

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Vliv povrchu pozemních komunikací na hlukovou zátěž okolí

Bc. Miloš Horák

Diplomová práce

2014

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Miloš Horák**
Osobní číslo: **D12856**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Provozní spolehlivost dopravních prostředků a infrastruktury:
Ochrana životního prostředí v dopravě**
Název tématu: **Vliv povrchu pozemní komunikace na hlukovou zátěž okolí**
Zadávající 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 :

1. Základní teorie měření hluku
2. Legislativa pro měření hluku pozemních komunikací
3. Návrh metodiky měření hluku v okolí pozemních komunikací
4. Realizace navržené metodiky na vybraných pozemních komunikacích
5. Vyhodnocení naměřených hodnot
6. Vhodnost použití navržené metodiky
7. Závěr

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] KREIDL, M., ŠMÍD, R.: Technická diagnostika, BEN, Praha 2006
- [2] BRŮEL & KJ?R: Manuál obsluhy analyzátoru PULSE, 2004
- [3] SMETANA, C. a kol.: Hluk a vibrace - Měření a hodnocení, Praha, 1998
- [4] Metodický pokyn pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí Č.j. HEM-300-11.12.01-34065
- [5] BRŮEL & KJ?R: Acoustic Noise Measurements, B&K, 1988

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Pavel Kukla, Ph.D.

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání diplomové práce: 21. února 2014

Termín odevzdání diplomové práce: 23. května 2014

prof. Ing. Bohumil Culek, CSC.
děkan

L.S.

doc. Ing. Miroslav Tesař, CSC.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 21. února 2014

Prohlášení:

Prohlašuji, že předložená práce je mým původním autorským dílem, které jsem vypracoval samostatně. Zdroje, z nichž jsem při zpracování čerpal, v práci řádně cituji. 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 se zveřejněním práce na webovém serveru Univerzity Pardubice.

V Horní Rovni 21. května 2014

Bc. Miloš Horák

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu práce panu Ing. Pavlu Kuklovi Ph. D. za dobré vedení, rady a poskytnutí technických prostředků potřebných pro zpracování této práce. Také děkuji Ing. Vítězslavu Křivánkovi Ph. D. za poskytnutí dokumentace. Zároveň na tomto místě chci poděkovat také své rodině za podporu při studiu a trpělivost. Tato diplomová práce vznikla v rámci řešení projektu „Podpora stáží a odborných aktivit při inovaci oblasti terciárního vzdělávání na DFJP a FEI Univerzity Pardubice, reg. č.: CZ.1.07/2.4.00/17.0107“, v týmu zabývajícím se „Problematikou možností technické diagnostiky“.

ANOTACE

Diplomová práce se zabývá problematikou negativního působení hluku v okolí pozemních komunikací a vypracováním metodiky pro rychlé a objektivní zjištění hlukové zátěže v okolí pozemních komunikací.

KLÍČOVÁ SLOVA

Zvuk, hluk, životní prostředí, legislativa, norma, doprava, pozemní komunikace, lidský sluch, hladina hlukové zátěže, ekvivalentní hladina akustického tlaku, statická metoda měření hluku, měření hluku, metodika, experiment, ověření, vyhodnocení.

TITLE

Influence of road surface to noise pollution in surroundings

ANNOTATION

This thesis deals with the negative effects of noise in the vicinity of roads and developing methodologies for rapid and objective assessment of noise pollution in the vicinity of roads.

KEYWORDS

Sound, noise, environment, legislation, standards, transportation, infrastructure, human hearing, the level of noise pollution, the equivalent sound pressure level, static method of noise measurement, noise measurement, methodology, experiment, verification and evaluation.

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| ÚVOD | 13 |
| 1 ZÁKLADNÍ TEORIE MĚŘENÍ HLUKU | 15 |
| 1.1 ZÁKLADNÍ DEFINICE ZVUKU | 15 |
| 1.1.1 Negativní projevy působení hluku | 19 |
| 1.1.2 Opatření proti působení hluku | 21 |
| 1.2 ŠÍŘENÍ ZVUKU | 22 |
| 1.2.1 Zdroje hluku v silniční dopravě | 25 |
| 1.3 MĚŘENÍ HLUKU | 25 |
| 1.3.1 Veličiny charakterizující akustické emise | 26 |
| 1.3.2 Veličiny charakterizující akustické imise | 27 |
| 1.3.3 Vlivy prostředí na měření hluku v mimopracovním prostředí | 30 |
| 1.3.4 Protokol o provedeném měření | 31 |
| 2 LEGISLATIVA PRO MĚŘENÍ HLUKU POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ | 33 |
| 2.1 ZÁKLADNÍ NÁRODNÍ LEGISLATIVA | 33 |
| 2.1.1 Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací..... | 37 |
| 2.1.2 Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví..... | 38 |
| 3 NÁVRH METODIKY MĚŘENÍ HLUKU V OKOLÍ POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ | 40 |
| 3.1 CÍL PRÁCE – VYTVOŘENÍ METODIKY | 41 |
| 3.1.1 Výchozí podklady a použití metodiky | 41 |
| 3.1.2 Měřicí princip | 42 |
| 3.1.3 Měřicí přístroje | 44 |
| 3.1.4 Místa měření | 44 |
| 3.1.5 Meteorologické podmínky | 46 |
| 3.1.6 Protokol z měření..... | 47 |
| 4 REALIZACE NAVRŽENÉ METODIKY NA VYBRANÝCH POZEMNÍCH KOMUNIKACÍCH | 48 |
| 4.1 POUŽITÉ MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJE | 48 |
| 4.2 MÍSTA MĚŘENÍ | 48 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4.2.1 | Dokumentace měřicích míst (stanovišť): | 49 |
| 4.3 | PODMÍNKY PRO MĚŘENÍ | 51 |
| 4.4 | REALIZACE MĚŘENÍ | 51 |
| 4.4.1 | Měření na stanovišti č.1 | 52 |
| 4.4.2 | Měření na stanovišti č. 2 | 58 |
| 4.4.3 | Měření na stanovišti č. 3 | 60 |
| 4.4.4 | Měření na stanovišti č. 4 | 66 |
| 4.4.5 | Měření na stanovišti č. 5 | 70 |
| 5 | VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT | 73 |
| 5.1 | INTENZITA DOPRAVY | 73 |
| 5.2 | MAXIMÁLNÍ A EKVIVALENTNÍ HLADINA AKUSTICKÉHO TLAKU | 74 |
| 5.3 | VLIV POVRCHU POZEMNÍ KOMUNIKACE NA EKVIVALENTNÍ HLADINU AKUSTICKÉHO TLAKU | 76 |
| 6 | VHODNOST POUŽITÍ NAVRŽENÉ METODIKY | 79 |
| 7 | ZÁVĚR | 81 |
| 8 | POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE | 82 |
| 9 | PŘÍLOHY | 86 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|---|----|
| Tabulka 1 Korekce hlukové zátěže dle nařízení vlády [16]..... | 38 |
| Tabulka 2 Souhrnné údaje o měření (definice vrchních krytů níže v textu)..... | 52 |
| Tabulka 4 Naměřené hodnoty - první měření (18.3. 10:00 hodin)..... | 53 |
| Tabulka 5 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20 °C (18.3. 10:00 h)..... | 54 |
| Tabulka 6 Naměřené hodnoty - druhé měření (18.3. 10:20 h)..... | 54 |
| Tabulka 7 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20 °C (18.3. 10:20 h)..... | 55 |
| Tabulka 8 Naměřené hodnoty - třetí měření (18.3. 10:40 h)..... | 55 |
| Tabulka 9 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20 °C (18. 3. 10:40 h)..... | 56 |
| Tabulka 10 Naměřené hodnoty (17. 4. 13:20 h)..... | 57 |
| Tabulka 11 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20 °C (17. 4. 13:20 h)..... | 57 |
| Tabulka 12 Naměřené hodnoty - první měření (20. 3. 16:00 h)..... | 58 |
| Tabulka 13 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20 °C (20. 3. 16:00 h)..... | 59 |
| Tabulka 14 Naměřené hodnoty - druhé měření (20.3. 16:20 h)..... | 59 |
| Tabulka 15 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20°C (20. 3. 16:20 h)..... | 60 |
| Tabulka 16 Naměřené hodnoty - první měření (20.3. 13:20 h)..... | 61 |
| Tabulka 17 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20 °C (20. 3. 13:20 h)..... | 62 |
| Tabulka 18 Naměřené hodnoty - druhé měření (20. 3. 13:45 h)..... | 62 |
| Tabulka 19 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20 °C (20. 3. 13:45 h)..... | 62 |
| Tabulka 20 Naměřené hodnoty - třetí měření (20. 3. 14:55 h)..... | 63 |
| Tabulka 21 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20 °C (20. 3. 14:55 h)..... | 63 |
| Tabulka 22 Naměřené hodnoty - první měření (17. 4. 14:10 h)..... | 64 |
| Tabulka 23 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20 °C (17. 4. 14:10 h)..... | 64 |
| Tabulka 24 Naměřené hodnoty - druhé měření (17. 4. 14:30 h)..... | 65 |
| Tabulka 25 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20 °C (17. 4. 14:30 h)..... | 65 |
| Tabulka 26 Naměřené hodnoty - první měření (20. 3. 14:10 h)..... | 66 |
| Tabulka 27 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20 °C (20. 3. - 14:10 h)..... | 67 |
| Tabulka 28 Naměřené hodnoty - druhé měření (20. 3. 14:30 h)..... | 67 |
| Tabulka 29 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20 °C (20. 3. 14:30 h)..... | 68 |
| Tabulka 30 Naměřené hodnoty - první měření (17. 4. 14:50 h)..... | 68 |
| Tabulka 31 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20 °C (17. 4. 14:50 h)..... | 69 |
| Tabulka 32 Naměřené hodnoty - druhé měření (17. 4. 15:15 h)..... | 69 |
| Tabulka 33 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20 °C (17. 4. 15:15 h)..... | 70 |

| | |
|--|----|
| Tabulka 34 Naměřené hodnoty (20. 3. 15:30 h) | 71 |
| Tabulka 35 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20 °C (20. 3. 15:30 h) | 72 |
| Tabulka 35 Naměřené hladiny L_{Amaxp} a L_{Aeqp} | 75 |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| Obrázek 1 Vztah mezi hodnotami akustického tlaku v Pa a dB [1] | 17 |
| Obrázek 2 Oblast slyšitelných zvuků [1] | 19 |
| Obrázek 3 Šíření zvukové vlny, vlnoplocha a zvukový paprsek [6] | 23 |
| Obrázek 4 Znázornění Dopplerova efektu [11] | 25 |
| Obrázek 5 Prvky hladinové analýzy [11] | 28 |
| Obrázek 6 Požadavky týkající se nepřítomnosti odrazivých nebo stínících svodidel [19] | 43 |
| Obrázek 7 Tabule měření rychlosti na pozemní komunikaci - ul. Poděbradská Pardubice (foto autor)..... | 44 |
| Obrázek 8 Umístění mikrofonu [19]..... | 45 |
| Obrázek 9 Stanoviště č. 1 (foto autor) | 50 |
| Obrázek 10 Stanoviště č. 2 (foto autor) | 50 |
| Obrázek 11 Stanoviště č. 3 (foto autor) | 50 |
| Obrázek 12 Stanoviště č. 4 (foto autor) | 50 |
| Obrázek 13 Stanoviště č. 5 (foto autor) | 50 |
| Obrázek 14 Stanoviště č. 5 (foto autor) | 50 |
| Obrázek 15 Měřicí přístroj Mediator 2238 – zobrazené hodnoty akustického tlaku (foto autor) | 51 |
| Obrázek 16 Vrchní kryt vozovky, ul. Poděbradská, Pardubice (foto autor)..... | 66 |

SEZNAM GRAFŮ

| | |
|--|----|
| Graf 1 Naměřené hodnoty - první měření (18.3. 10:00 hodin)..... | 54 |
| Graf 2 Naměřené hodnoty - druhé měření (18.3. 10:20 h) | 55 |
| Graf 3 Naměřené hodnoty - třetí měření (18. 3. 10:40 h)..... | 56 |
| Graf 4 Naměřené hodnoty (17. 4. 13:20 h)..... | 57 |
| Graf 5 Naměřené hodnoty - první měření (20. 3. 16:00 h)..... | 59 |
| Graf 6 Naměřené hodnoty - druhé měření (20.3. 16:20 h) | 60 |
| Graf 7 Naměřené hodnoty - první měření (20.3. 13:20 h)..... | 61 |
| Graf 8 Naměřené hodnoty - druhé měření (20. 3. 13:45 h) | 62 |
| Graf 9 Naměřené hodnoty - třetí měření (20. 3. 14:55 h)..... | 63 |
| Graf 10 Naměřené hodnoty - první měření (17. 4. 14:10 h)..... | 64 |
| Graf 11 Naměřené hodnoty - druhé měření (17. 4. 14:30 h) | 65 |
| Graf 12 Naměřené hodnoty - první měření (20. 3. 14:10 h)..... | 67 |
| Graf 13 Naměřené hodnoty - druhé měření (20. 3. 14:30 h) | 68 |
| Graf 14 Naměřené hodnoty - první měření (17. 4. 14:50 h)..... | 69 |
| Graf 15 Naměřené hodnoty - druhé měření (17. 4. 15:15 h) | 70 |
| Graf 16 Naměřené hodnoty (20. 3. 15:30 h)..... | 71 |
| Graf 17 Závislost hladiny LAeqp na intenzitě provozu (po 15min, stanovištích a povrchu)... | 74 |
| Graf 18 Vliv povrchu pozemních komunikací na LAeqp..... | 77 |

Úvod

Ochrana životního prostředí a zejména lidského zdraví musí být prioritou všech obyvatel naší planety. K tomuto cíli by měly směřovat veškeré činnosti prováděné na území jakéhokoliv státu. Bohužel je situace taková, že ne vždy jsou zohledňovány, natož upřednostňovány, zájmy ochrany zdraví a životního prostředí před rychlým rozmachem průmyslu a hospodářství a s tím spojených činností. Aniž bychom si to leckdy uvědomovali, i my sami svým chováním nemalou měrou přispíváme ke zhoršení stávající situace. V postatě se všemi činnostmi lidí v průmyslově rozvinutých zemích je spojena doprava. Ať se jedná o dopravu silniční, kolejovou, námořní (říční) nebo leteckou. Každý z uvedených segmentů dopravy se podílí na produkci emisí hluku. Hluk se s rozvojem dopravy dostává na popředí produkovaných škodlivin. Hluk z dopravy na nás působí dvacet čtyři hodin denně. Cestou do zaměstnání, v zaměstnání, ve volném čase, ale i během spánku. Ačkoli ještě není, ze zdravotního hlediska, problematika negativního působení hluku na populaci tak zpracována a zdokumentována jako produkce emisí výfukových plynů, může dlouhodobým působením na lidském zdraví napáchat srovnatelné škody. Každý den se každý z nás stává „nedobrovolným posluchačem“ produkce škodlivých emisí hluku. K odhalení takových nežádoucích vlivů a zdokumentování závažnosti vzniklé situace slouží prováděná měření hluku.

Tato práce je tedy zaměřena na zjišťování emisí hluku v okolí pozemních komunikací. Počáteční kapitoly jsou věnovány obecným definicím hluku, sumarizaci již zdokumentovaných skutečností a popisu možných negativních vlivů hluku na lidský organismus. Dále na toto navazuje přehled národní legislativy, z části vyplývající z legislativy Evropské unie (je tedy zřejmé, že problematika hluku je nadnárodní a emise hluku neznají hranic). Následně se zaměřím na návrh jednoduché metodiky, pomocí které by bylo možné provést rychlá a důvěryhodná měření v lokalitách s velkým vlivem hluku z provozu na pozemních komunikacích. Navržená metodika a podle ní realizovaná měření by mohla přispět ke zlepšení zmapování reálné hlukové zátěže obyvatel v rámci ČR.

Experimentální část práce je zaměřena na ověření navržené metodiky s realizovaným měřením hluku na pozemní komunikaci procházející centrem města Pardubice. Následně budou provedena vyhodnocení naměřených hodnot při dodržení podmínek návrhu výše uvedené metodiky. Na základě vyhodnocení výsledků z měření se vyhodnotí vhodnost navržené metodiky a závěrem bude konstatováno, zda a za jakých podmínek je navržená

metodika vhodná pro monitoring hlukové zátěže v okolí pozemních komunikací, případně jako jeden z podkladů pro projektanty nových silničních komunikací, správce stávajících silničních komunikací a další dotčené orgány státní správy.

1 Základní teorie měření hluku

Úvodní kapitola je věnována základním definicím a zákonitostem šíření zvuků a jejich vnímání lidským sluchem. **Obecně lze za hluk požadovat jakýkoliv rušivý zvuk.** Proto budu v následujícím textu užívat obojí označení (hluk/zvuk). V počátku je potřeba si uvědomit, že šíření zvuku, ač je poměrně jednoznačně teoreticky definovatelné, má v reálném prostředí svá specifika. Jedním z hlavních specifíků je rozdílné vnímání lidským sluchem v závislosti na citlivosti sluchu jedince a jeho psychické i fyzické pohodě. Dalšími ovlivňujícími faktory šíření hluku je okolní prostředí, denní a noční doba, povětrnostní podmínky, teplota prostředí, déšť a řada dalších. Abychom dosáhli porovnatelných závěrů v hodnocení hlukové zátěže, provádějí se na daných místech, za daných podmínek, měření hluku (zvuku). Měření se provádí speciálními zvukoměry, které zaznamenávají zvuk v třetinooktávovém pásmu. Toto pásmo je nejvíce vnímané lidským sluchem.

1.1 Základní definice zvuku

Zvuk je běžnou součástí každodenního života a působí na každého jedince, nacházejícího se v jakémkoliv prostředí. Zvuk je základním dorozumívacím a komunikačním prostředkem mezi lidmi. Zvuk může působit příznivě na lidský organizmus, ale zároveň může působit škodlivě. Pokud je zvuk vnímán pozitivně (například poslech hudby, mluvené slovo ...), hovoříme o zvuku. Jakmile však zvuk přesáhne ve vnímání určitou mez, lze hovořit o rušivém zvuku – hluku. Hranice mezi příjemným a rušivým zvukem nelze nijak určit či vypočítat. V tomto ohledu záleží na každém jedinci. Pro jednoho člověka příjemný zvuk může být pro jiného obtěžující až nesnesitelný, i když ani z daleka nepřesahuje limitní hodnoty. Hluk je také definován jako zvuk s nepříjemným, rušivým nebo škodlivým účinkem na lidský organizmus, který může zapříčinit vznik celé řady chorob. Dalším negativním faktorem spojeným se šířením zvuku je skutečnost, že zvuk působí nepřetržitě každý den v jakoukoli denní i noční dobu. Z uvedeného je patrné, že posuzování rušení hlukem je velmi složité a je obtížné dojít k objektivnímu vyhodnocení rušivých vlivů. Ani z právního hlediska není definice hluku nijak jednoduchá a měla by zahrnovat všechny negativní aspekty působení hluku. Z hlediska platného práva tak činí souhrn jednotlivých právních předpisů. Ze souhrnu právních předpisů je hluk definován jako zvuk, který člověka poškozuje, ruší nebo obtěžuje. Budeme-li uvažovat vliv hluku v městských aglomeracích, dojdeme k závěru, že více než 90 % hluku si vytváří člověk sám svojí činností.

Hlavními zdroji hluku produkovanými lidskou činností jsou:

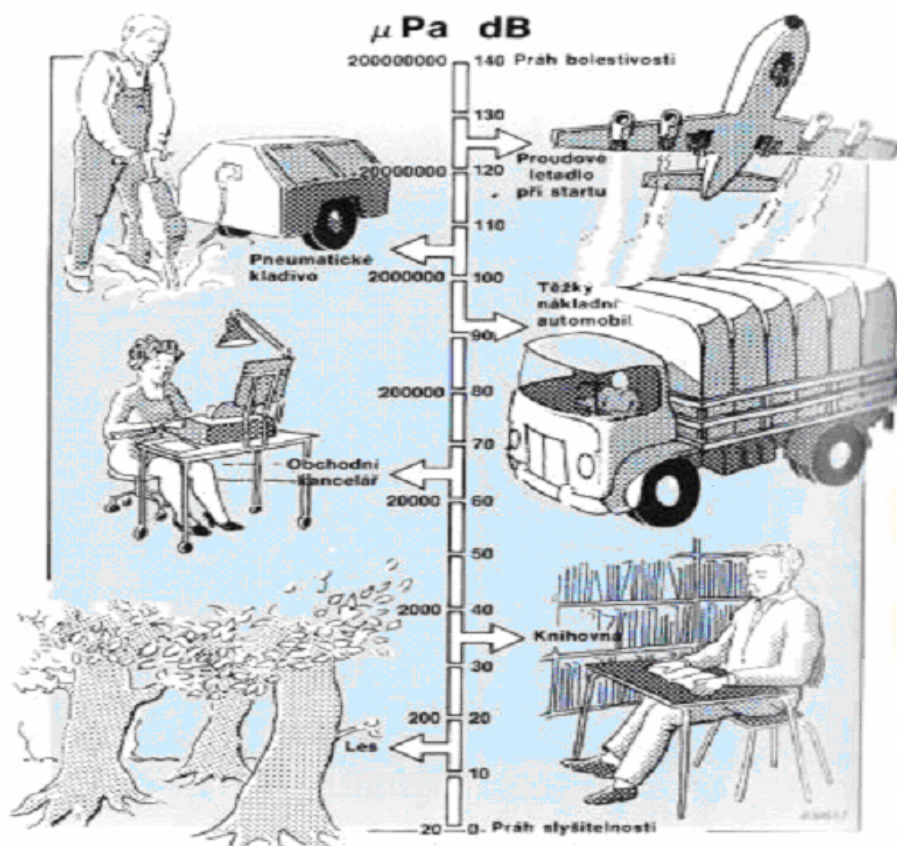
- hluk z dopravy (automobilová, kolejová a letecká doprava, integrovaný záchranný systém...)
- hluk produkovaný v pracovním prostředí (ruční nářadí, stroje ve stavebnictví, strojní průmysl, doly, zpracovatelský průmysl, technická zařízení budov, objekty infrastruktury měst a obcí...)
- hluk související s bydlením (technická zařízení budov, činnosti osob v domech, domácí spotřebiče...)
- hluk související s trávením volného času (sportoviště/sportovní zařízení, kulturní a společenské akce, individuální akce...). [3]

Na druhou stranu má zvuk také svá další využití. O využití zvuku lze hovořit zejména ve spektrech mimo slyšitelnost lidským uchem, kdy je nazýván ultrazvukem (pokud překračuje horní hranici slyšitelnosti) nebo infrazvukem (překračuje dolní mez slyšitelnosti). Ultrazvuk se využívá v oblasti technické diagnostiky k odhalení vnitřních vad výrobků zejména tam, kde je s vadou výrobku spojeno velké bezpečnostní riziko. Takto jsou kontrolována dvojkolí železničních vozů. Uplatnění nachází ultrazvuk i ve zdravotnictví, při diagnostice vnitřních orgánů těla (břicha, ledvin...). Infrazvuk není průmyslově využíván. *I když člověk infrazvuk neslyší, je velmi nebezpečný. Při malých dávkách pociťuje člověk nepříjemné vibrace, nevolnost a závratě. Při větších dávkách může způsobit perforaci kochleární membrány nebo infarkt.* [4] Využití vlivů působení infrazvuku zvažovala armáda.

Zvuk je z hlediska vnímání člověkem, rozdělen do dvou základních směrů. Do slyšitelného spektra a spektra mimo vnímání lidským sluchem, přičemž pro slyšitelnost či neslyšitelnost zvuku je rozhodující frekvence a pro vnímání „hlasitosti“ je rozhodující intenzita. Aby lidský sluch zaznamenal zvuk, musí dojít k dostatečně rychlé změně tlaku vzduchu za určitou jednotku času. Tlak vzduchu, který je schopen vychýlit ušní bubínek tak, aby došlo k vnímání zvuku je 20 mikro Pascalů [μPa]. Počet změn za jednotku času určuje kmitočet (frekvence). Jednotkou kmitočtu je jeden Hertz [Hz]. Hodnota kmitočtového rozsahu vnímání zvuku je u průměrného zdravého člověka 20 Hz až 20 kHz. S narůstajícím věkem člověka se horní hranice vnímání sluchem snižuje na cca 15 kHz. Aby lidský sluch dokázal vnímat zvuk, musí dojít ke změně tlaku alespoň 20krát za sekundu a maximálně 20.000krát za sekundu. Změny tlaku se šíří prostředím rychlostí zvuku, která činí 344m/s. Z podílu rychlosti šíření zvuku a kmitočtu se dá vypočítat vlnová délka. Vlnová délka se liší podle toho, ve které části zvukového spektra se nachází. Zvuková délka vlny s kmitočtem 20 Hz má délku 17m. Délka

vlny na opačném konci zvukového spektra má délku zhruba 2 cm. Amplituda změn akustického tlaku je subjektivně vnímaná jako hlasitost zvuku. Různou frekvenci tlakových změn vnímáme jako výšku tónu.

Obecně známou jednotkou, kterou lze popsat hodnotu zvuku je Decibel (dB). Decibel popisuje výše zmiňovanou intenzitu zvuku. Na obrázku č. 1 jsou pro představu znázorněny různé druhy činností a jim odpovídající hluková zátěž.



Obrázek 1 Vztah mezi hodnotami akustického tlaku v Pa a dB [1]

Abychom na jednoduchém příkladu pochopili, jak složité je vnímání zvuků člověkem pokud se zaměříme například na hladinu prahu bolestivosti, zjistíme, že tato hodnota se v odborné literatuře liší v rozmezí od 125 dB až po 140 dB. Práh bolestivosti znamená, že vnímání zvuku se mění v pocit vnímání bolesti. Ačkoliv se spodní hranicí slyšitelnosti odborná literatura víceméně nezabývá, rozdílnost ve vnímání lidským sluchem bude podobná jako u horní hranice.

