

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy

**Měření hluku generovaného tramvajovou dopravou**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.

Autor práce: Jiří Blažek

PRAHA 2015

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Blažek Jiří

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

**Měření hluku generovaného tramvajovou dopravou.**

Anglický název

**The measurement of noise generated by trams.**

---

### Cíle práce

Vytvořit přehled poznatků o hluku a konkrétně hluku generovaného tramvajovou dopravou (případně, v omezeném rozsahu, měření prokázat daná tvrzení)

### Metodika

1. Rešeršní část - hluk v dopravě, legislativa hluku, měření hluku, tramvajová doprava a hluk, hlukové mapy a strategie
- 2 Konkrétní případy generování hluku tramvajovou dopravou eventuálně měření

### Osnova práce

1. Rešeršní část
2. Hlukové mapy a strategie
3. Konkrétní případy generování hluku tramvajovou dopravou

## Rozsah textové části

30 stran textu včetně obrázků a tabulek

## Klíčová slova

hluk, tramvajová doprava, ochrana zdraví

## Doporučené zdroje informací

Metodika pro výpočet hladin hluku z automobilové dopravy. Ředitelství silnic a dálnic Č.R. <http://www.rsd.cz/doc/Technicke-predpisy/Ochrana-zivotniho-prostredi/metodika-pro-vypocet-hladin-hluku-z-automobilove-dopravy> (21.1.2013)

Řiháček, Tomáš. Zvukové prostředí města a jeho vliv na prožívání. 1. vydání. Brno : Masarykova univerzita, 2009. str. 244. ISBN 978-80-210-4809-6.

Zákon 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví

Nařízení vlády č. 148/2006 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací

<http://hluk.eps.cz/hluk/kompas-obcana-obtezovaneho-hlukem/> (21.1.2013)

Další informační zdroje související s problematikou zadané práce:

Normy ČSN především skupina 73 61 XX

Technické podmínky MD ČR

Firemní literatura (měřící přístroje)

## Vedoucí práce

Růžička Miroslav, doc. Ing., CSc.

## Konzultant práce

ing. David Marčev

## Termín zadání

listopad 2012

## Termín odevzdání

duben 2014

**doc. Ing. Boleslav Kadleček, CSc.**

Vedoucí katedry



**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan fakulty

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že tuto bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Miroslava Růžičky, CSc. Veškerou literaturu a ostatní prameny, ze kterých jsem čerpal, uvádím v seznamu použité literatury.

V Praze dne 30. 3. 2015

---

Jiří Blažek

### **Poděkování**

Touto cestou bych rád poděkoval všem, kteří mi při tvorbě bakalářské práce pomohli. Především vedoucímu práce doc. Ing. Miroslavu Růžičkovi, CSc. za cenné rady, připomínky a čas, který mi věnoval.

**Abstrakt:** Cílem této práce je vytvoření kompletního a uceleného přehledu o hluku, zvláště pak hluku generovaném tramvajovou dopravou. Teoretická část definuje základní termíny fyzikální akustiky, působení hluku na lidské zdraví, pojednává o hygienických limitech a technických normách pro měření hlukové zátěže. Dále pojednává o hluku generovaném tramvajovou dopravou, popisuje konkrétní zdroje hluku tramvajového vozu a vliv různého typu tramvaje a tramvajového svršku. Praktická část je věnována pilotní studii zabývající se synergií silniční dopravy a tramvajové dopravy. Popisuje metodiku měření synergie této dopravy a její ověření v praxi na konkrétních případech.

**Klíčová slova:** hluk, tramvajová doprava, ochrana zdraví

## **The measurement of noise generated by trams**

**Summary:** The purpose of this thesis is the creation of a complete and comprehensive overview of noise, especially of the noise caused by tram transport. The theoretical part defines basic terms of physical acoustics and the effects of noise on human health and it discusses hygienic limits and technical standards for the measuring of noise pollution. The subsequent part deals with the noise generated by trams, it determines specific sources of tram noise and the effect of different types of tram vehicle and construction of tram track. The practical part is focused on the pilot study of the road transport and tram transport synergy. This part describes the methods of measuring of the synergy and its verification in practical cases.

**Key words:** noise, tram transport, health protection

## OBSAH

Úvod.....	1
1 Rešeršní část .....	2
1.1 Hluk obecně .....	2
1.2 Fyzikální základy akustiky.....	2
1.2.1 Základní akustické veličiny .....	2
1.2.2 Vlastnosti zvukových vln.....	5
1.3 Fyziologie lidského ucha .....	6
1.3.1 Anatomie lidského ucha .....	7
1.3.2 Vnímání zvuku .....	7
1.4 Účinky hluku na člověka.....	8
1.5 Emisní a imisní problematika hluku .....	10
1.6 Hluk v dopravě .....	10
1.6.1 Vnitřní a vnější hluk .....	11
1.6.2 Metody snižování hluku z dopravy.....	11
1.7 Legislativa hluku.....	12
1.7.1 Limity hluku v obytných a pobytových místnostech .....	13
1.7.2 Limity hluku ve venkovním prostoru .....	13
1.7.3 Stará hluková zátěž.....	13
1.7.4 Normy pro měření hluku .....	14
1.8 Měření hluku.....	15
1.9 Tramvajová doprava a hluk.....	19
2 Hlukové mapy a strategie .....	21
2.1 Strategická hluková mapa (SHM).....	21
2.2 Akční plán (AP).....	21
3 Konkrétní případy generování hluku tramvajovou dopravou .....	22

3.1	Zdroje hluku tramvaje.....	22
3.2	Závislost hluku na typu tramvaje .....	23
3.3	Závislost hluku na druhu tramvajového svršku .....	23
3.4	Metodika - vlastní měření.....	25
3.4.1	Účel měření .....	25
3.4.2	Dopravně inženýrské údaje .....	25
3.4.3	Posuzované situace synergií dopravy .....	25
3.4.4	Místo měření .....	26
3.4.5	Měřicí systém .....	26
3.4.6	Meteorologické podmínky .....	26
3.4.7	Doba měření .....	27
3.4.8	Stanovení měřicího bodu .....	27
3.5	Vlastní měření a jeho zpracování.....	27
3.5.1	Místo měření .....	28
3.5.2	Použité přístroje .....	28
3.5.3	Doba měření.....	29
3.5.4	Zpracování dat .....	30
3.6	Výsledky a zhodnocení měření .....	31
3.7	Závěr .....	33
	Seznam použité literatury a ostatních zdrojů.....	35
	Seznam obrázků.....	38
	Seznam tabulek .....	38
	Seznam grafů .....	38
	Abecední seznam zkratk.....	39
	Abecední seznam použitých symbolů .....	40
	Seznam příloh .....	41



## ÚVOD

Bakalářská práce se věnuje problematice hluku generovaného dopravou, zvláště pak dopravou tramvajovou.

Tramvajová doprava patří po rychlodráze mezi nejkapacitnější druh hromadné dopravy. Při provozování nejen tohoto typu dopravy jsou však lidé obtěžováni negativními vlivy. Ovlivňuje nás estetický vzhled této dopravy, zejména v historických částech města, které jsou mnohdy kulturní památkou, ale především hluk a vibrace generované touto dopravou, které mají závažný vliv na lidské zdraví, ale také negativní vliv na stavby v okolí tramvajových tratí. Tramvajová doprava ve většině případů sdílí dopravní prostor v ulicích města s dopravou silniční, tím je hluk z tramvajové dopravy zvýšen hlukem z dopravy silniční.

První kapitola se zabývá definicemi základních pojmů, které uvádí akustická fyzika. Vysvětluje odborné termíny, uvádí akustické veličiny, jejich rozměry a uvádí jejich význam v praxi. Dále uvádí účinky hluku na člověka, vnímání hluku sluchovým ústrojím a možné negativní vlivy jím způsobené, metody snižování hluku a právě platnou legislativu a normy.

Druhá část vysvětluje pojem hlukové mapy a strategie, jejich využití v technické praxi a s nimi spojenou legislativu.

Závěrečná kapitola popisuje pilotní studii měření hluku generovaného tramvajovou dopravou v synergii s dopravou silniční. Věnuje se metodice měření synergie dopravy, ověření metodiky v praxi, následnému zpracování a zhodnocení naměřených dat. Metodika uvádí především účel a cíle měření, formu měření, místa a čas měření. Vlastní měření zahrnuje popis místa měření a jeho samotný průběh. Naměřená data jsou zpracována a interpretována formou grafů. Samotné zhodnocení měření a výsledků jsou shrnuty v závěru.

## **1 REŠERŠNÍ ČÁST**

První kapitola je věnována vysvětlení základních pojmů. Jedná se o definice termínů fyzikální akustiky, jejichž pochopení je pro další orientaci v práci nezbytné. Dále uvádí problematiku působení hluku na člověka, včetně možných zdravotních následků, problematiku hluku v dopravě a s ní spojenou legislativu.

### **1.1 Hluk obecně**

Hlukem se rozumí obtěžující zvuk (akustický signál), který má na člověka nežádoucí vliv, jelikož vyvolává nepříjemný nebo rušivý vjem a má škodlivé účinky. Hlukem může být i běžný hovor, hudební projev apod. Záleží na vztahu osoby ke zdroji zvuku. [1]

Hluk se znepokojivě stává jedním z důležitých faktorů ohrožujících naše životní prostředí. Vystavujeme se mu během práce, odpočinku i při zábavě, ve venkovním prostranství měst, ale i v obytných prostorách, a nelze ho tedy opomíjet. Nadměrný hluk z dopravy je velmi významným zdrojem hluku, jelikož je součástí všech městských oblastí. Vzrůst hluku z dopravy je odhadován na 1dB za rok, ale lze to považovat za přehnané. [2]

### **1.2 Fyzikální základy akustiky**

Zvuk je kmitání plynných a kapalných látek, které je vnímáno lidským sluchem. Kmitání, mechanické vlnění, látek tuhých označujeme jako vibrace. [3] Kmitající objekt, zdroj zvuku, předává do svého okolí část energie, ta je přenášena především vlněním vzduchových částic. Tomuto jevu se říká akustické vlnění, kterému je lidský sluchový orgán přizpůsoben. [4] Rozsah slyšitelného zvuku, který byl zjištěn experimentálně, je 16 Hz až 20 000 Hz, přičemž horní hranice tohoto pásma nepřímo úměrně klesá s věkem. Vlnění s frekvencí nižší než 16 Hz nazýváme infrazvuk, vlnění s frekvencí vyšší než 20 kHz ultrazvuk. [5]

#### **1.2.1 Základní akustické veličiny**

Za základní akustické veličiny lze považovat: akustický tlak, akustickou rychlost, rychlost šíření zvuku, intenzitu zvuku, hladinu akustického zvuku, hladinu intenzity zvuku a v neposlední řadě ekvivalentní hladinu akustického tlaku, zvláště využívanou pro hodnocení hluku. Vyjmenované akustické veličiny jsou popsány níže.

- **Akustický tlak**

Akustické vlnění způsobuje velmi malé změny barometrického tlaku probíhající velmi rychle. Tyto malé výchylky nazýváme akustickým tlakem. V praxi se využívá jeho efektivní hodnota  $p$  [Pa]. [3]

- **Akustická rychlost**

Ve vzduchu, kde se šíří akustické vlnění, kmitají jednotlivé částice kolem své rovnovážné polohy akustickou rychlostí. Opět se využívá její efektivní hodnoty  $v$  [ $m \cdot s^{-1}$ ]. [4]

- **Rychlost šíření zvuku**

Rychlost šíření zvuku ve vzduchu je dána vztahem:

$$c = 331,6 \sqrt{\left(1 + \frac{t}{273,15}\right)}$$

kde :  $c$  ..... rychlost šíření zvuku [ $m/s$ ],

$t$  ..... teplota vzduchu [ $^{\circ}C$ ].

Rychlost šíření je závislá na teplotě vzduchu, pro  $20^{\circ}C$  je tedy rychlost šíření zvuku ve vzduchu  $c = 344 m \cdot s^{-1}$ .

V pevných látkách se zpravidla šíří zvuk rychleji než v plynech. Rychlost šíření zvuku zde závisí na vlastnostech materiálu: hustotě, elasticitě apod. [4]

- **Intenzita zvuku**

Udává tok zvukové energie jednotkovou plochou kolmou ke směru šíření za jednotku času. Intenzita zvuku  $I$  [ $W \cdot m^{-2}$ ] je přímo závislá na efektivní hodnotě akustického tlaku a efektivní hodnotě akustické rychlosti. [5]

- **Hladina akustického tlaku**

Při podrobném zkoumání akustického tlaku se zjistilo, že jeho hodnoty se pohybují v širokém rozsahu. Hodnoty slabého zvuku, šepotu, bývají nepatrných velikostí a naopak při mohutném hluku, např. proudový letoun, jsou mnohonásobně větší, řádově  $10^7$  Pa. Weber-Fechnerův fyziologický zákon dokazuje, že mezi objektivními akustickými veličinami a subjektivním vjemem člověka je logaritmická závislost. [4] Z těchto důvodů se v akustice používá logaritmická stupnice. Jednotkou hladin hluku je decibel, definovaná jako desítkový logaritmus poměru dvou hodnot, kde je v čitateli naměřená hodnota a ve jmenovateli hodnota referenční (prahová). [5]

Nepoškozený lidský sluch je schopen zaznamenat nejslabší zvukový signál o akustickém tlaku 20 μPa, mluvíme o prahu slyšení, na druhé straně snese i 10<sup>6</sup> krát větší akustické tlaky. Hladina akustického tlaku  $L_p$  [dB], často označována **SPL** (Sound Pressure Level), je dána vztahem:

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0}$$

kde :  $p$  ..... efektivní hodnota sledovaného akustického tlaku [Pa],  
 $p_0$  ..... referenční akustický tlak [Pa]. [4]

Pokud je akustický tlak  $p$  roven referenčnímu akustickému tlaku  $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ , pak je hladina akustického tlaku  $L_p = 0$  dB. Zvýšení akustického tlaku o desetinásobek odpovídá zvýšení hladiny akustického tlaku o 20 dB. [6]

- **Hladina intenzity zvuku**

Prahová intenzita zvuku je dle ISO stanovena na  $I_0 = 10^{-12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  při kmitočtu 1 000 Hz, jedná se o nejslabší intenzitu, kterou je lidský sluchový orgán schopen vnímat. Hladina intenzity zvuku  $L_I$  [dB] je dána vztahem:

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

kde :  $I$  ..... efektivní hodnota sledované intenzity zvuku [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ],  
 $I_0$  ..... referenční intenzita zvuku [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ]. [6]

- **Ekvivalentní hladina akustického tlaku**

Hluk z dopravy má proměnný průběh, jeho hladina akustického tlaku se v sledovaném časovém úseku mění o více než 5 dB. [4] Dá se charakterizovat pouze minimální  $L_{\min}$  [dB] a maximální hladinou akustického tlaku  $L_{\max}$  [dB]. Proto je zavedena ekvivalentní hladina akustického tlaku  $L_{eq}$ [dB], která slouží k vyjádření hluku za delší časové období. Jedná se o fiktivní hladinu ustáleného hluku, která působí v měřeném čase na člověka stejně jako proměnný hluk. Je dána vztahem:

$$L_{eq} = 10 \cdot \log \frac{1}{\sum_{i=1}^n t_i} \sum_{i=1}^n (t_i \cdot 10^{0,1 \cdot L_i})$$

kde :  $t_i$  ..... míra časového výskytu hladiny hluku  $L_i$  z měřeného časového úseku [s],  
 $L_i$  ..... střední hladina zvuku v i-tém hladinovém intervalu [dB]. [7]

## 1.2.2 Vlastnosti zvukových vln

Jsou-li jednotlivé částice v prostoru uvedeny do mechanického kmitání, mluvíme o rozruchu. Jeho šíření nazýváme zvukové vlnění. Přímočaré šíření zvukových vln v prostoru ovlivňují různé překážky (dochází k odrazu) a prostředí s různými vlastnostmi (nastává lom a odraz). [3]

### ▪ Akustické pole

Akustické pole je prostor, který je vyplněný zvukovým vlněním, tj. prostor kterým se šíří zvuk. Vlnoplocha je souhrnem míst v prostoru, kde je rozruch v daném okamžiku ve stejné fázi. Směr šíření vlnoploch udává paprsek, který je na ně kolmý. [5]

### ▪ Šíření vlnoploch

Zvuk z bodového zdroje se šíří všemi směry stejně. Vlnoplochy jsou pak soustředné koule se středem v místě zdroje zvuku, mluvíme tedy o poli kulovém. Pokud je posluchač hodně vzdálen od bodového zdroje zvuku, je poloměr těchto koulí již tak velký, že vlnoplochy považujeme za roviny a mluvíme o poli rovinném. [3]

### ▪ Vlnová délka

Je vzdálenost dvou bodů bodové řady, které mají stejný akustický stav v daném okamžiku, neboli vzdálenost dvou vlnoploch. Mezi kmitočtem signálu  $f$  [Hz], vlnovou délkou  $\lambda$  [m] a rychlostí šíření zvuku  $c$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ] platí:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

kde :  $\lambda$  ..... vlnová délka [m],  
 $c$  ..... rychlost šíření zvuku [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ],  
 $f$  ..... kmitočet signálu [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ]. [4]

