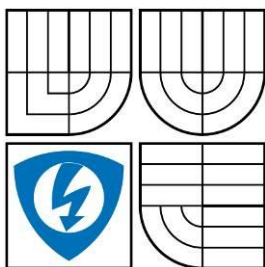


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNologiÍ  
ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ



FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

## HLUKOVÁ MAPA V GIS

NOISE MAP IN GIS

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

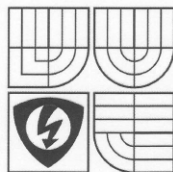
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. OLDŘICH KERŠNER

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ ROZMAN, CSc.

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav biomedicínského inženýrství

## Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
Biomedicínské a ekologické inženýrství

**Student:** Keršner Oldřich, Bc.

**Ročník:** 2

**ID:** 83646

**Akademický rok:** 2008/09

**NÁZEV TÉMATU:**

### Hluková mapa v GIS

#### POKyny PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s možnostmi 3D analýzy dat v geografickém informačním systému ArcView.

Pro naměřené hodnoty hluku ve vybrané lokalitě připravte podklady pro vykreslení hlukové mapy a následné analýzy respektující hygienickou normu. Ke geografickému zaměření měřené lokality využijte stanice GPS.

Práce musí obsahovat: Popis struktury 3D programového vybavení, hlukovou mapu zvolené lokality, komentář dosažených výsledků.

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Kolektiv: Pracujeme s geografickým informačním systémem ArcView GIS. Computer Press, Praha 1999

[2] Smetana C. a kol.: Hluk a vibrace. Sdělovací technika, Praha 1998

**Termín zadání:** 30.10.2008

**Termín odevzdání:** 29.5.2009

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Jiří Rozman, CSc.

**Konzultanti diplomové práce:**

  
prof. Ing. Jiří Jan, CSc.  
předseda oborové rady



#### UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

# LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

## 1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Oldřich Keršner

Bytem: Fügnerova 350, 679 02 Rájec – Jestřebí

Narozen/a (datum a místo): 20. června 1985 v Boskovicích

(dále jen „autor“)

a

## 2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

se sídlem Údolní 244/53, 602 00, Brno

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

prof. Ing. Jiří Jan, CSc., předseda rady oboru Biomedicínské a ekologické inženýrství

(dále jen „nabyvatel“)

## Čl. 1

### Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
- ☒ diplomová práce
- ☐ bakalářská práce
- ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

.....

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: HLUKOVÁ MAPA V GIS

Vedoucí/ školitel VŠKP: Doc. Ing. Jiří Rozman, CSc.

Ústav: Ústav biomedicínského inženýrství

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v\*:

☒ tištěné formě – počet exemplářů : 2

☒ elektronické formě – počet exemplářů : 2

---

\* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

## **Článek 2**

### **Udělení licenčního oprávnění**

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti  
☒ ihned po uzavření této smlouvy  
☐ 1 rok po uzavření této smlouvy  
☐ 3 roky po uzavření této smlouvy  
☐ 5 let po uzavření této smlouvy  
☐ 10 let po uzavření této smlouvy  
(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

## **Článek 3**

### **Závěrečná ustanovení**

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 29. května 2009

.....  
Nabyvatel

.....  
Autor

## Abstrakt

Cílem diplomové práce je vytvoření hlukové mapy a zpracování naměřených dat pomocí geografického informačního systému ArcView 9.2 a jeho nadstaveb. Pro účel zpracování diplomové práce byla poskytnuta studentská licence ArcView 9.2 s nadstavbami na jeden rok firmou ARCDATA PRAHA s.r.o.

Hlukové mapy jsou vytvořeny na základě měření v terénu v okolí budovy fakulty a Moravského náměstí v Brně. Geografické zaměření dané lokality a měřicích bodů je provedeno pomocí stanice GPS. Pro tvorbu hlukové mapy, zpracování a analýzu získaných dat byly využity nástroje nadstaveb ArcGIS Spatial Analyst a Geostatistical Analyst.

V rámci diplomové práce byly vytvořeny 3D modely zájmových území pomocí nadstavby ArcGIS 3D Analyst.

**Klíčová slova:** Hluková mapa, GIS, Spatial Analyst, Geostatistical Analyst, 3D Analyst.

## Abstract

The aim of this Master's Thesis is noise map creation and processing of measured data using ArcView 9.2 and its extensions. One - year Student Edition of ArcView 9.2 and its extensions have been provided by ARCDATA PRAHA, s.r.o.

Noise maps are created from measured data in the neighborhood of the faculty building and the Moravian Square in Brno. Measurement of geographic position of measuring points is realized by GPS. For creation of noise maps, analysis and processing of measured data ArcGIS extensions - Spatial Analyst and Geostatistical Analyst were used.

The last part of this Master's Thesis is specialized on creation of 3D landscape model using ArcGIS 3D Analyst extension.

**Keywords:** Noise map, GIS, Spatial Analyst, Geostatistical Analyst, 3D Analyst.

KERŠNER, O. *Hluková mapa v GIS*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 79 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Rozman, CSc.

# Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Hluková mapa v GIS jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 29. května 2009

.....  
podpis autora

# Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Doc. Ing. Jiřímu Rozmanovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

Děkuji Ing. Iloně Netolické, Ing. Janu Novotnému a společnosti ARCDATA PRAHA, s.r.o. za zapůjčení studentské verze software ArcView 9.2 s nadstavbami, který byl použit pro zpracování diplomové práce.

V Brně dne 29. května 2009

.....  
podpis autora

# Obsah

|          |                                                     |           |
|----------|-----------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>ÚVOD .....</b>                                   | <b>10</b> |
| <b>2</b> | <b>TEORETICKÝ POPIS ZVUKU A HLUKU.....</b>          | <b>11</b> |
| 2.1      | ZÁKLADNÍ POJMY .....                                | 11        |
| 2.2      | ZVUK A JEHO ŠÍŘENÍ .....                            | 11        |
| 2.3      | ZÁKLADNÍ VELIČINY PRO POPIS ZVUKU .....             | 13        |
| 2.4      | FYZIOLOGICKÁ AKUSTIKA .....                         | 15        |
| 2.5      | PROSTOROVÁ AKUSTIKA.....                            | 18        |
| 2.6      | ATMOSFÉRICKÁ AKUSTIKA .....                         | 21        |
| 2.7      | HLUK.....                                           | 21        |
| 2.7.1    | <i>Střední hodnoty a statistické výstupy.....</i>   | <i>22</i> |
| 2.7.2    | <i>Fyziologické účinky hluku.....</i>               | <i>23</i> |
| <b>3</b> | <b>MĚŘENÍ DOPRAVNÍHO HLUKU .....</b>                | <b>24</b> |
| 3.1      | MĚŘICÍ TECHNIKA .....                               | 24        |
| 3.1.1    | <i>Mikrofon .....</i>                               | <i>24</i> |
| 3.1.2    | <i>Zvukoměr .....</i>                               | <i>25</i> |
| 3.2      | OBEČNÉ POŽADAVKY NA PROTOKOL O MĚŘENÍ .....         | 26        |
| 3.3      | METODIKA MĚŘENÍ .....                               | 27        |
| 3.3.1    | <i>Volba měřicích míst.....</i>                     | <i>27</i> |
| 3.3.2    | <i>Počet měřicích míst .....</i>                    | <i>28</i> |
| 3.3.3    | <i>Umístění a směřování měřicího mikrofonu.....</i> | <i>28</i> |
| 3.3.4    | <i>Doba měření.....</i>                             | <i>28</i> |
| 3.3.5    | <i>Základní akustické deskriptory .....</i>         | <i>29</i> |
| 3.4      | HYGIENICKÉ LIMITY .....                             | 30        |
| 3.5      | HLUKOVÁ MAPA.....                                   | 31        |
| 3.6      | STRATEGICKÉ HLUKOVÉ MAPY A AKČNÍ PLÁNY.....         | 33        |
| <b>4</b> | <b>GEOGRAFICKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM ARCGIS.....</b>    | <b>35</b> |
| 4.1      | ARCHITEKTURA ARCGIS.....                            | 35        |
| 4.2      | ARCVIEW.....                                        | 36        |
| 4.3      | NADSTAVBA ARCGIS SPATIAL ANALYST .....              | 36        |
| 4.4      | NADSTAVBA ARCGIS GEOSTATISTICAL ANALYST.....        | 37        |
| 4.5      | NADSTAVBA ARCGIS 3D ANALYST .....                   | 37        |
| 4.5.1    | <i>Aplikace ArcScene.....</i>                       | <i>38</i> |
| 4.5.2    | <i>Aplikace ArcGlobe .....</i>                      | <i>39</i> |
| 4.6      | INTERPOLACE MĚŘENÍ .....                            | 40        |
| <b>5</b> | <b>MĚŘENÍ V TERÉNU .....</b>                        | <b>45</b> |
| 5.1      | MĚŘENÍ GEOGRAFICKÉ POLOHY .....                     | 45        |
| 5.2      | MĚŘENÍ HLUKU .....                                  | 46        |
| 5.3      | METEOROLOGICKÁ DATA .....                           | 49        |
| 5.4      | VYTVOŘENÍ MAPY ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ.....                 | 49        |
| 5.4.1    | <i>Georeferencování .....</i>                       | <i>50</i> |
| 5.4.2    | <i>Vektorizace mapy .....</i>                       | <i>51</i> |
| <b>6</b> | <b>ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT .....</b>              | <b>53</b> |
| 6.1      | HLUKOVÁ MAPA OKOLÍ BUDOVY FEKT KOLEJNÍ 4 .....      | 53        |
| 6.1.1    | <i>Meteorologické podmínky při měření.....</i>      | <i>54</i> |
| 6.1.2    | <i>Zpracování a interpretace .....</i>              | <i>54</i> |
| 6.2      | HLUKOVÁ MAPA OKOLÍ ULICE HRADECKÉ .....             | 55        |
| 6.2.1    | <i>Dopravní situace .....</i>                       | <i>55</i> |
| 6.2.2    | <i>Meteorologické podmínky při měření.....</i>      | <i>57</i> |
| 6.2.3    | <i>Zpracování .....</i>                             | <i>57</i> |
| 6.2.4    | <i>Analýza hlukové mapy .....</i>                   | <i>60</i> |

|       |                                                   |    |
|-------|---------------------------------------------------|----|
| 6.3   | MĚŘENÍ HLUKU NA BALKÓNECH BUDOVY FEKT VUT .....   | 62 |
| 6.3.1 | <i>Meteorologické podmínky při měření</i> .....   | 62 |
| 6.3.2 | <i>Zpracování a interpretace</i> .....            | 62 |
| 6.4   | HLUKOVÁ MAPA MORAVSKÉHO NÁMĚSTÍ .....             | 64 |
| 6.4.1 | <i>Dopravní situace</i> .....                     | 64 |
| 6.4.2 | <i>Meteorologické podmínky při měření</i> .....   | 66 |
| 6.4.3 | <i>Zpracování</i> .....                           | 66 |
| 6.4.4 | <i>Analýza hlukové mapy</i> .....                 | 68 |
| 6.5   | HLUKOVÁ MAPA V 3D .....                           | 70 |
| 6.6   | POROVNÁNÍ SE STRATEGICKÝMI HLUKOVÝMI MAPAMI ..... | 73 |
| 7     | <b>ZÁVĚR</b> .....                                | 75 |
|       | <b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....            | 76 |
|       | <b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ</b> .....   | 79 |

# 1 Úvod

Ochrana životního prostředí je jednou z priorit moderní společnosti 21. století, které by měla být věnována velká pozornost spolu s vývojem a využíváním technologií šetrných k životnímu prostředí. Mluvíme-li o znečištění a ochraně životního prostředí, každý z nás si představí znečištění ovzduší, vod, rostoucí skládky odpadů apod. Tyto faktory jsou v současné době velmi často diskutovány, ale mnohdy se zapomíná, že jedním z fyzikálních aspektů životního prostředí je také hluk, který je pouze zdánlivě menším ohrožením než ostatní druhy znečištění. Působení nadměrného hluku má prokazatelný negativní vliv na lidský organismus. Dochází zejména ke zmenšení citlivosti sluchu, hluchotě a v neposlední řadě také k onemocněním psychického charakteru, která ovšem nemusí být s hlukem přímo spojována.

V současné době je hluk v životním prostředí problémem, neboť s rozvojem techniky a modernizací našeho života roste také hlučnost. Příkladem může být neustále se zvyšující poměr počtu automobilů na počet obyvatel, což je spojeno se stále se zvyšující hustotou dopravy na pozemních komunikacích. Tento trend je zaznamenán zejména ve větších městech a v okolí hlavních dopravních tahů. V mnoha případech pak hluk překračuje nejvyšší povolené hygienické limity a to nejen ve dne, ale i v noci. Ochrana veřejného zdraví je předmětem zákona č. 258/2000 Sb., kde je stanoveno, že odpovědnost za hluk nese majitel, popřípadě správce pozemní komunikace, který je povinen technickými, organizačními či jiným opatřeními zajistit, aby hluk nepřekračoval hygienické limity, které jsou stanoveny nařízením vlády č. 148/2006 Sb. Dodržování hygienických limitů hluku by měla být věnována dostatečná pozornost i při plánování nové výstavby, kde by mělo být zaručeno, že po zprovoznění nové pozemní komunikace nedojde k překročení těchto limitů nebo ke zhoršení stávající situace. Stejně tak jako v jiných oblastech platí, že náklady na primární opatření proti hluku učiněná již ve fázi plánování stavby, jsou nižší, než dodatečná řešení a protihlukové ochrany, prováděná až po její realizaci.

K posouzení, zda jsou v konkrétní situaci překročeny hygienické limity hluku lze provést měření podle předepsané metodiky v okolí sledované pozemní komunikace. Mimo jiné se vyhodnocuje i počet obyvatel, který je vystaven nadlimitnímu hluku. Výstupem takového měření může být hluková mapa, která informuje o rozložení ekvivalentní hladiny akustického tlaku na daném území.

V rámci diplomové práce byla provedena měření hluku z pozemních komunikací s použitím zvukoměrů AL1 nebo ML1 od firmy NTI. Měřenou veličinou je ekvivalentní hladina akustického tlaku. Pro měření byly vybrány lokality v Brně – okolí ulice Hradecké v Králově poli a Moravské náměstí. Zaměření geografické polohy měřicích bodů v terénu je provedeno pomocí GPS přijímače. Aby bylo možné zpracování naměřených dat pomocí geografického informačního systému, je zapotřebí vytvořit mapy zájmových území ve vektorovém formátu. S využitím nadstavby 3D Analyst je pak možné vytvořit i 3D model zájmového území, který nám poskytuje daleko více informací o celé situaci. Výsledky měření jsou zpracovány formou hlukových map, které jsou vytvořeny s využitím nadstaveb Spatial Analyst a Geostatistical Analyst. Pro účel zpracování diplomové práce byla firmou ARCDATA PRAHA, s.r.o. poskytnuta studentská licence geografického informačního systému ArcView 9.2 a jeho nadstavby na jeden rok.

## 2 Teoretický popis zvuku a hluku

### 2.1 Základní pojmy

Zvuk je součástí každodenního života člověka a je pro něj zejména prostředkem pro přenos informace – dorozumívání mezi lidmi, ale je také důležitý pro pohodu člověka například při poslechu hudby apod. V řadě případů může být zvuk prostředkem kvalitativního i kvantitativního hodnocení a stanovení diagnózy jak u technických zařízení tak u člověka, [1], [2], [16].

Zvukem obecně označujeme kmitočtové složky mechanického vlnění prostředí, jež jsou pro lidský sluch v pásmu slyšitelnosti. Mechanické vlnění prostředí lze dle frekvencí rozdělit, [2]:

- infrazvuk      do 16 Hz,
- zvuk            16 Hz ÷ 16 kHz,
- ultrazvuk      16 kHz ÷ 1 GHz,
- hyperzvuk     nad 1 GHz.

Každý nežádoucí zvuk, který vyvolává rušivý a nepříjemný vjem, nebo má škodlivý účinek, označujeme jako hluk. Míru nepříjemnosti nebo rušení nelze určit pouze fyzikálními parametry, ale také subjektivním pocitem daného posluchače.

Vlnění šířící se pevným prostředím považujeme za chvění. Vibrace jsou chvění na frekvencích vnímaných lidským organismem 0,2 Hz ÷ 16 kHz, [1], [2], [16].

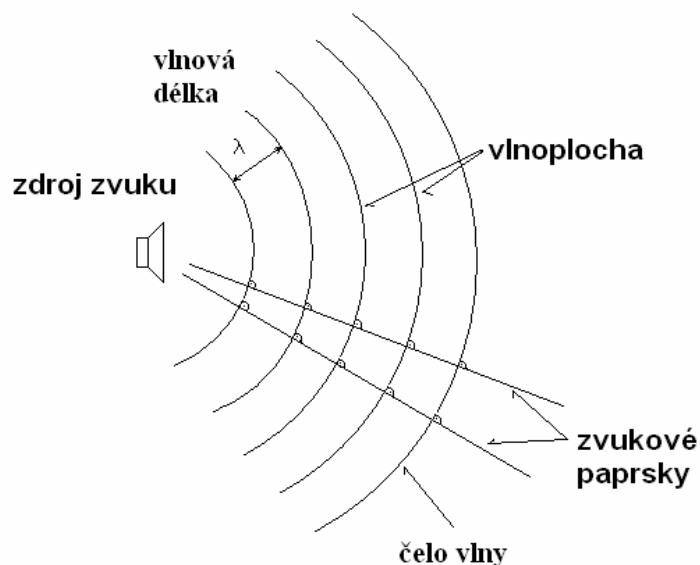
### 2.2 Zvuk a jeho šíření

Podstatou jakéhokoliv zvuku (hluku, vibrací,...) je mechanické vlnění pružného prostředí, které může být plynné, kapalné nebo pevné. Rozruch mechanického kmitání je předáván pružnými vazbami dalším sousedícím částicím a dochází tak k šíření rozruchu neboli vlnění. Místa do kterých rozruch dorazí ve stejném okamžiku, lze spojit myšlenou plochou, tzv. vlnoplochou, [1], [16].

Zvukový rozruch se šíří prostředím vlnami. Jednotlivé směry šíření vlnoploch nazýváme paprsky, které jsou kolmé na vlnoplochy (v prostředích, kde jsou vlastnosti prostředí směrově nezávislé). Paprsky se z bodového zdroje rozruchu šíří všemi směry. Vlnoplochy mají tedy kulový tvar se středem v místě zdroje rozruchu viz **Obrázek 2.1**, [1].

Nepůsobí-li žádná dynamická síla, pak se částice prostředí nacházejí v tzv. rovnovážné poloze. Vlivem šířícího se rozruchu jsou částice vychylovány a oscilují kolem rovnovážné polohy a předávají tak rozruch okolním částicím. Podle směru výchylky částic vzhledem ke směru šíření rozeznáváme vlnění podélné a příčné. U podélného vlnění kmitají částice podélně ke směru šíření a u příčného vlnění kmitají částice kolmo na směr šíření. Přitom se v jednotlivých částech homogenního pružného prostředí zvětšuje hustota částic a v jiných se naopak snižuje. U šíření zvuku atmosférickým prostředím dochází k superpozici proměnné složky akustického tlaku na stálý atmosférický tlak. Při podélném

ani příčném vlnění se nepřemísťují částice prostředím, ale kmitají pouze kolem rovnovážných poloh se stejnou amplitudou, ale s různou fází, [1], [16].



**Obrázek 2.1:** Šíření zvukové vlny

Pravidelným, periodickým vychýlením částice z klidové polohy je vyvoláno tzv. harmonické kmitání. Časový průběh výchylky jednotlivých částic odpovídá sinusové funkci. Pohyb částice lze kromě výchylky popsat pohybovou rychlostí  $v$  [m/s] nebo jejím zrychlením  $a$  [m/s<sup>2</sup>], [1]. Důležité je nezaměňovat rychlost kmitání s rychlostí šíření rozruchu prostředím  $c$  [m/s]. Jedná se o rychlost, kterou se např. zvuková vlna šíří vzduchovým prostředím. Je závislá na hustotě prostředí  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>], teplotě a dalších veličinách, **Tabulka 2.1** [1].

**Tabulka 2.1:** Rychlost šíření rozruchu prostředím [1]

| Prostředí               | $c$ [m/s] |
|-------------------------|-----------|
| Vzduch, 0°C, 1000 hPa   | 332       |
| Vzduch, 20°C, 1000 hPa  | 343       |
| Vzduch, 40°C, 1000 hPa  | 356       |
| Vzduch, -20°C, 1000 hPa | 319       |
| Ocel                    | ≈ 5200    |
| Hliník                  | ≈ 4900    |
| Sklo                    | ≈ 5300    |
| Mosaz                   | ≈ 3500    |
| Olovo                   | ≈ 1300    |
| voda 14°C               | 1450      |
| beton                   | ≈ 3000    |

Rychlost šíření je v homogenním prostředí nezávislá na směru šíření, v nehomogenním prostředí je směrově závislá. Mezi rychlostí šíření rozruchu, kmitočtem jednoduchého signálu a vlnovou délkou platí vztah, [1], [16]:

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

Často se užívá tzv. vlnové číslo, které je dáno vztahem, [1]:

$$k = \frac{2\pi}{l}. \quad [\text{m}^{-1}] \quad (2.2)$$

## 2.3 Základní veličiny pro popis zvuku

Subjektivní sluchový vjem a jeho vzrůst se řídí logaritmickým zákonem. Zdravý jedinec je schopen sluchem vnímat změny akustického tlaku v rozsahu od 20  $\mu\text{Pa}$  do 200 Pa, což představuje rozsah  $10^7$ , neboli sedm dekad. Pro měření není tedy praktické používat lineární stupnici. V praxi se proto využívá vyjádření vjemové veličiny v logaritmické stupnici vztažené k určité referenční hodnotě, [1]:

$$L_y = 10 \cdot \log\left(\frac{y}{y_0}\right)^2 = 20 \cdot \log\left(\frac{y}{y_0}\right). \quad [\text{dB}] \quad (2.3)$$

U energetických veličin, které jsou závislé na kvadrátu sledované veličiny pak platí, [1]:

$$L_{\text{energ}} = 10 \cdot \log\left(\frac{y_{\text{enreg}}}{y_0}\right). \quad [\text{dB}] \quad (2.4)$$

### Hladina akustického tlaku

Hladina akustického tlaku je definována pro referenční hodnotu  $p_0 = 20 \text{ mPa}$ :

$$L_p = 20 \cdot \log(p / p_0). \quad [\text{dB}] \quad (2.5)$$

### Akustický výkon

Z obecné definice výkonu vyplývá, že pro infinitezimálně malé časové úseky je okamžitý výkon dán součinem působící síly a rychlosti  $v$  [m/s].

$$W = F \cdot v = p \cdot v \cdot S. \quad [\text{W}] \quad (2.6)$$

Jelikož je akustický tlak definován jako síla působící na jednotkovou plochu, lze akustický výkon vyjádřit výše uvedeným způsobem, kde  $S$  [ $\text{m}^2$ ] je sledovaná plocha.

## Vlnová impedance prostředí

Vlnová impedance prostředí je definována jako poměr akustického tlaku a akustické rychlosti:

$$z = p / v . \quad [\text{N.s/m}^3] \quad (2.7)$$

Pro vzdálené akustické pole je rovna:

$$z = r \cdot c . \quad [\text{N.s/m}^3] \quad (2.8)$$

## Akustická intenzita

Jedná se o vektorovou veličinu, která je definována jako akustický výkon procházející jednotkovou plochou kolmou na směr šíření. Z této definice je patrný vztah mezi akustickou intenzitou a akustickým výkonem, který lze vyjádřit, [1]:

$$W = \int_S I \cdot dS . \quad [\text{W}] \quad (2.9)$$

Je-li ve vztahu (2.9) plochou  $S$  jednoduchá uzavřená plocha obepínající objem  $V$  lze psát, [1]:

$$W = \oint_S I \cdot dS . \quad [\text{W}] \quad (2.10)$$

Ze vztahu (2.10) je patrné, že akustický výkon vyzářený uvnitř plochy získáme integrací přes tuto plochu, přitom nezáleží na uspořádání a typu zdrojů uvnitř objemu plochou  $S$  obepnutého. Zdroje, které jsou umístěny vně plochy  $S$ , k výslednému výkonu nepřispívají.

Pro akustickou intenzitu, lze tedy odvodit vztah, [1]:

$$I = \frac{W}{S} = p \cdot v = \frac{p^2}{z} = z \cdot v^2 . \quad [\text{W/m}^2] \quad (2.11)$$

## Hladina akustické intenzity

Podobně jako hladina akustického tlaku je definována hladina akustické intenzity, která je určena pro referenční hodnotu  $I_0 = 10 \text{ pW/m}^2$ , což je přibližně nejnižší úroveň zvuku slyšitelná lidským uchem. Hladinu akustické intenzity lze určit, [1], [2], [16]:

$$L_I = 10 \cdot \log \left( \frac{I}{I_0} \right) \quad [\text{dB}] \quad (2.12)$$

## Doba dozvuku

Doba dozvuku je definována jako doba, za kterou poklesne hladina akustického tlaku o 60 dB, od okamžiku kdy je vypnut standardizovaný zdroj zvuku, který je pro toto

měření používán. Doba dozvuku je obvykle vyjadřována jako aritmetický průměr jednotlivých dob dozvuku změřených při frekvencích 500, 1000 a 2000 Hz, [2].

Je-li doba dozvuku větší, pak je větší také ozvěna v dané místnosti. Takovou místnost vnímáme jako hlučnější. Doba dozvuku je mimo jiné funkcí objemu dané místnosti a také charakteru povrchových materiálů. V místnosti, ve které je například nábytek, závěsy apod., je doba dozvuku kratší než v prázdné místnosti, kde můžeme navíc vnímat ozvěnu, [2].

### Sčítání signálů

Sčítání dvou a více signálů je závislé na tom, zda sčítáme signály koherentní nebo nekoherentní.

Sčítáme-li dva koherentní signály – signály se stejným kmitočtem, dostaneme opět jednoduchý signál, jehož amplituda závisí na amplitudách jednotlivých složek a na jejich vzájemné fázi. Při součtu můžeme dosáhnout zvýšení hladiny akustického tlaku o 6 dB v případě, že jsou oba signály ve fázi. Jsou-li sčítané signály v protifázi, pak se navzájem vyruší. Vyrušení signálů prakticky nastane pouze v tom místě prostoru, kde zcela souhlasí jak amplituda tak fáze obou signálů. Součet akustického tlaku dvou koherentních signálů je dán vztahem, [1]:

$$p = \sqrt{p_1^2 + p_2^2 + 2 \cdot p_1 \cdot p_2 \cdot \cos(j_1 - j_2)}. \quad [\text{Pa}] \quad (2.13)$$

Sečtením dvou signálů, které jsou kmitočtově velmi blízké, vznikají zázněje, jejichž amplituda může dosáhnout hodnot dle vztahu (2.13).

Jednodušší situace je u sčítání nekoherentních signálů (signály, jež nemají shodné kmitočtové složky), kde se používá energetické sčítání. V praxi se téměř vždy jedná o nekoherentní signály. Přestože se interferencemi vytváří podstatně složitější pole, tak většinou je tento způsob sčítání dostatečný. Celkovou akustickou intenzitu určíme podle, [1]:

$$I = \sum_{i=1}^n I_i. \quad [\text{W/m}^2] \quad (2.14)$$

## 2.4 Fyziologická akustika

Fyziologická akustika studuje a poskytuje závislosti mezi různými fyzikálními veličinami a průměrnými subjektivními vjemy a zabývá se také schopností slyšení za ztížených podmínek a snášení nepřiměřených zvukových zátěží.

Sluchový orgán reaguje na vnější zvukové podněty a transformuje je na sluchové akční potenciály, které jsou vedeny do sluchových center mozku, kde jsou porovnány signály z obou uší a dále jsou vedeny sluchovými drahami středním mozkem do spánkových laloků kůry. Tím je dosaženo sluchového vjemu v našem vědomí.

Sluchový vjem určitého jedince se může velmi lišit od sluchového vjemu jiného jedince. Proto se vliv zvukových signálů na subjektivní vjem zjišťuje statistickým zpracováním velkého reprezentativního vzorku osob, které mají různý věk, pohlaví apod.

Tímto způsobem je možné získat vztah mezi fyzikálními veličinami zvuku a průměrným subjektivním vjemem, [1], [2].

## Hlasitost

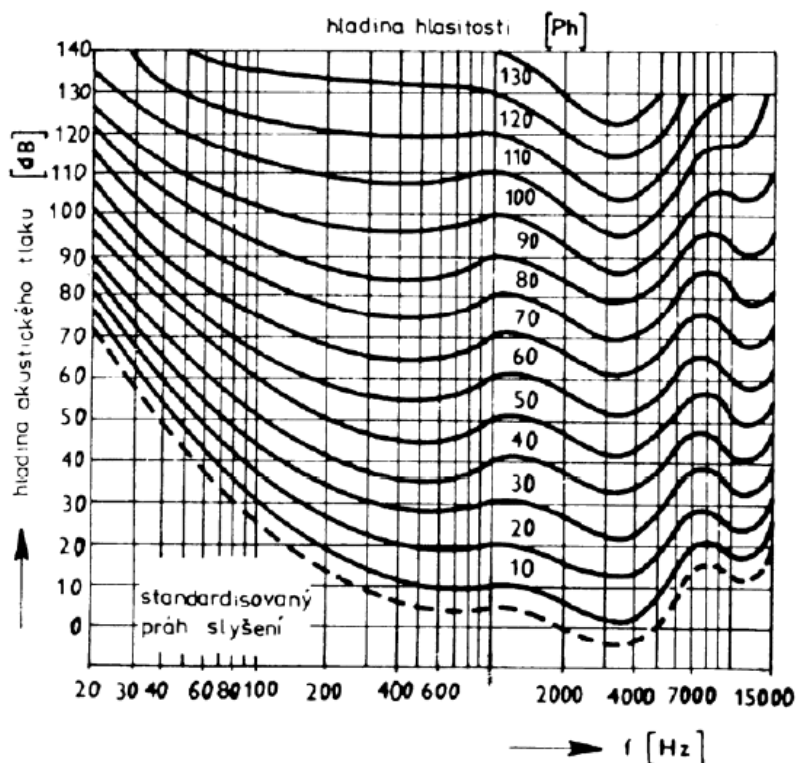
Hlasitost se používá k určení míry subjektivního vjemu a souvisí s intenzitou zvuku. Změna v intenzitě zvuku, kterou jsme schopni postřehnout závisí na počáteční intenzitě zvuku a jejím přírůstku. Diferenciální změna hlasitosti je úměrná relativní změně intenzity zvuku, [2]:

$$dH \approx \frac{dI}{I}. \quad (2.15)$$

Po integraci vztahu (1.12) dostaneme:

$$H = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0}. \quad [\text{dB}] \quad (2.16)$$

Smyslové vnímání člověka je úměrné logaritmu podnětu - Weberův-Fechnerův fyziologický zákon.



