

# 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

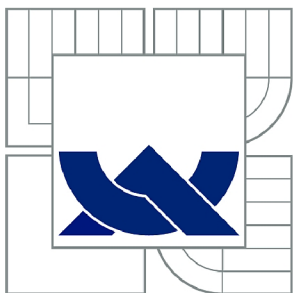
HLUKOVÁ MAPA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

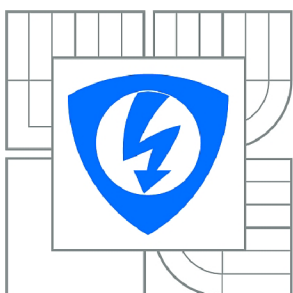
MICHAELA NĚMCOVÁ

BRNO 2014



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

NOISE MAP

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

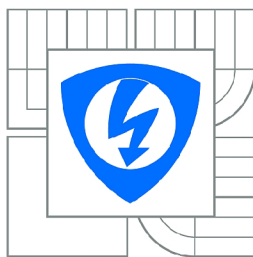
MICHAELA NĚMCOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ ROZMAN, CSc.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav biomedicínského inženýrství

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Biomedicínská technika a bioinformatika

**Studentka:** Michaela Němcová

**ID:** 146613

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2013/2014

**NÁZEV TÉMATU:**

## Hluková mapa

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Seznamte se s fyzikálními základy akustiky volných prostorů i atmosférické akustiky a fyziologickými účinky hluku. 2) Prostudujte odpovídající hygienické normy a metodiku měření hluku v městských aglomeracích. 3) Vypracujte literární rešerši pro uvedené oblasti. 4) Seznamte se s geografickým informačním systémem ArcView a jeho programovým vybavením. 5) Pro zvolenou městskou lokalitu proveďte odpovídající měření hluku zvukoměrem a výsledky zpracujte formou hlukové mapy. 6) Dosažené výsledky vhodným způsobem presentujte a diskutujte.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] ROZMAN, J., SADOVSKÝ, P., ČERMÁK, D. Diagnostika životního prostředí. VUT FEI, Brno, 2000, ISBN 80-214-1771-4.  
[2] SMETANA, C. a kol. Hluk a vibrace. Měření a hodnocení. Sdělovací technika, Praha, 1998, ISBN 80-901936-2-5.

**Termín zadání:** 10.2.2014

**Termín odevzdání:** 30.5.2014

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

**Konzultanti bakalářské práce:**

**prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.**

*Předseda oborové rady*

### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské 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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Cílem práce je seznámení se s problematikou měření hluku. První část se zaměřuje na popis fyzikálních vlastností zvuku v oblasti prostorové, atmosférické a fyziologické akustiky. Dále pojednává o fyziologických účincích hluku na lidský organismus a technice potřebné k měření a zpracování hluku. V navazující části je popsána struktura geografického informačního systému (GIS). V závěru jsou shrnuty výsledky jednotlivých měření, zobrazeny hlukové mapy a jejich podrobná analýza.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

zvuk, hluk, GIS

## **ABSTRACT**

The aim of this paper is to introduce the measurement of noise. The first part is focused on describing the physical properties of sound in space, atmospheric and physiological acoustics. It also deals with the physiological effects of noise on the human body and technology needed for measure and process noise. Conclusion describes the structure of a geographic information system (GIS). The conclusion summarizes the results of individual measurements, showing noise maps and detailed analysis.

## **KEYWORDS**

sound, noise, GIS

NĚMCOVÁ, M *Hluková mapa*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínské inženýrství, 2014. 64 s. Vedoucí práce byl doc. Ing. Jiří Rozman, CSc.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Hluková mapa“ jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

(podpis autora)

## PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Jiřímu Rozmanovy, CSc za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno .....

.....

(podpis autora)

# OBSAH

<b>1 Úvod do problematiky</b>	<b>9</b>
1.1 Poznatky z akustiky . . . . .	9
1.2 Hluk . . . . .	16
<b>2 Měření hluku</b>	<b>19</b>
2.1 Metodika měření . . . . .	21
2.1.1 Přehled norem týkajících se akustiky a hluku . . . . .	21
2.1.2 Postup měření hluku . . . . .	23
<b>3 Geografický informační systém</b>	<b>26</b>
3.1 Hardware pro GIS . . . . .	27
3.2 Software pro GIS . . . . .	28
3.3 Datové modely . . . . .	30
3.3.1 Reprezentace prostorových dat . . . . .	30
<b>4 Realizace měření</b>	<b>32</b>
4.1 Měřicí technika . . . . .	32
4.2 Popis měřeného prostředí . . . . .	33
<b>5 Dosažené výsledky</b>	<b>38</b>
<b>Literatura</b>	<b>47</b>
<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>50</b>
<b>Seznam příloh</b>	<b>52</b>
<b>A Příloha</b>	<b>53</b>
<b>B Příloha</b>	<b>60</b>
<b>C Příloha</b>	<b>62</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Šíření zvuku v plynném prostředí kulovým vlněním a rovinným vlněním . . . . .	9
1.2	Typy akustických polí . . . . .	14
1.3	Křivky hladin stejné hlasitosti . . . . .	16
1.4	Princip funkce protihlukového okna . . . . .	18
2.1	Blokové schéma zvukoměru . . . . .	19
3.1	Schématické znázornění všech 3 pohledů na GIS . . . . .	26
3.2	Strukturální komponenty a hlavní funkce GIS . . . . .	27
3.3	Ukázka geografické databáze jako centra GIS . . . . .	28
3.4	Součásti systému ArcGIS . . . . .	29
4.1	Minilyzer ML1 s miniSPL . . . . .	32
4.2	Garmin Extres 30 . . . . .	33
4.3	Rozmístění všech měřených míst . . . . .	34
5.1	Vytvořená hluková mapa nepracovního dne s referenčními body . . .	41
5.2	Hluková mapa pracovního dne . . . . .	42
5.3	Hluková mapa nepracovního dne . . . . .	43
5.4	Hluková mapa pracovní noci . . . . .	44
5.5	Hluková mapa nepracovní noci . . . . .	45
C.1	Vytvořená hluková mapa pracovního dne s referenčními body . . . . .	62
C.2	Vytvořená hluková mapa pracovní noci s referenčními body . . . . .	63
C.3	Vytvořená hluková mapa nepracovní noci s referenčními body . . . . .	64



# SEZNAM TABULEK

1.1	Frekvenční rozsah akustického vlnění . . . . .	10
2.1	Hodnoty korekce K . . . . .	24
2.2	Základní limity pro venkovní hluk vztahující se k roku 2006 . . . . .	25
3.1	Ukázka starých a nových názvů protuktů ArcGIS . . . . .	30
4.1	Přehled dopravní situace vztažené na dobu 12 hodin . . . . .	34
4.2	Přehled meteorologických podmínek ze dne 5.4.2014 . . . . .	37
5.1	Souhrnná tabulka naměřených hodnot akustického tlaku - část I . . . . .	38
5.2	Souhrnná tabulka vypočítaných hodnot akustického tlaku - část II . . . . .	39
A.1	Souhrn meteorologických podmínek ze dne 16.4.2014 . . . . .	53
A.2	Souhrn meteorologických podmínek ze dne 19.4.2014 . . . . .	53
B.1	Naměřené hodnoty pro PD a ND . . . . .	60
B.2	Naměřené hodnoty pro PN a NN . . . . .	61

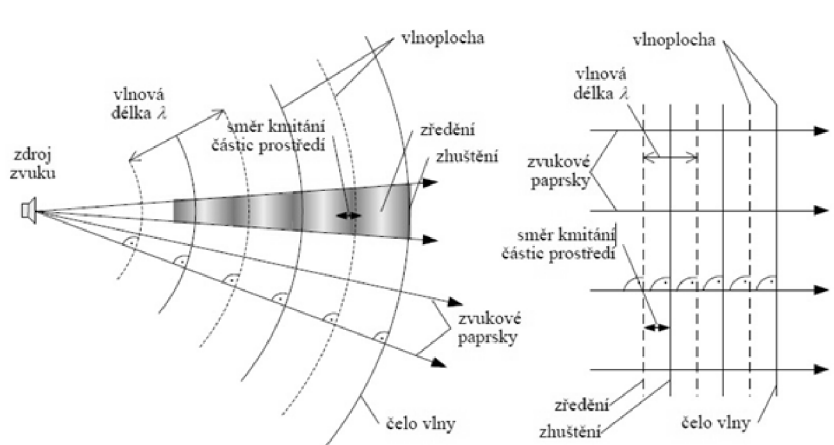
# 1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Životní prostředí a jeho ochrana patří v poslední době mezi velmi aktuální společenská témata. Nejčastěji se v této souvislosti hovoří o problematice související s růstem prachových částic, množstvím inertních plynů a jiných škodlivých látek v ovzduší. Zatížení životního prostředí hlukem je na okraji zájmu, ale dostává se dopředí. Vypovídá o tom nejen zvýšený zájem veřejnosti, ale i zdokonalující se protihluková opatření. Tato práce se pro lepší pochopení problematiky nejprve zabývá zvukem, hlukem, metodikou měření hluku a samotným měřením a zpracováním výsledků formou hlukové mapy. Pro měření byla vybrána oblast Brna - přesněji městská část Řečkovice a Mokrá hora, z důvodu přítomnosti dvou významných zdrojů hluku. Měření proběhlo ve čtyřech obdobích - pracovní, nepracovní den a pracovní a nepracovní noc.

## 1.1 Poznatky z akustiky

### Zvuk

Zvuk je hlavním zástupcem mechanického vlnění. Existuje pouze v látkovém prostředí (kapalina, plyn, pevná látka) a nešíří se ve vakuu. Zvuk se šíří vlnovými kuloplochami dle Huygensova principu a řídí se Newtonovými zákony.



Obr. 1.1: Šíření zvuku v plynném prostředí kulovým vlněním a rovinným vlněním[17]

Šíří se, jak ve směru příčném (převážně v pevných látkách), tak podélném (v ostatních skupenstvích). Směr šíření a rozložení zvukových vln je znázorněno pomocí vlnoploch a paprsků (Obr 1.1). Vlnoplocha je plocha, na níž mají všechny částice stejně velkou výchylku i rychlost (stejnou fází). Paprsky jsou čáry kolmé k vlnoplochám určující směr šíření vlnoploch. [6]

Pokud dojde k překrytí vln, výchylky se algebraicky sečtou a dojde k vytvoření jedné výsledné vlny. Platí zde tzv. princip superpozice.

$$y'(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t) \quad (1.1)$$

kde  $y'$  výsledná vlna  
 $y_1$  1. výchylka vlny  
 $y_2$  2. výchylka vlny

Tab. 1.1: Frekvenční rozsah akustického vlnění

Infrazvuk	<16 Hz
Zvuk	16 Hz – 20 kHz
Ultrazvuk	16 kHz – 1 GHz
Hyperzvuk	1 GHz <

## Akustika

Vlnění hmotného prostředí, o jehož existenci se můžeme přesvědčit sluchem, se ve fyzice nazývá zvuk. Jedna z mnoha definic akustiky: *Akustika se zabývá fyzikálními ději spojenými se vznikem zvukového vlnění, jeho šířením a vnímáním zvuku sluchem.*

Podle určitých parametrů je dělena do několika skupin, [1]:

- fyzikální akustika
  - prostorová akustika,
  - atmosférická akustika,
- hudební akustika,
- fyziologická akustika,
- elektroakustika.

## Rychlost šíření zvuku

Je definována vzorcem:

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad [ms^{-1}] \quad (1.2)$$

kde  $K$  modul objemové pružnosti  
 $\rho$  hustota prostředí

## Šíření zvukových vln

Obecná rovnice k popisu polohové výchylky  $s(x, t)$  a vrstvy vzduchu z jeho rovnovážné polohy

$$s(x, t) = s_m \cdot \cos(\omega t - kx) \quad (1.3)$$

kde  $s_m$  amplitudová výchylka  
 $\rho$  hustota prostředí  
 $t$  perioda  
 $\omega$  úhlová frekvence

Pokud dojde ke změně místa  $x$  při postupu vlny, dojde zároveň i ke změně tlaku. Tlaková změna je vyjádřena rovnicí:

$$\Delta p(x, t) = \Delta p_m \cdot \sin(\omega t - kx) \quad (1.4)$$

Následující rovnice popisuje svázání amplitudy tlaku s amplitudou výchylky

$$\Delta p_m = (v\rho\omega)s_m \quad (1.5)$$

kde  $\Delta p_m$  amplituda tlaku (odpovídá největšímu nárůstu nebo poklesu tlaku)  
 $s_m$  amplitudová výchylka  
 $t$  perioda  
 $\rho$  hustota  
 $v$  rychlost šíření  
 $\omega$  úhlová frekvence

## Akustický výkon

Akustický výkon je definován silou působící na jednotkovou plochu za jednotku času:

$$P = p \cdot v \cdot S = I \cdot S \quad [W] \quad (1.6)$$

kde  $p$  akustický tlak  
 $v$  akustická rychlost  
 $S$  sledovaná plocha  
 $I$  intenzita zvuku

### Měrná akustická impedance

Je definována jako poměr akustického tlaku a akustické rychlosti:

$$z = \frac{p}{v} \quad (1.7)$$

Pro vzdálené akustické pole je rovna:

$$z = \rho \cdot c \quad (1.8)$$

kde  $\rho$  měrná hmotnost prostředí  
 $c$  rychlost šíření zvukových vln

### Intenzita zvuku

Intenzita zvuku  $I$  je dána průměrnou energií vlnění, která projde za jednotku času, jednotkovou plochou kolmou ke směru šíření. Součin efektivních hodnot akustického tlaku a akustické rychlosti představuje matematické vyjádření

$$I = \frac{P}{S} = p \cdot v = \frac{p^2}{z} = z \cdot v^2 \quad [W.m^{-2}] \quad (1.9)$$

kde  $P$  výkon zvukové vlny  
 $S$  sledovaná plocha  
 $z$  měrná akustická impedance

Vezmeme-li v úvahu izotropní prostředí a bodový zdroj, změní se intenzita  $I$  podle vzorce:

$$I = \frac{P_Z}{4\pi r^2} \quad [W.m^{-2}] \quad (1.10)$$

kde  $P_Z$  výkon zdroje (kouli veškerá energie projde proto  $P_Z = P_{vln}$ )  
 $4\pi r^2$  velikost povrchu koule

Ze vztahu 1.10 jasně vyplývá, že intenzita zvuku pro izotropní zdroj klesá se čtvercem vzdálenosti poloměru od zdroje.

## Hladina intenzity zvuku

Lidské ucho má velkou citlivost na vnímání zvuku (vnímá rozsah 16 Hz - 20 kHz), proto mluvíme o hladině intenzity zvuku  $L_i$  než o intenzitě.

$$L_i = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (1.11)$$

kde  $I$  intenzita hluku

$I_0$  standardní referenční intenzita (její hodnota je  $10^{-12} \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )

## Hlasitost zvuku

Hlasitost zvuku je subjektivní veličina, související s hladinou intenzity zvuku. Určuje se porovnáváním zkoumaného zvuku s referenčním tónem výšky 1 000 Hz. Je závislá na akustickém tlaku. Jedinou jí odpovídající veličinou je hladina akustického tlaku  $L_p$ , která je uvedena níže. Definice hlasitosti je uvedena v podkapitole fyziologická akustika.

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad (1.12)$$

kde  $p$  akustický tlak

$p_0$  referenční hodnota akustického tlaku (její hodnota je  $2 \cdot 10^{-5} \text{Pa}$ )

Obě referenční hodnoty  $p_0$  a  $I_0$  odpovídají přibližně prahovým hodnotám lidského sluchu pro tón kmitočtu 1000 Hz.