K vyjádření jednotky dB slouží relativní logaritmická veličina - hladina akustického tlaku (L). Akustický tlak:

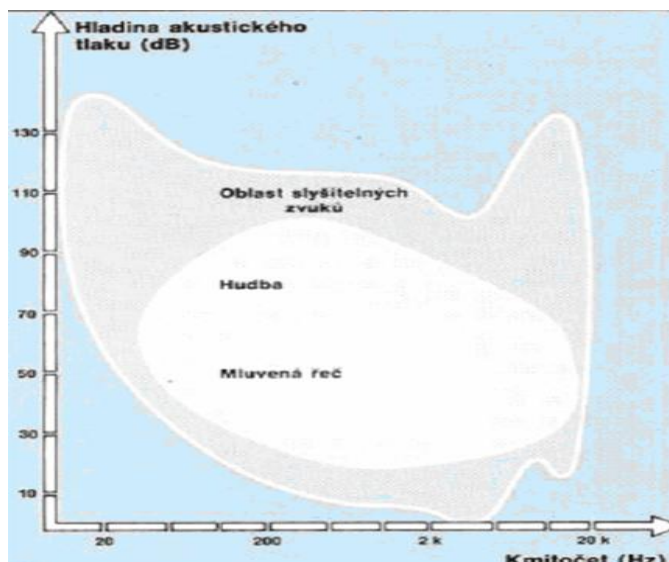
$$L_{pA} = 10 \log \left(\frac{p_A}{p_0} \right)^2, \quad (1.1) \quad [6]$$

- p (změřená či okamžitá hodnota) [Pa]
- p_0 (vztažná – referenční hodnota) [Pa], $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa
 - Na prahu slyšitelnosti je $L_p = 0$ dB
 - Na prahu bolestivosti je $L_p = 130$ dB

případně lze použít upravenou zjednodušenou rovnici:

$$L_p = 20 \cdot \log p + 94 \quad [\text{dB}] \quad (1.2) \quad [6]$$

Decibel je pomocná (relativní) jednotka, která lépe dokáže vystihnout vnímání lidského sluchu. Posuzováním závislostí mezi fyzikálními veličinami a subjektivními vjemy se zabývá Fyzikální akustika. Podle Fechner - Weberova zákona je smyslové vnímání zvuku přímo úměrné logaritmu podnětu (akustickému tlaku). Aby se naměřené hodnoty více blížily skutečnému vjemu lidského ucha, je nutné použít tzv. váhové filtry. Nejrozšířenějšími jsou váhové filtry A, B a C. Moderní přístroje již obsahují účinné korekce podobné váhovým filtrům. Pro nejširší škálu vjemů je nejvíc vyhovující korekce blížící se váhovému filtru typu A. Lidské ucho průměrného jedince vnímá změnu zvuku vyšší než cca 3 dB. Někteří velmi citliví jedinci mohou vnímat změnu intenzity zvuku již od 1dB. Jako jednoznačně pozorovatelnou změnu hlasitosti lze označit změnu o 5 dB, dvojnásobný vjem změny se blíží 10 dB. Subjektivní vnímání hluku je způsobeno také tím, že v každé oblasti slyšitelného spektra je citlivost lidského sluchu různá. Jak je uvedeno na obrázku č. 2, citlivost vnímání zvuků je rozdělena do tří oblastí, kdy nejcitlivěji reaguje lidský sluch v oblasti mluvené řeči a dále se jeho citlivost směrem k hranicím slyšitelného spektra snižuje.



Obrázek 2 Oblast slyšitelných zvuků [1]

1.1.1 Negativní projevy působení hluku

Skutečnost, že nadměrný hluk působí negativně na lidský organismus nelze zpochybnit. Každý člověk se ve svém životě setkal s hlukem, který ho přinejmenším obtěžoval. Málokdo si však uvědomuje, že ačkoli může jedinec zvuk/hluk vnímat sluchem jako „neškodný“, přesto mohou být ostatní orgány v těle takovým hlukem poškozovány. Několik příkladů poškození lidských orgánů – nejen sluchových, je zmíněno dále. Ve vnímání zvuků lidským sluchem je jedním z velmi významných faktorů doba působení zvuku na lidský organismus. Zvuk na lidský organismus působí nepřetržitě. Nevýhodou lidského sluchu, oproti jiným smyslovým orgánům, je neexistence možnosti „odpočinku“ jako když například zavřete oči. Sluchové orgány člověka vnímají zvuk ve stavu bdělém i ve spánku. Člověk zatěžuje sluch vlastní produkcí zvukových vjemů nebo na sluch působí cizí zdroje hluku. Obecně však platí, že čím vyšší hluková zátěž, tím kratší dobu by měl být organismus těmto negativním vlivům vystaven. Dlouhodobé působení zvuku může trvale poškodit citlivost sluchových orgánů člověka (přičemž krátkodobé působení s dobou expozice < 1s nezanechá prakticky žádné stopy). U člověka pak dochází ke ztrátě přísunu informací, což se nejvíce projevuje v oblasti spektra mluvené řeči. To samozřejmě postiženého jedince velmi limituje a leckdy mu i znemožňuje výkon některých běžných činností a komplikuje sociální kontakt. Přestože lékařská věda je na velmi vysoké úrovni, v současné době nebyla zatím vyvinuta účinná metoda vedoucí k úplné obnově trvale poškozených částí sluchového orgánu. Sluchový orgán člověka patří k nejsložitějším orgánům v lidském těle (jeden z pěti základních lidských smyslů). Nejen že se doposud nepodařilo vyvinout plnohodnotnou náhradu sluchového

orgánu, ale ani léčba poruch sluchu není jednoduchou záležitostí s jednoznačnými výsledky. Náhrady v podobě Kochleárních implantátů, nahrazujících funkci hlemýždě ve sluchové soustavě člověka, jsou pouze dílčím úspěchem, jelikož sluchový orgán je navázán na nervovou soustavu člověka, zajišťující přenos zvukového vjemu do mozku. Při poruše nebo narušení takového spojení není člověk schopen správně zvuky vnímat a rozeznávat. Negativní účinky hluku nezahrnují pouze poškození sluchových orgánů, ať již dočasné nebo trvalé. Jako nejzásadnější negativní účinky spojené s dlouhodobou expozicí hluku se u citlivých jedinců mohou vyvinout trvalé následky na kardiovaskulárním systému, jako je např. hypertenze (vysoký krevní tlak) a ischemická choroba srdeční (snížení průtoku krve srdečním svalem). Negativní vliv hluku na kardiovaskulární systém byl prokázán v řadě epidemiologických a klinických studií, zejména u populace žijící v oblastech kolem letišť a hlučných komunikací. Zásadní spojitost s negativními účinky hluku je přisuzována zvýšenému výskytu vředových onemocnění žaludku a dvanácterníku. Dále byly zaznamenány vyšší výskyty cukrovky a poruch imunitního systému.

Obecný závěr WHO (Světová zdravotnická organizace - World Health Organization) je, že tyto účinky jsou spojeny s dlouhodobou expozicí na hladině hluku v rozmezí 55 – 70 dB a více, což je nejběžnější hladina hluku z dopravy. Dlouhodobá expozice hluku nad 65 dB je lékaři posuzována jako dlouhodobě nesnesitelná s prokázáním vážných následků na zdraví člověka. Z výzkumu provedeným Evropskou komisí v roce 1996 vyplývá, že 20 % obyvatel Evropské unie (což je zhruba 80 mil.) je trvale vystaveno průměrným denním hladinám hluku vyšším než 65 dB. V kontextu výše uvedených informací je tato zpráva alarmující. Hladiny hluku v rozmezí 55 dB – 65 dB působí na dalších cca 170 milionů obyvatel Evropské unie. Odhady některých odborníků uvažují, vzhledem k rozvoji průmyslu a dopravy, s nárůstem hlukové zátěže o 1 dB za rok.

Negativní pocity člověka způsobené expozicí hluku lze rozdělit na čtyři okruhy:

- 1) rušení – hluk ruší při činnostech (práce, řečová komunikace, spánek, odpočinek...)
- 2) rozmrzelost – psychický stav vzniklý nuceným přijímáním zvuků, ke kterým má jedinec zamítavý postoj
- 3) hlučnost – subjektivní pocit negativního vnímání hluku v daném prostředí
- 4) obtěžování – nepřijatelné ovlivňování životního prostředí či osobních práv skupiny/jedince hlukem

Zejména rozmrzelost a obtěžování je závislé na příjemci zvukového vjemu, na jeho věku, momentálním zdravotním stavu, denní/noční době, ročnímu období atd. Sluchový orgán člověka, stejně jako čichový, způsobuje to, že po nějaké době přestáváme zvuky vnímat. Přesto na organismus působí dále v nezměněné podobě. V tomto tkví další z nebezpečných vlivů hluku na lidský organismus. Abychom eliminovali tyto negativní vlivy při posuzování působení hluku na člověka (populaci), jsou používány různé metody posuzování. Jednou z metod je výpočet ekvivalentní hladiny hluku a dalších pomocných deskriptorů. [7], [9]

1.1.2 Opatření proti působení hluku

Abychom předešli negativnímu působení hluku na lidskou populaci (hluk samozřejmě působí také na zvířata), je nutné provádět opatření ve všech segmentech lidských činností směřující ke snižování hlukové zátěže.

Opatření mohou být:

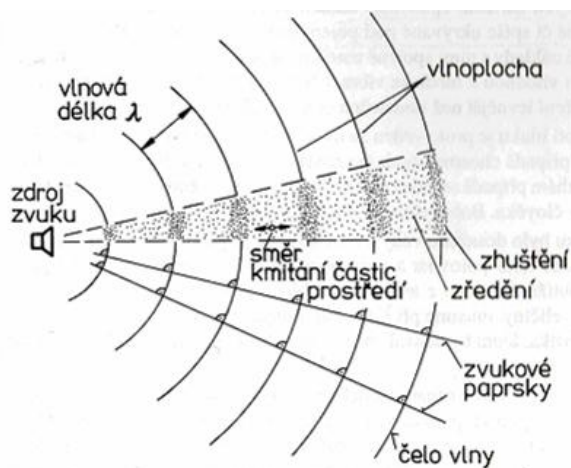
- preventivní (vytváření hlukových studií, navrhování dopravních cest mimo obytnou zástavbu...)
- legislativní (zprůšňování zákonných limitů pro nové výrobky, stavby a činnosti)
- technická
 - o u nových staveb a výrobků (používat nejlepší dostupné technologie a materiály s ohledem na produkci či působení hluku)
 - o u stávajících staveb a výrobků (snižovat produkci hluku, zvyšovat protihlukovou izolaci)

V rozvinutých zemích Evropy má největší vliv na hlučnost ve venkovním prostředí doprava. Jednoznačně nejvyšší úroveň hlučnosti dosahuje doprava letecká. Zejména při vzletu se úroveň hluku pohybuje na hranici bolesti. Proto jsou nově budovaná letiště situována do míst dostatečně vzdálených od bytové zástavby. V případě bližší bytové zástavby jsou provedena protihluková opatření v podobě protihlukových stěn, valů, a na stávajících bytových domech například osazení oken s vyšším hlukovým útlumem. Dalším krokem je tlak na snižování hlučnosti letadel a s tím spojené sankce za překročení stanovených limitů. Kolejová doprava nedosahuje tak vysokých limitů akustického tlaku, ale přesto je v obytných aglomeracích nezanedbatelnou složkou hlukové zátěže. V obydlených oblastech jsou jako ochrana před hlukem budovány taktéž protihlukové stěny, valy a zábrany. Stejně jako u letecké dopravy je na výrobce kolejových vozidel vyvíjen tlak, aby používali technologie

a materiály pro snížení hlučnosti. Tento požadavek platí také pro železniční svršek a spodek. Negativními účinky hluku spojenými s vodní dopravou, se v podmínkách naší republiky není potřeba hlouběji zabývat. Podíl vodní dopravy v ČR na znečištění okolí hlukem je zanedbatelný. Segment dopravy, jehož vliv na nemalou část obyvatel působí každodenně, je doprava silniční. Zaměříme-li se na rychlostní silnice a komunikace dálničního typu, můžeme zde pozorovat úpravy v podobě protihlukových zábran a valů. Nejčastější formou protihlukových opatření jsou betonové zábrany, ocelové konstrukce s výplní z průhledného plastu a také přírodní zastínění zelení. Nejlepším řešením je vedení dopravní komunikace v zářezu, pokud to členění okolního terénu umožňuje. V obydlených oblastech však pro uvedené ochranné prvky není prostor. Proto se nejčastěji provádějí již zmiňované úpravy staveb v podobě osazení oken s vyšším hlukovým útlumem. V místech městských okruhů se osvědčilo opatření v podobě snížení rychlosti (z 80 km/h na 50 km/h). V poslední době se na nově rekonstruované úseky frekventovaných silnic ve městech pokládá tzv. „tichý kryt“ komunikace. Této variantě ochrany proti hluku se podrobněji věnuje experimentální část této práce. V neposlední řadě do procesu snižování hluku z dopravy vstupuje opět legislativa platná pro výrobce silničních vozidel a provozovatele, jejíž snahou je snižování emisí hluku. Výše je uvedeno několik nejčastějších alternativ pro snižování hluku z dopravy. Výčet opatření není úplný, ale společným ukazatelem je nedostatek prostoru pro protihlukové zábrany a vysoké finanční náklady na tyto a další úpravy. Neustále se tak hledají varianty největší možné redukce hlukové zátěže za co nejnižší finanční náklady.

1.2 Šíření zvuku

Zvuk se šíří v pružném prostředí pomocí vlnění, viz obr. č. 3. Pružným prostředím je vzduch, voda, plyny, konstrukce budov aj. Vlny šířící se v plynech a kapalinách postupují podélně, zatím co v pevném prostředí podélně i příčně. Vlnění si lze představit v tzv. vlnoplochách podobajících se vlnám na vodní hladině. Ve skutečnosti se však zvuk od zdroje šíří kulovou vlnou, nazývanou „pulzující koule“ [6]



Obrázek 3 Šíření zvukové vlny, vlnoplocha a zvukový paprsek [6]

Vlny se šíří s počátkem u zdroje hluku všemi směry. Vlnění, způsobené změnou tlaku, působí na vše v jeho dosahu, ať se jedná o osoby, zvířata, stavby. Negativní působení může páchat škody i na poměrně velké vzdálenosti desítek či stovek metrů. V extrémních případech byl zaznamenán škodlivý vliv šíření hlukových vln i do vzdálenosti několika kilometrů (zvuková vlna spojená s výbuchem v podniku Synthesia Pardubice).

Vlnění:

- postupné
 - podélné (*zvukové vlnění*)
směr pohybu částic je shodný se směrem šíření vlny
 - příčné (*kámen ve vodě*)
směr kmitání média je kolmý na směr vlny, která se médiem šíří
- stojaté
 - podélné (dechové nástroje)
 - příčné (strunné nástroje)

Nejjednodušším periodickým signálem je sinusoida. S tímto „ideálním“ signálem se v reálném prostředí víceméně nesetkáme. Při přechodu různým typem prostředí dochází k lomu zvukových paprsků, některé jednorázové signály mají neperiodický charakter (bouchnutí), dochází k odrazu zvukových vln a v neposlední řadě se do zvukového spektra mísí vliv akustického pozadí. Téměř vždy se tak jedná o složený signál. Ten rozkládáme na základní složku a na složky vyšší harmonické.

Složky periodického pohybu:

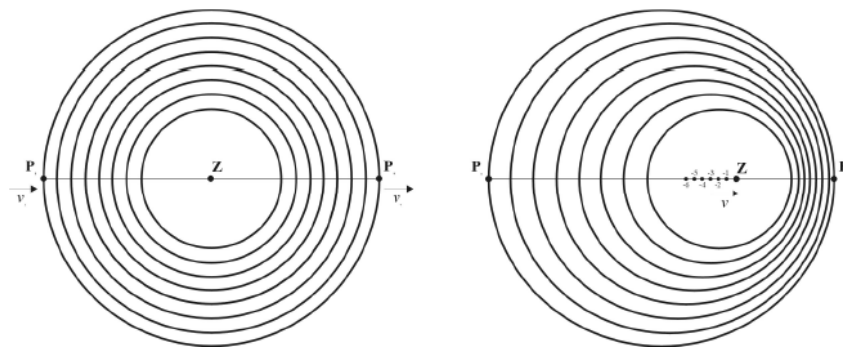
- Perioda T [s] (doba jednoho kmitu, během které bod dospěje do stejné polohy/fáze)
- Frekvence [Hz] (počet kmitu za sekundu)
- Amplituda A [dB] (okamžitá amplituda, maximální amplituda)
- Efektivní amplituda (průměrná výchylka tlaku vzduchu, efektivní tlak)
- Fáze [$^{\circ}$] (počáteční fáze, fázový posun)

Periodický pohyb popisující šíření zvuku v prostředí je definován několika základními fyzikálními zákony.

Fourierův teorém definuje pohyb periodických vln - každá periodická vlna je složena z určitého množství sin a cos složek. Dílčí vlny mohou být získány právě pomocí Fourierovy transformace, jejímž výsledkem je spektrum zvuku.

- periodická vlna je pravidelně se opakující (sinusová / harmonická i složená)
- u řeči hovoříme o kvaziperiodických vlnách (cykly nejsou zcela totožné, dochází k mírným záměnám f a A)
- harmonický vztah definuje frekvenci všech složek, je násobkem frekvence složky s nejnižší frekvencí
- nejnižší harmonická složka je základní frekvence, F_0
- ostatní harmonické složky se nazývají vyšší harmonické
- základní frekvence je frekvence opakování celé složené vlny. [11]

Dopplerův efekt popisuje vzájemný pohyb zdroje zvuku a pozorovatele. Pozorovatel vnímá zvuk jiné frekvence, než je skutečná frekvence kmitání zdroje zvuku. Člověk má možnost pozorovat Dopplerův efekt například při průjezdu nákladního vozidla – obr. 4 níže. V případě, že vozidlo, označené „Z“ stojí na místě a pozorovatelé „P“ jsou od vozidla stejně vzdáleni, k oběma dorazí stejný zvukový vjem za stejnou dobu. Jakmile se dá vozidlo do pohybu směrem k jednomu z pozorovatelů, s přibližováním vozidla dochází ke zkrácení vlnové délky a vnímání vyšší frekvence. Pozorovatel, od kterého se vozidlo vzdaluje, vnímá opačný efekt.



Obrázek 4 Znázornění Dopplerova efektu [11]

1.2.1 Zdroje hluku v silniční dopravě

Zdroji hluku v silniční dopravě jsou zejména:

- hnací jednotka vozidla a s ní související části
- pneumatiky – styk s vozovkou
- aerodynamický tvar vozidla
- karoserie vozidla
- brzdy
- náklad

Dominance zdrojů hluku v silniční dopravě je různá v závislosti na rychlosti, kterou se vozidlo pohybuje. V rychlostech do 40 km/h u osobních automobilů a do cca 65 km/h u nákladních automobilů je hlavní složkou hluku hnací jednotka. Toto platí zejména u spalovacích motorů. Ve vyšších rychlostech se hlavním zdrojem hluku stávají převážně pneumatiky a jejich odvalování po vozovce. Při rychlostech přesahujících 200 km/h se dominantní složkou hluku stává aerodynamický hluk - tedy proudění vzduchu kolem karoserie vozidla. Nezanedbatelnou roli v zatěžování okolí hlukem ze silniční dopravy hraje také kvalita vozovky, její příčný i podélný sklon a struktura povrchu.

1.3 Měření hluku

Měřením hluku získáváme přesnější údaje, než jaké je člověk schopen svým sluchem zaznamenat a eliminujeme rozdíly v subjektivním vnímání hluku. Měříme tedy hladinu akustického tlaku vztaženou k referenční hodnotě $2 \cdot 10^{-5}$ Pa. Takto měříme dvě zásadní veličiny, kterými jsou akustické emise a akustické imise.

Akustické emise jsou vyzařovány stroji, zařízeními, technologickými celky atd. Do skupiny producentů akustických emisí patří dopravní prostředky. Akustické emise jsou měřeny na pracovištích, v místech pohybu osob a všude tam, kde může na osoby hluk působit. Jde tedy o měření hluku prostředí (pracovní/mimopracovní). Obě složky působení hluku (emise, imise) významně ovlivňují vnímání hluku z dopravy.

1.3.1 Veličiny charakterizující akustické emise

Přehled veličin určujících akustické emise strojů a technologických zařízení:

Hladina akustického tlaku A , L_{pA} , ve vzdálenosti $d = 1$ m od obrysu zkoušeného stroje nebo v referenční vzdálenosti $R = 1.3$ m resp. 10 m od myšleného centra vyzařování zvuku; L_{pA} :

$$L_{pA} = 10 \log \left(\frac{p_A}{p_0} \right)^2, \quad (1.3) \quad [5]$$

- p_A efektivní hodnota akustického tlaku v dané vzdálenosti od zdroje hluku při použití filtru A zvukoměru [Pa]

- $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa referenční hodnota akustického tlaku

Hladina akustického tlaku v kmitočtovém pásmu ve vzdálenosti $d = 1$ m nebo $R = 1.3$ resp. 10 m od zkoušeného stroje; $L_{p,\Delta f}$

$$L_{p,\Delta f} = 10 \log \left(\frac{p}{p_0} \right)^2, \quad (1.4) \quad [5]$$

- p efektivní hodnota akustického tlaku v příslušném kmitočtovém pásmu Δf [Pa]

Hladina akustického výkonu A ; L_{WA} :

$$L_{WA} = 10 \log \frac{P_A}{P_0}, \quad (1.5) \quad [5]$$

- P_A akustický výkon stanovovaný při použití váhového filtru A

- $P_0 = 10^{-12}$ W referenční hodnota akustického výkonu

Hladina akustického výkonu v kmitočtovém pásmu $L_{W, \Delta f}$:

$$L_{W, \Delta f} = 10 \log \frac{P}{P_0}, \quad (1.6) \quad [5]$$

- P akustický výkon v příslušném kmitočtovém pásmu Δf [W]

1.3.2 Veličiny charakterizující akustické imise

Přehled veličin určujících hluk prostředí:

Hladina akustického tlaku A ; L_{pA} :

$$L_{pA} = 10 \log \left(\frac{p_A}{p_0} \right)^2, \quad (1.7) \quad [5]$$

- p_A efektivní hodnota akustického tlaku v dané vzdálenosti a místě od zdroje hluku při použití filtru A zvukoměru [Pa]

- $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa referenční hodnota akustického tlaku

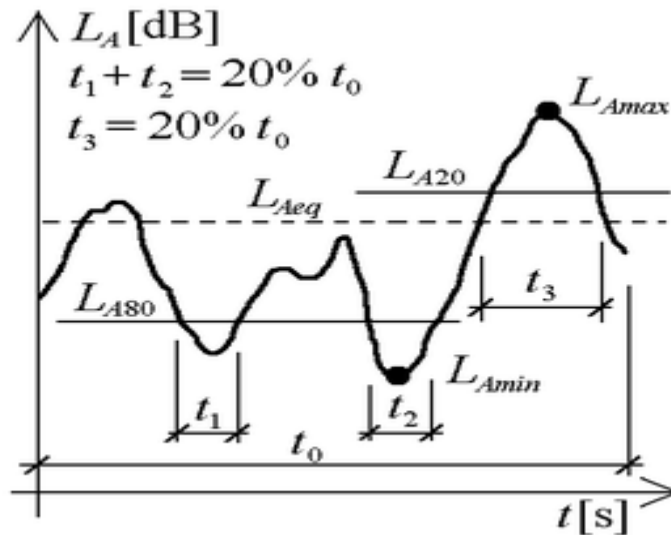
Ekvivalentní hladina akustického tlaku A ; $L_{Aeq, T}$:

$$L_{Aeq, T} = 10 \log \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A(t)^2}{p_0^2} dt \right], \quad (1.8) \quad [5]$$

- $p_A^{(t)}$ okamžitá hodnota akustického tlaku A [Pa]

- $t_2 - t_1 = T$ časový interval, pro nějž je určena ekvivalentní hladina [s]

Pokud je prováděno měření akustického tlaku, jehož hladina je silně kolísavá, musí se použít řada opakovaných měření v přesně stanoveném časovém intervalu. Z takto naměřených údajů se nechá vypočíst **ekvivalentní hladina akustického tlaku**. Tato vypočtená hodnota, definovaná jednou číselnou hodnotou, je veličina představující hladinu nepřetržitého hluku, stejně nebezpečnou a zdraví škodlivou jako je původní kolísavá hladina akustického tlaku. Grafické znázornění průběhu ekvivalentní hladiny akustického tlaku je na obrázku č. 5. [11]



Obrázek 5 Prvky hladinové analýzy [11]

Další veličiny charakterizující akustické imise:

Hladina akustického tlaku v kmitočtovém pásmu; $L_{p,\Delta f}$:

- hladina akustického tlaku stanovena při použití oktávového, resp. 1/3-oktávového filtru.

Maximální hladina akustického tlaku A; L_{Amax} :

- nejvyšší naměřená hodnota hladiny akustického tlaku A v určeném časovém intervalu.

Minimální hladina akustického tlaku A; L_{Amin} :

- nejnižší naměřená hladina akustického tlaku A v určeném časovém intervalu.