Obrázek 2.2: Fletcher - Munsonovy křivky, [2]

Platnost vztahu (2.16) je omezena jen na tóny o kmitočtu 1 kHz, neboť logaritmická závislost mezi hlasitostí a intenzitou zvuku je frekvenčně závislá. Pro tóny jiných kmitočtů byla hlasitost stanovena subjektivním srovnáním hlasitosti těchto tónů s referenčním tónem 1 kHz. Na základě těchto subjektivních srovnání byly vytvořeny

křivky stejné hlasitosti, které udávají velikost akustického tlaku, který způsobí na různých frekvencích stejný vjem hlasitosti jako referenční čistý tón o frekvenci 1 kHz. Křivky hladin stejné hlasitosti jsou označovány jako Fletcher – Munsonovy křivky, **Obrázek 2.2**, [2]. Jednotkou hladiny hlasitosti je fon - 1 Ph, který je frekvenčně nezávislý. Na referenčním kmitočtu 1 kHz odpovídá hladina hlasitosti číselně hladině akustického tlaku v dB, [2].

Jelikož hladina hlasitosti zcela přesně nevyjadřuje subjektivně vnímané změny hlasitosti, byla experimentálně stanovena ryze subjektivní stupnice hlasitosti, jejíž jednotkou je son. Vztah mezi hlasitostmi v jednotkách son a Ph je podle [2]:

$$H_s = 2^{(H_p - 40)/10}. \quad [\text{son}] \quad (2.17)$$

$$H_p = 33,2 \cdot \log H_s + 40. \quad [\text{Ph}] \quad (2.18)$$

V případě, že do sluchového orgánu přichází dva zvuky, může dojít k tzv. maskovacímu účinku, kdy vjem vyvolaný silnějším zvukovým podnětem může zeslabit, nebo zcela potlačit vjem slabšího zvukového podnětu, [2].

### Práh slyšitelnosti zvuku

Prahová křivka slyšitelnosti odpovídá přibližně nejslabším zvukům sluchovým orgánem ještě postřehnutelným. Na frekvenci 1 kHz je prahová hodnota asi 4,2 dB, ovšem liší se pro čisté tóny, řeč a jiné zvuky. Jak je patrné z **Obrázek 2.2**, tak práh slyšitelnosti je závislý na frekvenci. Normalizované křivky stejné hlasitosti platí pro průměrného zdravého jedince ve věku 18 – 25 let při poslechu oběma ušima ve volně se šířících zvukových vlnách, [1], [2].

V případě impulsových zvuků se sluchový orgán v určitém rozmezí chová jako akustický integrátor. Pro každé dvojnásobné prodloužení tónového impulsu až do délky impulsu 200 ms se práh jeho slyšitelnosti snižuje cca o 3 dB. Při sledování rychlosti změn podnětů, je nejkratší časová konstanta sluchu asi 2 ms, [2].

### Výška tónu

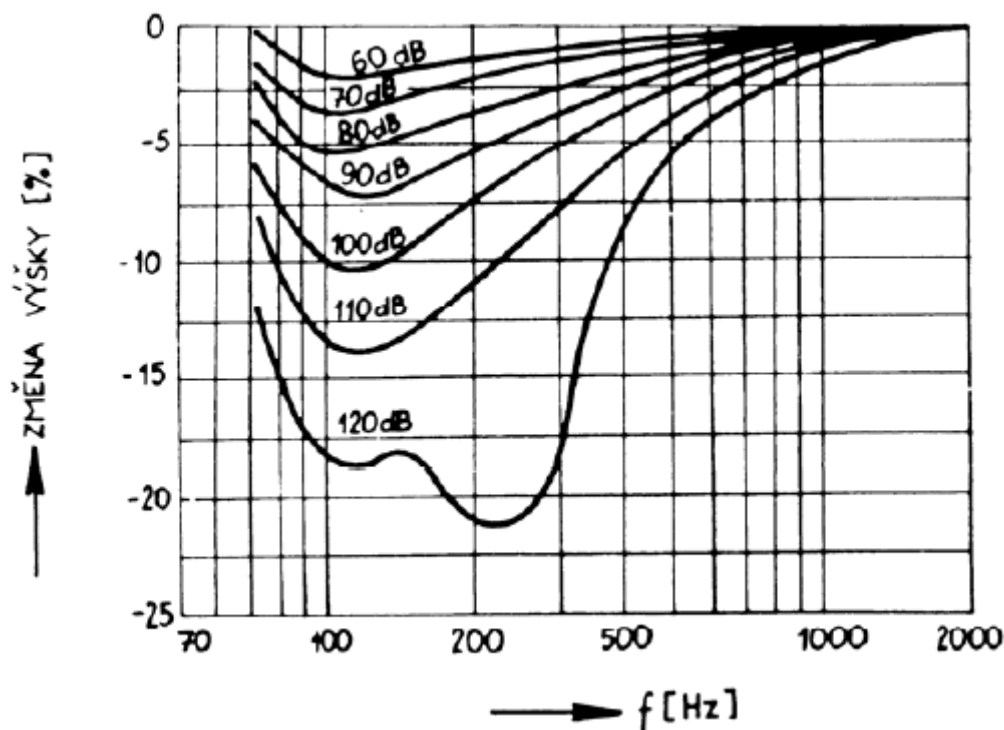
Výška tónu je jednou ze základních subjektivních charakteristik zvuku, která je odrazem frekvence periodického zvukového signálu ve vědomí člověka. Výška tónu je závislá na jak na intenzitě tak na frekvenci zvuku, [2].

### Subjektivní výška tónu

Subjektivní výška tónu závisí na kmitočtu tónu a také na jeho hlasitosti a je dána jako frekvence čistého tónu, který má při subjektivním posouzení stejnou výšku jako zkoumaný zvuk, **Obrázek 2.3**. S rostoucí hlasitostí nízkých tónů klesá jejich subjektivní výška. Pro tóny s frekvencí vyšší než 4 kHz se ze zvětšující se intenzitou subjektivní výška tónu nemění. Dopadne-li na sluchový orgán čistý tón, budeme vnímat kromě základního kmitočtu navíc i harmonické složky (tzv. aurální tóny) a tóny kombinační, [2].

Sluchové ústrojí člověka vykazuje výraznou směrovou charakteristiku, která je dána tvarem a umístěním boltce ucha. Směrová charakteristika sluchového ústrojí se uplatňuje při směrové lokalizaci zdroje zvuku stejně tak, jako rozdíl intenzit dopadající na

jedno i druhé ucho. Jedná se o tedy fázový rozdíl mezi dopadem zvuků, tzv. binaurální slyšení. Výrazně se při určování směru zvukového zdroje projevuje tzv. Haasův jev, neboli „precedenční princip“, kdy je vjemově preferován časově první přijatý signál, [1], [2].



Obrázek 2.3: Změna subjektivní výšky tónu s hlasitostí, [2]

## 2.5 Prostorová akustika

Podle typu zdroje zvuku, mohou ve volném prostoru vzniknout různá typická zvuková pole.

Nejjednodušším zdrojem zvuku je monopól neboli zářič nultého řádu. Akustická energie je z bodového zdroje vyzařována do všech směrů se stejnou amplitudou a fází. Vzniká tak zvukové pole kulových vln, přičemž akustická intenzita klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje a akustický tlak se vzdáleností klesá úměrně. Platí následující vztahy, [1] :

$$p_2 = p_1 \cdot (l_1 / l_2) . \quad [\text{Pa}] \quad (2.19)$$

$$I_2 = I_1 \cdot (l_1 / l_2)^2 . \quad [\text{W/m}^2] \quad (2.20)$$

Většina zdrojů zvuku se chová jako kulový zářič, v případě velké vzdálenosti od zdroje (vzhledem k jeho rozměrům) se tak chovají i celé soustavy zdrojů .

Ve velkých vzdálenostech od zdroje zvuku se šířící se kulová vlna změní ve vlnu rovinnou. Pole rovinných zvukových vln vznikne také před plošným zářičem, jehož rozměr je mnohem větší než vlnová délka vyzařované vlny. Protože se u postupující rovinné zvukové vlny nemění plocha jejich vlnoploch, nemění se ze vzdáleností od zdroje zvuku ani akustická intenzita a akustický tlak, [1]:

$$p_2 = p_1 \cdot \quad [\text{Pa}] \quad (2.21)$$

$$I_2 = I_1 \cdot \quad [\text{W/m}^2] \quad (2.22)$$

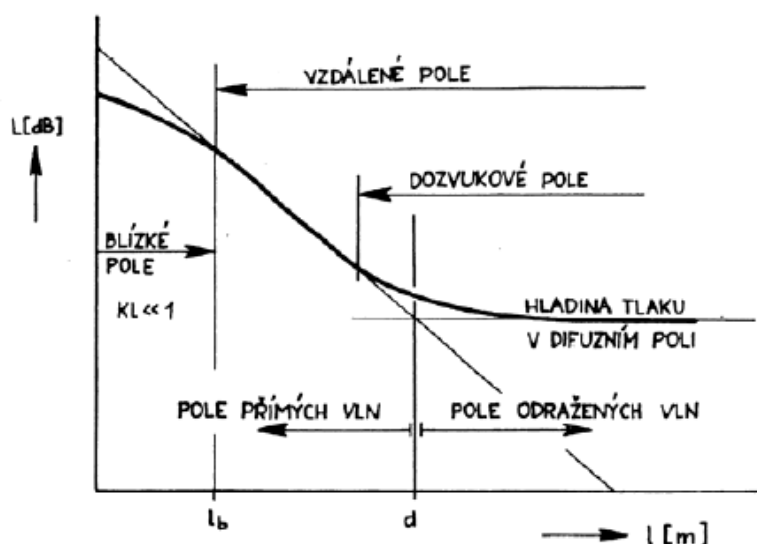
Válcové zvukové vlny vzniknou v tom případě, kdy kmitá nekonečná řada bodových zdrojů ve fázi – tzv. liniový zdroj. Akustická energie se šíří do všech směrů kolmých na řadu bodových zdrojů. Akustický tlak a akustická intenzita se mění se vzdáleností od osy zářiče, [1]:

$$p_2 = p_1 \cdot \sqrt{(l_1 / l_2)} \cdot \quad [\text{Pa}] \quad (2.23)$$

$$I_2 = I_1 \cdot (l_1 / l_2) \cdot \quad [\text{W/m}^2] \quad (2.24)$$

V praxi můžeme často nalézt dvojici blízkých akustických zdrojů, které kmitají proti sobě a lze je posuzovat jako dva bodové zářiče pulsující v protifázi. Jedná se o akustický zdroj prvního druhu a označujeme jej také jako akustický dipól, [1].

Působením mnoha akustických zdrojů mohou i ve volném prostoru vzniknout velmi složitá akustická pole, která jsou výsledkem interferencí mezi jednotlivými zdroji zvuku. V takovém případě pak neplatí výše uvedené jednoduché vztahy mezi vzdáleností, akustickým tlakem a akustickou intenzitou, [1].



**Obrázek 2.4:** Akustické pole přímých a odražených vln [2]

V uzavřených místnostech může vzniknout některé z uvedených akustických polí jen v tom případě, že se neuplatní odrazy postupující tzv. primární vlny od stěn místnosti nebo překážek v prostoru. Z toho vyplývá, že určitý typ akustického pole se může vytvořit pouze do určité vzdálenosti od akustického zdroje. Ve větších vzdálenostech od zdroje zvuku se uplatňují také odražené tzv. sekundární vlny, které primární vlnu překrývají. Při mnohonásobných odrazech se v uzavřené místnosti vytvoří akustické pole odražených vln s náhodným rozložením a směrem šíření, **Obrázek 2.4** [2]. Nelze proto definovat žádnou vlnoplochu. V takové případě mluvíme o difúzním poli. Hranice mezi polem volným a

difúzním je vzdálenost, ve které se akustické energie přímých a odražených vln sobě rovnají, [1], [2].

U rozměrnějších zdrojů zvuku v uzavřených místnostech vzniká v jejich blízkosti interferencí tzv. blízké pole neboli Fresnellův prostor, který zasahuje až do vzdálenosti kdy  $2pf.l/c < 1$ . Ve větší vzdálenosti se pak vytvoří volné pole, [1].

Odražené signály se v uzavřených místnostech uplatňují vždy, ale není-li hustota akustické energie odražených vln srovnatelná s hustotou akustické energie přímých vln, mluvíme i v uzavřené místnosti o volném poli. Se zvětšující se vzdáleností od akustického zdroje pak vznikne difúzní pole, [1].

Vzdálené pole je část v uzavřené místnosti, kdy jsme dostatečně vzdáleni od zdroje zvuku tak, aby se nejednalo o blízké pole. Mnohdy se mluví o dozvukovém poli, které je definováno jako pole, kde se poslechově uplatňují odražené signály. Hranice dozvukového pole není fyzikální, ale je určeno postřehnutelností odražených signálů, [1].

Dozvukovou vzdálenost můžeme určit z objemu místnosti  $V [m^3]$  a doby dozvuku  $T [s]$ , [1], [2]:

$$r_d = 0,057 \cdot \sqrt{\frac{V}{T}} \quad [m] \quad (2.25)$$

A nebo také z celkové pohltivosti místnosti  $A [m^2]$ , [1], [2]:

$$r_d = 0,14 \cdot \sqrt{A} \quad [m] \quad (2.26)$$

Uvedené vztahy nerespektují směrový účinek zdroje zvuku, který může vzdálenost dozvuku několikanásobně zvětšit. Určení doby dozvuku a celkové pohltivosti místnosti je problematické, proto se používá vztah, [2]:

$$r_d = 0,1 \cdot \sqrt[3]{V} \quad [m^3] \quad (2.27)$$

To ve které části zvukového pole v uzavřené místnosti se nacházíme je důležité zejména při měřeních. Ve Fresnellově prostoru a v difúzním poli totiž není poměr akustického tlaku a akustické rychlosti roven vlnové impedanci a neplatí tedy ani mnohé z výše uvedených a běžně používaných vztahů, [1].

Původní zvuk je vlivem dozvuku a mnohonásobných odrazů od stěn místnosti prodloužen. Doba dozvuku je základním kritériem pro subjektivní hodnocení kvality vnímaného zvuku v uzavřeném prostoru. Je-li doba dozvuku velká cca nad 3s, pak je vyvolán dojem přehlušení a snižuje se srozumitelnost řeči. Naopak krátká doba dozvuku způsobuje, že řeč či hudba zní suše a sekaně. Doba dozvuku je přibližně stejná ve všech místech zkoumaného prostoru a je závislá zejména na celkové pohltivosti. Pro málo tlumené místnosti platí *Sabinův vztah*, [2] :

$$T = 0,164 \cdot \frac{V}{A} \quad [s] \quad (2.28)$$

## 2.6 Atmosférická akustika

Atmosféra je různorodé prostředí, kde není rovnoměrně rozložena teplota, vlhkost ani hustota vzduchu a vznikají také vzdušné proudy. Tyto vlastnosti atmosféry mají vliv na šíření zvuku volným prostorem, který se projeví zejména, [2]:

- kolísáním hladin akustického tlaku na konci přenosové trasy,
- závislostí střední hodnoty hladiny akustického tlaku na teplotě, vlhkosti vzduchu, směru a rychlosti větru podél přenosové trasy.

Hlavními překážkami a činiteli, jež mají vliv na šíření zvuku v přízemních vrstvách atmosféry jsou:

- absorpce zvuku ve vzduchu,
- mlha, déšť a sníh,
- stromy a stěny budov,
- teplotní gradienty a atmosférické turbulence.

Těmito činiteli je tvořen přídatný útlum zvuku, který je především závislý na frekvenci a na vlhkosti vzduchu. Při měření hluku má největší vliv na měřenou hodnotu velikost rychlosti větru, [1].

## 2.7 Hluk

Jak již bylo řečeno, tak hlukem rozumíme zvuky, které jsou pro člověka nežádoucí, rušivé a mohou mít i negativní vliv na jeho zdraví. Podstatnou roli hraje subjektivní pocit a vztah osoby k danému zvuku. Hlukem tedy může být i běžný hovor. Posuzování a hodnocení rušení hlukem je velmi složitá záležitost, která není ani v současné době v dostatečné míře teoreticky zpracovaná, [1], [2].

Zdrojem hluku jsou ta zařízení a předměty, v nichž vzniká akustická energie a šíří se od nich do okolí. Těmito zdroji hluku mohou být např. různá technologická zařízení, stěny a stropy budov nebo neustálená proudění kapalin a plynů, [1], [2].

Hluk dělíme dle průběhu hladiny hluku v čase, [2]:

- ustálený – jehož hladina se v závislosti na čase nemění o více než 5dB,
- proměnný – jehož hladina se v závislosti na čase mění o více než 5 dB,
- přerušovaný – mění náhle hladinu akustického tlaku, je však v průběhu hlučného intervalu ustálený,
- nepravidelný – mění hladinu v čase zcela náhodně,
- impulsní – vytvářený jednotlivými zvukovými impulsy s trváním do 200 ms, nebo sledem takových impulsů následujících po sobě v intervalech delších než 10 ms.

### 2.7.1 Střední hodnoty a statistické výstupy

Hodnoty hladin hluku v praxi často kolísají, mnohdy i v širokém rozsahu a tak je ztíženo celé měření a odečet konkrétní hladiny. Tento problém je možné vyřešit odečtením většího počtu  $-n$  hodnot, naměřených za stejných podmínek. Důležité je, aby jednotlivé hodnoty byly odečítány v pravidelných časových intervalech. Pro správné vyhodnocení hlučnosti je zapotřebí respektovat jak extrémní okamžité hodnoty, tak četnost výskytu určitých hodnot měřených hladin zvuku v dostatečně dlouhém časovém úseku. Z výše uvedeného vyplývá, že hluk je zapotřebí hodnotit statisticky. Jedině tak je možné dostat správný obraz o rozložení okamžitých hodnot hladin hluku, [1].

Máme-li menší počet hodnot  $L$  [dB] a je-li rozptyl jejich hodnot menší než 5 dB tj. asi  $\pm 2,5$  dB, udáváme jako výslednou hodnotu aritmetickou střední hodnotu neboli průměr hodnot, [1]:

$$L_{pr} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n L_i \quad [\text{dB}] \quad (2.29)$$

Je-li rozptyl hodnot větší než 5 dB je zapotřebí určit výslednou hladinu jako energetický průměr měřených hladin – střední energetickou hladinu, [1]:

$$L_{en} = 10 \cdot \log\left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (10^{L_i/10})\right) \quad [\text{dB}] \quad (2.30)$$

Ovšem jak pouhý aritmetický průměr tak i střední energetická hodnota nejsou příliš vhodnou veličinou pro hodnocení hlučnosti a další zpracování. Proto byl zaveden pojem hluková expozice, kde je respektována jak působící hladina zvuku, tak i doba jejího poměrného trvání. K tomu je zapotřebí velký soubor naměřených hodnot, [1].

Při statistickém zpracování velkého souboru naměřených dat, roztrídíme hodnoty do několika rozsahů – třídních intervalů. U každého třídního intervalu sledujeme, jakou dobu nebo kolikrát byla naměřena hodnota ležící v tomto rozsahu. Je velmi důležité zjišťovat měřenou náhodně proměnnou veličinu v naprosto pravidelných časových intervalech. Z četností v jednotlivých třídních intervalech lze sestavit histogram nebo distribuční křivku, [1].

Histogram tak dává okamžitý přehled o rozdělení do jednotlivých intervalů a při dostatečně velkém počtu naměřených hodnot vytvoří za normálních okolností Gaussovu křivku. Maximum křivky je střední hodnota z naměřeného souboru dat. Z histogramu (integrací) je možné vytvořit distribuční funkci. Střední hodnota pak odpovídá kumulativní četnosti 50 % (hladina  $L_{50}$ , podobně pak  $L_5$ ,  $L_{10}$  atd.). V současné době se k tomuto účelu používají hladinové analyzátory, [1].

Jedním z nezbytných faktorů hodnocení hlučnosti je doba působení hluku. Při sledování biologických účinků hluku se vychází z toho, že vliv hluku je závislý na celkové akustické energii, kterou je organismus exponován. Proto byla zavedena ekvivalentní trvalá hladina hluku, [1], [2]:

$$L_{AeqT} = 10 \cdot \log\left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n t_i} \cdot \sum_{i=1}^n (t_i \cdot 10^{L_i/10})\right) \quad [\text{dB(A)}] \quad (2.31)$$

kde  $t_i$  je doba trvání i-té naměřené hladiny,  
 $L_i$  je i-tá naměřená hladina,  
 $n$  je celkový počet naměřených hladin,  
 $T$  je celková doba měření ekvivalentní trvalé hladiny hluku.

Abychom mohli vyjádřit hlukovou expozici statistickými metodami je zapotřebí znát jak četnost ve třídách a šířku tříd, tak i časový interval mezi odečítáním jednotlivých hodnot a celkovou sledovanou dobu. Samotný údaj ekvivalentní trvalé hladiny nám nedává dostatečnou informaci o rozložení četností. Z tohoto důvodu je vhodné výsledek doplnit histogramem popřípadě také distribuční křivkou, [1].

Další možností časového hodnocení hlukové expozice určitého hlukového děje je vyjádření tzv. sekundové hladiny SEL (sound exposure level)  $L_{AE}$  [dB]. Zde je vždy použito měřeného akustického tlaku  $p_A$  [dB(A)], který je hodnocený v časovém úseku od  $t_1$  do  $t_2$  a vztažený na normovanou hodnotu  $T_0 = 1$  s. Platí tedy vztah, [1]:

$$SEL = 10 \cdot \log \left( \int_{t_1}^{t_2} (p_A / p_0)^2 \cdot dt \right) \quad [\text{Pa}^2 \cdot \text{s}] \quad (2.32)$$

Výhodou tohoto vyjádření je, že lze jednodušeji sečíst jednotlivé i-té případy do výsledné ekvivalentní trvalé hladiny, vztažené na celý časový úsek  $T$ . Pro popis každého jednotlivého případu postačí jediný údaj místo udávání ekvivalentní trvalé hladiny hluku s odpovídající dobou měření. Sekundové hladiny jsou schopné přímo udávat některé moderní zvukoměry, [1].

## 2.7.2 Fyziologické účinky hluku

Hluk působí na lidský organismus dvojím způsobem. Jednak vyvolává účinky přímým působením na sluchový orgán – specifické účinky a poruchy fyziologické a psychologické – nespecifické účinky, [2].

Při dlouhodobém působení hluku na lidský organismus je možné již během prvních minut pozorovat posun sluchového prahu. Nastupuje tak rychle adaptační děj, kdy se organismus adaptuje a hluk vnímá méně hlasitěji, ovšem tato adaptace brzo odezní. Druhý stupeň je sluchová únava, jejíž vrchol se projevuje po 7 až 10 minutách a navíc je spojena se změněným rozlišováním frekvenčních změn, hlasitosti a změn maskování. Odeznívá několik hodin až jeden den. K poškození sluchu může dojít i krátkým akustickým podnětem jako je např. výbuch, který způsobí tzv. akustické trauma, které může být trvalé. Velmi škodlivé jsou hluky úzkopásmové, impulsové a hluky spojené s vibracemi, [2].

Hluk, mimo jiné, působí také na psychiku a nervový systém a to i v případech, kdy nedosahuje škodlivé úrovně. Velmi rušivě a nepříznivě působí hluky nepravidelné s diskretním spektrem a ostře přerušované. U hluku silnějšího než 65 dB může dojít k ovlivnění autonomního nervstva, čímž způsobuje dlouhodobou stresovou zátěž organismu. Poškození sluchu bývá provázáno řadou psychosomatických a vegetativních potíží, které souhrnně označujeme hlukovým syndromem. Z fyziologického hlediska neexistuje adaptace organismu na hluk, [2].

## 3 Měření dopravního hluku

Vzhledem k tomu, že měření hluku je prováděno za různým účelem a pro různé zdroje hluku, existuje celá řada měřicích postupů a metod. Volba správného přístupu vyžaduje náležitou rozvahu, aby byl výsledek měření správný a tedy i průkazný. Při měření je zapotřebí dodržet mnoho podmínek a do protokolu o měření uvádět různé údaje, které jsou nezbytné pro obecnou správnost měření.

Tato kapitola je vzhledem k rozsáhlosti problematiky měřicích metod zaměřena pouze na měření hluku z pozemních komunikací. Podrobnosti o měření hluku z leteckého provozu a hluku strojů a dalších technických zařízení je možné nalézt v [1], [16].

### 3.1 Měřicí technika

Pro měření hluku se používají přístroje zvané zvukoměry. Nejdůležitějším prvkem každého zvukoměru je snímač – mikrofon. Výsledek měření je velmi závislý na vlastnostech použitého měřicího mikrofону. Nepřesnosti vzniklé v měřicím řetězci za mikrofonem lze určitým způsobem upravovat např. použitím korekcí.

#### 3.1.1 Mikrofon

Základním konstrukčním prvkem zvukoměru je mikrofon, který slouží jako snímač. Jedná se o akusticko-mechanicko-elektrický měnič, který převádí kmitání vnějšího plynného prostředí na elektrický signál. Typů mikrofónů existuje celá řada. K nejčastějším patří dynamické, elektrostatické a piezoelektrické. Pro konstrukci kvalitních zvukoměru se používají výhradně mikrofony elektrostatické – kondenzátorové. Kondenzátorový mikrofon má několik výhod, pro které se používá. Mezi tyto vlastnosti patří zejména rovná kmitočtová charakteristika v celém slyšitelném rozsahu kmitočtů, vysoká časová stálost, malá hmotnost i rozměry, [1], [16].

Konstrukce kondenzátorového mikrofónu je založena na pohyblivé elektrodě – membráně a pevné perforované elektrodě. Dopadem akustických vln na membránu mikrofónu dochází ke změnám vzdálenosti mezi membránou (pohyblivou elektrodou) a pevnou elektrodou, čímž se mění kapacita. Je-li na kondenzátoru udržován konstantní náboj, pak vlivem pohybu elektrod dochází ke změně napětí na elektrodách. Elektrický signál na výstupu mikrofónu je úměrný dopadajícímu akustickému tlaku zvukové vlny na membránu. Polarizační napětí na elektrodách je zapotřebí přivádět přes obvod s extrémně vysokou impedancí – přes  $2000\text{M}\Omega$ , tzv. zesilovač náboje. Je tedy důležité, aby předzesilovač výstupního napětí mikrofónu byl umístěn co nejbližší mikrofónní vložce, [1].

Velikosti polarizačního napětí je přímo úměrná citlivost mikrofónu. Z tohoto důvodu musí být polarizační napětí velmi dobře stabilizováno. V praxi se obvykle používá polarizační napětí 200 V. Při takovém napětí je používání těchto mikrofónů ve vnějším vlhkém prostředí a v blízkosti zdroje radiace (dochází k ionizaci vzduchu mezi elektrodami) problematické z hlediska přeskočků výboje mezi elektrodami. V současnosti jsou využívány kondenzátorové mikrofony, u kterých je polarizační předpětí membrány zajištěno elektricky polarizovanou vrstvou keramického materiálu na pevné elektrodě.

Odpadá tedy nutnost externího polarizačního napětí. Jedná se o tzv. elektretové mikrofony, [1].

Dopadá-li akustická vlna kolmo na membránu mikrofonu, dojde ke zvýšení tlaku na membránu, který lze kompenzovat vhodnou konstrukcí mikrofonu. Podle kompenzace rozlišujeme mikrofony pro volné pole, tlakové mikrofony a mikrofony pro difúzní pole, [1], [16].

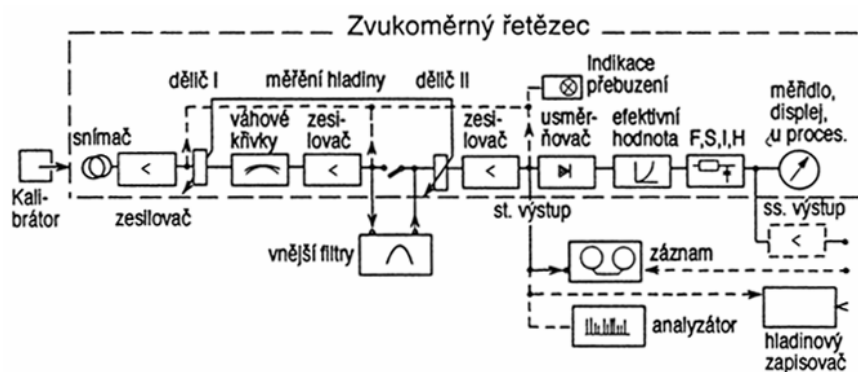
Mikrofon pro volné pole je orientován proti známému směru dopadu signálu. Měří tedy akustický tlak tak, jako kdyby ve zvukovém poli nebyl přítomen. Mikrofony pro tlakové pole nemají kompenzaci a měří skutečný tlak působící na membránu, včetně zvýšení na její čelní ploše. Mikrofony pro difúzní pole jsou určeny pro snímání ze všech směrů a mají proto kulovou všesměrovou charakteristiku, [1], [16].