## Doba dozvuku

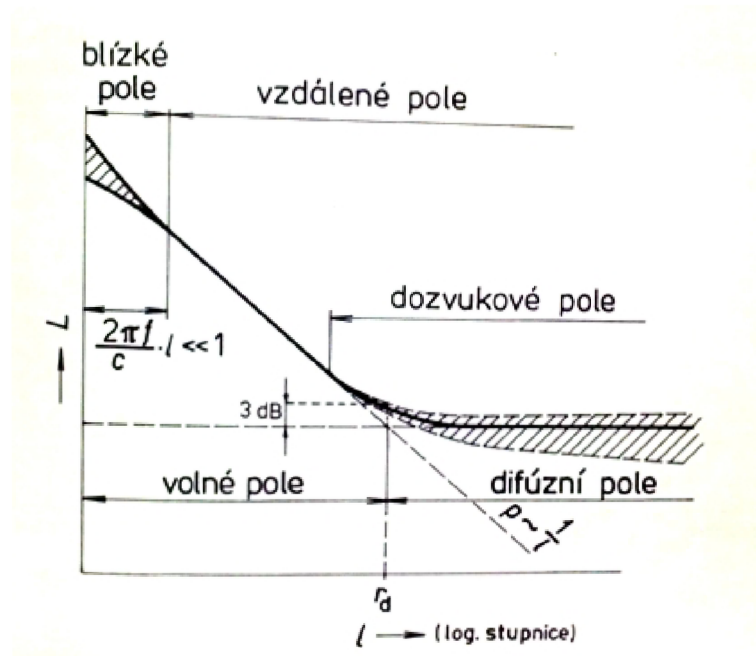
Doba dozvuku, značená  $T$  [s], vyjadřuje dobu, za kterou nám poklesne hladina akustického tlaku o 60 dB (na původní hodnotu). Doba dozvuku by měla být přiměřeně dlouhá. Pokud by došlo k jejímu překročení, způsobilo by to následně uvedené problémy. Při velké době dozvuku (nad 3s) vyvolává dojem přehlušení a snižuje srozumitelnost řeči. To je způsobeno zvýšeným počtem interakcí mezi emitovaným a odraženým zvukem. Naopak při malé době dozvuku zní řeč suše a sekaně, budí dojem tzv. mrtvé místnosti. Velikost doby dozvuku závisí převážně na celkové pohltivosti místnosti (použité materiály) a její velikosti (objemu), [16], [18].

## Prostorová akustika

Ve volném prostoru vznikají různá akustická pole mnohonásobnými odrazy zvukových vln převážně v uzavřeném prostoru. Dalším parametrem je typ zdroje zvuku. Díky obrovskému množství odrazů a následně vzniklých polí, byl pro snadnější pochopení zaveden pojem dozvuková vzdálenost. Jde o vzdálenost při které dojde k rovnosti energie vln přímých a odražených. Na Obr.1.2 je znázorněna značkou  $r_d$ . Může být přesně určena ze vzorce uvedeného níže,[16],[20].

$$r_d = 0.057 \cdot \sqrt{\frac{V}{T}} = 0.14 \cdot \sqrt{A} \quad [m] \quad (1.13)$$

kde V objem místnosti  
 T doba dozvuku  
 A celková pohltivost místnosti



Obr. 1.2: Typy akustických polí. [16]

Pro zlepšení orientace jsou zde uvedeny základní typy zdrojů zvuku a akustických polí.

### Typy zdroje zvuku:

- Zářič nultého řádu tzv. kulový zářič

- Zářič přímkový - liniový
- Zářič plošný

### Typy akustických polí:

- Pole difuzní
- Pole volné
- Blízké pole
- Vzdálené pole
- Dozvukové pole

Na Obr1.2 je zobrazeno rozložení akustických polí v uzavřeném prostoru.

### Atmosférická akustika

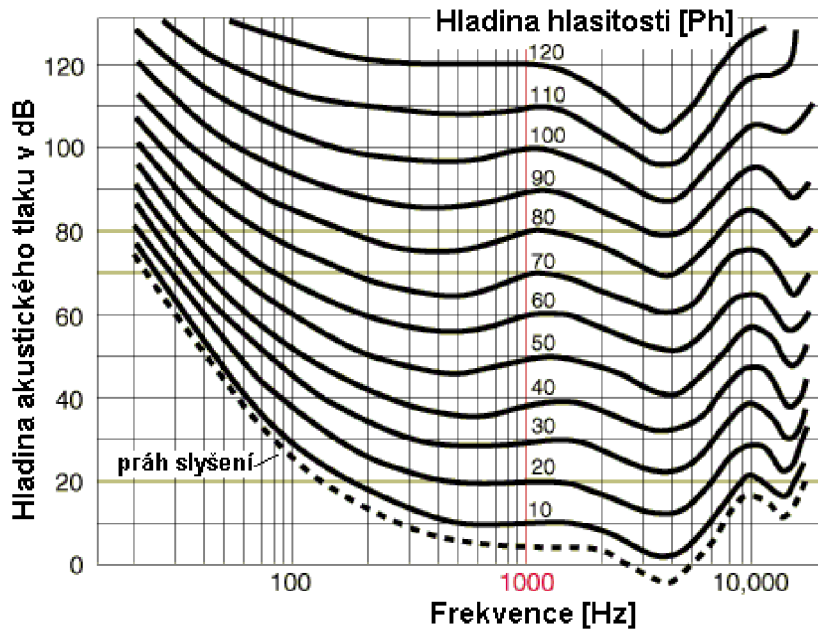
Díky nerovnoměrnému rozložení teploty, různé vlhkosti, hustotě vzduchu a existenci vzdušných proudů je šíření zvuku v atmosféře odlišné. Atmosférická akustika se těmito specifiky zabývá. Tyto odlišnosti se hlavně projevují kolísáním hladin akustického tlaku na konci přenosové trasy a závislostí střední hodnoty hladiny akustického tlaku na fyzikálních podmínkách (teplota, tlak, vlhkost,...) podél přenosové trasy zvuku. Nejvýznamnější činitele ovlivňující šíření zvuku v atmosférických vrstvách jsou, [16]:

- Absorpce zvuku ve vzduchu.
- Mlha, déšť, sníh.
- Stromy a stěny budov.
- Teplotní gradienty.
- Atmosférické turbulence.

### Fyziologická akustika

Fyziologická akustika se zabývá studiem zákonitostí zvukového signálu, jeho obrazem v našem vědomí a jeho vlivy. Jeho podstatnou součástí je sluchový orgán. Ten reaguje na vnější zvukové podmínky, předá je ke zpracování mozkovému analyzátoru a výsledkem je sluchový vjem. Tento vjem je subjektivní, proto je pro jeho přiblížení použit pojem hlasitost, který je závislý na frekvenci. Aby došlo k získání křivky stejné hlasitosti, byla zavedena frekvenčně nezávislá jednotka fon [Ph]. Fletcher-Munsonovy křivky neboli křivky stejné hlasitosti jsou zobrazeny na Obr. 1.3, [16],[20].





Obr. 1.3: Křivky hladin stejné hlasitosti

## 1.2 Hluk

Hlukem je nazýván zvuk, který je nežádoucí. Zpřesnění této definice se odlišuje podle místa účinku a společenských vymezení a negativ. V lékařství je hluk definován jako zvuk, který má účinky přímo na správnou činnost sluchového orgánu (tzv. specifické účinky), nebo vlivem jeho účinku působícího škodlivě na člověka (tzv. nespecifikované účinky). V právní praxi je hluk definován jako zvuk, který člověka poškozuje (zdravotně, na majetku, na životním prostředí), ruší anebo obtěžuje. Za škodlivou hranici hluku je považována ekvivalentní hladina 85 dB,[16] ,[5]. Podle průběhů hladiny hluku v čase dělíme hluk na,[16]:

- Ustálený - jeho hladina se v závislosti na čase nemění o více než 5 dB.
- Proměnný - jeho hladina se v závislosti na čase mění o více než 5 dB.
- Přerušovaný - mění náhle hladinu akustického tlaku, v průběhu hlučného intervalu je však ustálený.
- Nepravidelný - mění hladinu v čase zcela náhodně.
- Impulsní - je vytvářený jednotlivými zvukovými impulsy s trváním do 200 ms, nebo sledem impulsů. následujících po sobě v intervalech delších než 10 ms.

## Zdroje Hluku

Hlavní zdroje hluku pro naši populaci jsou děleny podle jeho vzniku. Hlavní částí, která je zastoupena 60%, tvoří hluk z mimopracovního prostředí. Zbýlých 40 % z prostředí pracovního. Dalším dělením jsou zdroje hluku rozděleny na,[25]:

- Dopravní hluk – automobilová, letecká, železniční doprava.
- Hluk v pracovním prostředí – nejčastěji zastoupen mechanizovaným nářadím a průmyslovými stroji.
- Hluk související s bydlením – technické vybavení (výtah, kotelna), činnost osob v bytě (vysavač, pračka, komunikace, rádio, televize).
- Hluk související s trávením volného času.

## Fyziologické účinky hluku

Oproti ostatním škodlivinám se působení hluku většinou neprojevuje bolestí ani markantní poruchou sluchového aparátu. Účinky kategorizujeme do základních oddílů:

- Orgánové účinky – ty dále dělíme:
  - Specifické – přímé působení na sluchový orgán
  - Nespecifické – ovlivňují reakce a funkce člověka (jako poruchy spánku - potíže s usínáním, velká únava i přes dostatečný spánek, časté buzení).
- Účinky rušení činnosti.
- Vlivy na subjektivní pocity (obtěžování).

## Ukázky poškození způsobených hlukem

Poškození sluchového aparátu a nepříznivý vliv na osvojování řeči a čtení (zejména u dětí) patří mezi prokázané důsledky působení hluku. Mezi nepodložená negativa patří vliv na hormonální a imunitní systém, ovlivnění placenty a následného vývoje plodu (vliv na jeho mentální schopnosti), zvýšená náchylnost k pracovním úrazům (nedostatek pozornosti a kvalitního spánku) a mnohá další,[5].

## Etapy poškození sluchu vlivem doby působení hluku

Působí-li hluk na sluchový aparát, tak nejprve způsobí posun sluchového prahu (již během prvních pár minut). Organismus se začne adaptovat, vnímá hluk v menší hlasitosti. V druhé fázi nastoupí sluchová únava spojená se změněným vnímáním hlasitosti a rozlišováním změn maskování a frekvenčních změn, která odeznívá hodiny až den. Poslední fází je akustické trauma, jež může být trvalé,[16].

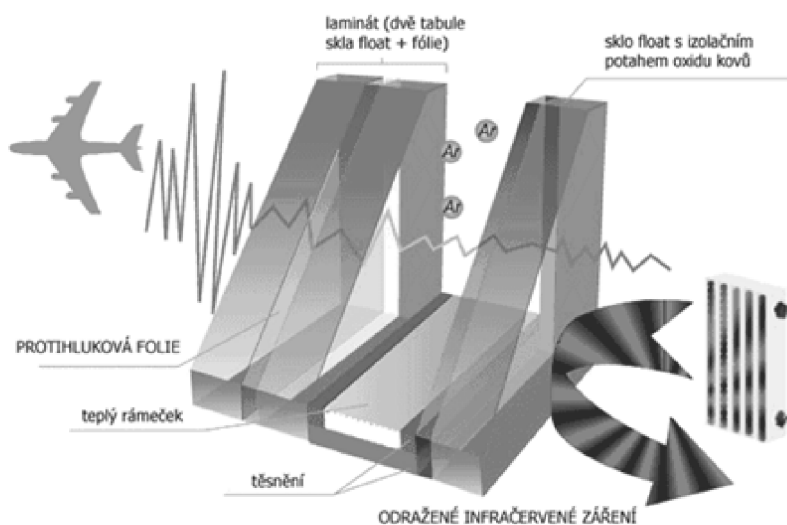
## Ochrana před hlukem

Hluk má na člověka negativní účinek, proto byla vytvořena specifická ochranná opatření. Na jejich prosazování dohlíží místní orgán pro ochranu veřejného zdraví tzv. krajská hygienická stanice.

Opatření využívající se v pracovním prostředí,[12]:

- Odstranění zdroje hluku nebo jeho podstatné snížení.
- Uzavření zdroje hluku (použití vhodného krytí).
- Oddělení ovlivňovaného pracovníka od zdroje.
- Omezení délky hlukové expozice.
- Používání vhodných ochranných pomůcek.

Ve větších aglomeracích jsou prováděny hluková měření a následně podle nich vytvořeny studie, které ukazují na místa nejvíce postižená hlukem a navrhnou řešení pro co nejrychlejší a nejúčinnější snížení hluku. Mezi hluková opatření patří zejména kombinace terénních úprav, protihlukových stěn, protihlukových oken (viz Obr. 1.4) a speciálním asfaltem snižujícím hluk (směs živice směsí pohlcující hluk), [19],[13],[10].



Obr. 1.4: Princip funkce protihlukového okna [13]

## 2 MĚŘENÍ HLUKU

Nejdůležitější součástí měřícího přístroje je bezpochyby snímač. Jde o převodník neelektrické veličiny na elektrickou, zajišťující přesnost a spolehlivost získaných výsledků. V případě zvuku a hluku jsou změny akustického tlaku snímány mikrofony.

### Zvukoměr

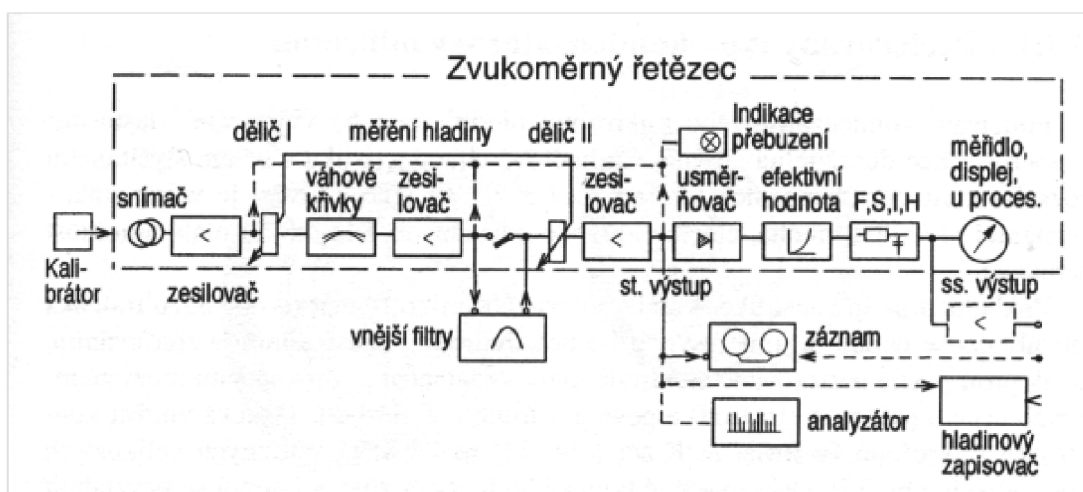
Pro měření akustického tlaku by dostačoval měřící řetězec sestavený z:

mikrofon-zesilovač-měřidlo

Tato soustava snímá pouze jednoduchý sinusový signál, proto abychom mohli určit výslednou efektivní hodnotu, byl do měřícího řetězce přidán:

- efektovací obvod,
- integrační obvod (sledování rychlých změn akustického tlaku),
- váhové filtry (respektují subjektivní vnímání zvuku společně s měřením v kmitočtových pásmech),
- převodník (zajišťuje přechod z lineární závislosti na závislost logaritmickou decibelová stupnice),
- děliče (změna rozsahu).

Takto sestavený řetězec nazveme zvukoměrem.[16][20]



Obr. 2.1: Blokové schéma zvukoměru [16]

Dynamické vlastnosti zvukoměru určují časové konstanty S (slow), F (fast), I (impulse).

- Funkce S vyhodnocuje signály po dobu 1s

- Funkce F vyhodnocuje posledních 125 ms
- Časová konstanta I vyhodnocuje nesymetricky s dobou náběhu 35 ms a doběhu 1,5 s.

Frekvenční charakteristika je pro přiblížení lidskému uchu upravována váhovými filtry. Mezinárodně standardizované váhové filtry jsou A, B, C, odpovídající křivkám stejné hlasitosti pro 40, 70 a 100 dB. Nejvíce se používá filtr A s předdefinovaným rozsahem kmitočtů od 10 Hz po 20 kHz. Naměřené hodnoty jsou zobrazeny na displeji. Jde o tzv. digitální zvukoměry s displejovým zobrazením,[16],[20].

