhovuje pro stanovené zatížení požadavkům na únosnost a mezní deformaci podle ČSN EN 1794-1:1997 pro instalaci ve svislé poloze. Stejně tak i soklové panely, které jsou příslušenstvím systému, kam lze zařadit také železobetonový sloupek protihlukových stěn, který je určen pro jejich osazení a soklových panelů. Železobetonový sloupek protihlukových stěn se vyznačuje průřezem ve tvaru písmene H. Sloupky jsou konstruovány pro osazení výhradně ve svislé poloze. Určuje se osová vzdálenost podle výšky protihlukové stěny. Soklové panely a sloupky jsou součástí jednotlivých systémů. Akustické vlastnosti protihlukové stěny jsou stanovovány současně s příslušným sloupkem. Povrch tzv. „pohltivé“ vrstvy na straně vozovky bývá vybaven vlnovou strukturou, která zajišťuje vysoký absorpční účinek. Odvrácená strana může být hladká, nebo může mít hladkou, případně lamelovou strukturu, či jinou povrchovou úpravou. Nejčastěji používaným materiálem pro tuto vrstvu betonových protihlukových stěn je lehké keramické kamenivo, dřevocement a drobnozrný mezerovitý beton z přírodního kameniva, např. z křemičitých písků. Dalšími možnými použitými materiály na protihlukové stěny, jsou protihlukové panely z hliníkového nebo pozinkovaného plechu, ze dřeva a z recyklovaného plastu. Plast se ovšem používá jen minimálně, pokud nemá ochranu proti UV záření, bez této ochrany nastává velká degradace a uvolňování nebezpečných látek do životního prostředí. U některých z těchto systémů se používají nosné sloupky z oceli nebo z betonu. [30]

Stěny je možné dělit podle druhů materiálů, ze kterých jsou vyrobeny na:

- a) Protihluková stěna z dřevocementových tvarovek. Viz Obr. 10.
- b) Protihluková stěna z panelů ze sklovláknového betonu. Viz Obr. 11.
- c) Protihluková stěna z panelů z recyklovaných plastů. Viz Obr. 12.
- d) Protihluková stěna z hliníkových panelů. Viz Obr. 13.



Obr. 10 - Protihluková stěna z dřevocementových tvarovek [30]



Obr. 11 - Protihluková stěna z panelů ze sklovláknového betonu [30]



Obr. 12 - Protihluková stěna z panelů z recyklovaných plastů [30]



Obr. 13 - Protihluková stěna z hliníkových panelů [31]

1.9 Metody měření hluku

Žádná z metod, které se používají pro měření hluku, není vhodná pro každý typ vozovky. Proto je vhodné nejprve stanovení cíle měření a k tomuto měření vybrat nejvhodnější metodu, aby bylo docíleno korektního vyhodnocení. [10]

Měření hluku lze rozdělit na dvě základní skupiny. První skupinou jsou speciální měření na uzavřených zkušebních okruzích a laboratorní měření. Tato měření se prakticky nedají, nebo jen velmi obtížně aplikovat na posuzování a měření reálných komunikací. [10]

Druhou skupinou, jsou metody, které jsou naopak určeny právě pro měření v terénu. Dále se dělí na statické (bodové) a dynamické (úsekové). Do statických metod patří měření hlučnosti v mimopracovním prostředí dle ISO 1996-1, ISO 1996-2. Výsledky, které tímto měřením vzniknou, můžeme použít k hygienickým účelům, ovšem pro zjišťování hlučnosti komunikací tato metoda není vhodná. Vhodnější je použití metody SPB. Důležitým faktorem u všech těchto měření, je správně umístění mikrofonu ve specifikovaných vzdálenostech u krajů komunikací. Do dynamických měření patří metoda CPX. U této metody jsou mikrofony umístěny v blízkosti pneumatiky => u zdroje hluku. (Podrobnější popis metod měření viz 1.9.1, 1.9.2.) [10]

Poslední dvě zmíněné metody jsou nejvhodnější pro posuzování zdrojů hluku v terénu, při styku pneumatika/vozovka. Výsledkem je objektivní obraz o hlukové zátěži silniční dopravy a možnosti ochrany životního prostředí. Většina Evropských států dnes využívá metodu CPX, díky mobilitě měření oproti metodě SPB, kde je kladen velký důraz na místo měření. Dále z toho důvodu, že u metody CPX probíhá měření přímo v místě hluku a tudíž se nemusí brát v úvahu okolní rušivé vlivy. V neposlední řadě, je výhodou to, že měření lze provádět i v městské zástavbě, kde je metoda SPB prakticky nepoužitelná => skoro nemožné dodržení volného akustického pole. [10]

1.9.1 Metoda CPX

Oproti metodě SPB (statická metoda při průjezdu) se jedná o častěji používanou metodu. Měření touto metodou se provádí na základě návrhu norem ISO/DIS 11819-2 Acoustics – measurement of the influence of road surfaces on traffic noise. Part 2 a ISO/TS 11819-3 Acoustics – metod for measuring the influence of road surfaces on traffic noise. Part 3 pro rychlosti od cca 40 km/h není tato metoda závislá na hustotě okolního dopravního proudu. Lze ho provádět kdykoliv, pokud jsou splněny meteorologické podmínky. Touto metodou je možné vyhodnocovat krátké i dlouhé úseky. Využití této metody je situováno do porovnání hlučnosti různých typů povrchů vozovky, k vyhodnocení účinnosti nízkohlučných povrchů, či k porovnání chování povrchu vozovky v řádu několika let. [11]

Postup měření, který je dle norem ISO/DIS 11819-2 a ISO/TS 11819-3 je doporučené dodržovat, aby bylo možné porovnávat naměřené výsledky s výsledky z jiných měření a zemí. K minimalizaci nepřesnosti při měření, je doporučeno dodržování podmínek, jako jsou použití stejného typu automobilu, stejných pneumatik, se známou rychlostí měření a teploty povrchu. Jelikož tato metoda slouží k zjištění hluku ve styku pneumatika/vozovka, tak je nejdůležitější použití stejné pneumatiky. Normou doporučená pneumatika je Tigerpaw Uniroyal 225/60 R16 SRTT, která se používá jako referenční pneumatika v automobilovém průmyslu pro testování podle ASTM F2493-08. Doporučená je z toho důvodu, že se vyrábí pouze jediným výrobcem a stejným postupem. Pro správné porovnání, by pneumatika měla být vždy v přibližně stejném stavu opotřebení, proto je nutná její občasná výměna za novou. Dalším bodem, který je nutné dodržovat při měření, aby byly výsledky co nejpřesnější, je průběžné zjišťování meteorologických hodnot (teplota vozovky, okolí) a rychlosti. K tomuto účelu se využívá infračervený senzor a GPS modul. Dále norma upravuje rozmístění mikrofonů na přívěsu CPX, viz Obr. 14, který je zkonstruován pro měření touto metodou. Zkonstruován je z válcových profilů a bez ostrých hran, kvůli potlačení nežádoucích odrazů zvuků. Měření by mělo probíhat konstantní rychlostí, kdy nedochází ke kolísání hluku vlivem různé rychlosti. Rozmístění mikrofonů na přívěsu je znázorněno na Obr. 15. [11]

Meteorologické podmínky měření:

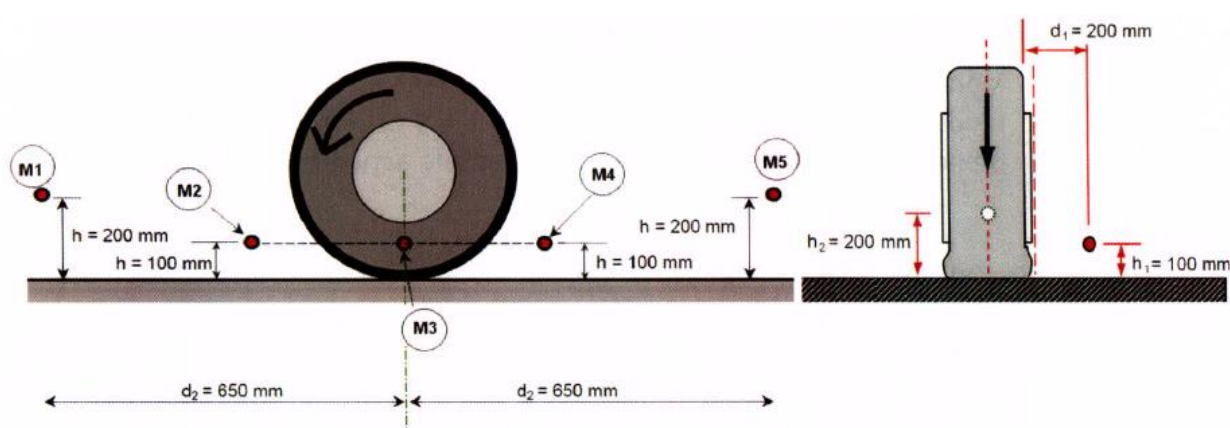
Při měření je nutné dodržet následující podmínky.

- Rychlost větru maximálně 5 m/s. [10]

- Teplota vzduchu v rozmezí 5 °C až 30 °C (Pokud měření není zaměřeno právě na vliv teploty). Vozovka musí být suchá. V dané lokalitě měření nesmí být dešťové srážky v období: Pro porézní povrchy (nad 6 % mezerovitosti) minimálně jeden den před měřením v období, kdy se dosahuje denních teplot více jak 20 °C, minimálně 2 dny před měřením v období, kdy denní teploty nedosahují 20 °C. Pro běžné povrchy postačuje poloviční časový interval. [10]
- Průběžné zaznamenávání teploty vzduchu a teploty povrchu měřené komunikace. Přesnost měření ± 1 °C. Snímač musí být umístěný 0,5 m – 1,5 m nad povrchem vozovky. Dále musí být chráněn před přímým slunečním zářením. [10]



Obr. 14 - Celkový pohled na měřicí přívěs CPX s tažným vozidlem [11]



Obr. 15 - Umístění jednotlivých měřících mikrofonů na přívěsu CPX dle normy ISO//DIS 11819-2 [10]