Zvýšení akustického tlaku před membránou se projevuje až u vysokých kmitočtů, přičemž asi do poloviny horního mezního kmitočtu mikrofonu se téměř neprojevuje. Typ mikrofonní vložky není nutné uvažovat při kmitočtech do 8 kHz u 1/2“ mikrofonu a do 5 kHz u 1“ mikrofonu.

Vlastnosti mikrofonu jsou také závislé na vnějších atmosférických vlivech jako jsou teplota a vlhkost vzduchu, barometrický tlak a rychlost větru. Tyto vlivy lze po aklimatizaci přístroje na vnější podmínky odstranit kalibrací. Nejzávažnější je však vliv rychlosti větru. Doporučuje se vždy používat jednoduchý kryt proti větru, který chrání mikrofon také před prachem a slabým deštěm, [1].

### 3.1.2 Zvukoměr

Na **Obrázek 3.1** [1] je blokové schéma zvukoměrného řetězce. Protože pomocí zvukoměru neměříme pouze čistě harmonické signály, ale obecně signály nekoherentní, je zapotřebí do řetězce zařadit efektovací obvod, který slouží ke stanovení efektivní hodnoty výstupního signálu. K určení průměrných hodnot akustického tlaku za určitý časový úsek jsou ve výstupních obvodech zařazeny integrační obvody, [1], [16].



**Obrázek 3.1:** Zvukoměrný řetězec [1]

Nedílnou součástí zvukoměru jsou váhové filtry. V současné době se používají zejména filtry typu A a C, jejichž průběh je mezinárodně definován v rozsahu od 10 do 20 000 Hz. Na výstupu zvukoměru je zapotřebí zajistit přechod z lineární závislosti na logaritmickou pro zobrazení měřené hladiny v decibelech.

Dynamické vlastnosti zvukoměru jsou dány integračními obvody. Aby byly naměřené hodnoty různými zvukoměry srovnatelné, jsou definovány tzv. integrační časové konstanty. Integrační časová konstanta *S* (slow) vyhodnotí průměrnou hodnotu měřené hladiny za poslední 1 sekundu, při použití *F* (fast) je vyhodnocena průměrná hodnota měřené hladiny za uplynulých 200 ms. Dále je definována impulsní časová konstanta *I*, která je nesymetrická s dobou náběhu 35 ms a dobou poklesu asi 2s, [1].

V současné době jsou vyráběny digitální zvukoměry s displejovým zobrazením měřených hodnot a pamětí pro jejich ukládání. Veškeré funkce zvukoměru za mikrofonom jsou řešeny softwarovým zpracováním. Během měření je možné sledovat kromě měřené ekvivalentní hladiny akustického tlaku také např. aktuální hladinu akustického tlaku apod., [1].

### 3.2 Obecné požadavky na protokol o měření

Na závěr každého měření je nutné zpracovat protokol o měření, který musí obsahovat údaje o podmínkách měření, způsobu snímání signálu, času a době měření, použitých hodnotách a jejich případném dalším zpracování. Zaznamenávané údaje se liší podle toho, za jakým účelem měření provádíme a jaký hluk měříme.

Obecně by zpráva nebo protokol o měření měli podle [1] obsahovat:

- Metoda měření: norma, předpis;
- Přístrojové vybavení: měřicí, pomocné, kalibrační, atd.;
- Měřené a zaznamenávané veličiny: jednotlivé údaje popř. statistické hodnocení;
- Způsob měření: kmitočtové pásmo, spektrum, dynamické charakteristiky;
- Měřicí místo: prostorové umístění, vzdálenost od zdroje, poloha, směřování,...;
- Druh a charakter sledovaného hluku: náhodný, ustálený, proměnný, tónovost, impulsní charakter, popř. emisní nebo imisní hluk;
- Typ zdroje hluku . plošný, bodový, liniový;
- Zvukové pole: volné, difúzní (doba dozvuku,...);
- Rušivé signály: odstup hluku od pozadí, průkaznost měřených hodnot;
- U hluku zařízení: provozní podmínky jako otáčky, upevnění, atd.;
- U dopravního provozu: hustota/složení/průměrná rychlost, niveleta, povrch;
- Doba měření: datum, čas, doba měření.
- Okolí: odrazivé a pohlcující plochy, zástavba, porosty, zvlnění terénu;
- Klima: teplota, vlhkost, směr a síla větru;
- Korekce hodnot: různé vnější podmínky (normování dat, vyloučení extrémních hodnot,...);

- Uvádění přípustných, limitních hodnot: místní podmínky, zóna, druh činnosti atd.;
- Presentace výsledků: hodnoty, tabulka, graf, časový záznam, mapa izobar, odhad dosažené přesnosti.

### 3.3 Metodika měření

Uvedená metodika je určena pro měření hluku a stanovení hlukové zátěže obyvatel a území, která je způsobována silniční dopravou. Při měření je hlavním výsledkem zejména ekvivalentní trvalá hladina hluku, [1].

Měření hluku ze silniční dopravy je prováděno za účelem získání objektivních informací o podílu silniční dopravy na celkovém hluku v dané lokalitě. Naměřená data pak mohou být použita např. pro hodnocení stávající situace, plánování nové výstavby, navrhování a hodnocení již provedených protihlukových opatření, [1].

Přesnost měření je dána zejména největší směrodatnou odchylkou výsledků  $s$  a je také ovlivněna dobou měření, klimatickými podmínkami při měření a třídou přesnosti použitých měřicích přístrojů. Na základě toho rozlišujeme, [1]:

- Běžná třída přesnosti – přehledové měření:  $\sigma = 3,0$ ,
- Technická třída přesnosti:  $\sigma = 2,0$ .

#### 3.3.1 Volba měřicích míst

U oboustranně obestavěných komunikací jsou měřicí místa volena přednostně ve vzdálenosti 2 m (nejméně však 1 m) od fasády přilehlé souvislé zástavby, [1]:

- V rovném úseku bez stoupání na té straně komunikace, kde je vzdálenost od dopravního pruhu menší;
- V místech se stoupáním na straně stoupacího pruhu.

U oboustranně obestavěných komunikací jsou měřicí místa přednostně ve vzdálenosti 2 m (nejméně však 1 m) od fasády přilehlé nesouvislé zástavby nebo na hranici pozemku [1]:

- V rovném úseku bez stoupání na té straně komunikace, kde je vzdálenost od dopravního pruhu menší;
- V místech se stoupáním na straně stoupacího pruhu.

U jednostranně obestavěných komunikací jsou měřicí místa přednostně volena ve vzdálenosti 2 m (nejméně však 1 m) od fasády přilehlé souvislé zástavby a na straně neobestavěné ve vzdálenosti 25 m od osy nejbližšího dopravního pruhu komunikace, [1].

U jednostranně obestavěných komunikací jsou měřicí místa přednostně volena ve vzdálenosti 2 m (nejméně však 1 m) od fasády přilehlé nesouvislé zástavby (nebo na hranici pozemku) a na straně neobestavěné ve vzdálenosti 25 m od osy nejbližšího dopravního pruhu komunikace, [1].

Měření provádíme i na neobestavěné straně komunikace v tom případě, že je na této straně připravována výstavba.

V nezastavěném území jsou měřicí místa volena na obou stranách komunikace ve vzdálenosti 25, respektive 7,5 m od osy krajního jízdního pruhu. Vzdálenost volíme podle účelu měření, [1].

Měřicí místa také volíme tam, kde se zdržuje největší počet lidí a nebo tam kde jsou lidé nejvíce hlukem obtěžováni. Dále se měření provádí na místech, která jsou rozhodující pro šíření hluku do chráněného prostoru, zejména pak na jeho hranici, [3].

### 3.3.2 Počet měřicích míst

Počet měřicích míst určíme dle určitých pravidel. Minimálně jedním výsledkem měření z jednoho bodu musí být popsán úsek komunikace ve kterém se, [1]:

- Nemění intenzita provozu;
- Nemění intenzita provozu, ale mění se druh vozovky, počet jízdních pruhů, nebo podstatněji sklon nivelety, charakter okolní výstavby, apod.

Vhodnější je však popsat každý takový úsek komunikace více než jedním bodem, neboť zejména při statistickém zpracování je větší počet hodnot důležitý.

### 3.3.3 Umístění a směřování měřicího mikrofону

Při měření je velmi důležité jakým způsobem umístíme a nasměrujeme měřicí mikrofón. V místech kde zjišťujeme vliv hluku silniční dopravy na zástavbu volíme přednostně výšku měřicího mikrofónu 3 m nad povrchem terénu a to ve vzdálenosti minimálně 3,5 m před plochu odražející hluk. Pokud chceme hodnotit vliv hluku na osoby ve venkovním prostoru, pak umístíme mikrofón do výšky 1,5 m nad povrchem terénu. Při měření dlouhodobých hladin  $L_{dvn}$  se volí výška 4 m nad terénem, [1], [3].

Měřicí mikrofón je nutné orientovat ke komunikaci směrem, který je předepsaný výrobcem. Nejčastější konfigurace je taková, že osa nejvyšší citlivosti mikrofónu je rovnoběžná s povrchem terénu a je kolmá na podélnou osu komunikace, [1].

### 3.3.4 Doba měření

Pro měření hluku ze silniční dopravy je důležitá doba měření, neboť doprava na silnicích je odlišná v různou denní dobu, ale i v různých dnech v týdnu. Měření se neprovádí ve dnech, které předcházejí, nebo po nich následuje den pracovního klidu. Proto se měří v úterý, ve středu a ve čtvrtek, [1].

Dále se doporučuje měřit v měsících březnu až červnu, v září a říjnu. V úvahu je zapotřebí vzít také meteorologické podmínky při měření. Nedoporučuje se provádět měření za většího deště, sněžení a za větrného počasí. Při rychlosti větru větší než 1 m/s je zapotřebí použít kryt proti větru, při rychlosti vyšší než 5 m/s je nepřípustné měření provádět [3], protože naměřené hodnoty budou výrazně ovlivněné, [1].

Délku měření je vhodné zvolit tak, aby v průběhu měření byly zachyceny všechny typické hlukové situace, které se v místě vyskytují. Při měření hluku z dopravy na pozemních komunikacích a drahách se měření provádí tak, aby bylo možné stanovit výslednou ekvivalentní hladinu akustického tlaku pro celou denní dobu (16 hodin od 6:00-22:00) a pro celou noční dobu (8 hodin od 22:00 do 6:00), [10]. Doba měření je také závislá na intenzitě provozu na dané komunikaci za 24 hodin a na třídě přesnosti, [1]. Pro

informaci jsou uvedeny doby měření pro běžnou třídu přesnosti – přehledové měření a pro technickou třídu přesnosti, **Tabulka 3.1** a **3.2**, [1].

T [h] – doba měření;

t [min] – minimální doba trvání měření.

**Tabulka 3.1:** Doby měření pro běžnou třídu přesnosti

| Intenzita provozu<br>za 24 hodin | T [h]        | t [min] | T [h]         | t [min] |
|----------------------------------|--------------|---------|---------------|---------|
|                                  | Denní doba   |         |               |         |
| mé než 720                       | 6:00 - 14:00 | 480     | 14:00 - 22:00 | 480     |
| 720 - 2400                       | 8:00 - 12:00 | 60      | 13:00 - 17:00 | 60      |
| 2401 - 12000                     | 8:00 - 12:00 | 30      | 13:00 - 18:00 | 30      |
| 12000 a více                     | 7:00 - 12:00 | 15      | 12:30 - 19:00 | 15      |
|                                  | Noční doba   |         |               |         |
|                                  |              |         |               |         |
| mé než 720                       | 22:00 24:00  | 120     | 0:00 - 6:00   | 360     |
| 720 - 2400                       | 22:00 24:00  | 60      | 0:00 - 6:00   | 60      |
| 2401 - 12000                     | 22:00 24:00  | 30      | 0:00 - 6:00   | 60      |
| 12000 a více                     | 22:00 - 6:00 | 60      |               |         |

V denní době se měří buď dopoledne nebo odpoledne, v noci postačuje jedno měření pouze při intenzitě provozu větší než 12 000 vozidel.

**Tabulka 3.2:** Doby měření pro technickou třídu přesnosti

| Intenzita provozu<br>za 24 hodin | T [h]        | t [min] | T [h]         | t [min] |
|----------------------------------|--------------|---------|---------------|---------|
|                                  | Denní doba   |         |               |         |
| mé než 720                       | 6:00 - 14:00 | 480     | 14:00 - 22:00 | 480     |
| 720 - 2400                       | 8:00 - 12:00 | 120     | 13:00 - 17:00 | 120     |
| 2401 - 12000                     | 8:00 - 12:00 | 60      | 13:00 - 18:00 | 60      |
| 12000 a více                     | 7:00 - 12:00 | 30      | 12:30 - 19:00 | 30      |
|                                  | Noční doba   |         |               |         |
|                                  |              |         |               |         |
| mé než 720                       | 22:00 24:00  | 120     | 0:00 - 6:00   | 360     |
| 720 - 2400                       | 22:00 24:00  | 120     | 0:00 - 6:00   | 360     |
| 2401 - 12000                     | 22:00 24:00  | 120     | 0:00 - 6:00   | 120     |
| 12000 a více                     | 22:00 - 6:00 | 60      |               |         |

V denní době se měří buď dopoledne nebo odpoledne. V noci se měří v obou jejích polovinách.

### 3.3.5 Základní akustické deskriptory

Hodnoty hluku se ve všech případech vyjadřují jako hladiny akustického tlaku při použití váhového filtru A a dynamické charakteristiky FAST. Podle [1] a [3] jsou používanými akustickými deskriptory ekvivalentní hladina akustického tlaku  $L_{Aeq,T}$ , maximální hladina akustického tlaku  $L_{pAmax}$ , hladina zvukové expozice  $L_{AE}$  (SEL), distribuční hladiny –  $L_1$ ,  $L_{10}$ ,  $L_{50}$ ,  $L_{90}$ ,  $L_{99}$  a dlouhodobá průměrná ekvivalentní hladina  $L_{dvn}$ . Někdy se navíc provádí ještě pásmová analýza (třetinooktávová, kmitočtová), [3].

### 3.4 Hygienické limity

Jednotlivé limity pro hluk jsou podrobně stanoveny podle nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací č. 148 ze dne 15. března 2006. V tomto případě se opět omezíme pouze na hygienické limity hluku v chráněném venkovním prostoru staveb a chráněném venkovním prostoru. Limity pro ostatní případy jsou k dispozici ve výše uvedeném nařízení vlády. Ochrana lidského zdraví před nepříznivými účinky hluku je zakotvena v zákoně 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví. Jedná se o § 30 až § 34 tohoto zákona.

#### Hygienické limity hluku v chráněném venkovním prostoru staveb a v chráněném venkovním prostoru

Na začátku je vhodné vymezit některé pojmy, které jsou ve vyhlášce používány, [3]:

- Chráněným venkovním prostorem – se rozumí nezastavěné pozemky, které jsou užívány k rekreaci, sportu, léčení a výuce, s výjimkou lesních a zemědělských pozemků a venkovních pracovišť. Při rozhodování ve věci je podstatné pod jakým účelem je pozemek zanesen do katastru nemovitostí.
- Chráněný venkovní prostor staveb – prostor do 2 m okolo bytových domů, RD, staveb pro školní a předškolní výchovu a pro zdravotní a sociální účely, jakož i funkčně obdobných staveb.

**Tabulka 3.3:** Korekce pro stanovení hygienických limitů v chráněném venkovním prostoru staveb a v chráněném venkovním prostoru [10]

| 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        |
| <u>Chráněný venkovní prostor ostatních staveb a chráněný ostatní venkovní prostor</u> | <u>0</u>     | <u>5</u> | <u>10</u> | <u>20</u> |

Hodnoty hluku (s výjimkou vysokoenergetického impulsního hluku např. při střelbě apod.) se vyjadřují ekvivalentní hladinou akustického tlaku  $A L_{Aeq,T}$ . Pro hluk z dopravy na pozemních komunikacích, s výjimkou účelových komunikací, a drahách, a pro hluk z leteckého provozu se ekvivalentní hladina akustického tlaku  $A L_{Aeq,T}$  stanoví pro celou denní ( $L_{Aeq,16h}$ , 6:00 – 22:00 hodin) a celou noční dobu ( $L_{Aeq,8h}$ , 22:00 – 6:00 hodin).

Hygienický limit v ekvivalentní hladině akustického tlaku (s výjimkou vysokoenergetického a impulsního hluku) se stanoví součtem základní hladiny akustického

tlaku  $L_{Aeq,T} = 50$  dB(A) a korekcí přihlížejících ke druhu chráněného prostoru a denní/noční době podle **Tabulka 3.3**, [10].

Korekce uvedené v tabulce se nesčítají. Pro noční dobu se pro chráněný venkovní prostor staveb přičítá korekce -10 dB, s výjimkou hluku z dopravy na železničních drahách, kde se použije korekce -5 dB.

Pro účel diplomové práce je důležitý třetí řádek **Tabulka 3.3**, kde jsou v jednotlivých sloupcích uvedeny korekce:

- 1) Pro hluk z veřejné produkce hudby, hluk z provozoven služeb a dalších zdrojů hluk, s výjimkou letišť, pozemních komunikací, nejde-li o účelové komunikace, a dále s výjimkou drah, nejde-li o železniční stanice zajišťující vlakotvorné práce apod.
- 2) Pro hluk z dopravy na pozemních komunikacích, s výjimkou účelových komunikací, a drahách.
- 3) Pro hluk z dopravy na hlavních pozemních komunikacích 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 drahách v ochranném pásmu dráhy.
- 4) Pro případ staré hlukové zátěže z dopravy na pozemních komunikacích a drahách, kdy starou hlukovou zátěží se rozumí stav hlučnosti působený dopravou na pozemních komunikacích a drahách, která v chráněných venkovních prostorech staveb a v chráněném venkovním prostoru vznikl do 31. prosince 2000 (platí i po položení nového povrchu vozovky, výměně kolejového svršku, rozšíření vozovek apod., [10]).

Pro správné použití výše uvedených korekcí je vhodné citovat zákon č. 266/1994, který upravuje podmínky pro stavbu drah železničních, tramvajových, trolejbusových a lanových a stavby na těchto drahách. Dále definuje podle § 8 odst.1) písm. f) ochranné pásmo u tramvajové a trolejbusové dráhy, které tvoří prostor po obou stranách dráhy, jehož hranice jsou vymezeny vísloou plochou vedenou 30 metrů od osy krajní koleje nebo krajního trolejbusového drátu. Podle § 8 odst. 2) pro dráhu vedenou po pozemní komunikaci se však ochranné pásmo nezřizuje. Tedy pro tramvajovou dráhu vedenou po pozemní komunikaci platí limit 55 dB(A).

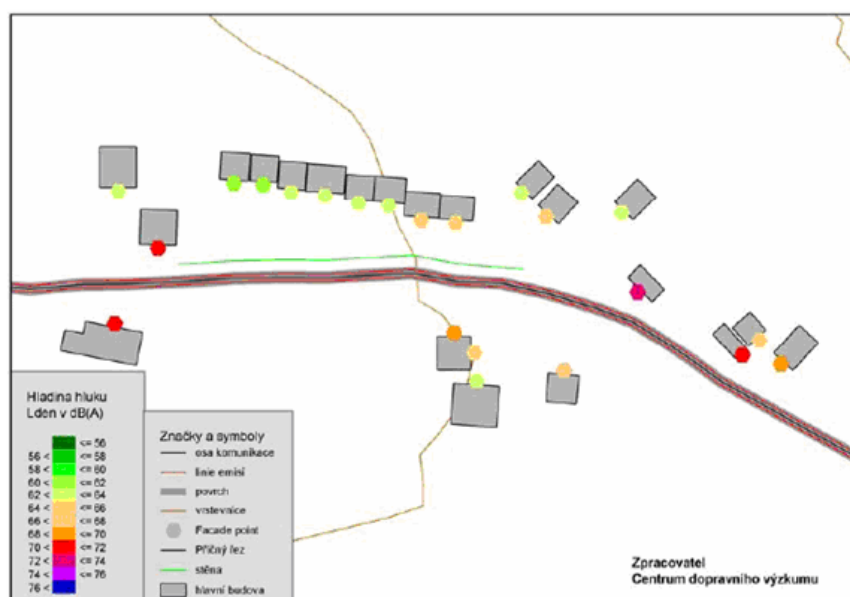
U korekce pro hluk z dopravy na hlavních pozemních komunikacích je pojem „hlavní pozemní komunikace“ v zákoně definován jako dálnice, silnice I. a II. třídy a místní komunikace I. a II. třídy, kde hluk z dopravy na těchto komunikacích je převažující a v ochranném pásmu drah, pak se přičítá korekce +5 dB. Naopak z definice korekce pro starou hlukovou zátěž nevyplývá, zda lze tuto korekci použít u každé silnice, která byla provozována před koncem roku 2000, nebo jen u komunikací, které byly již před tímto termínem zdrojem nadlimitního hluku. O přiznání korekce vždy v konkrétní situaci rozhoduje Krajská hygienická stanice, [8], [10].

### 3.5 Hluková mapa

Na základě měření hluku provedeného v zájmové oblasti, lze vytvořit hlukovou mapu. Hluková mapa je grafickým výstupem měření a přehledně zobrazuje akustickou situaci na daném území.

Základními typy hlukových map podle [12] a [26] jsou:

- Emisní – udává základní informace o dopravním hluku v referenční vzdálenosti od osy komunikace. V okolí sledované pozemní komunikace pak dostaneme barevně odstupňovanou škálu s rozlišením 5 dB,
- Pásmová – zobrazuje rozložení hlukové zátěže na sledovaném území v barevné škále s rozlišením 5 dB, nebo hluková v tzv. „semaforovém zobrazení“, kde jsou použity pouze 3 barvy - zelená, oranžová a červená [26],
- Bodová – zobrazení výpočtových bodů, které jsou umístěny na fasádách objektů v okolí pozemní komunikace a jsou v barevné škále s rozlišením 5 dB, viz. **Obrázek 3.2**,
- Rozdílová – jedná se o speciální typ hlukové mapy, která je dána rozdílem hlukových map před a po realizaci určitého protihlukového opatření.



**Obrázek 3.2:** Bodová hluková mapa, [12]

Při tvorbě hlukové mapy lze vycházet buď ze skutečného měření v terénu nebo z výpočtového modelu hluku. Přímé měření dopravního hluku v okolí pozemní komunikace je problematické z několika hledisek. Hlavní nevýhodou je závislost měření na podmínkách, při kterých bylo měření prováděno, včetně meteorologických. Pokud dojde ke změně těchto podmínek jako např. změna intenzity provozu, nová zástavba apod., pak naměřená data neodpovídají skutečnosti a je zapotřebí provést nová měření. Z toho vyplývá, že další nevýhoda přímého měření v terénu je finanční, časová, ale také organizační náročnost měření, [26].

V současné době jsou pro hlukové mapy větších území preferovány výpočtové postupy tvorby hlukových map. Tyto postupy odstraňují hlavní nevýhody klasických hlukových map založených na skutečném měření hluku. Velkou výhodou výpočtových hlukových je také automatizace procesu tvorby hlukové mapy, menší časová náročnost, schopnost rychlé reakce na změny ve vstupních datech a omezení vlivu lidského činitele na celý proces. Hlavním přínosem také je, že výpočtové hlukové mapy lze vytvářet i pro

neexistující pozemní komunikace a zástavbu, která je teprve plánována a tak zajistit splnění všech předepsaných hygienických limitů. Příslušnou metodikou výpočtu hluku se podrobně zabývá [13], stručněji je problematika predikce hluku z dopravy rozvedena v [1].

Vytvoření hlukové mapy na základě modelování hluku z dopravy se provádí pomocí specializovaného software. Těchto programů existuje celá řada. Vhodnost využití určitého software je podmíněna vstupními požadavky uživatele na výslednou hlukovou mapu a také metodikou výpočtu se kterou daný program pracuje, která musí respektovat mimo jiné i hygienické limity stanovené příslušným nařízením vlády. Dnešním trendem při tvorbě a práci s hlukovými mapami je zobrazení v 3D, [26].

V České republice je možné použít např. program HLUK +, který respektuje „Novelu metodiky pro výpočet hluku silniční dopravy 2004“, viz. [13].

Velké možnosti pro tvorbu hlukové mapy z přímo měřených dat nebo prostřednictvím modelování hluku nabízí i geografický informační systém ArcGIS 9.2 a jeho nadstavby. Dokladem možností ArcGIS 9.2 je článek z časopisu ArcRevue, zabývající se modelováním hluku v prostředí ArcInfo, viz [14].

### 3.6 Strategické hlukové mapy a akční plány

Jedná se o další nástroj řešení problémů s nadlimitním hlukem. Strategické hlukové mapy se do právního řádu ČR dostaly kvůli povinnosti převzít úpravu směrnice Evropských společenství 2002/49/ES o hodnocení a řízení hluku ve vnějším prostředí.

Od jiných nástrojů ochrany před hlukem se liší zejména preventivním charakterem, protože se zpracovávají dopředu bez ohledu na to, zda na vybraném území dochází k překračování maximálních limitů hluku. Problematika hluku je na daném území řešena komplexně pro všechny zdroje hluku dohromady, [8].

Strategická hluková mapa zobrazuje danou oblast v okolí pozemních komunikací, železnic, letišť apod., kde je zároveň vyznačeno území zasažené hlukem, včetně počtu hlukem zatížených nemovitostí a obyvatel. Akční plán představuje soubor opatření, která vycházejí z hlukových map. Cílem je snížení daného zatížení území hlukem opatřeními jak stavebního, tak organizačního charakteru, [8].

Hlukovým mapováním se zabývá vyhláška Ministerstva zdravotnictví ČR č. 523/2006 Sb., která upravuje podrobnosti hlukového mapování. Jsou zde stanoveny mezní hodnoty hluku, při kterých dohází ke škodlivému vlivu na životní prostředí, jejichž překročení není spojeno se sankcemi podle zákona č. 258/2000 Sb, [8].

Hlukovými ukazateli jsou pro den-večer-noc  $L_{dvn}$ , pro den  $L_d$ , pro večer  $L_v$ , pro noc  $L_n$ , jejich mezní hodnoty jsou uvedeny v **Tabulka 3.4**.

**Tabulka 3.4:** Tabulka mezních hodnot hlukových ukazatelů

|                          | celodenní obtěžování hlukem $L_{dvn}$<br>[dB] | rušení spánku $L_n$<br>[dB] |
|--------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|
| pro silniční dopravu     | 70                                            | 60                          |
| pro železniční dopravu   | 70                                            | 65                          |
| pro leteckou dopravu     | 60                                            | 50                          |
| pro integrovaná zařízení | 50                                            | 40                          |

Hodnota hlukového ukazatele  $L_{dvn}$  je definována vztahem [19]:

$$L_{dvn} = 10 \cdot \log \frac{1}{24} \left( 12 \cdot 10^{\frac{L_d}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_v+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right), \quad [\text{dB}] \quad (3.1)$$

kde

- $L_d$  je dlouhodobý průměr hladiny akustického tlaku vážené funkcí A podle české technické normy určený za všechna denní období jednoho roku,
- $L_v$  je dlouhodobý průměr hladiny akustického tlaku vážené funkcí A podle české technické normy určený za všechna večerní období jednoho roku,
- $L_n$  je dlouhodobý průměr hladiny akustického tlaku vážené funkcí A podle české technické normy určený za všechna noční období jednoho roku.

Den je 12 hodin v rozmezí od 6:00 do 18:00, večer jsou 4 hodiny v rozmezí od 18:00 do 22:00 hodin a noc je 8 hodin v rozmezí od 22:00 do 6:00 a rok je příslušný kalendářní rok, pokud jde o imise hluku, a průměrný rok, pokud jde o meteorologické podmínky, [19].

Na základě právních předpisů je přesně stanoveno, pro které oblasti jsou strategické hlukové mapy zpracovávány, kde se vychází z toho, že na určitém území lze předpokládat vyšší hlukovou zátěž, než v jiné lokalitě. Podle tohoto hlediska se strategické hlukové mapy dělí na [8], [19]:

- strategické hlukové mapy městských aglomerací,
- strategické hlukové mapy pro okolí hlavních pozemních komunikací, železničních tratí a letišť.

Hlukové mapy jsou zpracovávány Ministerstvem zdravotnictví na základě počítačového modelování podle předepsané metodiky [13], kde mezi základní vstupní informace patří intenzita provozu na pozemních komunikacích, umístění průmyslových závodů apod., [8].

Podle vyhlášky č. 523/2006 Sb. má Ministerstvo zdravotnictví povinnost zveřejňovat strategické hlukové mapy a to buď v listinné formě na Ministerstvu zdravotnictví nebo v elektronické formě dostupné na internetu, [8], [19].

## 4 Geografický informační systém ArcGIS

Stejně jako každý jiný informační systém, tak i geografický informační systém je určen pro správu velkých objemů dat. Pro geografické informační systémy se běžně používá zkratka GIS – Geographic Information System. Jedná se o systém, který je určen pro správu, analýzu a zobrazování geografických informací, jež jsou reprezentovány sadami geografických dat, které modelují realitu pomocí jednoduchých datových struktur. Geografickými neboli prostorovými daty rozumíme data, která kromě popisné složky (název, velikost,...) obsahují také informaci o prostorové lokalizaci ve zvoleném souřadnicovém systému (zeměpisná šířka a délka, nadmořská výška, poloha objektu v 3D prostoru apod.,...).