### ▪ Odraz zvukové vlny

U překážek z rovinné plochy, kde její rozměr je větší nebo alespoň roven vlnové délce zvukové vlny, nastane odraz zvukové vlny, který se řídí zákonem odrazu, tedy úhel odrazu rovná se úhlu dopadu. U ploch složitých geometrických tvarů nastává u vydutých ploch ke koncentraci zvukové energie a u ploch vypouklých k rozptylu energie. [3]

Vlivem odrazu zvukových vln dochází před překážkou k zvýšení akustického tlaku. Za překážkou naopak dochází k snížení akustického tlaku o tolik decibel, o kolik se zvedne

akustický tlak před překážkou, tento jev nazýváme *akustický stín*, využíváme jej při řešení protihlukových opatření. [3]

- **Ohyb paprsku zvukových vln**

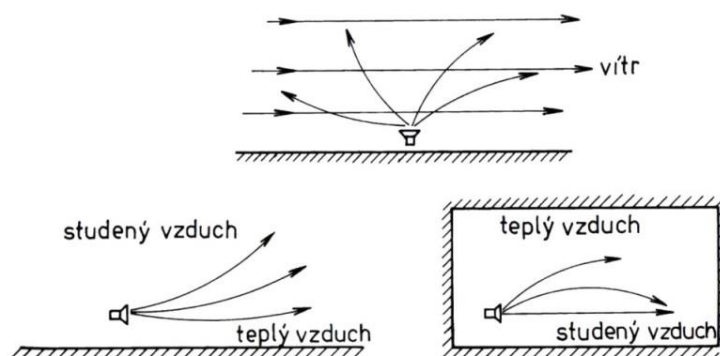
Hrana překážky se chová jako zdroj kulových vln, důsledkem Huygensova principu, nastává tedy ohyb paprsku, změna směru šíření zvukových vln. Velikost překážky a vlnová délka zvukového signálu ovlivňuje velikost odchýlení paprsku od původního směru paprsku. V případě, že je vlnová délka  $\lambda$  přibližně stejná jako průměr kruhového otvoru  $d$ , projeví se ohyb. Je-li vlnová délka proti otvoru velké  $\lambda \gg d$ , vznikne vlna kulová. [3]

- **Lom paprsku zvukových vln**

Lom paprsku nastává, pokud vlna postupuje do prostředí s jinou rychlostí šíření zvuku. Je-li rychlost šíření v novém prostředí větší než v původním, paprsek se láme od kolmice styčné k rozhraní prostředí.

Různě prohřáté vrstvy vzduchu se také projevují jako odlišné prostředí, kde se paprsek láme směrem k chladnějším vrstvám. Působením větru se paprsek láme ve směru pohybu prostředí, viz obr. 1. [3]

Obr. 1 Vliv prostředí na směr šíření zvukového paprsku



Zdroj: [3]

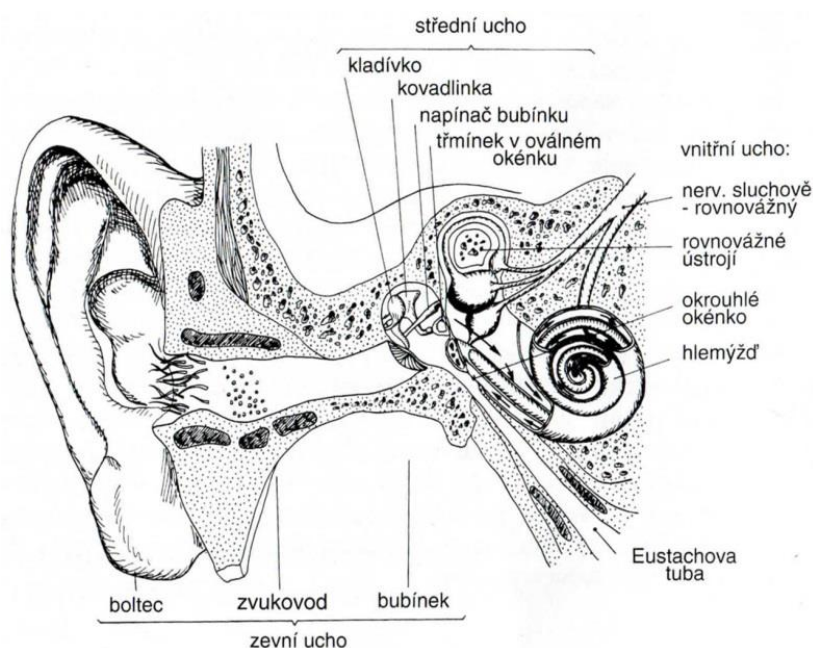
### 1.3 Fyziologie lidského ucha

Sluchový vjem je způsoben zachycením vnějších zvukových podnětů lidskýma ušima a následným zpracováním v mozku. [3] Vnímání zvuku lidským uchem je subjektivní vjem a souvislost fyziologie lidského ucha s objektivním vnímáním akustického tlaku je velmi složitá. [4]

### 1.3.1 Anatomie lidského ucha

Zvuk je v zevním uchu zachycen boltcem a veden zvukovodem k bubínku oddělujícího zevní a střední ucho. Na druhé straně je bubínek spojen s kladívkem, kovádlíčkem a třmínkem, které přenáší chvění bubínku na blanku oválného okénka. Střední ucho je dále vybaveno Eustachovou trubicí vyrovnávající vnější tlaky působící na bubínek, aby nedošlo k jeho deformaci. Ve vnitřním uchu vzniká sluchový podnět v hlemýždi rozechvěním Cortiho ústrojí spojeného s mozkem pomocí nervových vláken. Sluchový orgán a jeho uspořádání viz obr. 2. [5]

Obr. 2 Sluchový orgán



Zdroj: [3]

### 1.3.2 Vnímání zvuku

Jak již bylo zmíněno, lidské ucho reaguje na akustický tlak a frekvence v slyšitelném rozsahu 16 Hz až 20 000 Hz subjektivně. Nevnímá pro různé frekvence stejnou hladinu akustického tlaku jako stejnou hlasitost. [5] Pro jejich závislost se experimentálně zjistily a normalizovaly *křivky hladin stejné hlasitosti*, jejichž průběhy s naznačenými zdroji zvuku jsou v příloze 1.

Křivku 0 dB označujeme jako práh slyšitelnosti. Jedná se o zvuky, které lze sluchovým orgánem ještě postřehnout. Naopak prahem bolestivosti jsou hladiny zvuku okolo 125 dB, kterým přiléhají hodnoty akustického tlaku vyvolávající bolest. [3] Nízké hodnoty hladiny akustického tlaku okolo 20 dB většina lidí považuje za hluboké ticho, jako příjemné ticho hodnotí lidé hladinu 30 dB. [7]

Měřicí přístroje nezachycují hlasitost zvuku v závislosti na frekvenci tak, jak je udávají křivky hladin stejné hlasitosti. Pro přiblížení vnímání lidského ucha jsou do měřicího řetězce zařazeny *váhové filtry*, které připomínají zrcadlené kmitočtové charakteristiky vybraných křivek hladin stejné hlasitosti. Mezinárodně byly vybrány tři kmitočtové průběhy odpovídající křivkám hladin stejné hlasitosti pro 40 dB, 70 dB a 100 dB, filtry jsou označeny A, B, C. Největší význam má filtr A, přibližující se nejvíce k vnímání lidského ucha. Veškeré akustické veličiny naměřené nebo upravené váhovým filtrem A jsou navíc označovány indexem A (např. ekvivalentní hladina akustického tlaku A  $L_{Aeq}$  [dB]). [5]

Za zmínku stojí také nezanedbatelný jev nazývaný *maskovací efekt*, při kterém je slabší tón s akustickou intenzitou asi o 10 dB menší překrýván neboli maskován tónem silnějším. Pro tón slabší se citlivost ucha zdánlivě zmenšuje. Hlasité zvuky mohou nižší zvuky zcela zakrýt. S tímto se setkáváme například u hluku z dopravy, který na ulici překrývá hovorovou řeč. [5]

#### 1.4 Účinky hluku na člověka

Na člověka působí hluk zejména sluchovým orgánem a ojedinele ho lze vnímat povrchem těla či kostmi. Sluchový orgán reaguje na akustický podnět a předává signál dál centrální nervové soustavě. Hluk se projevuje na sluchovém orgánu. Při velkém akustickém tlaku dochází nejen k poranění bubínku, ale i k ovlivnění funkcí různých orgánů člověka. [15]

Je dostatečně prokázáno, že hluk v denní době poškozuje sluchový aparát, negativně ovlivňuje kardiovaskulární systém a zhoršuje řečovou komunikaci. V době noční, neboli v době spánku, zhoršuje jeho kvalitu, s čímž souvisí i užívání léků na spaní, a duševní zdraví člověka. [12]

##### ▪ Poškození sluchového aparátu

Sluchový orgán je sice vybaven schopností se rychle adaptovat nadměrnému hluku, ale nejde mu zcela uniknout. [2] Jsme-li vystavováni hluku delší dobu, několik minut až hodinu, nastává únava sluchu, která odeznívá minuty až hodiny. Při dlouhodobém účinku hluku, tj. několik let v pracovním prostředí se zvýšenou intenzitou hluku (nad 80 dB), dochází k neléčitelnému snížení sluchové ostrosti. [6] Vysoké hladiny akustického tlaku 130 – 140 dB mohou způsobit poranění bubínku, sluchových kůstek nebo blanitého labyrintu. Mluvíme o akustickém traumatu. Studie prokázaly, že hladiny akustického tlaku do 70 dB nepoškozují sluchový



aparát ani při celoživotní expozici. Uvedené údaje neplatí pro lidi s nízkou úrovní hlukové expozice, např. děti. [12]

- **Ovlivnění kardiovaskulárního systému**

World Health Organization udává, že: „kardiovaskulární účinky jsou spojeny s dlouhodobou expozicí ekvivalentní hladině hluku v rozmezí 65 - 70 dB a více, pokud jde o letecký nebo dopravní hluk“. Mohou být přechodné (např.: zvýšení tepu, krevního tlaku a vasokonstrikce) nebo trvalé (např.: hypertenze a ischemická choroba srdeční). [12]

- **Zhoršení řečové komunikace**

Hluk znehodnocuje dorozumívání lidí řečí, popřípadě překrývá důležité zvuky (telefon, domovní zvonek, alarm). Jedná se o maskovací efekt zmíněný výše. Zhoršení komunikace řečí vede k podrážděnosti, nejistotě a pocitům nespokojenosti. Nejvíce jsou na tento jev náchylní staří lidé, osoby se sluchovou ztrátou a malé děti v období rozvoje řeči. [12]

- **Ovlivnění spánku**

Ovlivnění hlukem se projevuje především změnou délky a hloubky spánku, špatným usínáním, změnou tepové frekvence a probouzením v noci. Efekt narušení spánku má vliv i na psychiku člověka např. špatná nálada, rozmrzelost, bolesti hlavy a únava. V lokalitách s vysokou hlučností nedochází k adaptaci lidí na rušení spánku ani po několika letech. [12]

- **Obtěžování hlukem**

Obtěžování hlukem je lidmi snášeno spíše špatně a obvyklými reakcemi lidí na hlukovou zátěž je mnoho negativních emočních stavů, což jsou např.: pocity rozmrzelosti, špatné nálady, nespokojenosti, deprese. Pokud tyto stavy přetrvávají delší dobu, mohou vést až k pocitům beznaděje nebo vyčerpání. Postoj člověka ke zdroji hluku hraje významnou roli. Přírodní zvuky, které člověk nemůže ovlivnit (např. bouřka), jsou více tolerovány, než zvuky, které člověk může ovlivnit. Také zvuky, které mají pro člověka ekonomický přínos, lidé snášejí lépe (je rozdíl, zda pilu používám já nebo soused). Hluk, u něhož je předem známa délka jeho působení respektive počet opakování, způsobuje menší rozmrzelost. Lépe je snášen hluk ve dne než v noci. [8]

## 1.5 Emisní a imisní problematika hluku

Kritériem pro rozlišování mezi emisemi a imisemi hluku je vazba mezi samotným hlukem a jeho zdrojem (v případě emisí), nebo vazba mezi hlukem a místem příjmu (v případě imisí). Pokud se zabýváme akustickou energií generovanou zdrojem hluku jenom ve vztahu ke zdroji hluku, jedná se o hlukové emise. O hlukové imisi mluvíme tehdy, pokud se zabýváme akustickou energií v místě jejího příjmu. Hlukové emise neovlivňují vlastnosti okolního prostředí a jsou závislé pouze na zdroji hluku. Oproti tomu hlukové imise jsou závislé na hlukových emisích zdroje a vlastnostech prostředí mezi zdrojem hluku a místem příjmu. [8]

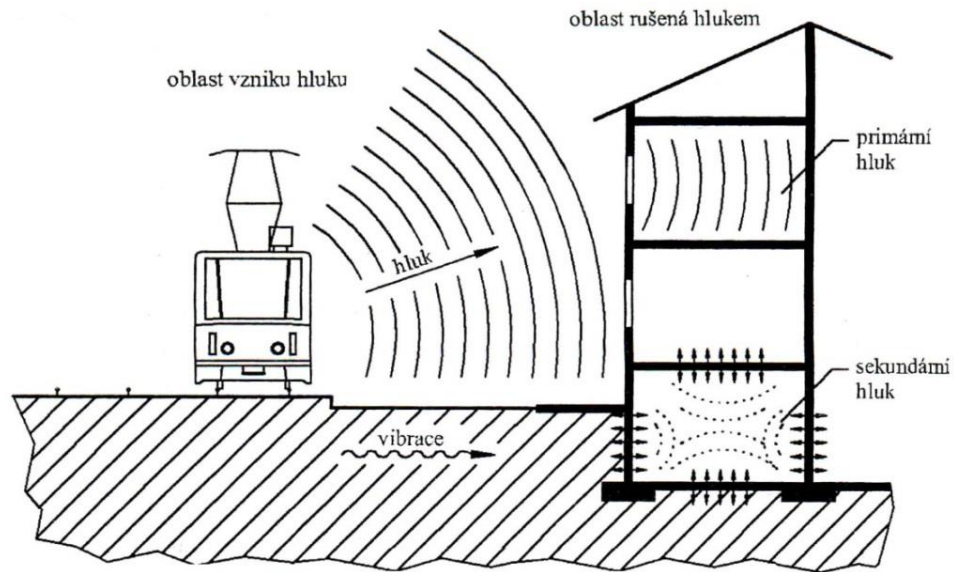
## 1.6 Hluk v dopravě

Pojem dopravní hluk zahrnuje hluk z pozemní dopravy (silniční a kolejové dopravy), letecké dopravy a dopravy lodní. [3] Hlavním zdrojem hluku z dopravy je pak zejména doprava silniční. Její intenzita, se kterou hluková zátěž roste, dosahuje vysokých hodnot nejen ve městech. [8] Například v Praze dosahují ekvivalentní hladiny akustického tlaku téměř 80 dB. Jedná se o úseky: Jižní spojka s Barrandovským mostem, ulice Legerova, Sokolská, Argentinská aj. Velký význam na hluk generovaný dopravou má také doprava tramvajová, se kterou se setkáváme hlavně ve městech. Té se však budeme podrobněji věnovat v kapitole 1.9 Tramvajová doprava a hluk. [13]

Na intenzitu (hlasitost) dopravního hluku má vliv mnoho faktorů: rychlost vozidla, technický stav vozidla a jízdní dráhy, počet vozidel za uvažovaný časový interval a vzdálenost sledovaného bodu od zdroje hluku. Šíření hluku dále ovlivňují tvar a povrch terénu, umístění, rozměry a povrch překážek, klimatické podmínky (např.: déšť, sníh, vítr, teplota) a mnoho dalších faktorů. [7]

Hluk generovaný dopravou je složen z mnoha dílčích zdrojů, jejichž zdrojem jsou všechny pohybující se součásti. Jelikož se vozidlo pohybuje po dopravní cestě, přenáší se chvění i do ní a šíří se dále do okolí zeminou ve formě vibrací. Hluk je tedy nejen přímo vyzařován vozidlem i jízdní dráhou jako vzdušný hluk, ale ve formě vibrací může působit na stavby v jeho dosahu, které rozechvívá, příp. může rozkmitáním plošných prvků způsobit tzv. sekundární hluk (viz obr.3). [7]

Obr. 3 Šíření hluku z městské kolejové dopravy



Zdroj: [7]

### 1.6.1 Vnitřní a vnější hluk

Hluk generovaný dopravou lze rozdělit na vnitřní a vnější.