Hladina expozice (SEL); L_{AE} :

$$L_{AE} = 10 \log \left[\frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A(t)^2}{p_0^2} dt \right],$$

(1.9) [5]

- $t_2 - t_1$ měřící časový interval [s]
- $t_0 = 1$ [s] referenční časový interval
- $p_A(t)$ okamžitá hodnota akustického tlaku A v daném místě prostředí [Pa]
- p_0 referenční hodnota akustického tlaku [Pa]

Hladina rušení; L_R :

$$L_R = L_{Aeq,T} + (L_{A1,T} - L_{A90,T}), \quad (1.10) \quad [5]$$

- $L_{Aeq,T}$ ekvivalentní hladina akustického tlaku A [dB]

- $L_{A1,T}; L_{A90,T}$ procentní hladiny [dB]

Dlouhodobá průměrná hladina akustického tlaku A; $L_{Aeq,LT}$:

- průměr pro dlouhodobý časový interval ekvivalentních hladin akustického tlaku A pro řadu referenčních časových intervalů obsažených v dlouhodobém časovém intervalu

$$L_{Aeq,LT} = 10 \log \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0,1(L_{Aeq,T})_i} \right], \quad (1.11) \quad [5]$$

- N počet vzorků retenčního časového intervalu

- $(L_{Aeq,T})_i$ ekv. hladina akustického tlaku A i -tého retenčního intervalu [dB]

Jelikož podstatou této práce je zjišťování působení akustických imisí a jejich měření, nebudu se již dále více zabývat podmínkami měření akustických emisí. Pomocí měření akustických imisí se zjišťují údaje, které jsou významné pro posouzení vlivu hluku na člověka a pro hodnocení akustické kvality prostředí, ve kterém se pohybuje. Hlavními měřenými imisními limity jsou zejména hladina akustického tlaku A – L_{pA} [dB], její časový průběh a podstatnější parametr – je ekvivalentní hladina akustického tlaku A – L_{Aeqp} [dB]. *Při působení zvuku na zdraví má rozhodující vliv celková suma akustické energie, které je jedinec dlouhodobě vystaven. Proto se proměnný zvuk hodnotí veličinou, která je označována symbolem L_{Aeqp} [dB] a nazývá se ekvivalentní hladina akustického tlaku A. Její jednotkou je opět decibel. Ekvivalentní hladina akustického tlaku A se vztahuje vždy jen k určitému časovému intervalu (např. 8 hodin pracovní doby) a je definována jako hladina akustického tlaku zvuku ustáleného, který by měl v daném časovém intervalu energetický obsah stejný jako daný zvuk proměnný a tedy i předpokládané stejné škodlivé účinky. Stanoví se jako energetický průměr z hladin akustického tlaku A vyskytujících se v daném intervalu.* [12]

Výsledky měření nesou obecnou informaci o hlukové situaci v místech pobytu osob. Ty pak lze porovnat s přípustnými hodnotami uvedenými v hygienických předpisech, normách a související legislativou. Dále získané hodnoty můžeme použít ke zhodnocení účinnosti realizovaných opatření ke snížení hluku.

1.3.3 Vlivy prostředí na měření hluku v mimopracovním prostředí

Metody měření akustických imisí se stanovují s ohledem na:

- 1) účel měření
- 2) místo měření (venkovní prostor, uvnitř budovy, pracovní prostředí)
- 3) požadovanou přesnost měření
- 4) dobu trvání hluku
- 5) charakter hluku (časový průběh, kmitočtové složení)
- 6) charakter zvukového pole (pole přímých vln, pole odražených vln)
- 7) hluk pozadí
- 8) fyzikální vlastnosti měřeného prostředí (rychlost větru, teplota, vibrace, elektromagnetické pole apod.) [5]

Vlivy prostředí při měření hluku v mimopracovním prostředí mohou více či méně přesnost výsledků ovlivnit. Níže jsou uvedeny podle míry možného ovlivnění sestupně:

Vítr

Má zásadní vliv na přesnost měření, měření by nemělo probíhat, pokud rychlost větru přesahuje stanovené meze. Ačkoliv vliv proudění větru lze částečně eliminovat použitím speciálního krytu mikrofону, doporučuje se měření při nadlimitních hodnotách rychlosti větru neprovádět (použití krytky mikrofону při rychlosti větru 3 m/s - 5 m/s , nad 5 m/s již měření není vhodné provádět).

Teplota

Ačkoli je většina hlukoměrů konstruována do teplot mezi -10°C až +50°C, má teplota nezanedbatelný vliv na přesnost měření. Pro dosažení požadované přesnosti měření je nutné použít korekci na teplotu okolního vzduchu – viz metodika níže.

Atmosférický tlak

Změny atmosférického tlaku $\pm 10\%$ vykazují změny citlivosti přístroje v rozmezí $\pm 0,2$ dB. K tak výrazným změnám většinou v době měření nedochází (neuvažujeme-li kontinuální několikadenní měření).

Vlhkost

Relativní vlhkost vzduchu nemá obecně zásadní vliv na prováděná měření. Pouze je nutné mikrofón i celý přístroj chránit před deštěm.

Mechanické chvění

Pokud možno, umístění měřicího přístroje je vhodné volit dále od potenciálního zdroje vibrací.

Elektrostatická a magnetická pole

Mají zanedbatelný vliv na přesnost měření.

Hluk pozadí

Hlukem pozadí je naměřená hodnota na hlukoměru, která není vyvolána měřeným hlukem. Výsledky měření jsou spolehlivější s klesající hodnotou hluku pozadí. Pokud nelze zcela eliminovat zdroj hluku pozadí, je nutné provedení korekcí dodatečným výpočtem. Rozdíl mezi hlukem pozadí a měřeným, musí být větší než 4 dB. V případě rozdílu od 4 dB do 6 dB provedeme korekci odpočtem 2 dB z naměřených hodnot. Pokud jsou rozdíly mezi měřenou hodnotou a pozadím hluku mezi 6 dB až 9 dB odečteme 1 dB z naměřených hodnot a při rozdílu 10 dB a více, není nutné provádění korekcí.

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

1.3.4 Protokol o provedeném měření

Nedílnou součástí provádění měření je vypracování odpovídající dokumentace. V tomto případě se jedná o Protokol měření. Ten musí obsahovat všechny náležitosti a skutečnosti v souladu s platnou legislativou a metodickými pokyny.

Protokol musí obsahovat:

- identifikaci instituce provádějící měření vč. jména osob a jejich způsobilosti (např. akreditace, autorizace apod.), popř. identifikace dalších osob účastnících se měření (zástupci objednatele apod.),
- identifikaci objednatele měření,
- datum a dobu měření,
- použité měřicí a výpočtové metody (u standardních se na ně lze pouze odkázat, pokud se vyskytovaly nějaké odchylky nebo byly použity nestandardní metody, je třeba je jednoznačně popsat a zdůvodnit),
- použité přístrojové vybavení (název, typ, výrobní číslo...), podrobnosti o jeho kalibraci a druzích provedených analýz, včetně příslušenství
- identifikace a popis měřeného zdroje (zdrojů) hluku, nejen technické parametry, ale i popis měřené události, popř. činnosti – např. u měření hluku z dopravy se doporučuje uvést souhrnnou hodinovou intenzitu a skladbu dopravního proudu

vztaženou k měřicímu časovému intervalu, podrobné údaje, např. v 15 minutových intervalech, je lépe uvést v příloze protokolu

- umístění měřicích míst a jejich popis
- výsledky všech akustických měření nebo výpočtů hluku, včetně nejistoty, týkající se měřeného zdroje i hluku pozadí (korekce týkající se na hluku pozadí a přepočet na referenční časový interval je možné uvádět v akreditované části protokolu)
- nejistoty a odkaz na postup stanovení nejistoty měření.

Protokol o měření musí dále obsahovat, pokud jsou významné:

- meteorologické podmínky během měření (směr a rychlost větru, relativní vlhkost, teplota vzduchu atd.),
- topografie terénu, popis šíření hluku,
- provozní a zátěžové podmínky zdroje nebo zdrojů,
- referenční a měřicí časové intervaly,
- další významné zdroje hluku, které nebyly předmětem měření.

Mimo protokol se doporučuje uvádět:

- odkaz nebo příslušnou část předpisů stanovujících nejvyšší přípustné hodnoty hluku,
- porovnání výsledných hladin s nejvyššími přípustnými hodnotami hluku,
- interpretace výsledků z akustického hlediska apod. [13]

2 Legislativa pro měření hluku pozemních komunikací

Na měření hluku, stejně jako na ostatní oblasti posuzování a hodnocení vlivů na obyvatelstvo a životní prostředí se vztahuje celá škála legislativních předpisů. V nich jsou uvedeny zejména limitní údaje související se zdravím osob, vlivu na životní prostředí, poškozování majetku apod. O důležitosti takovýchto předpisů svědčí i skutečnost, že právo na ochranu zdraví a životního prostředí je zakotveno v Listině základních práv a svobod (*zákon č. 23/1991 Sb.*).

Ochrana zdraví před hlukem není pouze naší vnitrostátní záležitostí. Legislativa zabývající se hlukem je připravována a tvořena na evropské úrovni. Jedním ze zásadních dokumentů je *Směrnice Evropského parlamentu a Rady Evropské unie č. 2002/49/ES ze dne 25. června 2002 o hodnocení a řízení hluku ve venkovním prostředí.*

2.1 Základní národní legislativa

Za hlavní legislativní prameny v oblasti ochrany proti hluku je možné považovat nařízení vlády č. 272/2011 Sb. ze dne 24. srpna 2011 **o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací** a *zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví, ve znění pozdějších předpisů.*

Dále jsou uvedeny související zákonné, závazné a doporučující předpisy týkající se problematiky šíření hluku z dopravy – zejména silniční:

- zákon č. 100/2001 Sb. ze dne 20. února 2001, o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o posuzování vlivů na životní prostředí), ve znění pozdějších předpisů
- zákon č. 183/2006 Sb. ze dne 14. března 2006 o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), kde je v § 137 „Nezbytné úpravy“, mimo jiné uvedeno:
 - *Stavební úřad může nařídit vlastníku stavby, stavebního pozemku nebo zastavěného stavebního pozemku nezbytné úpravy jimiž se docílí, aby užívání stavby nebo jejího zařízení neohrožovalo životní prostředí, nepřiměřeně neobtěžovalo její uživatele a okolí hlukem, exhalacemi včetně zápachu, otřesy, vibracemi, účinky neionizujícího záření anebo světelným zářením, [14]*
- vyhláška č. 523/2006 Sb. ze dne 21. listopadu 2006, kterou se stanoví mezní hodnoty hlukových ukazatelů, jejich výpočet, základní požadavky na obsah

strategických hlukových map a akčních plánů a podmínky účasti veřejnosti na jejich přípravě (vyhláška o hlukovém mapování)

- zákon č. 76/2002 Sb. ze dne 5. února 2002 o integrované prevenci a omezování znečištění, o integrovaném registru znečišťování a o změně některých zákonů (zákon o integrované prevenci)
- vyhláška č. 501/2006 Sb. ze dne 10. listopadu 2006, o obecných požadavcích na využívání území
- vyhláška č. 268/2009 Sb. ze dne 12. srpna 2009, o technických požadavcích na stavby
- vyhláška č. 146/2008 Sb. ze dne 9. dubna 2008, o rozsahu a obsahu projektové dokumentace dopravních staveb, kde mimo jiné uvedeno:
 - *Průvodní zpráva musí kromě jiného obsahovat údaje o plnění zákonem stanovených norem pro ochranu ovzduší a hlukových ukazatelů a jejich mezních hodnot podle zákona č. 472/2005 Sb., o ochraně ovzduší, a zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví, a vyhlášky č. 523/2006 Sb., kterou se stanoví hodnoty hlukových ukazatelů ve vazbě na okolní zástavbu.*
 - *V technické zprávě musí být bezpodmínečně zpracováno splnění základních požadavků na situování a stavební řešení stavby z hlediska ochrany obyvatelstva a plnění směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES ze dne 25. června 2002 o hodnocení a řízení hluku ve venkovním prostředí.*

Ochrana proti hluku

- *a) údaje o předpokládané hlukové situaci s použitím hlukového ukazatele,*
- *b) předložení hlukových map znázorňujících překročení mezních hodnot hlukového ukazatele a diferenčních map, na kterých se stávající situace porovnává s různými možnými budoucími situacemi.*

Vliv stavby a provozu na pozemní komunikaci na zdraví a životní prostředí. Vyhodnotí se vlivy negativních účinků stavby a jejího užívání a uvedou se návrhy na stavební opatření k jejich prevenci, eliminaci, případně minimalizaci v souladu s příslušnými právními předpisy

- *a) ochrana krajiny a přírody,*
 - *b) hluk,*
 - *c) emise z dopravy,*
 - *d) vliv znečištěných vod na vodní toky a vodní zdroje,*
 - *e) ochrana zdraví a bezpečnosti pracovníků při výstavbě a při užívání stavby,*
 - *f) nakládání s odpady. [15]*
- nařízení vlády ze dne 6. března 2002 č. 163/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky
 - zákon č. 22/1997 Sb. ze dne 24. ledna 1997, o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů
 - nařízení vlády č. 9/2002 Sb. ze dne 26. listopadu 2001, kterým se stanoví technické požadavky na výrobky z hlediska emisí hluku
 - zákon č. 361/2000 Sb. ze dne 14. září 2000 o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů
 - zákon č. 56/2001 Sb. o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích
 - vyhláška č. 341/2002 Sb. Ministerstva dopravy a spojů, ze dne 11. července 2002, o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích
 - vyhláška č. 302/2001 Sb. Ministerstva dopravy a spojů ze dne 7. srpna 2001 o technických prohlídkách a měření emisí vozidel
 - vyhláška č. 355/2006 Sb. ze dne 29. června 2006 o stanovení způsobu a podmínek registrace, provozu, způsobu a podmínek testování historických a sportovních vozidel a způsobu a podmínek testování silničního vozidla, které je registrováno v registru silničních vozidel
 - vyhláška č. 82/2012 Sb., ze dne 6. března 2012 o provádění kontrol technického stavu vozidel a jízdních souprav v provozu na pozemních komunikacích (vyhláška o technických silničních kontrolách)
 - vyhláška č. 274/1999 Sb. Ministerstva obrany ze dne 15. listopadu 1999, kterou se stanoví druhy a kategorie vojenských vozidel, schvalování jejich technické způsobilosti, provádění technických prohlídek vojenských vozidel a zkoušek technických zařízení vojenských vozidel

- zákon č. 239/2013 Sb. ze dne 3. července 2013, kterým se mění zákon č. 56/2001 Sb., o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích a o změně zákona č. 168/1999 Sb., o pojištění odpovědnosti za škodu způsobenou provozem vozidla a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o pojištění odpovědnosti z provozu vozidla), ve znění zákona č. 307/1999 Sb., ve znění pozdějších předpisů, a další související zákony
- vyhláška č. 100/2003 Sb. ze dne 20. března 2003, kterou se mění vyhláška č. 341/2002 Sb., o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích
- metodický návod ministerstva zdravotnictví, hlavního hygienika České republiky vydaného podle § 80 odst. 1 písm. a) zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů pod Č.j. HEM-300-11.12.01-34065 pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí ze dne 11. 12. 2001
- novela metodiky pro výpočet hluku ze silniční dopravy a stacionárních zdrojů, z roku 2004, vydaná MŽP (Planeta 2/2005)
- zákon č. 89/2012 Sb., Občanský zákoník, ve znění pozdějších předpisů
- ČSN 01 1601 Akustika - Kmitočty pro měření
- ČSN ISO 11819-1, 2 Akustika - Měření vlivu povrchů vozovek na dopravní hluk
Část 1: Statická metoda při průjezdu
Část 2: Metoda měření valivého hluku
- ČSN ISO 1683 Akustika - Vybrané referenční veličiny pro akustické hladiny
- ČSN ISO 1996-1 (011621) Akustika - Popis, měření a hodnocení hluku prostředí -
Část 1: Základní veličiny a postupy pro hodnocení
- ČSN ISO 1996-2 Akustika - Popis a měření hluku prostředí. Část 2: Získávání údajů souvisejících s využitím území
- ČSN ISO 1996-3 Akustika - Popis a měření hluku prostředí. Část 3: Použití při stanovení nejvyšších přípustných hodnot hluku
- ČSN ISO 9613-1 Akustika. Útlum při šíření zvuku ve venkovním prostoru.
Část 1: Výpočet útlumu zvuku ve vzduchu
- ČSN ISO 1999 Akustika. Stanovení expozice hluku na pracovišti a posouzení zhoršení sluchu vlivem hluku

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

Tento základní dokument definuje a upravuje obecnou problematiku působení hluku a vibrací na obyvatelstvo. Stanovuje hygienické limity hluku pro chráněný venkovní prostor staveb a chráněný venkovní prostor, pro chráněný vnitřní prostor staveb a pracoviště. Předepisuje také způsob měření a hodnocení hluku pro denní a noční dobu. Hygienické limity v tomto nařízení uvedené, jsou nejvyšší přípustnou hodnotu hluku. Hodnoty limitů vycházejí pro různé prostory rozdílně. Například limity pro chráněné vnitřní prostory staveb, jsou stanoveny jako maximální jednorázová hodnota, nebo ekvivalentní hladina hluku. Ekvivalentní hladina akustického tlaku je pro tyto prostory určitý průměr měření v denní a noční době. Pro hluk způsobený dopravou se ekvivalentní hladina vypočte z hodnot měřených celou denní dobu (16 hodin) a celou noční dobu (8 hodin). Hygienický limit ekvivalentní hladiny akustického tlaku způsobený pronikáním vzduchu z venkovního prostoru je 40 dB. Tuto hodnotu je možné ještě korigovat s přihlédnutím k charakteru vnitřního chráněného prostoru a denní či noční době.

Hygienické limity hluku v chráněných venkovních prostorech staveb a v chráněném venkovním prostoru jsou uvedeny v §12, nařízení vlády č. 272/2011 Sb. Podle tohoto paragrafu se stejným způsobem, jako je stanovena ekvivalentní hodnota akustického tlaku ve chráněných vnitřních prostorech staveb, stanoví také hodnoty pro chráněné venkovní prostory (hodnoty měřené celou denní dobu, 16hodin a celou noční dobu 8hodin). Hygienický **limit ekvivalentní hladiny akustického tlaku z dopravy**, s výjimkou hluku způsobeného leteckým provozem je stanoven na **50 dB**. Tuto limitní hodnotu je opět nutno korigovat s přihlédnutím k danému místu a denní či noční době. Korekce jsou uvedeny v tabulkách, které jsou přílohou nařízení vlády č. 272/2011 Sb. Dále v textu je jako příklad uvedena jedna z tabulek (Tabulka č. 1) obsahující korekce hlukové zátěže dle nařízení vlády – viz výše.

Tabulka 1 Korekce hlukové zátěže dle nařízení vlády [16]

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

Korekce použité pro hluk z dopravy, uvedené v tabulce č.1, jsou označeny čísly 2,3, a 4. Korekce č. 2 se použije pro hluk způsobený dopravou na silnicích III. třídy, místních komunikacích III. třídy a dráhy. Zjednodušeně lze říci, že tato korekce je použita pro místní komunikace. Korekce označena v tabulce číslem 3 je aplikována na prostředí zasažené hlukem ze silnic I. a II. tříd, pokud je tento hluk dominantní vůči hluku z ostatních typů komunikací. Dále je tato korekce použita pro ochranné pásmo drah. Korekce č. 4 se používá v případě starých hlukových zátěží s výjimkou komunikací korigovaných podle bodu 2 a 3, a dále zůstává v platnosti i po provedené rekonstrukci komunikace či položení nového povrchu. Nesmí však dojít rekonstrukcí ke zhoršení stávající hlučnosti. Tato korekce se použije také pro případy stanovení krátkodobých objízdných tras. Aplikace této korekce bývá z právního hlediska dosti problematická, jelikož není v legislativě zakotven pojem „stará hluková zátěž“ a zároveň pokud jsou stanovené korekce platné i po provedení rekonstrukce komunikace či nového povrchu, nemotivuje to správce komunikace k provádění rekonstrukcí.

2.1.2 Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví

Tento zákon již v základních ustanoveních zmiňuje povinnost orgánů státní správy v návaznosti na nařízení Evropské unie ve vztahu ke zlepšování životního prostředí pro obyvatele a zejména přijímání opatření ke snižování hlukové zátěže. Podrobněji je problematika působení hluku popisována v Dílu 6 **Ochrana před hlukem, vibracemi a neionizujícím zářením**. V §30, první odstavec, ukládá povinnost všem osobám provozujícím jakékoli zařízení či zdroj hluku (např. pozemní komunikace), aby přijal veškerá opatření proti překračování hygienických limitů. V druhém odstavci je uvedena definice

hluku – „*Hlukem se rozumí zvuk, který může být škodlivý pro zdraví a jehož hygienický limit stanoví prováděcí právní předpis. Vibracemi se rozumí vibrace přenášené pevnými tělesy na lidské tělo, které mohou být škodlivé pro zdraví a jejichž hygienický limit stanoví prováděcí právní předpis*“ [17]

Dále pak zákon definuje pojem chráněný venkovní prostor a možné postupy řešení i povinnosti při překročení limitních hodnot hluku. Umožňuje schválení dočasné výjimky a také nařizuje provedení opatření vedoucí k dodržení stanovených limitů. Udělení výjimek je ještě omezeno návazností na další zákony (zákon o integrované prevenci). V §83 jsou stanoveny podmínky, které musí splňovat osoba provádějící měření hluku dle tohoto zákona §30 až §35. Měření hluku pro potřeby zákona 258/2000 Sb., může provádět pouze autorizovaná osoba.

Legislativa zabývající se působením hluku je, jak je z výše uvedeného soupisu legislativních předpisů patrné, velmi obšírná. I když se zdá být nepřehledná, jasně stanovené hygienické limity jsou definovány jednoznačně. V případě působení hluku ze silniční dopravy bychom neměli překročit limit ekvivalentní hodnoty akustického tlaku 50 dB ve venkovních chráněných prostorech staveb. Ze zkušeností vím, že ve většině případů se daří tento limit dodržet. Hlavně u nově budovaných objektů či komunikací. Samozřejmě problémem zůstávají objekty, které jsou historicky umístěny do bezprostřední blízkosti dopravních komunikací. Tam ani podle platné legislativy nelze provést objektivní měření, neboť normou uváděné limity pro umístění zvukoměrů by zasahovaly do vnitřních částí objektu. Pak je nutné použít způsob měření ve vnitřním chráněném prostoru a následně navrhnout již zmiňované úpravy stávajícího objektu.

3 Návrh metodiky měření hluku v okolí pozemních komunikací

Problematika působení hluku ze silniční dopravy je nejen lokálním, ale i celosvětovým problémem – zejména ve vyspělých zemích. Nadměrné působení hluku negativně ovlivňuje jak životní prostředí, tak přímo zdravotní stav a celkovou pohodu člověka. Do skupiny zemí s rozvinutým průmyslem a tedy i s výrazným vlivem zatěžování dopravním hlukem obyvatelstva se řadí také Česká republika. V České republice tvoří hluk z dopravy zhruba 95 % z celkové hlukové zátěže obyvatelstva. Ze zmiňovaného nařízení vlády č. 272/2011 Sb., a dalších předpisů je patrné, že si vládní činitelé (možná pod tlakem zdravotnických organizací a sdružení pro ochranu životního prostředí) uvědomují, jak zásadním problémem působení hluku a vibrací je. Opatření proti nadměrné hlukové zátěži nejsou řešena pouze na úrovni legislativních procesů, ale samozřejmě je tato problematika předmětem výzkumu a vývoje jak dopravních prostředků, tak zlepšování v oblasti infrastruktury. Kromě zmiňovaných protihlukových opatření v silniční dopravě se oblast výzkumu zaměřuje právě na povrchy komunikací, které by mohly spolupůsobit ve snaze o snižování hlukové zátěže v dopravě. Taková řešení mají pozitivní vliv nejen na hluk v interiéru dopravních prostředků, ale hlavně na hluk ve vnějším prostředí, v okolí pozemních komunikací. Jedním z opatření proti hlukové zátěži je pokládka tzv. **tichého krytu** vozovek. Tichý kryt, tedy asfalt modifikovaný pryžovým granulátem, je vyráběn smísením běžného silničního asfaltu a pryžového granulátu o velikosti zrna do 1mm. Pryžový granulát se získává z opotřebovaných automobilových pneumatik. Pro tyto účely lze využít cca 5 % až 10 % z celkové hmotnosti pneumatiky. Samotná výroba modifikovaného asfaltu je v České republice možná třemi způsoby s obsahem přidaného pryžového granulátu v rozmezí mezi 5 % až 40 %. Takovéto směsi jsou označovány jako Asfaltové směsi s CRmB (Crumb Rubber modified Bitumen). V současné době je v České republice třicet úseků silnic, kde byla použita tato směs jako vrchní vrstva.

Pardubický kraj, ve spolupráci se správcem komunikací (Správa a údržba silnic Pardubického kraje), byl jedním z prvních, kde byl při rekonstrukci povrchu komunikace položen na hlavní silniční tepnu vedoucí centrem města Pardubice „tichý kryt“ - Asfaltové směsi s CRmB. Tato technologie byla využita při rekonstrukci komunikace II. třídy č. 324 v Pardubicích, ulice Hradecká, v úseku od Wonkova mostu, směrem od centra, a dále v navazující ulici Poděbradská. Technologie tichého krytu končí nadjezdem nad komunikací I/37, vedoucí z Pardubic do Hradce Králové.