Geografický informační systém přináší řadu výhod oproti klasickým mapám. Největším přínosem je možnost propojení prostorových dat s atributovými daty a provádění dotazů a analýz nad množinou těchto dat. Jedná se o jedinečný druh databáze o území tzv. prostorová databáze, ve které platí stejné zásady pro správu dat jako v jiných oblastech informatiky. Podrobnější informace lze nalézt v [5].

Využití geografických informačních systémů je možné snad ve všech oblastech lidské činnosti, kde se nějakým způsobem pracuje s informacemi, které mají určitý vztah k území a prostoru jako doprava, veřejná správa, školství, vojenství, životní prostředí, apod.

Pro zpracování diplomové práce byl vybrán geografický informační systém ArcView a jeho nadstavby, který poskytla firma ARCDATA PRAHA, s.r.o.

### 4.1 Architektura ArcGIS

Produktová řada ArcGIS je navržena tak, že splňuje rozvíjející se požadavky na GIS a sestává z následujících rámců, [5]:

- ArcGIS Desktop – integrovaná sada profesionálních aplikací GIS;
- ArcGIS Engine – sada začlenitelných softwarových komponent pro vývoj uživatelských aplikací;
- Serverový GIS ArcSDE®, ArcIMS® a ArcGIS Server;
- Mobilní GIS – ArcPad® plus ArcGIS Desktop a ArcGIS Engine na platformu Tablet PC.

ArcGIS Desktop v sobě zahrnuje několik integrovaných aplikací jako je ArcCatalog, ArcToolbox, ModelBuilder a ArcGlobe, které společně tvoří jeden celek, pomocí kterého lze provádět úlohy od tvorby map, správu prostorových dat až po složité analýzy, prezentace a vizualizace. K dispozici jsou tři úrovně, [5]:

- ArcView – je základní úroveň, která je vhodná zejména pro celkové zpracování a správu prostorových dat, tvorbu map a analýzu;
- ArcEditor – oproti předcházející úrovni disponuje pokročilými nástroji pro geografickou editaci a tvorbu dat;

- ArcInfo – profesionální desktop GIS, nejvyšší úroveň ArcGIS Desktop, obsahuje výkonné nástroje pro zpracování a tvorbu geografických dat.

Funkce těchto úrovní lze rozšířit přidáním nadstavb ArcGIS Desktop, [5]. Vhodnými nadstavbami pro tvorbu hlukové mapy a zobrazení v 3D jsou Spatial Analyst, Geostatistical Analyst a 3D Analyst, [5].

## 4.2 ArcView

ArcView je základní úroveň řady ArcGIS Desktop od firmy ESRI. Jedná se o samostatný a výkonný nástroj GIS pro jednoduché aplikace, zahrnující základní funkcionalitu ArcGIS. ArcView 9.2 tvoří sada desktopových aplikací: ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox a ModelBuilder, [21], [22].

ArcMap je aplikace, která je určená pro všechny mapově orientované úlohy včetně kartografie, prostorových analýz, editace dat a tisku map. Obsahuje kompletní funkce pro tvorbu map.

ArcCatalog nabízí nástroje pro správu, tvorbu a organizaci geografických a tabelárních dat. ArcCatalog je též možné využít pro zakládání a tvorbu geodatabází.

Aplikace ArcToolbox nabízí funkce pro zpracování prostorových dat včetně nástrojů pro správu a konverzi dat, vektorové analýzy, geokódování a statistické analýzy. ArcToolbox je začleněn do aplikací ArcMap i ArcCatalog. Každá úroveň ArcGIS obsahuje jiný počet nástrojů pro zpracování prostorových dat. ArcView obsahuje základní sadu nástrojů pro jednoduché načítání a převod dat a elementární analytické nástroje. ArcEditor obsahuje v aplikaci ArcToolbox více než 80 nástrojů (ArcInfo asi 250 nástrojů) pro zpracování prostorových dat. Pro vytváření GIS dat a provádění složitějších analýz je zapotřebí licence ArcInfo, [21], [22].

ModelBuilder poskytuje grafické modelovací prostředí pro návrh a implementaci modelů, zpracování prostorových dat a je produktivním nástrojem pro sdílení metod a procedur mezi uživateli, organizacemi atd. Tyto modely mohou zahrnovat nástroje, skripty a data. Modely slouží jako vývojové diagramy postupů zpracování dat. Seřazují jednotlivé nástroje a data za účelem vytvoření procedur a postupů zpracování dat, [22].

## 4.3 Nadstavba ArcGIS Spatial Analyst

Tato nadstavba disponuje zejména nástroji pro práci s rastrovými daty. Umožňuje rastrová data jednak vytvářet, ale také provádět nejrůznější analýzy těchto dat. Její využití je zejména tam, kde se popisují spojitě se měnící veličiny v prostoru jako např. teplota, nadmořská výška a nebo také hluk a umožňuje vytvořit rastrové vrstvy z hodnot naměřených v diskretních bodech daného území. Další možností je vytváření tzv. klasifikovaných rastrů na základě určitého kritéria. Na základě logických dotazů, tak lze vybírat určité oblasti, které splňují zadaná kritéria. Tímto způsobem lze získat nové informace o zájmové oblasti, [21], [23].

Mezi základní funkce patří interpolace měření, dotazování, analýza terénu, rastrová algebra, deklasifikace rastrů apod. Nadstavba Spatial Analyst má k dispozici 3 základní interpolační metody, kterými jsou IDW, Spline a Kriging. Nevýhodou však je, že

poskytuje omezené nastavení parametrů interpolace a chybí nástroje pro zhodnocení přesnosti výsledků interpolace, [21], [23].

#### **4.4 Nadstavba ArcGIS Geostatistical Analyst**

Hlavním rysem této nadstavby je, že jako první přináší geostatistické nástroje pro zpracování dat do prostředí GIS. Geostatistika je statistickou metodou, která do zpracování zahrnuje i geografické souřadnice zpracovávaných údajů. Tak jako nadstavba Spatial Analyst je vhodná zejména pro práci se spojitě se měnícími veličinami v prostoru. Pro předpověď hodnot veličiny v celém prostoru na základě jednotlivých měření využívá jak stochastické, tak deterministické interpolační metody, [21], [24].

Velkou výhodou této nadstavby je, že přináší uživatelsky příjemné prostředí a možnosti pro nastavení mnoha parametrů interpolace. Právě správné nastavení parametrů interpolace je jedním z faktorů ovlivňujících přesnost dosažené predikce. K dispozici jsou sofistikované nástroje pro kontrolu a ověření dosažené přesnosti interpolace. S pomocí této nadstavby je možné vytvářet nové vrstvy na profesionální úrovni, [21], [24].

Nadstavba Geostatistical Analyst nabízí několik metod interpolace jako IDW, Spline, Polynomická metoda, Kriging a Cokriging. Přitom metoda Kriging je přístupná v několika variantách. Během procesu interpolace má uživatel k dispozici veškeré potřebné diagramy a údaje, pomocí kterých je schopen nastavit správné parametry. Výstupem pak může být předpovědní mapa, kvantilová mapa, pravděpodobnostní mapa a mapa předpokládaných středních chyb. Výsledné interpolované vrstvy lze vzájemně mezi sebou porovnávat a zjistit tak optimální nastavení parametrů interpolace, [21], [24].

#### **4.5 Nadstavba ArcGIS 3D Analyst**

Nadstavba ArcGIS 3D Analyst rozšiřuje možnosti ArcGIS Desktop o řadu dalších sofistikovaných nástrojů pro práci v 3D. Tato nadstavba se stejně jako další specializované rozšiřující moduly prezentuje novým panelem nástrojů. Ovládání tohoto panelu odpovídá dosavadním zvyklostem, které jsou samozřejmostí při práci s ArcGIS Desktop. Uživatel tedy pracuje v obvyklém prostředí a není nutné se učit nové postupy, [4].

Hlavní odlišností nadstavby ArcGIS 3D Analyst je, že do stávajícího geografického informačního systému přináší třetí rozměr zobrazení. S využitím této nadstavby je možné na základě naměřených nadmořských výšek v diskrétních bodech vytvořit interpolací 3D model reliéfu. Součástí této nadstavby jsou aplikace ArcScene a ArcGlobe, které slouží pro vizualizaci stávajících 2D dat v 3D.

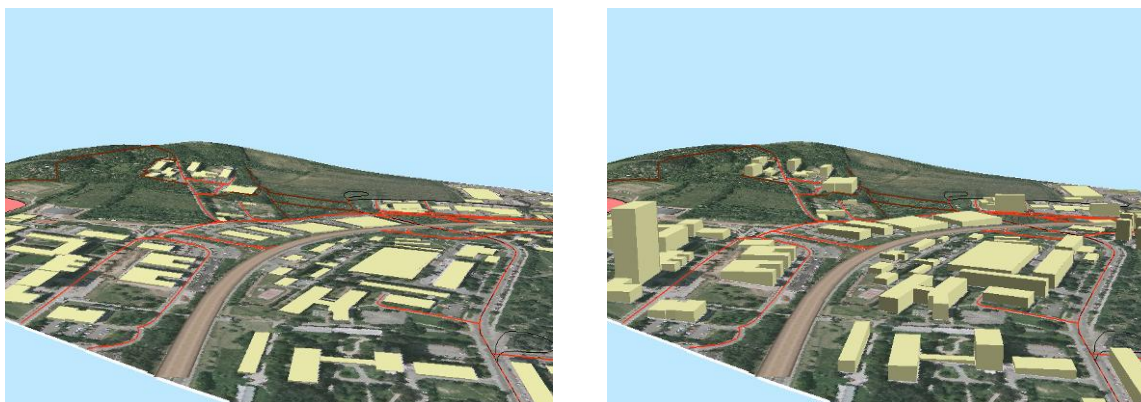
Tato nadstavba umožňuje mimo jiné provádět konverze mezi 2D a 3D daty, ale také mezi rastrovými a vektorovými formáty, jako např. TIN na rastr a naopak, nebo rastr na vektor apod. Na základě 3D tvaru vzniklého reliéfu je možné dodat prostorový tvar pro 2D data, která lze libovolně vytáhnout nad terén. Vzhled celého modelu lze vylepšit použitím jednotlivých 3D prvků jako např. stromy, budovy, auta apod., které je možné libovolně umístit na povrch reliéfu a také přidáním např. letecké fotografie atd.

Samozřejmostí je, že veškeré nástroje pro analýzu lze nadále využívat v obou aplikacích – ArcScene i ArcGlobe. Je tedy možné se dotazovat na atributy zobrazených prvků, provádět výběry na základě logických dotazů a výsledek uložit do samostatné vrstvy stejným způsobem, jako v aplikaci ArcMap, [4].

Možné využití nadstavby ArcGIS 3D Analyst je všude tam, kde je zapotřebí při řešení daného problému zohlednit tvar reliéfu, nadmořskou výšku, sklon svahu apod. Tento projekt je zaměřen na využití možností této nadstavby pro analýzu a tvorbu hlukové mapy. Zobrazení hlukové mapy v 3D modelu je velmi přínosné, neboť nám dává lepší představu o reálné situaci. To umožňuje také nalezení určitého řešení při překročení limitů v podobě protihlukových ochrann apod. Uplatnění lze nalézt i při modelových studiích, kdy je plánována např. výstavba nové silnice a zkoumáme případný vliv na obytnou zástavbu. Tento postup nám dává možnost případné problémy řešit ještě před samotnou výstavbou a zavést tak primární opatření namísto řešení po dokončení stavby, které je-li vůbec možné, bývá obvykle mnohonásobně dražší.

#### 4.5.1 Aplikace ArcScene

Aplikace slouží pro vizualizaci vektorových i rastrových dat na základě průběhu reliéfu. Zobrazovat lze data ve stejném datovém formátu jako v aplikaci ArcMap. V jedné scéně mohou být zobrazena i různá data, která využívají odlišných zdrojů nadmořských výšek. Původní 2D data jsou snadno převedena na 3D a to „vytažením“ nad povrch, ale i pod povrch terénu. Tak lze například u budov, které jsou reprezentovány polygonem dosáhnout realističtějšího 3D vzhledu. Výšky jednotlivých budov lze uložit do atributové tabulky a podle ní jsou pak budovy vykresleny. Ukázka funkce *Extrusion* je na **Obrázek 4.1**.

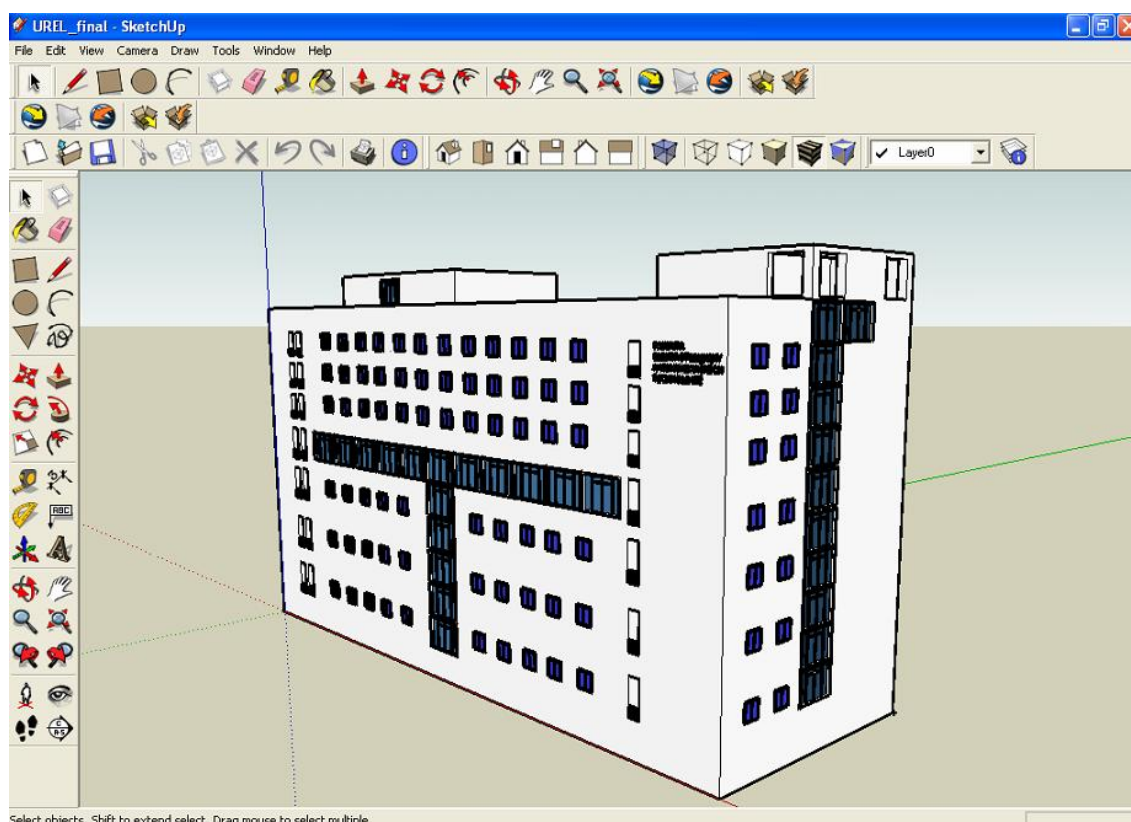


**Obrázek 4.1:** Změna 2D reprezentace budov na 3D

Celou scénou je možné otáčet a libovolně přibližovat, čímž získáme prakticky jakýkoliv pohled na vybranou lokalitu, což může v řadě případů velmi praktické. Kromě otáčení je dostupná také funkce, pomocí které se lze nad vytvořeným modelem proletět. Veškeré tyto operace lze nahrávat pomocí panelu nástrojů *Animation* a následně nahrávku uložit do formátu \*.avi. Výhodou tohoto postupu je, že nahrávka je pak spustitelná téměř na jakémkoliv počítači, bez nutnosti mít k dispozici programové vybavení GIS. Jinou možností jak zobrazit vytvořenou 3D scénu na počítači bez nainstalovaného GIS je uložení do formátu VRML, nebo prostřednictvím nadstavby ArcGIS Publisher uložit scénu pro čtení ve formátu, který je čitelný ve volně dostupném software ArcReader, [4].

V modelované scéně lze např. bodovým vrstvám přiřadit určitý 3D model z knihovny. K dispozici jsou modely budov, aut, stromů, keřů, atd. Problémem je, že se

jedná o americký software a knihovna obsahuje 3D modely, které nejsou v České republice obvyklé, jako např. mrakodrapy apod. Pokud potřebujeme ve scéně model konkrétní budovy, je možné jej vytvořit ve volně dostupném modelovacím programu Google SketchUp. V tomto programu lze jednoduše daný model vytvořit a v aplikaci ArcScene zobrazit. Nadstavba 3D Analyst podporuje formáty „3ds“, „wrl“, „flt“ a „skp“, které lze do prostředí ArcScene importovat. Důležité je při použití Google SketchUp uložit vytvořený model do verze 4.0 a na straně nadstavby 3D Analyst je zapotřebí nainstalovaný plug-in, který je též volně dostupný. Další možností je využití profesionální verze Google SktechUp PRO, která je volně k dispozici pouze pro 8 hodin práce v programu. Vytvořený model v prostředí Google SketchUp je na **Obrázek 4.2**. Stejným způsobem lze vytvořit další objekty v modelované scéně.



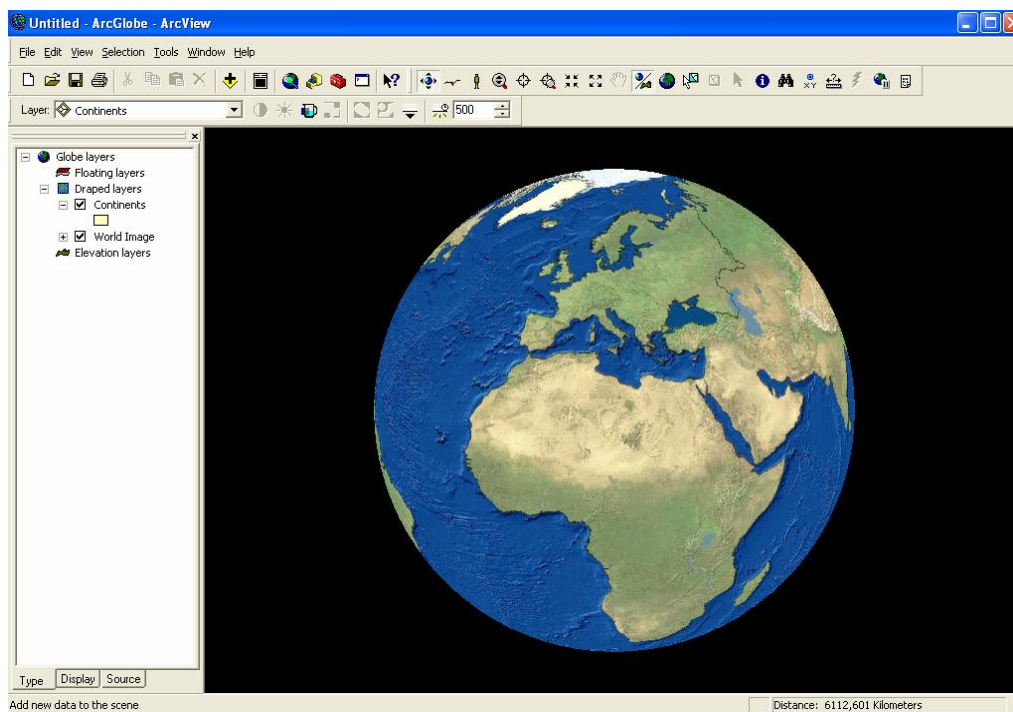
**Obrázek 4.2:** Model budovy FEKT v Google SketchUp

#### 4.5.2 Aplikace ArcGlobe

ArcGlobe je další součástí nadstavby ArcGIS 3D Analyst a poskytuje v podstatě totožné možnosti 3D vizualizace a analýzy jako ArcScene. Představuje vizualizaci vytvořených 3D dat na zemskou kouli, **Obrázek 4.3**. Ovládání a přidávání jednotlivých vrstev je stejné jako v ostatních aplikacích ArcGIS a zobrazovat lze všechny podporované formáty. Výraznou odlišností oproti AcScene je jeho schopnost práce s objemnými datovými sadami nejrůznějších typů včetně dat přístupných prostřednictvím mapové služby WMS.

Aplikace ArcGlobe využívá speciální struktury indexování, což umožňuje zcela plynule prohlížet 3D scény vytvořené na základě gigabytů dat, aniž by tato data byla předem jakýmkoliv způsobem zpracovaná, [4].

Stejně tak jako v jiných aplikacích ArcGIS je součástí aplikace ArcGlobe okno ArcToolbox, jež umožňuje spouštět nástroje, modely a skripty přímo v dynamickém prostředí aplikace. Je samozřejmé, že množství nástrojů se odvíjí od počtu nainstalovaných nadstaveb ArcGIS, [4].



Obrázek 4.3: Ukázka aplikace ArcGlobe

Vzhledem ke specifickým nárokům na strukturu a objem dat aplikace ArcGlobe je vhodnější pro menší projekty využít 3D vizualizace pomocí aplikace ArcScene.

## 4.6 Interpolace měření

Nadstavby systému ArcGIS disponují nástroji pro interpolaci měření, což je základem pro tvorbu spojité hlukové mapy na základě hodnot naměřených na jednotlivých měřicích místech. Jedná se tedy o odhad měřené veličiny v místě, kde nebylo provedeno měření, na základě známých hodnot v okolí. Měřicí body mohou být rozmístěny pravidelně nebo nepravidelně.

Existuje celá řada interpolačních metod, pomocí kterých provádíme výpočet neznámé hodnoty jako např. spline, polynomická regrese, metoda inverzních vzdáleností – IDW, metoda triangulace s lineární interpolací, radiální funkce, krigování atd.

Interpolační metody dělíme v zásadě na deterministické (IDW, radiální funkce,...) a geostatistické (kriging). Výsledek interpolace je závislý na počtu a rozmístění měřicích bodů a na použité interpolační metodě, která by se měla chovat podobně jako sledovaný jev, [21].

Pro tvorbu hlukové mapy je možné použít geostatistické metody kriging, která je v současné době hojně využívána v různých oblastech. Dokladem využití interpolace kriging pro tvorbu hlukových map je např. článek [20].

## Kriging

Jedná se o základní geostatistickou metodu určování lokálního odhadu. Je založena na představě regionalizovaných proměnných a využití teorie náhodných funkcí. Regionalizovanou proměnnou rozumíme veličinu, která je funkcí polohy v prostoru o souřadnicích  $x, y, z$ . Pro stanovení odhadu hodnoty v bodě  $Z(s_0)^*$  se použijí váhy  $l_i$ , které jsou závislé nejen na vzdálenosti mezi měřicími body, ale také na jejich vzájemném prostorovém uspořádání, [18].

Vstupní podmínky metody kriging, [18] :

- lineární kombinace vstupních hodnot,

$$Z(s_0)^* = \sum l_i \cdot Z(s_i),$$

- nestranný odhad – průměrná chyba odhadu je rovna 0,

$$\sum (Z(s_0)^* - Z(s_i)) = 0,$$

- minimalizace rozptylu odhadu,

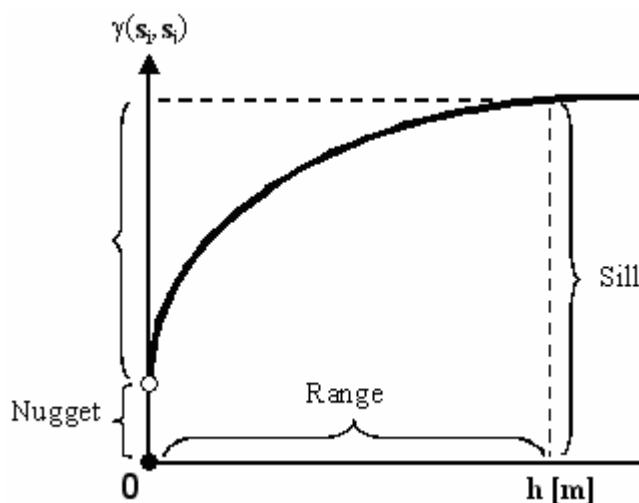
$$\sum (Z(s_0)^* - Z(s_i))^2 = \min.,$$

kde  $Z(s_0)^*$  – odhad v místě  $s_0$ ,

$Z(s_i)$  – hodnota funkce v místě  $s_i$ ,

$l_i$  – neznámá váha pro hodnotu funkce v místě  $s_i$  (bezrozměrné číslo od 0 do 1).

Vzhledem k tomu, že sledovaná veličina závisí na poloze  $s_i$ , dá se předpokládat, že mezi jednotlivými hodnotami mámi sledované veličiny existuje vzájemná závislost. Zejména je-li vzdálenost mezi dvěma měřicími body malá, pak jsou naměřené hodnoty velmi podobné a mluvíme o tzv. autokorelaci, která je závislá na vzájemné vzdálenosti mezi sledovanými měřicími body. S rostoucí vzdáleností  $h$  mezi měřicími body klesá autokorelace, neboli rozdíl mezi hodnotami roste (jen po určitou mez), **Obrázek 4.4**, [18], [21].



Obrázek 4.4: Parametry semivariogramu, [21]

Pro vizualizaci, modelování a průzkum autokorelace používáme strukturální funkce neboli variogram. V praxi je používán semivariogram, který vyjadřuje jak se mění proměnná  $Z$  mezi místem  $s_i$  a  $s_i + h$ , [18]:

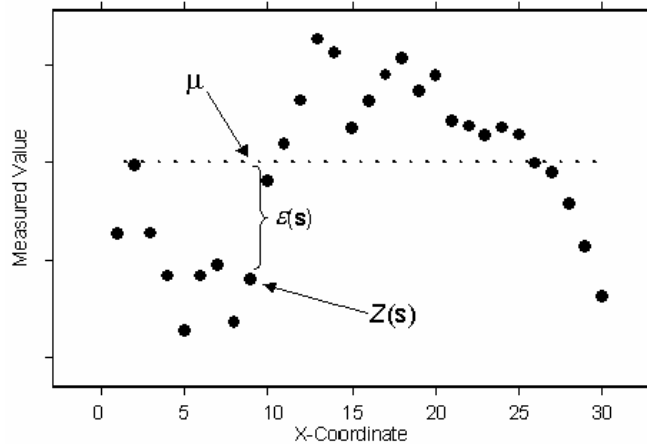
$$g(h) = \frac{1}{2n} \sum \{Z(s_i) - Z(s_i + h)\}^2, \quad (4.1)$$

kde  $n$  je počet páru při kroku  $h$ .

Je-li střední hodnota sledované veličiny konstantní, lze základní model metody Ordinary Kriging zapsat ve tvaru, **Obrázek 4.5**, [18]:

$$Z(s) = m + e(s), \quad (4.2)$$

kde  $\mu$  – konstantní střední hodnota,  
 $e(s)$  – náhodná chyba odhadu.



**Obrázek 4.5:** Metoda Ordinary Kriging, [21]

Základním předpokladem je stacionarita náhodné chyby  $e(s)$ . Tedy velikost náhodné chyby nezávisí na místě měření, ale pouze na vzájemné vzdálenosti posuzovaných měřicích bodů, [18].

Velikost váhy  $l_i$  závisí na hodnotě dané semivariogramem, vzdálenosti od předpovídané hodnoty  $Z(s_0)^*$  a na prostorovém uspořádání známých hodnot sledované veličiny okolo místa predikce. Metoda určení vah  $l_i$  vychází z předpokladu, [18], [21]:

$$\sum l_i = 1. \quad (4.3)$$

To znamená, že rozdíl mezi skutečnou hodnotou  $Z(s_0)$  a odhadovanou hodnotou  $Z(s_0)^*$  v místě  $s_0$  musí být minimální. Výpočtové rovnice metody kriging jsou tedy založeny na minimalizaci výrazu, [18]:

$$(Z(s_0) - \sum l_i Z(s_i))^2 = \min.$$

Vstupní podmínky se transformují do soustavy lineárních rovnic, kde výsledkem je stanovení vah pro jednotlivé měřicí body, [18].

Semivariogram, který jsme získali na základě naměřených hodnot se nazývá empirický. Empirický semivariogram nám poskytuje informaci o autokorelaci mezi měřeními daty pouze na místech měřicích bodů, kde známe hodnotu sledované veličiny. Bohužel nám neposkytuje informaci pro všechny vzdálenosti a směry – není spojitou funkcí. Abychom mohli odhadnout hodnoty sledované veličiny v každém bodě zájmového území, je zapotřebí nalézt spojitou funkci, která bude vhodným modelem empirického semivariogramu, například proložením bodů metodou nejmenších čtverců, [18].

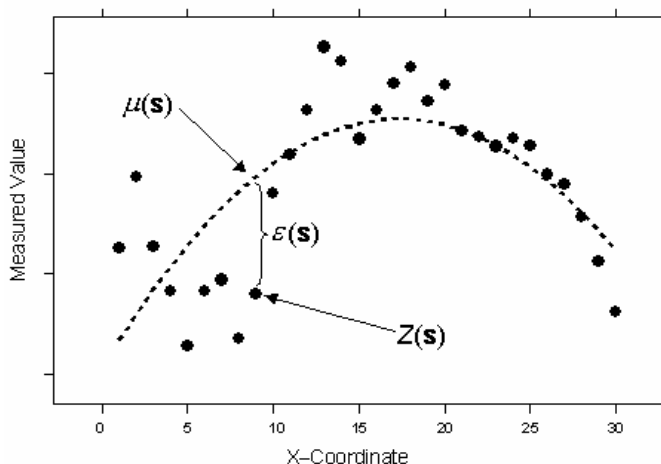
Nadstavby Spatial Analyst a Geostatistical Analyst poskytují několik funkcí, které je možné vybrat jako model empirického semivariogramu. Mezi nejčastěji používané modely patří lineární, sférický, kruhový, gaussovský, exponenciální atd. Výběr vhodného modelu má zásadní vliv na výsledek predikce metodou kriging, [18].