- **Vnitřní hluk** působí uvnitř dopravního prostředku, ovlivňuje nejen řidiče vozidla, ale také jeho posádku (cestující). Zdrojem vnitřního hluku je zejména hnací ústrojí vozidla (např.: zvuk motorů, kmitání hřídelí...), dále pak valivý hluk, který vzniká kontaktem kol s povrchem. Intenzita vnitřního hluku by se měla pohybovat pod úrovní hladiny dorozumívání. Intenzita vnitřního hluku udává komfort vozidla. [6]

- **Vnější hluk** ruší obyvatele, kteří prožívají svůj život podél pozemních komunikací, nejenom v obytných a občanských stavbách (např.: sídliště, domy v městské zástavbě, školy), ale i ve venkovním prostoru (např.: veřejné prostranství – ulice, parky...). Nároky nejen na tento hluk jsou definovány v různých normách a v hygienických předpisech (viz níže kapitola „Limity hluku“). [6]

### 1.6.2 Metody snižování hluku z dopravy

Metody snižování hluku z dopravy, jinak též protihluková opatření, se dělí na aktivní a pasivní. Hlukové emise z dopravy jsou snižovány aktivními opatřeními, zatímco nadměrná hluková zátěž, která obtěžuje obyvatelstvo, je odstíněna pasivními prvky. [7]

Za základní metody pro snižování hluku z dopravy považujeme snížení hluku u zdroje, na cestě prostředím nebo v místě dopadu akustické energie.

- **Snížení hluku u zdroje**

Nejúčinnější ochranou je snížení hluku v místě jeho vzniku (u zdroje). Je tedy nutné identifikovat důležité zdroje hluku vozidla, které by po zavedení následných úprav vedly ke snížení hluku. [14] Jedná se o úpravy na konstrukci vozidla a snížení hluku valení. [10]

- **Snížení hluku na cestě**

Snížení hlukové imise se nejčastěji řeší budováním akustických clon (protihlukových stěn, valů, pásy zeleně, apod.). Toto opatření je však v zastavěném území měst nereálné. [10] Další nevýhodou je změna krajinného rázu, ve kterém člověk žije, což může mít vliv na psychiku člověka.[14]

- **Snížení hluku v místě dopadu**

Nejméně vhodnou metodou je snížení hluku v místě dopadu. Tato metoda řeší pouze snížení hluku ve stavbách, nikoliv ve venkovním prostoru. [10] Jedná se o použití zvukoizolačních fasád objektů a instalací protihlukových oken. Okna řeší pouze částečnou ochranu před hlukovou zátěží a tato vlastnost je funkční, pouze jsou-li zavřená. [14]

## **1.7 Legislativa hluku**

Ochrana před hlukem je zakotvena v zákonu č. 258/2000 Sb. o *ochraně veřejného zdraví* v §30 - §34. Definuje osobu zodpovědnou za dodržování hygienických limitů hluku jako: „provozovatele letiště, vlastníka, případně správce pozemní komunikace, vlastníka dráhy“. Dále udává, že: „hlukem se rozumí zvuk, který může být škodlivý pro zdraví a jehož hygienické limity stanoví prováděcí předpis“. Představuje i jistou úlevu pro letiště a osoby provozující zdroj hluku, u kterých je hluk omezen na rozumně dosažitelnou míru. Rozumně dosažitelnou mírou definuje jako: „poměr mezi náklady na protihluková opatření a jejich přínos ke snížení hlukové zátěže fyzických osob s ohledem na jejich počet“.

Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o *ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku* stanovuje hygienické limity hluku na pracovištích, pro chráněné venkovní prostory, pro chráněné venkovní prostory staveb a pro chráněné vnitřní prostory staveb, dále měření a hodnocení hluku pro denní a noční dobu. Definice těchto prostorů nalezneme v již zmíněném zákonu č. 258/2000 Sb., který definuje i noční dobu v ochraně před hlukem a to mezi 22.00 a 6.00 hodinou.

Při měření hluku a jeho hodnocení se postupuje dle metod obsažených v příslušných českých normách. [20] Přehledný seznam předpisů zabývajících se hlukem je uveden v seznamu použité literatury.

### **1.7.1 Limity hluku v obytných a pobytových místnostech**

Hodnoty hluku vnitřního prostoru staveb se určují ekvivalentní hladinou akustického tlaku  $L_{Aeq}$  a maximální hladinou hladiny akustického tlaku  $L_{max}$ . Pro hluk z dopravy na pozemních komunikacích a drahách a pro hluk z letecké dopravy se stanoví pro celou denní a noční dobu. [20]

Hygienický limit ekvivalentní hodnoty akustického tlaku  $A$  pro hluk pronikající z venčí do vnitřního prostoru staveb se stanoví součtem základní hladiny akustického tlaku  $A$   $L_{Aeq} = 40$  dB a korekcí přihlížející na využívání prostoru a na denní dobu. Tabulka korekcí i s průvodním textem je uvedena v příloze 2. [20]

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

Hodnoty hluku venkovního prostoru se určují ekvivalentní hladinou akustického tlaku  $A$   $L_{Aeq}$ , která se stanoví pro celou denní a noční dobu. [20]

Hygienický limit ekvivalentní hodnoty akustického tlaku  $A$  se stanoví součtem základní hladiny akustického tlaku  $L_{Aeq} = 50$  dB a korekcí přihlížející na druh prostoru a na denní dobu. Tabulka korekcí s průvodním textem je uvedena v příloze 3. [20]

### **1.7.3 Stará hluková zátěž**

Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. definuje starou hlukovou zátěž jako: „hluk v chráněném venkovním prostoru a chráněných venkovních prostorech staveb, který vznikl před 1. lednem 2001 a je působený dopravou na pozemních komunikacích a drahách“.

Termín stará hluková zátěž byl zaveden s ohledem na jednodušší splnění limitu kolem pozemních komunikací s velkou intenzitou dopravy bez nutnosti stavebních úprav a velkých investic. Limit staré hlukové zátěže je pro denní dobu 70 dB a pro dobu noční 60 dB viz příloha 3. Přesto je tento hluk u mnoha silnic stále překračován. Hladiny takového rozsahu jsou při dlouhodobém vystavování na lidský organismus zdraví škodlivé, podrobněji v kapitole 1.4 Účinky hluku na člověka. [8]

#### 1.7.4 Normy pro měření hluku

Normy řady ČSN ISO 1996 *Akustika – Popis měření a hodnocení hluku prostředí* (část 1: *Základní veličiny a postupy pro hodnocení*, část 2: *určování hladin hluku prostředí*) definují základní veličiny popisující hluk, postupy jeho hodnocení, metody měření, meteorologické podmínky při měření, atd.

Emisní hodnoty hluku stanoví např. vyhláška č. 341/2002 Sb. *o technických podmínkách provozu silničních vozidel* nebo nařízení vlády č. 176/2008 Sb. *o technických požadavcích na strojní zařízení*, pro jejich měření platí obecné normy řady ČSN EN ISO 11200 – 11204 *AKUSTIKA - Hluk vyzařovaný stroji a zařízením*. Emisní hodnoty hluku tramvajové dopravy vymezuje norma ČSN 28 1300 *Tramvajová vozidla – Technické požadavky a zkoušky*, limitní hladiny hluku jsou uvedeny v tab. 1. Měření vnějšího hluku generovaného tramvajovou dopravou se řídí normou ČSN EN ISO 3095 *Železniční aplikace – Akustika - Měření hluku vyzařovaného kolejovými vozidly* a pro hluk vnitřní ČSN EN ISO 3381 *Železniční aplikace – Akustika - Měření hluku uvnitř kolejových vozidel*.

Norma ČSN EN ISO 3095 platí pro vnější hluk generovaný kolejovou dopravou, bez rozlišení druhu dopravy, tedy i dopravu tramvajovou. V kolejové dopravě závisí intenzita hluku mimo jiné i na svršku trati, zvláště v dopravě tramvajové, kde je mnoho druhů svršků tramvajové trati, podrobněji v kapitole 3.1.2. Zmíněná norma se závislostí velikosti intenzity hluku na povrchu svršku trati nezabývá, pouze stanovuje že: „měření se provádí na koleji se šterkovým ložem a dřevěnými nebo betonovými pražci nebo na koleji, která odpovídá běžnému provozu vlaků“.

Tab. 1 Limitní hladiny hluku tramvajového vozidla

Režim	Hluk	Místo měření	Hladina hluku [dB]
stojící vozidlo	vnitřní	stanoviště řidiče	70
		prostor pro cestující	70
	vnější		65
jedoucí vozidlo	vnitřní	stanoviště řidiče	75
		prostor pro cestující	75
	vnější		80

Zdroj: [27]

V silniční dopravě se hodnocením vlivu silničních povrchů na dopravní hluk zabývá norma ČSN ISO 11819-1 *Akustika - Měření vlivu povrchů vozovek na dopravní hluk*. Metoda měření daná touto normou se používá pro klasifikaci povrchů vozovky podle vlivu na dopravní hluk a pro ohodnocování změny dopravního hluku po položení nového povrchu, kde je potřeba provést měření před a po položení. Tato norma lze použít pro: „neomezovaný dopravní proud, pohybující se konstantní rychlostí, při povolených rychlostech 50 km/h a vyšších.“ Při nižších rychlostech je vliv povrchu vozovky méně významný.

Existují studie, že vliv povrchu vozovky je při neustálém snižování hlukových emisí hnacích jednotek, především osobních vozidel, významný již mezi 30 – 40 km/h. Tím vzniká prostor pro snižování hlukové zátěže ve městech a obcích, za pomoci moderních technologií povrchů. [10]

Zvukoměry použité při měření musí splňovat podmínky ČSN EN 61672. Bezprostředně před a po každém měření musí být mikrofón kalibrován akustickým kalibrátorem, který odpovídá normě ČSN EN 60942. Případně lze použít frekvenční analyzátory splňující normu ČSN EN 61260.

## **1.8 Měření hluku**

Měření hluku sjednocují obecně platné metodické návody schválené Ministerstvem zdravotnictví ČR. Hlavní listinou je Metodický návod ministerstva zdravotnictví pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí ze dne 11. 12. 2001. Tato metodika předepisuje způsob měření a hodnocení hladin hluku ve vnitřních prostorách staveb a ve venkovním prostoru pro účely hodnocení vlivu hluku na zdraví obyvatelstva. Metodika je doplněním českých norem v případě, že existují, na tyto normy odkazuje, pokud takové normy nejsou, je uvedena metodika podrobně. Pro měření a hodnocení hluku z leteckého provozu a pro hodnocení hluku v chráněném venkovním prostoru staveb vydalo Ministerstvo zdravotnictví ČR další metodické návody.

### **▪ Popis hlukové zátěže**

Hluková zátěž se popisuje nejčastěji hlasitostí, vyjádřenou hladinou akustického tlaku v závislosti na čase. Toto vyjádření se nazývá *časový záznam*. Hladina akustického tlaku se též vyjadřuje v závislosti na frekvenčním složení. Sečteme akustické energie jednotlivých frekvenčních složek za sledovanou dobu měření. Toto zobrazení se nazývá *spektrum*. [7]

Jednočíselným vyjádřením hlukové zátěže je zejména ekvivalentní hladina akustického tlaku A, ta je vysvětlena v kapitole 1.2.1, která slouží například pro porovnání s hygienickými limity hluku. Dobře lze určit maximální a minimální hladinu akustického tlaku, ale tyto hodnoty moc dobře akustický signál nevystihují. Dále se k vyjádření hlukové zátěže využívají procentní (distribuční) hladiny akustického tlaku A  $L_N$  [dB]. Jsou to hladiny zvuku, které jsou překračovány v  $N$  % doby za sledovaný časový úsek. Vyjadřují se pro:

- 1 % doby  $L_1$  [dB] – ojedinělé špičky,
- 5 (10) % doby  $L_5$  ( $L_{10}$ ) [dB] – časté špičky,
- 50 % doby  $L_{50}$  [dB] – průměrná hladina,
- 90 (95) % doby  $L_{90}$  ( $L_{95}$ ) [dB] – pozadí,
- 99 % doby  $L_{99}$  [dB] – pozadí. [7]

#### ▪ **Přístrojové vybavení**

Používají se zvukoměry a frekvenční analyzátory vyhovující příslušným normám, viz předešlá kapitola, a obsahující váhový filtr A. Při venkovním měření je zapotřebí použít kryt proti větru, případně při vyhodnocování měření použít korekce na kryt větru udávané výrobcem. Doporučené vzorkování je 0,1 s, přípustné 1 s. [3] Před začátkem a po ukončení měření se provádí kalibrace celého měřicího vybavení. Po ukončení měření je dovolena odchylka do 0,5 dB od předešlého nastavení. Pokud je odchylka větší, provede se nové nastavení všech přístrojů a nové měření. [33]

#### ▪ **Místa měření**

Rozlišujeme místa měření ve venkovním prostoru, ve venkovním prostoru budov a uvnitř budov.

Ve **venkovním prostoru** se měří hluk na místech, kde se zdržuje nejdéle největší počet lidí, nebo kde jsou lidé nejvíce rušeni hlukem, anebo v místech, která jsou rozhodující pro šíření hluku do chráněného prostoru, zejména na jeho hranici. Při zjišťování vlivu hluku na zástavbu se zvukoměr umísťuje nejméně 3,5 m před plochu odrážející hluk a 3 m nad terénem, např. při hlukovém mapování (podrobněji v kapitole 2.) a při měření dopravního hluku, nebo 1,2 až 1,5 m nad terénem, pokud zjišťujeme vliv hluku na osoby ve venkovním prostoru. Směřuje se k nejvýznamnějšímu zdroji hluku. [33]



Při měření hluku ve **venkovním prostoru budov** se zvukoměr umísťuje přednostně 2 m, nejméně však 1 m od fasády a 1,2 až 1,5 m nad úroveň podlahy příslušného patra. Pokud to lze, měří se přednostně před středem zavřeného okna chráněné místnosti. [33]

V **interiéru budov** se měřicí bod volí přednostně 1,2 až 1,5 m nad podlahou. Zvukoměr se směřuje ke zdroji, je-li identifikovatelný směr šíření hluku, nebo svisle vzhůru, pokud nelze směr šíření hluku identifikovat. Během měření musí být okna i dveře zcela zavřeny. Měří-li se hluk pronikající do místnosti z venkovního prostoru, doporučuje se měřit i hluk vnějšího prostoru budov. [33]

#### ▪ **Meteorologické vlivy ovlivňující měření**

Za příznivé podmínky se považuje:

- suchý povrch vozovky a kolejí,
- povrch terénu nesmí být pokryt sněhem ani ledem,
- povrch země by neměl být ani namrzlý ani nasáklý velkým množstvím vody,
- měření se nedoporučuje za sněžení, deště a větrného počasí
- rychlost větru do 5 m/s, nad tuto hodnotu není měření přípustné. [33]

#### ▪ **Doba a délka měření**

Doba měření musí odpovídat průměrné situaci provozu zdroje hluku. Délka měření se volí s ohledem na zachycení všech typů hlukových situací vyskytující se v daném místě měření. Jedná-li se o stacionární zdroje (průmyslové závody, letní kina, stadiony, atd.), tak se provádí měření v denní době pro osm nejhluchnějších hodin v jednom celku a v noční době pro nejhluchnější hodinu. Při měření hluku z dopravy se měření uskutečňuje v běžný pracovní den, kterými jsou úterý, středa nebo čtvrtek, a v měsících březen až červen, září a říjen, pokud není zjišťován vliv rekreační dopravy. [33]

Doba měření s ohledem na tramvaj (podle ČSN ISO 3095) „začíná v okamžiku, kdy vážená hladina akustického tlaku A je o 10 dB nižší než hladina zjištěná v okamžiku, kdy je čelo vlaku před místem mikrofону; měření je ukončeno, kdy je hladina akustického tlaku o 10 dB nižší, než hladina zjištěná, kdy konec vlaku je před místem mikrofону“.