### **Kalibrace zvukoměru**

Pro každý druh mikrofonu je ke kalibraci potřeba různé spektrum kmitočtů. Pro kondenzátorové mikrofony stačí kalibrace na jednom kmitočtu. Užíváme kalibrátory,[16]:

- Pistonfonové - píst kmitá do definovaného objemu, pracuje v okolí 250 Hz a jeho kalibrace může být ovlivněna váhovým filtrem.
- Tónové - tvořené generátorem s piezoelektrickým reproduktorem v měřicí komůrce, jsou výhodnější, protože pracují na frekvenci 1000Hz kde váhové filtry mají nulový útlum.

### **Mikrofony**

Mikrofon je akusticko-mechanicko-elektrický měnič, který převádí snímaný zvuk na elektrický signál. Pro měření jsou využívány mikrofony dynamické, elektrostatické a piezoelektrické. Nejčastěji používané jsou mikrofony elektrostatické-kondenzátorové, z důvodu požadované přesnosti, rovnoměrné širší frekvenční charakteristiky (celý rozsah zvukových frekvencí), dlouhodobě stálé citlivosti, malých rozměrů a hmotnosti. Citlivost nezatíženého mikrofonu 30-50 mV/Pa je stanovena pro standardní podmínky:

- Kmitočet 1 kHz,
- Atmosférický tlak 760 mmHg (101kPa),
- Relativní vlhkost 50.

Jakákoliv změna vnějších vlivů citlivost mění. Všesměrová charakteristika je hlavním rozlišovacím prvkem měřícího mikrofonu. Mikrofony pro difuzní pole mají kulovou (všesměrovou) charakteristiku, na směr dopadu zvukových vln u nich nezáleží. Mikrofony pro měření ve volném poli konstrukčním provedením kompenzují vliv dopadu zvukových vln ze známého směru. Tlakové mikrofony tuto kompenzaci nemají, a proto měří skutečný akustický tlak,[16],[20].

## Hlukoměry

slouží ke stanovení celkové hlukové expozice osob v hlučném prostředí. Hlukoměry umožňují přímé vyčíslení hlukové expozice digitálním zpracováním signálu při definovaném časovém vzorkování (ČSN EN 60 804). Díky tomu je možné zvolit celkovou dobu měření, váhový filtr, dynamickou charakteristiku a stanovit hlukovou expozici (extremní hladiny, průběh hlukového děje a distribuční křivku hodnot). Pracovníci nosí tento přístroj na svém těle při práci kdy měřící místo je 20 cm od jeho ucha. Zajímavostí je, že přístroj snímá i aktuální tlak. Aktuální tlak je snímán pružnou dlouhou trubičkou (vhodným zatížením umístěného konce v hlukoměru a mikrofonu pracuje jako bezetrátový vlnovod) proto, aby se zabránilo poškození mikrofonu,[16],[20].

## 2.1 Metodika měření

### 2.1.1 Přehled norem týkajících se akustiky a hluku

ČSN ISO 11819-1 Akustika – měření vlivu povrchu vozovek na dopravní hluk – Část 1: Statistická metoda při průjezdu

ČSN ISO 11819-2 Akustika – měření vlivu povrchu vozovek na dopravní hluk – Část 2: Metoda malé vzdálenosti

IEC 60651:1979 Zvukoměry

IEC 60942:1998 Akustické kalibrátory

IEC 61260:1995 Elektroakustika – Oktávové a zlomkooktávové filtry

ČSN ISO 9296 Akustika. Deklarované hodnoty emise hluku výpočetní a kancelářské techniky

ČSN ETS 300 753 ed. 1 Navrhovaná zařízení (EE) – Akustický hluk vytvářený telekomunikačním zařízením

ČSN ISO 4871 – Akustika – Označování hlučnosti strojů a zařízení

ČSN ISO 7574-1 – Akustika – statistické metody určení a ověření udaných hodnot emise hluku instalovaných strojů a zařízení – Část 1: Všeobecné zásady a definice

ČSN ISO 7574-1 – Akustika – statistické metody určení a ověření udaných hodnot emise hluku instalovaných strojů a zařízení – Část 2: Metody pro jednotlivé stroje

ČSN ISO 7574-1 – Akustika – statistické metody určení a ověření udaných hodnot emise hluku instalovaných strojů a zařízení – Část 4: Metody pro série strojů

ČSN ISO 7779 Akustika – Měření hluku šířeného vzduchem vyzařovaného výpočetní a kancelářskou technikou

ČSN ETSI EN 300 753 V1.3.1 - Rozbor vlivu prostředí (EE) - Akustický hluk vytvářený telekomunikačním zařízením

ČSN EN ISO 3740 Akustika - Určení hladin akustického výkonu zdrojů hluku - Směrnice pro užití základních norem

ČSN EN ISO 3741 Akustika - Určování hladin akustického výkonu a hladin akustické energie zdrojů hluku pomocí akustického tlaku - Přesné metody pro dozvukové zkušební místnosti

ČSN EN ISO 3743-1 Akustika - Určování hladin akustického výkonu a hladin akustické energie zdrojů hluku pomocí akustického tlaku - Technické metody pro malé přemístitelné zdroje v dozvukovém poli - Část 1: Srovnávací metoda pro zkušební místnosti s tuhými stěnami

ČSN EN ISO 3743-2 Akustika - Určování hladin akustického výkonu zdrojů hluku pomocí akustického tlaku - Technické metody pro malé přemístitelné zdroje v dozvukovém poli - Část 2: Metody pro speciální dozvukové zkušební místnosti

ČSN EN ISO 3744 Akustika - Určování hladin akustického výkonu a hladin akustické energie zdrojů hluku pomocí akustického tlaku - Technická metoda pro přibližně volné pole nad odrazivou rovinou

ČSN EN ISO 3745 Akustika - Určování hladin akustického výkonu a hladin akustické energie zdrojů hluku pomocí akustického tlaku - Přesné metody pro bezodrazové a polobezodrazové místnosti

ČSN EN ISO 3746 Akustika - Určování hladin akustického výkonu a hladin akustické energie zdrojů hluku pomocí akustického tlaku - Provozní metoda s měřicí obalovou plochou nad odrazivou rovinou

ČSN EN ISO 3747 Akustika - Určování hladin akustického výkonu a hladin akustické energie zdrojů hluku pomocí akustického tlaku - Technické/provozní metody pro použití in situ v dozvukovém prostředí

ČSN EN ISO 9614-1 Akustika - Určování hladin akustického výkonu zdrojů hluku pomocí akustické intenzity - Část 1: Měření v bodech

ČSN EN ISO 9614-3 Akustika - Určování hladin akustického výkonu zdrojů hluku pomocí akustické intenzity - Část 3: Přesná metoda měření skenováním

ČSN EN ISO 12001 Akustika - Hluk vyzařovaný stroji a zařízeními - Pravidla pro tvorbu a prezentaci zkušebních předpisů pro hluk

ČSN EN 61672-1 Elektroakustika - Zvukoměry - Část 1: Technické požadavky  
Předpis č.272/2011 Sb. Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací

ČSN ISO 1996-1:1992 , Akustika - Popis a měření hluku prostředí. Část 1: Základní veličiny a postupy

ČSN ISO 1996-2:1992, Akustika - Popis a měření hluku prostředí. Část 2: Získávání údajů souvisejících s využitím území

ČSN ISO 1996-3:1993, Akustika - Popis a měření hluku prostředí. Část 3: Použití při stanovení nejvyšších přípustných hodnot hluku

ČSN ISO 3382, Akustika - Měření doby dozvuku místností a sálů s uvedením jiných akustických parametrů

ČSN ISO 9613-2, Akustika - Útlum při šíření zvuku ve venkovním prostoru. Část 2: Obecná metoda výpočtu

ČSN EN 60804 + A2, Elektroakustika - Integroující-průměrující zvukoměry

## 2.1.2 Postup měření hluku

Před a po měření musí být vytvořen protokol který obsahuje :

- identifikaci instituce provádějící měření vč. jména osob a jejich způsobilosti (např. akreditace, autorizace apod.),
- identifikaci objednatele měření,
- datum a dobu měření,
- použité měřicí a výpočtové metody,
- použité přístrojové vybavení, podrobnosti o jeho kalibraci a druzích provedených analýz,
- identifikace a popis měřeného zdroje (zdrojů) hluku,
- umístění měřicích míst,
- výsledky všech akustických měření nebo výpočtů hluku, včetně nejistoty, týkajících se měřeného zdroje i hluku pozadí,
- nejistoty a odkaz na postup stanovení nejistoty měření.

Protokol o měření musí dále obsahovat, pokud jsou významné:

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

Při měření hluku ve venkovním prostoru pro tvorbu hlukových map nebo měření dopravního hluku má být mikrofon umístěn 3,5 m před plochou odrážející hluk a 1,2 až 1,5 m nad terénem, zejména tam, kde se zjišťuje vliv hluku na osoby. Je směřován k nejdůležitějšímu zdroji hluku. Hodnoty hluku jsou vyjádřeny hladinami akustického tlaku v decibelech při použití váhového filtru A a dynamické charakteristiky Fast. V našem případě je stanovena maximální hladina akustického tlaku A,  $L_{pAmax}$ , přímým odečtem z hlukoměru. Doba a délka měření je volena podle odpovídajících standardních a typických situací výskytu zdroje hluku. Hluk pozadí je měřen před, po i v průběhu samotného měření na předem vybraných stejných místech a ve stejných veličinách jako měřený hluk. Korekci na hluk pro váženou hladinu (i hladinu





Tab. 2.2: Základní limity pro venkovní hluk vztahující se k roku 2006 [5]

Typ venkovního hluku	Den (6:00-22:00)	Noc (22:00-6:00)
Základní limit (hluk jiný než z dopravy)	50 dB	40 dB
Silniční doprava	55 dB	45 dB
Železniční doprava	55 dB	50 dB
Z hlavní silnice	60 dB	50 dB
V ochranných pásmech drah	60 dB	55 dB
Starou hlukovou zátěž	70 dB	60 dB
Starou hlukovou zátěž u želez. drah	70 dB	65 dB

### Hlukové ukazatele a jejich mezní hodnoty

V roce 2011 došlo k úpravě předpisu č.148/2006 Sb. Hodnota limitů se mírně změnila a je určena pomocí tzv. hlukových ukazatelů. Hlukové ukazatele rozlišujeme:

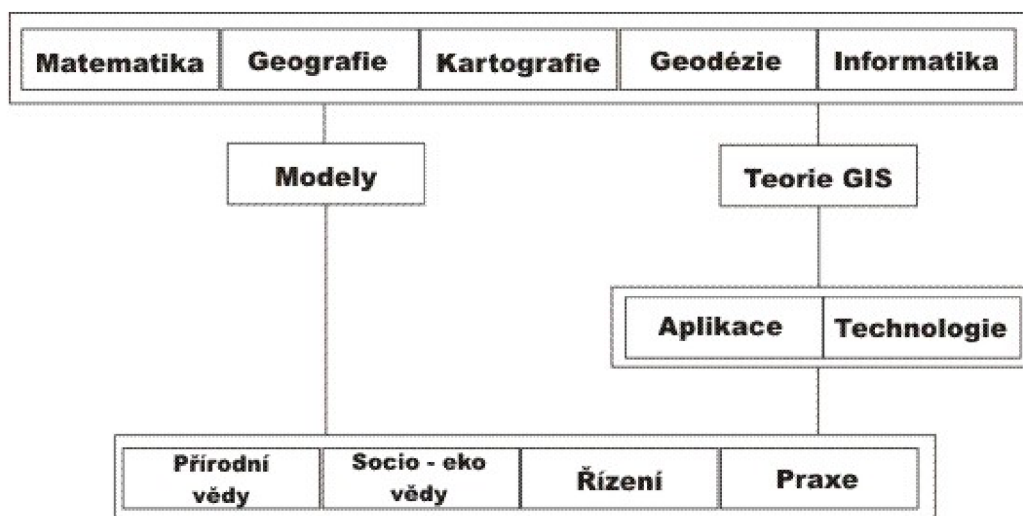
- $L_{dvn}$  pro celodenní obtěžování hlukem,
- $L_d$  pro obtěžování hlukem během dne,
- $L_v$  pro obtěžování hlukem během večera,
- $L_n$  pro rušení spánku.

Mezní hodnoty:

pro silniční dopravu  $L_{dvn}$  se rovná 70 dB a  $L_n$  se rovná 60 dB,  
 pro železniční dopravu  $L_{dvn}$  se rovná 70 dB a  $L_n$  se rovná 65 dB,  
 pro leteckou dopravu  $L_{dvn}$  se rovná 60dB a  $L_n$  se rovná 50 dB,  
 pro integrovaná zařízení  $L_{dvn}$  se rovná 50dB a  $L_n$  se rovná 40 dB  
 [21]

### 3 GEOGRAFICKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM

Geografický informační systém je informační systém pracující s prostorovými daty, umožňující spojení počítačového technického vybavení a geografických údajů k účinnému sběru, ukládání, údržbě, manipulaci, analýze a zobrazování všech forem geografické informace (geografických dat). Tyto rozmanité funkce způsobují tři odlišná chápání pojmu GIS: jako technologie, jako aplikačního nástroje a jako vědeckého oboru. Na Obr 3.1 je graficky znázorněno rozložení všech těchto pohledů společně s vědeckými disciplínami, které se podílejí na formulaci a řešení problémů v GIS, [21].



Obr. 3.1: Schématické znázornění všech 3 pohledů na GIS [21]

Technologický pohled využívají výrobci a dodavatelé součástí. Zaměřují se hlavně na prostředky pro realizaci a provoz aplikace (hardware, software). Z pohledu aplikace jde o informační systém, který je součástí určité organizační jednotky. V projekční úrovni můžeme aplikace rozdělit do dvou směrů.

- **Nespecifické víceúčelové databáze** - charakterizované velkým objemem údajů s přesnou lokalizací a vyhledáváním pomocí databází. Využívají převážně vládní a řídicí orgány, státní správa a organizační složky (GENESYS, MGE, ARC/INFO)
- **Specifické projekty** – menší dočasné databáze s jednoduchou lokalizací zaměřené na analýzy a modelování. Jde hlavně o výzkumné a vývojové aplikace (PC ARC/INFO, MGE PC, IDRISI, SPANS atd.)

Díky odlišnému pohledu na funkčnost GIS můžeme ještě rozdělit:

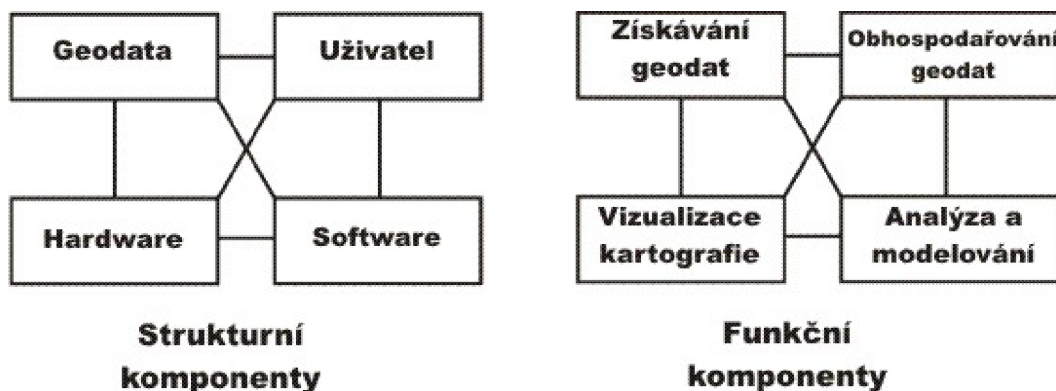
- **Pohled kartografický (mapový) = prostředek zpracování, tvorby a zobrazení map** – využívají uživatelé zaměření na kartografický aspekt nebo kvalitní prezentaci výsledků procesu zpracování.
- **Databázový pohled** – inventarizace, shromažďování, třídění, selektování a prezentace údajů (městské informační systémy).
- **Analytický pohled** – prostorová analýza, syntéza poznatků a modelování odlišuje GIS od ostatních IS. Zaměřují se na oblast a v ní probíhající procesy.