1.9.2 Metoda SPB

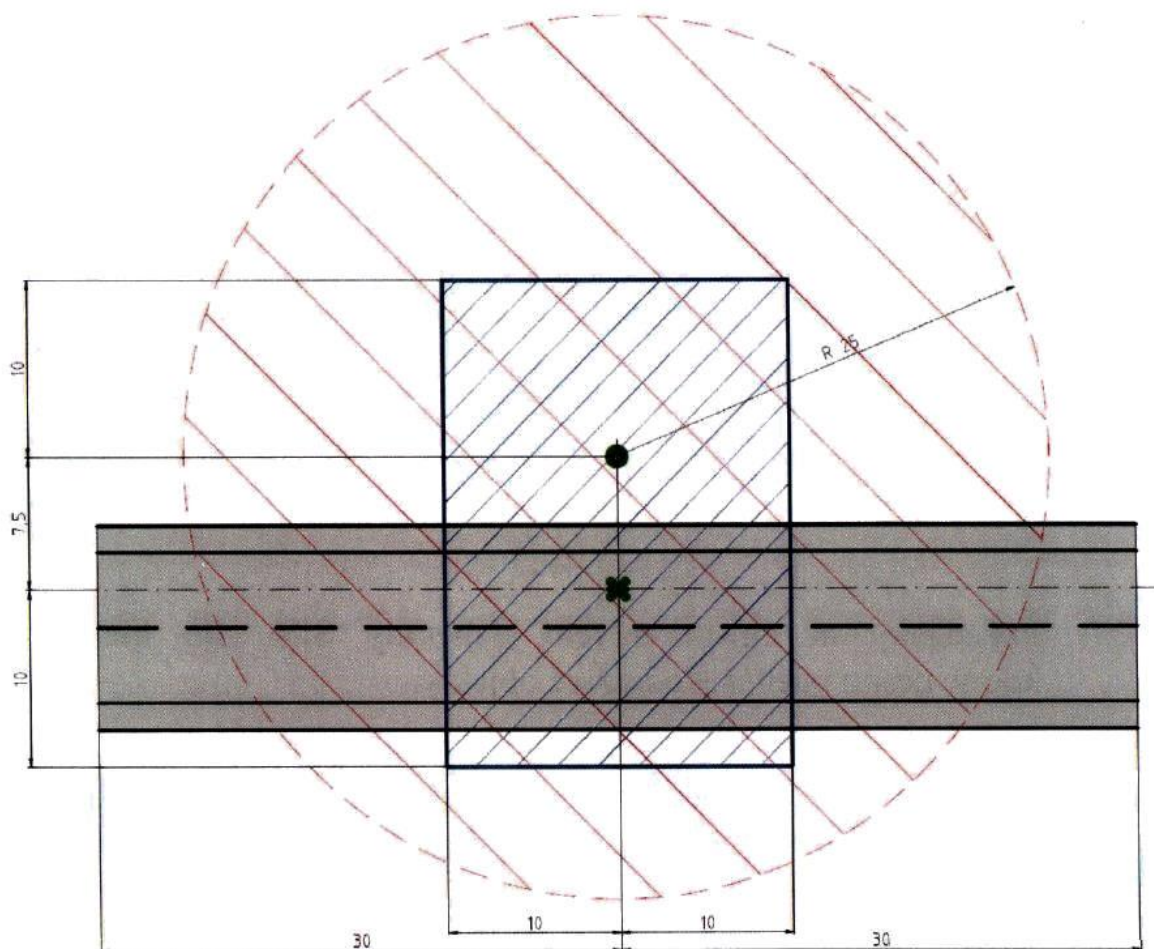
Měření touto metodou, se provádí na stacionárním pracovišti, kde rozmístění mikrofonů má přesně dané vzdálenosti – 7,5 m od osy vozovky a výška mikrofonu je ve výšce 1,2 m nad povrchem. Přesné umístění mikrofonu je znázorněno na Obr. 16. Při měření se zjišťuje průjezd referenčního vozidla, rozdělení projíždějících vozidel do kategorií (osobní, těžká dvounápravová a těžká vícenápravová vozidla). Měřena je maximální hladina akustického tlaku daného vozidla, ze kterých se pak pomocí statistické analýzy určí pro všechny měřená vozidla na základě příslušných referenčních rychlostí a rozložení vozidel výsledný celkový statistický index při průjezdu – SPBI. Výhodou této metody je eliminace proměnlivosti akustické emise různých druhů vozidel. Nevýhodou je ovlivnění výsledků okolním terénem. [12]

Požadavky na měření touto metodou jsou definovány v normě ISO 11819-1 – Acoustics – Method for measuring the influence of road surface on traffic noise – Part 1: The statistical pass-by method. Nejdůležitější požadavek je na měřící místo: [12]

- Zkoušená část povrchu vozovky musí být rozlehlá nejméně 30 m na obě strany od mikrofonu.
- Komunikace přímá a vodorovná
- Dobrý stav vozovky a musí být homogenní v celém úseku zkoušky, pokud nezjišťujeme vliv špatného stavu na hluk
- Suchý povrch
- Umístění mikrofonu ve volném akustickém poli (akustické odrazy musí být minimálně o 10 dB nižší než přímý zvuk)

Dále je nutné provést kalibraci zvukoměrné techniky před každým měřením akustickým kalibrátorem. Po skončení měření se zkontroluje stav přístrojů a jejich nastavení, které může být rozdílné o maximálně 0,5 dB od původně nastavených hodnot. Při měření se zaznamenávají data o rychlosti větru, teplotě vzduchu, relativní vlhkosti, barometrickém tlaku a počasí. [12]

Ve vzdálenosti 10 m od přímky vedené od měřícího mikrofonu přes vozovku kolmo ke směru jízdy nesmí být umístěny velké odrazivé plochy, například betonová svodidla. Pokud jsou umístěny, tak je nutné je pokrýt materiálem, který má silně zvuk pohlcující vlastnosti. Pokud je u místa měření prohlubeň popř. příkop, musí být umístěn nejméně 5 m od středu zkoušeného pruhu. [13]



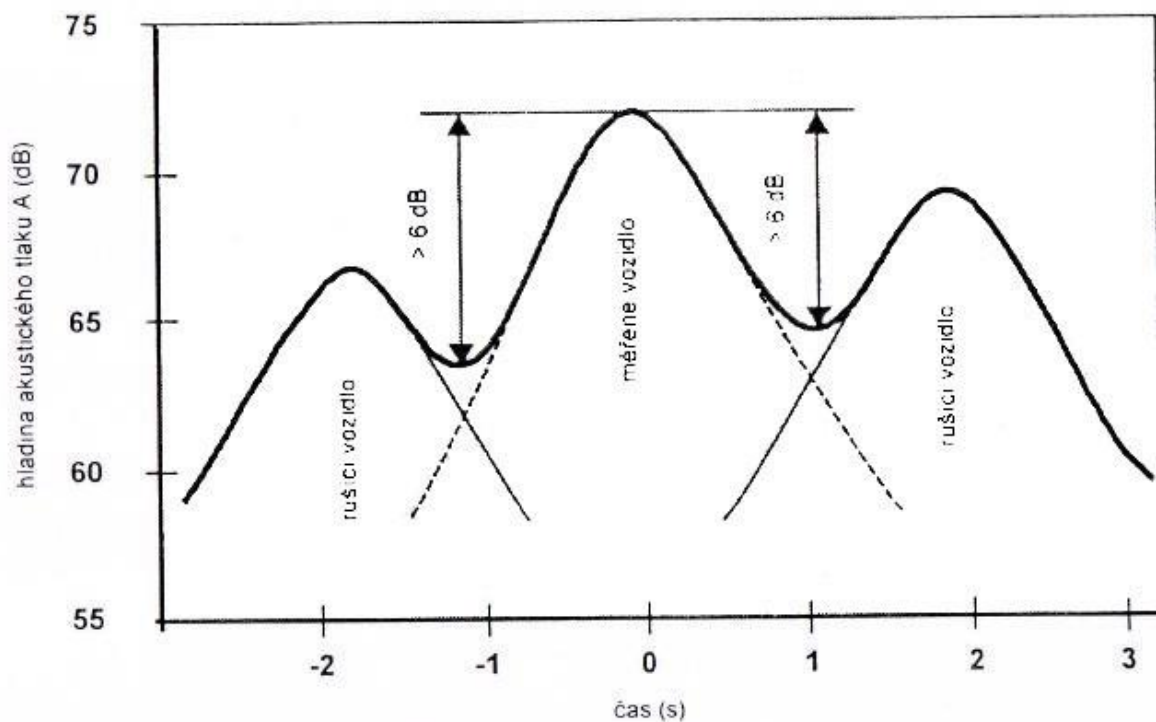
Obr. 16 - Požadavky na místo měření metodou SPB [10]

1.9.2.1 Podmínky silničního provozu

Vozidla, která lze zahrnout do měření musí být jasně akusticky odlišená od ostatních. Tzn. těsně před a těsně po průjezdu měřeného vozidla, musí být hladina akustického tlaku nejméně o 6 dB nižší, než maximální měřená hladina. Viz Obr. 17.

Měřená vozidla se rozdělují do několika kategorií: [13]

- Kategorie 1 (osobní vozidla) – minimální počet vozidel 100
- Kategorie 2a (dvounápravová těžká vozidla) – minimální počet vozidel 30
- Kategorie 2b (více nápravová těžká vozidla) – minimální počet vozidel 30
- Kategorie 2a a 2b společně (těžká vozidla) – minimální počet vozidel 80



Obr. 17 - Požadovaný poměr signálu k hluku pozadí pro jednotlivé vozidlo [13]

1.9.2.2 Kategorie silničních komunikací podle rychlosti

Rozdělení komunikací do třech základních kategorií: [13]

- Kategorie „nízká jízdní rychlost“ – pojíždějící vozidla od 45 km/h do 64 km/h
- Kategorie „střední jízdní rychlost“ – pojíždějící vozidla od 65 km/h do 99 km/h
- Kategorie „vysoká jízdní rychlost“ – průměrná rychlost vozidel 100 km/h nebo více

2 Metodika měření

2.1 Výběr lokality

Informace týkající se míst měření jsou uvedeny v popisu jednotlivých měřených míst v této práci. Přesná poloha měřených míst je zjištěna pomocí GPS souřadnic. Dále se při měření zjišťují a zaznamenávají veškeré údaje uvedené níže.

2.2 Použité přístroje

a) **Mikrofon Brüel & Kjær, typ 4189, v.č. 2795343**

b) **Mikrofon Brüel & Kjær, typ 4189, v.č. 27918153**

Tento mikrofon, který je znázorněn na Obr. 18, je vhodný pro vysoce přesné měření ve volném poli s vysokou citlivostí. Spíše vhodný pro bateriová zařízení, Zařízení v souladu s IEC 61672 třídy 1.

Vlastnosti:

- Citlivost: 50 mV / Pa
- Frekvence: 6.3 Hz - 20 kHz
- Dynamický rozsah: 14,6-146dB
- Teplota: - 30 až + 150 ° C (- 22 až + 302 ° F)
- Přepolarizován



Obr. 18 - Mikrofon Brüel & Kjær, typ 4189 [32]

c) **Předzesilovač Brüel & Kjær ZC 0032, id. n. 16487**

d) **Předzesilovač Brüel & Kjær ZC 0032, id. n. 16492**

Předzesilovač znázorněn na Obr. 19, je zařízení, které připravuje signál pro další zesílení nebo zpracování. Bývá umístěn v blízkosti senzoru, ke snížení účinků hluku a rušení.