### ▪ **Protokol měření**

Do zprávy o provedeném měření se uvádějí následující informace:

- akustické údaje:
  - datum a čas měření,
  - ekvivalentní hladinu akustického tlaku A,
  - případně procentní hladiny akustického tlaku A,
- použité měřicí a výpočtové metody,
- použité přístrojové vybavení:
  - název přístroje, výrobce a typ, údaje o jeho kalibraci,
- popis měřícího místa:
  - topografie terénu (náčrtek nebo fotografie),
  - umístění mikrofonu,
- identifikaci a popis měřeného zdroje hluku,
- v případě měření dopravního hluku se uvádějí dopravně inženýrské údaje:
  - intenzita dopravy dle skladby vozidel,
  - výhodné je určovat průměrnou rychlost dopravního proudu,
  - popis komunikace / kolejové trati (druh a kvalita povrchu),
- meteorologické podmínky během měření, významné zdroje hluku, které nebyly předmětem měření. [33]

### ▪ **Výpočet hluku**

Nejpřesnější metodou měření dopravního hluku je využití měřících přístrojů. To je však časově a ekonomicky velmi náročné, hlavně při větším rozsahu měření, např. pro hlukové mapování (viz kapitola 2.), kde je to prakticky nezvladatelné. Proto se přechází k výpočtům hluku z dopravy, které se řídí platnou legislativou *Metodické pokyny pro výpočet hladin hluku z dopravy* vydané v roce 1991. [7] Ta se sestává z úvodní části a příloh obsahující postupy výpočtů hodnot hluku ze silniční dopravy, železniční dopravy, tramvajového provozu, trolejbusového provozu, z provozu na parkovacích a odstavných plochách, leteckého provozu, a z přílohy obsahující zásady ochranných opatření proti nepříznivým hodnotám hluku z dopravy. Postup výpočtu tramvajové dopravy je podrobněji popsán v následující kapitole. [34] Pokyny k výpočtu hluku ze silniční dopravy jsou aktualizovány v novém

metodickém pokynu *Výpočet hluku z automobilové dopravy – Manuál 2011*, pro ostatní uvedené druhy dopravy metodické pokyny zatím aktualizovány nebyly. [15]

Pro výpočet hluku lze využít i počítačových programů, v České Republice je nejrozšířenější Hluk +, který vychází z metodických pokynů, viz výše. [7]

### **1.9 Tramvajová doprava a hluk**

Tramvajová doprava je typem kolejové dopravy ve městech. Sdílí zde dopravní prostor s individuální dopravou (např.: automobilovou, cyklistickou, pěší, aj.) a ostatními druhy hromadné dopravy. Dochází k úrovněmu křížení tramvajové dopravy s výše uvedenými typy dopravy a k jejich podélnému souběhu, tomu je přizpůsobena infrastruktura pozemní komunikace. Z důvodu upřednostňování hromadné dopravy je snaha tramvajovou trať segregovat od ostatních druhů dopravy na samostatné těleso, to vede ke zvětšení rychlosti a spolehlivosti provozu. [9] Šířka ulic a plochy mezi zástavbou bývají často nedostatečné pro vedení tramvajové tratě na vlastním tělese. V Praze je pouze 52 % tramvajových tratí na vlastním tělese. [16]

V menších městech (nad 150 000 obyvatel) tvoří tramvaje základ dopravní sítě, doplňkovou síť bývají autobusy, případně trolejbusy. Ve velkých městech (nad 750 000), kde jsou vybudovány městské rychlodráhy, tvoří tramvaje společně s autobusy doplňkovou síť. [9]

Hlukem generovaným tramvajovou dopravou je třeba se zabývat, neboť tramvajové koleje vedou zastavěnými oblastmi měst, kde lidé žijí, pracují a odpočívají. Tento hluk je ruší a je třeba jej co nejvíce eliminovat. A proto je nesmírně důležité se zaměřit jak na potlačování hlukových imisí, tak hlukových emisí, které pocházejí z hnacího ústrojí tramvajů, pohybem vozidla po kolejích (valivý hluk a hluk kvílivý - vzniká průjezdem oblouků s malým poloměrem) a hlukem motoru. Emise lze snížit změnou konstrukce vozidel. Imise lze snížit správnou volbou tramvajového svršku (např. travnatým pásem) nebo pomocí snížení emisí. Z tohoto důvodu je nutné se zaměřit na konkrétní zdroje hluku tramvajové dopravy podrobněji v kapitole 3. [7]

Jak již bylo uvedeno výše, intenzitu hluku z tramvajové dopravy lze získat měřením nebo výpočtem. Při měření se vychází z metodiky uvedené v normách ČSN EN ISO 3095 pro hluk vnější a ČSN EN ISO 3381 pro hluk vnitřní. Je důležité dodržet podmínky, při kterých se

měření provádí. Výpočet hluku z tramvajového provozu se provádí dle Metodických pokynů pro výpočet hladin hluku z dopravy z roku 1991.

▪ **Výpočet hluku z tramvajového provozu**

Vypočtená ekvivalentní hladina hluku z tramvajové dopravy  $Y$  [dB] ve vzdálenosti 7,5 m od kolejí se stanoví dle vzorce:

$$Y = 10 \cdot \log(44,5 \cdot F_5 \cdot m) + 40$$

kde :  $F_5$  ..... součinitel zahrnující vliv rychlosti a typ svršku tramvajové tratě [-],  
 $m$  ..... počet tramvajových vlaků, které projedou uvažovaným profilem za hodinu [-].

Pro součinitel  $F_5$  platí:

- $F_5 = 0,25$  pro  $v_{tram} = 30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , tramvajová trať (TT) s otevřeným šterkovým ložem nebo překrytá živící, kolejnice na pražcích nebo TT s panely BKV
- $F_5 = 0,50$  pro  $v_{tram} = 30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , TT zakrytá panely, kolejnice na pražcích,
- $F_5 = 1,00$  pro  $v_{tram} = 60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , všechny typy TT,

kde :  $v_{tram}$  ... průměrná rychlost tramvajových vlaků [ $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ ]. [34]

Ekvivalentní hladina akustického tlaku vypočtená tímto způsobem se vztahuje pouze na dvouvozový tramvajový vlak bez tyristorové regulace, pro jiné typy vlaků je potřeba použít korekce. Dále se koriguje k situaci k posuzovanému bodu např. vzdálenost bodu od osy koleje, jeho výška nad terénem, vliv zástavby ap. [34]

Vzhledem k novým technologiím používaných při konstrukci tramvajových vozů a tramvajových tratí, by stálo za zvážení tyto výpočty hluku z tramvajového provozu aktualizovat.

## **2 HLUKOVÉ MAPY A STRATEGIE**

Legislativou pro hlukové mapy a strategie je směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES, která se pomocí strategických hlukových map a akčních plánů snaží regulovat velikost environmentálního hluku. Tato směrnice zavazuje členské státy k vytvoření strategických hlukových map, jejich zpřístupnění veřejnosti a v návaznosti na výsledky hlukového mapování přijetí akčních plánů. Tato směrnice je v České republice zapracována do vyhlášky č. 523/2006 Sb. o *hlukovém mapování*. Vyhláška předepisuje mezní hodnoty hlukových ukazatelů, jejich výpočet pro hluk z dopravy a průmyslu, základní požadavky na strategické hlukové mapy a akční plány a způsob jejich zveřejňování.

*Proces strategického hlukového mapování* lze rozdělit na dva cyklicky se opakující kroky strategické hlukové mapy a akční plány. Interval cyklu 5 let je zvolen s přihlédnutím na realizaci plánovaných opatření, které plynou z akčních plánů. V podstatě se jedná o regulaci hluku se zpětnou vazbou, ta slouží ke kontrole úspěšnosti snahy státu při eliminaci zdrojů hluku. Tento proces se povinně zhotovuje od roku 2007 pro: aglomerace s více než 250 000 obyvatel (tj. Praha, Brno, Ostrava), hlavní silnice s intenzitou větší než šest milionů vozidel za rok (jedná se o 1350 km v rámci ČR), železniční tratě s více než 60 000 vlaků za rok (tj. 300 km v rámci ČR) a hlavní letiště s více než 50 000 vzletů nebo přistání za rok (letiště Václava Havla Praha). [17]

### **2.1 Strategická hluková mapa (SHM)**

Podrobně graficky zobrazuje hlukovou zátěž v prostředí vyjádřenou hlukovým ukazatelem v pásmech po 5 dB, viz příloha 4. Rozlišuje celodenní (24 h) a noční (22:00 – 6:00) hlukové ukazatele. SHM je podkladem pro akční plán. [22] SHM požizuje Ministerstvo zdravotnictví s maximální 5 letou periodou a zpřístupňuje je veřejnosti v listinné podobě ve svém sídle a v elektronické podobě na stránkách Ministerstva zdravotnictví. [19]

### **2.2 Akční plán (AP)**

Shrnuje výsledky SHM, vyhodnocuje odhad počtu osob obtěžovaných hlukem, řeší problémy s hlukem s cílem snížení počtu osob zatížených hlukem v okolí sledovaných zdrojů. AP vyhodnocuje od roku 2008 Ministerstvo dopravy a krajské úřady s maximální 5 letou periodou a zpřístupňuje je veřejnosti v listinné podobě ve svém sídle a v elektronické podobě na své internetové adrese. [22]

### 3 KONKRÉTNÍ PŘÍPADY GENEROVÁNÍ HLUKU TRAMVAJOVOU DOPRAVOU

Kapitola uvádí a popisuje základní zdroje hluku umístěné na tramvajovém vozu. Dále pak uvádí a rozlišuje jednotlivé typy tramvajových vozů (dále jen jako tramvaj) a svršků tramvajové tratě. Závěr kapitoly je věnován pilotní studii zhodnocující synergií silniční a tramvajové dopravy, její metodice měření, vlastnímu měření a jeho zpracování.

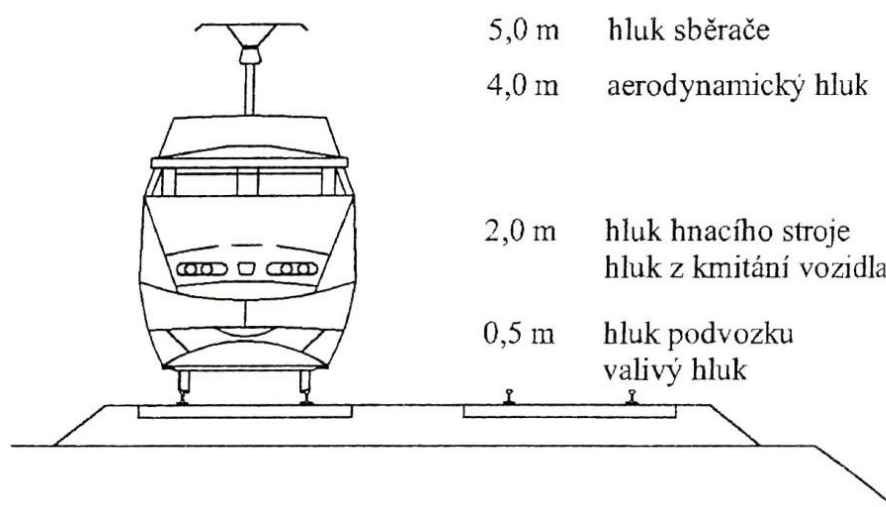
#### 3.1 Zdroje hluku tramvaje

Zdroje hluku tramvaje lze dělit do čtyř skupin:

- **valivý hluk** (vyvolaný valením kola po kolejnici a jejich nerovnosti) a **hluk podvozku**,
- **hluk motorů, hluk z kmitání vozové skříně a pomocných agregátů** (ventilace, klimatizace...),
- **aerodynamický hluk a hluk sběračů elektrického proudu**,
- **lokální dopravní hluky** (hluk při akceleraci a deceleraci, hlášení rozhlasu, výstražné signály, apod.). [7]

Zdroje uvedených hluků jsou umístěny v různých výškách na tramvajovém voze (podrobněji na obr. 4) a jejich intenzita je závislá na rychlosti jízdy. U tramvajové dopravy, kde se vozy běžně pohybují maximální rychlostí do 40 km/h (průměrná cestovní rychlost je 18,6 km/h dle RD12), se aerodynamický hluk příliš neprojevuje. Převažuje hluk valivý, který tvoří 85 % emitovaného hluku a zbývajících 15% tvoří hluk hnacího stroje. [7]

Obr. 4 Výškové rozložení zdrojů hluku z tramvajového vozu



Zdroj: [7]

### 3.2 Závislost hluku na typu tramvaje

Typ tramvaje a její technický stav se zásadně podílí na generovaném hluku. Jak již bylo zmíněno výše, konstrukční řešení je jednou z možností snížení tramvajových emisí. Snížit emise je možno např.: volbou vhodných nových materiálů, nových technologií, které dříve nebyly známy a to jak při konstrukci nových vozů, tak i při rekonstrukci vozů zastaralých. Z toho vyplývá, že novější typy tramvají by měly být tišší než starší typy.

Vozový park v Praze je zastoupen vozy Tatra T3 (v různých modifikacích), T6A5 (dále jen jako T6) a KT8D5.RN2P (dále jen jako KT8) a vozy Škoda 14T a 15T. Celkový počet tramvají Dopravního podniku hlavního města Prahy ke 2. 2. 2015 je 959 vozů (dle [http://www.citybus.cz/praha/aktevid\\_dp-ed/index.htm](http://www.citybus.cz/praha/aktevid_dp-ed/index.htm)).

Technické parametry tramvajových vozů jsou uvedeny v příloze 5.

### 3.3 Závislost hluku na druhu tramvajového svršku

Imise tramvaje jsou ovlivněny stavbou tramvajové trati jako takovou. Tramvajová trať (TT) se skládá z tramvajového spodku, svršku a popřípadě krytu. Tramvajovým spodkem se rozumí tvar a vybavení zemního tělesa, na který se posléze ukládá tramvajový svršek. Patří sem odvodňovací zařízení, propustky, opěrné a zárubní zdi, mosty, tunely, atd. Do tramvajového svršku se řadí vše, co se ukládá na tramvajový spodek, tj. *podklad* (příčné pražce, prefabrikované desky atd.), *kolejový svršek* (kolejnice, upevňovadla, případně rozchodnice a další doplňující prvky) a popřípadě *kryt tramvajové trati*. Kryt tramvajové trati se používá zejména v místech, kde se pohybuje nekolejová doprava, to však neplatí v případě zatravněného svršku tratě. [9]

Imise generované tramvajovou dopravou závisí zejména na druhu kolejnice a jejím upevnění, typu podkladu a krytu TT, případně na protihlukových prvcích (bokovnice, antivibrační rohože, mazníky atd.). [7]

#### ▪ Kolejnice a jejich upevnění

Kolejnice nese a vede železniční kolo, přenáší tlaky a dynamické rázy na podklad tramvajového svršku a plní funkci zpětného vedení elektrického proudu do měnících. V tramvajové dopravě se používají stojinové žlábkové kolejnice nebo žlábkové blokové kolejnice a od roku 2010 používá dopravní podnik Prahy (DPP) i kolejnice širokopatní (bezžlábkové). [7] Tramvajové tratě se zřizují jako bezстыkové koleje, tj. kolejnice jsou

ve stycích svařeny, kromě dilatačního styku kolejnic zřizovaného kvůli tepelné roztažnosti. Bezстыkové koleje vykazují ve svařeném styku nižší hlučnost oproti šroubovému spoji. Kolejnice v současné době používané DPP jsou uvedené na obr. 5. [9]

**Obr. 5 Kolejnice používané na tramvajových tratích**



**Zdroj:** Firemní literatura Třinecké ž. <[http://www.trz.cz/pdf/Kolejnice\\_2010.pdf](http://www.trz.cz/pdf/Kolejnice_2010.pdf)>

Dříve se kolejnice upevňovaly na pevně, toto upevnění přenášelo při průjezdu tramvajového vozidla dynamické rázy a vibrace na podklad TT. K snížení těchto negativních účinků bylo vyvinuto pružné upevnění kolejnic. [9]

- **Podklad tramvajového svršku**

Kolejový svršek se ukládá na podklad TT, který je nejčastěji tvořen příčnými pražci, prefabrikovanými betonovými deskami VÚIS, BKV a nově LRB a monolitickou betonovou deskou s upevňovacím systémem WTRAM, aj. [9]

- **Kryt tramvajového svršku**

Při rozhodování o použití typu krytu tramvajového svršku je jedním z hlavních kritérií lokalizace tramvajové trati. V historických částech města se převážně používá žulová dlažba. Pokud se jedná o TT projížděnou nekolejovou dopravou je nejrozšířenějším krytem živice nebo prefabrikované panely. [9] Otevřené kolejové lože se používá především na okrajích města. Jeho výhodou je snadná údržba. Zatravněný svršek se pak používá mimo historické centrum města tam, kde je snaha kultivaci zelení. [11]



### **3.4 Metodika - vlastní měření**

Návrh měření představuje pokus o vytvoření metodiky pro pilotní studii zhodnocující synergii silniční a tramvajové dopravy. Před měřením je nutné stanovit jeho účel, který slouží k výběru vhodného místa pro měření, příslušného měřicího přístroje a dobu měření. Při měření je nutné dodržet legislativu v platném znění (viz kapitola 1.7). Dále je třeba brát ohled na různé faktory, které mohou mít a mají vliv na měření samotné, jsou to např.: meteorologické podmínky, rychlost jízdy tramvaje a vozidla, místo příjmu měření, konstrukce TT a vozovky, atd.

#### **3.4.1 Účel měření**

Účelem měření je získání informací o hluku generovaném tramvajovou dopravou při současném hluku generovaném dopravou silniční. Výsledkem měření je porovnání časových záznamů různých situací synergie silniční a tramvajové dopravy a eventuálně stanovení ekvivalentní hladiny akustického tlaku A  $L_{Aeq}$  [dB] pro příslušné místo měření, případně její srovnání s hygienickými limity hluku.

#### **3.4.2 Dopravně inženýrské údaje**

Při stanovování ekvivalentní hladiny akustického tlaku A z dopravy je nutné měřit i intenzitu dopravy (počet vozidel za jednotku času), s rozlišením skladby dopravního proudu tj. podíl vozidel individuální automobilové dopravy (IAD), těžkých vozidel (TV) a tramvaj (TRAM). Těžkými vozidly se rozumí vozidla, jejichž hmotnost převyšuje nad 3,5 tuny nebo splňují podmínku, že konstrukce jejich podvozku není shodná s konstrukcí podvozku osobního automobilu. Vzor sčítacího formuláře je uveden v příloze 6. V jeho spodní části je tabulka pro významné zdroje hluku, které mohou ovlivnit měření (např.: sirény vozidel integrovaného záchranného systému).