Výše jsou uvedena rozdělení GIS kde si můžeme všimnout jak různé rozdělení může být. Firma ESRI (Environmental Systems Research Institute) uvádí např. tuto definici:[21]

*GIS je organizovaný soubor počítačového hardwaru, softwaru a geografických údajů (naplněné báze dat) navržený na efektivní získávání, ukládání, upravování, obhospodařování, analyzování a zobrazování všech forem geografických informací.*

GIS je tvořen následujícími komponentami,[16]:

- hardware,
- software,
- data,
- metody.



Obr. 3.2: Strukturální komponenty a hlavní funkce GIS [21]

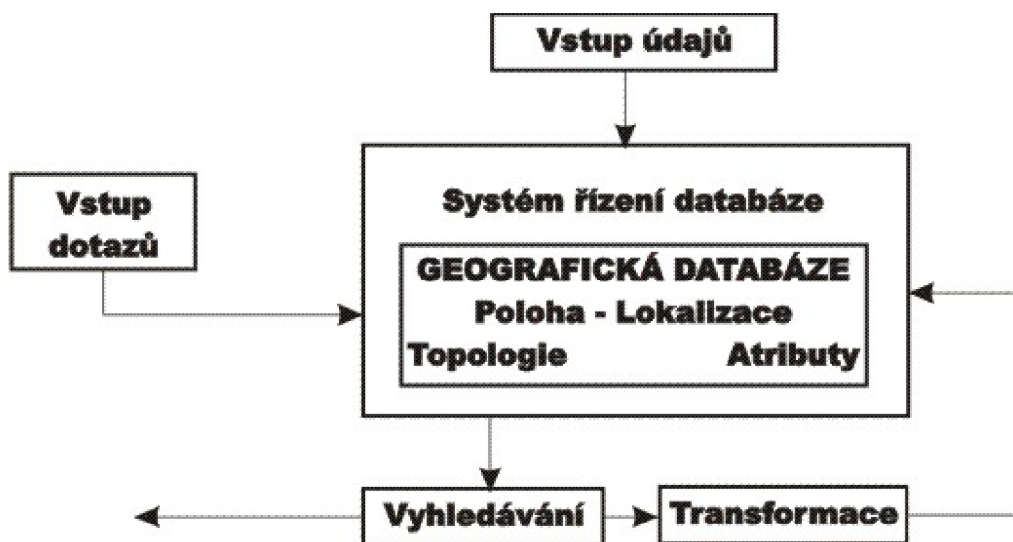
### 3.1 Hardware pro GIS

V současné době je GIS k dispozici na různých počítačových platformách, jako je osobní počítač (PC), pracovní stanice nebo víceúčelové systémy. Hlavním požá-

dvakem GISu jsou specializované periferie pro vstupní a výstupní údaje. Hlavní hardwarová zařízení používaná při aplikacích kromě počítačových platform jsou,[21]:

- Digitizér – zařízení snímající průběh čar z analogového podkladu (mapy) a zjišťovat souřadnice bodů (čar).
- Skener – zařízení, které konvertuje analogový podklad do digitální formy.
- Ploter – zařízení vytvářející kopie analogových kopií map.
- Tiskárna – zařízení vytvářející výstupy textů nebo méně kvalitních grafických výstupů pro předběžné kontroly údajů.

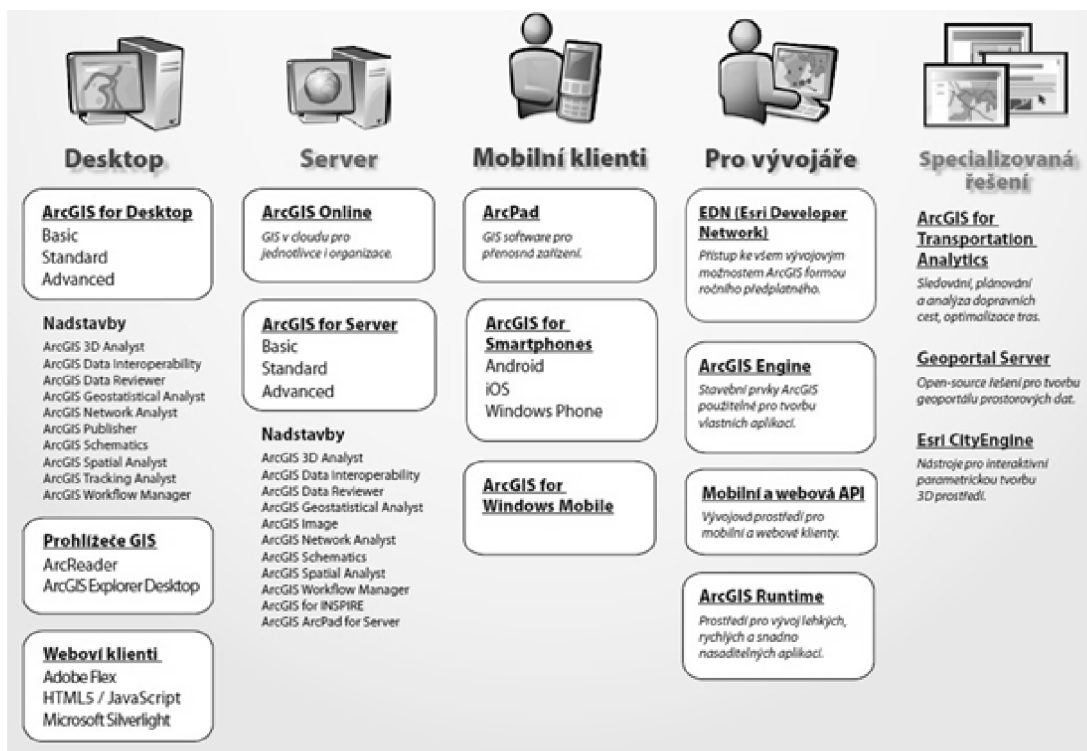
## 3.2 Software pro GIS



Obr. 3.3: Ukázka geografické databáze jako centra GIS

Hlavní uznávaná úloha je geografická databáze nebo systém řízení této databáze. Na Obr. 3.3 je vyobrazena grafická ukázka geografické databáze. Softwarové složky jsou rozděleny podle funkčnosti GIS. Software je běžně tvořen velkým počtem programových modulů, které ho blíže charakterizují. Mezi hlavní skupiny modulů patří *Zachování a vstup údajů (konverze a verifikace převedených digitálních informací)*, *Transformace/restrukturalizace údajů (přeformátování údajů do potřebné formy bez změny obsahu)*, *Zobrazování a vytváření vstupů (úprava výsledků)*, *Prostorové analýzy (dotazování a prohledávání geografické databáze, odvozené mapování s modelování procesů a statistické analýzy)* a *Uživatelské rozhraní/interface (umožňuje komunikaci mezi uživatelem a systémem přes tzv. příkazový řádek, systém nabídek nebo systém ikon)*. Jedním z nejznámějších softwarů je ARC/INFO. Tento software je produktem firmy ESRI, která je hlavním distributorem pro Českou republiku.

Jde o nezávislý otevřený systém jehož základním prvkem je modul ARC. Subsystémy ARCu jsou ADS (digitalizace a úprava vstupujících dat), ARCEDIT (grafický a databázový editor), ARCPLOT (zobrazovací, kartografický a mapovací systém) a TABLES (manipulace atributových údajů), [21].



Obr. 3.4: Součásti systému ArcGIS [21]

## ArcGIS Desktop

V tomto software dochází ke spojení základních prostředků GIS jako je stolní mapování (desktop mapping), multimediální technologie a tradiční nástroje analýzy údajů (databázové a statistické systémy). ArcGIS využívá principu kombinovaného typu dokumentů. Všechny dokumenty jsou mezi sebou dynamicky propojeny (dojde-li ke změně jednoho dokumentu, automaticky se aktualizují všechny ostatní). Velkou výhodou je podpora mnoha formátů prostorových údajů,[21]. Součástí ArcGIS jsou aplikace ArcMap (vytváření map, zobrazování dat a následný tisk), ArcCatalog (nástroje pro správu, tvorbu a organizaci dat), ArcToolbox (umístění nástrojů pro správu a analýzu dat pro obě předchozí aplikace) a ModelBuilder (grafické programovací prostředí využívající programovací jazyk Python), [2]. Základními produkty ArcGIS Desktop jsou ArcInfo, ArcEditor a ArcView. Od verze 10.1 jsou tyto produkty pro snadnější orientaci a ucelení systému přejmenovány. Nejvyšší verze

(Advanced) obsahuje kompletní sadu nástrojů pro pokročilou analýzu, tvorbu dat a jejich následnou vizualizaci. Basic, nejnižší úroveň, umožňuje pouze omezené analýzy a tvorby dat, [3].

Tab. 3.1: Ukázka starých a nových názvů produktů ArcGIS [10]

Starý název	Nový název
ArcGIS Desktop	ArcGIS <verze> for Desktop
ArcInfo	ArcGIS <verze> for Desktop Advanced
ArcEditor	ArcGIS <verze> for Desktop Standard
ArcView	ArcGIS <verze> for Desktop Basic

Ke každému produktu dále patří i nadstavby. Na Obr. 3.4 jsou pro lepší představu zobrazeny všechny součásti systému ArcGIS. Ke každému produktu dále patří i nadstavby.

### 3.3 Datové modely

GIS je informační systém pracující s geografickými daty. Tato data mají své specifika, jimiž se odlišují od dat standardních. Geografická data obsahují tyto základní typy informací,[16]:

- **Prostorové vztahy** – při měření využívají souřadnic (geometrické – pozice, tvar, vzdálenost) nebo vlastností (topologické – spojitost, orientace, sousednost, obsahování).
- **Atributové vztahy** – tzv. neprostorové atributy, popisují jistou informaci vztahující se k objektu.
- **Dynamický popis** – z důvodu problematické reprezentace času se časový faktor často zjednodušuje nebo zanedbává i přesto, že je pro geologické vědy významný.

#### 3.3.1 Reprezentace prostorových dat

V klasických mapách jsou objekty reprezentovány prvky, tzv. mapovými objekty, jejich umístěním a tvarem. Geografická data procesem výpočetního zpracování nebo modelování vedou ke dvěma rozdílným implementacím a tím i reprezentacím v GIS. Jde o [16], [21] :

- **Rastrový model** – vychází z modelování pomocí polí (absolutní modelování prostoru),

- definování hodnot sledovaných fenoménů a jevů v prostoru pro konkrétní polohy,
  - dělení prostoru podle pravidelnosti (pravidelný, nepravidelný),
  - paměťová náročnost – nutná komprese dat.
- **Vektorový model** – vychází z objektového – relativního modelování prostoru:
- vyjadřuje geometrii prostorových objektů pomocí lineární charakteristiky,
  - základní elementem je Bod/Uzel (topologickém smyslu), který je přesně definován vektorem souřadnic v prostoru,
  - linie neboli ukotvená křivka je spojnice mezi dvěma body. Popsána matematickou funkcí,
  - plocha/polygon uzavřený soubor bodů/uzlů.



## 4 REALIZACE MĚŘENÍ

### 4.1 Měřicí technika

V této podkapitole jsou uvedeny použité technické přístroje, důležité pro analýzu hluku a tvorbu hlukové mapy.

#### Minilyzer ML1

Minilyzer ML1 vyrobený firmou NTI je sofistikovaný zvukoměr podporující širokou škálu měřících funkčních metod (včetně potřebného akustického tlaku), které jsou zobrazeny na LCD displeji s podsvícením. Ukázka některých funkcí,[8] :

- snímání hladiny RMS (absolutní hladina vstupního signálu), SPL (sound pressure level) a relativní hladinu vztaženou k referenční hodnotě,
- THD+N (celkové harmonické zkreslení + hluk), frekvence a rozsah,
- 1/3 oktávové spektrum RMS nebo SPL,
- váhové filtry A (IEC 61672), C (IEC 61672) a jiné další .



Obr. 4.1: Minilyzer ML1 s miniSPL

Zvukoměr je vybaven mikrofonom miniSPL. Jde o všesměrový kondenzátorový mikrofón pro volné pole snímání. Základní technické parametry jsou citlivost  $20 \pm 2$  mV/Pa, frekvenční odezva třídy 2 s tolerancí podle typu kalibrace, načítací podmínky 20-200 k $\Omega$ , napájení 1x AA 1,5 V baterie, rozsah teplot 0 -45 °C a vlhkost nižší než 90 % [9]

## GPS

Pro přesnou lokalizaci měřených bodů byla použita GPS od firmy Garmin model Extres 30. Tato navigace je napájena dvěma 1,5 V bateriemi typu AA s výdrží až 25 hodin. Pracuje v teplotním rozsahu -20 až +70 °C, díky velké vnitřní paměti (1,7 GB) a možnosti přídavné microSD karty, je schopna zaznamenat až 2000 úložných bodů. V otevřeném prostoru je její přesnost po kalibraci  $\pm 3,6$  m.



Obr. 4.2: Garmin Extres 30

## 4.2 Popis měřeného prostředí

Měření probíhalo na ulicích Hapalova, Kronova, Palackého náměstí, Marie Hübnerové, Vlasty Pitnerové, Loučky, Gromešova a jejich okolí. Tato lokalita byla vybrána z důvodu přítomnosti 3 základních zdrojů hluku (silnice E461, vlakové nádraží a trasa autobusové MHD (linka 42 a 70)). Na Obr 4.3 jsou vidět všechny naměřené body, na která bude níže odkázáno. Body 21 a 22 jsou naměřeny v těsné blízkosti silnice E461. Jsou zaznamenány jako referenční, aby byl respektován vliv protihlukových opatření. Na samotné tvorbě hlukové mapy se nepodílí.

Na ulicích Hapalova, Gromešova a Palackého náměstí kromě samotného měření hluku byla provedena i analýza dopravní situace. Důvod byl velký vliv na měření (jde o body 1 až 7, 13, 14 a 20). Hodnoty uvedené v Tabulce 4.1 jsou průměrné, z důvodu kratší délky měření, než je požadovaná. Na všech ulicích je povolena nejvyšší



Obr. 4.3: Rozmístění všech měřených míst

rychlost 50 km/h. V době měření, z důvodu oprav na silnici, v místě spojení ulic Hapalova a Gromešova, byla snížena rychlost na 30 km/h. Další snížení je na sjezdu ze silnice E461, kde z povolené rychlosti 80 km/h je snížení na 50 km/h.

Tab. 4.1: Přehled dopravní situace vztažené na dobu 12 hodin

počet/12 hod	Pracovní den (PD)	Nepracovní den (ND)	Pracovní noc (PN)	Nepracovní noc (NN)
Autobusy MHD	192	96	48	96
Lehká nákladní auta	144	48	0	0
Osobní auta	960	720	144	240
Celkem	1296	864	192	336
Průjezd vlaků	72	48	2	4

Na dalších ulicích nebyla provedena analýza dopravy, ale okolního prostředí. Body 16 až 19 byly měřeny v oblasti panelákového sídliště, na parkovištích, v dostatečných vzdálenostech od odrazových míst, přesně podle vyhlášky (viz kapitola metodika měření). Body 9 až 11 jsou rozmístěny na ulici vedoucí podél silnice E461.

První dva (9,10) jsou přesně v místech hlukové bariéry, bod 11 leží už mimo ni. Na této ulici nebyla provedena dopravní analýza, počet projetých aut byl zanedbatelný. Bod 12 je umístěn těsně pod silnicí E461 z důvodu pozorování vlivu přírodního valu na měření.

## Průběh měření

### Nastavení hlukoměru

Cílem práce bylo ověřit funkčnost a kvalitu protihlukových zábran, čemuž bylo umístění a nasměrování hlukoměru podřízeno. Hlavním zdrojem hluku je pro nás silnice E461, proto byla orientace hlukoměru vždy směřována kolmo na ni, přesně jak je řečeno ve vyhlášce (viz kapitola 3.4). Hlukoměr, byl umístěn ve výšce 1,6 m. Podle vyhlášky pro tvorbu hlukové mapy by měl být, ale umístěn, ve výšce 3 m. Jelikož hlavní myšlenkou nebyla jen tvorba samostatné mapy, ale i vliv protihlukových zábran a rozdíl mezi různými časovými obdobími (den a noc, pracovní a nepracovní) byla zvolena tato hodnota. Při měření, byl hlukoměr nastaven na váhový filtr A, integrační konstantu FAST s měřícím rozsahem 20 – 100 dB. Z důvodu ochrany a eliminace větru, byl na mikrofon nasazen ochranný kryt.