Vlastnosti:

- Nominální útlum předzesilovače: 0,25 dB
- Konektor: 10 pin Lemo
- Prodlužovací kabely: až 100 m v délce mezi mikrofonom a předzesilovačem a to bez degradace



Obr. 19 - Předzesilovač Brüel & Kjær ZC 0032 [33]

e) **Zvukový analyzátor, Brüel & Kjær, typ 2270, s.n. 3001050**

f) **Zvukový analyzátor, Brüel & Kjær, typ 2250, s.n. 3000490**

Analyzátor 2270 viz Obr. 20, disponuje dvěma plnými měřicími kanály, digitálním fotoaparátem, barevným dotykovým displejem, integrovaným LAN a USB rozhraním, možností použít SDHC a CF kartu. Díky vestavěné kameře je možné pořízení fotodokumentace přímo z místa měření. Dva nezávislé měřicí kanály umožňují zaznamenávat data z dvou různých mikrofonů zároveň. [34] Oproti tomu Analyzátor 2250 má pouze jeden měřicí kanál a nedisponuje LAN rozhraním. Analyzátor je znázorněn na Obr. 21. [34]

Vlastnosti:

- Zvukoměr
- Frekvenční analýza v reálném čase
- Záznam (profil hlukových událostí)
- Rekordér
- FFT analýza
- Měření doby dozvuku

- Současné měření vnitřního a vnějšího hluku
- Měření zvukové neprůzvučnosti
- Šíření zvuku ve vnějším prostředí
- Verifikace účinnosti hlukových bariér
- 4,2 Hz - 22,4 kHz širokopásmový lineární frekvenční rozsah
- 16,6 – 140 dB vážený dynamický rozsah
- Stupeň krytí IP44
- Autodetekce krytu proti větru
- Velký dotykový displej s vysokým rozlišením
- Odposlech



Obr. 20 - Zvukový analyzátor, Brüel & Kjær, typ 2270 [34]



Obr. 21 - Zvukový analyzátor, Brüel & Kjær, typ 2250 [34]

g) Laserová puška Riegl LR90-235/P s.n. S129497

Jedná se o laserovou měřicí pušku, viz Obr. 22, která pracuje na principu odeslání a přijetí laserového paprsku puškou. Na základě vzdálenosti a času, než se paprsek vrátí, je přístrojem vyhodnocena rychlost vozidla.



Obr. 22 - Laserová puška Riegl LR90-235/P [35]

h) Mikrofonní kalibrátor, Brüel & Kjær, typ N 4231, v.č. 3001757

Slouží pro kalibrování úrovní zvuku na zařízeních sloužící k měření hluku. [32]

Vlastnosti:

- Odpovídá EN / IEC 60942 (2003) Třída LS a třída 1, a ANSI S1.40 - 1984
- Kalibrace: Přesnost $\pm 0,2$ dB
- 94 dB SPL, nebo 114 dB SPL pro kalibraci v hlučném prostředí



Obr. 23 - Mikrofonní kalibrátor Brüel & Kjær, typ N 4231 [32]

i) Anemometr Airflow, typ WP4ask, v. č. DD 1814-9701

Je přístroj, který slouží pro měření rychlosti proudění větru.



Obr. 24 - Anemometr Airflow typ WP4ask [36]

j) Termohygrobarometr, Airflow typ C4130, v. č. 00900111

Bezkontaktní multifunkční přístroj, který souběžně měří teplotu, tlak a vlhkost.

Vlastnosti:

- Rozsah provozních teplot -10 °C až +60 °C
- Přesnost měření teploty $\pm 0,25$ °C v rozsahu -50 až +100 °C
- Přesnost měření vlhkosti $\pm 2,5\%$
- Relativní vlhkost v rozsahu 5 až 95 % při 23 °C



Obr. 25 - Termohygrobarometr, Airflow typ C4130 [36]

k) Pomocné vybavení

- 2x Tripod GT1340-2018 (stativy typ UA0801)
- Ochranné kryty mikrofonů proti větru
- Svinovací metr ocelový e.č. 3/02
- Pásmo GR-750 tufmic 50 m
- Laserová vodováha LUX
- All Wether Case Brüel & Kjær typ 3535-A s.n. 0610175
- All Wether Case Brüel & Kjær typ 3535-A s.n. 0610176
- Prodlužovací mikrofonní kabel - Brüel & Kjær, typ AO 0697-D-100 2011W23 délka 10 m
- Prodlužovací mikrofonní kabel - Brüel & Kjær, typ AO 0441-D-200 2011W42 délka 20 m

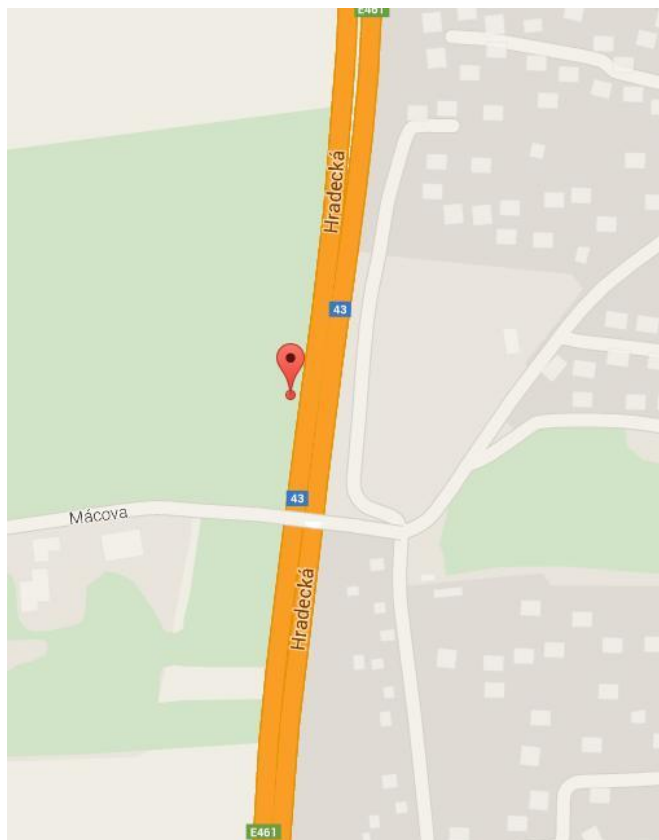
3 Vlastní měření

Měření hluku statickou metodou při průjezdu SPB probíhalo v souladu s normou ISO 11819-1 a s normou ISO 11819-4. V tomto dokumentu jsou ustanoveny přesné požadavky na místo měření, průběh měření i použité přístroje.

Jako první bylo nutné kalibrovat měřicí přístroje a ověřit funkčnost veškerých zařízení, se kterými se při měření pracuje. Dále bylo zapotřebí vybrat správné místo měření, které je co nejvíce v souladu s ISO 11819-1 a s ISO 11819-4. Po výběru místa a dopravě se veškerá měřicí technika dopravila na dané místo, kde došlo k zapojení všech potřebných součástí. Na daném místě se odměřila vzdálenost pro umístění mikrofonů. Aby bylo možné porovnávat klasické měření SPB s měřením SPB „na desce“, které odpovídá normě ISO 11819-4, bylo nutné použít 2 mikrofony. Ve správné vzdálenosti od silnice se jeden mikrofon umístil na ustavený tripod a druhý byl umístěn na desce ve stejné výšce od vozovky. Na mikrofony byl umístěn ochranný kryt proti větru. Jak mikrofon na desce, tak i na tripodu byly pomocí vodováhy zarovnány a pomocí kabelu propojeny se zvukovým analyzátozem, do kterého se zaznamenávaly naměřené údaje. Analyzátor byl uložen v boxu „All Wether Case“. Každý z mikrofonů měl svůj vlastní analyzátor, aby bylo možné provést měření ve stejném čase. Dále na místě měření byly zaznamenány hodnoty teploty, tlaku a vlhkosti v daný okamžik. Na stopkách bylo zapnuto měření času a cca o 50 m dále docházelo k zjišťování rychlosti projíždějících vozidel na úrovni mikrofonů pomocí laserové pušky. Hodnoty rychlostí byly diktovány a zapisovány do průvodních listů měření, kde se zaznamenal čas průjezdu, druh vozidla a rychlost, se kterou vozidlo míjelo mikrofon. Po ukončení měření se vše zabalilo a převezlo na druhé místo měření, kde postup měření byl totožný. Po skončení i druhého měření se provedlo vyhodnocení a zpracování naměřených hodnot. Metodika pro měření a vyhodnocení dat je vypracována v souladu s prostudováním metodického postupu v ISO 11819-1 a ISO 11819-4 pro měření „na desce“. Fotografie desky ovšem v práci nejsou přiloženy a není možné je poskytnout, z důvodu použití prvního testovacího vzorku a připravované právní ochrany formou duševního vlastnictví.

3.1 Místo měření č. 1 – Česká Ivanovice R43

Staničení km 4,5 – 4,7



Mapa 1 - místo měření č. 1 - Česká Ivanovice - R43 [38]

3.1.1 Popis místa měření č. 1

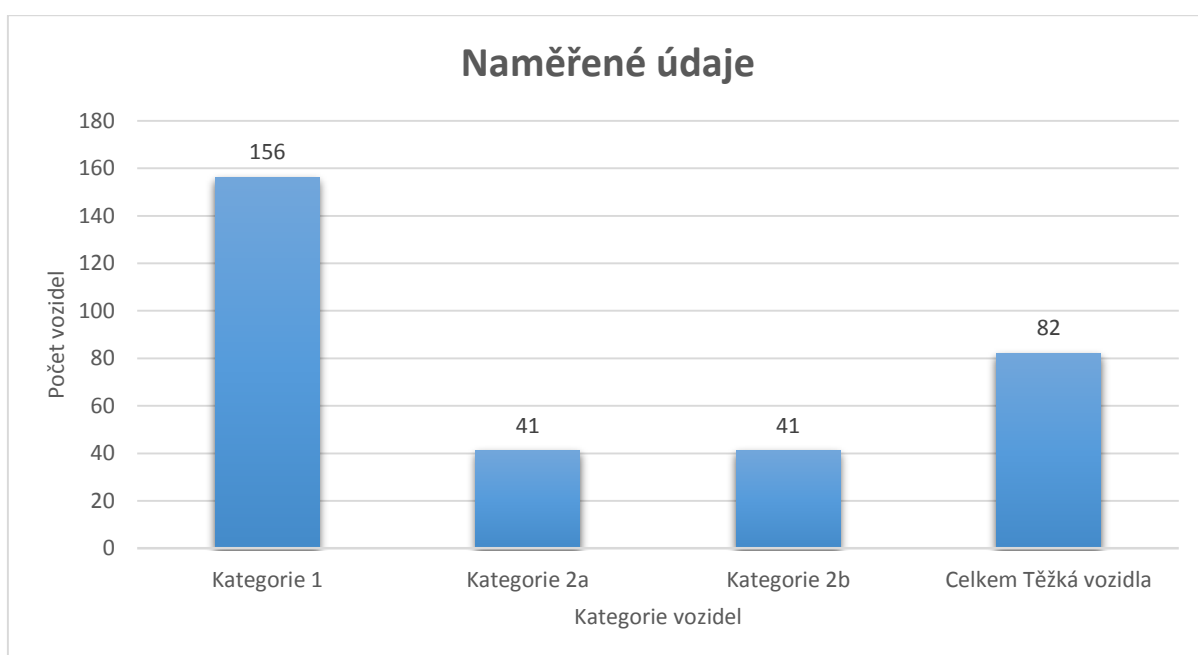
- Datum: 21. 4. 2015
- Čas: 9:30 – 12:30
- Souřadnice GPS: 49°16'00.1"N 16°34'30.3"E
- Meteorologické podmínky: Teplota: 16,4 °C
Tlak: 987,7 hPa
Vlhkost: 42,7%
Rychlost větru: 2,5 m/s
Oblačnost: jasno

- Rychlostní limit 100 km/h
- Jedná se o frekventovaný úsek poblíž Brněnského obchodu Glóbus. Silnice je přímá s rovinným sklonem. Nachází se poblíž města Brna a skládá se ze 4 jízdních pruhů. Okolí místa měření bylo rovinné a nikde se nenacházela žádná překážka, od které by se mohl zvuk odrážet. Nedaleko se nachází sjezd ke Glóbusu a Ivanovicím. Mezi jízdními pruhy jsou umístěna středová svodidla.