#### **3.4.3 Posuzované situace synergií dopravy**

V běžném provozu může nastat mnoho situací synergie silniční dopravy a dopravy tramvajové. V této pilotní studii sledujeme tyto situace synergií:

- tramvaj bez silniční dopravy,
- tramvaj s 1 vozidlem IAD,
- tramvaj s 2 vozidly IAD,
- tramvaj se 3 vozidly IAD,
- eventuálně tramvaj s těžkými vozidly.

Ostatní případy synergií dopravy jsou v této bakalářské práci zanedbány. Při zpracování se zohledňuje také i typ tramvaje.

#### **3.4.4 Místo měření**

Místo měření je voleno tak, aby tramvajová trať byla na vlastním tělese uprostřed komunikace tj., aby podél tramvajové trati vedl alespoň jeden jízdní pruh pozemní komunikace. Do zprávy o provedeném měření je důležité uvést o jaký druh vozovky a typ konstrukce TT se jedná.

Dalším požadavkem na místo měření je rychlost projíždějících tramvají a jízdní rychlost vozidel silniční dopravy. Ta by měla být během měření pro všechny situace synergie dopravy stejná, avšak v běžném provozu lze rychlost tramvají a vozidel silniční dopravy jen těžko ovlivnit.

Dále je nutné věnovat se akustickému okolí sledovaného místa jako je např.: souvislá / nesouvislá zastavba, oboustranně / jednostranně zastavěná komunikace, nezastavěné území, atd. [2]

#### **3.4.5 Měřicí systém**

Pro účely měření je vhodné použít zvukoměr obsahující váhový filtr A se vzorkováním alespoň 0,5 s, z důvodu krátkého času průjezdu tramvaje ve sledovaném zorném poli. Zvukoměr je bezprostředně před a po měření kalibrován, přípustná odchylka je maximálně 0,5 dB, jinak není měření platné. Jelikož se jedná o měření ve venkovním prostředí je zapotřebí použít krytku proti větru. Zvukoměr i kalibrátor musí vyhovovat platným legislativám uvedených v kapitole 1.7.

Při vyhodnocování synergie zmíněných dopravních prostředků je zapotřebí audiovizuálního záznamu. Kamera použitá k tomuto účelu musí být časově synchronizována s měřicím přístrojem s minimální přesností na 0,5 s.

#### **3.4.6 Meteorologické podmínky**

Při měření musí být povrch vozovky i kolejí suchý, povrch terénu nesmí být pokryt sněhem ani ledem, neměl by být ani namrzlý ani nasáklý příliš velkým množstvím vody. Dále pak není vhodné měřit za deště, sněžení a větrného počasí. Rychlost větru ve výšce mikrofону nesmí přesáhnout 5 m/s.

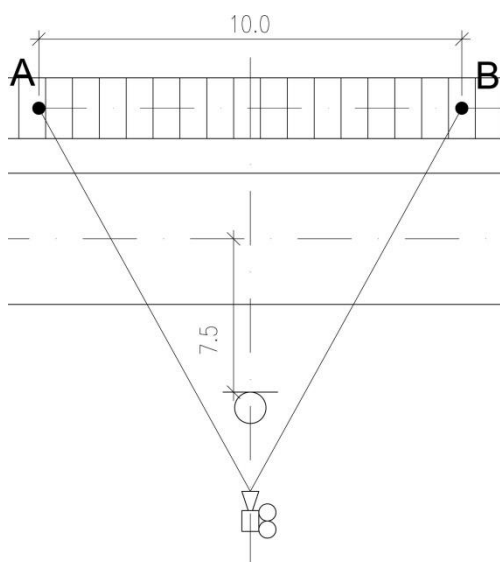
### 3.4.7 Doba měření

Doba měření průjezdu tramvaje (je znázorněna na obr. 6) začíná v okamžiku, kdy se čelo tramvaje objeví v zorném poli kamery (tj. když je čelo tramvaje v bodě **A**) a končí v okamžiku, kdy konec tramvaje toto zorné pole opustí (tj. když konec tramvaje projede bodem **B**). Jedná se o velmi krátký časový interval (kolem 5 s – záleží na rychlosti jízdy tramvaje a sledovaném úseku TT).

### 3.4.8 Stanovení měřícího bodu

Osa zvukoměru je rovnoběžná s terénem a směřuje kolmo na podélnou osu komunikace, pokud výrobce mikrofону neurčí jinak. Vzdálenost měřícího bodu je 7,5 m od osy krajního jízdního pruhu ve výšce 1,5 m nad zemí. Kamera je umístěna v ose zvukoměru tak, aby v zorném poli snímala alespoň 10 m TT (podrobněji na obr. 6).

Obr. 6 Situování zvukoměru a kamery



Zdroj: vlastní tvorba

### 3.5 Vlastní měření a jeho zpracování

Měření spočívá v ověření metodiky pilotní studie zhodnocující synergii dopravy v praxi na konkrétních případech zmíněných v kapitole 3.4.3 a stanovení ekvivalentní hladiny akustického tlaku A pro konkrétní místo měření, případně její porovnání s hygienickými limity hluku. Měření probíhalo v Praze 5 v ulici Plzeňská na dvou místech, mezi tramvajovými zastávkami *Krematorium Motol* a *Motol* a mezi tramvajovými zastávkami *Vozovna Motol* a *Hotel Golf*, přesný popis míst je uveden níže. Před samotným měřením proběhla příprava, která zahrnovala výměru zvoleného místa, správné umístění a nastavení měřící a nahrávací

techniky dle metodiky uvedené v předchozí kapitole. Měření se zúčastnily dvě osoby, které zaznamenávaly intenzitu dopravy v obou směrech a pravidelně vizuálně dohlížely na záznamová zařízení.

### 3.5.1 Místo měření

Měření proběhlo v ulici Plzeňská, Praha 5 mezi zastávkou *Krematorium Motol* a *Motol* (dále jako místo A), blízko hotelu Starý pivovar s číslem popisným 9/229, pro přesné místo uvádím GPS souřadnice 50°4'0.251"N, 14°19'44.718"E. Kromě zmíněného hotelu vzdáleného 45 m od místa měření se v blízkosti nenachází jiná stavba. Dále bylo měření provedeno mezi zastávkami *Vozovna Motol* a *Hotel Golf* (dále jako místo B), s GPS souřadnicemi 50°4'4.343"N, 14°20'38.561"E. Obě místa měření mají obdobný profil terénu. Po obou stranách komunikace se vyskytuje porost, který se sestává převážně z listnatých stromů a keřů. Tento porost dopadající hluk převážně pohlcuje, nedochází tedy k jeho zpětnému odrazu.

V obou místech měření je čtyřproudá silnice, kde je uprostřed obousměrná tramvajová trať na vlastním tělese. Materiál povrchu vozovky je obrus LA o tloušťce 3cm uveden do provozu 9. 10. 2006 (dle údajů z TSK). Konstrukce tramvajové trati je tvořena kolejnicemi 49E1 s pružným upevněním na betonových pražcích s otevřeným kolejovým svrškem (dle údajů z DPP). Uspořádání komunikace je patrné z obr. 7.

### 3.5.2 Použité přístroje

K měření byl použit zvukoměr CESVA SC310 s třídou přesnosti 1 a váhovým filtrem A. Zvukoměr měří v celém svém rozsahu mnoho parametrů, pro účel měření jsou významné ekvivalentní hladina akustického tlaku odpovídající době měření a ekvivalentní hladina akustického tlaku s integrační konstantou 125 ms tj. 8 hodnot za vteřinu. Naměřené hodnoty se ukládají do vnitřní paměti zařízení a následně je lze exportovat do programu MS EXCEL.

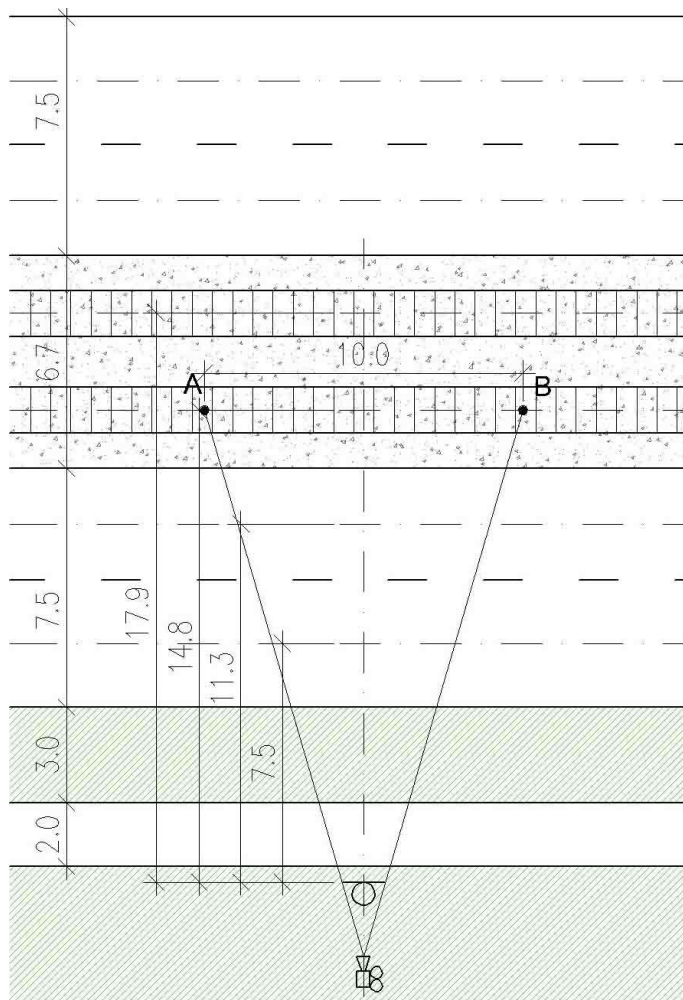
Před a po měření byla ověřena přesnost měření kalibrátorem CESVA CB-5, byl dodržen postup uvedený v manuálu zvukoměru. Odchylka kalibrovaných hodnot nebyla větší jak 0,5 dB, měření tedy proběhlo v pořádku.

Audiovizuální záznam pro zpracování naměřených dat byl pořízen digitální kamerou SAMSUNG VP-D361 se záznamem na mini DV kazety o délce 60 minut. Po hodině záznamu byla tedy nutná výměna kazety. Při výměně kazety, trvající do tří minut, neprojela žádná

tramvaj. Audiovizuální záznam byl následně převeden do počítače pomocí softwaru Adobe Premiere Pro CS6.

Přístroje pro měření byly umístěny v prostředí dle vlastní metodiky měření (viz kapitola 3.4.7.). Schéma místa měření a umístění přístrojů zobrazuje obr. 7.

**Obr. 7 Schéma umístění měřících přístrojů**



**Zdroj: vlastní zpracování**

### 3.5.3 Doba měření

Měření bylo provedeno na dvou místech pokaždé v trvání dvou hodin pro ověření metodiky a k získání alespoň malého vzorku všech zástupců posuzovaných situací synergií dopravy. Pro získání směrodatných závěrů by měření muselo být provedeno v delším časovém horizontu. Měření proběhlo v ranních hodinách od 9:00 do 11:00 s intenzitou dopravy uvedené v tabulce 2. Podkladem pro tuto tabulku jsou sčítací formuláře uvedené v příloze 7 až 10.

**Tab. 2 Intenzita dopravy za dobu měření**

	Směr dopravního proudu	Intenzita za dobu měření		
		IAD	TV	TRAM
místo A	Smíchov	1308	68	39
	Řepy	1341	80	39
místo B	Smíchov	1404	95	36
	Řepy	1717	181	41

Zdroj: vlastní zpracování

Při měření byly dodrženy podmínky dané metodikou měření (viz kapitola 3.4.6). Meteorologická situace v době měření je po 15 minutách zpracována v příloze 11. Údaje jsou převzaty z meteorologické stanice České zemědělské univerzity v Praze.

### 3.5.4 Zpracování dat

Naměřená data jsou exportována do programu MS EXCEL. Při ekvivalentní hladině akustického tlaku A s integrační konstantou 125 ms a době měření 2 hodiny se jedná o 57 600 hodnot. Díky synchronizaci audiovizuálního záznamu se záznamem z hlukoměru, lze pomocí vhodného programu pro práci s videem (např.: Adobe Premiere Pro CS6) detailně prozkoumat synergie dopravy zaznamenané během měření.

Postup vyhodnocení synergie dopravy je následující:

- nejprve ve videu nalezneme začátek průjezdu tramvaje, tj. čelo tramvaje je v bodě A viz obr.7,
- potom si poznamenáme čas, za jak dlouho se čelo tramvaje dostane do bodu B (pro výpočet rychlosti tramvaje),
- průjezd tramvaje končí, když konec tramvaje projede bodem B,
- v tomto intervalu sledujeme i případný průjezd silniční dopravy,

(v příloze 12 je zpracován příklad pro tramvaj Škoda 15T)

- hodnoty jsou následně zpracovány pomocí časového záznamu (pro konkrétní příklad viz graf 1).

### 3.6 Výsledky a zhodnocení měření

Pomocí hlukoměru byla změřena **ekvivalentní hladina akustického tlaku A** za dobu měření na konkrétních místech (viz následující tabulka), při intenzitě dopravy uvedené v tabulce 2.

Tab. 3 Ekvivalentní hladina akustického tlaku A za dobu měření

	$L_{Aeq}$ [dB]
<b>místo A</b>	<b>71,9</b>
<b>místo B</b>	<b>70,3</b>

Zdroj: vlastní zpracování

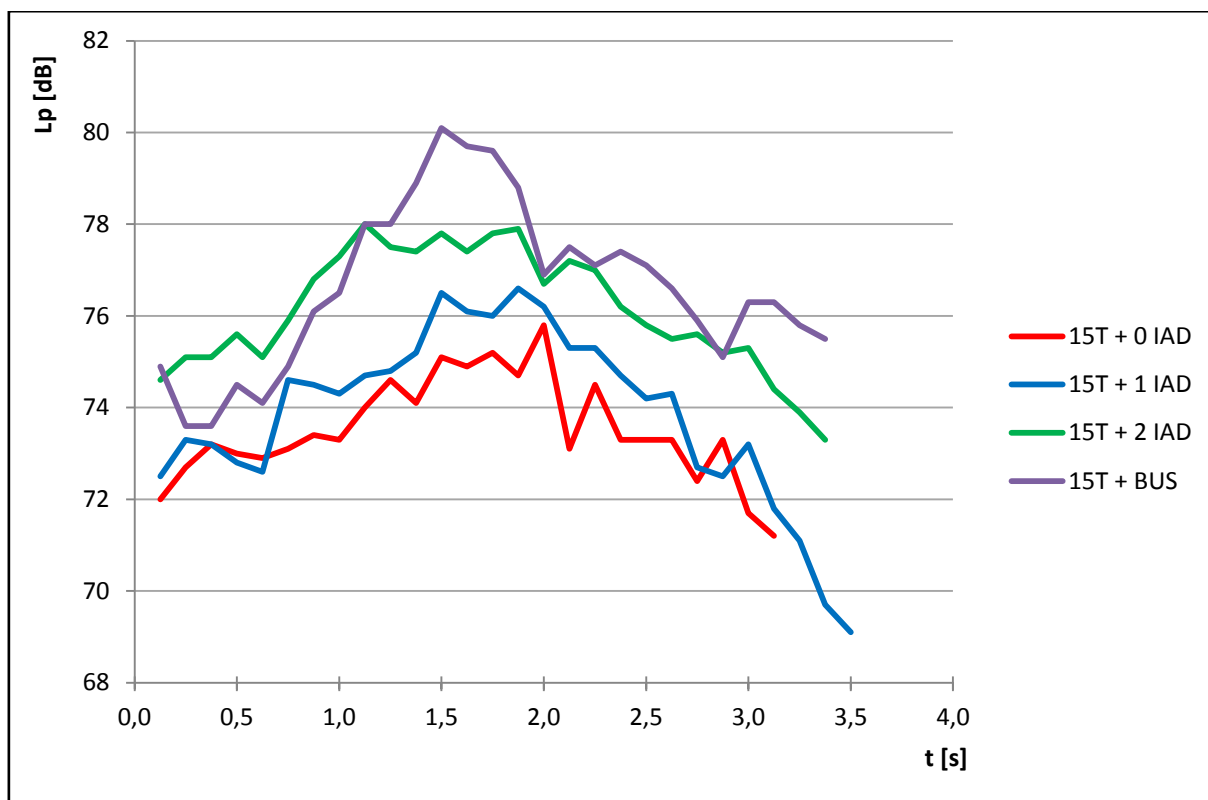
Dopravní komunikace v místech měření je silnicí I. třídy. Z hlediska hluku je posuzována jako stará hluková zátěž, pro kterou je v denní době limit ekvivalentní hladiny akustického tlaku A stanoven na 70 dB. V obou místech měření byl tento limit nepatrně překročen. V místech měření se však nevyskytují žádná významná shromaždiště lidí. Jak je zmíněno výše, v místě A je nejbližší budovou hotel Starý pivovar vzdálený 45m od místa měření. Lze předpokládat, že při výstavbě/renovaci hotelu bylo využito protihlukového materiálu. Případně je možné provést měření hluku ve vnitřním prostoru hotelu. V místě B je ve vzdálenosti 40 metrů Hotel Golf, který od pozemní komunikace odděluje val s převýšením 8 m porostlý listnatými stromy a křoviskem. K objektivním závěrům by bylo opět vhodné provést měření ve venkovním, případně vnitřním, prostoru budovy.