3.1 Cíl práce – vytvoření metodiky

Cílem této práce je tedy pomocí navržené metodiky zhodnotit vliv povrchu pozemních komunikací na hlukovou zátěž okolí, zejména ve městech a obcích, protože v těchto lokalitách je největší vliv hluku na obyvatelstvo. Metodika bude aplikována a měření budou provedena na pozemních komunikacích ve městě Pardubice. Pro potřeby zpracování této práce se bude jednat zejména o aplikaci navržené metodiky pro porovnání vlivu takzvaného „tichého krytu“ a jiných typů netuhých krytů pozemních komunikací. Návrh metodiky měření hluku vychází především ze stanoveného cíle a dílčích požadavků legislativy. Záměrně uvádím z dílčích požadavků legislativy, jelikož při zvolené metodě měření hluku není možné striktně některé požadavky, zejména z norem vyplývající, dodržet. Tato skutečnost by však nijak neměla ovlivnit kvalitu metodiky ani výsledky měření. Navržená metodika má umožnit zejména jednoduchá a účelná měření ve městech a obcích, která by bylo možné provádět jako hodnotící, při provedení rekonstrukcí silničních komunikací. Zejména pokud jsou jako vrchní kryt použity speciální materiály s hlukovým útlumem. Vzhledem k neustále rostoucímu vlivu dopravy na znečištění prostředí emisemi hluku, je obecně vhodné provádět různá měření hluku v okolí pozemních komunikací, která pomohou vytvořit ucelený obraz o reálné hlukové zátěži obyvatelstva. Čím více bude vypracovaných výstupů zabývajících se touto problematikou, tím více bude podkladů pro zpracování protihlukových opatření. Zároveň mají taková měření zpětnovazební funkci, kdy lze ověřit vhodnost a účinnost realizovaných opatření. Lze tedy konstatovat, že každé provedené měření přispívá ke zvýšení ochrany životního prostředí.

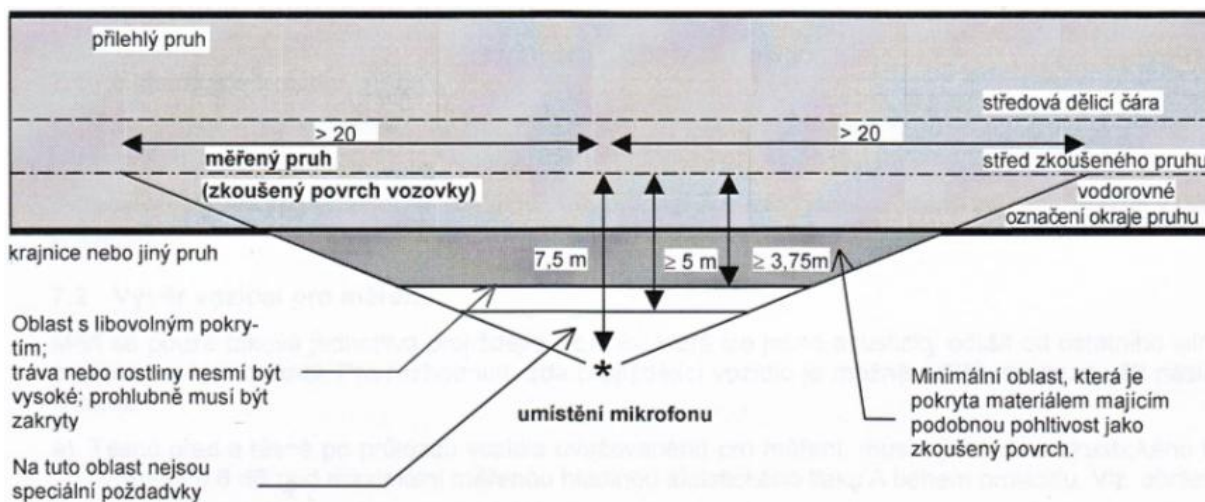
3.1.1 Výchozí podklady a použití metodiky

Jak bylo již zmíněno, základními výchozími podklady pro návrh metodiky je platná legislativa a navazující předpisy. Z těchto dokumentů je hlavním podkladem pro měření a návrh metodiky norma ČSN ISO 11819-1, část 1. Tato část normy se zaměřuje na měření hluku statickou metodou při průjezdu označovanou jako metoda SPB. Tuto metodu jsem upřednostnil před metodou měření valivého hluku označovanou jako CPX (tzv. metoda krátké vzdálenosti). Měření metodou SPB je podle mého názoru pro dané účely vhodnější. Vhodnost vyplývá zejména z lepší dostupnosti stacionárního zvukoměru a nižších technických nároků na provedení měření (pro metodu CPX musí být použit speciální přívěsný vozík za osobní automobil, pneumatika na měřeném kole musí odpovídat technickým specifikacím a požadavkům, složitá konstrukce na uchycení zvukoměru...). Dalším faktorem je skutečnost, že metoda SPB lépe zachycuje všechny vlivy hlukové zátěže, tzn. vliv valivého odporu

pneumatik (to se projevuje již od rychlosti 40 km/h), vliv hluku motoru vozidel a v neposlední řadě hluk způsobený rezonancí karoserie či ostatních dílů automobilů.

3.1.2 Měřící princip

Při provádění měření hluku statickou metodou při průjezdu, budou zaznamenávány hodnoty maximálního akustického tlaku L_{Amaxp} , ekvivalentní hodnota akustického tlaku L_{Aeqp} a hodnota akustického pozadí L_{Aminp} [dB]. Hodnota akustického pozadí je zjištěná minimální hodnota naměřená ve chvíli, kdy místem měření neprojíždí žádné motorové vozidlo. Jak již bylo uvedeno, metodika je směřována ke zjištění objektivních údajů o hlukové zátěži okolí pozemní komunikace nejjednodušším způsobem, v co nejkratším časovém intervalu. Z toho důvodu byla doba pro provádění měření stanovena na 15 minut. Doba provádění měření, 15 minut, je běžně používána. Zejména pro měření s „běžnou třídou přesnosti“, což lze považovat za dostatečně přesné pro účely navrhovaného typu měření. Pro potřeby ověření vhodnosti navržené doby měření budou provedena několikrát opakovaná měření. Zároveň bude v době měření (pátou, desátou a patnáctou minutu) proveden kontrolní odečet hodnot intenzity provozu a k tomu naměřené hodnoty ekvivalentní hladiny hluku. Vozidla nebudou dělena do kategorií, neboť v místech provádění měření je zákaz vjezdu nákladním vozidlům. Při průjezdu nákladního vozidla zajišťujícího zásobování, bude vždy v dostatečném předstihu, tj. při průjezdu vozidla minimálně 25 m před středem měřicího mikrofону, měřicí přístroj uveden do režimu “pause” (neprovádí měření) a následně po průjezdu vozidla do vzdálenosti minimálně 35 m za střed měřicího mikrofону bude měřicí přístroj opětovně uveden do režimu měření. Volba takového postupu vychází z normy ČSN ISO 11819-1, kde je vzdálenost 20 m zmiňována v souvislosti s umístěním odrazivého materiálu v blízkosti pozemní komunikace, viz obrázek č. 6. Tato vzdálenost je tedy uvažována jako vzdálenost, kdy hluk projíždějícího vozidla již ovlivňuje měřené hodnoty. Jelikož norma uvažuje s větší vzdáleností mikrofону od středu měřeného jízdního pruhu, vzdálenost od a do středu mikrofону měřicího zařízení (7,5 m) a mikrofón bude při provádění měření umístěn blíže k ose přilehlého jízdního pruhu, je vzdálenost kdy bude přerušeno měření logicky prodloužena.

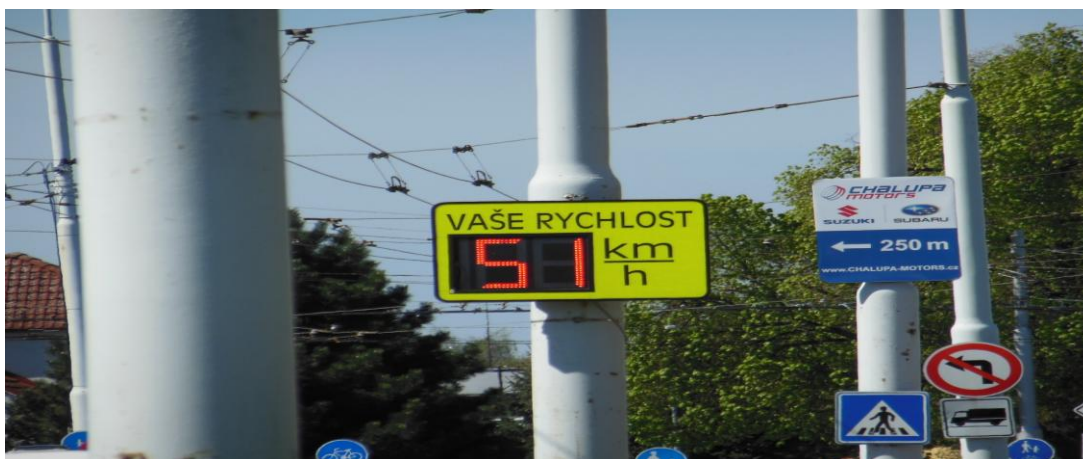


Obrázek 6 Požadavky týkající se nepřítomnosti odrazivých nebo stínících svodidel [19]

Nákladní vozy s celkovou hmotností převyšující 3500 kg tedy nejsou do probíhajících měření započtena. Stejně nejsou do měření zahrnuty hlučné motocykly a vozidla integrovaného záchranného systému (včetně policie) jedoucí se zapnutým výstražným signalizačním zařízením. Do měření jsou zahrnuta všechna osobní a dodávková vozidla, s celkovou hmotností nepřevyšující 3500 kg, a vozy městské hromadné dopravy. Městskou hromadnou dopravu (dále také MHD) není možné vyjmout z měření, neboť jsou součástí městského silničního provozu po celých 24 hodin, každý den v týdnu. Také při uzavírkách silnic ve městech jsou vozy MHD jediné, které smí místy s uzavírkami projíždět – pokud je to technicky možné. Navíc intenzita MHD víceméně kopíruje intenzitu individuální dopravy. V dopravní špičce jezdí více vozidel MHD než mimo ni a v noci (toto lze ověřit v jízdních řádech). Abychom však zaznamenali hlavně nejproblematictější období z hlediska hlukové zátěže, volba denní doby pro měření a volba dnů v týdnu by měla odpovídat největší intenzitě provozu. Pro účely takového měření je možné vybrat jakýkoliv pracovní den v týdnu (pondělí až pátek), nejlépe v době mezi 13.00 hodinou až 17.00 hodinou. Počet vozidel projíždějících kolem měřicího místa by měl převyšovat, za dobu provádění jednoho patnáctiminutového měření, 200 kusů. Hodnota naměřená s nižší intenzitou vozidel je zatížena vysokou chybou a naměřené hodnoty by neměly dostatečnou vypovídací hodnotu o hlukové zátěži okolí. Pokud této hodnoty nedosáhneme, je nutné zvolit buď jiný den v týdnu, případně jinou hodinu, nebo využít pro měření jiný úsek dotčené pozemní komunikace. Posledním řešením je prodloužení doby provádění měření na 30 minut a více.

3.1.3 Měřicí přístroje

Na měření hluku lze použít měřicí přístroj zvukoměr 2238 Mediator, výrobce Brüel & Kjaer (nebo podobného typu), který splňuje podmínky normy IEC 60651 typ 1, IEC 60804, IEC/EN 61672 třída 1 a je vhodný pro měření v oblasti životního prostředí, pro hodnocení úprav na snížení hluku aj. Na mikrofonu bude osazena molitanová krytka proti působení větru. Kmitočtová analýza měřeného zvuku bude v třetinooktávových pásmech. Kalibrační zařízení pro kalibraci zvukoměru musí splňovat normové požadavky. Kalibrace měřicího přístroje zvuku musí být provedena před každým měřením. Jelikož se jedná o měřicí místa pouze v obci (na místech s častou kontrolou dodržování rychlost policií České republiky), nebude použit přístroj na měření rychlosti projíždějících vozidel. Vhodné je měřicí místa situovat do blízkosti míst s tabulemi pro orientační měření rychlosti vozidel. Takové zařízení je zdokumentováno na obrázku č. 7.

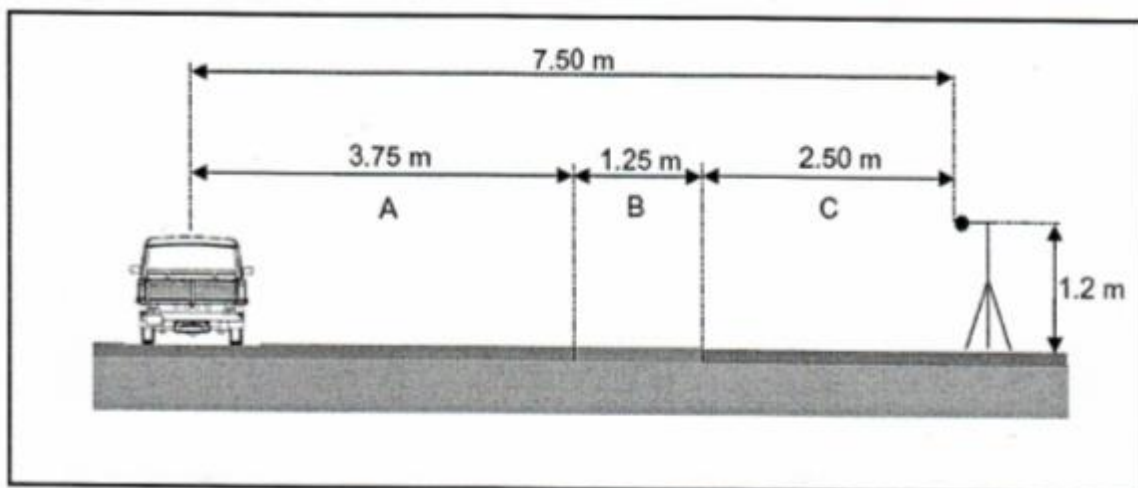


Obrázek 7 Tabule měření rychlosti na pozemní komunikaci - ul. Poděbradská Pardubice (foto autor)

Dále bude použit anemometr (přístroj na měření rychlosti větru) s integrovaným teploměrem. Přesnost naměřených údajů bude ověřena meteorologickými daty prezentovanými na příslušných internetových stránkách. Pro provádění měření je nutné dále použít metr pro změření požadovaných parametrů umístění měřiče zvuku a vzdáleností. K zaznamenání intenzity provozu a pro následnou kontrolu zjištěných dat bude použita videokamera, která bude zaznamenávat každé z realizovaných měření.

3.1.4 Místa měření

Norma, krom jiných požadavků, předepisuje vzdálenost umístění mikrofonu od přilehlého jízdního pruhu. Požadovaná vzdálenost umístění hlukoměru od osy přilehlého jízdního pruhu činí 7,5 m – viz obrázek č. 8.



Obrázek 8 Umístění mikrofonu [19]

Pokud bychom měli dodržet požadovanou podmínku, nebylo by možné měření vůbec realizovat. Vzhledem k místním podmínkám není možné v požadované vzdálenosti mikrofon pro měření hluku umístit. Jelikož prováděná měření nebudou hygienická, ale pouze orientační, nebude toto nedodržení vzdálenosti zásadním problémem. Naměřené hodnoty budou porovnávány zejména mezi sebou, kdy hlukoměr bude umístěn vždy ve stejné vzdálenosti od okraje vozovky. Snahou je umístit mikrofon měřicího přístroje co nejbližší k vozovce (viz text níže). Zároveň tím bude zjištěna hladina ekvivalentního akustického tlaku působícího na chodce. Většina měřících míst jsou na chodnících u přilehlých pozemních komunikací nebo v jejich těsné blízkosti. Ve všech případech prováděných měření se jedná o komunikace, které jsou ohraničeny krajnicí nebo obrubníkem, vzdálenost svislé osy mikrofonu měřicího přístroje byla zvolena 1,6 m od vnitřního obrysu vodorovného značení krajnice nebo obrubníku (kde obrubník tvoří krajnici) přivráceného ke středu přilehlého jízdního pruhu. Taková vzdálenost odpovídá 3,4 m od osy přilehlého jízdního pruhu. Jelikož nebyla nalezena žádná legislativa či nařízení, která by takové umístění měřicího zařízení zakazovala, mohou se domnívat, že pro účely porovnávacího měření hlukové zátěže je takové umístění vyhovující. Podmínka výškového umístění mikrofonu měřicího přístroje je dodržena v souladu s výše uvedenou normou a to 1,2 m nad rovinou přilehlé komunikace (obr. č. 8). Vybrané místo pro měření musí také vyhovovat podmínce, že hladina akustického tlaku pozadí L_{Aminp} [dB] musí být minimálně o 10 dB nižší než ekvivalentní hladina akustického tlaku L_{Aeqp} [dB]. Pro zajištění porovnatelných údajů je také nutná správná volba měřicího místa vzhledem k podélnému sklonu vozovky. V místech měření by komunikace neměla mít větší podélný sklon než 1 %. Taktéž se musí jednat o přímý úsek pozemní komunikace nebo o úsek jen s mírným zakřivením. Nutnou podmínkou pro dodržení stejných podmínek měření

je stejný kryt komunikace v místě měření. Není možné provádět měření na rozhraní dvou rozdílných povrchů komunikací. Vybraný úsek pro měření musí zajišťovat shodné povrchy komunikací nejméně 30 m na každou stranu (ve směrech jízdy vozidel) od středu měřicího přístroje. Tato podmínka platí pro rychlosti projíždějících vozidel kolem 50 km/h. Pro vysoké rychlosti se požadovaná délka úseku se stejným povrchem prodlužuje. Ve vzdálenosti 10 m od středu mikrofonu měřicího přístroje nesmí být žádné velké odrazivé plochy, jako například betonová svodidla, násypy a protihlukové zábrany. Pro dokumentaci měřících míst (stanovišť) je vhodné pořídit fotodokumentaci, případně zvolit místo s orientačním bodem, co nejpřesněji měřící místo definovat, nejlépe podle GPS souřadnic.

3.1.5 Meteorologické podmínky

Meteorologické podmínky jsou dalším podstatným faktorem ovlivňujícím přesnost prováděných měření. Zejména dešť, respektive voda na pozemní komunikaci, zcela mění její hlukové vlastnosti. Měření tedy nelze provádět za deště. Zároveň musí být zajištěno, že povrch pozemní komunikace při měření bude suchý. Z toho důvodu je třeba provádět měření nejdříve následující den po dešti, pokud průměrná teplota vzduchu přesahuje 20 °C. Pokud nedosahuje průměrná teplota uvedené hodnoty, je nutné s měřením vyčkat alespoň další den. Toto platí zejména v období podzimu a jara. Vozovka také nesmí být viditelně znečištěna (pokryta listím, blátem...). Na přesnost prováděných měření a získávání dat má vliv také teplota vzduchu. Při měřeních nesmí teplota okolního vzduchu klesnout pod 5 °C. Ideálními podmínkami je, když se teplota okolního vzduchu při měření pohybuje okolo referenční hodnoty 20 °C. Jestliže tomu tak není, je potřebné provést teplotní korekci naměřených hodnot akustického tlaku. Korekce se provede podle níže uvedeného vzorce:

$$L = L_m + K \cdot \Delta T \quad (3.1) \quad [20]$$

L – korigovaná hladina akustického tlaku [dB]

L_m – naměřená hodnota akustického tlaku [dB]

K – teplotní koeficient $K = 0,08 \text{ dB/}^\circ\text{C}$

ΔT – rozdíl teplot mezi aktuální teplotou vzduchu a referenční teplotou (20 °C)

Teplotu povrchu měřeného úseku pozemní komunikace není potřeba měřit. Dále je nutné věnovat zvýšenou pozornost rychlosti větru, která má na výsledky měření nezanedbatelný vliv. Rychlost větru při měření nesmí přesáhnout 5 m/s. Pokud by nebyly splněny podmínky

vlhkosti komunikace, minimální hodnoty teploty okolního vzduchu a rychlost větru by přesahovala povolený limit, lze taková měření prohlásit za neplatná. Tyto limitní hodnoty je třeba sledovat po celou dobu provádění měření. Dále je vhodné sledovat relativní vlhkost vzduchu, atmosférický tlak a oblačnost.

3.1.6 Protokol z měření

Výstupem každého měření by měl být doklad o provedeném měření. Ať formou souhrnného protokolu, ve kterém budou zaznamenány všechny údaje, které jsou významné pro výsledky měření, nebo jednotlivými protokoly z každého měřícího bodu. Údaje, které je nutno uvést do protokolu, jsou definovány v kapitole 1.3.4, Protokol o provedeném měření. Jelikož navrhovaná metodika předpokládá, že bude aplikována v provozních podmínkách, je možné protokol o měření zjednodušit. V protokolu však nesmí chybět údaje rozhodné pro vyhodnocení výsledků měření.

4 Realizace navržené metodiky na vybraných pozemních komunikacích

Pokud je vypracována metodika na jakékoliv činnosti, dříve než je uvedena do praxe, mělo by být realizováno její ověření v reálných podmínkách. V rámci technického experimentu a v souladu s cílem této práce, bude realizováno ověření navržené metodiky v reálných podmínkách silničního provozu ve městě. Pro realizaci ověření metodiky byly využity měřicí přístroje a příslušenství poskytnuté Univerzitou Pardubice, Dopravní fakultou Jana Pernera. Všechna měření probíhala za spolupráce a pod dozorem Ing. Pavla Kukly Ph.D. z katedry dopravních prostředků a diagnostiky. Všechny níže uvedené podmínky, stejně jako metodika měření, jsou určeny pro měření hluku statickou metodou při průjezdu (SPB).

4.1 Použité měřicí přístroje

Pro realizaci měření metodou byly použity přístroje:

- zvukoměr Mediator 2238, výrobce Brüel & Kjaer s krytem proti větru a stativem
- akustický kalibrátor
- videokamera se stativem
- anemometr s teploměrem
- metr

4.2 Místa měření

Každé z vybraných měřicích míst splňuje základní obecné požadavky:

- podélný sklon vozovky nepřekračuje 1 %
- přímý úsek pozemní komunikace nebo úsek jen s mírným zakřivením
- rychlost v daném místě nepřesahuje 50 km/h ani není dopravní značkou snížena
- povrch (vrchní kryt) komunikace je shodný v úseku 30 m před a 30 m za místem měření
- povrch vozovky není mokrá ani nijak jinak viditelně znečištěný (bláto, ...)

- okolí měřicího mikrofону není zastavěno a nenacházejí se zde překážky, které by mohly odrážet zvuk projíždějících vozidel (v souladu s požadavky výše uvedenými)
- hluková situace v okolí mikrofónu zvukoměru splňuje podmínky rozdílu 10dB mezi akustickým pozadím a měřeným hlukem
- mikrofón měřicího přístroje lze umístit v požadované vzdálenosti a poloze vůči přilehlé komunikaci (vzdálen 3,4 m od středu jízdního pruhu, výška 1,2 m nad rovinou přilehlé komunikace)

4.2.1 Dokumentace měřících míst (stanovišť):

Pro dokumentaci měřících míst (stanovišť) byla použita fotodokumentace a pro upřesnění polohy jsou uvedeny také GPS souřadnice

- Stanoviště č. 1, Pardubice, silnice II. č. 324, ulice Hradecká, směr do centra, proti čerpací stanici – viz obrázek č. 9, souřadnice GPS 50°2'39.383"N, 15°46'1.370"E s půl roku starým vrchním krytem komunikace BBTM 5 CRmB, délka úseku 1,1 km
- Stanoviště č. 2, Pardubice, silnice II. č. 324, ulice Hradecká, směr do centra, v místě odpočívadla, 100 m před mostem Pavla Wonky – viz obrázek č. 10, souřadnice GPS 50°2'35.740"N, 15°46'2.619"E, s půl roku starým vrchním krytem komunikace BBTM 5 CRmB, délka úseku 1,1 km
- Stanoviště č. 3, Pardubice, silnice III. č. 32224, ulice Poděbradská, směr z centra ke kruhovému objezdu, u SPŠ chemické – viz obrázek č. 11, souřadnice GPS 50°3'10.128"N, 15°45'53.776"E s půl roku starým vrchním krytem komunikace BBTM 5 CRmB, délka úseku 0,2 km
- Stanoviště č. 4, Pardubice, silnice III. č. 32224, ulice Poděbradská, směr z centra ke kruhovému objezdu, 70 m za parkovištěm SOU plynárenského – viz obrázek č. 12, souřadnice GPS 50°3'12.627"N, 15°45'49.793"E s půl roku starým vrchním krytem komunikace Drenážním kobercem PA 8 CRmB, délka úseku 0,6 km
- Stanoviště č. 5, Pardubice - Staré Hradiště, silnice II. č. 324, směr do Pardubic ke křižovatce Hradecká a Poděbradská, cca 80 m za autobusovou zastávkou – viz obrázek č. 13, souřadnice GPS 50°3'32.587"N, 15°46'27.353"E se standardním živičným krytem, stáří cca 10 let (s příčnými trhlinami, převážně opravovanými – obr č. 14), délka úseku cca 2 km



Obrázek 9 Stanoviště č. 1 (foto autor)



Obrázek 10 Stanoviště č. 2 (foto autor)



Obrázek 11 Stanoviště č. 3 (foto autor)



Obrázek 12 Stanoviště č. 4 (foto autor)



Obrázek 13 Stanoviště č. 5 (foto autor)



Obrázek 14 Stanoviště č. 5 (foto autor)

4.3 Podmínky pro měření

Termín realizace měření byl vybírán v souladu s navrženými podmínkami definujícími teplotu okolního vzduchu a povětrnostní a vlhkostní podmínky při provádění měření. Při všech měřeních byla teplota okolního vzduchu nad 5 °C, pozemní komunikace (vrchní kryt vozovky) byla suchá a vítr nedosahoval hodnoty 5 m/s. Jelikož se lišila venkovní teplota vzduchu, bude provedena korekce naměřených hodnot dle vzorce uvedeného v kapitole 3.1.5 Meteorologické podmínky.