3.1.2 Naměřené údaje z místa měření č. 1 – Česká Ivanovice

Druha Vozidla	Celkový počet vozidel
Kategorie vozidel 1	156
Kategorie vozidel 2a	41
Kategorie vozidel 2b	41
Celkem těžká vozidla	82
Celkem	238

Tabulka 3 - Naměřené údaje z místa měření č. 1 - Česká Ivanovice

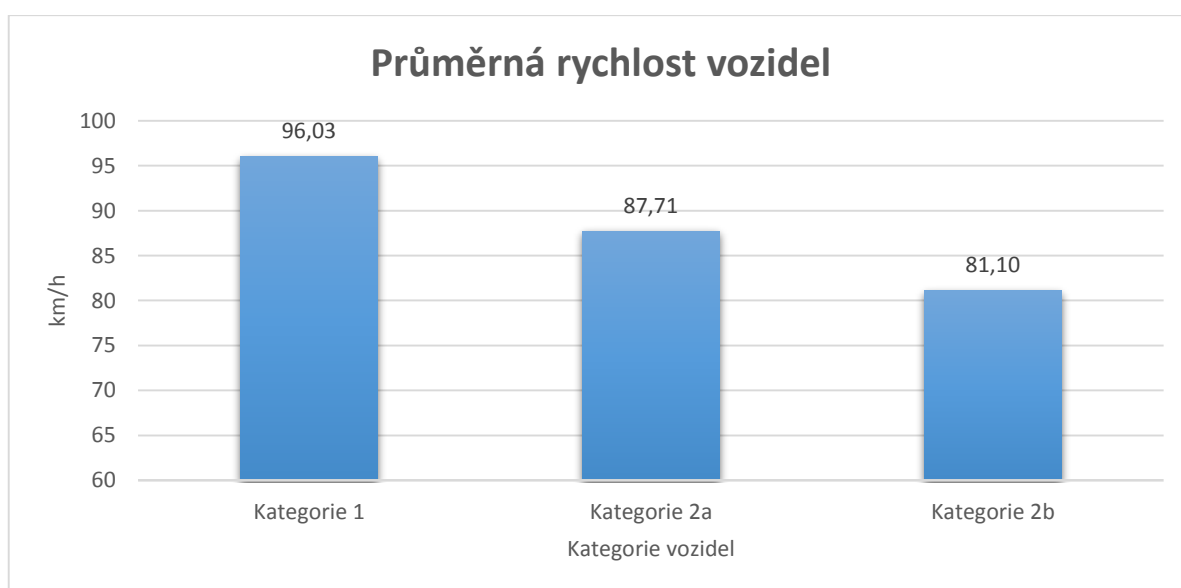


Graf 1 - Naměřené údaje z místa měření č. 1 - Česká Ivanovice

3.1.3 Výsledky naměřených hodnot v místě č. 1 – Česká Ivanovice

REGRESNÍ ÚDAJE HLADIN AKUSTICKÉHO TLAKU A RYCHLOSTI				
(NEKORIGOVÁNO NA TEPLITU)				
Kategorie silniční komunikace podle jízdní rychlosti: vysoká				
Parametry regrese	Kategorie vozidel 1	Kategorie vozidel 2a	Kategorie vozidel 2b	Celkem těžká vozidla
Počet vozidel	156	41	41	82
Regresní přímka $L = a \cdot \log v + b$				
ISO 11819-1				
a	48,70	20,73	28,86	
b	-13,67	46,19	32,60	
Korelační koeficient	0,90	0,78	0,86	
Průměrná hladina akustického tlaku [dB]	82,70	86,41	87,65	
Směrodatná odchylka hladin akustického tlaku [dB]	2,89	1,20	1,14	
Průměrná rychlost [km/h]	96,03	87,71	81,10	
Směrodatná odchylka rychlosti [km/h]	11,71	9,28	6,23	
Lveh (při referenční rychlosti)	85,74	86,18	88,28	
ISO 11819-4				
a	45,84	18,73	27,06	
b	-2,04	55,94	41,97	
Korelační koeficient	0,88	0,75	0,84	
Průměrná hladina akustického tlaku [dB]	88,69	92,29	93,60	
Směrodatná odchylka hladin akustického tlaku [dB]	2,78	1,13	1,09	
Průměrná rychlost [km/h]	96,03	87,71	81,10	
Směrodatná odchylka rychlosti [km/h]	11,71	9,28	6,23	
Lveh (při referenční rychlosti)	91,54	92,07	94,19	

Tabulka 4 - Výsledky naměřených hodnot v místě č. 1 – Česká Ivanovice



Graf 2 - Průměrná rychlost vozidel v místě měření č. 1 - Česká Ivanovice

a, b – charakteristiky regresní přímky

R^2 – spolehlivost výsledku

$$\text{Směrodatná odchylka: } \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

x_i – hodnota i-tého měření

n – počet měření

\bar{x} - průměrná hodnota měření

$$\text{Korelační koeficient: } r = \frac{s_{xy}}{s_x s_y},$$

s_x - směrodatná odchylka proměnné X

s_y - směrodatná odchylka proměnné Y

s_{xy} - kovariance proměnných X a Y

$$s_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

x_i – hodnota i-tého měření veličiny x

y_i – hodnota i-tého měření veličiny y

n – počet měření

\bar{x} - průměrná hodnota měření veličiny x

\bar{y} - průměrná hodnota měření veličiny y

Lveh: Hladina akustického tlaku vozidla – hodnota hluku pro referenční rychlost kategorie vozidla

HLADINY AKUSTICKÉHO TLAKU VOZIDEL			
Kategorie silniční komunikace podle jízdní rychlosti: vysoká			
Referenční rychlost pro osobní automobily: 110 km/h			
Referenční rychlost pro těžká vozidla: 85 km/h			
Referenční teplota: 20 °C (vzduch)			
	Kategorie vozidel 1	Kategorie vozidel 2a	Kategorie vozidel 2b
ISO 11819-1			
Hladina akustického tlaku vozidla před teplotní korekcí [dB]	85,7	86,2	88,3
Hladina akustického tlaku vozidla po teplotní korekci [dB]	85,4	85,9	88,0
ISO 11819-4			
Hladina akustického tlaku vozidla před teplotní korekcí [dB]	91,5	92,1	94,2
Hladina akustického tlaku vozidla po teplotní korekci [dB]	91,3	91,8	93,9
Rozdíl metod:			
Δ	5,8	5,9	5,9

Tabulka 5 - Hladiny akustického tlaku v místě č. 1 - Česká Ivanovice

Vzorec pro výpočet teplotní korekce: $-0,08 \cdot (20 - t_{m\check{e}r})$

STATICKÝ INDEX PŘI PRŮJEZDU - SPBI	
Kategorie silniční komunikace podle jízdní rychlosti: vysoká	
Podíl vozidel (váhové činitele W_x): standardní	
ISO 11819-1	
SPBI zkoušeného povrchu (nekorigováno na teplotu):	87,0
SPBI zkoušeného povrchu (korigováno na teplotu):	86,7
ISO 11819-4	
SPBI zkoušeného povrchu (nekorigováno na teplotu):	92,8
SPBI zkoušeného povrchu (korigováno na teplotu):	92,5
Rozdíl metod:	
Δ	5,9

Pozn.: Rozdíl hodnot mezi všemi 238 měřeními je 5,96.

Tabulka 6 - Statický index při průjezdu v místě měření č. 1 - Česká Ivanovice

Vzorec pro výpočet indexu SPBI: [13]

$$SPBI = 10 \lg \left[W_1 * 10^{L_1/10} + W_{2a} \left(\frac{v_1}{v_{2a}} \right) * 10^{\frac{L_{2a}}{10}} + W_{2b} \left(\frac{v_1}{v_{2b}} \right) * 10^{L_{2b}/10} \right] dB$$

SPBI – statistický index při průjezdu

L_1 , L_{2a} a L_{2b} – „hladiny akustického tlaku vozidla“ odpovídají L_{veh1} , L_{veh2a} , L_{veh2b} pro kategorie vozidel 1, 2a a 2b dle ISO11819-1