Výsledky měření **synergie dopravy** jsou zpracovány ve formě grafů – časových záznamů (graf 1 – 5; grafy 2 – 5 jsou v příloze 14). V grafech jsou vyneseny křivky hladin akustické energie (dále jen jako křivka) v závislosti na čase pro konkrétní případy synergie dopravy s rozlišením typu tramvaje a místem měření. Jedna křivka znázorňuje, vždy jeden přejezd tramvaje bez silniční dopravy (např.: 15T + 0 IAD), eventuálně jeden přejezd tramvaje se silniční dopravou (např.: 15T + 1 IAD, 15T + BUS, ap.). Křivky jsou zpravidla vyobrazeny plnou čarou, čárkovaná čára znázorňuje přejezd tramvaje stejného typu při stejné situaci. Rozdíl mezi těmito křivkami ovlivňují především stav a rychlost vozidel.

V prvním grafu (graf 1) je porovnána synergie dopravy pro tramvaj typu Škoda 15T a to: bez silniční dopravy, s jedním automobilem, s dvěma automobily a s autobusem. Křivka znázorňující přejezd samostatné tramvaje je nejnižší a její maximum dosahuje k 76 dB. Křivka přejezdu tramvaje s jedním automobilem má podobný tvar, ale v místě přejezdu automobilu

jsou její hodnoty zvýšeny. Křivka přejezdu tramvaje s dvěma automobily je celá posunuta výše oproti předchozím, její maximum dosahuje 78 dB. Křivka s přejezdem tramvaje s autobusem má podobný tvar s předchozí, avšak v místě přejezdu autobusu dosahuje 80 dB. Tato situace je podrobně znázorněna v příloze 13.

**Graf: 1 Časový záznam synergie dopravy pro ŠKODU 15T v místě A**



**Zdroj: vlastní zpracování**

Měření ostatních tramvají dopadlo obdobně, viz grafy v příloze 14. Tvar křivky hladiny akustické energie závisí na situace synergie dopravy např.: počet vozidel silniční dopravy, skladba silniční dopravy, technický stav vozidel, rychlost vozidel, atd. Samozřejmě nelze opomenout, že tvar křivky ovlivňují: meteorologické vlivy, stav vozovky a tramvajové tratě, atd. Křivka přejezdu samostatné tramvaje dosahuje nejnižších hodnot, s rostoucím množstvím vozidel silniční dopravy se průběh křivky posouvá do vyšších hodnot. Průběhy křivek různých situací se překrývají. Z naměřeného počtu vzorků, nelze přesně určit hranice mezi posuzovanými situacemi synergie dopravy.



### 3.7 Závěr

V práci je nastíněna problematika dopravního hluku zejména hluku generovaného tramvajovou dopravou. Hluk z pozemní dopravy má hlavní podíl na celkové hlukové zátěži obyvatel. Dopravní hluk ovlivňují především technický stav vozidla a jízdní dráhy, intenzita dopravy, vzdálenost sledovaného bodu od zdroje hluku a mnoho dalších faktorů.

Hluk má na člověka nežádoucí účinky ať už trvalé či přechodné. Při velkém akustickém tlaku dochází k poškození sluchového ústrojí, ale i k ovlivnění funkcí různých organismů. Zhoršuje řečovou komunikaci, ať už se jedná o dorozumívání lidí na ulici maskované dopravním hlukem, nebo ovlivňuje malé děti v období rozvoje řeči.

Hlukovým emisím se bráníme pomocí protihlukových opatření a to aktivně (v místě vzniku) anebo pasivně (neboli na cestě šíření či v místě dopadu). Nejvíce efektivním je snižování hluku v místě jeho vzniku, jedná se o úpravy konstrukce vozidla a jízdní dráhy.

Před hlukem nás chrání platné legislativy: zákon č. 258/2000 Sb. *o ochraně veřejného zdraví* a nařízení vlády č. 272/2011 Sb. *o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku*, kde jsou stanoveny maximální hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku A, které musí vlastník či provozovatel zdroje hluku dodržovat. Při měření hluku je potřeba dodržovat metodické pokyny uvedené v příslušných normách.

Měření dopravního hluku za použití měřících přístrojů je přesné, ale ekonomicky a časově náročné, zejména při strategickém hlukovém mapování, které se opakuje každých 5 let. Z tohoto důvodu se přechází k výpočtům hluku dopravy podléhající platné legislativně *Metodické pokyny pro výpočet hladin hluku z dopravy* vydané v roce 1991. Pokyny k výpočtům silniční dopravy jsou aktualizovány v metodickém pokynu *Výpočet hluku z automobilové dopravy – Manuál 2011*, pro ostatní druhy dopravy zatím metodické pokyny aktualizovány nebyly. K výpočtům se nejčastěji využívá počítačových programů.

Tramvajová doprava většinou sdílí svůj dopravní prostor s dopravou silniční, dochází zde tedy k synergii hluku generovaného těmito typy dopravy. V bakalářské práci je navržena metodika měření a vyhodnocení této synergie dopravy. Tato metodika byla ověřena v praxi vlastním měřením. Výsledky synergie dopravy jsou interpretovány pomocí grafů - časových záznamů. Tvar průběhu křivky hladiny akustické energie přejezdu samostatné tramvaje dosahuje nejnižších hodnot, s rostoucím množstvím vozidel silniční dopravy se průběh křivky

posouvá do vyšších hodnot. Průběhy křivek různých situací se překrývají. Z naměřeného počtu vzorků, nelze přesně určit hranice mezi posuzovanými situacemi synergie dopravy.

Měření probíhalo na dvou místech v ulici Plzeňská, kde je tramvajová trať tvořena kolejnicemi 49E1 s pružným upevněním na betonových pražcích s otevřeným štěrkovým ložem a materiál povrchu vozovky je obrus LA o tloušťce 3 cm. Měřením byla také vyhodnocena ekvivalentní hladina akustického tlaku A za dobu měření, která mírně přesahuje limit denní doby pro starou hlukovou zátěž 70 dB. V místech měření se však nevyskytují žádná významná shromaždiště lidí, lze však předpokládat, že trať vede i takovým místem, kde jsou lidé touto nadměrnou hlukovou zátěží obtěžováni. Protihluková opatření by se tak řešila pro konkrétní místa.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A OSTATNÍCH ZDROJŮ

### Literatura:

- [1] NĚMEC, J., RANSDORF, J., ŠNÉDRLE, M., *Hluk a jeho snižování v technické praxi*. 1. vydání. Praha: Nakladatelství technické literatury. 1970. 338s. ISBN 04-222-70
- [2] ŘIHÁČEK, Tomáš. *Zvukové prostředí města a jeho vliv na prožívání*. 1. vydání. Brno: Masarykova univerzita. 2009. 244s. ISBN 978-80-210-4809-6.
- [3] SMETANA, Ctirad a kolektiv. *Hluk a vibrace, měření a hodnocení*. 1. vydání. Praha: Sdělovací technika. 1998. 188s. ISBN 80-901936-2-5.
- [4] NOVÝ, Richard. *Hluk a chvění*. 3. vydání. Praha: České vysoké učení technické. 2009. 400s. ISBN 978-80-01-04347-9
- [5] BERAN, Vlastimil. *Chvění a hluk*. 1. Vydání. Plzeň: Západočeská univerzita. 2010. 204s. ISBN 978-80-7043-916-6
- [6] NĚMEC, J., RANSDORF, J., ŠNÉDRLE, M., *Hluk a jeho snižování v technické praxi*. 1. vydání. Praha: Nakladatelství technické literatury. 1970. 338s. ISBN 04-222-70
- [7] KREJČIŘÍKOVÁ, H., ŠPAČKOVÁ, H. *DOPRAVNÍ STAVBY Část: kolejová doprava*. Praha: České vysoké učení technické. 2002. 75s. ISBN 80-01-02444-X
- [8] LIBERKO, Miloš. *Hluk v prostředí: problematika a řešení*. Praha: Ministerstvo životního prostředí. 2004. 26s. ISBN 80-7212-271-1
- [9] KUBÁT, B., PEJŠA, J., JACURA, M., TREŠL, O. *Městská a příměstská kolejová doprava*. Praha: Wolters Kluwer ČR. 2010. 352s. ISBN 978-80-7357-539-7
- [10] KROPELNICKÝ, R., LÁDYŠ, L. Moderní technologie krytů vozovek a jejich přínos pro snížení hluku ze silniční dopravy  
*Silniční obzor*, 2013, roč. 74, č. 10., s. 247-251.
- [11] PEJŠA, J. Tramvajový svršek s travnatým zákrytem  
*Železniční magazín*, 2000, roč. 7, č. 4., s. 20-21.

## Internet:

- [12] VANDASOVÁ, Z. *Zdravotní účinky hluku*. Státní zdravotní ústav. [online]  
Publikováno 5. 12. 2007. [cit. 2014-11-30]  
Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/zdravotni-ucinky-hluku>
- [13] Portál životního prostředí hlavního města Prahy. *Hluk z pozemní dopravy*. [online]  
Publikováno 6. 7. 2014. [cit. 2014-11-30]  
Dostupné z: [http://portalzp.praha.eu/jnp/cz/hluk/hluk\\_z\\_pozemni\\_dopravy](http://portalzp.praha.eu/jnp/cz/hluk/hluk_z_pozemni_dopravy)
- [14] LUXEMBURK, F. *Snižování hluku možnými úpravami obrusné vrstvy vozovky*.  
Silnice - železnice. [online] Publikováno 7. 12. 2010. [cit. 2014-11-30]  
Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/snizovani-hluku-moznymi-upravami-obrusne-vrstvy-vozovky/>
- [15] Ředitelství silnic a dálnic ČR. *Metodika pro výpočet hluku z automobilové dopravy*  
[online]. Publikováno 4. 5. 2012 [cit. 2014-11-30].  
Dostupné z: <http://www.rsd.cz/doc/Technicke-predpisy/Ochrana-zivotniho-prostredi/vypocet-hluku-z-automobilove-dopravy-manual-2011>
- [16] TSK hl. m. Prahy. *Ročenka dopravy Praha 2013* [online]. [cit. 2014-11-30].  
Dostupné z: <http://www.tsk-praha.cz/wps/portal/root/dopravni-inzenyrstvi/rocenky>
- [17] Ministerstvo dopravy ČR. *Akční hlukový plán: Aglomerace Praha*. [online]  
Publikováno 1.7.2008. [cit. 2014-11-30]  
Dostupné z: [http://www.mdcr.cz/NR/rdonlyres/122FD4E5-C4AA-4072-8212-CA8132730753/0/Agglom\\_Praha\\_kom\\_I\\_Akcni\\_plan\\_FINAL.pdf](http://www.mdcr.cz/NR/rdonlyres/122FD4E5-C4AA-4072-8212-CA8132730753/0/Agglom_Praha_kom_I_Akcni_plan_FINAL.pdf)
- [18] DOUCHA, P., BERNARD, M., FADRŇÝ, M., MATĚJKA, L., *Hluk ve vnějším prostředí, Právní rádce občana obtěžovaného hlukem*. Ekologický právní servis. 2007. 33s.  
Dostupné z: [http://hluk.eps.cz/files/Hluk\\_brozura.pdf](http://hluk.eps.cz/files/Hluk_brozura.pdf)

## **Předpisy:**

- [19] Zákon č. 258/2000 Sb., *o ochraně veřejného zdraví* v platném znění.
- [20] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., *o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací* v platném znění.
- [21] Vyhláška č. 341/2002 Sb., *o schválení technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích*. v platném znění
- [22] Vyhláška č. 523/2006 Sb., *o hlukovém mapování*. v platném znění  
Dostupná také z: <http://portal.gov.cz/app/zakony/?path=/portal/obcan>
- [23] Směrnice EU 2002/49/ES, *o hodnocení hluku ve venkovním prostředí* v platném znění  
Dostupné také z: <http://eur-lex.europa.eu>
- [24] ČSN ISO 1996: 2004 *Akustika – Popis, měření a hodnocení hluku prostředí*
- [25] ČSN EN ISO 11200: 2010 *Akustika - Hluk vyzařovaný stroji a zařízeními*
- [26] ČSN ISO 11819-1: 2000 *Akustika - Měření vlivu povrchů vozovek na dopravní hluk*
- [27] ČSN 28 1300: 2006 *Tramvajová vozidla – Technické požadavky a zkoušky*
- [28] ČSN EN ISO 3095: 2014 *Železniční aplikace – Akustika - Měření hluku vyzařovaného kolejovými vozidly*
- [29] ČSN EN ISO 3381: 2011 *Železniční aplikace – Akustika - Měření hluku uvnitř kolejových vozidel*
- [30] ČSN EN 61672: 2014 *Elektroakustika - Zvukoměry*
- [31] ČSN EN 60942: 2004 *Elektroakustika – Akustické kalibrátory*
- [32] ČSN EN 61260: 2014 *Elektroakustika – Oktávové a zlomkooktávové filtry*
- [33] Metodický návod MZ ČR. *Metodický návod pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí*. [online] Publikováno 5. 12. 2007. [cit. 2014-02-19]  
Dostupné z: <[http://www.nrl.cz/metodika/postup\\_prostredi.html](http://www.nrl.cz/metodika/postup_prostredi.html)>
- [34] Liberko, M., *Metodické pokyny pro výpočet hladin hluku z dopravy*.  
Brno: VÚVA. 1991. 52s. ISBN 80-85124-07-6

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Vliv prostředí na směr šíření zvukového paprsku .....	6
Obr. 2 Sluchový orgán .....	7
Obr. 3 Šíření hluku z městské kolejové dopravy .....	11
Obr. 4 Výškové rozložení zdrojů hluku z tramvajového vozu.....	22
Obr. 5 Kolejnice používané na tramvajových tratích .....	24
Obr. 6 Situování zvukoměru a kamery .....	27
Obr. 7 Schéma umístění měřících přístrojů.....	29

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Limitní hladiny hluku tramvajového vozidla.....	14
Tab. 2 Intenzita dopravy za dobu měření.....	30
Tab. 3 Ekvivalentní hladina akustického tlaku A za dobu měření .....	31

## SEZNAM GRAFŮ

Graf: 1 Časový záznam synergie dopravy pro ŠKODU 15T v místě A .....	32
Graf: 2 Časový záznam synergie dopravy pro Tatra T6 v místě B .....	14 - Příloha 14
Graf: 3 Časový záznam synergie dopravy pro Tatra T6 v místě A .....	14 - Příloha 14
Graf: 4 Časový záznam synergie dopravy pro ŠKODU 14T v místě A .....	15 - Příloha 14
Graf: 5 Časový záznam synergie dopravy pro ŠKODU 15T v místě B .....	15 - Příloha 14

## **ABECEDNÍ SEZNAM ZKRATEK**

AP – Akční plán	21
ČSN – České technické normy	14; 15; 17; 19
DPP – Dopravní podnik hlavního města Prahy	23
EN – Evropská norma	14; 15; 19
ES – Směrnice Evropského parlamentu a Rady	21
IAD – individuální automobilová doprava	25; 30; 31
ISO – International Organization for Standardization (mezinárodní organizace zabývající se tvorbou norem)	4; 14; 15; 17; 19
RD12 – Ročenka dopravy 2012	22
SHM – Strategická hluková mapa	21
SPL – Sound Pressure Level (hladina akustického tlaku)	4
TRAM – tramvajový vůz	25; 30
TSK-PRAHA - Technická správa komunikací hl. města Prahy	28
TT – tramvajová trať	23 – 27;
TV – těžká vozidla	25; 30