### Doba měření

Pro nedostatečné technické vybavení (pouze jeden hlukoměr) bylo měření rozvrhnuo do několika dní a nocí. Měření proběhlo v měsíci dubnu ve dnech: sobotu 5.4, neděli 6.4, středu 16.4, čtvrtek 17.4 a sobotu 19.4.

$$L_{Aeq,0.25hod} = 10 \log \left( \frac{N_0 \cdot 10^{0,1L_0} + N_L \cdot 10^{0,1L_N}}{0,25} \right) [dB(A)] \quad (4.1)$$

kde	$L_{Aeq,0.25hod}$	hladina naměřená za 15 minut,
	$N_0$	počet osobních aut za 15 minut,
	$N_N$	počet nákladních aut za 15 minut,
	$L_0$	hladina hluku po průjezdu jednoho osobního vozidla,
	$L_N$	hladina hluku po průjezdu jednoho nákladního vozidla.

Interval pro denní měření byl 9:00 až 15:00 pro noční 22:30 až 4:30. Měření ve pracovní dny i noci proběhlo ve dnech kdy dny před a po nebyly dny pracovního klidu, přesně jak praví vyhláška. Pro měření byl zvolen interval 15 minut, z důvodu většího počtu měřených hodnot a nočního měření. V každém intervalu je zahrnut

zároveň průjezd autobusu MHD (4 pro PD<sup>1</sup>, 2 pro ND<sup>2</sup>, 1 pro PN<sup>3</sup> a 2 pro NN<sup>4</sup>) a vlaku (min 3 za interval). V praxi jsou hlukové mapy měřené pro denní dobu (6:00 – 22:00) a noční dobu (22:00 – 6:00) v celém časovém rozmezí. Pro lepší přiblížení a omezenou techniku byla vypočtena hladina akustického tlaku pro 12-ti hodinový interval. Před samotným výpočtem musíme vypočítat hodnotu tlaku pro námi zvolený 15 minutový interval. Použitá rovnice 4.1 je uvedena výše. Na výslednou hladinu hluku má velký vliv doba vybraného intervalu. Aby měření bylo co nejobjektivnější, přepočítáme náš naměřený interval (15 minut) na dobu 12 hodin, která zahrnuje požadované spektrum dění v měřené lokalitě. V rovnici 4.2 je tento přepočet ukázán.

$$L_{Aeq,12hod} = 10 \left( \frac{0,25}{12} \cdot \frac{N_{0-12}}{N_{N-12}} \cdot 10^{0,1L_{Aeq,0.25hod}} \right) [dB(A)] \quad (4.2)$$

kde  $L_{Aeq,12hod}$  hladina naměřená za 12 hodin,  
 $L_{Aeq,0.25hod}$  hladina naměřená za 15 minut,  
 $N_{0-12}$  počet osobních aut za za 12 hodin,  
 $N_{N-12}$  počet nákladních aut za za 12 hodin.

Aby obě rovnice mohly být použity musí platit uvedený poměr (rovnice 4.3). V našem případě je tento poměr splněn, proto může být použit.

$$N_N = N_0 \cdot k \quad (4.3)$$

kde  $k$  poměr mezi počtem nákladních (N) a osobních (O) vozidel

---

<sup>1</sup>Pracovní Den

<sup>2</sup>Nepracovní Den

<sup>3</sup>Pracovní Noc

<sup>4</sup>Nepracovní Noc

## Meteorologické podmínky

Před začátkem a v průběhu měření byly zaznamenávány všechny důležité meteorologické podmínky, které jsou uvedeny v tabulce 4.2. Ve všech měřených dnech byly změřené údaje z okolí Řečkovic a Mokré Hory. Z důvodů velké podobnosti meteorologických podmínek jsou tabulky ostatních dní uvedeny v příloze A

Tab. 4.2: Přehled meteorologických podmínek ze dne 5.4.2014

Doba měření [hod]	9:00	14:00	22:30	2:00
Teplota [°C]	10,5	17,2	12,1	8,6
Vlhkost [%]	70	76	58	57
Atmosferický tlak [hPa]	1013	1013,9	1015,7	1015,8
Rychlost větru [ $\text{ms}^{-1}$ ]	1	1	0,4	0,2
Oblačnost	Oblačno	Oblačno	Oblačno	Oblačno

## 5 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

V této kapitole je uvedeno shrnutí naměřených hodnot, srovnání vytvořených map a popisem příčin naměřených výsledků. V tabulkách 5.1 a 5.2 jsou uvedené pouze hodnoty použité pro tvorbu hlukové mapy. Jde o hodnoty akustického tlaku pro 15-ti minutový interval a 12-ti hodinový interval. Ostatní naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze B.

Tab. 5.1: Souhrnná tabulka naměřených hodnot akustického tlaku - část I

Bod	ND		PD	
	$L_{Aeq,12hod}$ [dB]	$L_{Aeq,0.25hod}$ [dB]	$L_{Aeq,12hod}$ [dB]	$L_{Aeq,0.25hod}$ [dB]
1	50,4	50,2	52	51,9
2	50,5	50,6	52,6	52,4
3	47,1	47	47,9	47,5
4	50,2	50	51,5	51,3
5	48,7	48,9	50,3	50,1
6	49,3	49,7	48,9	48,9
7	47,1	47,3	47,4	47,3
8	42	42	42,1	42,1
9	44	44	42,5	42,5
10	42,2	42,2	35,8	35,8
11	42,1	42,1	38,4	38,4
12	45,9	45,9	40,7	40,7
13	44,1	44,3	45,8	45,8
14	45,7	45,6	49,4	49,6
15	48,5	48,6	50,3	50,1
16	38	38	32,9	32,9
17	37,8	37,8	38,5	38,5
18	31,5	31,5	37,5	37,5
19	34,5	34,5	34,2	34,2
20	50,2	50,2	51,7	51,5
21	70,1	-	72,1	-
22	70,2	-	72	-

Tab. 5.2: Souhrná tabulka vypočítaných hodnot akustického tlaku - část II

Bod	NN		PN	
	$L_{Aeq,12hod}$ [dB]	$L_{Aeq,0.25hod}$ [dB]	$L_{Aeq,12hod}$ [dB]	$L_{Aeq,0.25hod}$ [dB]
1	45,8	45,7	42,7	42,6
2	44,3	44,2	41,5	41,5
3	42,9	42,9	38,3	38,2
4	45	44,9	40	40
5	43,2	43,1	39,5	39,3
6	43,9	43,7	40,4	40,2
7	42,4	42,3	37,1	37,1
8	41,9	41,9	27	27
9	42,1	42,1	27,6	27,6
10	41,9	41,9	28,9	28,9
11	41,9	41,9	27	27
12	42,3	42,3	29,1	29,1
13	42,9	42,6	34,2	34,1
14	42,2	42,1	45,9	45,8
15	38,2	38,2	38,1	38,1
16	27,8	27,8	27,4	27,4
17	30	30	29,2	29,2
18	27	27	27,2	27,2
19	42,1	42	28	28
20	45,2	45	41,7	41,7
21	50	-	50,2	-
22	50,5	-	50,6	-

V další části byly, z uvedených hodnot pro jednotlivá období, vytvořeny hlukové mapy. Tvorba map byla provedena v ArcView verze 9.2. Před samotným zobrazením jednotlivých bodů v ArcMap, byly souřadnice naměřené GPS nejprve převedeny z formátu stupeň-minuta-stupeň do formátu stupeň-zlomek-stupeň a uloženy ve formátu dbf, který již jde zobrazit. Dalším krokem byla úprava souřadnicového systému. Naimportované hodnoty jsou v systému WGS (WGS 1984) a podkladová mapa v souřadnicovém systému S-JTSK (S-JTSK Krovak EastNorth). Proto je nutná transformace jednotlivých bodů ze systému WGS do S-JTSK. Tuto transformaci, po správném nastavení, provede ArcMap sám. I přes veškerá jednotlivá nastavení nebylo



možné zobrazit a zároveň uvést hodnotu akustického tlaku na jednotlivých bodech. Pokaždé došlo k navýšení počtu nahraných bodů, kde u souřadnic byla hodnota akustického tlaku přepsána na nulovou a naměřené hodnoty (vepsané k souřadnicím) byly posunuty do dalších bodů (z 20 jich bylo 40). Výsledná mapa, vytvořená ve všech možných metodách byla nepřesná ne-li úplně zkreslená. Z tohoto důvodu byla vytvořena další vrstva (point - Body) kde byly body vyneseny v místech bodů nahraných z GPS (point - Body\_GPS). Pro tvorbu jednotlivých map byla zvolena interpolační metoda Spline. Metoda IDW (Inverse Distance Weighting), na rozdíl od metody Spline, zohledňuje vliv bodu na svoje okolí (nedojde tak, ke vzniku požadovaných izolínii a izofón). U jednotlivých map byl parametr interval třídy (Interval classes) nastaven na hodnotu 9. Jednotlivé mapy jsou zobrazeny níže:

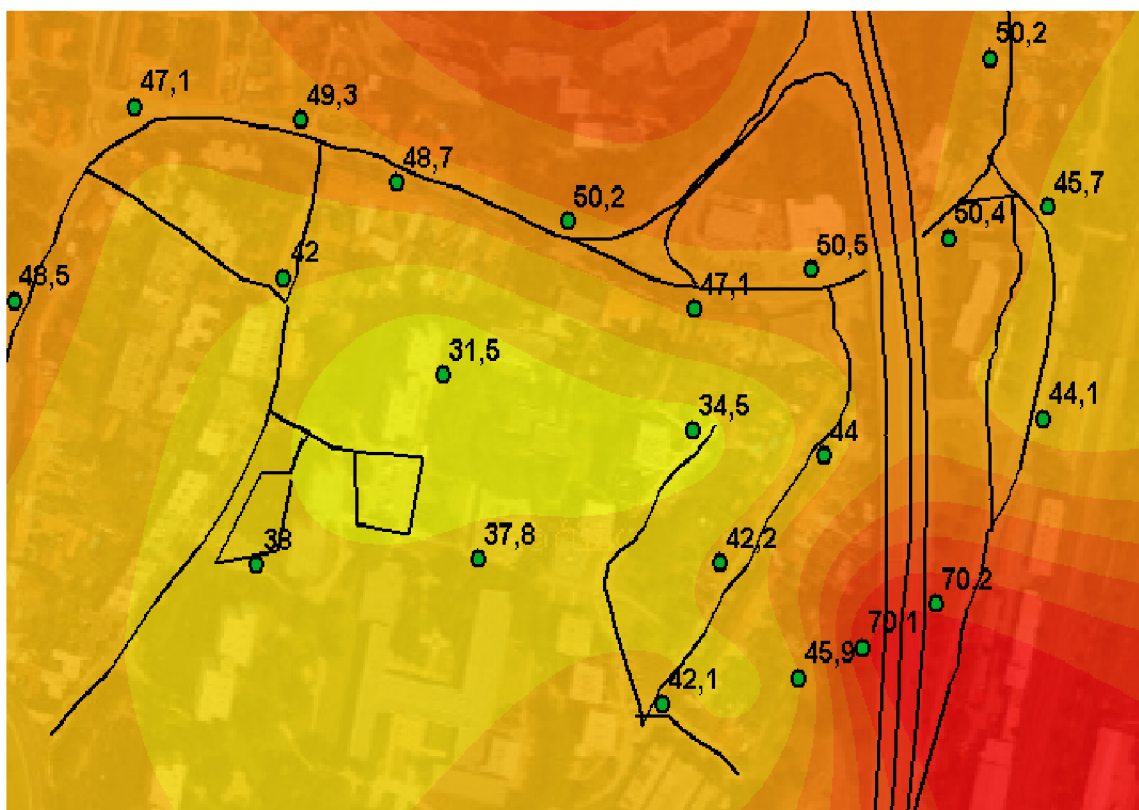
## **Analýza jednotlivých map**

### **Vzájemné porovnání pracovních a nepracovních dní/nocí**

Při tvorbě map nebyly přidány body 21 a 22 z důvodu velkého ovlivnění měření. Jejich hodnoty jsou vyšší až o 20 dB, což způsobilo potlačení ostatních bodů. Na Obr. 5.1 je zobrazena takto vytvořená mapa. Mapy vytvořené společně s referenčními body jsou uvedeny v příloze C

Na Obr 5.2 a 5.3 vidíme hlukové mapy pracovního a nepracovního dne. Rozdíl mezi pracovním a nepracovním dnem je zde nepatrný. Můžeme si všimnout poklesu o 1 až 2 dB ve všech bodech mezi PD a ND. Když odmyslíme veškerou dopravu a necháme pouze MHD je tento rozdíl pochopitelný. MHD jezdí v PD dvakrát častěji. Dalším i když subjektivním parametrem byl člověk a jeho chování. Pro body 9 až 12 a 16 až 19 bylo vidět odlišné chování pro PD a ND. Pro PD byly v těchto bodech naměřeny nižší hodnoty akustického tlaku. Bylo to způsobeno víkendovou prací na zahradách a lidmi chodícími na víkendové procházky. Na Obr 5.4 a 5.5 vidíme mapy pro pracovní a nepracovní noc. Zde už je rozdíl patrnější. V NN jsou hodnoty akustického tlaku vyšší až o 9 dB. Zvýšení je dané větší rušností v době nepracovní noci a častějšími nočními spoji MHD. Dále byl do měření zahrnut i průjezd vlaku (přesné množství projetých vlaků je uvedeno v kapitole 4.2). Ani na jedné mapě není vliv vlaku markantní. Maximálně body 13, 14 a 20 jsou více ovlivněny, ale u ostatních bodů větší vliv není vyzorován. Při nočním měření (17.4.2014) bodu 14 a 20 projížděl nádražím nákladní vlak. Můžeme vidět jeho nepatrný vliv, který se projevil pouze vyšší hodnotou lokálního maxima akustického tlaku  $L_{AeqMax}$  v daném časovém intervalu.