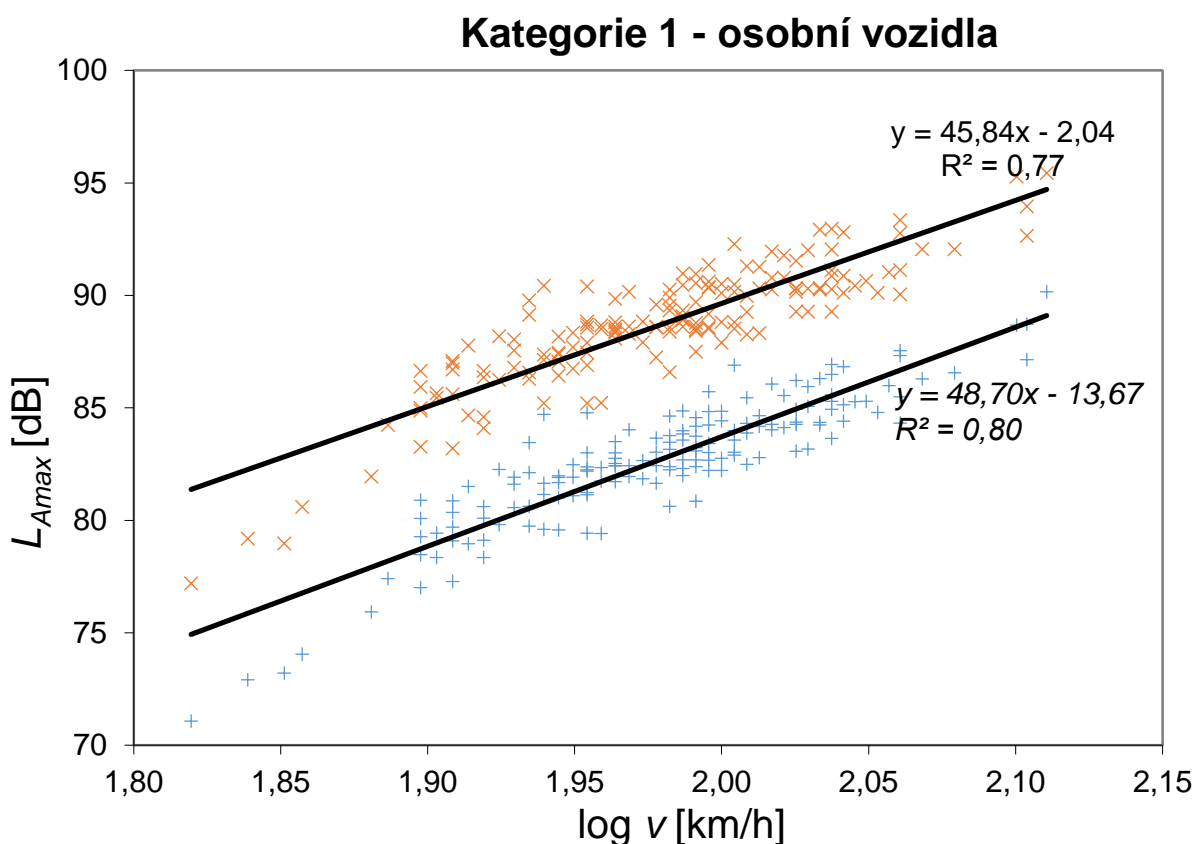
Kategorie vozidel		Kategorie silničních komunikací podle jízdních rychlostí					
		Nízká		Střední		Vysoká	
název	Č.	Referenční rychlost (km/h)	W_x	Referenční rychlost (km/h)	W_x	Referenční rychlost (km/h)	W_x
Osobní automobily	1	50	0,900	80	0,800	110	0,700
Dvounápravová těžká vozidla	2a	50	0,075	70	0,100	85	0,075
Vícenápravová těžká vozidla	2b	50	0,025	70	0,100	85	0,225

Tabulka 7 - Referenční rychlosti a váhové činitele pro různé kategorie silničních komunikací [13]

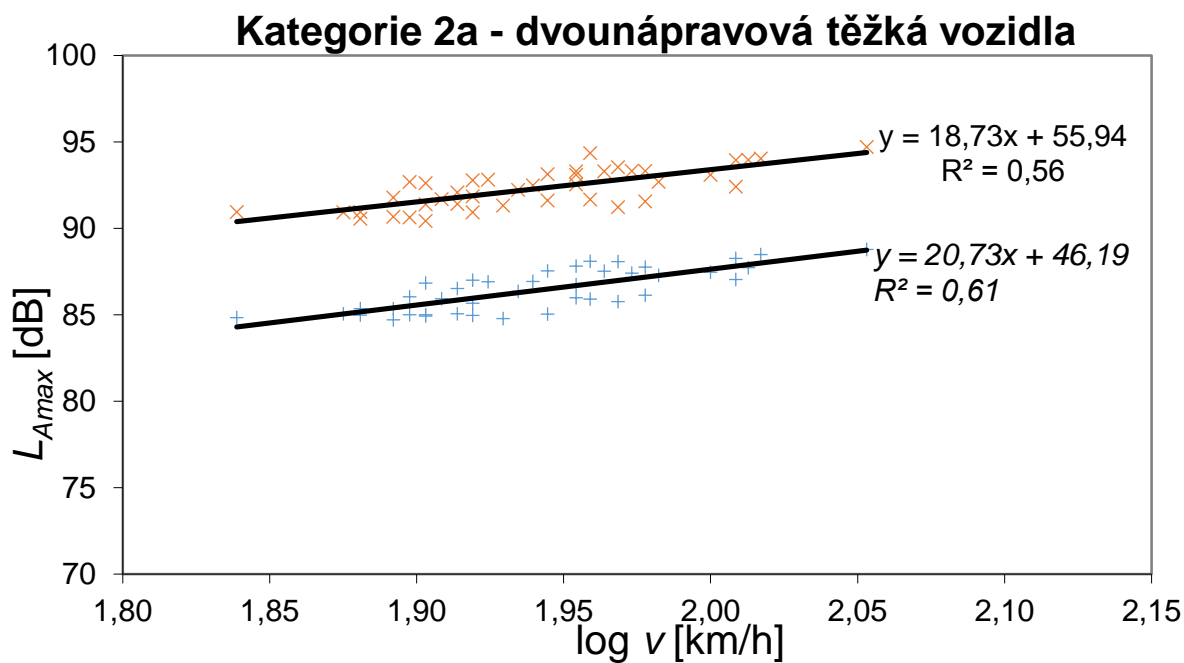
W_1 , W_{2a} a W_{2b} – váhové činitele, které odpovídají předpokládaným poměrům kategorií vozidel v dopravním proudu, podle tabulky č. 7

v_1 , v_{2a} a v_{2b} – referenční rychlosti jednotlivých kategorií vozidel, podle tabulky č. 7

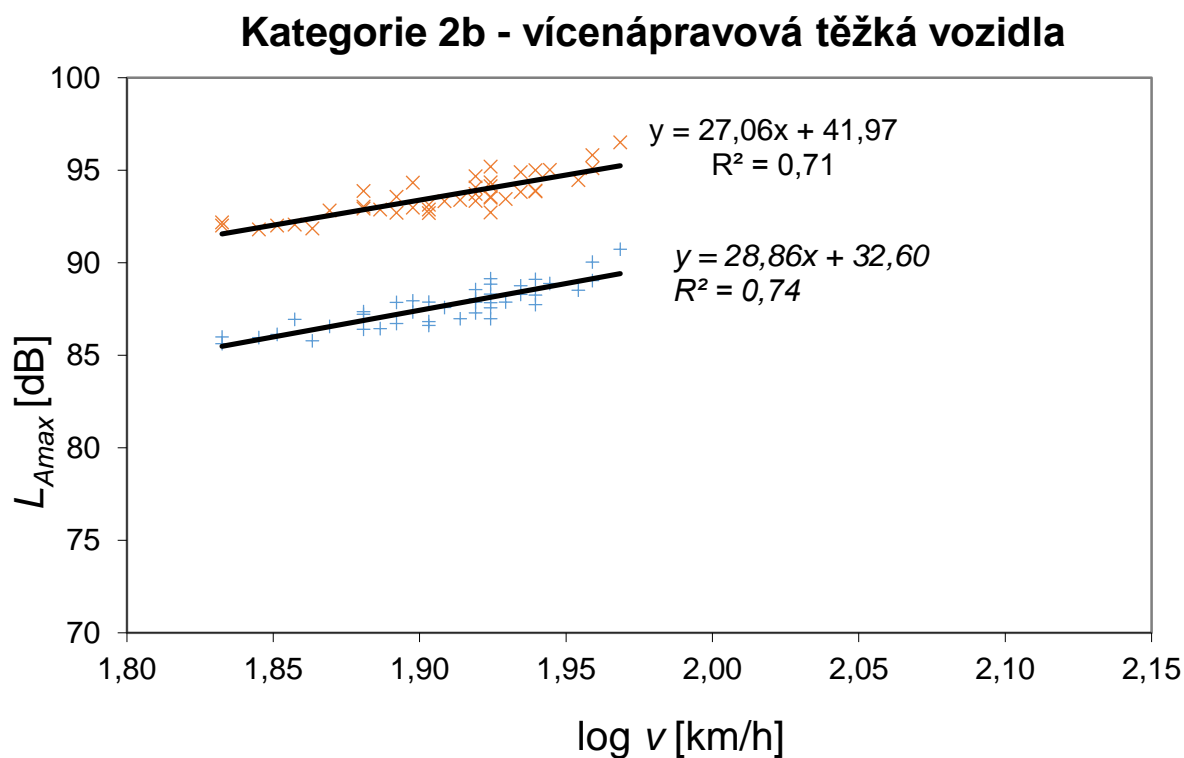
3.1.4 Regresní přímky z místa č. 1 – Česká Ivanovice



Graf 3 - Regresní přímka porovnání měření hlučnosti osobních vozidel - Česká Ivanovice



Graf 4 - Regresní přímka porovnání měření hlučnosti dvounápravových těžkých vozidel - Česká Ivanovice

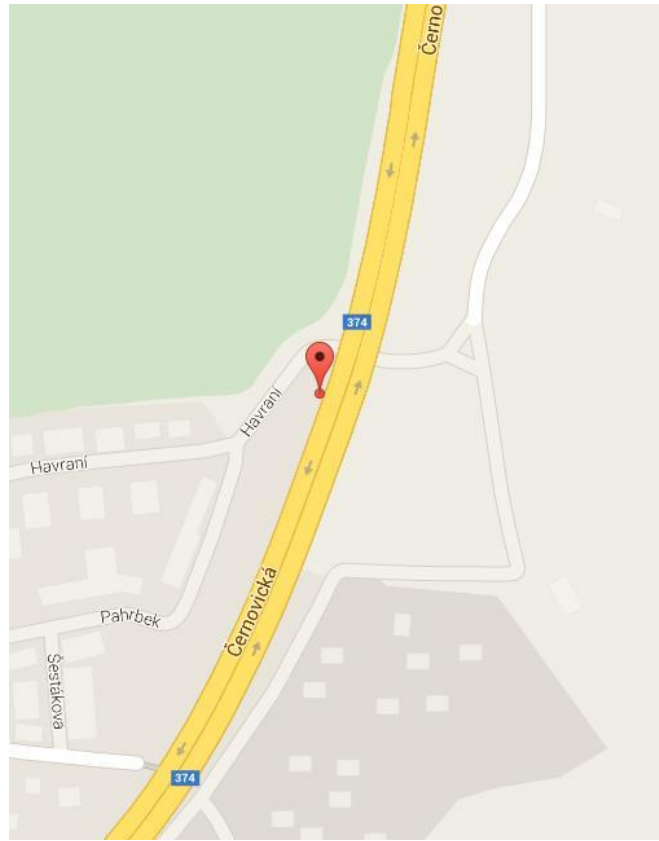


Graf 5 - Regresní přímka porovnání měření hlučnosti vícenápravových těžkých vozidel - Česká Ivanovice

3.1.5 Dílčí závěr z místa měření č. 1

Umístění mikrofonu v těchto místech bylo vybráno proto, že na tomto úseku probíhá pravidelné měření metodou CPX, tudíž lze výsledky porovnat. Povrch vozovky je zde AKD (PA) – 2003. Měření na tomto úseku probíhalo od ranních do odpoledních hodin. Maximální povolená rychlost pro tento úsek je 100,00 km/h. Naměřené hodnoty ukazují průměrnou rychlost pro osobní automobily 96,03 km/h, pro nákladní dvounápravová vozidla 87,71 km/h a pro nákladní vícenápravová 81,10 km/h. Výsledek regresních přímek a výpočtu SPBI všech měřených vozidel, jasně ukazuje rozdíl mezi měřením SPB pomocí ISO 11819-1 a měřením na desce dle ISO 11819-4. Kde naměřené hodnoty pro ISO 11819-1 vychází menší zhruba o 6 dB. Pro hodnoty akustického tlaku po korekci na teplotu 20°C pro měření dle ISO 11819-1 byly získány následující hodnoty 85,4 dB pro osobní automobily, dále 85,9 dB pro dvounápravové nákladní automobily a 88,0 dB u vícenápravových nákladních automobilů. Pro měření dle ISO 11819-4 byly hodnoty 91,3 dB pro osobní automobily, 91,8 dB dvounápravové nákladní automobily a 93,9 dB u vícenápravových nákladních automobilů. Rozdíl cca 6 dB v těchto metodách je všeobecně teoreticky uvažovaná hodnota.