## ABECEDNÍ SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

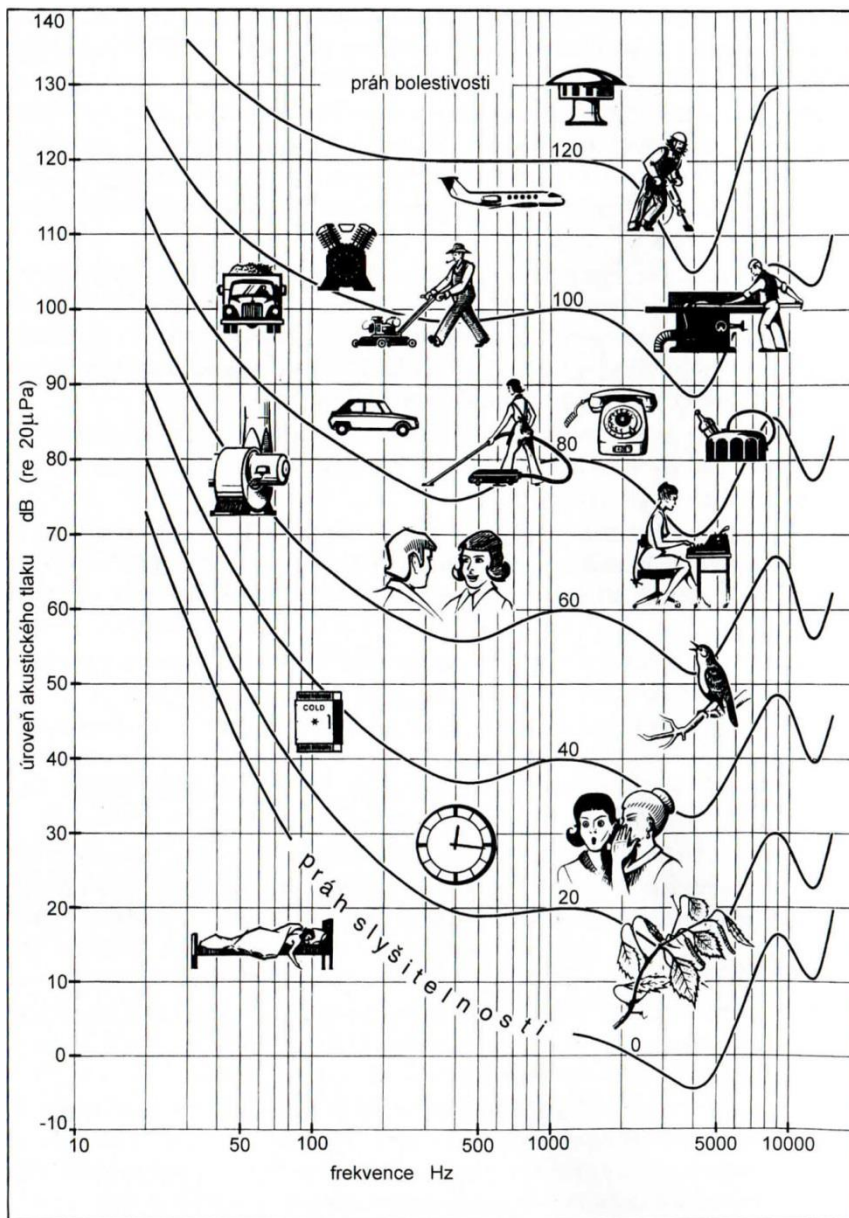
$c$	rychlost šíření zvuku	[m/s]
$f$	kmitočet signálu	[Hz]
$F_5$	součinitel zahrnující vliv rychlosti a typ svršku tramvajové tratě	[-]
$I$	intenzita zvuku	[W/m <sup>2</sup> ]
$I_0$	referenční intenzita zvuku	[W/m <sup>2</sup> ]
$L_{Aeq}$	ekvivalentní hladina akustického tlaku upravená filtrem A	[dB]
$L_{eq}$	ekvivalentní hladina akustického tlaku	[dB]
$L_I$	hladina intenzity zvuku	[dB]
$L_i$	střední hladina zvuku v $i$ -tém hladinovém intervalu	[dB]
$L_{max}$	maximální hladina akustického tlaku	[dB]
$L_{min}$	minimální hladina akustického tlaku	[dB]
$L_N$	procentní (distribuční) hladina akustického tlaku A	[dB]
$L_p$	hladina akustického tlaku	[dB]
$m$	počet tramvajových vozů, který projede za hodinu	[-]
$p$	akustický tlak	[Pa]
$p_0$	referenční akustický tlak	[Pa]
$t$	teplota vzduchu	[°C]
$t_i$	míra časového výskytu hladiny hluku $L_i$ měřeného časového úseku	[s]
$v$	akustická rychlost	[m/s]
$v_{tram}$	rychlost tramvajových vlaků	[km·h <sup>-1</sup> ]
$Y$	vypočtená ekvivalentní hladina akustického tlaku	[dB]
$\lambda$	vlnová délka	[m]



## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Křivky hladin stejné hlasitosti.....	1
Příloha 2: Korekce pro stanovení hygienických limitů hluku v chráněném vnitřním prostoru.	2
Příloha 3: Korekce pro stanovení hygienických limitů hluku ve venkovním prostoru .....	3
Příloha 4: Strategická hluková mapa aglomerace Praha 2010.....	4
Příloha 5: Technické parametry tramvajových vozů používaných v Praze.....	5
Příloha 6: Vzor sčítacího formuláře .....	6
Příloha 7: Intenzita dopravy během měření místo A - směr Smíchov.....	7
Příloha 8: Intenzita dopravy během měření místo A - směr Řepy .....	8
Příloha 9: Intenzita dopravy během měření místo B - směr Smíchov.....	9
Příloha 10: Intenzita dopravy během měření místo B - směr Řepy .....	10
Příloha 11: Meteorologické situace v době měření .....	11
Příloha 12: Zpracovaná data synergie dopravy pro tramvaj ŠKODA 15T .....	12
Příloha 13: Synergie dopravy – Škoda 15T .....	13
Příloha 14: Grafy synergie dopravy .....	14

# Příloha 1: Křivky hladin stejné hlasitosti



Zdroj: [2]

**Příloha 2: Korekce pro stanovení hygienických limitů hluku v chráněném vnitřním prostoru**

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

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

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

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

Zdroj: [20]

### Příloha 3: Korekce pro stanovení hygienických limitů hluku ve venkovním prostoru

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

Korekce uvedené v tabulce se nesčítají.

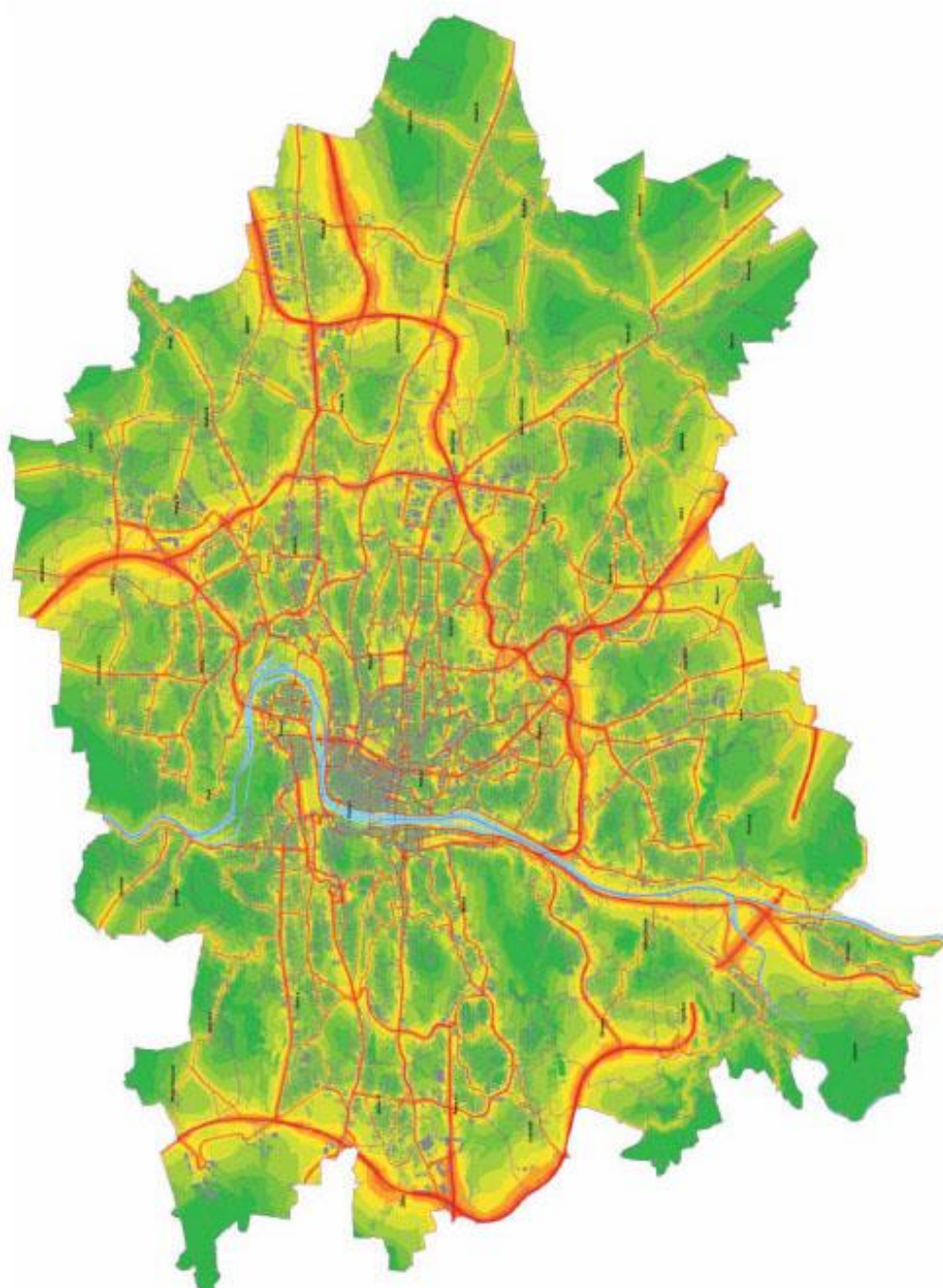
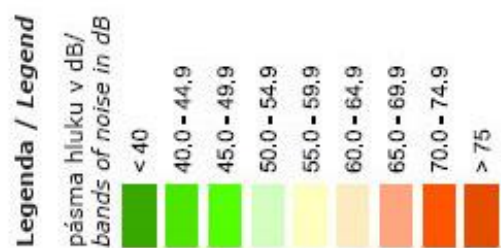
Pro noční dobu se pro chráněný venkovní prostor staveb přičítá další korekce -10 dB, s výjimkou hluku z dopravy na železničních dráhách, kde se použije korekce -5 dB.

Pravidla použití korekce uvedené v tabulce:

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

Zdroj: [20]

## Příloha 4: Strategická hluková mapa aglomerace Praha 2010



Zdroj: [http://portalzp.praha.eu/jnp/cz/hluk/hluk\\_z\\_pozemni\\_dopravy](http://portalzp.praha.eu/jnp/cz/hluk/hluk_z_pozemni_dopravy)

## Příloha 5: Technické parametry tramvajových vozů používaných v Praze

### Vozy značky Tatra

Parametry	Jednotky	Typ vozu		
		Tatra T3	Tatra T6A5	Tatra KT8D5
Výrobce:	[-]	ČKD Praha	ČKD Praha	ČKD Praha
Délka vozu:	[m]	14,5	14,7	30,3
Šířka vozu:	[m]	2,5	2,5	2,48
Kapacita:	[osob]	100	31 + 84	54 +117
Počet motorů / výkon:	[-] / [kW]	4 / 40	8 / 45	8 / 45
Max. rychlost:	[km / h]	65	65	65
Počet vozů v Praze:	[-]	538	145	46 (částečně nízkopodlažní)
Jezdí od roku:	[rok]	1960	1995	1986

Zdroj: [http://www.praha.eu/jnp/cz/home/doprava\\_v\\_praze/mhd/prazske\\_tramvaje.html](http://www.praha.eu/jnp/cz/home/doprava_v_praze/mhd/prazske_tramvaje.html)  
[http://www.citybus.cz/praha/aktevid\\_dp-ed/index.htm](http://www.citybus.cz/praha/aktevid_dp-ed/index.htm)

### Vozy značky Škoda

Parametry	Jednotky	Typ vozu	
		Škoda 14T	Škoda 15T
Výrobce:	[-]	Škoda Transportation s. r. o.	Škoda Transportation s. r. o.
Délka vozu:	[m]	30,2	31,4
Šířka vozu:	[m]	2,46	2,46
Kapacita:	[osob]	69 +210	210 / 300 (pohodlná / max.) 61 míst k sezení
Počet motorů / výkon:	[-] / [kW]	6 / 90	16 / 45
Max. rychlost:	[km / h]	60	60 (elektronicky omezená)
Konstrukční rychlost:	[km / h]	-	80 – 100
Počet vozů v Praze:	[-]	57 (částečně nízkopodlažní)	123 (plně nízkopodlažní)
Jezdí od roku:	[rok]	2006	2010

Zdroj: [http://www.praha.eu/jnp/cz/home/doprava\\_v\\_praze/mhd/prazske\\_tramvaje.html](http://www.praha.eu/jnp/cz/home/doprava_v_praze/mhd/prazske_tramvaje.html)  
[http://www.citybus.cz/praha/aktevid\\_dp-ed/index.htm](http://www.citybus.cz/praha/aktevid_dp-ed/index.htm)

**Příloha 6: Vzor sčítacího formuláře**

Sčítač: \_\_\_\_\_ (Jméno, Příjmení, Podpis)

Místo měření:		GPS:			
Začátek:		Datum:		Den:	
čas [min]	osobní vozidla		těžká vozidla		tram
0 - 15					
15 - 30					
30 - 45					
45 - 60					
60 - 75					
75 - 90					
90 - 105					
105 - 120					
čas [min]	poznámka	čas [min]	poznámka	čas [min]	poznámka

**Příloha 7: Intenzita dopravy během měření místo A - směr Smíchov**

Sčítač: Jiří Blažek		(Jméno, Příjmení)			
Místo měření: Plzeňská, Praha 5 - směr Smíchov		GPS: 50°4'0.207"N, 14°19'43.423"E			
Začátek: 9:00	Datum: 3. 3. 2014	Den: pondělí			
čas [min]	osobní vozidla	těžká vozidla	tram		
0 - 15	<del>40</del> 40				
	<del>64</del> 64				
	<del>48</del> 48				
15 - 30	<del>52</del> 52				
	<del>55</del> 55				
	<del>46</del> 46				
30 - 45	<del>68</del> 68				
	<del>55</del> 55				
	<del>43</del> 43				
45 - 60	<del>55</del> 55				
	<del>56</del> 56				
	<del>53</del> 53				
60 - 75	<del>59</del> 59				
	<del>57</del> 57				
	<del>65</del> 65				
75 - 90	<del>43</del> 43				
	<del>62</del> 62				
	<del>54</del> 54				
90 - 105	<del>83</del> 83				
	<del>48</del> 48				
	<del>51</del> 51				
105 - 120	<del>42</del> 42				
	<del>53</del> 53				
	<del>56</del> 56				
čas [min]	poznámka	čas [min]	poznámka	čas [min]	poznámka
17	VÁBKA	106	SANITKA		
21	SPORTÁK				
57	VÁBKA - KONEC				
63	Autobus - klakson				



**Příloha 8: Intenzita dopravy během měření místo A - směr Řepy**

Sčítač: Kateřina Škarydová

(Jméno, Příjmení)

Místo měření: Plzeňská, Praha 5 - směr Řepy		GPS: 50°4'0.207"N, 14°19'43.423"E			
Začátek: 9:00		Datum: 3. 3. 2014		Den: pondělí	
čas [min]	osobní vozidla	těžká vozidla	tram		
0 - 15	31	4			
	6 10 10 5 35				
	27	7			
	6 6 6 30				
	17	1			
15 - 30	10 10 5 7 32				
	27	4			
	13 10 23				
	57	3			
	10 6 16				
30 - 45	22	7			
	6 4 5 7 7 29				
	11	4			
	<del>     </del> 5 5 10 5 6 35				
	36	3			
45 - 60	5 10 15				
	30	1			
	7 7 14				
	22	6			
	6 6 10 10 40				
60 - 75	20	3			
	6 6 10 10 40				
	25	2			
	30	2			
	6 8 5 10 8 11 30				
75 - 90	63	3			
	63	3			
	2 6 5 10 20 8 63				
	68	2			
	7 8 10 10 10				
90 - 105	42	3			
	63	2			
	10 6 15 10 14 64				
	42	3			
	10 14 5 10				
105 - 120	54				
	54	3			
	4 12 6 20 15 55				
	69	4			
	5 15 10 10 5 10 69				
	75	4			
	5 10 20 6 4 25 75				
	78	4			
	5 30 20 20 78				
	62	5			
7 6 45					
čas [min]	poznámka	čas [min]	poznámka	čas [min]	poznámka
1	hořčí				
73	ZZS				

Příloha 9: Intenzita dopravy během měření místo B - směr Smíchov

Sčítač: Jiří Blažek

(Jméno, Příjmení, Podpis)