Díky těmto hodnotám, můžeme prokázat vliv hlukových zábran na okolí. Čím větší vzdáleností od silnice E461 tím větší je míra útlumu hluku. Největší útlum je pozorován na bodech 9, 10, 11 a 12. Jsou pro naše měření stěžejní. Popis okolí



**Legenda**  
Hladiny akustického tlaku  
[dB]

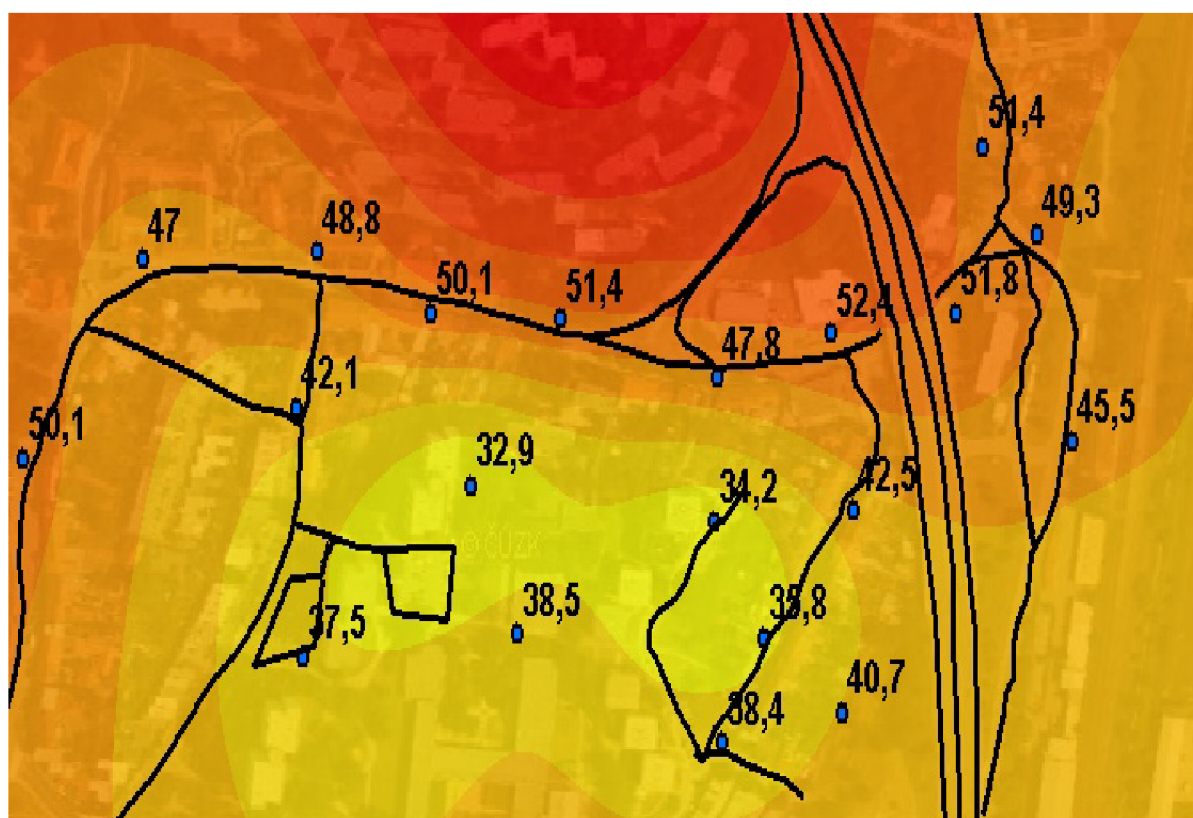
	31,07919884 - 36,11771054
	36,11771055 - 41,15622224
	41,15622225 - 46,19473394
	46,19473395 - 51,23324564
	51,23324565 - 56,27175734
	56,27175735 - 61,31026904
	61,31026905 - 66,34878074
	66,34878075 - 71,38729244
	71,38729245 - 76,42580414

Obr. 5.1: Vytvořená hluková mapa nepracovního dne s referenčními body

jednotlivých bodů je popsán v kapitole 4.2. Ve všech mapách je v bodě 4 hodnota akustického tlaku vyšší než by se čekalo. Je to způsobené sjezdem aut z E461 a jejich bržděním.

## Pracovní den

Měření jednotlivých bodů proběhlo v jeden den. Výsledky nejsou zkreslené jednotlivými změnami počasí. Body 1 a 2 jsou měřené v místech těsně pod silnicí E461. Hodnota akustického tlaku je uměrná s počtem projetých vozidel (hlavně autobusů MHD). Další nečekaná vysoká hodnota akustického tlaku je v bodě 15. Toto zvýšení je způsobené blízkostí autobusové zastávky a rozjížděním autobusů.



### Legend

#### Hladiny akustického tlaku

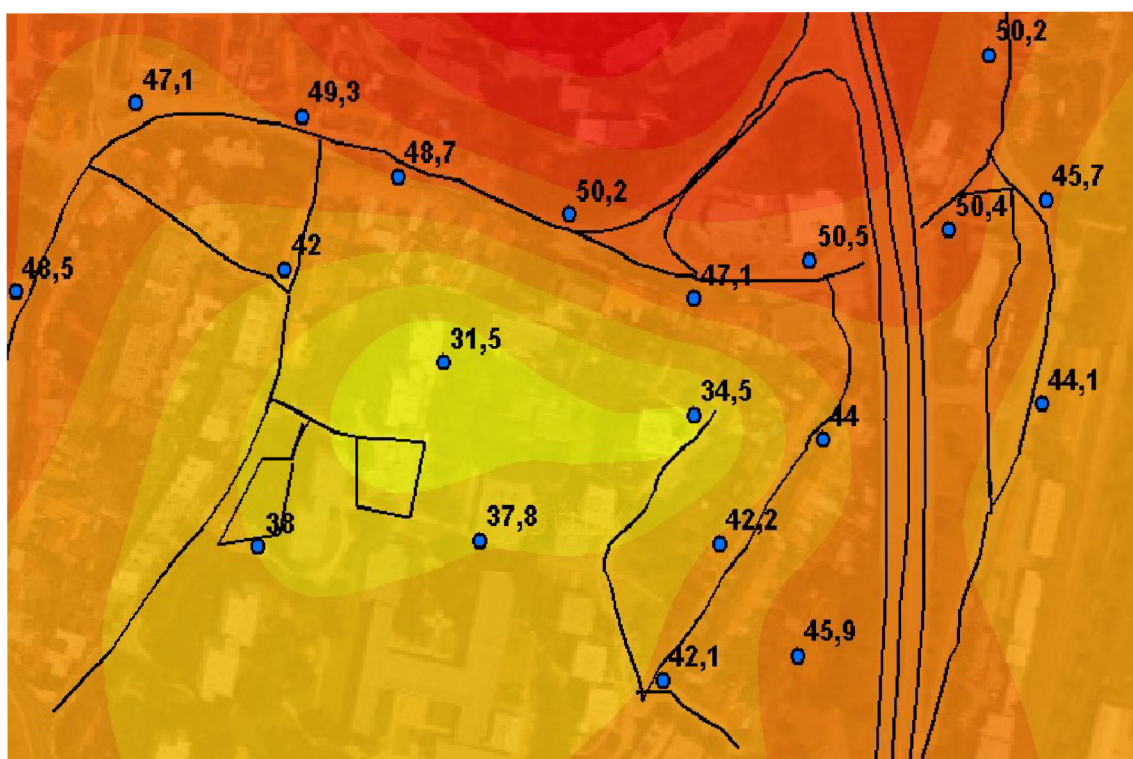
[dB]

	32,56431961 - 36,53726959
	36,5372696 - 40,51021957
	40,51021958 - 44,48316956
	44,48316957 - 48,45611954
	48,45611955 - 52,42906952
	52,42906953 - 56,4020195
	56,40201951 - 60,37496948
	60,37496949 - 64,34791946
	64,34791947 - 68,32086945

Obr. 5.2: Hluková mapa pracovního dne

## Nepracovní den

Měření jednotlivých bodů bylo rozloženo do dvou víkendů (5 a 19.4 2014). Proběhlo za podobných podmínek, čímž nedošlo ke vzniku zbytečného zkreslení. Jednotlivé body jsou, jak bylo popsáno výše, s nižší hodnotou akustického tlaku. Jediné zvýšení je v bodě 18, které je způsobené velkou vytížeností parkoviště nacházejícího se blízko měřeného bodu.



### Legenda

#### Hladiny akustického tlaku

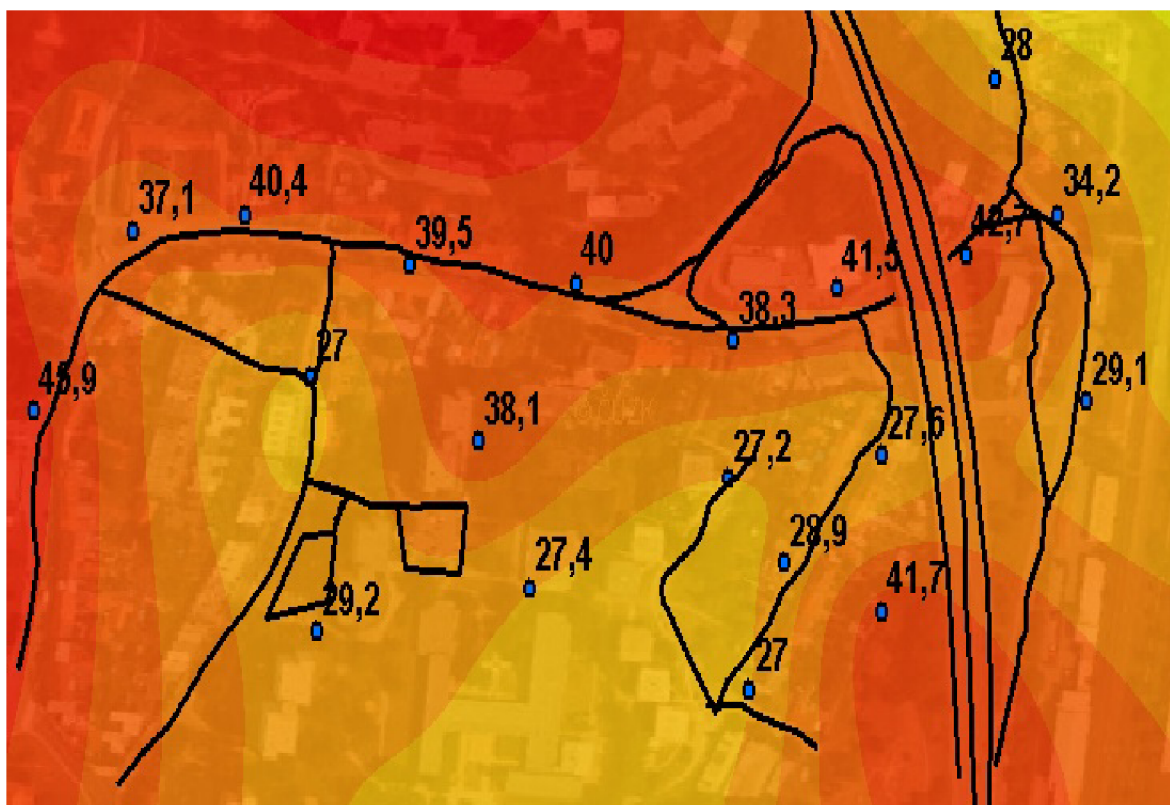
[dB]

	31,07919884 - 34,59340371
	34,59340372 - 38,10760858
	38,10760859 - 41,62181346
	41,62181347 - 45,13601833
	45,13601834 - 48,6502232
	48,65022321 - 52,16442808
	52,16442809 - 55,67863295
	55,67863296 - 59,19283782
	59,19283783 - 62,70704269

Obr. 5.3: Hluková mapa nepracovního dne

## Pracovní noc










Všechny body mají očekávanou hodnotu akustického tlaku až na bod 15. Při měření byla hodnota ovlivněna rušením z okolí. Blízko umístěné stravovací zařízení a zvědavost jejich hostů, společně z dopravou, způsobila zkreslení a vyšší hodnotu akustického tlaku.



### Legend

#### Hladiny akustického tlaku

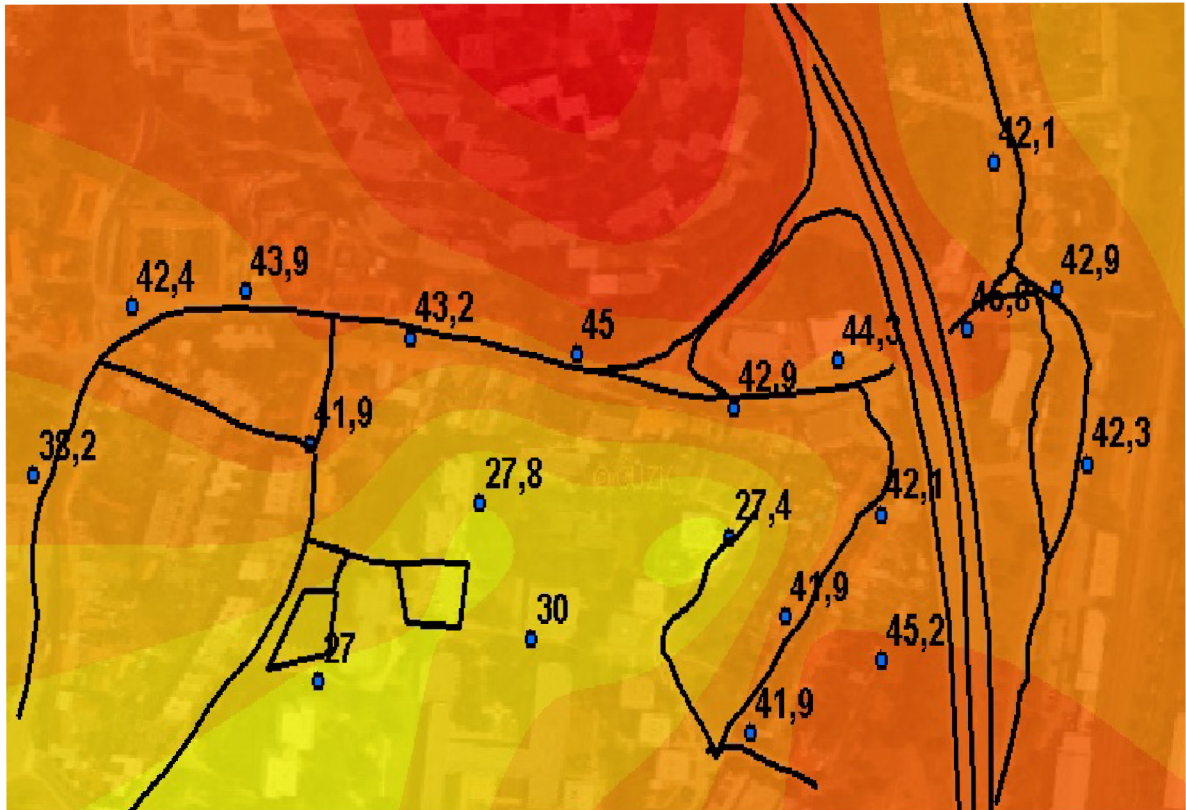
[dB]

	14,32943916 - 18,62264252
	18,62264253 - 22,91584587
	22,91584588 - 27,20904922
	27,20904923 - 31,50225258
	31,50225259 - 35,79545593
	35,79545594 - 40,08865929
	40,0886593 - 44,38186264
	44,38186265 - 48,67506599
	48,675066 - 52,96826935

Obr. 5.4: Hluková mapa pracovní noci

## Nepracovní noc

Během měření nedošlo k žádnému většímu vnějšímu ovlivnění. Naměřené výsledky odpovídají představě.



### Legend

#### Hladiny akustického tlaku [dB]

	23,37648392 - 27,64062797
	27,64062798 - 31,90477202
	31,90477203 - 36,16891607
	36,16891608 - 40,43306012
	40,43306013 - 44,69720417
	44,69720418 - 48,96134822
	48,96134823 - 53,22549227
	53,22549228 - 57,48963632
	57,48963633 - 61,75378036

Obr. 5.5: Hluková mapa nepracovní noci

Po srovnání naměřených hodnot s jednotlivými hlukovými ukazateli, může být řečeno, že všechny hlukové zábrany splňují svoji funkci. V žádném z měřených bodů nedošlo k jejich překročení.

## Zhodnocení dosažených výsledků

Cílem práce byla tvorba hlukové mapy v prostředí ArcView 9.2. V první části práce byly prostudovány fyzikální základy v oblasti prostorové, atmosférické a fyziologické akustiky. Dále byl definován hluk, jeho zdroje a fyziologické účinky na člověka.

V navazující části byla popsána měřicí technika potřebná k měření hluku a zvuku. Dále byla rozebrána metodika měření. Byly uvedeny jednotlivé normy týkající se hluku a popsán přesný postup měření. Kapitola ukončuje hodnocení hluku.

Další kapitola byla zaměřena na rozbor Geografického informačního systému. Věnuje se popisu jednotlivých komponent. Rozebírá základní funkční principy s popisem jednotlivých geografických dat.

Kapitola realizace měření popisuje použité měřicí přístroje (zvukoměr, mikrofon a GPS) a okolí měřených bodů. Měření probíhalo na ulicích Hapalova, Kronova, Gromešova, Loučky, Vlasty Pitnerové, Marie Hübnerové a Palackého náměstí.

V poslední části bakalářské práce byly naměřené hodnoty zapsány do tabulek 5.1 a 5.2. Byl popsán postup tvorby jednotlivých hlukových map. Výsledné hlukové mapy jsou na Obr. 5.2, Obr. 5.3, Obr. 5.4 a Obr. 5.5. Na výsledných hlukových mapách byl vidět nepatrný rozdíl mezi pracovním a nepracovním dnem. Rozdíl mezi pracovní a nepracovní nocí byl daleko větší. Žádný z naměřených bodů nepřekračuje hygienické limity, proto může být řečeno, že protihlukové zábrany plní svojí funkci.