3.2 Místo měření č. 2 - Černovická U mostu přes ulici Havraní - II/374 Brno



Mapa 2 - Černovická U mostu přes ulici Havraní - II/374 Brno

3.2.1 Popis místa měření č. 2

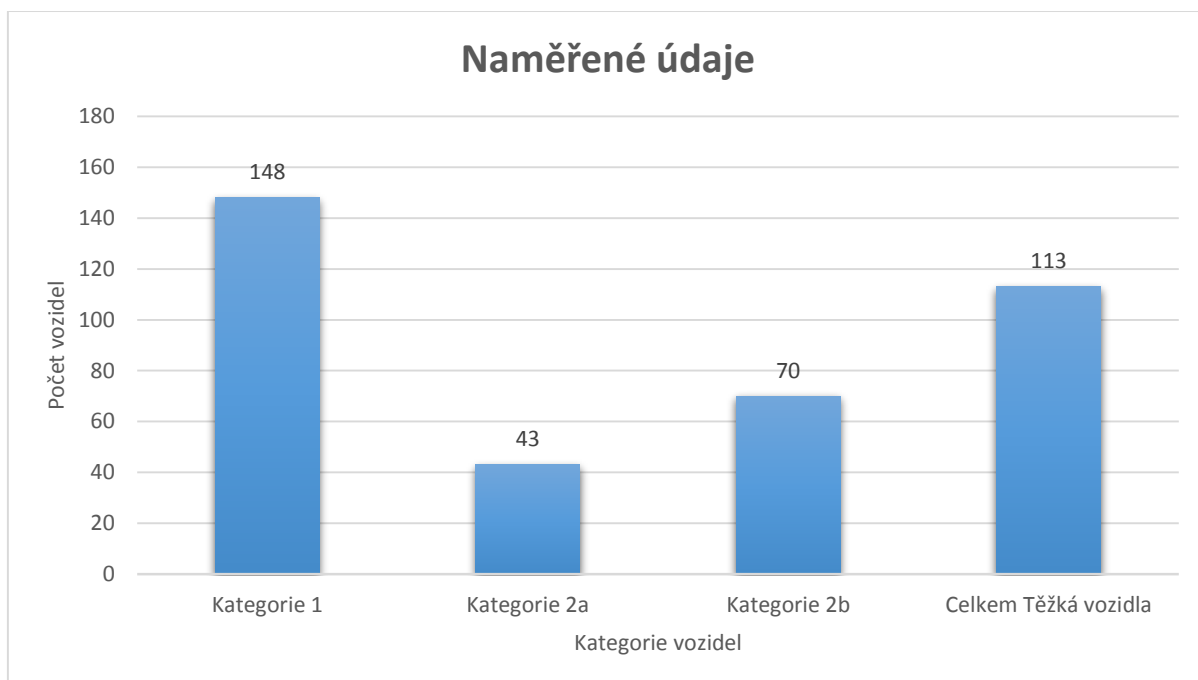
- Datum: 21. 4. 2015
- Čas: 13:30 – 16:30
- Souřadnice GPS: 4949°10'43.4"N 16°38'44.6"E
- Meteorologické podmínky: Teplota: 20,2 °C
Tlak: 992,7 hPa
Vlhkost: 24,8%
Rychlost větru: 3,5 m/s
Oblačnost: jasno
- Rychlostní limit 80 km/h

- Jedná se taktéž o frekventovaný úsek, který má mírně klesající sklon vozovky. V blízkosti se nachází lehce zastavěná oblast, dále zemědělské pole a průmyslová oblast. Vozidla v tomto úseku projíždějí spíše nárazovými vlnami, kvůli blízkému umístění křižovatky a semaforu. Vozovka je přímá a pokračuje klesající zatáčkou. Za mikrofony bylo přítomno křoví i stromy, které zvyšovaly kvůli odrazům od nich hluk přicházející do mikrofonu. Jednalo se o nejvhodnější místo v této lokalitě, protože se zde nenacházely keře umístěné před mikrofonem, na rozdíl od úseku, po němž se přijíždělo. V tomto úseku překážky směřovaly v přímé vlně k mikrofonu a mohly více ovlivňovat výsledky.

3.2.2 Naměřené údaje z místa měření č. 2 – Černovická U mostu přes ulici Havraní

Druha Vozidla	Celkový počet vozidel
Kategorie vozidel 1	148
Kategorie vozidel 2a	43
Kategorie vozidel 2b	70
Celkem těžká vozidla	113
Celkem	261

Tabulka 8 - Naměřené údaje z místa měření č. 2 – Černovická U mostu přes ulici Havraní

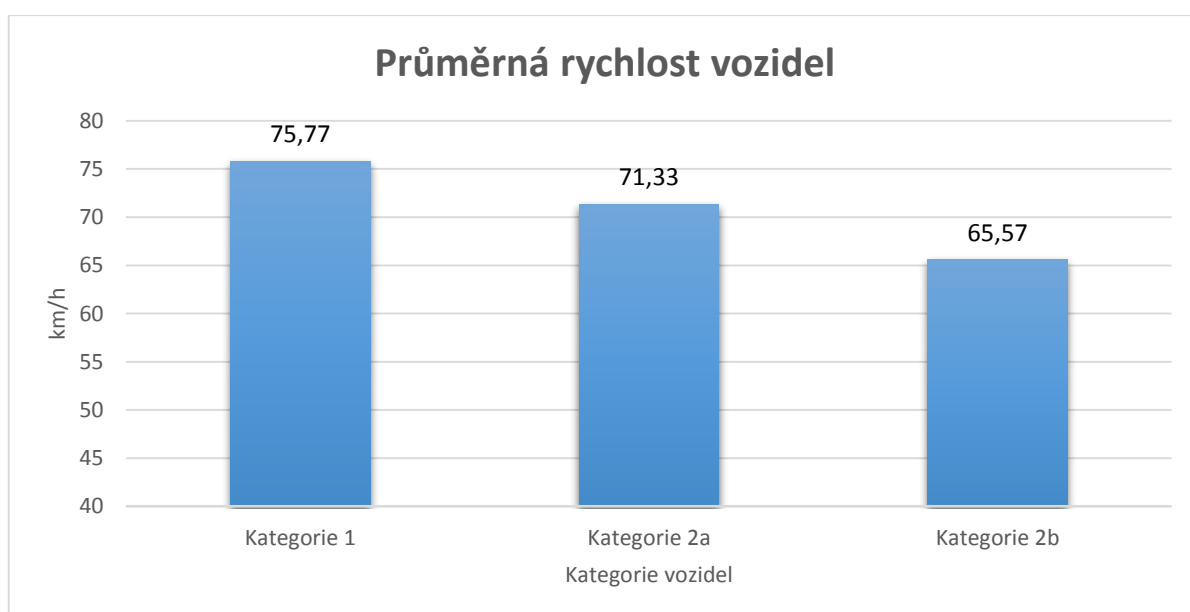


Graf 6 - Naměřené údaje z místa měření č. 2 - Černovická U mostu přes ulici Havraní

3.2.3 Výsledky naměřených hodnot v místě č. 2 – Černovická U mostu přes ulici Havraní

REGRESNÍ ÚDAJE HLADIN AKUSTICKÉHO TLAKU A RYCHLOSTI				
(NEKORIGOVÁNO NA TEPLITU)				
Kategorie silniční komunikace podle jízdní rychlosti: střední				
Parametry regrese	Kategorie vozidel 1	Kategorie vozidel 2a	Kategorie vozidel 2b	Celkem těžká vozidla
Počet vozidel	148	43	70	113
Regresní přímka $L = a \cdot \log v + b$				
ISO 11819-1				
a	41,48	37,63	42,32	
b	-3,97	6,23	1,50	
Korelační koeficient	0,92	0,90	0,93	
Průměrná hladina akustického tlaku [dB]	73,86	75,85	78,20	
Směrodatná odchylka hladin akustického tlaku [dB]	2,44	2,13	2,72	
Průměrná rychlost [km/h]	75,77	71,33	65,57	
Směrodatná odchylka rychlosti [km/h]	9,44	8,59	8,88	
Lveh (při referenční rychlosti)	74,98	75,66	79,58	
ISO 11819-4				
a	41,80	38,83	42,58	
b	0,96	9,83	6,87	
Korelační koeficient	0,91	0,88	0,93	
Průměrná hladina akustického tlaku [dB]	79,38	81,67	84,06	
Směrodatná odchylka hladin akustického tlaku [dB]	2,48	2,24	2,75	
Průměrná rychlost [km/h]	75,77	71,33	65,57	
Směrodatná odchylka rychlosti [km/h]	9,44	8,59	8,88	
Lveh (při referenční rychlosti)	80,51	81,47	85,44	

Tabulka 9 - Výsledky naměřených hodnot v místě č. 2 – Černovická U mostu přes ulici Havraní



Graf 7 - Průměrná rychlost vozidel v místě č. 2 - Černovická U mostu přes ulici Havraní

HLADINY AKUSTICKÉHO TLAKU VOZIDEL			
Kategorie silniční komunikace podle jízdní rychlosti: střední			
Referenční rychlost pro osobní automobily: 80 km/h			
Referenční rychlost pro těžká vozidla: 70 km/h			
Referenční teplota: 20 °C (vzduch)			
	Kategorie vozidel 1	Kategorie vozidel 2a	Kategorie vozidel 2b
ISO 11819-1			
Hladina akustického tlaku vozidla před teplotní korekcí [dB]	75,0	75,7	79,6
Hladina akustického tlaku vozidla po teplotní korekci [dB]	75,0	75,7	79,6
ISO 11819-4			
Hladina akustického tlaku vozidla před teplotní korekcí [dB]	80,5	81,5	85,4
Hladina akustického tlaku vozidla po teplotní korekci [dB]	80,5	81,5	85,5
Rozdíl metod:			
Δ	5,5	5,8	5,9