4.4 Realizace měření

Po prohlídce a ověření vhodnosti navržených stanovišť pro měření následuje kalibrace, umístění a usazení hlukoměru. Před samotným měřením jsou ještě kontrolovány teplotní a povětrnostní podmínky, stejně jako po celou dobu provádění měření. Stejný postup byl aplikován na všechna realizovaná měření. Současně bylo do zjednodušeného protokolu z měření zaznamenáno datum, den a přesný čas započetí měření. Se započítím měření hluku byla zapnuta videokamera do režimu nahrávání pro zaznamenání intenzity provozu. Při měření hluku byly zaznamenávány následující hodnoty - hodnota maximálního akustického tlaku L_{Amaxp} , ekvivalentní hodnota akustického tlaku L_{Aeqp} (i dílčí po 5 min) a hodnota akustického pozadí L_{Aminp} [dB], jak je uvedeno na obrázku č. 14.



Obrázek 15 Měřicí přístroj Mediator 2238 – zobrazené hodnoty akustického tlaku (foto autor)

Měření hodnot hluku probíhalo vždy opakovaně po dobu 15 minut. Z každého patnáctiminutového měření byly pořízeny zápisy všech dílčích zjištěných hodnot po pěti minutách. K nim byla zaznamenána také intenzita provozu. V souladu s navrženou metodikou byl záznam zvuku přerušen při průjezdu těžkých nákladních automobilů a vozidel IZS se zapnutým signalizačním zařízením. Patnáct minut záznamu zvuku je tedy „čistý čas“. Souhrnné údaje o počtech měření jsou zaznamenány v tabulce č. 2.

Tabulka 2 Souhrnné údaje o měření (definice vrchních krytů níže v textu)

| Název stanoviště | Vrchní kryt pozemní komunikace | Den provádění měření | Doba měření | Počet opakování měření |
|-----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|--------------------|-------------------------------|
| Hradecká ulice, stanoviště č.1 | BBTM 5 CRmB | 18.3.20214 | 15 min | 3 |
| Hradecká ulice, stanoviště č.1 | BBTM 5 CRmB | 17.4.20214 | 15 min | 1 |
| Hradecká ulice, stanoviště č.2 | BBTM 5 CRmB | 20.3.2014 | 15 min | 2 |
| Poděbradská ulice, stanoviště č.3 | BBTM 5 CRmB | 20.3.2014 | 15 min | 3 |
| Poděbradská ulice, stanoviště č.3 | BBTM 5 CRmB | 17.4.2014 | 15 min | 2 |
| Poděbradská ulice, stanoviště č.4 | PA 8 CRmB | 20.3.2014 | 15 min | 2 |
| Poděbradská ulice, stanoviště č.4 | PA 8 CRmB | 17.4.2014 | 15 min | 2 |
| Staré Hradiště, stanoviště č.5 | Asfaltový povrch | 20.3.2014 | 15 min | 1 |
| Celkem provedených měření | | | | 16 |

4.4.1 Měření na stanovišti č.1

Stanoviště č. 1, na ulici Hradecká v Pardubicích (viz výše), bylo zvoleno pro ověření metodiky z následujících důvodů. Jedná se o nejvytíženější pozemní komunikaci

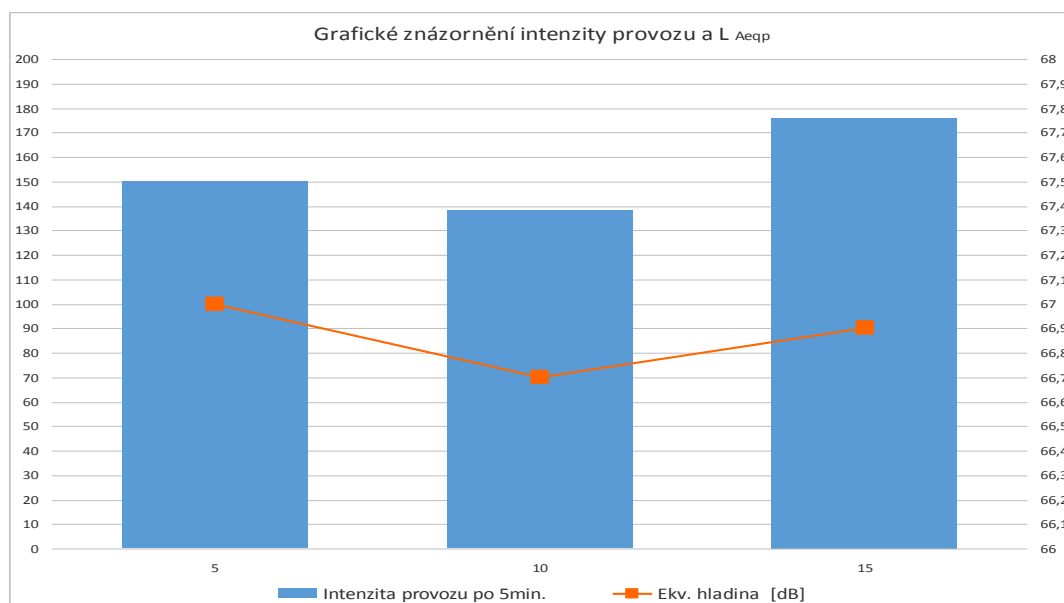
v Pardubicích, která prochází centrem města. Zároveň na tuto hlavní silniční tepnu ústí několik příjezdových pozemních komunikací (ve směru do centra města), které zajišťují průjezd silniční dopravy městem Pardubice jižním, západním i východním směrem. Intenzita provozu zde dosahuje hodnot kolem 20.000 vozidel za 24 hodin, což je dle výsledků sčítání dopravy z roku 2010 více, než projede za stejný časový úsek vozidel na tranzitním obchvatu Pardubic po silnici I/36. Dalším z důvodů, proč byla vybrána pro měření tato pozemní komunikace, byla skutečnost již také zmiňovaná. Na této pozemní komunikaci (ulice Hradecká) je od loňského roku položen vrchní kryt, asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy s příměsí asfaltu modifikovaný pryžovým granulátem (BBTM 5 CRmB). Takto provedený kryt má společně se svojí strukturou zajistit útlum hluku způsobený projíždějícími motorovými vozidly. Tento úsek pozemní komunikace také splňuje všechny podmínky v metodice uvedené. Níže jsou uvedeny výsledky z provedených měření v tabulkách i grafickém znázornění. Všechna měření byla provedena v souladu s podmínkami metodiky (umístění měřicího zařízení, povětrnostní podmínky...). Stav povětrnostních podmínek při měření bude blíže specifikován u popisu každého měření nebo soustavy měření. S tím souvisí i kritérium, které nelze opomenout. Tím je teplota okolního vzduchu. Tento faktor ovlivňuje velikost naměřených hodnot akustického tlaku. Proto budou ke každému měření dále uváděny dvě tabulky výsledků. První tabulka obsahující hodnoty akustického tlaku L_{Aeqp} přímo odečtené z měřicího přístroje a následující tabulka bude obsahovat uvedené hodnoty L_{Aeqp} přepočtené na referenční úroveň teploty okolního vzduchu 20 °C dle **vzorce** $L = L_m + K \cdot \Delta T$. Pro všechna měření byla splněna podmínka teploty okolního vzduchu nad 5 °C, ale přesto byly poměrně zásadní rozdíly v teplotách okolního vzduchu při realizovaných měřeních.

První měření bylo realizováno dne 18.3.2014 se začátkem v 10:00 hodin, následně v 10:20 hodin a v 10:40 hodin. Teplota okolního vzduchu byla 11 °C a rychlost větru do 1 m/s. V následujících tabulkách č. 4, 6, 8, jsou uvedeny všechny zaznamenané a naměřené hodnoty. Dále jsou tyto hodnoty znázorněny graficky a doplněny tabulkami č. 5, 7, 9, obsahujícími přepočet hladin ekvivalentního akustického tlaku na referenční teplotu 20 °C.

Tabulka 3 Naměřené hodnoty - první měření (18.3. 10:00 hodin)

| | | | |
|----------------------------|------|------|------|
| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
| Intenzita provozu po 5min. | 150 | 138 | 176 |
| Ekv. hladina [dB] | 67,0 | 66,7 | 66,9 |

Graf 1 Naměřené hodnoty - první měření (18.3. 10:00 hodin)



Tabulka 4 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20 °C (18.3. 10:00 h)

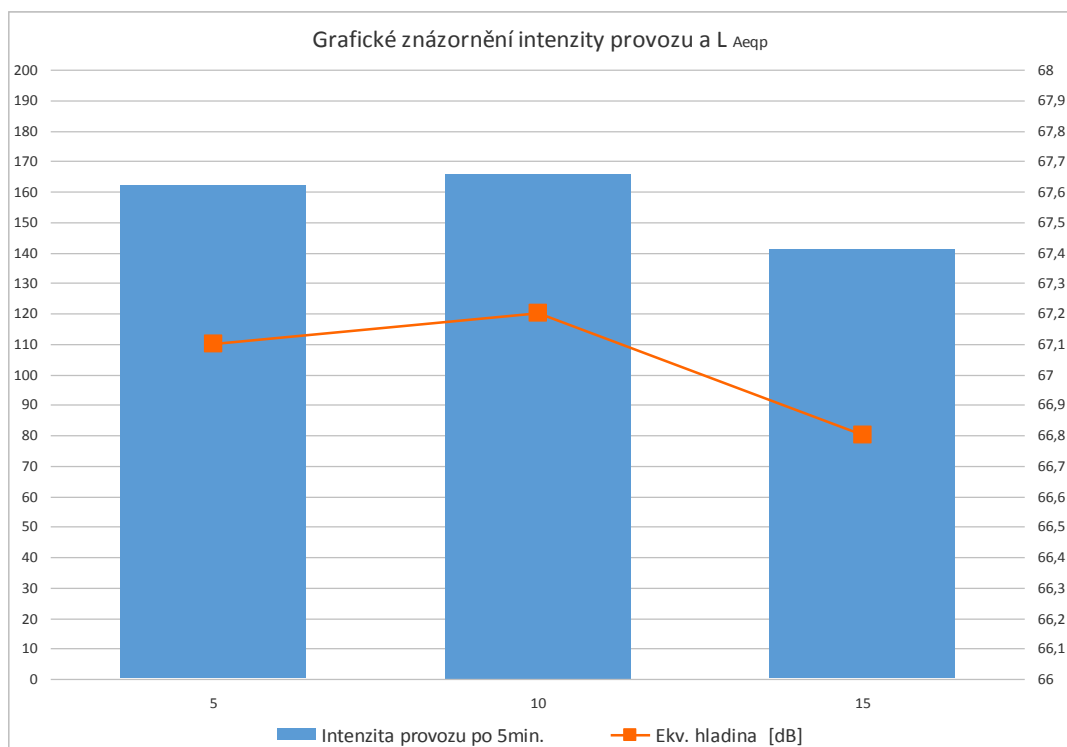
| | | | |
|----------------------------|------|------|------|
| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
| Intenzita provozu po 5min. | 150 | 138 | 176 |
| Ekv. hladina [dB] | 67,7 | 67,4 | 67,6 |

Naměřená hodnota akustického pozadí L_{Aminp} činila 54,0 dB a maximální hodnota akustického tlaku L_{Amaxp} dosáhla 82,3 dB. Z korigovaných hodnot na teplotu okolního prostoru vyplývá, že rozdíl teplot může způsobit zkreslení naměřených hodnot o více než 1 dB. V našem případě hodnota zkreslení činí pouhých 0,7 dB. I kdyby však nebyly naměřené hodnoty korigovány, zůstává skutečností, že v prostoru umístění měřícího mikrofону naměřené hodnoty překračují limit 50 dB. Tato hodnota je překročena i po započtení korekce uvedené v tabulce č. 1, která je přílohou nařízení vlády č. 272/2011 Sb.

Tabulka 5 Naměřené hodnoty - druhé měření (18.3. 10:20 h)

| | | | |
|----------------------------|------|------|------|
| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
| Intenzita provozu po 5min. | 162 | 166 | 141 |
| Ekv. hladina [dB] | 67,1 | 67,2 | 66,8 |

Graf 2 Naměřené hodnoty - druhé měření (18.3. 10:20 h)



Tabulka 6 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20 °C (18.3. 10:20 h)

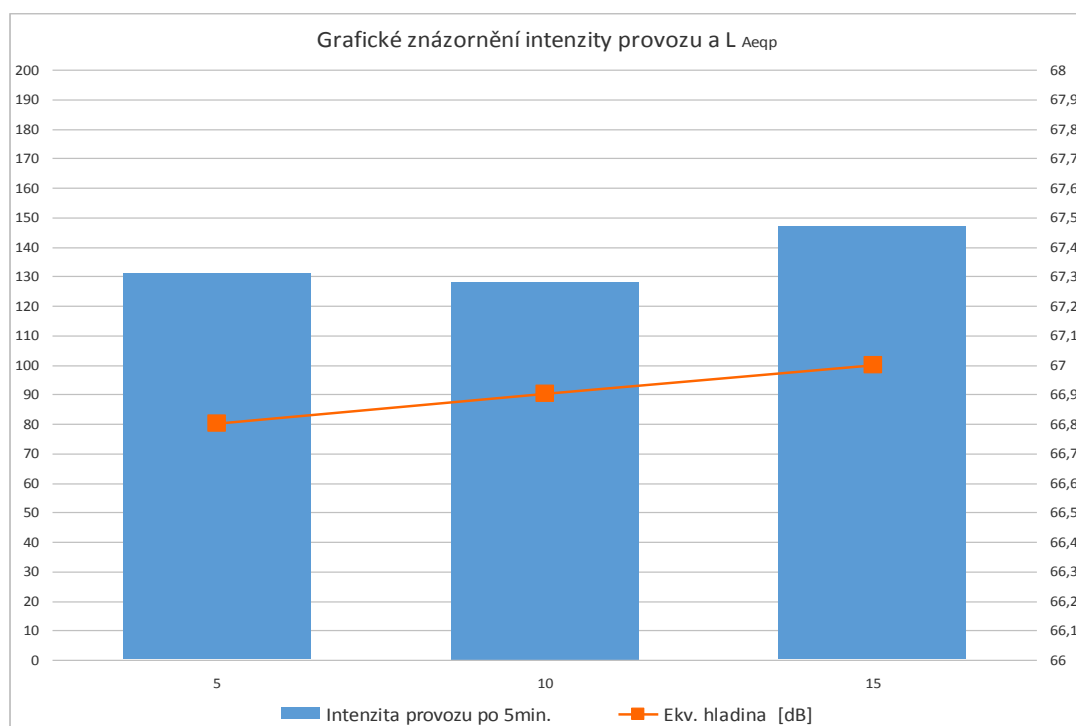
| | | | |
|----------------------------|------|------|------|
| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
| Intenzita provozu po 5min. | 162 | 166 | 141 |
| Ekv. hladina [dB] | 67,8 | 67,9 | 67,5 |

Při těchto měřeních byla zjištěna hladina akustického pozadí L_{Aminp} 55,0 dB, a maximální hladina akustického tlaku L_{Amaxp} 84,4 dB.

Tabulka 7 Naměřené hodnoty - třetí měření (18.3. 10:40 h)

| | | | |
|----------------------------|------|------|------|
| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
| Intenzita provozu po 5min. | 131 | 128 | 147 |
| Ekv. hladina [dB] | 66,8 | 66,9 | 67,0 |

Graf 3 Naměřené hodnoty - třetí měření (18. 3. 10:40 h)



Tabulka 8 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20 °C (18. 3. 10:40 h)

| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
|----------------------------|------|------|------|
| Intenzita provozu po 5min. | 131 | 128 | 147 |
| Ekv. hladina [dB] | 67,5 | 67,6 | 67,7 |

Při realizaci třetího měření hladina akustického pozadí L_{Aminp} dosahovala hodnoty 53,0 dB a maximální hladina akustického tlaku L_{Amaxp} se rovnala 82,6 dB.

Při realizaci těchto tří měření se jevil jako dominantní spíše hluk od motoru projíždějících vozidel než hluk od odvalování pneumatik po povrchu vozovky. Jako nejvíce hlučná vozidla byla zaznamenána vozidla MHD staršího data výroby. Zejména trolejbusy staršího data výroby téměř vždy stanovily maximální hodnotu akustického tlaku. U vozů MHD novějšího data výroby překvapivě nedosahovaly naměřené hodnoty akustického tlaku při průjezdu hodnot osobních automobilů. Z ostatních motorových vozidel, započítávaných do měření, se jako nejhlučnější (a to díky hluku motoru) ukázaly lehké dodávkové vozy Ford Tranzit také staršího data výroby.

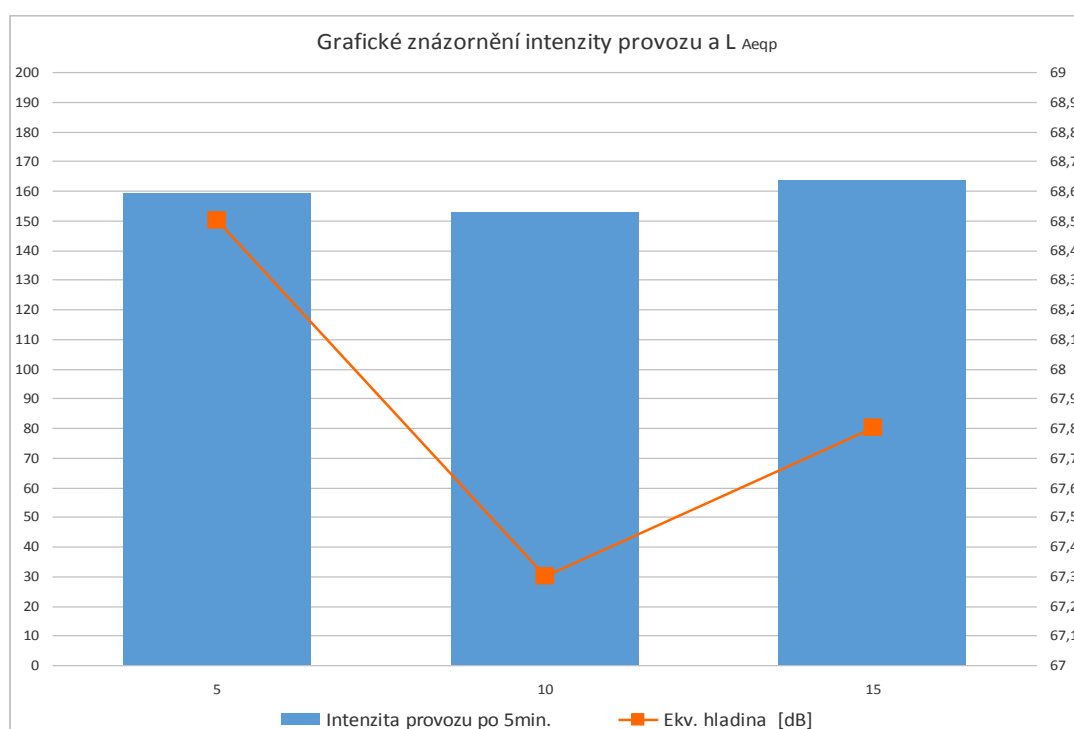
Další měření hladin akustického tlaku a ekvivalentního akustického tlaku na tomto stanovišti bylo realizováno v odstupe téměř jednoho kalendářního měsíce, dne 17.4. 2014 v době od 13:20 hodin. Teplota okolního vzduchu dosahovala hodnoty 18 °C a rychlost větru nepřekročila po dobu provádění měření rychlost 3 m/s. Při těchto měřeních byla zaznamenána

hladina akustického pozadí L_{Aminp} 54,7 dB a maximální hladina akustického tlaku L_{Amaxp} 84,7 dB. Ostatní naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 10, grafickém znázornění a následně jsou v tabulce č. 11 interpretovány hodnoty akustického tlaku korigované na referenční teplotu 20 °C.

Tabulka 9 Naměřené hodnoty (17. 4. 13:20 h)

| | | | |
|----------------------------|------|------|------|
| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
| Intenzita provozu po 5min. | 159 | 153 | 164 |
| Ekv. hladina [dB] | 68,5 | 67,3 | 67,8 |

Graf 4 Naměřené hodnoty (17. 4. 13:20 h)



Tabulka 10 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20 °C (17. 4. 13:20 h)

| | | | |
|----------------------------|------|------|------|
| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
| Intenzita provozu po 5min. | 159 | 153 | 164 |
| Ekv. hladina [dB] | 68,7 | 67,5 | 68,0 |

Další zamýšlená měření nemohla být realizována, jelikož v blízkosti měřícího stanoviště byly započaty práce na údržbě zeleně (sekání motorovou sekačkou). Vysoká hlučnost motorové sekačky by významným způsobem zkreslila naměřené hodnoty.

4.4.2 Měření na stanovišti č. 2

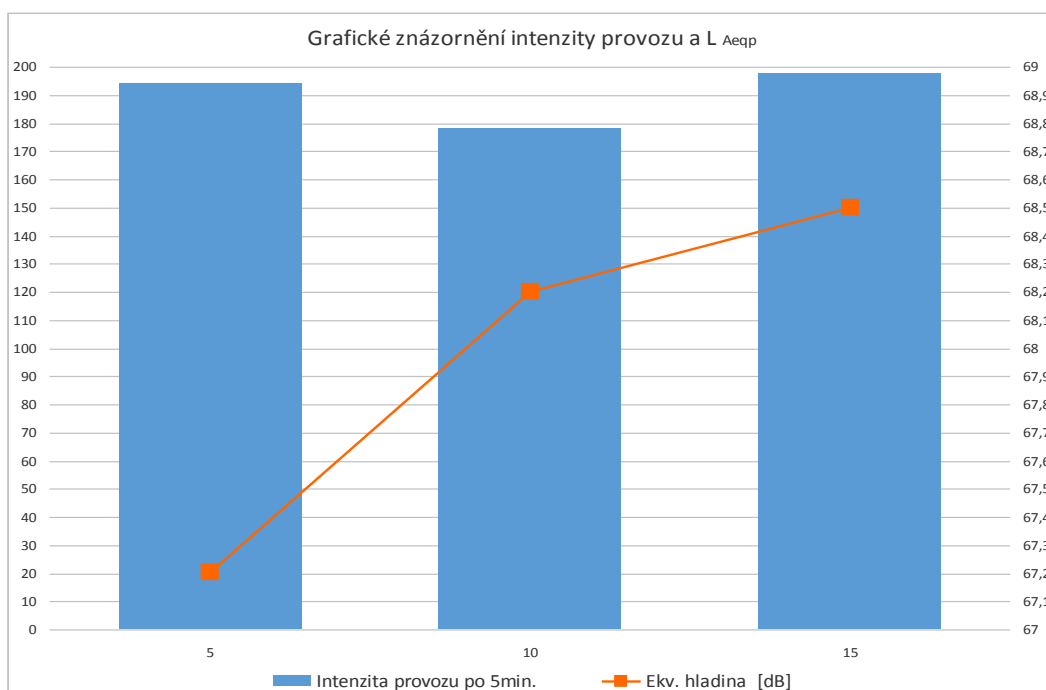
Měřicí stanoviště č. 2 bylo zvoleno pro ověření naměřených hodnot na stanovišti č. 1. Jedná se totiž o totožný úsek pozemní komunikace jako u předchozího stanoviště, jen posunutý o několik stovek metrů blíže k centru Pardubic (k mostu Pavla Wonky). Místo pro měření hlukové zátěže je také úmyslně shodné s místem, kde velmi často provádí policie ČR měření rychlosti. Tímto umístěním jsme eliminovali možný problém ovlivnění měření vyšší průjezdovou rychlostí vozidel. Povrch pozemní komunikace u tohoto měřicího stanoviště je shodný s měřicím stanovištěm č.1. Za pozitivní považuji zejména také skutečnost, že povětrnostní podmínky dovolily provedení ověřovacích měření v poměrně blízkém časovém úseku od prvních měření (18. 3. a 20. 3.). Při těchto ověřovacích měřeních konaných v odpoledních hodinách se předpokládá vyšší intenzita provozu. Proto se zde může projevit případný vliv (závislost) hlukové zátěže okolí na intenzitě provozu.

Měření na tomto stanovišti byla realizována dne 20. 3. 2014. První započalo v 16:00 hodin, následné v 16:20 hodin. Teplota okolního vzduchu byla 16 °C a rychlost větru do 3 m/s. Naměřené a korigované hodnoty jsou opět zapracovány do grafu a tabulek níže uvedených. Při prvním měření dosáhla naměřená hodnota maximálního akustického tlaku L_{Amaxp} 92,8 dB, zatímco hladina tlaku akustického pozadí L_{Aminp} 54,4 dB. Uvedená maximální hodnota byla dosažena vozidlem s upraveným výfukem, který hlučností výrazně přesahoval všechna vozidla na sledované pozemní komunikaci. Tuto maximální hodnotu však nelze z měření vyloučit. Přestože naměřené limitní hodnoty výrazně překračují hodnoty „standardní“ a jejich výskyt je ojedinělý, ovlivňují ekvivalentní hladinu akustického tlaku a stejně tak lidský sluch. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 12.