Zadání bakalářské práce bylo splněno v celém svém rozsahu.

## LITERATURA

- [1] Akustika, základní pojmy a veličiny v akustice. Zlín, 03. 05. 2009, 15 s. Dostupné z: <[http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env\\_fyzika/EF\\_02.pdf](http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_02.pdf)>
- [2] ARCDATA Praha s.r.o. ArcGis for desktop [online]. [cit. 2013-12-29]. Dostupné z: <<<http://www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/software/arcgis/arcgis-for-desktop/>>>
- [3] ARCDATA Praha s.r.o. Přejmenování produktů ArcGIS [online]. [cit. 2013-12-29]. Dostupné z: <<<http://www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/software/arcgis/prejmenovani-arcgis/>> >
- [4] BOLDIŠ, P. *Bibliografické citace dokumentů podle ČSN ISO 690 a ČSN ISO 690-2* [online]. 2001, poslední aktualizace 11. 11. 2004 [cit. 17. 2. 2005]. Dostupné z URL: <<http://www.boldis.cz/citace/citace.html>>.
- [5] DOUCHA, P.; BERNARD, M.; FADRŇÝ, M.; MATĚJKA, L.: *eHluk ve vnějším prostředí. Právní rádce občana obtěžovaného hlukem* [online]. Tábor: Ekologický právní servis, 2007. [cit. 2013-11-27]. Dostupné na <[http://hluk.eps.cz/files/Hluk\\_brozura.pdf](http://hluk.eps.cz/files/Hluk_brozura.pdf)>
- [6] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. 1. české vyd., 2. dotisk. Překlad Jan Obdržálek, Bohumila Lencová, Petr Dub. V Brně: Prometheus, 2006, vii, 1034-1198, [30]. ISBN 80-214-1868-0
- [7] MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ – Hlavní hygienik České republiky. *Metodický návod pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí* [online]. Praha, 11. 12. 2001. [cit. 2013-12-29]. Dostupné na : <<[http://www.nr1.cz/metodika/postup\\_prostredi.html](http://www.nr1.cz/metodika/postup_prostredi.html)>>
- [8] NTI AG. Minilyzer ML1: User Manual. Canada, July 2001. Dostupné z: <<http://www.nti-audio.com/Portals/0/data/en/Minilyzer-ML1-Manual.pdf>>
- [9] NTI AG. *MiniSPL Measurement Microphone: User Manual*. 2001. Dostupné z: <<http://www.nti-audio.com/Portals/0/data/en/MiniSPL-Measurement-Microphone-Product-Data.pdf>>
- [10] Po Pionýrské už se jezdí. Nový asfalt sníží hluk. In: Statutární město Brno [online]. Brno, 01.10.2012 15:28 [cit. 2013-12-29]. Dostupné z: <<http://www.brno.cz/brno-aktualne/co-se-deje-v-brne/po-pionyrske-uz-se-jezdi-novy-asfalt-snizi-hluk/>>



- [11] *Pracujeme s geografickým informačním systémem ArcView GIS: poznejte svět počítačových map a geografických informačních systémů pro každého*. 1. vyd. Praha: Computer Press, 1999, xi, 364
- [12] *Prevence a ochrana před hlukem* [online] [cit. 2013-12-29]. Dostupné z URL <<<http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/prevence-a-ochrana-pred-hlukem>>>
- [13] Protihluková skla. In: Nová okna.cz [online]. Praha [cit. 2013-12-29]. Dostupné z <[http://www.noveokna.cz/index\\_protihlukove.html](http://www.noveokna.cz/index_protihlukove.html)>
- [14] Předpis č. 272/2011 Sb. Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. [online] Praha, 24.10.2011 [cit. 2013-12-29]. Dostupné z: <<http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-272>>
- [15] Předpis č. 523/2006 Sb. Vyhláška, kterou se stanoví mezní hodnoty hlukových ukazatelů, jejich výpočet, základní požadavky na obsah strategických hlukových map a akčních plánů a podmínky účasti veřejnosti na jejich přípravě. [online]. Praha 21.11.2006 [cit. 2013-12-29]. vyd. Dostupné z: <<<http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-523>>>
- [16] ROZMAN, Jiří. *Diagnostika životního prostředí*. 1. vyd. Brno: VUT, 2000, 136 s. ISBN 80-214- 1771-4.
- [17] SCHIMMEL, Jiří. *Elektroakustika*. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2013, 167 s. ISBN 978-80-214-4716-5.
- [18] SCHAUER, Pavel. *Vybrané statě z akustiky*. In: FAST: Ústav fyziky [online]. 2001, 2013 [cit. 2013-12-29]. Dostupné z: <<[http://fyzika.fce.vutbr.cz/doc/vyuka\\_schauer/vybrane\\_state\\_z\\_akustiky.pdf](http://fyzika.fce.vutbr.cz/doc/vyuka_schauer/vybrane_state_z_akustiky.pdf)>>
- [19] Silnice I/42 Brno, VMO, Dobrovského B – sdělení ŘSD k problematice ochrany proti hluku z provozu budoucí silnice I/42 v oblasti ulic Žabovřeská a Hradecká. In: Velký městský okruh [online]. 17. 02. 2011 [cit. 2013-12-29]. Dostupné z: <http://www.mestsky-okruh-brno.cz/aktuality/silnice-i42-brno-vmo-dobrovskeho-b-sdeleni-rsd-k-problematice-ochrany-proti-hluku-z-provo/>
- [20] SMETANA, Ctirad. *Hluk a vibrace: měření a hodnocení*. 1. vyd. Praha: Sdělovací technika, 1998, 188 s. ISBN 80-901-9362-5.
- [21] TUČEK, Ján. *Geografické informační systémy: principy a praxe*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 1998, 424 s. CAD. ISBN 80-722-6091-X.

- [22] VAŇKOVÁ, Marie. *Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí- část I*. Vyd. 1. Brno: PC-DIR, 1995, 139 s. ISBN 80-214-0695-X.
- [23] VAŇKOVÁ, Marie. *Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí- část II*. Vyd. 1. Brno: PC-DIR, 1996, 161 s. ISBN 80-214-0818-9.
- [24] VÝKRUTA, Luděk. PLANETA. PRAHA: Ministerstvo životního prostředí, 2005, XII, 2/2005. ISSN 1213-3393
- [25] *Zdroje hluku a jeho měření* [online] [cit. 2013-12-29]. Dostupné z URL <<<http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/zdroje-hluku-a-jeho-mereni>>>
- [26] *Zdravotní účinky hluku* [online] [cit. 2013-12-29]. Dostupné z URL <<<http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/zdravotni-ucinky-hluku#hluk13>>>

## SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

$v$	rychlost zvuku
$K$	modul objemové pružnosti
$\rho$	hustota prostředí
$s_m$	amplitudová výchylka
$T$	perioda
$k$	úhlový kmitočet
$f$	frekvence
$\omega$	úhlová frekvence
$\Delta p_m$	amplituda tlaku
$p$	akustický tlak
$v$	akustická rychlost
$S$	sledovaná plocha
$I$	akustická intenzita
$\rho$	měrná hmotnost prostředí
$c$	rychlost šíření zvukových vln
$P$	výkon zvukové vlny
$z$	měrná akustická impedance
$I_0$	standardní referenční intenzita
$p_0$	referenční hodnota akustického tlaku
$V$	objem místnosti
$T$	doba dozvuku
$A$	celková pohltivost místnosti
$L_{Amax}$	maximální hladina akustického tlaku
$L_{dvn}$	hlukový ukazatel pro celodenní obtěžování hlukem

$L_d$	hlukový ukazatel pro obtěžování hlukem během dne
$L_v$	hlukový ukazatel pro obtěžování hlukem během večera
$L_n$	hlukový ukazatel pro rušení spánku
GIS	geografický informační systém
ESRI	environmental systems research institute
DL	rozdíl mezi hladinou měřeného hluku a hluku pozadí
PD	Pracovní den
ND	Nepracovní den
PN	Pracovní noc
NN	Nepracovní noc
IDW	Inverse Distance Weighting
MHD	Městská hromadná doprava

## SEZNAM PŘÍLOH

A Příloha	53
B Příloha	60
C Příloha	62

# A PŘÍLOHA

## Meteorologické podmínky

Tab. A.1: Souhrn meteorologických podmínek ze dne 16.4.2014

Doba měření [hod]	9:00	14:00	22:30	2:00
Teplota [°C]	8,7	16,4	4	2
Vlhkost [%]	70	68	50	54
Atmosferický tlak [hPa]	1024	1024,9	1023,3	1023,8
Rychlost větru [ $ms^{-1}$ ]	3,8	3,3	2	2
Oblačnost	Oblačno	Zataženo	Oblačno	Oblačno

Tab. A.2: Souhrn meteorologických podmínek ze dne 19.4.2014

Doba měření [hod]	9:00	14:00	22:30	2:00
Teplota [°C]	13	18,2	5	4,5
Vlhkost [%]	34	32	40	40
Atmosferický tlak [hPa]	1024	1024,9	1023,3	1023,8
Rychlost větru [ $ms^{-1}$ ]	2	2	1	0,5
Oblačnost	Slunečno	Zataženo	Jasno	Jasno

### Protokoly z jednotlivých dní měření:

Na stranách číslo 53 až 58 jsou umístěny protokoly jednotlivých měřicích dní.

## Protokol o měření hluku

Jméno: Michaela Němcová  
Datum: 5.4.2014  
Obor a číslo kruhu: BT-BIO  
Čas: 9:00  
Tabulka odečtených hodnota:

Tlak: 1013 hPa  
Teplota: 10,5 °C  
Vlhkost vzduchu: 70%  
Rychlost větru: 1 m/s

Bod	Souřadnice		Laeq [dB]	Laeq min [dB]	Laeq max [dB]
	N	E			
1	49°15.076'	016°35.333'	50,2	27,6	63,3
2	49°15.069'	016°35.275'	50,6	26,1	68,9
3	49°15.054'	016°35.220'	47	26	68,8
4	49°15.074'	016°35.154'	50	27,2	65,7
5	49°15.082'	016°35.093'	48,8	26,3	63,8
6	49°15.091'	016°35.032'	49,6	25,9	66,4
7	49°15.092'	016°34.950'	47,2	30,4	62,7
8	49°15.046'	016°35.027'	42	26	53,6
9	49°15.023'	016°35.289'	44	25,9	69,5
10	49°14.969'	016°35.243'	42,2	25,9	57
11	49°14.941'	016°35.233'	42,1	25,8	64,2
12	49°14.948'	016°35.280'	45,9	25,9	62
13	49°15.043'	016°35.392'	44,2	26	68,7
14	49°15.096'	016°35.378'	45,7	26,3	70

Druhé změření meteorologických podmínek:

Čas: 14:00  
Tlak: 1013,9 hPa  
Teplota: 17,2 °C  
Vlhkost vzduchu: 76%  
Rychlost větru: 1 m/s

## Protokol o měření hluku

Jméno: Michaela Němcová  
Datum: 5 a 6.4..2014  
Obor a číslo kruhu: BT-BIO  
Čas: 22:30

Tlak: 1015,7 hPa  
Teplota: 12,1 °C  
Vlhkost vzduchu: 58%  
Rychlost větru: 0,4 m/s

Tabulka odečtených hodnota:

Bod	Souřadnice		Laeq [dB]	Laeq min [dB]	Laeq max [dB]
	N	E			
1	49°15.076'	016°35.333'	45,9	27,6	60,2
2	49°15.069'	016°35.275'	44,2	26,1	59,8
3	49°15.054'	016°35.220'	42,9	26	64,8
4	49°15.074'	016°35.154'	44,9	27,2	65,4
5	49°15.082'	016°35.093'	43,3	26,3	58,6
6	49°15.091'	016°35.032'	43,8	25,9	63,8
7	49°15.092'	016°34.950'	42,3	30,4	53,3
8	49°15.046'	016°35.027'	41,9	26	50,9
9	49°15.023'	016°35.289'	42,1	25,9	65
10	49°14.969'	016°35.243'	41,9	25,9	51,1
11	49°14.941'	016°35.233'	41,9	25,8	51,2
12	49°14.948'	016°35.280'	42,3	25,9	57,7
13	49°15.043'	016°35.392'	42,7	26	66,7
14	49°15.096'	016°35.378'	42,1	26,3	51,7

Druhé změření meteorologických podmínek:

Čas: 2:00  
Tlak: 1015,8 hPa  
Teplota: 8,6 °C  
Vlhkost vzduchu: 57%  
Rychlost větru: 0,2 m/s



## Protokol o měření hluku

Jméno: Michaela Němcová  
Datum: 16.4.2014  
Obor a číslo kruhu: BT-BIO  
Čas: 9:00  
Tabulka odečtených hodnota:

Tlak: 1024 hPa  
Teplota: 8,7 °C  
Vlhkost vzduchu: 70%  
Rychlost větru: 3,8 m/s

Bod	Souřadnice		Laeq [dB]	Laeq min [dB]	Laeq max [dB]
	N	E			
1	49°15.076'	016°35.333'	51,8	35,1	70,1
2	49°15.069'	016°35.275'	52,4	34,3	77,4
3	49°15.054'	016°35.220'	47,8	35,2	63,7
4	49°15.074'	016°35.154'	51,4	31,7	67,9
5	49°15.082'	016°35.093'	50,1	29,8	65,1
6	49°15.091'	016°35.032'	48,8	30,2	66,6
7	49°15.092'	016°34.950'	47	33,6	64,4
8	49°15.046'	016°35.027'	42,1	27,4	73,9
9	49°15.023'	016°35.289'	42,5	32,6	68,9
10	49°14.969'	016°35.243'	35,8	28,7	57,9
11	49°14.941'	016°35.233'	38,4	29,3	67,1
12	49°14.948'	016°35.280'	40,7	31,3	52,1
13	49°15.043'	016°35.392'	45,5	35,4	62,3
14	49°15.096'	016°35.378'	49,3	36,8	62,9
15	49°15.030'	016°34.900'	50,1	28,4	63,7
16	49°15.037'	016°35.109'	32,9	28,4	62,9
17	49°14.978'	016°35.125'	38,5	29,2	64,7
18	49°14.968'	016°35.024'	37,5	27,8	72,8
19	49°15.005'	016°35.213'	34,2	28,7	52,6
20	49°15.132'	016°35.351'	51,4	36,5	63,3

Druhé změření meteorologických podmínek:

Čas: 14:00  
Tlak: 1024,9 hPa  
Teplota: 16,4 °C  
Vlhkost vzduchu: 68%  
Rychlost větru: 3,3 m/s

## Protokol o měření hluku

Jméno: Michaela Němcová  
 Datum: 16 a 17.4.2014  
 Obor a číslo kruhu: BT-BIO  
 Čas: 22:30  
 Tabulka odečtených hodnota:

Tlak: 1023,3 hPa  
 Teplota: 4 °C  
 Vlhkost vzduchu: 34%  
 Rychlost větru: 2 m/s

Bod	Souřadnice		Laeq [dB]	Laeq min [dB]	Laeq max [dB]
	N	E			
1	49°15.076'	016°35.333'	42,6	27,6	59,8
2	49°15.069'	016°35.275'	41,4	26,1	59,5
3	49°15.054'	016°35.220'	38,3	26	61,7
4	49°15.074'	016°35.154'	40	27,2	54,1
5	49°15.082'	016°35.093'	39,3	26,3	63,1
6	49°15.091'	016°35.032'	40,6	25,9	63,3
7	49°15.092'	016°34.950'	37,1	30,4	55,1
8	49°15.046'	016°35.027'	29,2	26	68,5
9	49°15.023'	016°35.289'	27,6	25,9	43,2
10	49°14.969'	016°35.243'	28,9	25,9	58,3
11	49°14.941'	016°35.233'	27	25,8	45,2
12	49°14.948'	016°35.280'	29,1	25,9	43,7
13	49°15.043'	016°35.392'	34,3	26	52,3
14	49°15.096'	016°35.378'	45,8	26,3	63,1
15	49°15.030'	016°34.900'	38,1	26	62,4
16	49°15.037'	016°35.109'	27,4	25,4	51,4
17	49°14.978'	016°35.125'	29,2	25,9	66
18	49°14.968'	016°35.024'	27,2	25,9	51
19	49°15.005'	016°35.213'	27,4	25,9	68,5
20	49°15.132'	016°35.351'	45	25,7	43,2