Tabulka 10 - Hladiny akustického tlaku vozidel v místě č. 2 – Černovická U mostu přes ulici Havraní

STATICKÝ INDEX PŘI PRŮJEZDU - SPBI	
Kategorie silniční komunikace podle jízdní rychlosti: střední	
Podíl vozidel (váhové činitele W_x): standardní	
ISO 11819-1	
SPBI zkoušeného povrchu (nekorigováno na teplotu):	76,0
SPBI zkoušeného povrchu (korigováno na teplotu):	76,0
ISO 11819-4	
SPBI zkoušeného povrchu (nekorigováno na teplotu):	81,6
SPBI zkoušeného povrchu (korigováno na teplotu):	81,7
Rozdíl metod:	
Δ	5,6

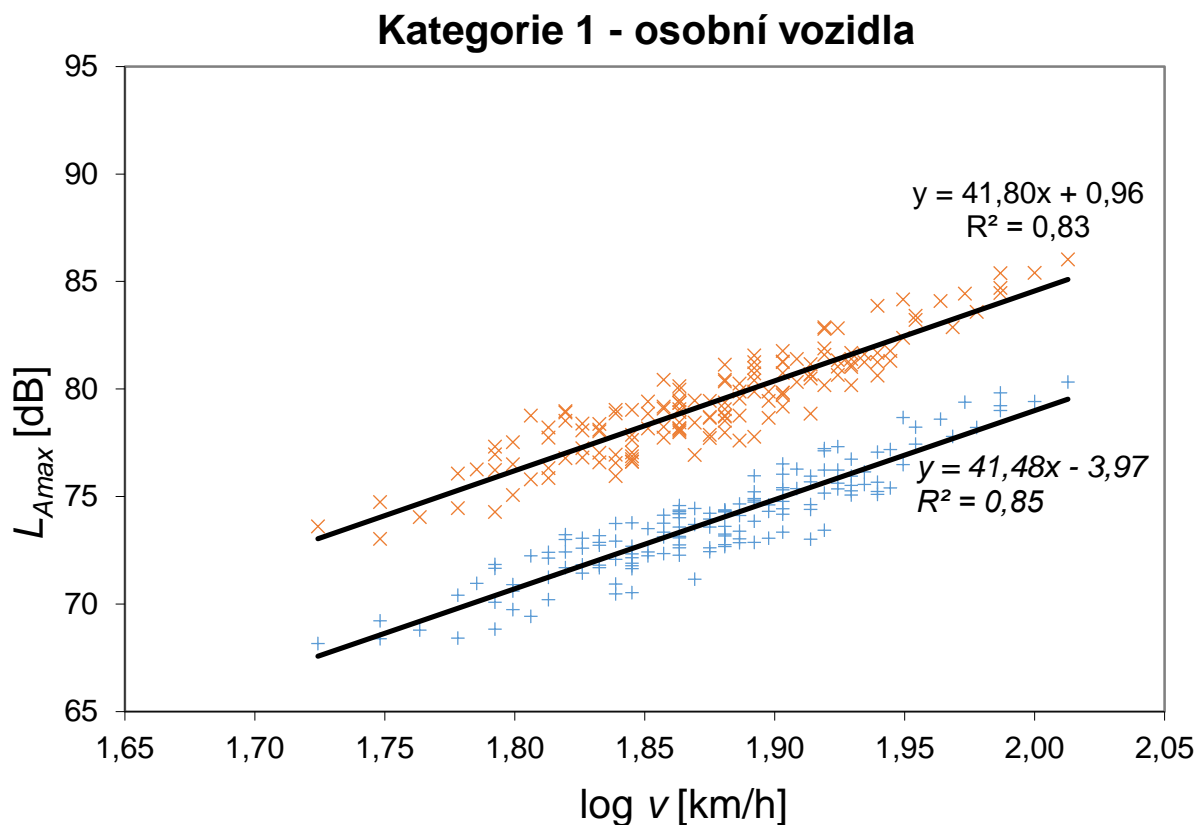
Pozn.: Rozdíl hodnot mezi všemi 261 měřeními je 5,66.

(místo za mikrofonom porost stromů - není volné akustické pole)

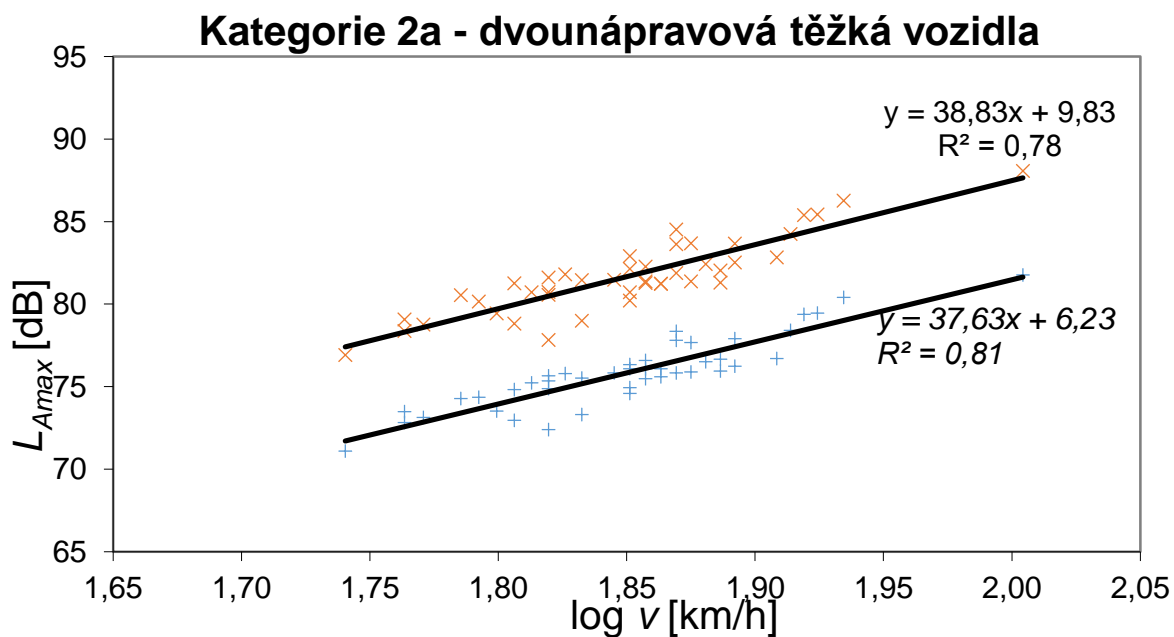
Tabulka 11 - Statický index při průjezdu v místě měření č. 2 – Černovická U mostu přes ulici Havraní

Vzorce pro výpočet údajů viz kapitola 3.1.3.

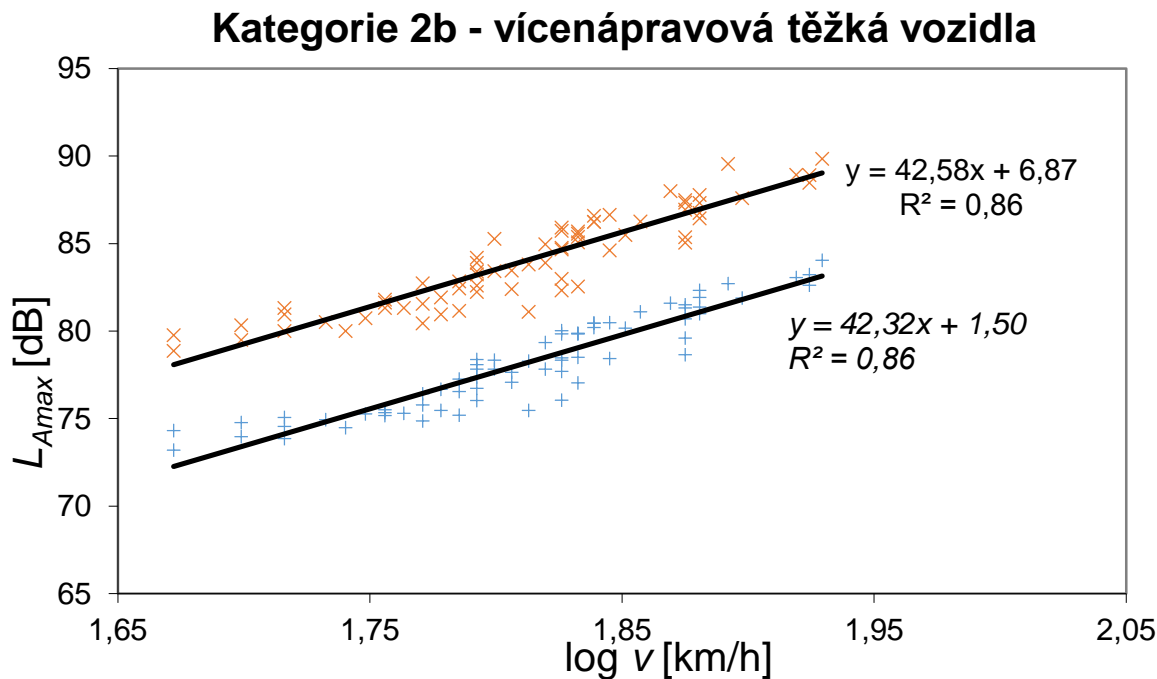
3.2.4 Regresní přímky z místa měření č. 2 – Černovická U mostu přes ulici Havraní



Graf 8 - Regresní přímka porovnání měření hlučnosti osobních vozidel - Černovická U mostu přes ulici Havraní



Graf 9 - Regresní přímka porovnání měření hlučnosti dvounápravových těžkých vozidel - Černovická U mostu přes ulici Havraní



Graf 10 - Regresní přímka porovnání měření hlučnosti vícenápravových těžkých vozidel - Černovická
U mostu přes ulici Havraní

3.2.5 Dílčí závěr z místa měření č. 2

Druhé měření bylo vybráno pro ověření pravdivosti teoreticky uvažovaného rozdílu při použití metod ISO 11819-1 a ISO 11819-4. Bylo vybráno z důvodu blízkosti měření č. 1, dále je zde normálně používaný povrch vozovky (ACO 16 - 1997), který je výrazně starý, ale je v „dobré kondici“, což odpovídá průměru z Českých komunikací. Měření na tomto úseku probíhalo v odpoledních hodinách. Maximální povolená rychlost pro tento úsek je 80,00 km/h. Naměřené hodnoty ukazují průměrnou rychlost pro osobní automobily 75,77 km/h, pro nákladní dvounápravová vozidla 75,66 km/h a pro nákladní vícenápravová 79,58 km/h. Výsledek regresních přímek a výpočtu SPBI všech měřených vozidel, jasně ukazuje rozdíl mezi měřením SPB pomocí ISO 11819-1 a měřením na desku ISO 11819-4. Naměřené hodnoty pro ISO 11819-1 vychází menší zhruba o 6 dB. Pro hodnoty akustického tlaku po korekci na teplotu 20°C pro měření dle ISO 11819-1 byly získány následující hodnoty 75,0 dB pro osobní automobily, dále 75,7 dB pro dvounápravové nákladní automobily a 79,60 dB u vícenápravových nákladních automobilů. Pro měření dle ISO 11819-4 byly hodnoty 80,5 dB pro osobní automobily, dále 81,5 dB dvounápravové nákladní automobily a 85,5 dB u vícenápravových nákladních automobilů. Rozdíl cca 6 dB v těchto metodách je všeobecně teoreticky uvažovaná hodnota.