Tabulka 11 Naměřené hodnoty - první měření (20. 3. 16:00 h)

| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
|----------------------------|------|------|------|
| Intenzita provozu po 5min. | 194 | 178 | 198 |
| Ekv. hladina [dB] | 67,2 | 68,2 | 68,5 |

Graf 5 Naměřené hodnoty - první měření (20. 3. 16:00 h)



Tabulka 12 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20 °C (20. 3. 16:00 h)

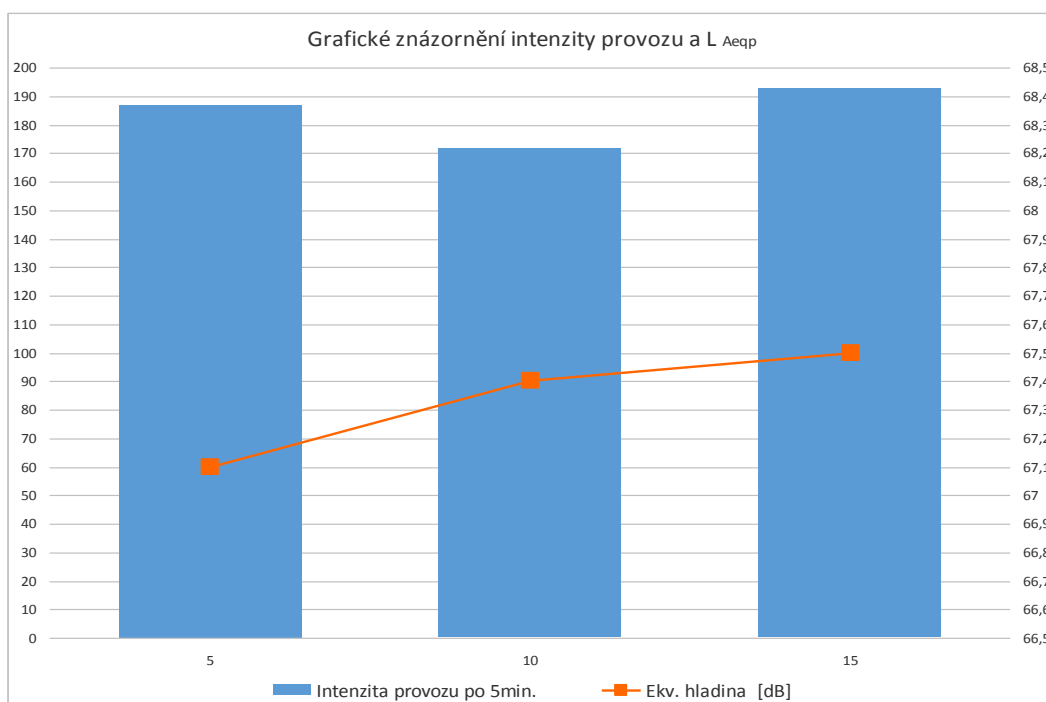
| | | | |
|----------------------------|------|------|------|
| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
| Intenzita provozu po 5min. | 194 | 178 | 198 |
| Ekv. hladina [dB] | 67,5 | 68,5 | 68,8 |

Druhé měření, zaznamenané v tabulce č. 14 se začátkem v 16:20 hodin, probíhalo za stejných podmínek jako předchozí měření se začátkem v 16:00. Zde již naměřené hodnoty maximálního akustického tlaku L_{Amaxp} 87,0 dB a hladina tlaku akustického pozadí L_{Aminp} 55,1 dB, dosahovaly hodnot, které jsou běžnější.

Tabulka 13 Naměřené hodnoty - druhé měření (20.3. 16:20 h)

| | | | |
|----------------------------|------|------|------|
| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
| Intenzita provozu po 5min. | 187 | 172 | 193 |
| Ekv. hladina [dB] | 67,1 | 67,4 | 67,5 |

Graf 6 Naměřené hodnoty - druhé měření (20.3. 16:20 h)



Tabulka 14 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20°C (20. 3. 16:20 h)

| | | | |
|----------------------------|------|------|------|
| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
| Intenzita provozu po 5min. | 187 | 172 | 193 |
| Ekv. hladina [dB] | 67,4 | 67,7 | 67,8 |

Ze zjištěných, naměřených, hodnot vyplývá, že pokud na stejném povrchu pozemní komunikace projede daným úsekem třeba jen jedno vozidlo, jehož produkce zvuku výrazně přesahuje „obvyklé“ hodnoty, dochází k ovlivnění ekvivalentní hladiny akustického tlaku. Bohužel takové vlivy není schopen absorbovat žádný, v současné době vyráběný, vrchní kryt pozemní komunikace.

4.4.3 Měření na stanovišti č. 3

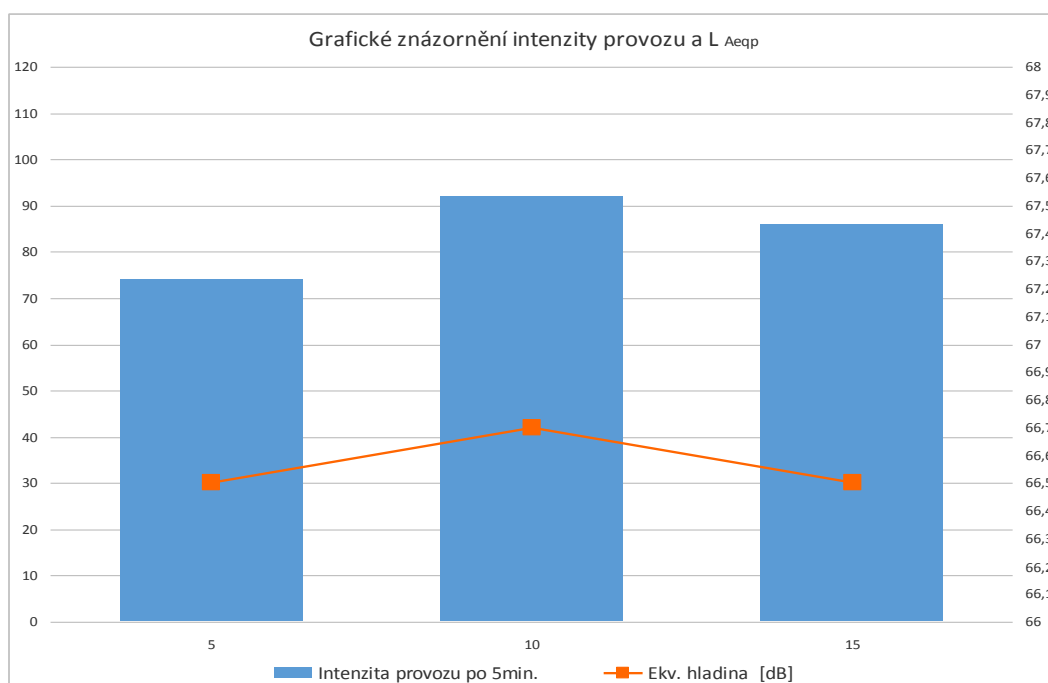
Poděbradská ulice v Pardubicích, kde bylo umístěno měřící stanoviště č.3, je navazující silniční komunikací na výše zmiňovanou ulici Hradeckou. Na pozemní komunikaci této ulice je taktéž použit jako vrchní kryt asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy s příměsí asfaltu modifikovaný pryžovým granulátem (BBTM 5 CRmB). Jelikož je Poděbradská ulice jednou s příjezdových pozemních komunikací napojených na ulici Hradecká, je zde o něco nižší intenzita provozu. V roce 2010, kdy bylo měření intenzity provozu realizováno ŘSD, dosahovala hodnoty cca 13 500 vozidel za 24 hodin. Vzhledem ke skutečnosti, že se jedná

o silnici třetí třídy, její vytížení dopravním provozem je značné. Zde realizovaná měření proběhla ve dvou cyklech s odstupem zhruba necelého jednoho měsíce, 20. 3. 2014 a 17. 4. 2014. Jedná se o celkem pět měření v patnáctiminutových cyklech, ve kterých byla zaznamenávána intenzita provozu a ekvivalentní hladina akustického tlaku po pěti minutách, včetně všech ostatních relevantních hodnot, jako u předchozích realizovaných měření. První z trojice měření dne 20. 3. 2014 proběhlo ve 13:20 hodin. Teplota okolního vzduchu dosahovala hodnoty 17 °C a rychlost větru byla naměřena 1 m/s. Jak bylo již výše uvedeno, splněny byly i ostatní podmínky pro měření, povrch pozemní komunikace byl suchý, neznečištěný, po dobu měření nebyly zaznamenány dešťové srážky atd. Dále budou níže v tabulkách i graficky interpretovány naměřené hodnoty a následné korekce na teplotu okolního vzduchu – jako v předchozích případech.

Tabulka 15 Naměřené hodnoty - první měření (20.3. 13:20 h)

| | | | |
|----------------------------|------|------|------|
| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
| Intenzita provozu po 5min. | 74 | 92 | 86 |
| Ekv. hladina [dB] | 66,5 | 66,7 | 66,5 |

Graf 7 Naměřené hodnoty - první měření (20.3. 13:20 h)



Tabulka 16 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20 °C (20. 3. 13:20 h)

| | | | |
|----------------------------|------|------|------|
| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
| Intenzita provozu po 5min. | 74 | 92 | 86 |
| Ekv. hladina [dB] | 66,7 | 66,9 | 66,7 |

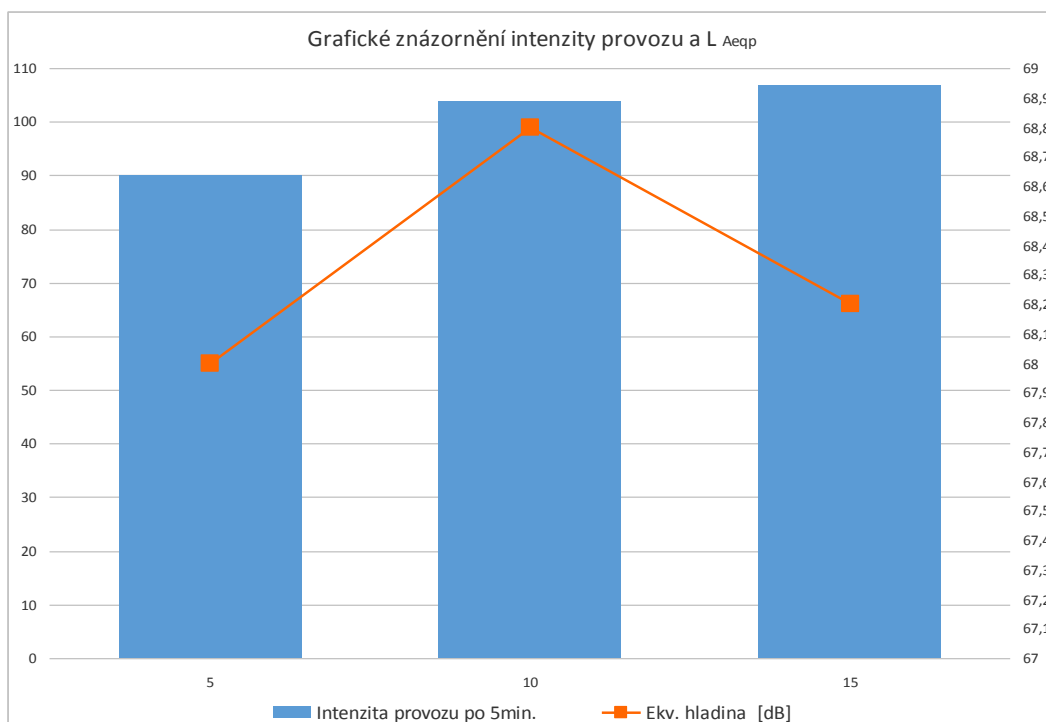
Při tomto měření byly zaznamenány hodnoty maximálního akustického tlaku L_{Amaxp} 80,8 dB a hladina tlaku akustického pozadí L_{Aminp} 55,2 dB.

Druhé měření téměř navazovalo na prováděné měření první. Podmínky tedy zůstaly shodné pro obě měření. Začátek měření byl ve 13:45 hodin. Další údaje jsou v tabulce č. 18 a následujícím grafu.

Tabulka 17 Naměřené hodnoty - druhé měření (20. 3. 13:45 h)

| | | | |
|----------------------------|------|------|------|
| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
| Intenzita provozu po 5min. | 90 | 104 | 107 |
| Ekv. hladina [dB] | 68,0 | 68,8 | 68,2 |

Graf 8 Naměřené hodnoty - druhé měření (20. 3. 13:45 h)



Tabulka 18 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20 °C (20. 3. 13:45 h)

| | | | |
|----------------------------|------|------|------|
| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
| Intenzita provozu po 5min. | 90 | 104 | 107 |
| Ekv. hladina [dB] | 68,2 | 70,0 | 68,4 |

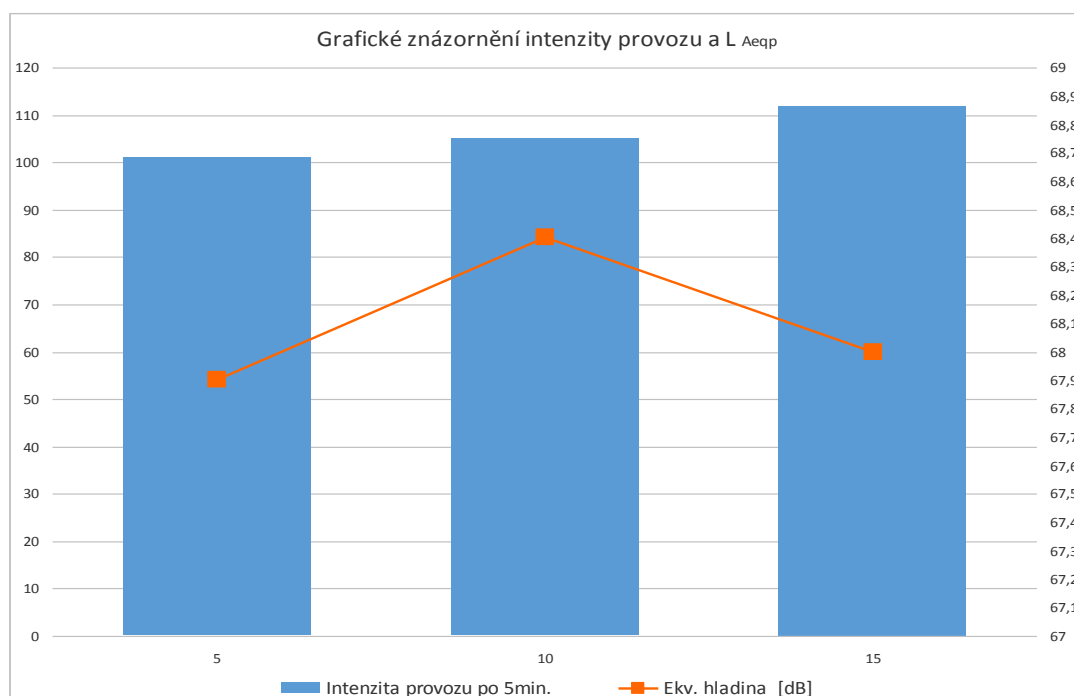
Maximální hladina akustického tlaku L_{Amaxp} byla zaznamenána poměrně vysoká 91,2 dB, což ovlivnilo i výslednou L_{Aeqp} . Hladina tlaku akustického pozadí L_{Aminp} měla hodnotu 55,2 dB.

Třetí měření bylo realizováno s malým časovým odstupem (cca jedné hodiny), takže ani v tomto případě nedošlo ke změně podmínek pro měření.

Tabulka 19 Naměřené hodnoty - třetí měření (20. 3. 14:55 h)

| | | | |
|----------------------------|------|------|------|
| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
| Intenzita provozu po 5min. | 101 | 105 | 112 |
| Ekv. hladina [dB] | 67,9 | 68,4 | 68,0 |

Graf 9 Naměřené hodnoty - třetí měření (20. 3. 14:55 h)



Tabulka 20 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20 °C (20. 3. 14:55 h)

| | | | |
|----------------------------|------|------|------|
| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
| Intenzita provozu po 5min. | 101 | 105 | 112 |
| Ekv. hladina [dB] | 68,1 | 68,6 | 68,2 |

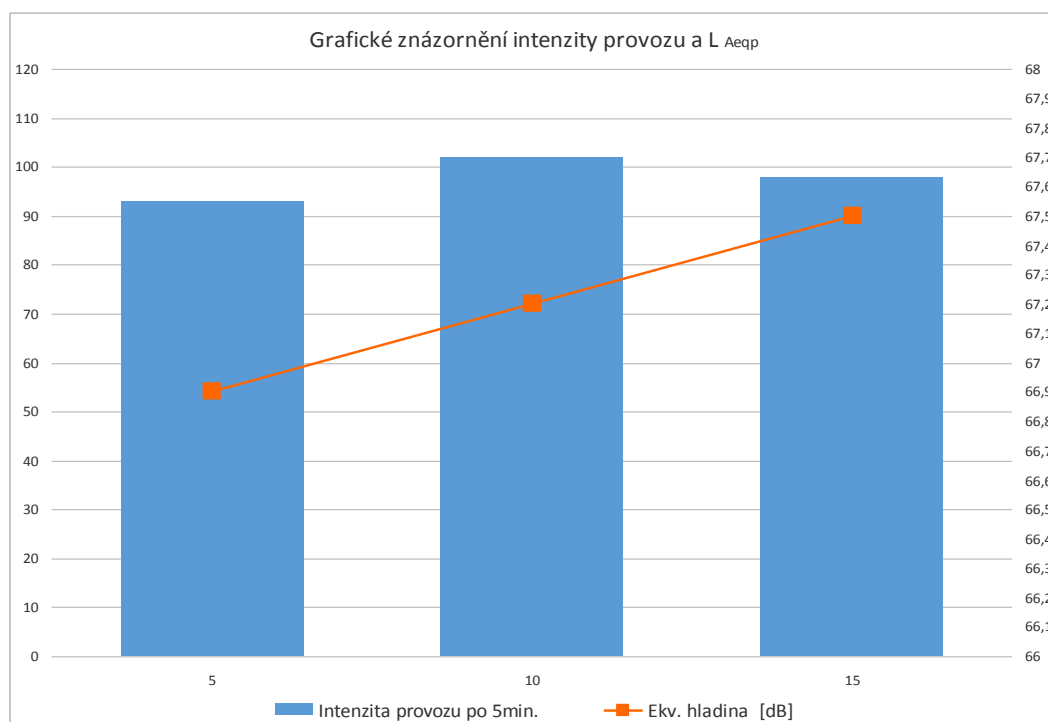
Také při tomto měření byla zaznamenána poměrně vysoká maximální hladina akustického tlaku L_{Amaxp} a to 89,9 dB. Hladina tlaku akustického pozadí L_{Aminp} dosahovala hodnoty 53 dB. Ostatní hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 20, výše.

Následující kontrolní měření probíhala, jak je výše uvedeno, se zhruba měsíčním odstupem od prvních měření, tj. dne 17. 4. 2014. Podmínky pro měření byly následující: teplota okolního vzduchu 18 °C, vítr 3 m/s, povrch měřeného úseku suchý, neznečištěný. První měření na tomto stanovišti bylo započato v cca 14 hodin standardním postupem (umístění měřicího zařízení, ...). Naměřené hodnoty jsou opět seřazeny do tabulky č. 22 a následně graficky zobrazeny.

Tabulka 21 Naměřené hodnoty - první měření (17. 4. 14:10 h)

| | | | |
|----------------------------|------|------|------|
| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
| Intenzita provozu po 5min. | 93 | 102 | 98 |
| Ekv. hladina [dB] | 66,9 | 67,2 | 67,5 |

Graf 10 Naměřené hodnoty - první měření (17. 4. 14:10 h)



Tabulka 22 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20 °C (17. 4. 14:10 h)

| | | | |
|----------------------------|------|------|------|
| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
| Intenzita provozu po 5min. | 93 | 102 | 98 |
| Ekv. hladina [dB] | 67,1 | 67,3 | 67,8 |

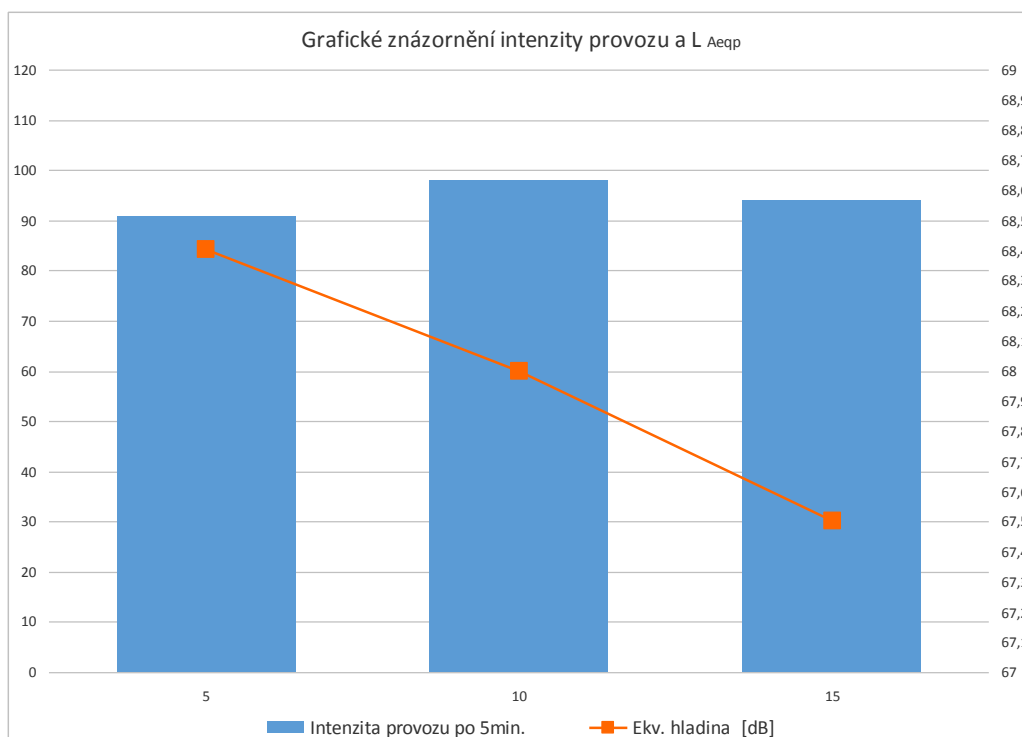
Maximální hodnota akustického tlaku L_{Amaxp} dosáhla 84,9 dB, hladina tlaku akustického pozadí L_{Aminp} měla hodnotu 53,3 dB.

Druhým měřením, s počátkem ve 14:30, byly zaznamenány následující hodnoty – viz tabulka č. 24.

Tabulka 23 Naměřené hodnoty - druhé měření (17. 4. 14:30 h)

| | | | |
|----------------------------|------|------|------|
| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
| Intenzita provozu po 5min. | 91 | 98 | 94 |
| Ekv. hladina [dB] | 68,4 | 68,0 | 67,5 |

Graf 11 Naměřené hodnoty - druhé měření (17. 4. 14:30 h)



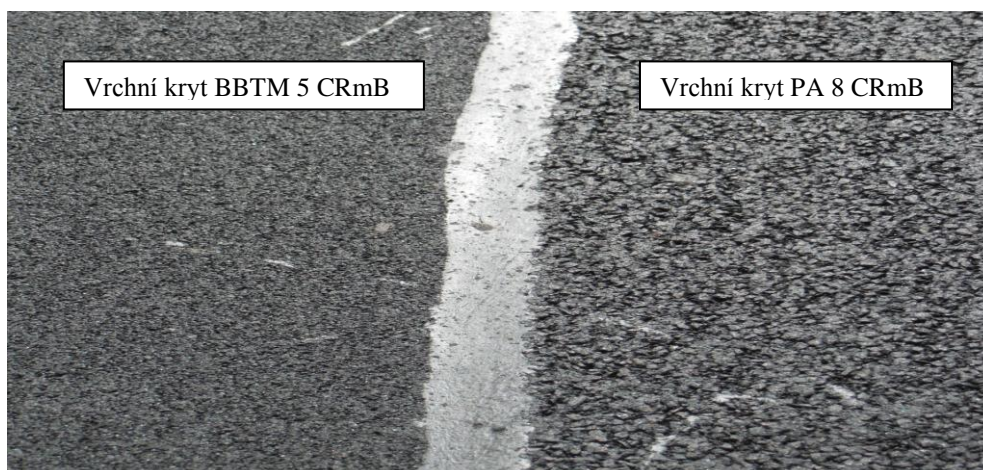
Tabulka 24 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20 °C (17. 4. 14:30 h)

| | | | |
|----------------------------|------|------|------|
| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
| Intenzita provozu po 5min. | 91 | 98 | 94 |
| Ekv. hladina [dB] | 68,6 | 68,2 | 67,7 |

Stejně jako u předchozích měření jsou zaznamenány dvě hodnoty akustického tlaku a to maximální, L_{Amaxp} 87,4 dB a hladina tlaku akustického pozadí L_{Aminp} měla hodnotu 53,2 dB. Po proběhlých měřeních, která byla realizována na tomto a předchozích stanovištích, lze již konstatovat, že intenzita provozu nemá, ve zjištěném rozsahu, rozhodující vliv na zatížení okolí pozemních komunikací emisemi hluku z dopravy. Další závěry budou uvedeny v následujících kapitolách této práce.

4.4.4 Měření na stanovišti č. 4

Další stanoviště, č. 4, je umístěno taktéž do ulice Poděbradská v Pardubicích, několik stovek metrů od stanoviště číslo 3. Zde se nejedná o ověřovací stanoviště, jako u stanoviště č. 1 a č.2. Úsek pozemní komunikace u měřicího stanoviště č. 4 je osazen vrchní krycí netuhou vrstvou s příměsí asfaltu modifikovaný pryžovým granulátem - Drenážní koberec PA 8 CRmB. Tento vrchní kryt má také protihlukové účinky a měl by tak zajišťovat snížení hlučnosti dopravního proudu. Oproti krytu označovaném BBTM CRmB, který je také s příměsí asfaltu modifikovaný pryžovým granulátem, má na první pohled hrubší strukturu – viz obrázek č. 16, ul. Poděbradská, Pardubice. Vzhledem k hrubší struktuře je možné se domnívat, že hlukový útlum bude vyšší než u výše uvedeného vrchního krytu, který na první pohled působí kompaktním dojmem.