Vybraný model semivariogramu lze popsat parametry podle **Obrázek 4.4** [21]. Jak je patrné z obrázku, tak velikost autokorelace se zvyšující se vzdáleností  $h$  zmenšuje až postupně zaniká. Vzdálenost, ve které autokorelace přestane působit nazýváme rozsahem – anglicky „range“. Funkční hodnotu semivariogramu ve vzdálenosti  $h = \text{range}$  nazýváme prahem – anglicky „sill“. Teoreticky by mělo platit, že hodnota semivariogramu pro nulovou vzdálenost je nulová – tedy dva měřicí body, které jsou velmi blízko sebe, by měly mít také přibližně stejnou hodnotu sledované veličiny (velká autokorelace, nízká variance). V praxi tomu tak často není a křivka semivariogramu tak nezačíná v nule. Tento jev nazýváme jako tzv. „nugget efekt“, **Obrázek 4.4**. Příčinnou tohoto efektu může být chyba měření, ale také velká variabilita měřené veličiny na malé vzdálenosti, [18].

Kvalitu prostorové predikce ovlivňují také další dva jevy – celkový trend v datech a směrový vliv (např. vliv větru na koncentraci škodlivin v ovzduší). Uvažujeme-li globální trend v datech, pak model popsaný rovnicí (4.2) modifikujeme, **Obrázek 4.6**, [18]:

$$Z(s) = m(s) + e(s) \quad (4.4)$$

kde  $m(s)$  je trend.



**Obrázek 4.6:** Ukázka trendu druhého řádu

Trend lze popsat vhodnou matematickou funkcí a následně jej odstranit. Poté vyšetřujeme jen malé variace sledované veličiny v prostoru bez vlivu trendu. Těsně před

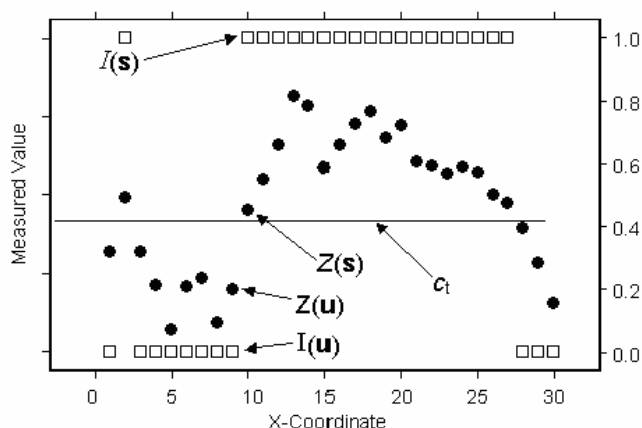
dokončením predikce, je trend vrácen zpět do výstupní funkce. Směrový vliv lze zohlednit nastavením tzv. anizotropie semivariogramu, to znamená, že tvar variogramu je pro každý směr jiný, [18], [21].

Na základě výpočtu rozptylu odhadu, lze stanovit přesnost interpolace. V praxi se místo rozptylu využívá vykreslení mapy směrodatné odchylky, která má stejnou jednotku jako sledovaná veličina. Jedná se o tzv. předpokládanou střední chybu predikce, [18].

Existuje několik metod kriging jako Ordinary Kriging, Simple Kriging, Universal Kriging, Indicator Kriging, Probability Kriging a Cokriging. Jejich použití pak záleží na konkrétní situaci, [18], [21].

## Indikátorové krigování

Metoda Ordinary Kriging provádí lokální odhad na základě přímo naměřených hodnot. V případě hluku dostaneme hlukovou mapou. Většinou nás však zajímá v kterých lokalitách je překročena limitní hodnota. Pokud chceme znát odhad pravděpodobnosti s jakou je překročena nastavená kritická hodnota – hygienický limit, je vhodné použití tzv. indikátorového krigování.



**Obrázek 4.7:** Indikátorové krigování, [21]

Původní naměřené hodnoty se nahradí indikátorem, který nabývá pouze dvou hodnot 1 a 0, **Obrázek 4.7** [21]. Pokud je daná hodnota vyšší než zvolený práh je indikátor roven jedné a naopak pokud je nižší, pak je indikátor roven nule. Takto transformované pole slouží jako vstup pro krigování. Výsledkem lokálního odhadu je pravděpodobnost překročení nastavené kritické hodnoty, [18], [21].

## Pravděpodobnostní krigování

Nevýhodou indikátorového krigování je, že při počítání odhadu již nevyužívá původních hodnot. Vstupní hodnoty jsou při indikátorovém krigování transformovány do posloupnosti nul a jedniček, bez ohledu na to jak daleko jsou od zvoleného prahu. Pravděpodobnostní krigování využívá nejen indikátorové funkce, ale i vzdálenosti původní naměřené hodnoty vzhledem ke zvolenému prahu, **Obrázek 4.7**, [18], [21].

## 5 Měření v terénu

Obsahem této kapitoly je využití teoretických poznatků, které byly uvedeny v předchozích kapitolách, při praktickém měření v terénu. Jedná se o měření hluku z dopravy a také geografické polohy měřicích bodů v terénu pomocí přijímače GPS. Měření hluku bylo provedeno v okolí ulice Hradecké v Králově poli a na Moravském náměstí v Brně.

V rámci měření hluku v okolí ulice Hradecké, bylo provedeno také měření v budově FEKT VUT v Brně na ulici Purkyňova 118. Cílem tohoto měření bylo zjistit, velikost ekvivalentní hladiny hluku na balkónech v jednotlivých patrech budovy.

Základem pro vytvoření hlukové mapy je dostatek kvalitních vstupních dat, která byly získána měřením v terénu.

### 5.1 Měření geografické polohy

Pro měření geografické polohy byl použit GPS přijímač GARMIN GPSMAP 60CSx, viz. **Obrázek 5.1**.



**Obrázek 5.1:** GPS Garmin GPSMAP 60CSx

Základními parametry přístroje podle [6] jsou :

- Elektromagnetický kompas po přesné určení azimutu při setrvání na místě;
- Barometrický výškoměr zobrazující okolní tlak a tlak přepočtený na hladinu moře;
- Výškový počítač zobrazující stávající výšku, vertikální rychlost sestupu/výstupu, minimální/maximální výšku atd.;

- Přesnost určení polohy: 7 – 10 m nebo i méně při normálním režimu GPS;
- Záznam trasy, kapacita aktivní paměti na 10 000 záznamů,...;
- Mapová paměť: slot na microSD datovou kartu, možno použít i větší datové karty typu microSD;
- Displej: barevný TFT, vel. 56 x 38 mm, rozlišení 160 x 240 pixelů, 256 barev, možnost podsvícení;
- Vodotěsnost podle normy IEC 60529 IPX7;
- Životnost až 28 hodin při použití dvou AA alkalických baterií (závisí na režimu použití), externí napájení 8 – 36 V stejnosměrně;
- Rozhraní RS 232, datový/napájecí konektor kulatý Garmin 4 pin, USB port;
- Teplotní rozsah -15 až + 70 °C.

Při měření hluku byla pomocí GPS přijímače zjištěna geografická poloha daného měřicího bodu. Současně s geografickou polohou je také měřena nadmořská výška. Tento údaj však nebyl při dalším zpracování použit. Naměřená data byla ukládána do paměti GPS přijímače a po skončení měření přenesena prostřednictvím USB portu do počítače a zpracována v GIS.

## 5.2 Měření hluku

Měření hluku v terénu bylo zaměřeno na hluk, který pochází ze silniční, tramvajové a trolejbusové dopravy. Pro měření hluku byly použity zvukoměry od firmy NTI, a to AL1 nebo ML1 podle dostupnosti, viz **Obrázek 5.2**, [7].



**Obrázek 5.2:** Zvukoměr AL1

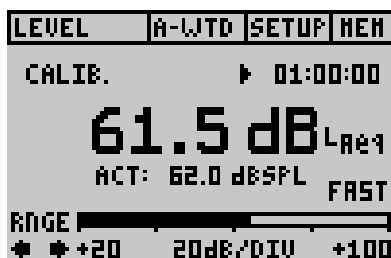
Technické parametry zvukoměru AL1 [7]:

- Měření hladiny akustického tlaku, ekvivalentní hladiny akustického tlaku, zobrazení min/max hodnoty SPL;
- Měření doby dozvuku, doby zpoždění, možnosti analýzy v reálném čase - FFT, činitele harmonického zkreslení THD, RMS, frekvence, atd.;
- Měření srozumitelnosti řeči, index přenosu řeči – STIPA;
- Test polarity reproduktorů;
- Váhové filtry – A, C, horní propust 400 Hz a 19 kHz;
- Vnitřní všesměrový mikrofon (pouze pro měření zpoždění a polarity);
- PC rozhraní – minilink USB;
- Vstupní konektory – XLR (symetrický), RCA (nesymetrický);
- Displej – LCD 64 x 100 pixelů s podsvícením;
- Napájení 3 x AA alkalická baterie, životnost cca 16 hodin;
- Teplotní rozsah 0 – 45 °C, vlhkost vzduchu < 90 %;

Možnosti měření zvukoměru ML1 jsou oproti AL1 více omezené. Měřenou veličinou byla ekvivalentní hladina akustického tlaku, kterou jsou schopny měřit oba přístroje. Nevýhodou však je, že přístroj ML1 neumožňuje zobrazení a uložení minimální a maximální hodnoty hladiny akustického tlaku, tak jako AL1.

Součástí zvukoměru je měřicí mikrofon MiniSPL. Jeho základní technické parametry jsou:

- Kondenzátorový mikrofon pro volné pole;
- Citlivost 20 mV/Pa;
- Napájení je provedeno jednou alkalickou AA baterií – životnost cca 300 hodin;
- Rozsah teplot 0 – 45 °C, vlhkost < 90 %.



Obrázek 5.3: Ukázka naměřené hodnoty  $L_{Aeq}$

Pro měření byl vždy použit váhový filtr typu A, integrační konstanta FAST, měřicí rozsah 20 – 100 dB(A). Měřicí mikrofon byl umístěn ve výšce 1,5 metru nad zemí a směřován ke zdroji největšího hluku, tedy kolmo k ose nejbližšího dopravního pruhu. Při každém měření byl použit jednoduchý kryt proti větru. Používání jednoduchého krytu i v bezvětrí je doporučeno i z hlediska ochrany mikrofonní vložky proti prachu, jemnému

dešti apod., [1]. Naměřené hodnoty byly ukládány do paměti měřicího přístroje a po skončení měření přeneseny prostřednictvím rozhraní USB do počítače. Formát uložení je patrný z **Obrázek 5.3**.

Vzhledem k tomu, že byl k dispozici 1 přístroj na měření hluku, nebylo možné provést měření na všech měřicích místech v jednom dnu a čase, tak jak by bylo pro tvorbu hlukové mapy vhodné. Měření v jedné lokalitě bylo rozvrženo do několika dní tak, aby byl získán potřebný počet naměřených hodnot.

Měření vždy probíhalo pouze v úterý, středu nebo čtvrtek (dle metodiky) a to vždy od 8:00 do 12:00. Doba měření jedné ekvivalentní hladiny akustického tlaku byla vždy 1 hodina, což je s ohledem na intenzitu provozu na vybraných pozemních komunikacích doba dostatečná pro objektivní měření.

### Kalibrace zvukoměru

Měření má vypovídací hodnotu a je prokazatelné pouze v případě, že byla provedena kalibrace měřicího mikrofону. Kalibrace zvukoměru, byla vždy ověřena na začátku a na konci každého měření. Ke kalibraci byl použit tónový kalibrátor Lutron SC – 940A, 1 kHz/94dB, viz. **Obrázek 5.4**.



**Obrázek 5.4:** Kalibrátor LT SC - 940A

Postup je jednoduchý. Nastavení zvukoměru při kalibraci je stejné jako při měření v terénu. Nejdříve zkontrolujeme stav baterie v kalibrátoru přepnutím přepínače do polohy *Check*. Jestliže se rozsvítí červená LED dioda, je baterie v pořádku a přístroj lze použít ke kalibraci. Poté správně nasadíme měřicí komůrku na mikrofon zvukoměru a přepneme přepínač na kalibrátoru do polohy *1*. Na displeji zvukoměru by se měla zobrazit hodnota 94 dB a frekvence harmonického signálu 1 kHz. Na **Obrázek 5.5** je ukázka kalibrace zvukoměru pro oba měřicí rozsahy (20 až 100 dB, 40 až 120 dB) včetně ověření frekvence generovaného signálu.



Obrázek 5.5: Ukázka kalibrace zvukoměru ML1

### 5.3 Meteorologická data

Na šíření zvuku (hluku) mají vliv mimo jiné také meteorologické podmínky. Měření by tedy mělo probíhat vždy za příznivých meteorologických podmínek. Aby bylo možné naměřená data v různých dnech srovnávat, je nutné, aby byly srovnatelné také meteorologické podmínky při jednotlivých měřeních. Nutnost uvádět informace o meteorologických podmínkách udává [3].

Pro účel zpracování diplomové práce byla poskytnuta meteorologická data z meteorologické stanice FAST VUT v Brně. Meteorologická stanice je umístěna v areálu Fakulty stavební na ulici Veverí č. 95. Stanice disponuje čtyřmi na sobě nezávislými měřicími systémy. Jedná se o NOEL 2000, NOEL – VÍTR, METEOS 4, Multi – Gas Monitor typ 1302 od firmy Bruel & Kjaer. Meteorologická stanice měří v pravidelných intervalech 15 minut. Podrobnosti o stanici viz. [15].

Sledovanými veličinami byly teplota, barometrický tlak, relativní vlhkost, a rychlost větru. Z denních statistik uvedených meteorologických veličin byly v jednotlivých dnech měření, vypočítány průměrné hodnoty z období od 8:00 do 12:00 hodin. Vypočítané průměrné hodnoty jsou uvedeny v tabulkách u jednotlivých měření.

### 5.4 Vytvoření mapy zájmového území

Před samotným zpracováním naměřených dat formou hlukové mapy v prostředí geografického informačního systému ArcView musíme vytvořit potřebné mapy lokalit, ve kterých měření hluku probíhalo.

Podkladem pro vytvoření map jsou veřejně dostupné mapy na internetovém serveru Mapy.cz. Použity byly letecké snímky, podle kterých lze vytvořit mapy ve vektorovém formátu. Dále je důležité umístění mapy na správné geografické souřadnice. GPS přijímač, který byl použit k zaměření měřicích bodů v terénu pracuje se souřadnicovým systémem WGS 1984. Proto byl tento souřadnicový systém vybrán i pro tvorbu map.

### 5.4.1 Georeferencování

Letecké snímky získané z portálu Mapy.cz jsou rastrová data, která neobsahují informaci o geografickém umístění snímku. Pro práci v prostředí GIS je ovšem údaj o geografické poloze velmi důležitý a v praxi nelze bez tohoto údaje dále pracovat. Proto je nutné letecké snímky zájmového území umístit do správné zeměpisné polohy a tím také zaručit správné rozměry jednotlivých objektů v mapě (v metrech). K tomuto účelu slouží v aplikaci ArcMap nástroj *Georeferencing*, který je dostupný v panelu nástrojů.

Princip georeferencování leteckých snímků spočívá ve slícování s jinou vrstvou ve vektorovém formátu, která zobrazuje stejné území a zároveň obsahuje informace o prostorovém umístění. Přitom stačí, aby vektorovou vrstvou byly jen body, které jsou snadno identifikovatelné v rastrové mapě, jako například, rohy budov, křižovatky apod. Geografické souřadnice vybraných referenčních bodů byly zjištěny na mapovém portálu Mapy.cz. Další možností je přímé zaměření v terénu pomocí GPS, ovšem otázkou je, zda při běžném zaměření, bez použití některé z metod pro zpřesňování určení polohy a času [17], jsou získané geografické souřadnice přesnější. Pro účel zpracování hlukových map jsou tyto informace dostatečné.



**Obrázek 5.6:** Princip georeferencování

Referenční body jsou v aplikaci ArcMap vyneseny na konkrétní geografické souřadnice pomocí nástroje *Go To XY*. Po zadání geografických souřadnic je na příslušné pozici vykreslen bod. Následně je vložen letecký snímek. Jak je patrné z **Obrázek 5.6a**, tak letecký snímek z referenčními body nelícuje. Nyní je nutné propojit jednotlivé význačné body v rastrové mapě s příslušnými referenčními body, čímž se dosáhne posunutím mapy na správné geografické souřadnice. V rámci nástroje *Georeferencing* lze měnit též velikost a úhel natočení rastrového podkladu. Minimální počet referenčních bodů je 3. Důležité je, aby jednotlivé referenční body byly pokud možno rozmístěny po celé ploše mapy, čímž se dosáhne větší přesnosti při georeferencování. Údaje o propojení rastrové a vektorové vrstvy jsou ukládány do tabulky, **Obrázek 5.7**. Součástí je i výpočet chyby – *Residual* a *Total RMS Error*, která souvisí s dosaženou přesností při georeferencování a neměla by přesáhnout 1 metr. Pokud se tak stane, je nutné provést kontrolu jednotlivých bodů a případně některá propojení z tabulky odstranit a opravit. Na výběr jsou různé typy transformací rastrové vrstvy, vhodná je transformace prvního řádu. Na **Obrázek 5.6b** je zobrazena situace, kdy referenční body lícují s odpovídajícími objekty

na leteckém snímku. V tuto chvíli by měli být rozměry budov na snímku totožné se skutečností.

| Link | X Source    | Y Source     | X Map       | Y Map        | Residual |
|------|-------------|--------------|-------------|--------------|----------|
| 1    | 1252,121029 | -1180,175632 | 607,093028  | -598,262652  | 0,00620  |
| 2    | 1984,324410 | -127,235080  | 984,679977  | -79,814692   | 0,00429  |
| 3    | 507,131831  | -910,267857  | 237,530645  | -455,210055  | 0,00831  |
| 4    | 1141,737549 | -1242,387189 | 551,244649  | -628,163608  | 0,01780  |
| 5    | 2339,363505 | -2722,198734 | 1133,919391 | -1381,022769 | 0,00727  |
| 6    | 1135,999169 | -951,989515  | 551,522974  | -482,915700  | 0,00069  |
| 7    | 1769,091808 | -2785,183121 | 848,095377  | -1406,288182 | 0,00937  |

☒ Auto Adjust    Transformation: 1st Order Polynomial (AI)    Total RMS Error: 0,00913  
 Load...    Save...    Restore From Dataset    OK

Obrázek 5.7: Propojení rastru a referenčních bodů

#### 5.4.2 Vektorizace mapy

Nevýhodou rastrové mapy je, že v ní nelze definovat a dotazovat jednotlivé objekty. Mapa vytvořená ve vektorovém formátu obsahuje diskrétní objekty typu bod, linie nebo polygon. K jednotlivým objektům lze přiřadit vhodné popisné atributy. Každá vytvořená vrstva má svoji atributovou tabulku, do které je možné přidávat další pole, stejně tak jako v jiných databázových programech.

Důležitými atributy pro vrstvu Silnice jsou název, intenzita provozu za 24 hodin, počet dopravních pruhů a maximální povolená rychlost vozidel, tak jak je na **Obrázek 5.8**. Intenzita provozu za 24 hodin byla odhadnuta na základě orientačního počítání vozidel během měřicího intervalu 1 hodina.

|  | FID | Shape *  | Id | Název         | Int den | Pruhy | Rychlost |
|--|-----|----------|----|---------------|---------|-------|----------|
|  | 18  | Polyline | 0  | Podnikatelská | 2401    | 2     | 50       |
|  |     |          |    |               |         |       |          |

Obrázek 5.8: Atributová tabulka vrstvy Silnice

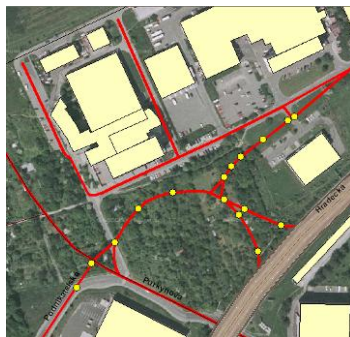
Výsledná vektorová mapa obsahuje vrstvu budov, pozemních komunikací a také vrstvu tramvajové tratě. Na **Obrázek 5.9** je ukázka vektorové mapy, která je podkladem pro měření hluku v okolí ulice Hradecké a v okolí budovy FEKT na ulici Kolejní. Stejným způsobem se postupuje v případě mapy na Moravském náměstí. Takto připravené mapy jsou pak podkladem pro vynesení měřicích bodů a následné vytvoření hlukových map.



**Obrázek 5.9:** Mapa zájmového území ve vektorovém formátu

Problémem při práci s leteckými snímky získanými z portálu Mapy.cz je, že snímky byly pořízeny v roce 2004. Ovšem v roce 2008 byla prodloužena tramvajová trať tramvajových linek 12 a 13 z konečné zastávky Technické muzeum do stávající zastávky Technologický park. Zároveň byla opravena i křižovatka ulic Podnikatelská a Purkyňova a byl postaven nový sjezd z ulice Hradecké ze směru od Svitav. Všechny tyto změny však na mapovém serveru Mapy.cz nejsou zaznamenány ani v základní mapě. Protože měření hluku probíhalo i v této lokalitě, bylo zapotřebí nový sjezd z ulice Hradecké do mapy vynést.

Nová komunikace byla zaměřena v terénu pomocí přijímače GPS. Princip spočívá v zaměření geografické polohy bodů, které leží na ose dané pozemní komunikace. Uložené body se přenesou do aplikace ArcMap, kde se propojí, **Obrázek 5.10**.



**Obrázek 5.10:** Zaměření nové pozemní komunikace pomocí GPS

## 6 Zpracování naměřených dat

Obsahem této kapitoly je vytvoření hlukových map v prostředí geografického informačního systému ArcView a jeho nadstaveb. Současně jsou vytvořeny i 3D modely území, které dávají větší možnosti interpretace hlukových map.

### 6.1 Hluková mapa okolí budovy FEKT Kolejní 4

Měření hluku v okolí budovy FEKT na ulici Kolejní 4 bylo provedeno v letním semestru v roce 2008. Protože časové možnosti byly velmi omezené, byla doba měření jedné ekvivalentní hladiny akustického tlaku pouze 10 minut. Tato doba měření je s ohledem na metodiku měření a intenzitu provozu na daných pozemních komunikacích nedostatečná. Výsledky tohoto měření lze tedy brát pouze jako orientační. Hlavním cílem tohoto měření bylo praktické seznámení se s měřením hluku v terénu.

K měření hluku byl použit zvukoměr AL1, který umožňuje uložení naměřených ekvivalentních hladin akustického tlaku v textovém formátu, který navíc obsahuje také minimální a maximální naměřenou hladinu akustického tlaku. Naměřené hodnoty jsou zpracovány v **Tabulka 6.1**.

**Tabulka 6.1:** Naměřené hodnoty

| měřicí bod | datum měření | den     | $L_{Aeq,10minut}$ | $L_{P,min}$ | $L_{Pmax}$ |
|------------|--------------|---------|-------------------|-------------|------------|
|            |              |         | [dB(A)]           | [dB(A)]     | [dB(A)]    |
| 1          | 11.3.2008    | úterý   | 51,2              | 42,6        | 72,8       |
| 2          | 11.3.2008    | úterý   | 53,4              | 44,8        | 67,2       |
| 3          | 11.3.2008    | úterý   | 61,5              | 46,4        | 75,9       |
| 4          | 11.3.2008    | úterý   | 50,0              | 43,6        | 67,0       |
| 5          | 18.3.2008    | úterý   | 67,9              | 52,7        | 80,8       |
| 6          | 18.3.2008    | úterý   | 64,6              | 48,7        | 81,4       |
| 7          | 18.3.2008    | úterý   | 67,4              | 50,4        | 77,7       |
| 8          | 27.3.2008    | čtvrtek | 61,4              | 50,5        | 76,5       |
| 9          | 27.3.2008    | čtvrtek | 70,3              | 51,0        | 83,4       |
| 10         | 27.3.2008    | čtvrtek | 67,7              | 53,4        | 78,0       |
| 11         | 27.3.2008    | čtvrtek | 68,1              | 47,9        | 77,9       |
| 12         | 22.4.2008    | úterý   | 52,0              | 42,9        | 68,2       |
| 13         | 22.4.2008    | úterý   | 53,2              | 47,2        | 69,6       |
| 14         | 22.4.2008    | úterý   | 56,0              | 44,8        | 69,9       |
| 15         | 22.4.2008    | úterý   | 60,6              | 47,8        | 76,8       |
| 16         | 22.4.2008    | úterý   | 56,9              | 50,9        | 73,2       |

### 6.1.1 Meteorologické podmínky při měření

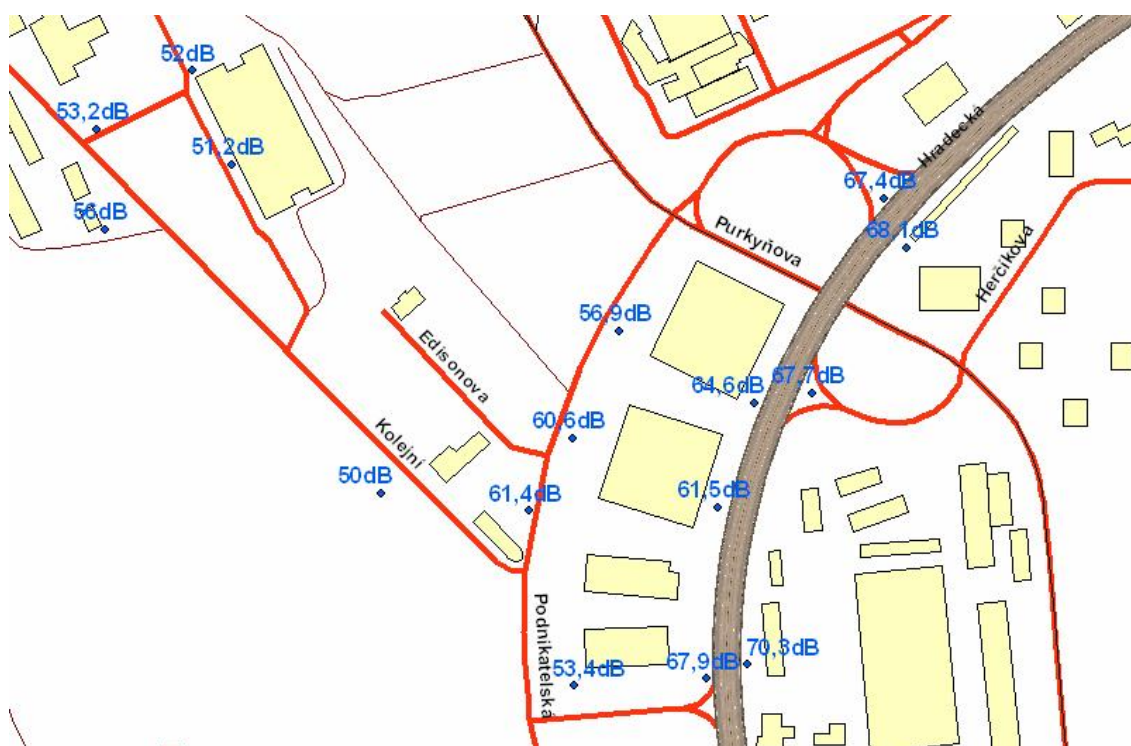
V **Tabulka 6.2** jsou uvedeny údaje o meteorologické situaci v době měření. Údaj o barometrickém tlaku a rychlosti větru ve dnech 11.3. a 18.3.2008 není k dispozici, protože v tuto dobu byla na daném zařízení meteorologické stanice FAST VUT technická porucha.

**Tabulka 6.2:** Meteorologické podmínky při měření hluku

| datum měření | teplota vzduchu<br>[°C] | Relativní vlhkost<br>[%] | Barometrický tlak<br>[hPa] | Rychlost větru<br>[m.s <sup>-1</sup> ] |
|--------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------------------|
| 11.3.2008    | 9,8                     | 61                       | -                          | -                                      |
| 18.3.2008    | 3,7                     | 49                       | -                          | -                                      |
| 27.3.2008    | 2,8                     | 78                       | 971,3                      | 2,0                                    |
| 22.4.2008    | 13,2                    | 67                       | 967,8                      | 4,0                                    |

### 6.1.2 Zpracování a interpretace

Problémem při měření byl zejména nedostatek času, a proto byla doba měření jedné ekvivalentní hladiny akustického tlaku měřena pouze po dobu 10 minut na jednom místě. Jak již bylo konstatováno výše, tak tato doba měření je nedostatečná. Z naměřených hodnot nelze tedy vyvozovat žádné zásadní závěry s ohledem na dodržení hygienických limitů. Rozmístění měřicích bodů je na **Obrázek 6.1**.