4 Závěr

Cílem této práce bylo provést analýzu hluku silničních motorových vozidel, s využitím statické metody při průjezdu, která odpovídá ISO 11819-1 a porovnat tuto metodu s dalším postupem. Tato metoda má tu nevýhodu, že je velmi náročná na prostor, kde v okolí mikrofonu je striktně určeno normou v rozsahu volného akustického pole 360°. Proto jako porovnávací metodou byla zvolena taktéž statická metoda při průjezdu, ovšem tentokrát podle ISO 11819-4, která je výhodnější díky omezenému volnému akustickému poli, které činí 180° pro tuto metodu. Teoreticky uznávaný rozdíl v těchto metodách je udáván 6 dB a v této práci jsem se zaměřil právě na ověření tohoto tvrzení. Byla zhotovena měřicí deska pro umístění mikrofonu, aby bylo možné měřit hodnoty pro ISO 11819-4. Porovnávana byla 2 místa pro ověření výsledků a měření probíhalo oběma metodami zároveň.

Měřicí místo č. 1 se nacházelo nedaleko Brněnského obchodu Globus a sjezdu na Ivanovice, kde maximální povolená rychlost činila 100,00 km/h. Měření ukázalo průměrnou rychlost pro osobní automobily 96,03 km/h, pro nákladní dvounápravová vozidla 87,71 km/h a pro nákladní vícenápravová 81,10 km/h. Po vyhodnocení naměřených údajů hluku se zjistilo, že hodnoty pro ISO 11819-1:

85,4 dB pro osobní automobily

85,9 dB pro dvounápravové nákladní automobily

88,0 dB pro vícenápravové nákladní automobily

pro ISO 11819-4: 91,3 dB pro osobní automobily

91,8 dB pro dvounápravové nákladní automobily

93,9 dB pro vícenápravové nákladní automobily

Naměřené hodnoty potvrzují, že u ISO 11819-4 jsou naměřené hodnoty zhruba o 6dB větší. Což potvrzuje teoreticky uznávaný rozdíl. Drobný rozdíl v řádu setin mohl být způsoben matematickou chybou, zaokrouhlováním, nemožností měření na zcela stejném místě a toho, že nelze dosáhnout teoretického ideálního volného pole.

Měřicí místo č. 2 bylo voleno z důvodu blízkosti k prvnímu měření a nacházelo se na ulici Černovická, taktéž v Brně. Na tomto úseku byla maximální povolená rychlost 80,00 km/h. Měření ukázalo průměrnou rychlost pro osobní automobily 75,77 km/h, pro nákladní dvounápravová vozidla 75,66 km/h a pro nákladní vícenápravová 79,58 km/h.

Po výpočtu a vyhodnocení všech získaných údajů, se dosáhlo následujícího výsledku:

pro ISO 11819-1:	75,0 dB pro osobní automobily
	75,7 dB pro dvounápravové nákladní automobily
	79,6 dB pro vícenápravové nákladní automobily
pro ISO 11819-4:	80,5 dB pro osobní automobily
	81,5 dB pro dvounápravové nákladní automobily
	85,5 dB pro vícenápravové nákladní automobily

I z tohoto měření je vidět, že výsledky jsou znovu o zhruba 6 dB větší u ISO 11819-4, což znovu potvrzuje teoreticky uznávanou hodnotu. Rozdíl je zde menší než u prvního měření a to z toho důvodu, že za mikrofonem byly stromy, jejichž šum a odrazy od nich zvyšovaly hlučnost u metody ISO 11819-1, čímž došlo k poklesu rozdílu mezi těmito dvěma metodami ISO 11819-1 a ISO 11819-4.

Cílem této práce mělo být ověření teoreticky uznávané hodnoty porovnání metod měření hluku SPB dle ISO 11819-1 a ISO 11819-4, jež se praktickými měřeními v terénu podařilo potvrdit. Díky tomu bylo dokázáno, že vzorek desky pro měření druhou metodou dle ISO 11819-4 je funkční a lze ho používat k dalším měřením, které budou prováděna. Porovnávání výsledků metodou SPB z jednotlivých míst je značně problematické, jelikož dosažení přesně stejných podmínek volného akustického pole je obtížné. Ověření rozdílu ISO 11819-4 a funkčnost desky umožní při budoucích měření zjednodušení hledání vhodného místa pro umístění mikrofonu, díky tomu, že požadavek na volné akustické pole je při použití této metody poloviční tzn. 180°. Výsledky této práce budou využity při dílčím řešení části výzkumného projektu TAČR č. TA04021486 „Nástroje pro analýzu a hodnocení environmentálních dopadů hluku vozovek“.

5 Seznam použité literatury

Literární zdroje:

- [1] MÁČA, V., URBAN, J., MELICHAR, J., KŘIVÁNEK, V., Metodika oceňování hluku z dopravy, 29 s. Centrum pro otázky životního prostředí UK, Praha, duben 2012
- [2] Systém monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ve vztahu k životnímu prostředí, Zdravotní důsledky a rušivé účinky hluku - Odborná zpráva za rok 1997 (Státní zdravotní ústav) - Praha, květen 1998
- [3] NOVÝ, R., Hluk a chvění, vyd. 1., ČVUT Praha 1995. ISBN 80-01-01306-5
- [4] 21. akustická konferencia, I.diel: Hluk a životné prostredie. Bratislava: Československá vedeckotechnická spoločnosť, 1982
- [5] ISO/CD 11819-2 Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: The close-proximity method, 2000
- [6] CELJAK, I., Zásady provádění měření v silniční dopravě, Interní metodika, ZF, Jihočeská univerzita v Č. Budějovicích, 2011
- [7] SMETANA, CTIRAD a kol., Hluk a vibrace, měření a hodnocení, 1. Vydání, Praha, Sdělovací technika 1998, 188 stran, ISBN 80-901936-2-5
- [8] FRIČ, J., STRIEGLER R., DAŇKOVÁ, A., KŘIVÁNEK, V. AMBROS, J. Silniční doprava (skriptum), Akademické nakladatelství Cerm, s.r.o. Brno, Brno 2010, vydání první, 158 s. ISBN 978-80-7204-728-4
- [9] RADENBERG, M., SANDER, R., Lärmtechnisch optimiertes Asphaltdecksichtkonzept für den kommunalen Straßenbau. Asphalt 8/2007
- [10] KŘIVÁNEK, V., STRYK, J., JEDLIČKA, J., MARKOVÁ, P., TÖGEL, M., ŠPIČKA, L., Metodika pro měření a hodnocení komunikací z hlediska hlukové zátěže. Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., Brno, 2014 ISBN 978-80-86502-82-3
- [11] KŘIVÁNEK, V., CHOLAVA, R., EFFENBERGER, K., Měření a srovnání hlučnosti různých druhů komunikací ČR, Hygiena, roč. 59, č. 3, 2014, s. 116 - 122, ISSN 1802-6281
- [12] KŘIVÁNEK, V., CHOLAVA, R., JEDLIČKA, J., Stanovování hlučnosti povrchů vozovek pomocí metody SPB. *Dopravní inženýrství*, 2010, roč. 5, č. 2, s. 27-29. ISSN 1801-8890
- [13] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, Praha, ČSN ISO 11819-1, Rok vydání 2000, ISC 17.140.30, 93.080.20

Internetové zdroje:

- [14] <http://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/pusobeni-zvuku-v-case-ekvivalentni-hladina>
- [15] <http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/mereni/Ka050029.gif>
- [16] http://www.kytara.net/img/citl_sluch.png
- [17] <http://www.greif.cz/download/its075-zaklady-akustiky-prirucka-pro-zacatecniky.pdf>
- [18] http://www.khsova.cz/01_legislativa/files/272_2011.pdf
- [19] http://www.asphaltroads.org/assets/_control/content/files/anintroductiontotire-pavementnoiseofasphalt pavement.pdf
- [20] <http://d2051.fsv.cvut.cz/predmety/stpk/protihlukovetechnologie.pdf>
- [21] <http://www.fd.cvut.cz/departament/k612/Own/YDZP/soubory/studie/lochman-01.pdf>
- [22] <http://www.kvm.tul.cz/getFile/id:1848>
- [23] http://cs.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1kladn%C3%AD_akustick%C3%A9_veli%C4%8Diny
- [24] <http://www.ecophon.com/cz/zdroje/banka-akusticky-znalosti/Zaklady-o-akustice/Akustika-zvuk-rec-a-sluch/Akusticky-tlak-a-decibely/>
- [25] <http://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/kmitocet-zvuku-vahova-korekce-zvukomeru>
- [26] http://fu.ff.cuni.cz/vyuka/akustika/1_zvuk.pdf
- [27] <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/snizovani-hluku-moznymi-upravami-obrusne-vrstvy-vozovky/>
- [28] <http://www.casopisstavebnictvi.cz/clanek.php?detail=621>
- [29] <http://www.geomat.cz/blog/system-tensartech-greenslope/>
- [30] http://www.casopisstavebnictvi.cz/prehled-vlastnosti-pohltivych-protihlukovych-sten-na-ceskem-trhu_N3475
- [31] www.romansro.cz/images/protihlukova-stena-sterboholska-radiala-2.jpg
- [32] <http://www.bksv.com/>
- [33] <http://www.gracey.co.uk/specifications/bk-2250-s1.htm>
- [34] <http://mereni-a-analyza-signalu-hluku-a-vibraci.spectris.cz/produkty/zvukomery/>
- [35] <http://www.radarforum.de/forum/uploads/post-42-1142197412.jpg>
- [36] <http://konference.cdvplus.cz/file/doprava-a-zivotni-prostredi-vychodiska-cile-vysledky-vyzkumneho-programu-jiri-huzlik/>
- [37] http://www.cesti.cz/wc13/WP5_03.pdf

6 Přílohy

Místo měření č. 1 – měření hluku	69
Místo měření č. 1 – měření rychlosti	69
Místo měření č. 2 – měření hluku	70
Místo měření č. 2 – měření rychlosti	70

Poznámka: Z důvodu připravované právní ochrany formou duševního vlastnictví univerzální konstrukce měřící desky dle ISO 11819-4 není zkoušený prototyp v obrazové příloze uveden.