Místo měření: Plzeňská, Praha 5 - směr Smíchov		GPS: 50°4'4.377"N, 14°20'38.875"E			
Začátek: 9:00		Datum: 11. 6. 2014		Den: středa	
čas [min]	osobní vozidla	těžká vozidla	tram		
0 - 15	<del>56</del> 56	1	1	1	
	<del>63</del> 63	1	6	11	
	<del>72</del> 72	1	8	1	
15 - 30	<del>64</del> 64			11	
	<del>67</del> 67	1111	4	1	
	<del>70</del> 70	1	5	11	
30 - 45	<del>57</del> 57	1111	4	1	
	<del>52</del> 52	1111	4	11	
	<del>33</del> 33	1	6	1	
45 - 60	<del>53</del> 53	111	2	11	
	<del>65</del> 65	111	3	11	
	<del>49</del> 49	111	3	11	
60 - 75	<del>51</del> 51	1111	4		
	<del>52</del> 52	1	5	11	
	<del>48</del> 48	1	5	11	
75 - 90	<del>67</del> 67	111	3	11	
	<del>65</del> 65	1	5	1	
	<del>57</del> 57	111	3	11	
90 - 105	<del>64</del> 64	1	1	1	
	<del>60</del> 60	1	5	11	
	<del>59</del> 59	1	1	1	
105 - 120	<del>51</del> 51	1	7	11	
	<del>58</del> 58	1111	3	1	
	<del>66</del> 66	1	6	1	
čas [min]	poznámka	čas [min]	poznámka	čas [min]	poznámka
9:18	moforka				

Příloha 10: Intenzita dopravy během měření místo B - směr Řepy

Sčítač: Jan Přeborovský

(Jméno, Příjmení, Podpis)

Místo měření: Plzeňská, Praha 5 - směr Řepy		GPS: 50°4'4.377"N, 14°20'38.875"E			
Začátek: 9:00		Datum: 11. 6. 2014		Den: středa	
čas [min]	osobní vozidla	těžká vozidla	tram	čas [min]	poznámka
0 - 15	##### (65)	###	//		
	##### (50)	###	//		
	##### (69)	###	//		
15 - 30	##### (90)	###	//		
	##### (80)	###	//		
	##### (90)	###	//		
30 - 45	##### (82)	###	//		
	##### (82)	###	//		
	##### (71)	###	//		
45 - 60	##### (96)	###	//		
	##### (69)	###	//		
	##### (65)	###	//		
60 - 75	##### (90)	###	//		
	##### (76)	###	//		
	##### (82)	###	//		
75 - 90	##### (66)	###	//		
	##### (83)	###	//		
	##### (55)	###	//		
90 - 105	##### (91)	###	//		
	##### (66)	###	//		
	##### (83)	###	//		
105 - 120	##### (76)	###	//		
	##### (69)	###	//		
	##### (65)	###	//		
čas [min]	poznámka	čas [min]	poznámka	čas [min]	poznámka
31:38	sanitka				
1:08:27	- 1 -				
1:46:20	- 11 -				

## Příloha 11: Meteorologické situace v době měření

### - v místě A

čas	teplota vzduchu [°C]	vlhkost vzduchu [%]	rychlost větru [m/s]
9:00	0,4	94,5	0,4
9:15	0,8	93,2	0,5
9:30	1,8	91,4	0,5
9:45	3,1	86,4	0,5
10:00	3,8	81,6	0,8
10:15	3,9	76,7	1,3
10:30	4,2	73,4	1,5
10:45	4,7	71,0	1,5
11:00	5,4	69,2	1,5

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

### - v místě B

čas	teplota vzduchu [°C]	vlhkost vzduchu [%]	rychlost větru [m/s]
9:00	26,4	59,5	1,5
9:15	27,0	59,3	1,4
9:30	27,5	54,6	1,7
9:45	28,1	51,1	2,0
10:00	29,1	47,0	2,2
10:15	30,1	48,1	2,0
10:30	29,4	42,8	1,5
10:45	30,1	46,5	1,1
11:00	30,8	43,8	1,6

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

**Příloha 12: Zpracovaná data synergie dopravy pro tramvaj ŠKODA 15T**

tramvaj	15T + 0 IAD	15T + 1 IAD	15T + 2 IAD	15T + BUS
t <sub>tram</sub> [s]	0,95	1	1	0,95
v [km/h]	38	36	43	45
t <sub>IAD</sub> [s]	-	0,625	0,625	0,625
v [km/h]	-	58	58	58

t [s]	L <sub>p</sub> [dB]	L <sub>p</sub> [dB]	L <sub>p</sub> [dB]	L <sub>p</sub> [dB]
0,125	72	72,5	74,6	74,9
0,250	72,7	73,3	75,1	73,6
0,375	73,2	73,2	75,1	73,6
0,500	73	72,8	75,6	74,5
0,625	72,9	72,6	75,1	74,1
0,750	73,1	74,6	75,9	74,9
0,875	73,4	74,5	76,8	76,1
1,000	73,3	74,3	77,3	76,5
1,125	72,1	74,7	78	78
1,250	76,2	74,8	77,5	78
1,375	74,1	75,2	77,4	78,9
1,500	75,1	76,5	77,8	80,1
1,625	74,9	76,1	77,4	79,7
1,750	76,2	76	77,8	79,6
1,875	77,7	76,6	77,9	78,8
2,000	78,8	76,2	76,7	76,9
2,125	76,1	75,3	77,2	77,5
2,250	77,5	75,3	77	77,1
2,375	76,3	74,7	76,2	77,4
2,500	76,6	74,2	75,8	77,1
2,625	76,3	74,3	75,5	76,6
2,750	75,4	72,7	75,6	75,9
2,875	76,3	72,5	75,2	75,1
3,000	74,7	73,2	75,3	76,3
3,125	73	71,8	74,4	76,3
3,250		71,1	73,9	75,8
3,375		69,7	73,3	
3,500		69,1		
3,625				
3,750				
3,875				
4,000				
<b>L<sub>Aeq</sub> [dB]</b>	<b>75,6</b>	<b>73,5</b>	<b>75,8</b>	<b>76,7</b>

Zdroj: vlastní tvorba

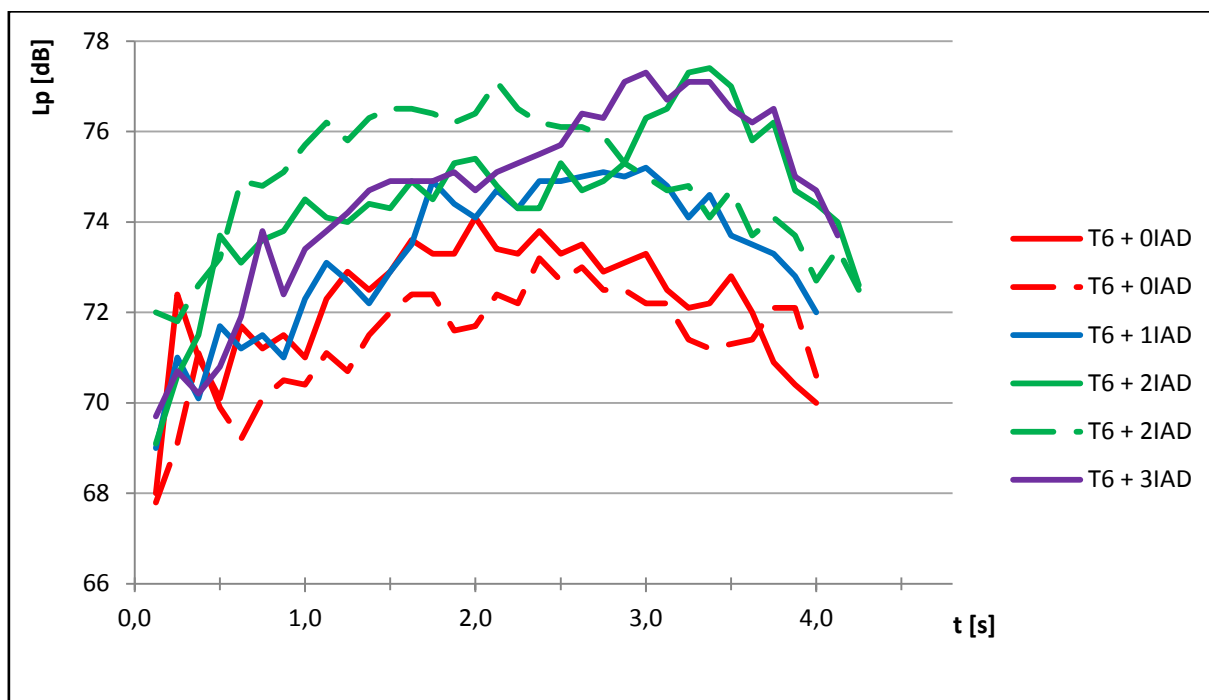
### Příloha 13: Synergie dopravy – Škoda 15T



Zdroj: vlastní tvorba

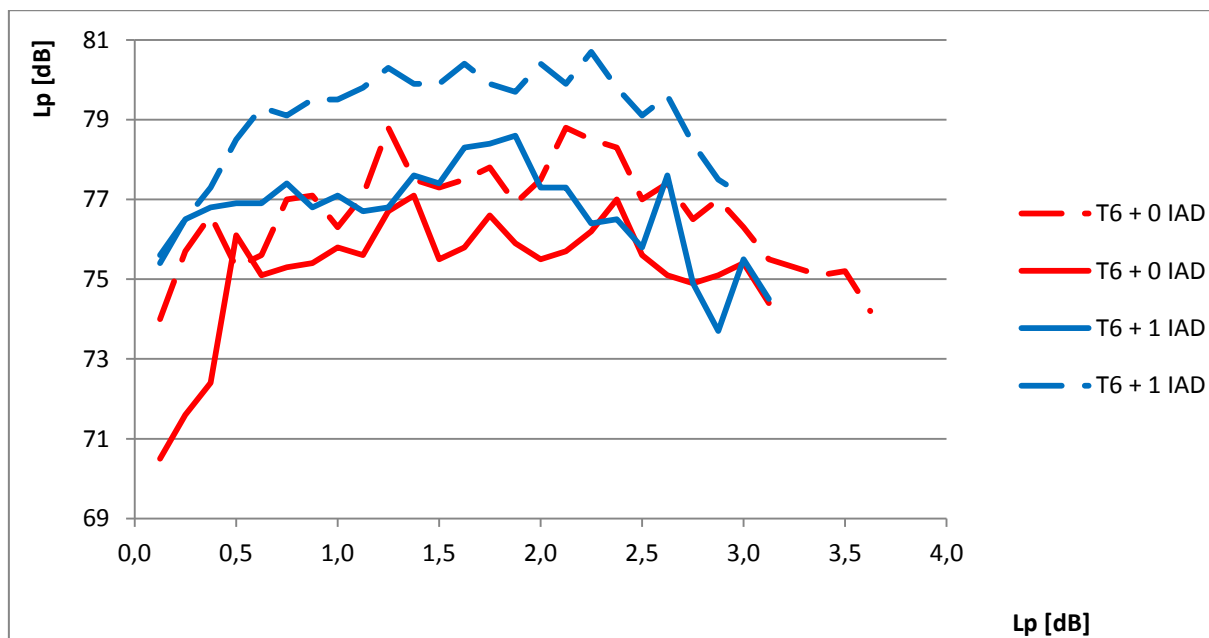
## Příloha 14: Grafy synergie dopravy

Graf: 2 Časový záznam synergie dopravy pro Tatra T6 v místě B



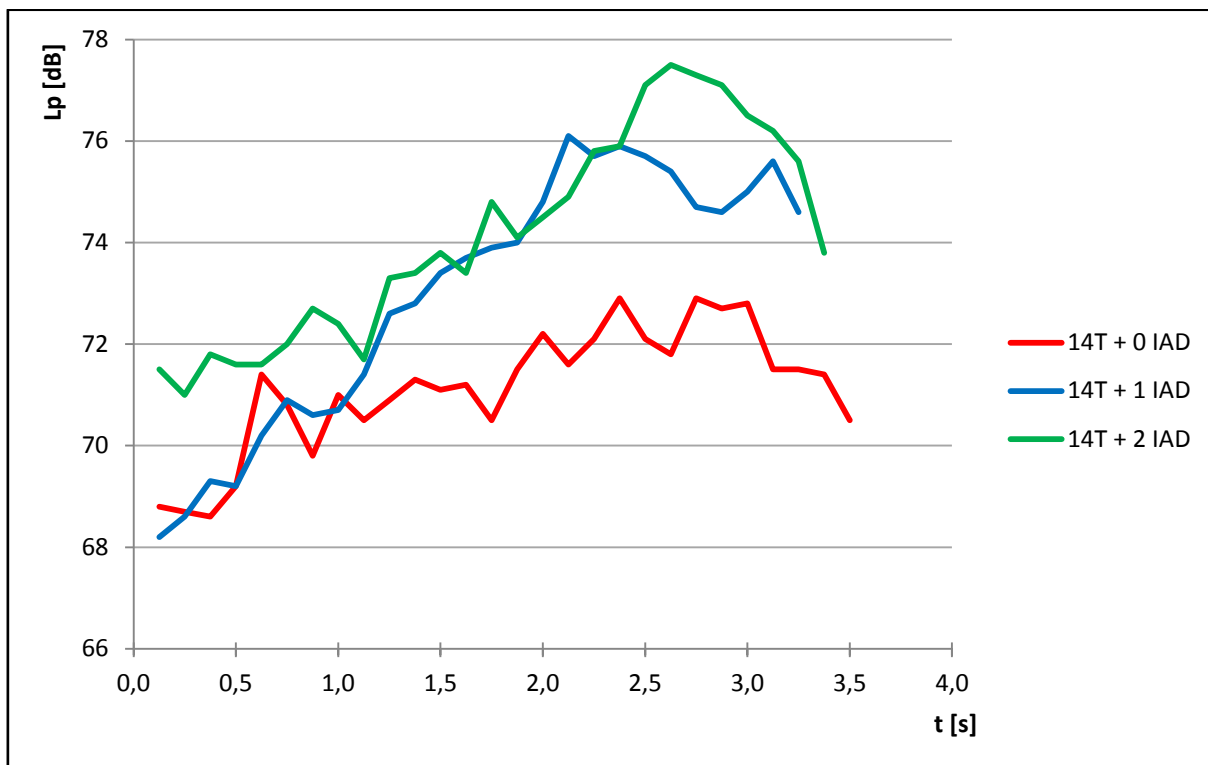
Zdroj: vlastní tvorba

Graf: 3 Časový záznam synergie dopravy pro Tatra T6 v místě A



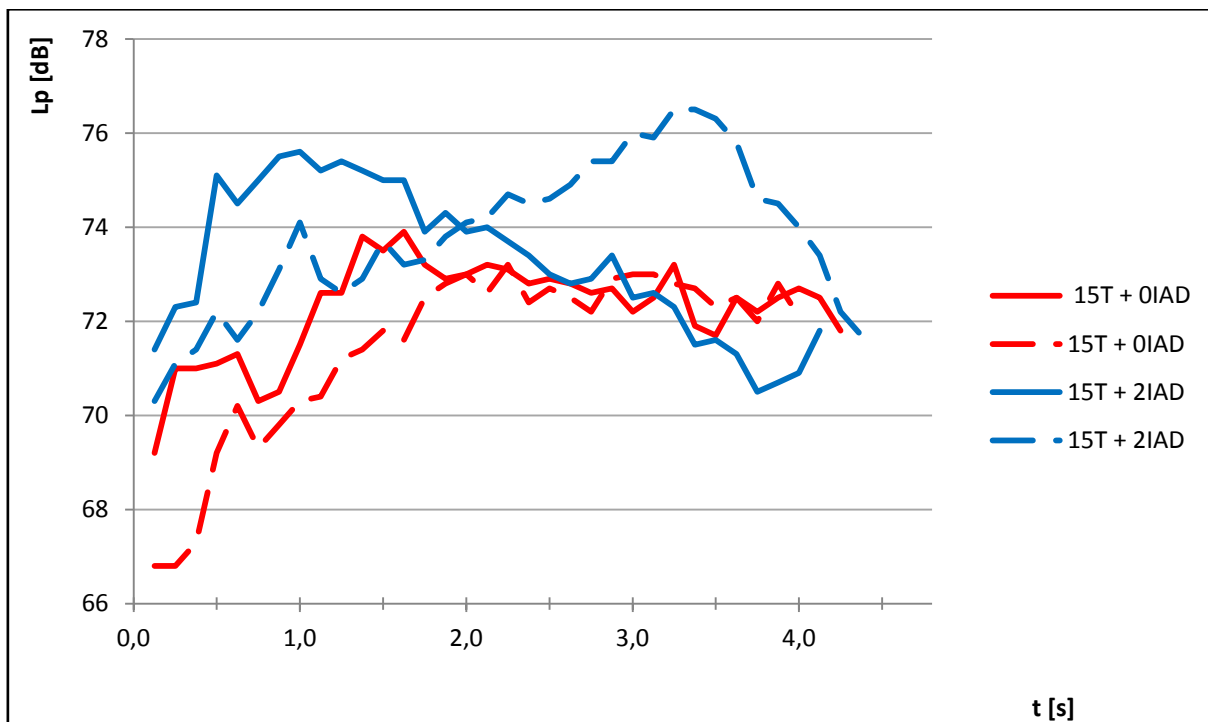
Zdroj: vlastní tvorba

Graf: 4 Časový záznam synergie dopravy pro ŠKODU 14T v místě A



Zdroj: vlastní tvorba

Graf: 5 Časový záznam synergie dopravy pro ŠKODU 15T v místě B



Zdroj: vlastní tvorba