**Obrázek 6.1:** Rozmístění měřicích bodů v terénu

Hluková mapa byla vytvořena interpolační metodou Ordinary Kriging. **Obrázek 6.2.** Největších ekvivalentních hladin akustického tlaku je dosahováno na ulici Hradecké. Zde se ovšem negativně projevila krátká doba měření. V blízkosti naměřené

hodnoty 70,3 dB(A) je naměřená hodnota 61,5 dB(A). Rozdíl těchto hladin je téměř 10 dB, přičemž vezmeme-li v úvahu konfiguraci terénu, není k takovému rozdílu mezi takto blízkými měřicími body důvod (mezi body neleží např. žádná bariéra, která by bránila šíření hluku). Tento rozdíl je nejspíše způsoben krátkým měřicím intervalem, kdy patrně došlo na malou chvíli k omezení provozu na ulici Hradecké, čímž byla naměřena pouze hodnota 61,5 dB(A). Tuto hodnotu by bylo vhodné z měřicího souboru vypustit a měření provést znovu. Při delším měřicím intervalu je pak citlivost měřené hodnoty k fluktuacím intenzity dopravy podstatně nižší. Validita této hlukové mapy je na základě výše uvedených skutečností malá.



Obrázek 6.2: Hluková mapa okolí budovy FEKT

## 6.2 Hluková mapa okolí ulice Hradecké

Měření v této lokalitě bylo rozvrženo do 4 dnů. Zájmovou oblastí byla zejména ulice Hradecká, která slouží jako výpadovka ve směru na Svitavy a z celé zkoumané lokality je tady největší provoz.

### 6.2.1 Dopravní situace

V oblasti měření se vyskytuje několik pozemních komunikací, na kterých je různá intenzita provozu. Největší intenzita provozu je na ulici Hradecké. Během měření (v době

mezi 8:00 - 12:00) bylo zjištěno, že za hodinu zde v obou směrech projede přibližně 1200 automobilů. Přitom asi 10 % dopravy tvoří doprava nákladní, která má velký vliv na výslednou hodnotu ekvivalentní hladiny akustického tlaku. Maximální povolená rychlost na této pozemní komunikaci je  $80 \text{ km.h}^{-1}$ .

V okolí ulice Purkyňovy je hluková situace velmi výrazně ovlivněna pravidelnou tramvajovou dopravou linek č. 12 a 13. V dopoledních hodinách od 8:00 do 12:00 hodin je průměrná intenzita tramvajového provozu pro obě linky přibližně 24 souprav za hodinu v obou směrech. Dalším pravidelným zdrojem hluku současně i na ulici Podnikatelské, je autobusová linka č. 53, která jezdí pouze jedním směrem (Podnikatelská => Technologický park => Technické muzeum). Průměrná intenzita provozu této linky je 5 spojů za hodinu. Informace o intenzitě provozu městské hromadné dopravy byly zjištěny na serveru [jizdnirady.idnes.cz](http://jizdnirady.idnes.cz). Kromě městské hromadné dopravy je komunikace využívána osobními i nákladními automobily.



**Obrázek 6.3:** Dopravní situace na ulici Purkyňova



**Obrázek 6.4:** Dopravní situace na ulici Hradecká a Podnikatelská

Předpokládá se (na základě pozorování během měření), že intenzita provozu na ulicích Purkyňova a Podnikatelská je minimálně 720 vozidel za 24 hodin. Maximální povolená rychlost je  $50 \text{ km.h}^{-1}$ . Dopravní situace na sledovaných komunikacích se

v jednotlivých dnech měření hluku lišila jen zanedbatelně. Provoz na silnicích je do jisté míry patrný z **Obrázek 6.3** a **6.4**.

### 6.2.2 Meteorologické podmínky při měření

V **Tabulka 6.3** jsou uvedeny průměrné hodnoty sledovaných meteorologických veličin. Meteorologické podmínky při měřeních nebyly zcela stejné, ovšem z hlediska měření hluku je lze považovat za srovnatelné. Zejména je důležité, že rychlost větru ani při jednom měření nepřekročila kritickou hranici  $5 \text{ m.s}^{-1}$ .

**Tabulka 6.3:** Meteorologické podmínky při měření

| datum měření | teplota vzduchu<br>[°C] | Relativní vlhkost<br>[%] | Barometrický tlak<br>[hPa] | Rychlost větru<br>[m.s <sup>-1</sup> ] |
|--------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------------------|
| 31.3.2009    | 5,4                     | 72                       | 990,3                      | 1,6                                    |
| 1.4.2009     | 9,8                     | 56                       | 986,1                      | 1,9                                    |
| 2.4.2009     | 15,3                    | 28                       | 988,8                      | 3,4                                    |
| 7.4.2009     | 16,6                    | 51                       | 980,2                      | 1,6                                    |

### 6.2.3 Zpracování

Pro tvorbu hlukové mapy bylo použito 15 hodnot ekvivalentní hladiny akustického tlaku, které byly naměřeny celkem ve čtyřech dnech, **Tabulka 6.4**. Naměřené hodnoty  $L_{Aeq\_1hod}$  se pohybují v intervalu od 60,8 do 71,4 dB(A). Rozmístění jednotlivých měřicích bodů je zobrazeno na **Obrázek 6.5**. Hluková mapa byla vytvořena pomocí nadstavby Geostatistical Analyst, interpolační metodou Ordinary Kriging, **Obrázek 6.6**.

Z hlukové mapy je patrné, že oblastí, která je nejvíce zasažena hlukem je ulice Hradecká, kde se ekvivalentní hladina akustického tlaku pohybuje okolo 70dB(A), což odpovídá intenzitě provozu na této komunikaci.

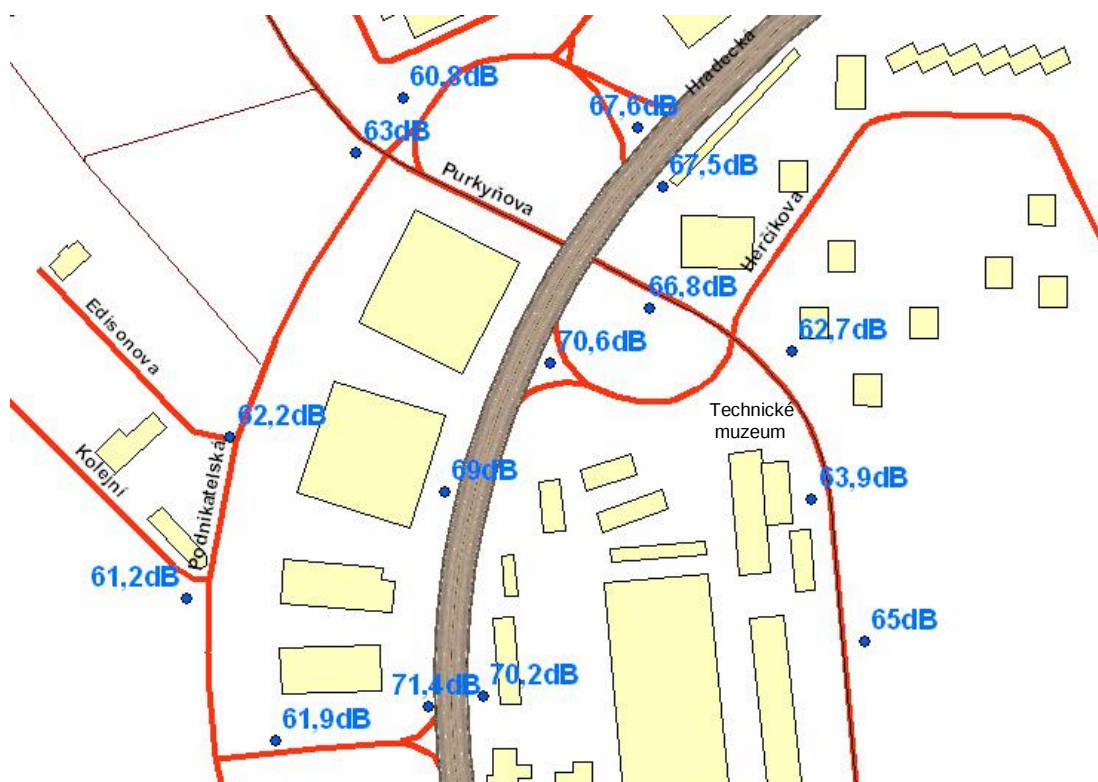
Důležitou součástí vytvořené hlukové mapy metodou Ordinary Kriging, je také zhodnocení přesnosti interpolace (odhadu). Na **Obrázek 6.7** je zobrazena mapa, která znázorňuje rozložení předpokládané střední chyby predikce metodou kriging. Nejmenší chyba odhadu je v okolí měřicích bodů, kde je známá hodnota sledované veličiny. S rostoucí vzdáleností od měřicích bodů, chyba predikce roste. Tento fakt je nutné zohlednit při interpretaci hlukové mapy.

Proto je důležité zvolit vhodné rozmístění měřicích bodů v terénu a to takovým způsobem, aby v posuzované části mapy byla chyba predikce co nejmenší. Podle **Obrázek 6.7** by bylo vhodné umístění ještě jednoho měřicího bodu na ulici Podnikatelská, kde mezi naměřenou hodnotou 63 a 62,2 dB(A) chyba predikce narůstá. Doměřením této hodnoty by se chyba predikce patřičně snížila a odhad by zde byl přesnější.

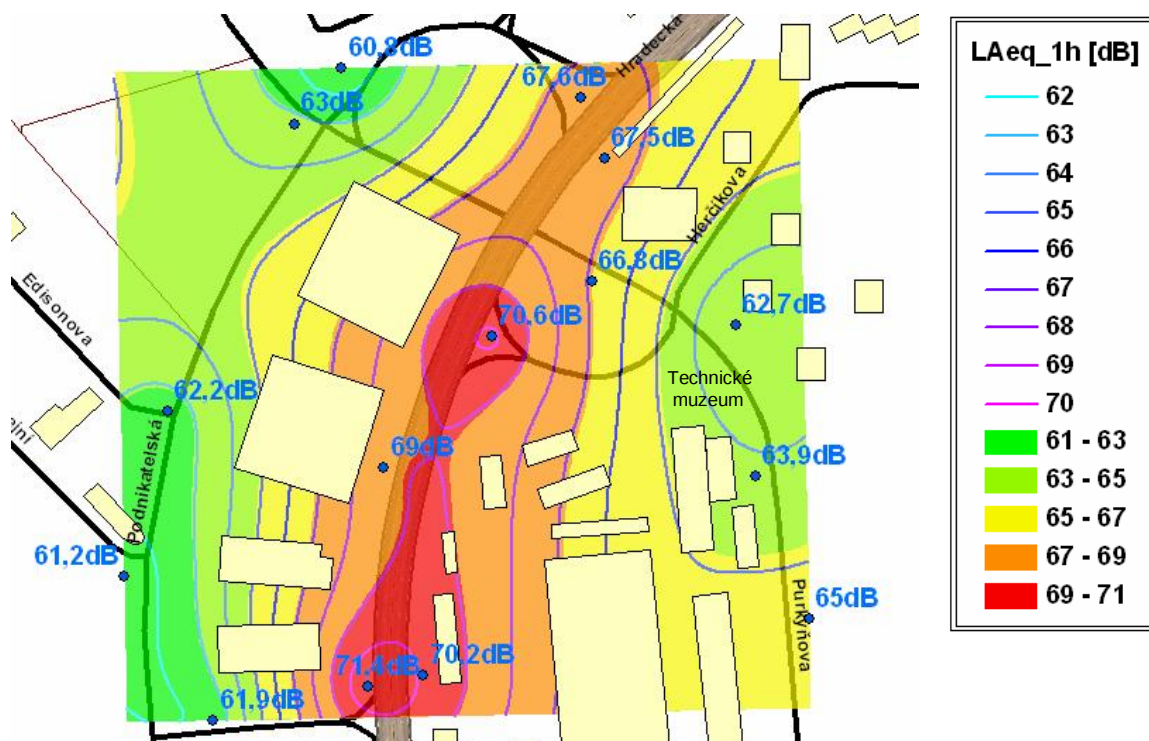
Chyba predikce roste také mezi ulicemi Hradeckou a Purkyňovou (areál Technického muzea). V této oblasti však větší chyba predikce nevadí. Navíc se zde nachází několik objektů, které brání šíření hluku a interpolační algoritmus s těmito překážkami nepočítá. Ke zjištění ekvivalentní hladiny akustického tlaku uvnitř areálu Technického muzea by bylo zapotřebí provést speciální měření přímo na daném místě.

**Tabulka 6.4:** Naměřené hodnoty

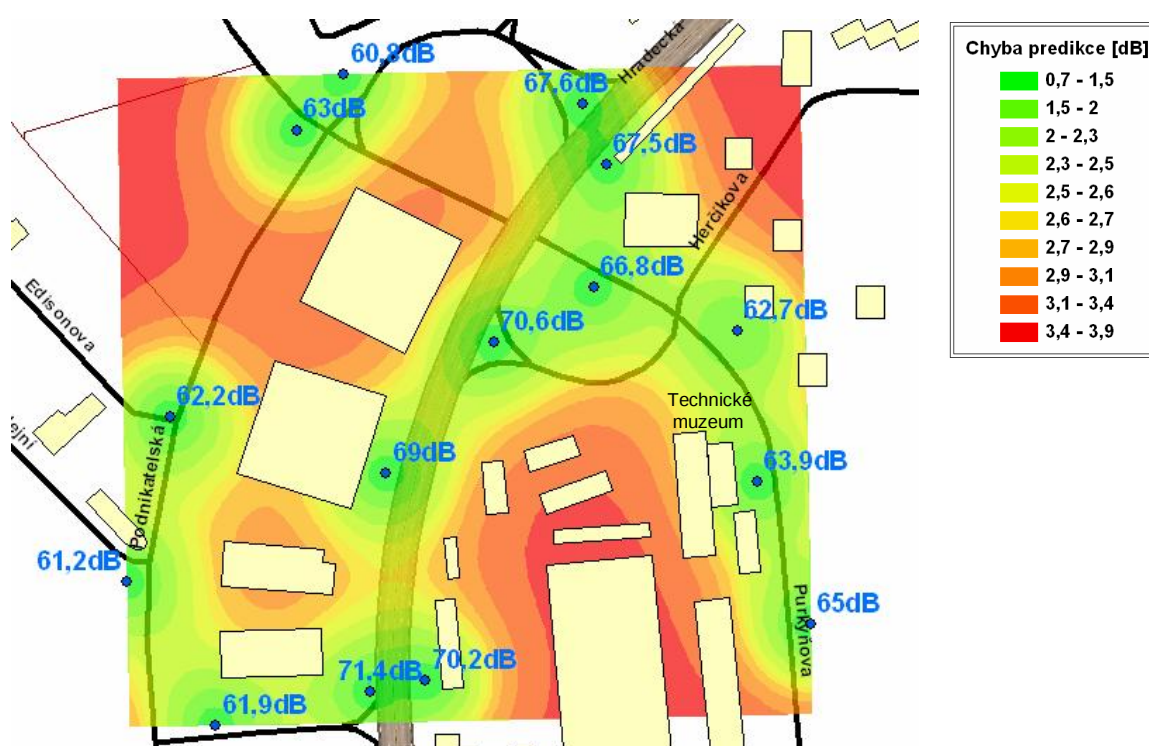
| měřicí bod | datum měření | den     | L <sub>Aeq_1hod</sub> |
|------------|--------------|---------|-----------------------|
|            |              |         | [dB(A)]               |
| 1          | 31.3.2009    | úterý   | 60,8                  |
| 2          | 31.3.2009    | úterý   | 63                    |
| 3          | 31.3.2009    | úterý   | 62,2                  |
| 4          | 31.3.2009    | úterý   | 61,2                  |
| 5          | 1.4.2009     | středa  | 61,9                  |
| 6          | 1.4.2009     | středa  | 71,4                  |
| 7          | 1.4.2009     | středa  | 70,2                  |
| 8          | 1.4.2009     | středa  | 69                    |
| 9          | 2.4.2009     | čtvrtek | 70,6                  |
| 10         | 2.4.2009     | čtvrtek | 67,5                  |
| 11         | 2.4.2009     | čtvrtek | 66,8                  |
| 12         | 7.4.2009     | úterý   | 67,6                  |
| 13         | 7.4.2009     | úterý   | 62,7                  |
| 14         | 7.4.2009     | úterý   | 63,9                  |
| 15         | 7.4.2009     | úterý   | 65                    |



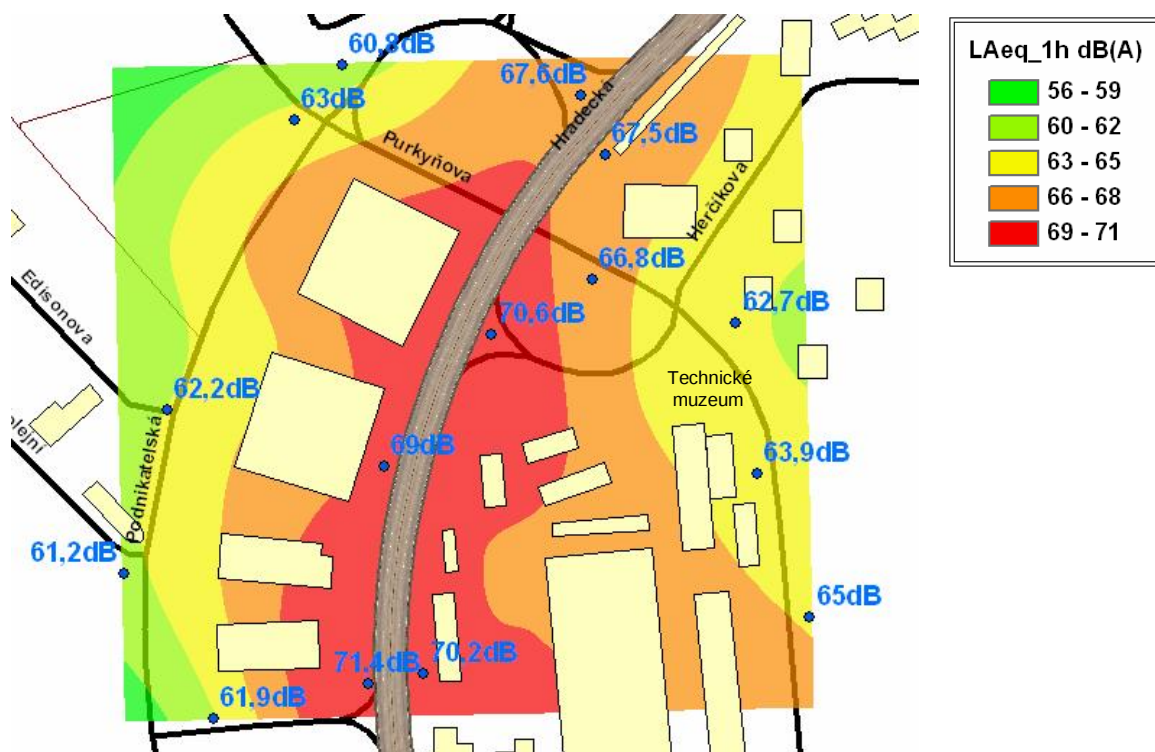
**Obrázek 6.5:** Rozmístění měřicích bodů



Obrázek 6.6: Hluková mapa v okolí ulice Hradecká



Obrázek 6.7: Mapa předpokládaných středních chyb



**Obrázek 6.8:** Hluková mapa vytvořená pomocí nadstavby Spatial Analyst

Pro srovnání je uvedena také hluková mapa, která byla vytvořena s využitím nadstavby Spatial Analyst. V tomto případě byla zvolena interpolační metoda Spline. Vytvořená mapa se oproti předchozí liší hlavně na okrajích, kde je pokles ekvivalentní hladiny akustického tlaku až na 56 dB(A), **Obrázek 6.8**. Tato oblast je již mimo prostor vyhrazený měřicími body. Proto výsledek v této části hlukové mapy nelze považovat za relevantní, ať je použita jakákoliv interpolační metoda. Zhodnocení přesnosti interpolace však pomocí nadstavby Spatial Analyst provést nelze.

#### 6.2.4 Analýza hlukové mapy

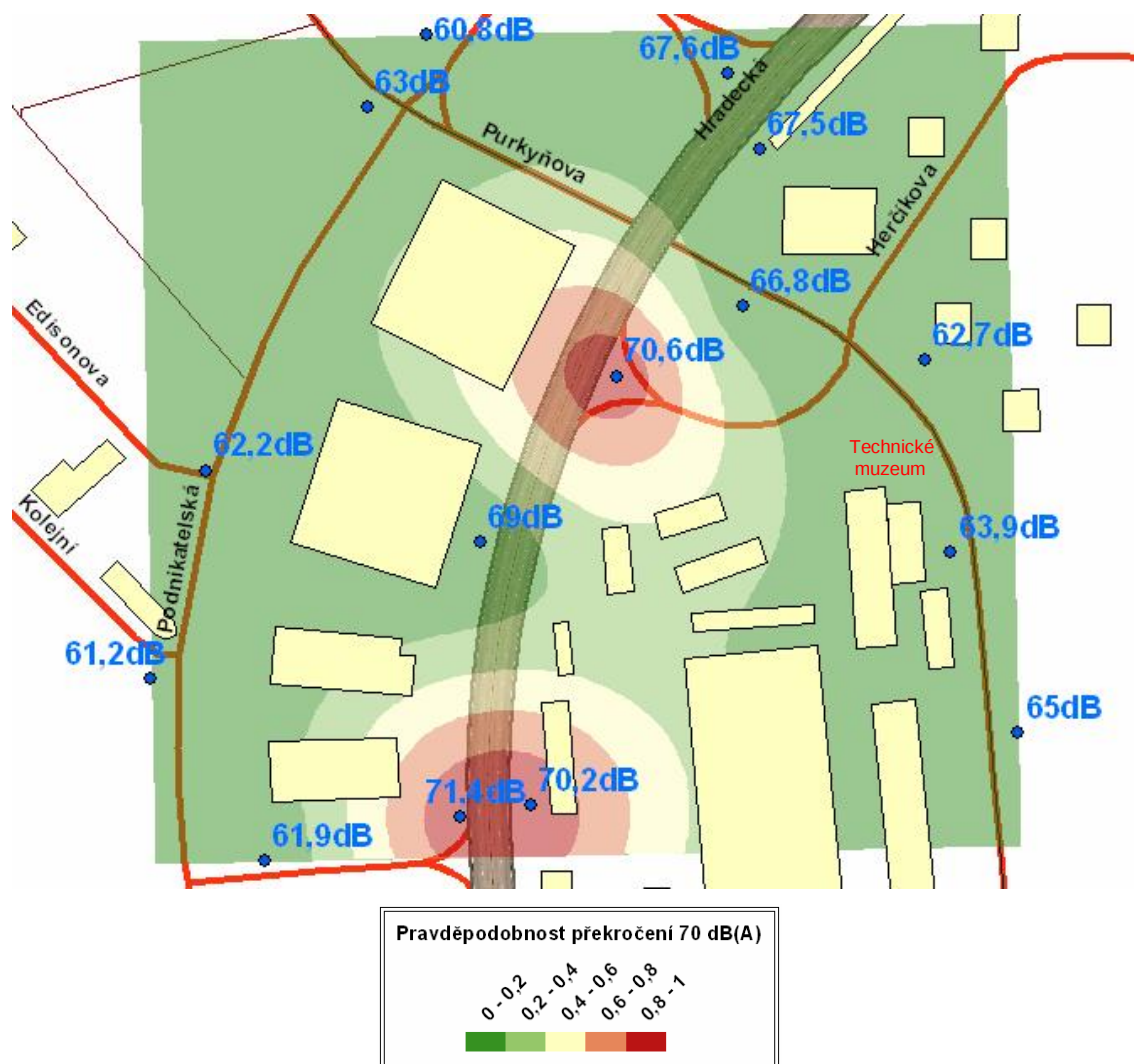
Získané výsledky a vytvořenou hlukovou mapu je nutné správně interpretovat. Přitom je zapotřebí přihlídnout ke skutečnosti, že interpolační algoritmus nepočítá s útlumem za překážkou, odrazem od budov apod., není-li v daném místě umístěn měřicí bod.

Ulici Hradeckou lze z hlediska nařízení vlády č. 148/2006 považovat za hlavní pozemní komunikaci, pro kterou pak platí hygienický limit 60 dB(A). Vzhledem k tomu, že tato pozemní komunikace byla v provozu již před začátkem roku 2001, lze použít korekci pro starou hlukovou zátěž, tedy přičtení korekce +20 dB k základnímu limitu pro venkovní prostor 50 dB(A). Výsledný limit je potom 70 dB(A). Vzhledem k tomu, že na ulici Purkyňově došlo v roce 2008 k prodloužení tramvajové tratě linky č.12 a 13 a zároveň byl postaven nový sjezd z ulice Hradecké, čímž došlo ke změně intenzity provozu i na ulici Podnikatelské, nelze pro tyto komunikace přiznat korekci pro starou hlukovou zátěž. Hygienickým limitem pro tyto komunikace je 55 dB(A).

Z hlukové mapy je patrné, že limit 55 dB(A) je jak na ulici Purkyňově tak na ulici Podnikatelské velmi výrazně překročen. Na ulici Hradecké se ekvivalentní hladina

akustického tlaku  $L_{Aeq_{1h}}$  pohybuje okolo hranice 70 dB(A), tedy těsně na pomezí hygienického limitu po přiznání korekce na starou hlukovou zátěž.

Pro lepší posouzení situace na ulici Hradecké je možné s využitím metody Indicator Kriging vytvořit pravděpodobnostní mapu. V tomto případě půjde o pravděpodobnost překročení kritické hodnoty 70 dB(A), **Obrázek 6.9**. Z pravděpodobnostní mapy lze odhadnout míru rizika překročení kritické hranice. Pro hygienický limit 55 dB(A) nemá smysl tuto analýzu provádět, neboť při všech měřeních byl tento limit překročen, mnohdy velmi výrazně.



**Obrázek 6.9:** Pravděpodobnostní mapa

Na základě vytvořené hlukové mapy lze tedy konstatovat, že hygienické limity zejména na ulici Purkyňově a Podnikatelské jsou překročeny a z hlediska dopravního hluku je tato situace neuspokojivá. Samozřejmě je nutné si uvědomit, že hluková mapa byla vytvořena na základě ekvivalentních hladin akustického tlaku naměřených za dobu jedné hodiny, nikoliv však za celou denní dobu. Protože v roce 2008 byla prodloužena tramvajová trať ze stanice Technické muzeum do stávající stanice Technologický park, měly by být hygienické limity v jejím okolí dodrženy. Ovšem na základě provedeného

měření je hygienický limit 55 dB(A) pro tuto komunikaci značně překročen – viz 63 a 60,8 dB(A) na křižovatce ulic Purkyňovy a Podnikatelské, **Obrázek 6.7**.

### 6.3 Měření hluku na balkónech budovy FEKT VUT

Cílem tohoto měření bylo zjistit, jak se v této lokalitě mění ekvivalentní hladina akustického tlaku se vzrůstající výškou nad povrchem terénu. Budova FEKT VUT má 7 nadzemních pater. Měření bylo provedeno na pěti balkónech, které jsou na straně budovy směrem k ulici Hradecké (3. až 7. nadzemní patro).

V každém patře byla naměřena jedna ekvivalentní hladina akustického tlaku. Doba měření jedné hladiny byla 1 hodina. Měřicí mikrofón byl umístěn kolmo na fasádu a ve výšce 1,2 metru nad podlahou. Vzdálenost mikrofónu od fasády byla 1 metr. Tato konfigurace je v souladu s [3].

#### 6.3.1 Meteorologické podmínky při měření

Měření hluku v budově FEKT bylo provedeno pouze ve dvou po sobě následujících dnech. Meteorologické podmínky v obou dnech měření podle **Tabulka 6.5** jsou srovnatelné, rychlost větru nepřekročila  $5 \text{ m.s}^{-1}$ . Nepříznivý vliv meteorologických podmínek na měření lze vyloučit.

**Tabulka 6.5:** Meteorologické podmínky při měření

| datum měření | teplota vzduchu<br>[°C] | Relativní vlhkost<br>[%] | Barometrický tlak<br>[hPa] | Rychlost větru<br>[m.s <sup>-1</sup> ] |
|--------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------------------|
| 17.3.2009    | 3,8                     | 79                       | 994,7                      | 0,1                                    |
| 19.3.2009    | 4,9                     | 53                       | 985,6                      | 3,1                                    |

#### 6.3.2 Zpracování a interpretace

Zdrojem hluku je jednak provoz na ulici Purkyňově, který je tvořen pravidelnou tramvajovou dopravou linky č. 12 a 13 a autobusovou linkou č. 53. Intenzita provozu je uvedena výše. Dále se projevuje hluk z ulice Hradecké a také z jejího sjezdu, který tvoří křižovatku s ulicí Purkyňovou. Situace je zobrazena na **Obrázek 6.10**. Budova FEKT je na obrázku červeně zvýrazněna, pozice měřicích bodů je vyznačena zeleným bodem.

Jak je patné z **Tabulka 6.6**, tak hodnota ekvivalentní hladiny akustického tlaku roste se vzrůstající výškou měřicího bodu nad povrchem terénu. Tento výsledek měření je patrně způsoben tím, že budova FEKT je oproti ulici Hradecké položena níže, jak je patné z **Obrázek 6.11** (tento model byl vytvořen v aplikaci ArcScene). Dopravní hluk z ulice Hradecké se pak projevuje až ve vyšších patrech (přímá viditelnost) a přidává se tak k hluku z ulice Purkyňovy a sjezdu z ulice Hradecké. V nižších patrech je hluk z ulice Hradecké patrně omezen vlivem přízemního efektu. Na **Obrázek 6.12** je bližší pohled na budovu FEKT a měřicí body.

Jelikož hlavním zdrojem hluku je provoz na Purkyňově ulici a sjezdu z ulice Hradecké, platí zde hygienický limit 55 dB(A). Jak je z výsledků na první pohled patné, tak uvedený limit je ve všech patrech, kde probíhalo měření, překročen. V sedmém nadzemním patře budovy FEKT dokonce o 6,8 dB.