Druhé změření meteorologických podmínek:

Čas: 2:00  
 Tlak: 1023,8 hPa  
 Teplota: 2 °C  
 Vlhkost vzduchu: 54%  
 Rychlost větru: 2 m/s

## Protokol o měření hluku

Jméno: Michaela Němcová  
Datum: 19.4.2014  
Obor a číslo kruhu: BT-BIO  
Čas: 9:00  
Tabulka odečtených hodnota:

Tlak: 1024 hPa  
Teplota: 13 °C  
Vlhkost vzduchu: 34%  
Rychlost větru: 2 m/s

Bod	Souřadnice		Laeq [dB]	Laeq min [dB]	Laeq max [dB]
	N	E			
15	49°15.030'	016°34.900'	48,4	26	51
16	49°15.037'	016°35.109'	38	25,4	62,4
17	49°14.978'	016°35.125'	37,8	25,9	54,7
18	49°14.968'	016°35.024'	31,5	25,9	49,8
19	49°15.005'	016°35.213'	34,5	25,9	59,3
20	49°15.132'	016°35.351'	50,2	25,7	66

Druhé změření meteorologických podmínek:

Čas:14:00  
Tlak: 1024,9 hPa  
Teplota: 18,2 °C  
Vlhkost vzduchu: 32%  
Rychlost větru: 2 m/s

## Protokol o měření hluku

Jméno: Michaela Němcová  
Datum: 19.4.2013 až 20.4.2014  
Obor a číslo kruhu: BT-BIO  
Čas: 22:30  
Tabulka odečtených hodnota:

Tlak: 1023,3 hPa  
Teplota: 5°C  
Vlhkost vzduchu: 40%  
Rychlost větru: 1 m/s

Bod	Souřadnice		Laeq [dB]	Laeq min [dB]	Laeq max [dB]
	N	E			
15	49°15.030'	016°34.900'	38,2	26	54,1
16	49°15.037'	016°35.109'	30	25,9	63,3
17	49°14.978'	016°35.125'	27	25,9	55,1
18	49°14.968'	016°35.024'	27,4	25,9	68,5
19	49°15.005'	016°35.213'	45	25,7	43,2
20	49°15.132'	016°35.351'	30	25,9	63,3

Druhé změření meteorologických podmínek:

Čas: 2:00  
Tlak: 1024 hPa  
Teplota: 13 °C  
Vlhkost vzduchu: 34%  
Rychlost větru: 0,5 m/s

## B PŘÍLOHA

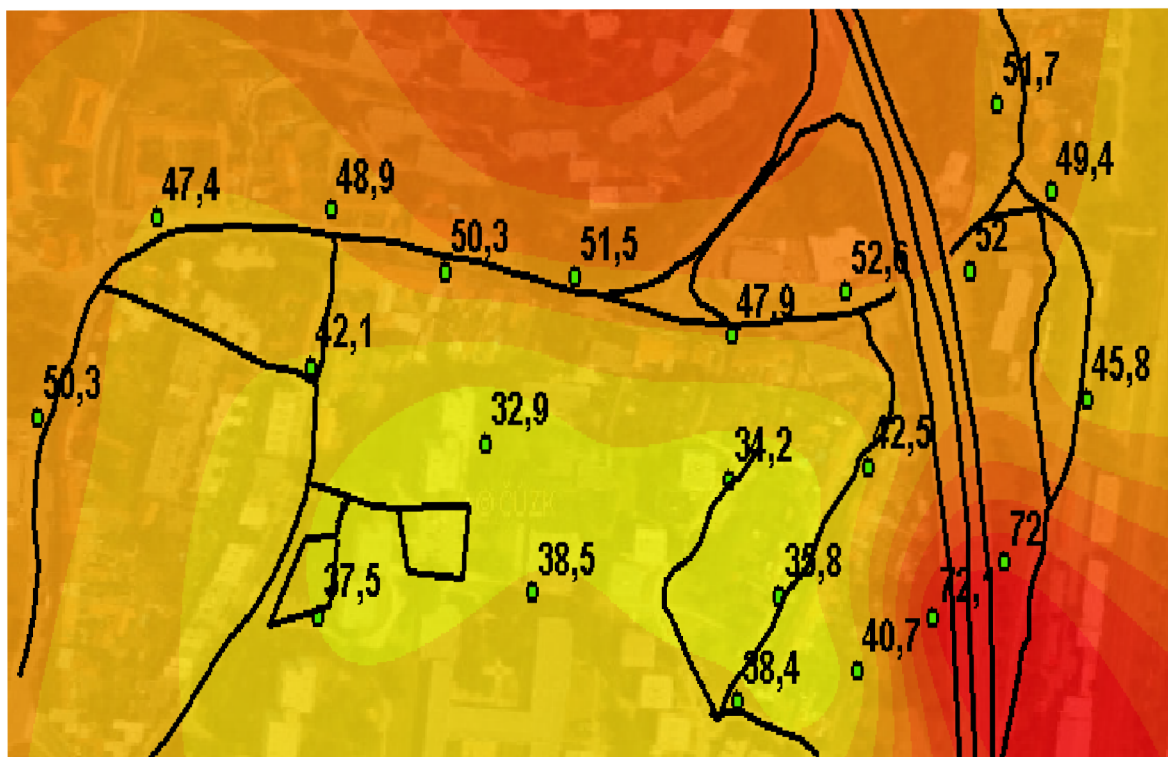
Tab. B.1: Naměřené hodnoty pro PD a ND

pořadí	Nepracovní denní doba (5.4.2014)			Pracovní denní doba (16.4.2014)		
	Laeq [dB]	Laeq min [dB]	Laeq max [dB]	Laeq [dB]	Laeq min [dB]	Laeq max [dB]
1	50,2	27,6	63,3	51,8	35,1	70,1
2	50,6	26,1	68,9	52,4	34,3	77,4
3	47	26	68,8	47,8	35,2	63,7
4	50	27,2	65,7	51,4	31,7	67,9
5	48,8	26,3	63,8	50,1	29,8	65,1
6	49,6	25,9	66,4	48,8	30,2	66,6
7	47,2	30,4	62,7	47	33,6	64,4
8	42	26	53,6	42,1	27,4	73,9
9	44	25,9	69,5	42,5	32,6	68,9
10	42,2	25,9	57	35,8	28,7	57,9
11	42,1	25,8	64,2	38,4	29,3	67,1
12	45,9	25,9	62	40,7	31,3	52,1
13	44,2	26	68,7	45,5	35,4	62,3
14	45,7	26,3	70	49,3	36,8	62,9
15	48,4	26	51	50,1	28,4	63,7
16	38	25,4	62,4	32,9	28,4	62,9
17	37,8	25,9	54,7	38,5	29,2	64,7
18	31,5	25,9	49,8	37,5	27,8	72,8
19	34,5	25,9	59,3	34,2	28,7	52,6
20	50,2	25,7	66	51,4	36,5	63,3

Tab. B.2: Naměřené hodnoty pro PN a NN

pořadí	Nepracovní noční doba			Pracovní noční doba		
	Laeq [dB]	Laeq min [dB]	Laeq max [dB]	Laeq [dB]	Laeq min [dB]	Laeq max [dB]
1	45,9	27,6	60,2	42,6	27,6	59,8
2	44,2	26,1	59,8	41,4	26,1	59,5
3	42,9	26	64,8	38,3	26	61,7
4	44,9	27,2	65,4	40	27,2	54,1
5	43,3	26,3	58,6	39,3	26,3	63,1
6	43,8	25,9	63,8	40,6	25,9	63,3
7	42,3	30,4	53,3	37,1	30,4	55,1
8	41,9	26	50,9	29,2	26	68,5
9	42,1	25,9	65	27,6	25,9	43,2
10	41,9	25,9	51,1	28,9	25,9	58,3
11	41,9	25,8	51,2	27	25,8	45,2
12	42,3	25,9	57,7	29,1	25,9	43,7
13	42,7	26	66,7	34,3	26	52,3
14	42,1	26,3	51,7	45,8	26,3	63,1
15	38,2	26	54,1	38,1	26	62,4
16	27,8	25,4	63,1	27,4	25,4	51,4
17	30	25,9	63,3	29,2	25,9	66
18	27	25,9	55,1	27,2	25,9	51
19	27,4	25,9	68,5	28	25,9	54,7
20	45	25,7	43,2	41,7	25,7	59,3

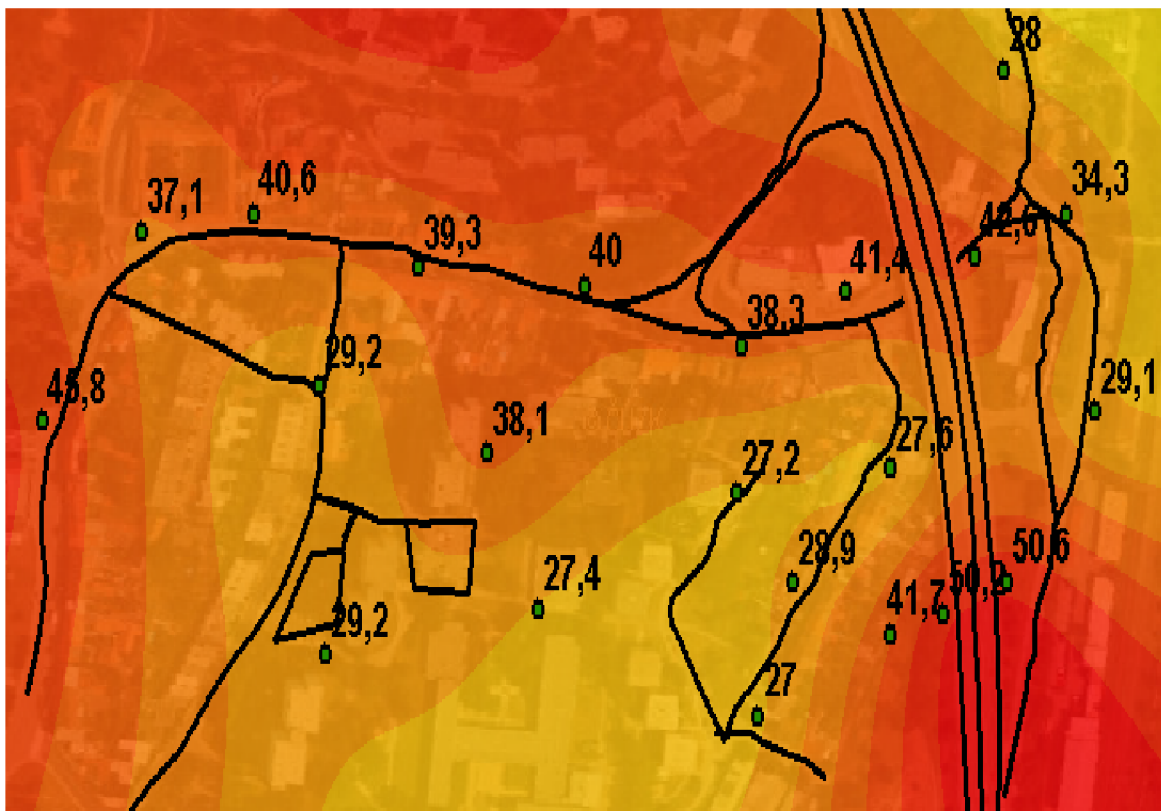
## C PŘÍLOHA



**Legend**  
Hladiny akustického tlaku  
[dB]

32,55502319 - 37,59860908
37,59860909 - 42,64219496
42,64219497 - 47,68578084
47,68578085 - 52,72936673
52,72936674 - 57,77295261
57,77295262 - 62,81653849
62,8165385 - 67,86012438
67,86012439 - 72,90371026
72,90371027 - 77,94729614

Obr. C.1: Vytvořená hluková mapa pracovního dne s referenčními body



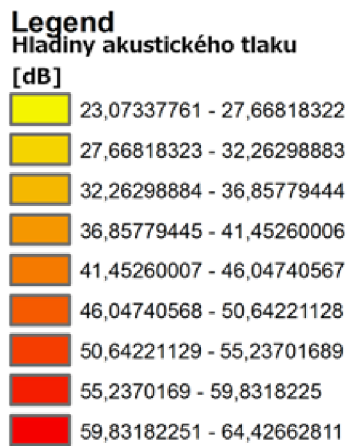
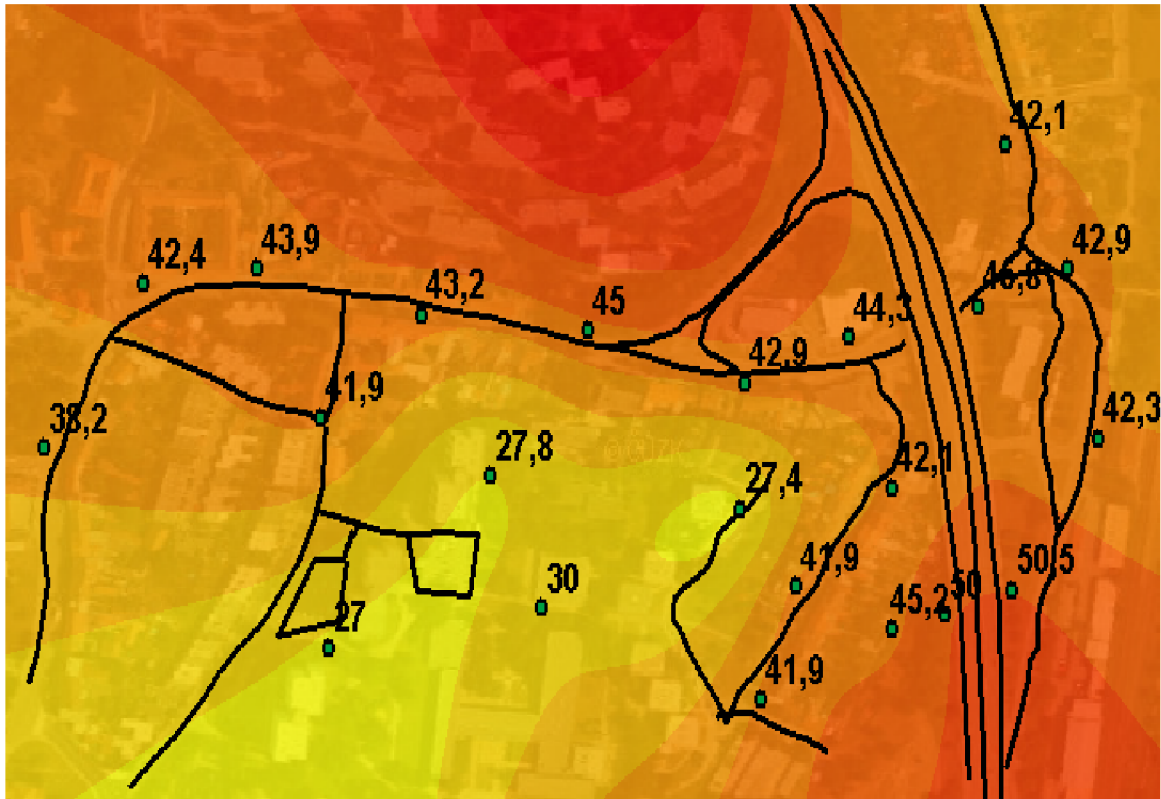
**Legend**

Hladiny akustického tlaku  
[dB]

	13,12319851 - 17,98069043
	17,98069044 - 22,83818234
	22,83818235 - 27,69567426
	27,69567427 - 32,55316618
	32,55316619 - 37,41065809
	37,4106581 - 42,26815001
	42,26815002 - 47,12564193
	47,12564194 - 51,98313385
	51,98313386 - 56,84062576

Obr. C.2: Vytvořená hluková mapa pracovní noci s referenčními body





Obr. C.3: Vytvořená hluková mapa nepracovní noci s referenčními body