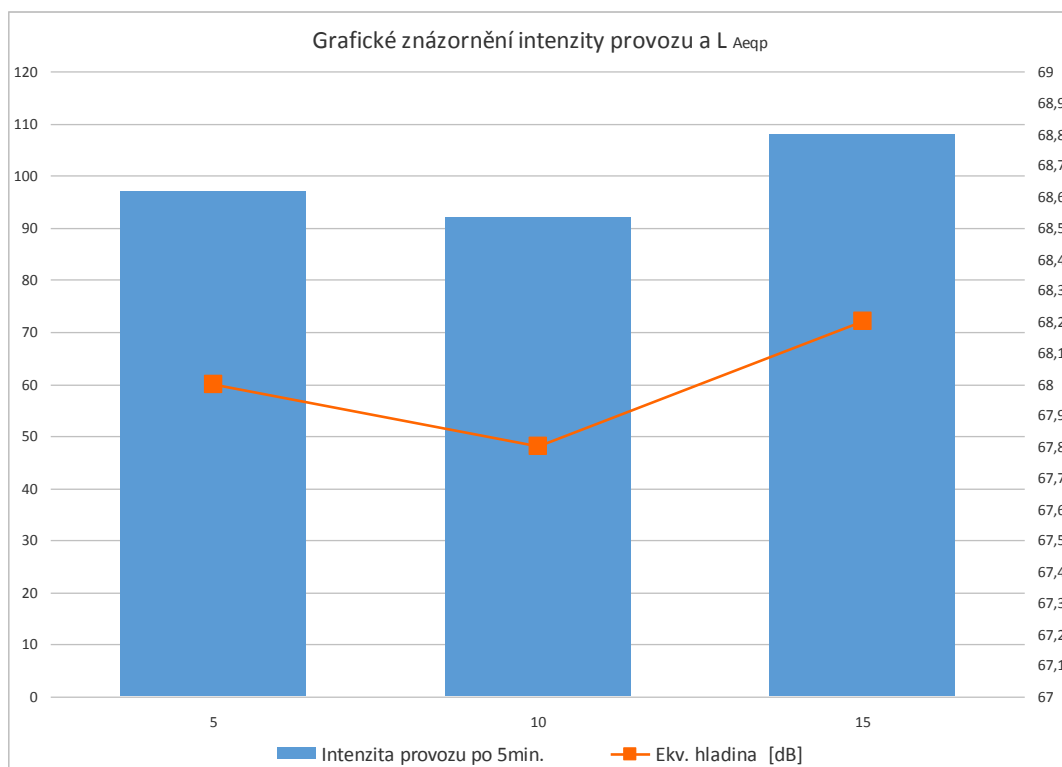
Obrázek 16 Vrchní kryt vozovky, ul. Poděbradská, Pardubice (foto autor)

První měření hlukové zátěže okolí, dle navržené metodiky, proběhlo 20. 3 . 2014, ve čtrnáct hodin a deset minut. V podstatě bylo měřicí zařízení pouze přesunuto o několik stovek metrů, po dokončení měření na stanovišti č. 3, které bylo prováděno téhož dne. Podmínky pro měření tedy zůstávají shodné jako v předchozí případě (měření na stanovišti č. 3, dne 20. 3. 2014). Naměřené hodnoty jsou shrnuty v tabulce č. 26.

Tabulka 25 Naměřené hodnoty - první měření (20. 3. 14:10 h)

| | | | |
|----------------------------|------|------|------|
| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
| Intenzita provozu po 5min. | 97 | 92 | 108 |
| Ekv. hladina [dB] | 68,0 | 67,8 | 68,2 |

Graf 12 Naměřené hodnoty - první měření (20. 3. 14:10 h)



Tabulka 26 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20 °C (20. 3. - 14:10 h)

| | | | |
|----------------------------|------|------|------|
| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
| Intenzita provozu po 5min. | 97 | 92 | 108 |
| Ekv. hladina [dB] | 68,2 | 68,0 | 68,4 |

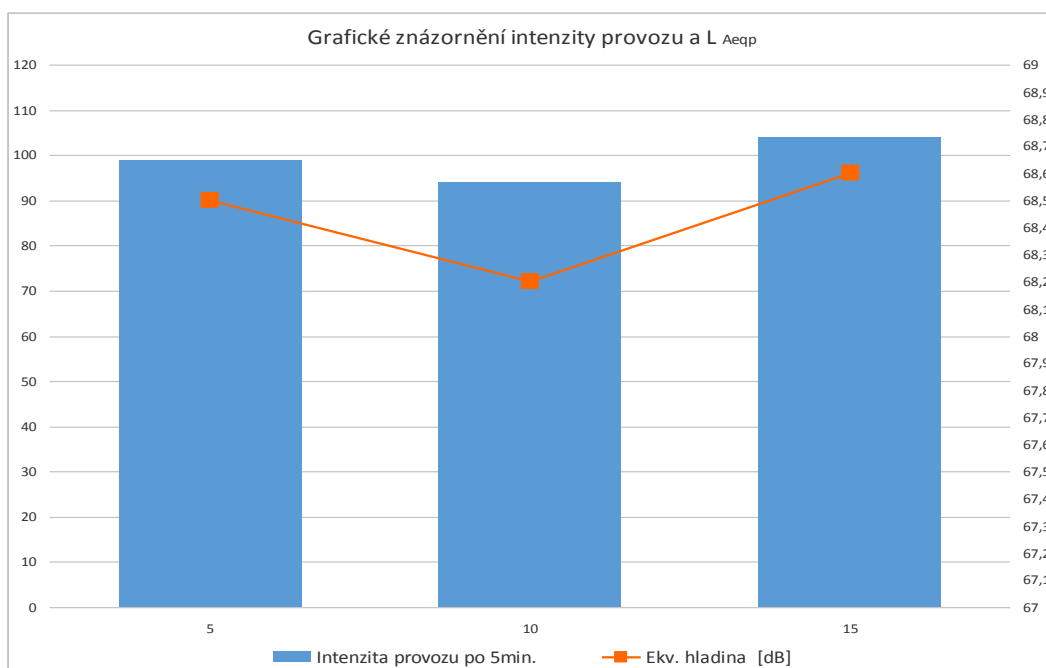
V tomto případě maximální hladina akustického tlaku, L_{Amaxp} , dosáhla hodnoty 82,9 dB. Hladina tlaku akustického pozadí L_{Aminp} dosáhla hodnoty 52,0 dB.

Při druhém měření, realizovaném o pár minut později, byly zaznamenány hodnoty – viz tabulka č. 28.

Tabulka 27 Naměřené hodnoty - druhé měření (20. 3. 14:30 h)

| | | | |
|----------------------------|------|------|------|
| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
| Intenzita provozu po 5min. | 99 | 94 | 104 |
| Ekv. hladina [dB] | 68,5 | 68,2 | 68,6 |

Graf 13 Naměřené hodnoty - druhé měření (20. 3. 14:30 h)



Tabulka 28 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20 °C (20. 3. 14:30 h)

| | | | |
|----------------------------|------|------|------|
| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
| Intenzita provozu po 5min. | 99 | 94 | 104 |
| Ekv. hladina [dB] | 68,7 | 68,4 | 68,8 |

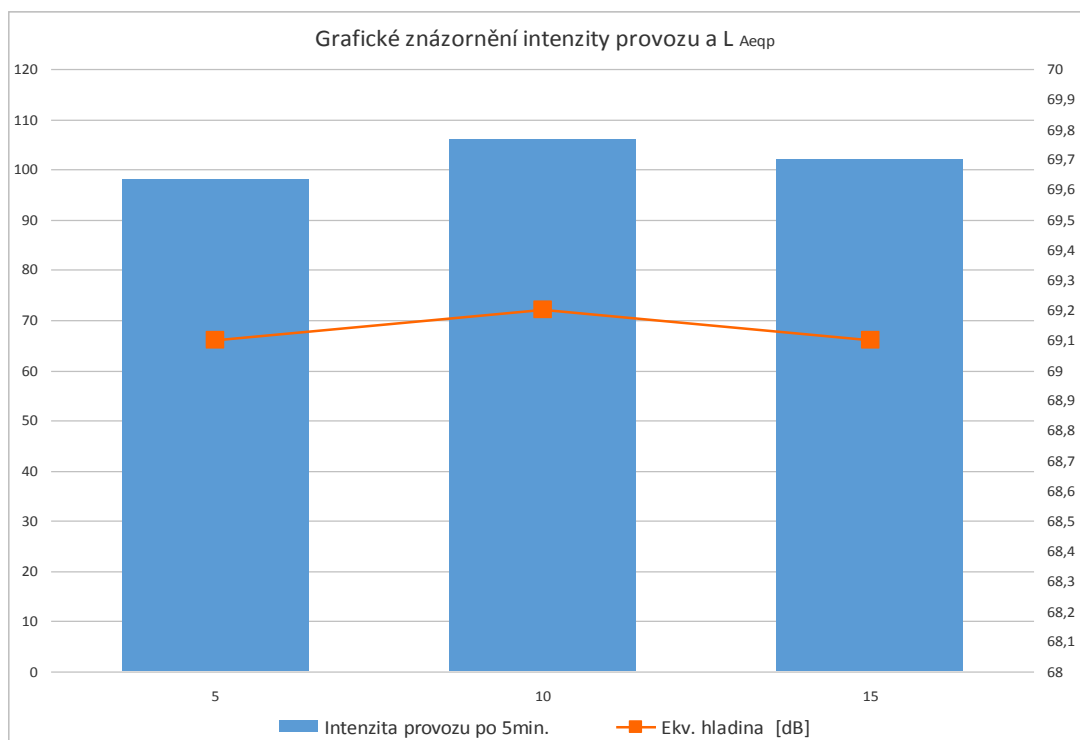
Maximální hladina akustického tlaku, L_{Amaxp} , zde dosáhla vyšší hodnoty než v předchozím případě, a to 87,0 dB a hladina tlaku akustického pozadí L_{Aminp} byla naměřena 52,4 dB.

Následující měření, realizovaná dne 17. 4. 2014, proběhla v souladu s navrženou metodikou a za splnění všech podmínek pro platná měření tj. rychlost větru nepřesahovala 5 m/s, naměřená hodnota činila maximálně 3 m/s a teplota okolního vzduchu dosahovala hodnoty 18 °C. Měřený úsek pozemní komunikace nevykazoval známky, které by realizovaná měření měla nějakým způsobem ovlivnit či zneplatnit. Výsledné hodnoty jsou zapsány do tabulky č. 30.

Tabulka 29 Naměřené hodnoty - první měření (17. 4. 14:50 h)

| | | | |
|----------------------------|------|------|------|
| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
| Intenzita provozu po 5min. | 98 | 106 | 102 |
| Ekv. hladina [dB] | 69,1 | 69,2 | 69,1 |

Graf 14 Naměřené hodnoty - první měření (17. 4. 14:50 h)



Tabulka 30 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20 °C (17. 4. 14:50 h)

| | | | |
|----------------------------|------|------|------|
| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
| Intenzita provozu po 5min. | 98 | 106 | 102 |
| Ekv. hodnota [dB] | 69,3 | 69,4 | 69,3 |

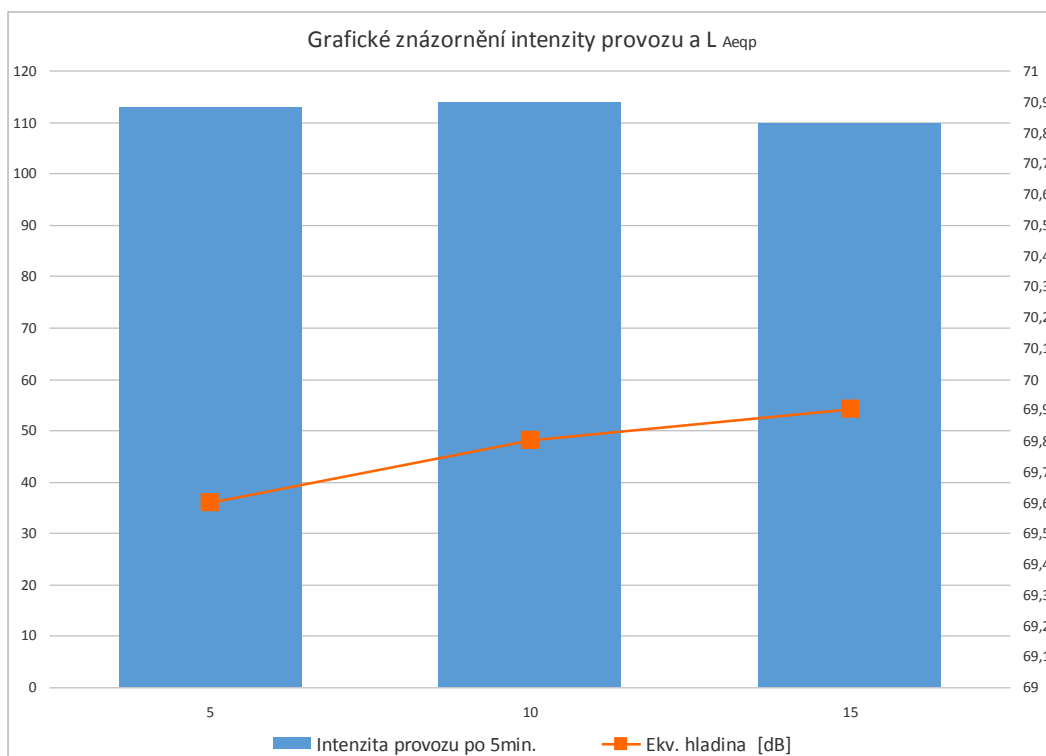
I zde byly zaznamenány hladiny maximálního akustického tlaku, L_{Amaxp} 88,0 dB a hodnota hladiny tlaku akustického pozadí L_{Aminp} 52,9 dB.

Druhé měření realizované téhož dne od 15:15 hodin – viz tabulka č. 32.

Tabulka 31 Naměřené hodnoty - druhé měření (17. 4. 15:15 h)

| | | | |
|----------------------------|------|------|------|
| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
| Intenzita provozu po 5min. | 113 | 114 | 110 |
| Ekv. hladina [dB] | 69,6 | 69,8 | 69,9 |

Graf 15 Naměřené hodnoty - druhé měření (17. 4. 15:15 h)



Tabulka 32 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20 °C (17. 4. 15:15 h)

| | | | |
|----------------------------|------|------|------|
| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
| Intenzita provozu po 5min. | 113 | 114 | 110 |
| Ekv. hladina [dB] | 69,8 | 70,0 | 70,1 |

Naměřené hodnoty maximálního akustického tlaku a hodnoty hladiny tlaku akustického pozadí byly definovány následujícími hodnotami L_{Amaxp} 89,7 dB a L_{Aminp} 53,1 dB.

4.4.5 Měření na stanovišti č. 5

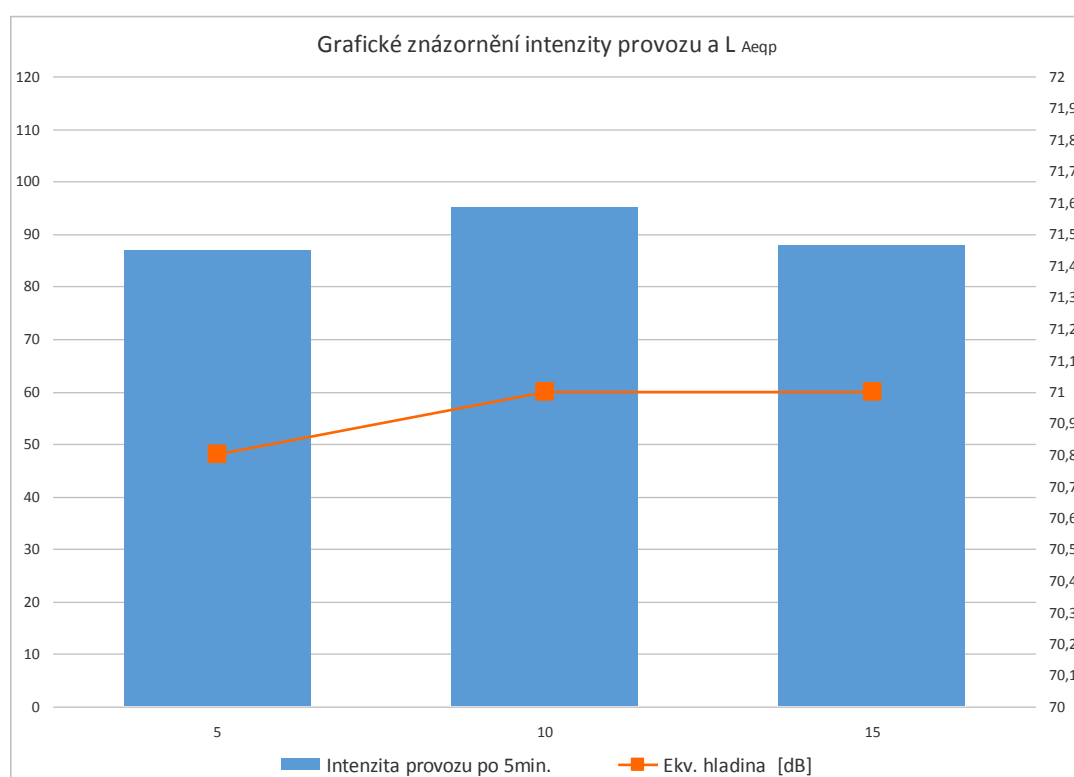
Abychom dosáhli lepšího porovnání působení vlivu povrchu pozemních komunikací na emise hluku z dopravy, bylo zvoleno pro měření ještě jedno stanoviště. Jeho umístění koresponduje s podmínkami navržené metodiky a zároveň se jedná o silniční komunikaci II. č. 324. Tato silniční komunikace je přímým pokračováním ulice Hradecká v Pardubicích (II. č. 324). Stanoviště č.5 je situováno na příjezd do obce Staré Hradiště, která přímo navazuje na Pardubice. Jelikož uvedená pozemní komunikace není tak zatížena silniční dopravou, jako předchozí uváděné, nebyla zatím realizována výměna vrchního krytu dotčeného úseku pozemní komunikace. Měření intenzity dopravního provozu, realizované v roce 2010, zaznamenalo údaj zhruba 7 000 motorových vozidel za 24 hodin. Tento údaj je tedy výrazně

nižší než na ostatních posuzovaných úsecích pozemních komunikací. Přesto se nejedná o nijak nízkou intenzitu provozu a vzhledem ke zjištěním učiněným při realizaci měření na stanovištích 1 - 4 se domnívám, že naměřená data budou relevantními údaji pro hodnocení hlukové zátěže v souvislosti s kvalitou vrchního krytu pozemní komunikace. Posuzovaná komunikace je opatřena asfaltovým krytem stáří cca 8 až 10 let, s vyspravenými podélnými i příčnými trhlinami – viz obrázek č. 14. Měření bylo realizováno dne 20. 3. 2014 v odpoledních hodinách, v 15:30. Měřený úsek komunikace nebyl nijak viditelně znečištěn ani zasažen vlhkostí či deštěm. Teplota okolního vzduchu dosahovala 15 °C a rychlost větru 2 m/s. Výsledky měření jsou seřazeny v tabulce č. 34 a následně graficky zobrazeny. Jako u všech předchozích měření je provedena korekce naměřených hodnot na úroveň referenční teploty okolního vzduchu 20 °C – viz tabulka č. 35.

Tabulka 33 Naměřené hodnoty (20. 3. 15:30 h)

| | | | |
|----------------------------|------|------|------|
| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
| Intenzita provozu po 5min. | 87 | 95 | 88 |
| Ekv. hladina [dB] | 70,8 | 71,0 | 71,0 |

Graf 16 Naměřené hodnoty (20. 3. 15:30 h)



Tabulka 34 Hodnoty korigované na referenční teplotu 20 °C (20. 3. 15:30 h)

| | | | |
|----------------------------|------|------|------|
| Doba měření v min. | 5 | 10 | 15 |
| Intenzita provozu po 5min. | 87 | 95 | 88 |
| Ekv. hladina [dB] | 71,2 | 71,4 | 71,4 |

Hladina maximálního akustického tlaku činila L_{Amaxp} 88,0 dB a hodnota hladiny tlaku akustického pozadí L_{Aminp} 54,5 dB.

Závěrem lze konstatovat, že ačkoliv všechna měření byla realizována v jarních měsících, kdy je mnoho dní deštivých, případně větrných, povedlo se shromáždit dostatečný počet údajů, které nejsou zatíženy těmito vlivy a lze je tedy bez problému použít pro následná vyhodnocení.

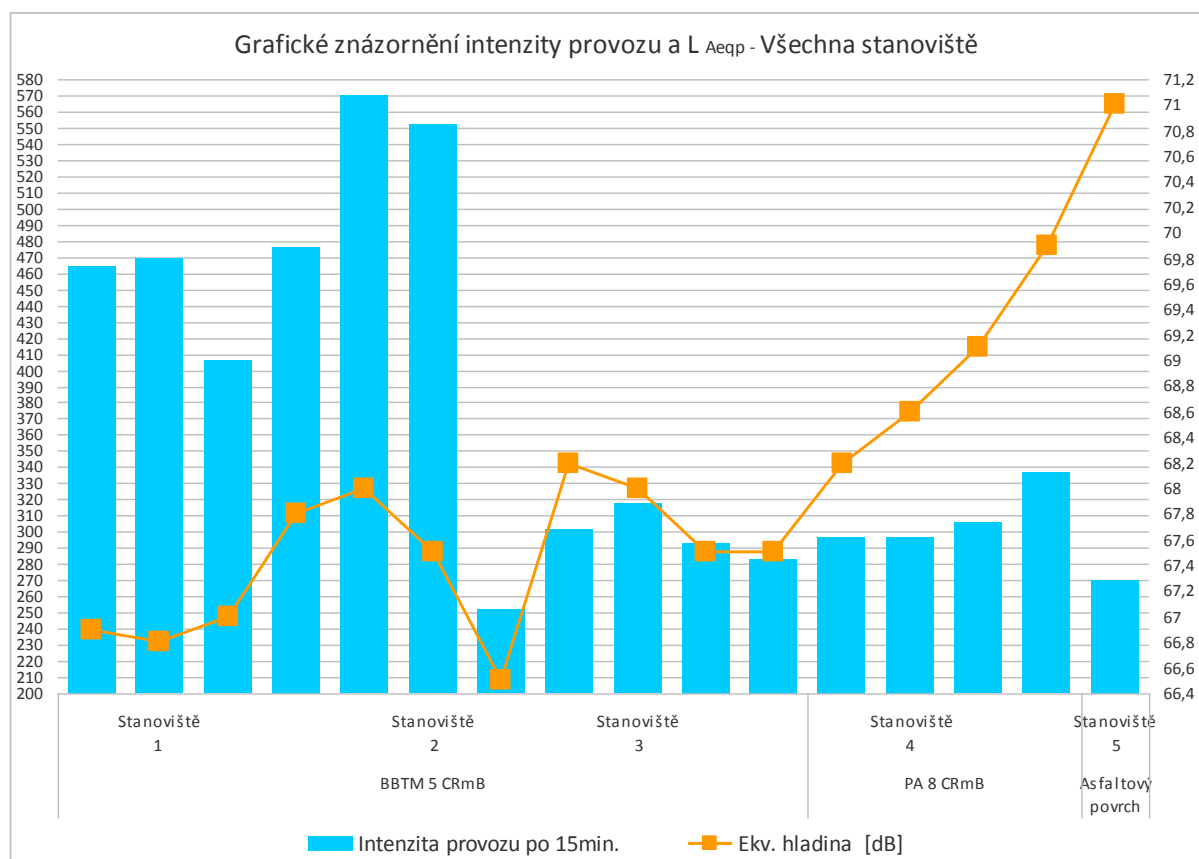
5 Vyhodnocení naměřených hodnot

Již v úvodu čtvrté kapitoly této práce nazvané „Realizace navržené metodiky na vybraných pozemních komunikacích“ je zmiňováno, že pokud má být uvedena do praxe jakákoliv metodika, doporučený postup či nařízení, je velmi vhodné tento předpis prověřit v praktických podmínkách. Tato cesta byla zvolena také u výše navrhované metodiky na měření vlivu povrchu pozemních komunikací na hlukovou zátěž okolí. Jelikož pro navrhovanou metodiku byla zvolena statická metoda měření SPB, bylo poměrně problematické provést měření tak, aby nebyla zatížena negativními vlivy. Tím je myšlen hlavně vliv počasí. Vliv počasí je jedním z hlavních omezujících faktorů při provádění měření hluku metodou SPB. V jarních měsících, kdy bylo ověření navržené metodiky realizováno, nebylo mnoho dnů vhodných pro ověřovací měření. Přesto se podařilo získat dostatek naměřených hodnot pro vyhodnocení. V dalších podkapitolách se zaměřím na jednotlivé naměřené parametry, které mohou ovlivňovat výsledné hodnoty.

5.1 Intenzita dopravy

Během realizovaných měření byly získávány mimo jiné údaje o intenzitě provozu na měřeném úseku pozemní komunikace. Stejně jako ekvivalentní hladina akustického tlaku, byla intenzita provozu sledována v pětiminutových intervalech. Na naměřených hodnotách by se mohlo projevit, zda má na hlukovou zátěž větší vliv intenzita či povrch pozemní komunikace. Takto stanovený systém sledování by mohl ukázat, jak zásadní vliv má intenzita provozu na hlukovou zátěž okolí. Podle provedených studií a výpočtů predikce hluku silniční dopravy, by neměla závislost intenzity dopravního proudu výrazně ovlivňovat naměřené hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku. *Matematický nárůst intenzity dopravy na dvojnásobek lze fyzikálně interpretovat jako existenci dvou stejných zdrojů dopravního hluku – důsledkem je pak zvýšení původní hodnoty L_{Aeqp} o 3 dB.* [6]. Přesto je vhodné výše uvedené skutečnosti ověřit, abychom mohli potvrdit, že v metodice navrhovaný počet projíždějících motorových vozidel při provádění měření lze považovat za dostatečný. Průběh měření L_{Aeqp} a intenzity dopravního proudu, společně na všech měřících stanovištích, je zobrazen v níže uvedeném grafu č. 17. Intenzita dopravního proudu je zobrazena v měřených patnáctiminutových intervalech náležících ke každému stanovišti a povrchu pozemní komunikace.