**Tabulka 6.6:** Naměřené hodnoty  $L_{Aeq\_1h}$  v jednotlivých patrech

| nadzemní<br>podlaží | datum měření | den    | $L_{Aeq\_1hod}$ |
|---------------------|--------------|--------|-----------------|
|                     |              |        | [dB(A)]         |
| 3                   | 17.3.2009    | úterý  | 60,5            |
| 4                   | 17.3.2009    | úterý  | 60,9            |
| 5                   | 17.3.2009    | úterý  | 61,3            |
| 6                   | 19.3.2009    | středa | 61,5            |
| 7                   | 19.3.2009    | středa | 61,8            |



**Obrázek 6.10:** Situace v okolí budovy FEKT na ulici Purkyňově



**Obrázek 6.11:** Pohled na budovu FEKT z ulice Hradecké



Obrázek 6.12: Naměřené hodnoty

## 6.4 Hluková mapa Moravského náměstí

Moravské náměstí je významným dopravním uzlem, protože se zde kříží několik zejména tramvajových a trolejbusových linek. V jeho blízkosti se nachází rušná dopravní tepna – ulice Koliště. V centru Moravského náměstí je park, který je hojně využíván jako odpočinková zóna.

Na základě výše uvedených skutečností, je měření hluku v této části Brna důležité, protože během celého dne se zde vyskytuje velké množství lidí, kteří jsou působení dopravního hluku vystaveni.

### 6.4.1 Dopravní situace

Hlavním dopravním tahem je ulice Koliště, kde je intenzita provozu automobilové dopravy největší. Během měření bylo zjištěno, že v dopoledních hodinách mezi 8:00 a 12:00 dosahuje intenzita provozu až 1500 vozidel za jednu hodinu v obou směrech a zcela jistě překročí hranici 12 000 vozidel za 24 hodin. Maximální povolená rychlost na této komunikaci je 60 km.h<sup>-1</sup>.

Významnou složkou dopravy je městská hromadná doprava. Průměrná intenzita tramvajových linek za 1 hodinu v období mezi 8:00 a 12:00 je:

- linka č.1 – 24 souprav v obou směrech Moravské náměstí – Malinovského náměstí,
- linka č.3 – 12 souprav v obou směrech Moravské náměstí – Česká,
- linka č.5 – 24 souprav v obou směrech Moravské náměstí – Česká,
- linka č.6 – 24 souprav v obou směrech Moravské náměstí – Česká,

- linka č.11 – 12 souprav v obou směrech Moravské náměstí – Česká,
- linka č.12 – 7 souprav v jednom směru Česká – Moravské náměstí – Malinovského náměstí,
- linka č.13 – 6 souprav v jednom směru Česká – Moravské náměstí – Malinovského náměstí.

Průměrná intenzita provozu trolejbusových linek za 1 hodinu v rozmezí mezi 8:00 a 12:00 v obou směrech Česká – Smetanova (jede přes křižovatku ulic Kounicova a Koliště) je:

- linka č.29 – 6 vozů,
- linka č.32 – 12 vozů,
- linka č.34 – 6 vozů,
- linka č.36 – 12 vozů.

Informace o intenzitě provozu městské hromadné dopravy byly převzaty ze serveru [jizdnirady.idnes.cz](http://jizdnirady.idnes.cz).



**Obrázek 6.13:** Křižovatka Moravské náměstí a ulice Rooseveltova



**Obrázek 6.14:** Ulice Koliště



**Obrázek 6.15:** Křižovatka ulic Koliště a Kounicova

Intenzita automobilové dopravy na ostatních komunikacích se předpokládá minimálně 720 vozidel za 24 hodin. Ve skutečnosti je však mnohem vyšší, což bylo zjištěno sledováním během měření. Maximální povolená rychlost je 50 km.h<sup>-1</sup>. Při měřeních hluku ve více dnech se intenzita provozu měnila jen zanedbatelně. Dopravní situace je patrná z **Obrázek 6.13**, **6.14** a **6.15**.

#### 6.4.2 Meteorologické podmínky při měření

Měření hluku bylo provedeno v pěti dnech. Meteorologické podmínky v jednotlivých dnech měření jsou uvedeny v **Tabulka 6.7**. Z těchto hodnot vyplývá, že vliv počasí na měření lze vyloučit a meteorologické podmínky při měřeních jsou tedy srovnatelné.

**Tabulka 6.7:** Meteorologické podmínky při měření

| datum měření | teplota vzduchu<br>[°C] | Relativní vlhkost<br>[%] | Barometrický tlak<br>[hPa] | Rychlost větru<br>[m.s <sup>-1</sup> ] |
|--------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------------------|
| 15.4.2009    | 17,6                    | 42                       | 979,3                      | 1,3                                    |
| 16.4.2009    | 17,7                    | 35                       | 979,4                      | 3,1                                    |
| 21.4.2009    | 17,2                    | 21                       | 987,8                      | 3,5                                    |
| 22.4.2009    | 18,2                    | 32                       | 984,2                      | 2,2                                    |
| 23.4.2009    | 9,5                     | 69                       | 958,0                      | 3,7                                    |

#### 6.4.3 Zpracování

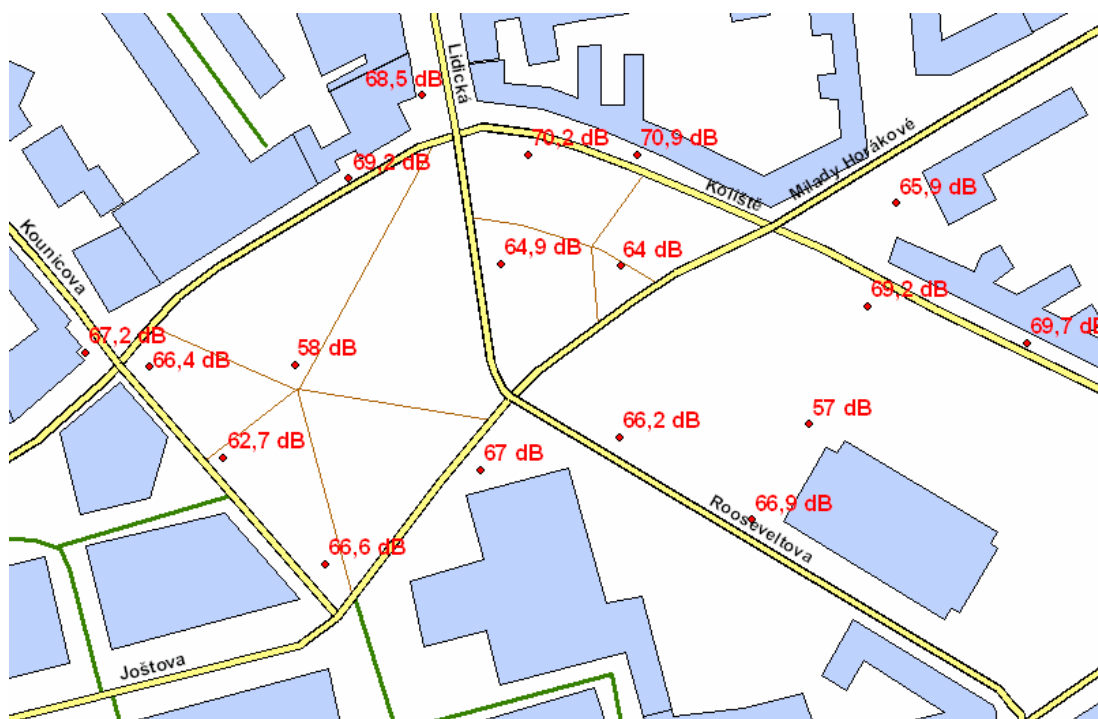
Naměřené hodnoty jsou zpracovány a uvedeny v **Tabulka 6.8**. Maximální naměřená hodnota byla 70,9 dB(A) na ulici Koliště, minimální naměřená hodnota pak 57 dB(A) u Janáčkova divadla na ulici Rooseveltova, viz **Obrázek 6.16**.

Hluková mapa byla vytvořena metodou Ordinary Kriging v prostředí nadstavby Geostatistical Analyst, **Obrázek 6.17**. Hodnota ekvivalentní hladiny akustického tlaku se na většině zájmového území pohybuje v rozmezí mezi 65 – 67 dB(A). Na výsledek predikce má vliv rozmístění a počet měřicích bodů. Na **Obrázek 6.18** je mapa předpokládaných středních chyb predikce. Z této mapy je patrné, kde je tzv. chyba

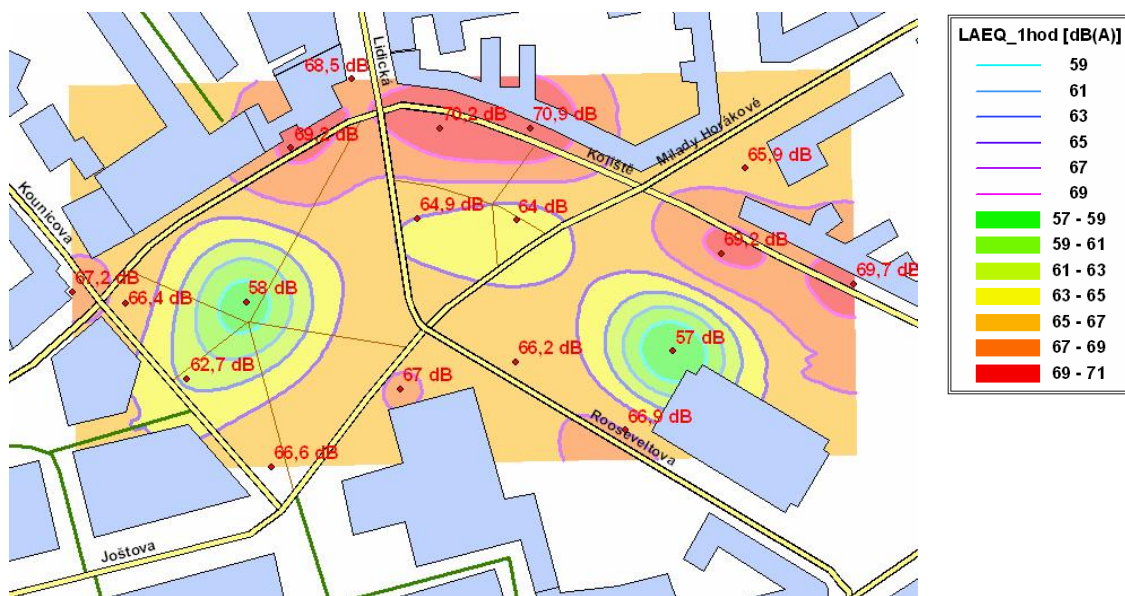
predikce nejmenší a lze tedy očekávat nejpřesnější odhad. Počet měřicích bodů i jejich rozmístění je podle mapy předpokládaných středních chyb dostatečné.

**Tabulka 6.8:** Naměřené hodnoty

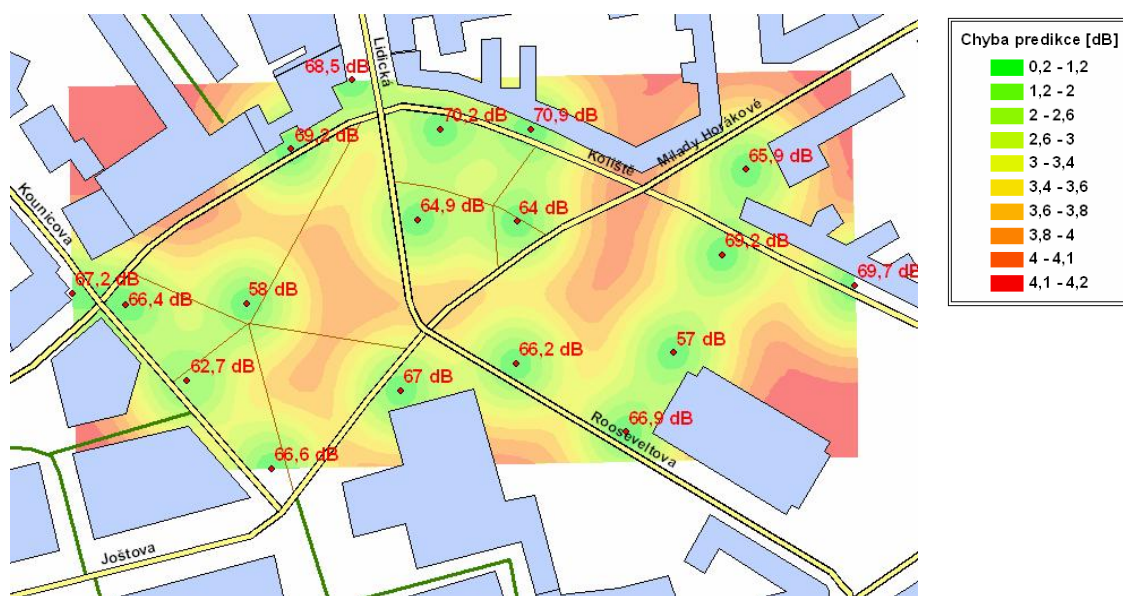
| měřicí bod | datum měření | den     | L <sub>Aeq_1hod</sub><br>[dB(A)] |
|------------|--------------|---------|----------------------------------|
|            |              |         |                                  |
| 1          | 15.4.2009    | středa  | 70,9                             |
| 2          | 15.4.2009    | středa  | 70,2                             |
| 3          | 15.4.2009    | středa  | 68,5                             |
| 4          | 15.4.2009    | středa  | 69,2                             |
| 5          | 16.4.2009    | čtvrtek | 67,2                             |
| 6          | 16.4.2009    | čtvrtek | 66,4                             |
| 7          | 16.4.2009    | čtvrtek | 62,7                             |
| 8          | 21.4.2009    | úterý   | 58,0                             |
| 9          | 21.4.2009    | úterý   | 66,6                             |
| 10         | 21.4.2009    | úterý   | 67,0                             |
| 11         | 21.4.2009    | úterý   | 66,9                             |
| 12         | 22.4.2009    | středa  | 57,0                             |
| 13         | 22.4.2009    | středa  | 66,2                             |
| 14         | 22.4.2009    | středa  | 69,7                             |
| 15         | 22.4.2009    | středa  | 69,2                             |
| 16         | 23.4.2009    | čtvrtek | 65,9                             |
| 17         | 23.4.2009    | čtvrtek | 64,0                             |
| 18         | 23.4.2009    | čtvrtek | 64,9                             |



**Obrázek 6.16:** Rozmístění měřicích bodů



Obrázek 6.17: Hluková mapa Moravského náměstí



Obrázek 6.18: Mapa předpokládaných středních chyb

#### 6.4.4 Analýza hlukové mapy

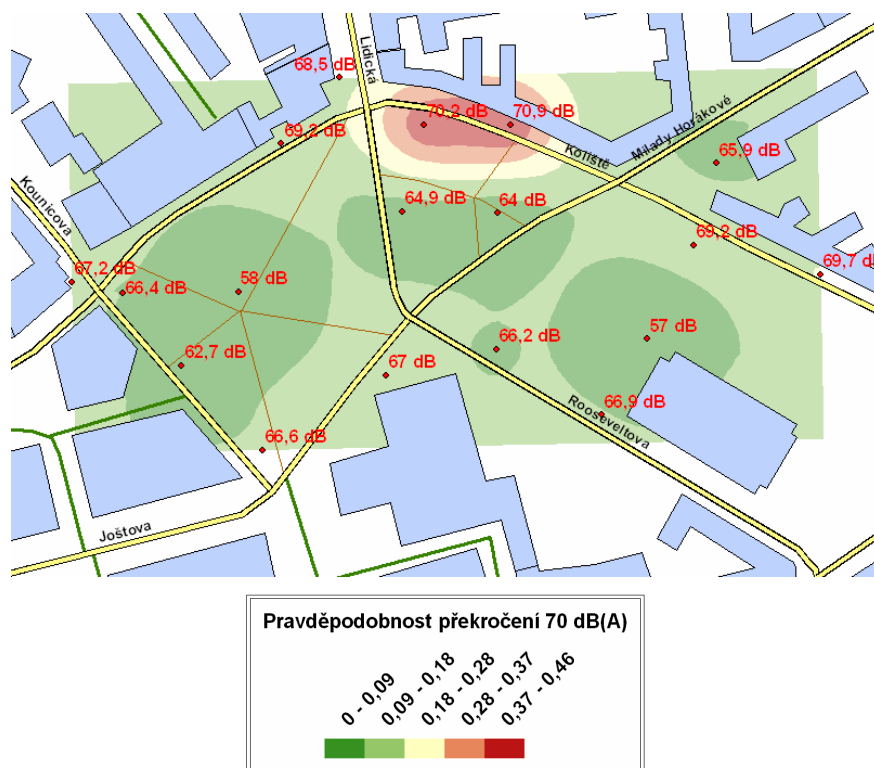
Stejně jako v předchozích případech je zapotřebí určit, zda jsou dodrženy hygienické limity ve smyslu nařízení vlády č. 148/2006. Pro všechny posuzované pozemní komunikace s výjimkou ulice Koliště platí základní limit pro hluk z pozemních komunikací 55 dB(A). Ulice Koliště tvoří v této lokalitě hlavní tah a hluk z této komunikace je převažující. Lze tedy přičíst korekci +10 dB a zvýšit hygienický limit na 60 dB (A). Dále je třeba zvážit zda by mohla být v této lokalitě přiznána korekce pro starou hlukovou zátěž. Všechny uvažované pozemní komunikace byly v provozu již před začátkem roku 2001. V případě použití této korekce, by byly hygienické limity v podstatě

dodrženy v celé lokalitě, což je patrné z hlukové mapy **Obrázek 6.17**. Rozhodnutí o přiznání této korekce však náleží Krajské hygienické stanici.

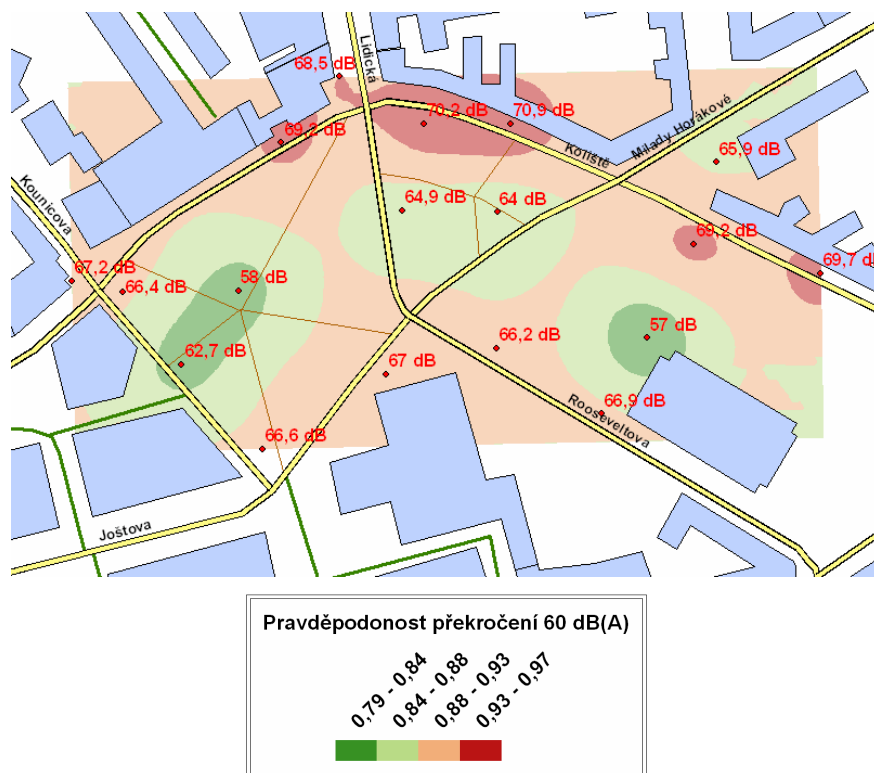
Opět je možné využít pravděpodobnostní mapu ke zhodnocení pravděpodobnosti překročení určité hodnoty. Pokud by byla pro celé Moravské náměstí přiznána korekce pro starou hlukovou zátěž, můžeme posoudit s jakou pravděpodobností by došlo k překročení ekvivalentní hladiny akustického tlaku 70 dB(A) určenou za dobu jedné hodiny. Tato situace je na **Obrázek 6.19**. K překročení 70 dB(A) by zřejmě došlo jen v části okolí ulice Koliště. Stejně lze postupovat např. pro pravděpodobnost překročení hladiny 60 dB(A), jak je na **Obrázek 6.20**, kde se tato pravděpodobnost pohybuje okolo 90 % téměř na celém území Moravského náměstí.

S výjimkou centra Moravského náměstí, kde byla naměřena hodnota  $L_{Aeq\_1h} = 58$  dB(A) a hodnoty  $L_{Aeq\_1h} = 57$  dB(A) u Janáčkova divadla, jsou všechny další naměřené hodnoty  $L_{Aeq\_1h}$  vyšší než 60 dB(A). Proto lze konstatovat, že hygienické limity pro hluk z dopravy jsou v okolí Moravského náměstí překročeny. V úvahu je třeba vzít, že ekvivalentní hladiny akustického tlaku byly měřeny po dobu jedné hodiny, nikoliv však po celou denní dobu od 6:00 – 22:00 hodin.

Vzhledem k tomu, že Moravské náměstí a ulice Koliště jsou důležitým dopravním uzlem, dá se předpokládat, že by zde byla přiznána korekce pro starou hlukovou zátěž, čímž by byly hygienické limity splněny. Technické řešení ve smyslu protihlukových bariér apod., je totiž v této lokalitě vzhledem k jejímu charakteru velmi problematické a v podstatě nerealizovatelné.



**Obrázek 6.19:** Pravděpodobnostní mapa překročení 70 dB (A)



**Obrázek 6.20:** Pravděpodobnostní mapa překročení 60 dB(A)

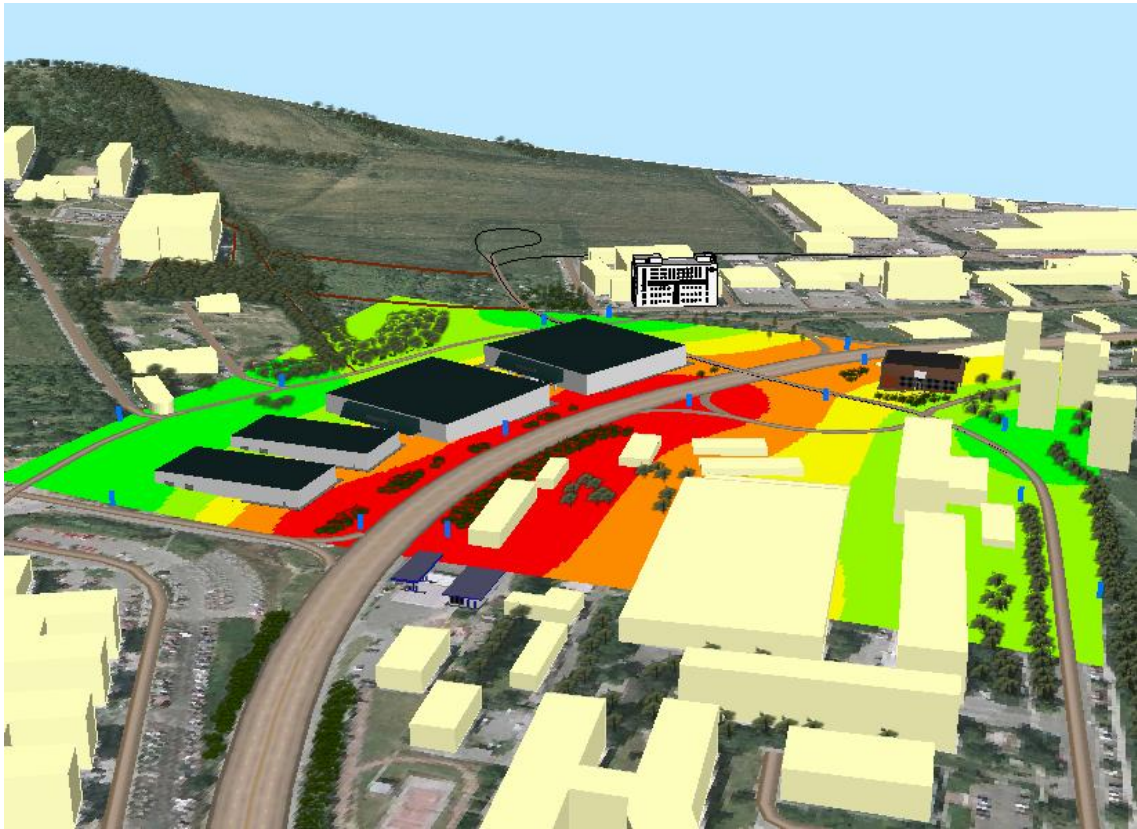
## 6.5 Hluková mapa v 3D

Výsledky, které dostaneme na základě měření hluku a vytvořením hlukové mapy je zapotřebí posoudit komplexně a jsou-li překročeny hygienické limity, navrhnout účinné řešení tohoto problému. Často jsou navrhovány různé protihlukové bariéry, které sníží ekvivalentní hladinu akustického tlaku za touto bariérou na potřebnou úroveň. Aby bylo vůbec možné navrhnout nějaké řešení, je zapotřebí mít dostatečné informace nejen o dopravní situaci v dané lokalitě, ale také o celkové konfiguraci území, jako je rozmístění a výška budov, poloha silnice a její sklon, výška zeleně apod. Právě pro tyto účely je vhodné vytvořit 3D model terénu, který nám umožňuje efektivní řešení a vyhodnocení dané situace. Potřebnými nástroji pro vytvoření tohoto modelu disponuje nadstavba ArcGIS 3D Analyst, jejíž struktura byla již popsána. Základem je využití aplikace ArcScene, která slouží pro vizualizaci stávajících dat v 3D.

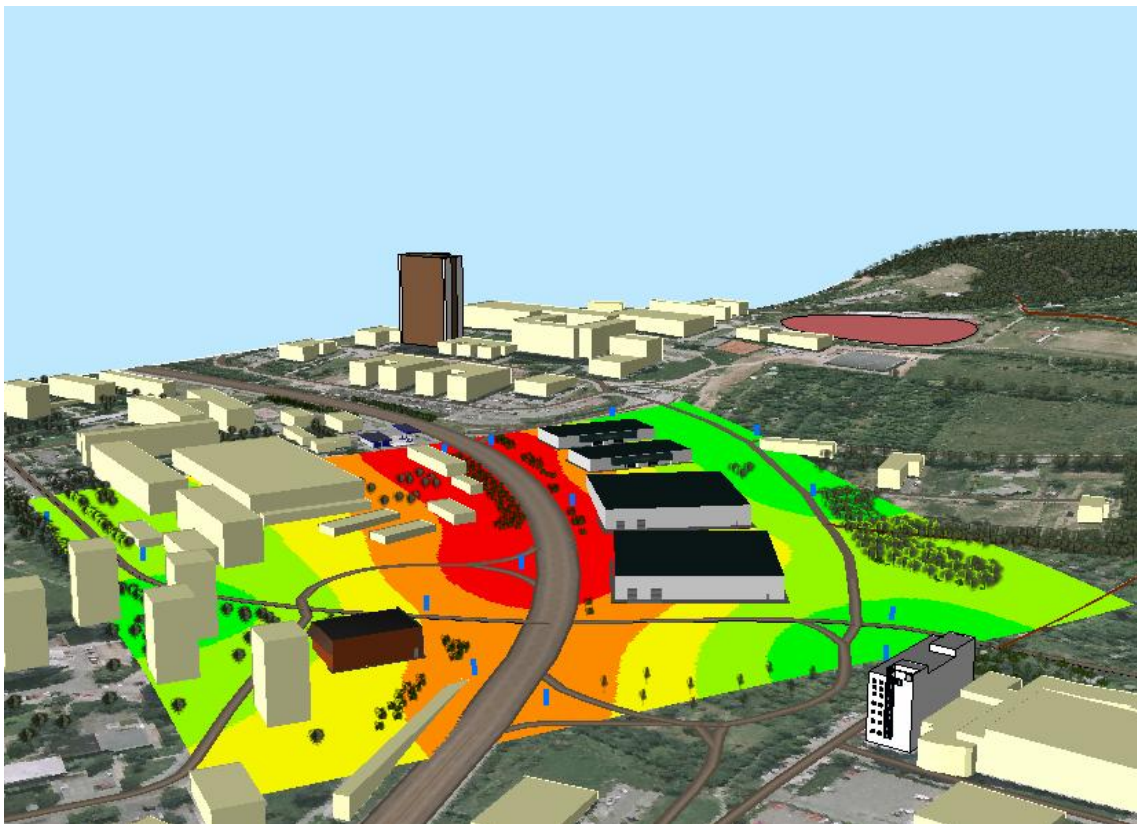
Hluková mapa okolí ulice Hradecké je zobrazena na **Obrázek 6.21** a **6.22**. Z obrázků je daleko lépe patrný charakter terénu. Zejména je mnohem lépe vidět stoupající charakter ulice Hradecké a poloha budovy FEKT na ulici Purkyňově, kde probíhalo měření hluku na balkónech.

Situace na Moravském náměstí je zachycena na **Obrázek 6.23** a **6.24**. Zde je vhodné si povšimnout role vzrostlé zeleně v centru Moravského náměstí, která do jisté míry slouží jako protihluková bariéra. Tento aspekt v 2D zobrazení není tak viditelný jako v 3D modelu.