Graf 17 Závislost hladiny LAeqp na intenzitě provozu (po 15min, stanovištích a povrchu)



Korelační koeficient mezi intenzitou provozu a ekvivalentní hladinou akustického tlaku je $\rho = -0,33136$. Je zřejmé, že významná závislost mezi ekvivalentní hladinou hluku a intenzitou dopravy se při námi prováděných, na sebe nenavazujících, patnáctiminutových měřeních nepotvrdila. Z uvedeného je také patrné, že podstatnějším parametrem než je intenzita provozu, může být doba provádění měření. Pro potvrzení této teze nebyla prováděna další dlouhodobá měření. Přesto je možno konstatovat, že měření hluku v okolí pozemní komunikace způsobené provozem dopravních prostředků lze provádět i na pozemních komunikacích s nižší intenzitou provozu a naměřené hodnoty tím nebudou zkresleny. Navrhovaný počet vozidel v metodice lze považovat za dostatečný. Naopak nedojde k rozporu a nepřesnostem při hodnocení intenzity (počítání motorových vozidel).

5.2 Maximální a ekvivalentní hladina akustického tlaku

Dalším parametrem, který by mohl ovlivňovat naměřené hodnoty akustického tlaku je maximální hladina akustického tlaku. Jak již bylo uvedeno, hladina L_{Aeqp} je definována jako ustálená hladina akustického tlaku zvuku, který má stejný negativní vliv na lidský sluch, jako proměnný zvuk naměřený v daném časovém intervalu. Jedná se o jakýsi průměr okamžitých

naměřených hodnot akustického tlaku. Dle tohoto vyjádření by se měla potvrdit skutečnost, že výrazně hlučnější vozidlo v dopravním proudu může značně ovlivnit naměřené hodnoty. Naměřené hodnoty maximálního akustického tlaku a hladiny ekvivalentních hodnot akustického tlaku (za 15 minut) byly pro přehlednost zpracovány do tabulky č. 36.

Tabulka 35 Naměřené hladiny L_{Amaxp} a L_{Aeqp}

| Stanoviště | Maximální hladina akustického tlaku [dB] | Ekvivalentní hladina akustického tlaku [dB] |
|------------|--|---|
| 1 | 82,3 | 66,9 |
| 1 | 84,4 | 66,8 |
| 1 | 82,6 | 67,0 |
| 1 | 84,7 | 67,8 |
| 2 | 92,8 | 68,0 |
| 2 | 87,0 | 67,5 |
| 3 | 80,8 | 66,5 |
| 3 | 91,2 | 68,2 |
| 3 | 89,9 | 68,0 |
| 3 | 84,9 | 67,5 |
| 3 | 87,4 | 67,5 |
| 4 | 82,9 | 68,2 |
| 4 | 87,0 | 68,6 |
| 4 | 88,0 | 69,1 |
| 4 | 89,7 | 69,9 |
| 5 | 88,0 | 71,0 |

Výše uvedená tabulka zobrazuje porovnání naměřených hodnot L_{Aeqp} a L_{Amaxp} . Abychom ověřili případnou závislost uvedených hodnot, byl opět použit korelační koeficient. Ten dosáhl hodnoty 0,537692, což ukazuje na ne příliš významnou závislost mezi těmito hodnotami. Pro vyloučení ostatních vlivů na hodnoty, ze kterých byl korelační koeficient vypočítán, byla provedena ještě korekce hodnot na referenční teplotu 20 °C. Tyto hodnoty nebudou dále v tabulce interpretovány. Korelační koeficient takto korigovaných hodnot dosáhl úrovně 0,516057. Toto opět potvrzuje skutečnost, že závislost mezi naměřenou maximální hladinou akustického tlaku a ekvivalentní hladinou akustického tlaku je jen málo významná. Znovu je třeba brát v potaz poměrně krátkou dobu měření. V případě

kontinuálního měření v delším časovém úseku by korelační koeficienty mohly dosáhnout výrazně jiných hodnot.

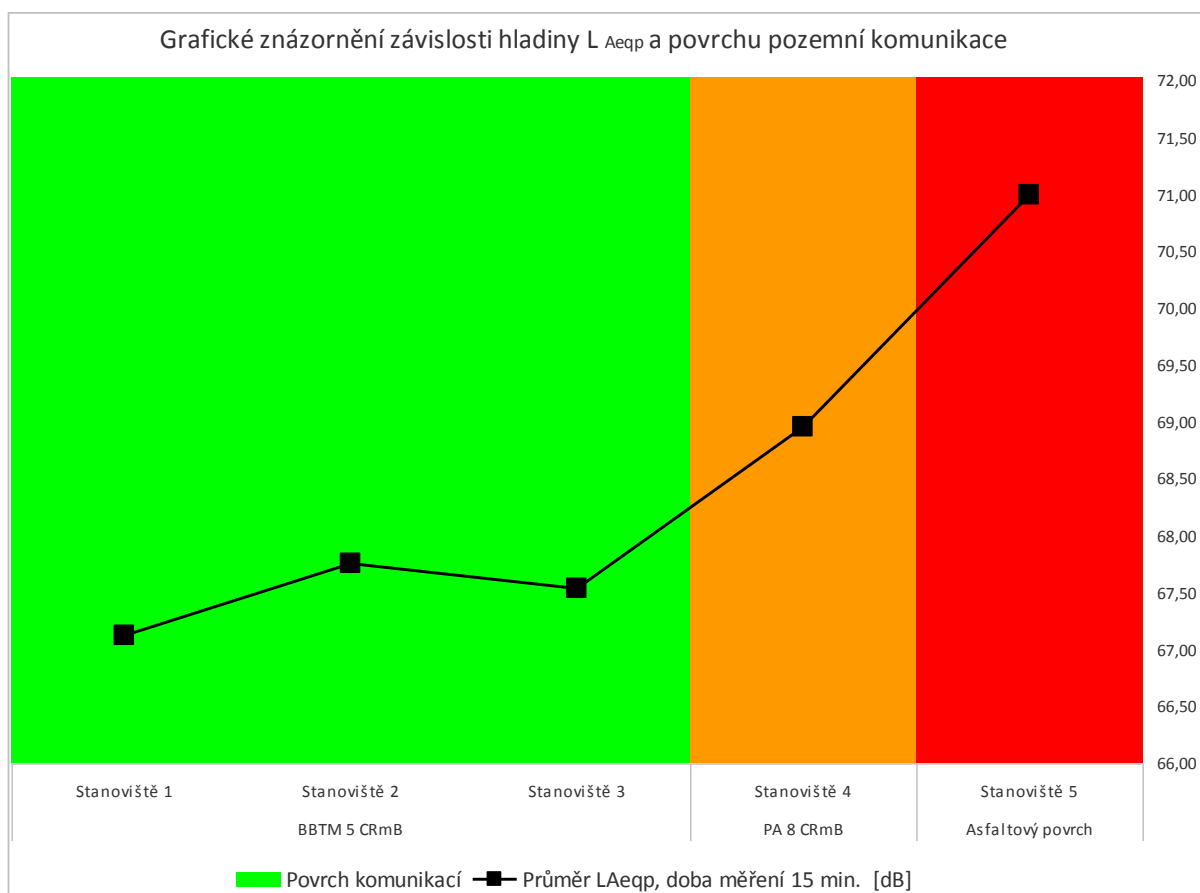
5.3 Vliv povrchu pozemní komunikace na ekvivalentní hladinu akustického tlaku

Dalším z rozhodujících parametrů ovlivňujících hlukovou zátěž okolí pozemních komunikací je vlastní povrch pozemní komunikace. Jak již bylo uvedeno, pro realizaci měření se musí volit úsek pozemní komunikace s minimálním podélným sklonem z důvodu nezatížení naměřených hodnot nadměrným hlukem motoru při jízdě do kopce. Pokud jsou splněny i ostatní podmínky pro měření, je možno provést měření hluku s cílem ověření vlivu povrchu pozemní komunikace na hlukovou zátěž okolí pomocí navržené metodiky. Při takto realizovaných měřeních, pro potřeby ověření metodiky navržené v této práci, byly zvoleny tři druhy vrchních krytů pozemních komunikací a to:

- asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy s příměsí asfaltu modifikovaný pryžovým granulátem - BBTM 5 CRmB, stanoviště č. 1, 2 a 3
- asfaltový drenážní koberec s příměsí asfaltu modifikovaný pryžovým granulátem označovaný PA 8 CRmB, stanoviště č. 4
- asfaltový povrch stáří cca 8 až 10 let, s vyspravenými podélnými i příčnými trhlinami, stanoviště č. 5

V grafu č. 20 jsou uvedeny jednotlivé druhy vrchních krytů měřených úseků pozemních komunikací. Ačkoliv zde nelze vyjádřit závislost pomocí korelačního koeficientu, je závislost L_{Aeqp} na povrchu pozemní komunikace zcela patrná.

Graf 18 Vliv povrchu pozemních komunikací na LAeqp



Na základě všech předchozích realizovaných měření a výpočtů lze odvodit skutečnost, že největší vliv na hlukovou zátěž okolí pozemních komunikací mají právě povrchy pozemních komunikací. Provedenými měřeními se **potvrdila vhodnost použití povrchu z asfaltového betonu pro velmi tenké vrstvy s příměsí asfaltu modifikovaný pryžovým granulátem**, označované jako BBTM 5 CRmB. Tento vrchní kryt pozemní komunikace je možné doporučit jako další z prvků protihlukových opatření. Zejména najde uplatnění v místech, kde není možné budovat jiné protihlukové zábrany apod. Přestože naměřené hodnoty se jeví jako velmi příznivé, bylo by vhodné s odstupem roku či více let (případně opakovaně jednou za rok) realizovat stejnou metodikou kontrolní měření, kde by se případně projevil vliv možné degradace vrchního krytu pozemní komunikace nebo vliv údržby. Takto realizovaná měření by mohla, kromě jiného, přinést správci pozemní komunikace informace o reálné životnosti a zachování deklarovaných vlastností posuzovaného vrchního krytu. Dále by takové informace mohli být zpětnou vazbou pro výrobce těchto „tichých krytů“ a podnětem ke zlepšení či inovaci výroby.

Ačkoliv lidský sluch je schopen vnímat rozdíl v hlasitosti větší než 3 dB, rozdíl průměrů ekvivalentních hladin akustického tlaku (cca 4 dB) mezi povrchem BBTM 5 CRmB a asfaltovým povrchem považují za zásadní. Tento rozdíl nabývá ještě na závažnosti dobou působení na lidský organismus, jak bylo uvedeno v úvodních kapitolách této práce. Přestože jsou vynalézána a realizována nová opatření ke snížení hlukové zátěže na obyvatelstvo, bohužel stále se hodnotami hluku z dopravy řadíme mezi obyvatele Evropské unie, kteří patří k nejvíce zasaženým hlukem z dopravy.

6 Vhodnost použití navržené metodiky

Pokud budeme uvažovat s kombinací plnění podmínek, jakými jsou suché pozemní komunikace a nejlépe bezvětří (rychlost větru do 5 m/s), v jarních a podzimních měsících není mnoho dnů, kdy je možné měření provádět. V tomto směru je metoda měření hluku na krátkou vzdálenost (CPX) výhodnější. Měření metodou krátké vzdálenosti není tak limitováno rychlostí větru. Podmínka suché pozemní komunikace je ale stejná. Jak již bylo také zmíněno v předešlém textu, existuje nemálo faktorů zvyhodňujících měření hluku na pozemních komunikacích statickou metodou při průjezdu (SPB). Zejména je to dostupnost měřících přístrojů, operativnost a celkově nižší potřeba speciálního technického vybavení. Návrh metodiky, definovaný v kapitole 3 této práce, je směřován k vytvoření jednoduchého a účinného nástroje pro zjišťování hlukové zátěže okolí pozemních komunikací, ať je měření prováděno pro potřeby monitoringu nebo pro ověření deklarovaných vlastností vrchních krytů pozemních komunikací. Provedenými měřeními se prokázalo, že **navrhovanou metodiku lze použít**, za dodržení v ní uvedených podmínek, pro získání věrohodných výsledků. Toto tvrzení je podloženo několikerým opakováním měření na stejných i rozdílných měřících stanovištích, za rozdílných klimatických podmínek a v rozdílných denních dobách. Samozřejmě tato měření nelze považovat za měření prováděná v souladu s požadavky Nařízení vlády č. 227/2011Sb. Jedná se pouze o přehledové měření. Zmiňovanou metodiku, pro měření vlivu pozemních komunikací na hlukovou zátěž okolí, lze doporučit k realizaci měření ve městech a obcích na níže specifikovaných úsecích a za dodržení níže uvedených podmínek:

- Dvou i více proudové pozemní komunikace
- Úseky s maximální dovolenou rychlostí 50 km/h
- Rovné úseky pozemní komunikace, jejichž podélný sklon nepřesahuje 1%
- Pro všechny typy povrchů pozemních komunikací
- Úseky s provozem převážně osobních automobilů a nákladních automobilů nepřesahující maximální hmotnost 3500 kg (vozy MHD se do měření zahrnují)
- Dodržení ustanovení o meteorologických vlivech
- Dodržení ostatních obecných podmínek pro realizaci měření

Závěrem lze konstatovat, že se podařilo vytvořit jednoduchou metodiku, na základě které je možno poměrně rychle a objektivně posoudit vliv povrchu pozemních komunikací

na hlukovou zátěž okolí. V souladu s konstatováním v předchozí kapitole, i zde je vhodné se zmínit o využití navržené metodiky pro vzájemné porovnání různých povrchů pozemních komunikací a opakovaná kontrolní měření. Stejně tak lze vypracovanou metodiku použít k mapování hlukové zátěže obyvatelstva.

7 Závěr

Vzhledem k prudce se rozvíjejícímu automobilovému průmyslu a s tím spojeným rozvojem dopravní infrastruktury, dochází ke stále častějšímu a intenzivnějšímu ataku emisemi hluku produkovanými silniční dopravou na životní prostředí. Hluk z dopravy se stal všudypřítomným a nenápadným „virem“ napadajícím lidský organismus, zvířata i rostliny. Proto je dobré učinit jakákoliv opatření vedoucí ke snížení hlukové zátěže na životní prostředí nebo vytvořit podmínky pro monitoring, na jehož základě lze taková opatření realizovat. Jednou z variant snižování hlukové zátěže ze silniční dopravy je použití takzvaných „tichých krytů“ pozemních komunikací. Jejich pozitivní vliv se odrazil nejen na výsledcích prováděných měření, ale hlavně na zlepšených podmínkách obyvatel města Pardubice i ostatních lokalit, kde byl tento vrchní kryt pozemní komunikace aplikován. Proto věřím, že v této práci navržená a ověřená metodika měření hluku v okolí pozemních komunikací pomůže odhalit místa se zvýšenou hlukovou zátěží, opakovaným měřením udržet zlepšené podmínky a přispět tak k lepším životním podmínkám obyvatel ve městech a obcích.

8 Použité informační zdroje

- [1] Brüel & Kjaer, *Měření zvuku*. Naerum, Dánsko: 1984, nové vydání 42s.
- [2] HONNER Karol, *Životné prostredie*. Bratislava. ALFA 1983, 63 - 733 - 83, Strojnícká a elektrotechnická fakulta, Vysoká škola dopravy a spojov v Žiline
- [3] Státní zdravotní ústav, *Manuál měření hluku v roce 2010*. [online]. [cit. 2014-05-10].
Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/hluk/Manual_hluk_2010.pdf
- [4] JELÍNEK, Ondřej. *Akustika a protihluková opatření ve vzduchotechnice*. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, Fakulta stavební. [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/10319-akustika-a-protihlukova-opatreni-ve-vzduchotechnice>
- [5] VAŇKOVÁ Marie. *Hluk, vibrace a ionizující záření v životním prostředí část II*. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ: 1996, 1. vydání. 161s, ISBN 80-214-0818-9
- [6] SMETANA, Ctirad. *Hluk a vibrace. Měření a hodnocení*. 1. vyd. Praha: Sdělovací technika, 1998, 188 s. ISBN 80-901-9362-5.
- [7] ŠVARCR, Lubor. *Měření a analýza vnitřního hluku tramvají v typických provozních podmínkách*. Pardubice, 2013. 88s. Diplomová práce na Dopravní fakultě Jana Pernera Univerzity Pardubice. Vedoucí diplomové práce Ing. Michal Musil, Ph.D.
- [8] VANDASOVÁ Zdeňka. *Studie „Hluk a zdraví“ sledování zdravotních účinků hluku*. 2013 [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/zdrav_stav/Seminar_zdrav_stav_031213/Vandasova_Hluk_jen_pro_cteni_rezim_kompatibility.pdf
- [9] POSPÍŠIL Karel. CENTRUM DOPRAVNÍHO VÝZKUMU, v. v. i. *Optimalizace technických opatření pro snížení hlukové zátěže v okolí pozemních komunikací, Závěrečná zpráva*. Brno, 2011.
- [10] ŘIHÁČEK, Tomáš. *Zvukové prostředí města a jeho vliv na prožívání*. 1. vyd. Brno: Mezinárodní politologický ústav MU, 2009, 240 s. ISBN 978-802-1048-096.
- [11] SKARNITZL, Radek. *Zvuk*. FONETICKÝ ÚSTAV FILOZOFICKÉ FAKULTY UNIVERZITY KARLOVY. [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: http://fu.ff.cuni.cz/vyuka/akustika/1_zvuk.pdf
- [12] Akustika staveb: Působení zvuku v čase – ekvivalentní hladina. [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/pusobeni-zvuku-v-case-ekvivalentni-hladina>

- [13] Ministerstvo zdravotnictví ČR, Metodický návod ze dne 11. 12. 2001 pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí. [online] [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: http://www.nrl.cz/metodika/postup_prostredi.php.
- [14] Zákon o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) (183/2006 Sb.). In: *183/2006 Sb.* 2006, č. 183. Dostupné z: <http://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?page=0&idBiblio=62549&fulltext=&nr=183~2F2006&part=&name=&rpp=15#local-content>
- [15] Vyhláška o rozsahu a obsahu projektové dokumentace dopravních staveb. In: *146/2008.* 2008, č. 146. Dostupné z: <http://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=67017&fulltext=&nr=146~2F2008&part=&name=&rpp=15#local-content>
- [16] Nařízení vlády ČR o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. In: *272/2011.* 2011, č. 272. Dostupné z: <http://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=74904&fulltext=&nr=272~2F2011&part=&name=&rpp=15#local-content>
- [17] Zákon o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů (258/2000 Sb.) - seznam odstavců. In: *258/2000.* 2000, č. 258. Dostupné z: <http://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=49577&fulltext=&nr=258~2F2000&part=&name=&rpp=15#local-content>
- [18] Materiály pro stavbu: Vrstvy vozovek s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem. G ASFALT S.R.O. [online]. 3/2013. 2013 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.gasfalt.cz/index.php/cz/domu/2-aktuality/51-vrstvy-vozovek-s-asfaltem-modifikovaným-pryžovým-granulátem>
- [19] ČSN ISO 11819-1. *Akustika - Měření vlivu povrchů vozovek na dopravní hluk: Část 1: Statická metoda při průjezdu.* ČNI Praha: ČNI Praha, 2000.
- [20] KŘIVÁNEK, Vítězslav. CEMTRUM DOPRAVNÍHO VÝZKUMU, v. v. i. *Metodika k měření pomocí statické metody při průjezdu a metody malé vzdálenosti.* Brno, 2011.
- [21] ŘEDITELSTVÍ SILNIC A DÁLNIC ČR. *Celostátní sčítání dopravy 2010* [online]. 2010 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://scitani2010.rsd.cz/pages/map/default.aspx>
- [22] NOVÝ, Richard. *Hluk a otřesy.* Praha: Vydavatelství ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE: ČVUT Praha, 1993. 190s. ISBN 80-01-00101-6.
- [23] PRŮŠA, Jiří. *Svět letecké dopravy.* 1. vydání. Praha: Galileo CEE Service ČR s.r.o, Praha, 2007, 315s. ISBN 978-80-239-9206-9.

- [24] Vyhláška č. 523/2006 Sb., kterou se stanoví mezní hodnoty hlukových ukazatelů, jejich výpočet, základní požadavky na obsah strategických hlukových map a akčních plánů a podmínky účasti veřejnosti na jejich přípravě (vyhláška o hlukovém mapování). [online]. [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=63182&fulltext=&nr=523~2F2006&part=&name=&rpp=15#local-content>
- [25] Hluk: PŮSOBENÍ HLUKU A HODNOCENÍ HLUČNOSTI. MĚSTO PRAHA. [Http://envis.praha-mesto.cz](http://envis.praha-mesto.cz) [online]. 1997 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: http://envis.praha-mesto.cz/rocnky/roc97/rocnk97/zk97_5.htm
- [26] ŘSD ČR. Systémová podpora interaktivního ovlivňování vývoje hlukové situace v okolí dálnic a silnic I. třídy: Návrh zásad metodiky realizace směrnice EC/49/2002 v okolí dálnic a silnic [online]. 2006 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: [http://www.rsd.cz/rsd/rsd.nsf/a3eda25d005dc6bec125737e0045602e/7983197f0e646ab2c12573d1002e76d6/\\$FILE/AP_metodika_%C5%98SD_%202006_tisk.pdf](http://www.rsd.cz/rsd/rsd.nsf/a3eda25d005dc6bec125737e0045602e/7983197f0e646ab2c12573d1002e76d6/$FILE/AP_metodika_%C5%98SD_%202006_tisk.pdf)
- [27] VAŇKOVÁ, Marta. Gumoasfaltové směsi zlepšují kvalitu českých vozovek. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ [online]. 2007 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://www.vutbr.cz/tiskove-zpravy-f19527/gumoasfaltove-smesi-zlepsuji-kvalitu-ceskych-vozovek-d40392>
- [28] TP 170 NAVRHOVÁNÍ VOZOVEK: POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ. MINISTERSTVO DOPRAVY ČESKÉ REPUBLIKY. MINISTERSTVO DOPRAVY ČESKÉ REPUBLIKY [online]. 2004 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://www.pjpk.cz/TP%20170.pdf>
- [29] PODRAZIL Tomáš. *Experimentální měření a hodnocení účinnosti protihlukové stěny na pozemní komunikaci I/33, obchvat Česká Skalice*. Pardubice, 2010. 51s. Bakalářská práce na Dopravní fakultě Jana Pernera Univerzity Pardubice. Vedoucí bakalářské práce Ing. Aleš Šmejda, Ph.D.
- [30] VESELÝ Oldřich. *Metodika měření hluku*. Pardubice, 2009 89s. Diplomová práce na Dopravní fakultě Jana Pernera Univerzity Pardubice. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Jiří Stodola, DrSc.
- [31] Národní referenční laboratoř pro komunální hluk, Metodické návody – Náležitosti protokolů z měření hluku. [online]. [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://www.nrl.cz/metodika/soubory/nalezitosti-protokolu.doc>

- [32] FLORIÁN, Václav. Měření hluku. České Budějovice, 2008. 135s. Diplomová práce na Pedagogické fakultě Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Vedoucí diplomové práce RNDr. František Špulák.
- [33] KREIDL, Marcel. Technická diagnostika: senzory, metody, analýza signálu. 1. vyd. Praha: BEN, 2006, 406 s. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-730-0158-6.
- [34] Brüel & Kjaer, *Manuál obsluhy analyzátoru Pulse*. Naerum, Dánsko: 2004.
- [35] HASSALL, J. Acoustic noise measurements. Naerum, Denmark: Brüel, 1979, 310 s. ISBN 87-873-5521-3.
- [36] DOUCHA, Pavel a spol. Hluk ve vnějším prostředí, Právní rádce občana obtěžovaného hlukem. [online]. [cit. 2014-05-13]. Dostupné z:
<http://hluk.eps.cz/index.php?section=hluk&page=pravni-radce-obcana#a1>.
- [37] Ministerstvo životního prostředí ČR. *Zpráva o životním prostředí České republiky v roce 2010*. [online]. 2010 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: [http://www.cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/\\$pid/CENMSFVH9QDN/\\$FILE/Zpr%C3%A1va_o_%C5%BDP_%C4%8CR_2010_120111.pdf](http://www.cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/$pid/CENMSFVH9QDN/$FILE/Zpr%C3%A1va_o_%C5%BDP_%C4%8CR_2010_120111.pdf).
- [38] MAPY. CZ, mapový portál. [cit. 2014-05-13]. Dostupné z <http://mapy.cz>.
- [39] MÁLEK, Petr; NĚMEC Petr. *Vliv emisí a hluku z dopravy na životní prostředí*. Seminární práce. Pardubice: UPCE 2002. 18 s. [online]. 2002 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: http://envi.upce.cz/pisprace/prezencni/22_SP_01.PDF

9 Přílohy

| | |
|--|----|
| Příloha 1 Fotodokumentace základních měřících přístrojů..... | 87 |
|--|----|

Příloha 1 Fotodokumentace základních měřících přístrojů



Anemometr TECHNO pro měření rychlosti větru a teploty okolního vzduchu



Akustický kalibrátor pro zvukoměr Mediator 2238 BRÜEL & KJAER



Zvukoměr Mediator 2238 BRÜEL & KJAER