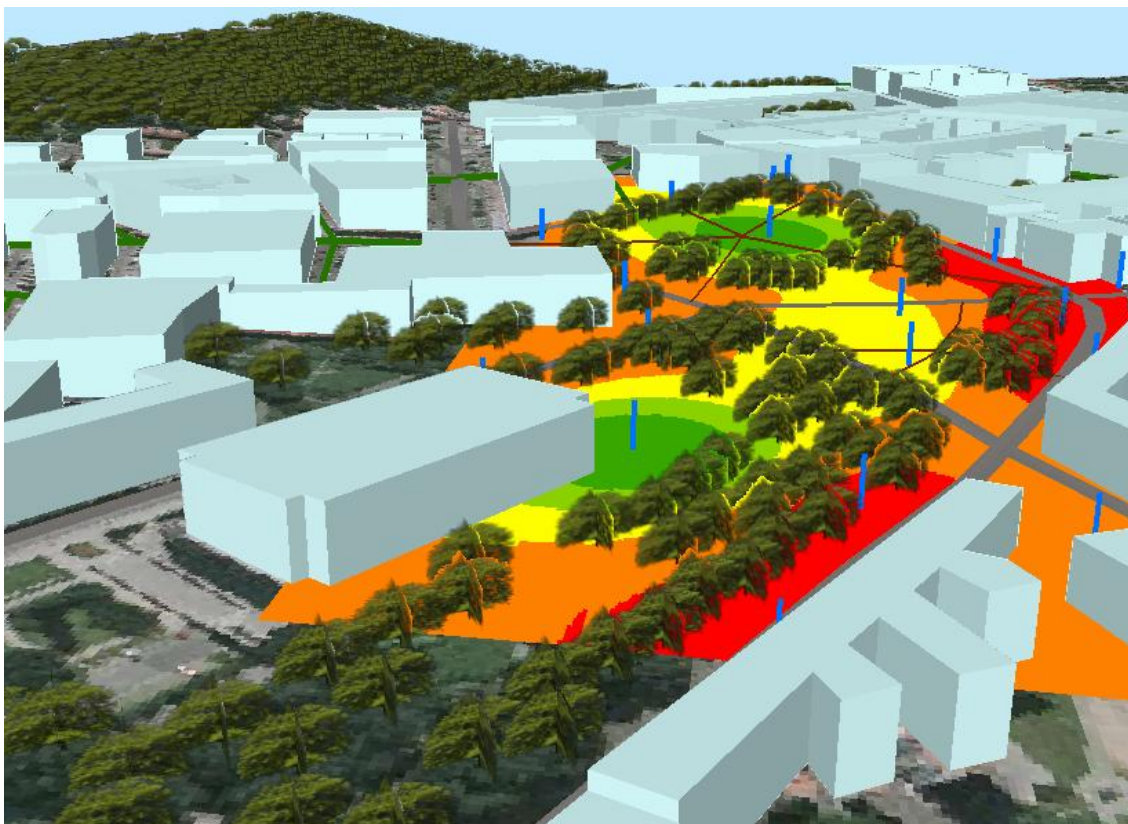
Výšky budov v obou 3D modelech byly zvoleny pouze orientačně ze znalosti daného území. Nadmořské výšky pro tvorbu 3D modelu území byly převzaty z aplikace Google Earth [11].



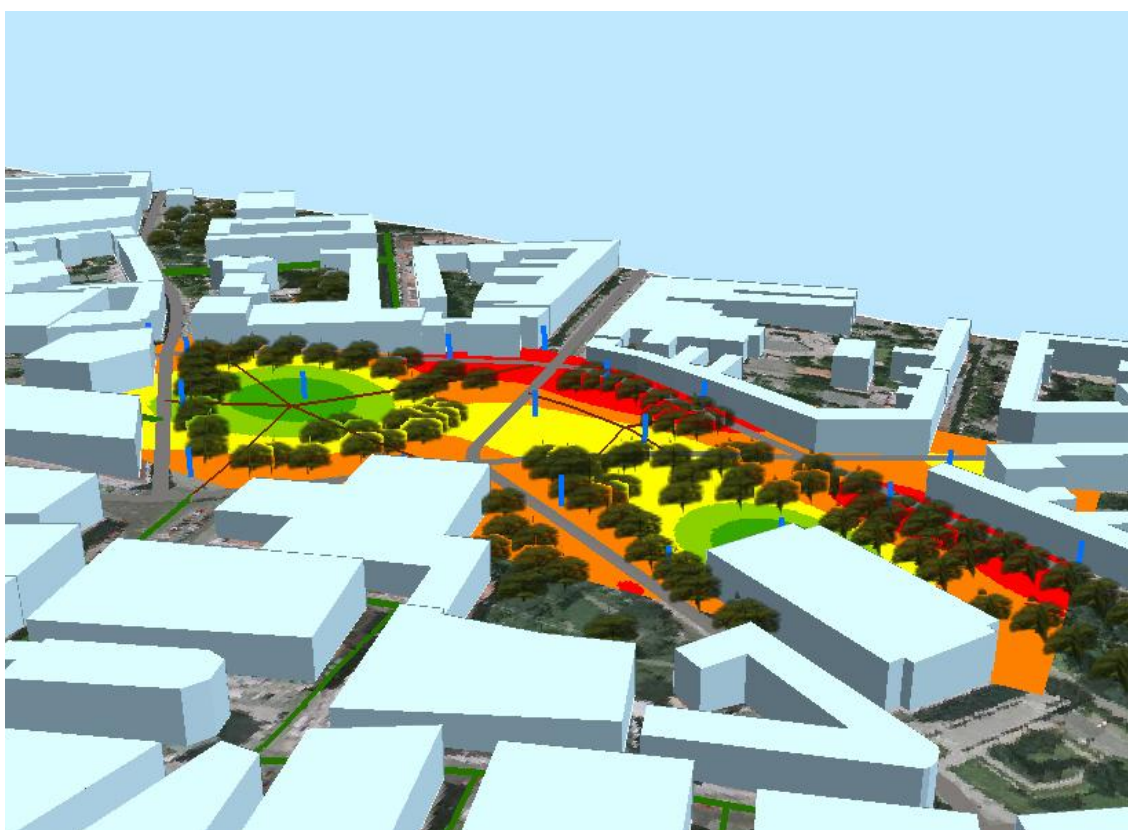
**Obrázek 6.21:** Hluková mapa okolí ulice Hradecké v 3D



**Obrázek 6.22:** Hluková mapa okolí ulice Hradecké pohled z druhé strany



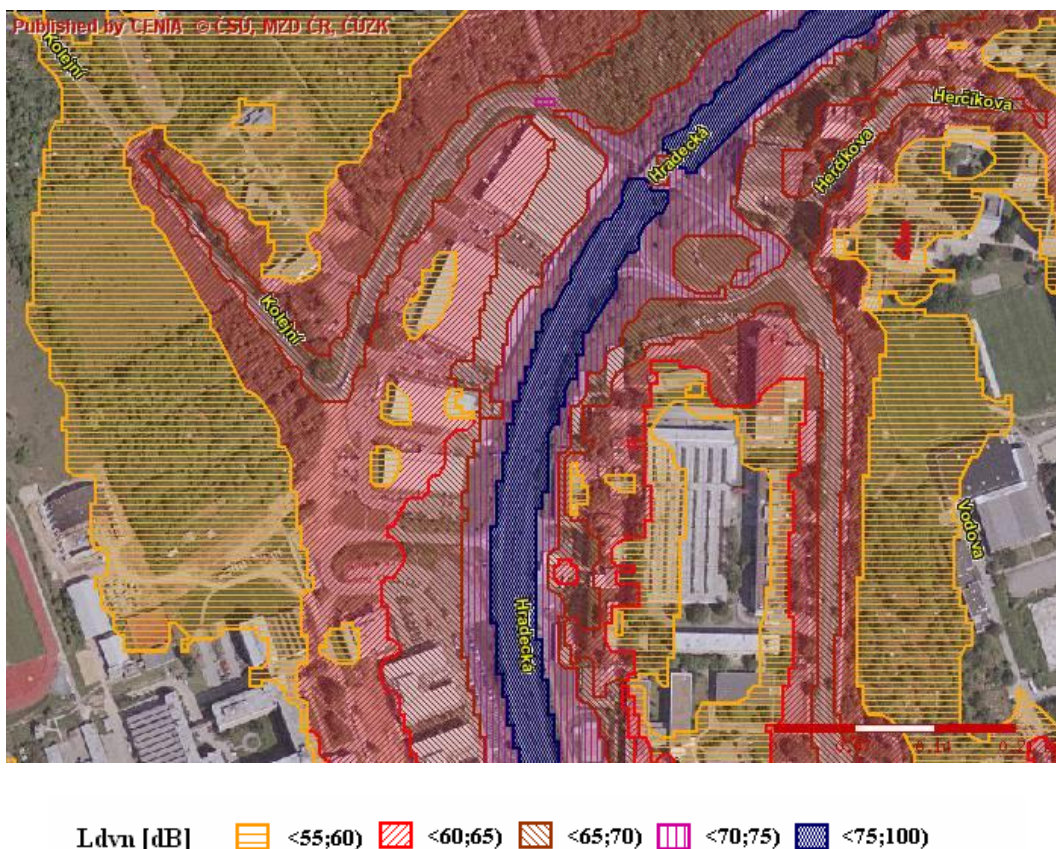
**Obrázek 6.23:** Hluková mapa Moravského náměstí v 3D



**Obrázek 6.24:** Hluková mapa Moravského náměstí pohled z jiné strany

## 6.6 Porovnání se strategickými hlukovými mapami

Na základě evropské směrnice č. 2002/49/ES [8] vypracovalo Ministerstvo zdravotnictví ČR strategické hlukové mapy a na konci ledna 2008 je zpřístupnilo pro veřejnost na svých internetových stránkách. Dostupné jsou též na <http://www.geoportal.cenia.cz/>, [27]. Strategické hlukové mapy jsou zmíněny z důvodu alespoň orientačního porovnání s hlukovými mapami, vytvořenými na základě měření v rámci diplomové práce.



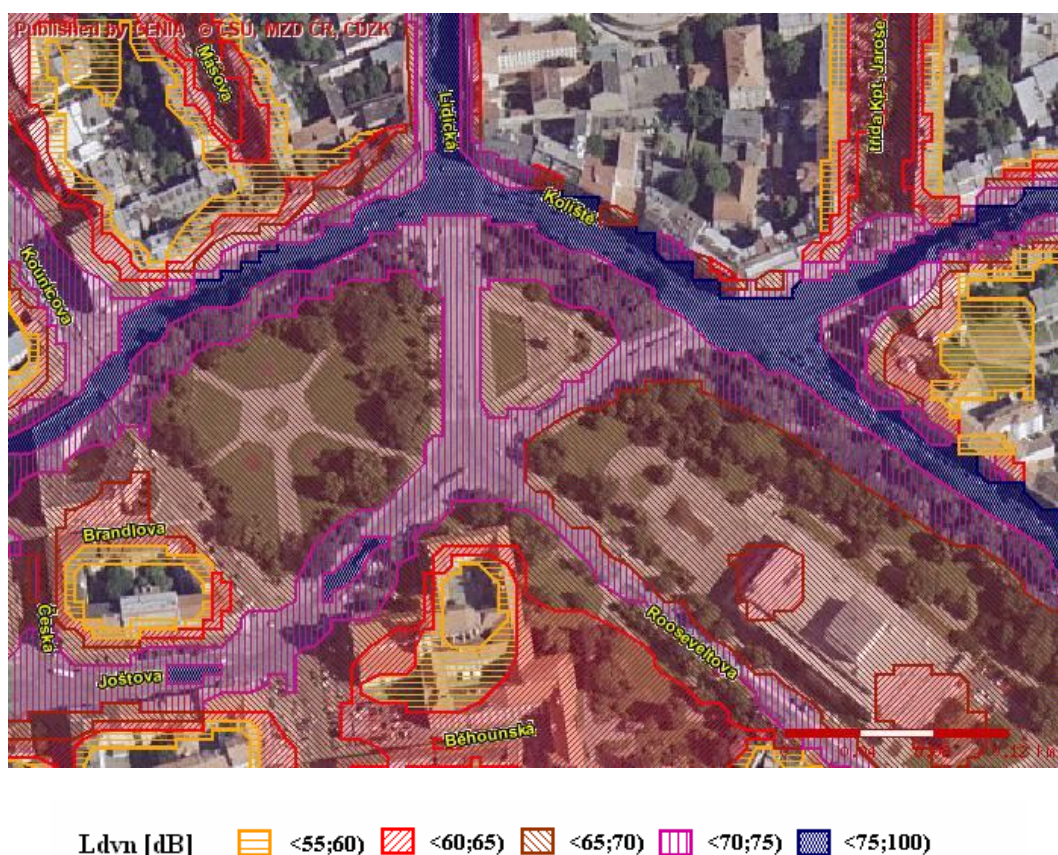
Obrázek 6.25: Strategická hluková mapa okolí ulice Hradecké

Na **Obrázek 6.25** a **6.26** jsou strategické hlukové mapy okolí ulice Hradecké a Moravského náměstí v Brně, které zobrazují hodnotu ukazatele  $L_{dvn}$  pro celodenní obtěžování hlukem (den,večer,noc). Mezní hodnota tohoto ukazatele je 70 dB.

Ve strategické hlukové mapě na **Obrázek 6.25** je mezní hodnota ukazatele  $L_{dvn}$  překročena v blízkém okolí ulice Hradecké a okolo dalších komunikací se pak pohybuje na hranici mezní hodnoty. Zde je zapotřebí uvést, že hluková mapa byla zpracována v době, kdy nebyla dokončena stavby prodloužené tramvajové trati linky č. 12 a 13 na ulici Purkyňově. Uvážením těchto změn v intenzitě dopravy by zcela jistě došlo ke změnám i v hlukové mapě.

Na Moravském náměstí, **Obrázek 6.26**, je situace o něco horší, neboť zde je poměrně velká část území zasažena nadlimitním hlukem. V centrální části Moravského

náměstí a okolí Janáčkova divadla se hodnota ukazatele  $L_{dvn}$  pohybuje v rozmezí 65 až 70 dB, tedy na hranici překročení mezní hodnoty. Je tedy patrné, že Moravské náměstí a jeho okolí je podstatným způsobem zatíženo hlukem z pozemních komunikací. S ohledem na počet lidí, kteří se během dne v této oblasti vyskytují, je tato situace nepříznivá. Strategická hluková mapa Moravského náměstí a závěry z ní odvozené, jsou v dobrém souladu s hlukovou mapou vytvořenou na základě měření v rámci diplomové práce.



Obrázek 6.26: Strategická hluková mapa Moravského náměstí

## 7 Závěr

Cílem diplomové práce bylo praktické měření dopravního hluku, zpracování naměřených dat a vytvoření hlukových map zvolených lokalit s využitím geografického informačního systému ArcView 9.2 a jeho nadstaveb.

První část diplomové práce je věnována teoretickému základu. Rozebrána je teorie šíření zvuku, základní fyzikální veličiny pro popis zvuku a akustické deskriptory používané při měření hluku. Zmíněny jsou též nepříznivé účinky hluku na lidský organismus a jeho zdraví. Na fyzikální základy navazuje kapitola zabývající se měřicí technikou a vlastním měřením hluku. Uvedeny jsou požadavky na protokol o měření a metodika měření dopravního hluku. S tím souvisejí také hygienické limity, které jsou předmětem nařízení vlády č. 148/2006 Sb. Podrobně jsou uvedeny pouze limity, které se vztahují k hluku z pozemních komunikací. Následuje kapitola zaměřená na geografický informační systém ArcView a jeho nadstavby Geostatistical Analyst, Spatial Analyst a 3D Analyst, které byly využity při zpracování diplomové práce.

V rámci praktické části diplomové práce byla provedena měření hluku z dopravy v okolí ulice Hradecké v Králově poli, na balkónech budovy FEKT VUT v Brně na ulici Purkyňova 118 a dále v okolí Moravského náměstí v Brně. Při měřeních byl kladen důraz na dodržení příslušné metodiky. Jelikož měření hluku bylo prováděno pouze jednou osobou, nebylo je tedy možné uskutečnit v jeden čas na všech měřicích bodech v dané lokalitě. Proto bylo měření rozvrženo do několika dní a to vždy v úterý, středu nebo čtvrtek od 8:00 do 12:00. V těchto dnech je zaručena přibližně stejná intenzita provozu. Měření hluku bylo vždy prováděno za srovnatelných meteorologických podmínek, které jsou uvedeny spolu s naměřenými hodnotami. Doba měření jedné ekvivalentní hladiny akustického tlaku na jednom místě byla jedna hodina, což je s ohledem na intenzitu provozu na příslušných komunikacích dostatečná doba pro objektivní hodnocení. Geografická poloha měřicích bodů byla zaměřena pomocí GPS přijímače.

V prostředí geografického informačního systému ArcView byly vytvořeny mapy zájmových území ve vektorovém formátu podle předlohy ze serveru Mapy.cz. Naměřené hodnoty byly zpracovány formou hlukových map zejména s použitím nadstavby Geostatistical Analyst, která disponuje vhodnými nástroji nejen pro interpolaci, ale také pro analýzu vytvořených vrstev. Naměřené hodnoty a vytvořené hlukové mapy jsou podrobně okomentovány s ohledem na dodržení hygienických limitů a výsledky jsou porovnány se strategickými hlukovými mapami příslušných lokalit, které v souladu s evropskou směrnicí č. 2002/49/ES vytvořilo Ministerstvo zdravotnictví ČR.

Pomocí aplikace ArcScene, která je součástí nadstavby 3D Analyst, byly vytvořeny 3D modely zájmových území a zobrazeny spolu s hlukovými mapami. Tento způsob prezentace hlukových map sebou přináší výrazně lepší možnosti při jejich interpretaci. Toho bylo využito zejména při vyhodnocení měření hluku na balkónech budovy FEKT. 3D model budovy byl vytvořen v prostředí volně dostupné aplikace Google SketchUp.

Geografický informační systém ArcView a jeho nadstavby Spatial Analyst, Geostatistical Analyst a 3D Analyst jsou tedy na základě výše uvedených skutečností vhodným nástrojem pro tvorbu a analýzu hlukových map.

Závěrem lze konstatovat, že veškeré požadavky stanovené zadáním diplomové práce, byly splněny.

# Seznam použité literatury

- [1] SMETANA, Ctirad. *Hluk a vibrace, měření a hodnocení*. 1. vyd. Praha : Sdělovací technika, 1998. 188s. ISBN 80-90-1936-2-5
- [2] ROZMAN, Jiří; SADOVSKÝ, Petr; ČERMÁK, David. *Diagnostika životního prostředí*. Brno: VUTIUM, 2000. 136s. ISBN 80-214-1771-4
- [3] MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ – HLAVNÍ HYGIENIK ČESKÉ REPUBLIKY. *Metodický návod pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí* [online]. Praha, 11.12.2001.  
Č.j. HEM-300-11.12.01-34065. [cit.2008-03-22]. Dostupné na WWW :  
< [http://www.nrl.cz/metodika/postup\\_prostredi.php](http://www.nrl.cz/metodika/postup_prostredi.php) >
- [4] ARCDATA PRAHA S.R.O. *ArcGIS 3D Analyst* [online]. Praha  
[cit. 2008-03-20]. Dostupné na WWW :  
<<http://old.arcdata.cz/download/doc/2006/ArcGIS-3D-Analyst.pdf> >.
- [5] ARCDATA PRAHA, s.r.o. *Co je ArcGIS ?* [online]. Praha [cit. 2008-03-20].  
Dostupné na WWW :  
<<http://old.arcdata.cz/download/doc/2005/Co-je-ArcGIS-90.pdf> >.
- [6] GARMIN INTERNATIONAL INC. *GPSMAP 60CSx* [online].  
[cit. 2008-03-18]. Dostupné na WWW : < <http://www.garmin.cz/> >.
- [7] NTI AG. *ACOUSTILYZER User Manual* [online]. Liechtenstein  
[cit. 2008-03-10]. Dostupné na WWW : <[www.nti-audio.com/](http://www.nti-audio.com/) >.
- [8] DOUCHA, Pavel; BERNARD, Michal; FADRŇÝ, Martin; MATĚJKA, Lukáš. *Hluk ve vnějším prostředí. Právní rádce občana obtěžovaného hlukem* [online]. Tábor : Ekologický právní servis, 2007 [cit. 2009-02-12]. Dostupné na WWW:  
<[http://hluk.eps.cz/files/Hluk\\_brozura.pdf](http://hluk.eps.cz/files/Hluk_brozura.pdf)>
- [9] SEZNAM.CZ, a.s. *Mapy.cz – mapa Evropy, České republiky, plány měst a obcí ČR* [online]. 2005, [cit. 2008-03-15].  
Dostupné na WWW : < <http://www.mapy.cz/> >.
- [10] *Nařízení vlády č. 148 ze dne 15. března 2006 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací* [online]. 2006. [cit. 2008-03-12].  
Dostupné na WWW : <<http://www.nrl.cz/hluk/legislativa/NV-148-2006.pdf>>.
- [11] GOOGLE. *Google Earth 4.3.7191.6508 (beta)* [online]. 2008.  
Dostupné na WWW : < <http://earth.google.com/intl/cs/download-earth.html> >.
- [12] CHOLAVA, Rudolf. *Modelování dopravního hluku* [online]. Brno  
[cit. 2009-02-10]. Dostupné na WWW :  
<[http://www.czp.cuni.cz/tranext/files/Cholava\\_modelovani\\_hluk.pdf](http://www.czp.cuni.cz/tranext/files/Cholava_modelovani_hluk.pdf)>

- [13] *Planeta 2005* [online]. Praha : Ministerstvo životního prostředí, 2005- [cit. 2009-02-10]. Dostupné na WWW :  
<<http://www.rsd.cz/doc/Technicke-predpisy/Ochrana-zivotniho-prostredi/metodika-pro-vypocet-hladin-hluku-z-automobilove-dopravy>>  
ISSN 1213-3393
- [14] ORLÍK, Antonín. Modelování hluku v prostředí Arc/Info.*ArcRevue*, 2005, roč. 14, č. 2, s. 7 – 8. ISSN 1211 – 2135
- [15] METEOROLOGICKÁ STANICE FAST VUT V BRNĚ [online]. Brno: Ústav vodního hospodářství krajiny FAST VUT. [cit. 2009-03-24]. Dostupné na WWW : <<http://www.fce.vutbr.cz/vhk/meteo.html>>
- [16] MIŠUN, Vojtěch. *Vibrace a hluk*. 2.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2005. 177s. ISBN 80-214-3060-5
- [17] RAPANT, Petr. *Geoinformační technologie* [online]. Ostrava: Institut geoinformatiky, HGF VŠB – TU, 2005 [cit. 2009-03-05]. Vysokoškolská skripta. Dostupné na WWW : < <http://gis.vsb.cz/dokumenty/git> >
- [18] HORÁK, Jiří. *Prostorové analýzy dat* [online]. Ostrava: Institut geoinformatiky HGF VŠB-TU, 2006 [cit. 2009-03-20]. Vysokoškolská skripta. Dostupné na WWW:  
<[http://gislinb.vsb.cz/~hor10/PAD/Skripta/PAD\\_skriptaF11.pdf](http://gislinb.vsb.cz/~hor10/PAD/Skripta/PAD_skriptaF11.pdf)>
- [19] *Vyhláška č. 523/2006 Sb.* [online]. 2006. [cit. 2009-03-20]. Dostupné na WWW:  
<<http://portal.gov.cz/>>
- [20] KANG-TING TSAI; MIN-DER LIN; YEN-HUA CHEN. *Noise mapping in urban environments: Taiwan study* [online]. National Chung Hsing University, No. 250 Kuo-Kuang Road, Taichung 402, Taiwan, 2009 [cit. 2009-03-30]. Dostupné na WWW: <<http://www.sciencedirect.com>>
- [21] ESRI. *ArcGIS Desktop Help 9.2* [online]. New York [cit. 2009-04-08]. Dostupné na WWW :  
<<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=welcome>>
- [22] ARCDATA PRAHA S.R.O. *ArcView* [online].Praha [cit. 2009-03-20]. Dostupné na WWW: < <http://old.arcdata.cz/download/doc/2006/ArcView.pdf>>
- [23] ARCDATA PRAHA S.R.O. *ArcGIS Spatial Analyst* [online].Praha [cit. 2009-03-20]. Dostupné na WWW:  
<<http://old.arcdata.cz/download/doc/2006/ArcGIS-Spatial-Analyst.pdf>>
- [24] ARCDATA PRAHA S.R.O. *ArcGIS Geostatistical Analyst* [online].Praha [cit. 2009-03-20]. Dostupné na WWW:  
<<http://download.arcdata.cz/doc/2006/ArcGIS-Geostatistical-Analyst.pdf>>

- [25] RAPANT, Petr. *Úvod do geografických informačních systémů* [online]. Ostrava: Institut ekonomiky a systémů řízení, Oddělení GIS, HGF VŠB-TU, 2002 [cit. 2009-03-15]. Vysokoškolská skripta. Dostupné na WWW: <<http://gis.vsb.cz/dokumenty/ugis>>
- [26] LÁDYŠ, Libor. *Hlukové mapy v ČR*. In *Zatížení vnitřního města individuální automobilovou dopravou – zapojení občanů do řešení této problematiky, Praha 19. – 20. května 2005*. Sborník [online]. 2005 [cit. 2009-02-08]. Dostupné na WWW: <[www.sospraha.cz/doprava/seminar05/soubory/hlukove-mapy-Ladys.doc](http://www.sospraha.cz/doprava/seminar05/soubory/hlukove-mapy-Ladys.doc)>
- [27] Ministerstvo zdravotnictví ČR. *Strategická hluková mapa Prahy, Brna, Ostravy a letiště Ruzyně* [online]. 2007. Dostupné na WWW: <<http://geoportal.cenia.cz>>
- [28] *Zákon o drahách č. 266/1994 Sb.* [online]. 1994. [cit. 2009-03-20]. Dostupné na WWW: <<http://portal.gov.cz/>>
- [29] *Zákon o ochraně veřejného zdraví č. 258/2000 Sb.* [online]. 2000. [cit. 2009-03-20]. Dostupné na WWW: < <http://portal.gov.cz/>>

# Seznam použitých zkratek a symbolů

|                    |                                                                                                                  |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2D                 | Dvourozměrný                                                                                                     |
| 3D                 | Třírozměrný                                                                                                      |
| GIS                | Geografický informační systém (z anglického: Geographic Information System)                                      |
| GPS                | Družicový navigační systém (z anglického: Global Positioning System)                                             |
| IDW                | Metoda inverzního vážení (z anglického: Inverse Distance Weighted)                                               |
| PC                 | Osobní počítač (z anglického: personal Computer)                                                                 |
| SEL                | Sekundové hladiny (z anglického: Sound Exposure Level)                                                           |
| VRML               | Grafický formát založený na deklarativním programovacím jazyce (z anglického: Virtual Reality Modeling Language) |
| WMS                | Webová mapová služba (z anglického: Web Map Service)                                                             |
| $\gamma(h)$        | funkce semivariogramu                                                                                            |
| $\varepsilon$      | náhodná chyba odhadu                                                                                             |
| $\lambda$          | vlnová délka [m]                                                                                                 |
| $\lambda_i$        | neznámá váha u metody Kriging                                                                                    |
| $\mu$              | střední hodnota                                                                                                  |
| $\rho$             | hustota prostředí [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]                                                              |
| $\sigma$           | směrodatná odchylka                                                                                              |
| $\varphi$          | fázový posuv [°]                                                                                                 |
| $a$                | zrychlení [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ]                                                                       |
| $A$                | celková pohltivost místnosti [ $\text{m}^2$ ]                                                                    |
| $c$                | rychlost šíření zvukových vln [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]                                                   |
| $F$                | síla [N]                                                                                                         |
| $h$                | vzdálenost [m]                                                                                                   |
| $H$                | hlasitost [son, Ph]                                                                                              |
| $I$                | akustická intenzita [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ]                                                             |
| $I_0$              | vztažná hodnota akustické intenzity $10 \text{ pW}\cdot\text{m}^{-2}$                                            |
| $k$                | vlnové číslo [ $\text{m}^{-1}$ ]                                                                                 |
| $l$                | vzdálenost [m]                                                                                                   |
| $L_{\text{dvn}}$   | ukazatel pro celodenní obtěžování hlukem [dB]                                                                    |
| $L_{\text{d}}$     | ukazatel pro den [dB]                                                                                            |
| $L_{\text{v}}$     | ukazatel pro večer [dB]                                                                                          |
| $L_{\text{n}}$     | ukazatel pro noc [dB]                                                                                            |
| $L_{\text{p}}$     | hladina akustického tlaku [dB]                                                                                   |
| $L_{\text{I}}$     | hladina akustické intenzity [dB]                                                                                 |
| $L_{\text{Aeq,T}}$ | ekvivalentní hladina akustického tlaku [dB]                                                                      |
| $p$                | akustický tlak [Pa]                                                                                              |
| $p_0$              | vztažná hodnota akustického tlaku $20 \text{ }\mu\text{Pa}$                                                      |
| $r_{\text{d}}$     | dozvuková vzdálenost [m]                                                                                         |
| $S$                | plocha [ $\text{m}^2$ ]                                                                                          |
| $t$                | čas [s]                                                                                                          |
| $T$                | doba dozvuku, doba měření trvalé ekvivalentní hladiny hluku [s]                                                  |
| $v$                | rychlost [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]                                                                        |
| $V$                | objem [ $\text{m}^3$ ]                                                                                           |
| $W$                | akustický výkon [W]                                                                                              |
| $z$                | vlnová impedance prostředí [ $\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-3}$ ]                                         |
| $Z(s_0)^*$         | odhad v místě $s_0$                                                                                              |
| $Z(s_i)$           | hodnota funkce v místě $s_i$                                                                                     |