VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

MĚŘENÍ HLUKU VE VENKOVNÍCH PROSTORÁCH POMOCÍ PLATFORMY RASPBERRY PI

OUTSIDE NOISE MEASURING WITH RASPBERRY PI

DIPLOMOVÁ PRÁCE

SEMESTRAL THESIS

AUTOR PRÁCE — Bc. Ondřej Kyjovský

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. Martin Králík

SUPERVISOR

BRNO 2019

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Biomedicínské a ekologické inženýrství**

Ústav biomedicínského inženýrství

Student: Bc. Ondřej Kyjovský ***ID:*** 174508 ***Ročník:*** 2 ***Akademický rok:*** 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Měření hluku ve venkovních prostorách pomocí platformy Raspberry Pi

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Seznamte se s tematikou měření hluku a metodikami, používanými při vytváření hlukových map, poznatky shrňte formou literární rešerše. 2) Navrhněte a realizujte zapojení, umožňující měření hluku pomocí platformy Raspberry Pi. 3) Ověřte funkčnost zapojení v laboratorních podmínkách a navrhněte další postup řešení. 4) Navrhněte a realizujte software pro měřící zařízení, umožňující logování naměřených dat. 5) Ve vhodně vybrané lokalitě proveďte měření, výsledky vhodně vizualizujte a komentujte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] LIBERKO, Miloš a Libor LÁDYŠ, 2011. Výpočet hluku z automobilové dopravy - MANUÁL 2011. 1. Praha: ENVICONSULT PRAHA, EKOLA group, s.r.o, 78 s.

[2] MIRCEA, M., I. KOVACS, 2008. Strategic mapping of the ambient noise produced by road traffic, accordinglyto european regulations. In: 2008 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics. IEEE, 2008, s. 321-326

Termín zadání: 4.2.2019 ***Termín odevzdání:*** 17.5.2019

Vedoucí práce: Ing. Martin Králík

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.

předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální 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

Diplomová se zabývá měřením hluku ze silniční dopravy. Cílem práce je seznámení se s problematikou měření hluku ze silniční dopravy a následného vytvoření hlukových map. Měření hluku se provádí pomocí Raspberry Pi.

KLÍČOVÁ SLOVA

Zvukoměr, Hluková mapa, Raspberry Pi, ArcGIS

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the measurement of noise from road transport. The goal of the thesis is to get acquainted with the issue of noise measurement from road traffic and the subsequent creation of noise maps. Noise measurement is carried out using Raspberry Pi.

KEYWORDS

Sound Level Meter, Noise map, Raspberry Pi, ArcGIS

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KYJOVSKÝ, Ondřej. Měření hluku ve venkovních prostorách pomocí platformy Raspberry Pi. Brno, 2019. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/118375. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínského inženýrství. Vedoucí práce Martin Králík.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma ***MĚŘENÍ HLUKU VE VENKOVNÍCH PROSTORÁCH POMOCÍ PLATFORMY RASPBERRY PI*** 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/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících 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.

V Brně dne ....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Martinovi Králíkovi za odborné rady a osobní přístup při vypracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Branislavu Heskovi za odborné rady při vytváření programovací části diplomové práce. Poděkování patří rovněž mé rodině a přátelům za podporu a pomoc při mých vysokoškolských studiích.

OBSAH

Obsah **vii**

Seznam obrázků **x**

Seznam tabulek **xii**

1 Úvod do problematiky **1**

2 Fyzikální zákony a měření hluku **2**

2.1 Zvuk ... 2

2.2 Fyziologická akustika ... 3

2.2.1 Hlasitost ... 4

2.3 Hluk ... 5

2.3.1 Účinky hluku na lidský organismus ... 6

2.4 Měřené veličiny ... 6

2.4.1 Hladina intenzity a hladina akustického tlaku ... 7

2.4.2 Ekvivalentní hladina akustického tlaku ... 7

2.4.3 Hladina expozice zvuku ... 8

2.5 Zvukoměr ... 9

2.5.1 Měřící mikrofony ... 10

3 Hlukové mapy **12**

3.1 Popis hlukových map ... 12

3.2 Vývoj hlukového mapování v ČR ... 13

3.3 Problematika tvorby hlukových map ... 15

4 Geografický informační systém **17**

4.1 Definice ... 17

4.2 Geografické prvky ... 17

4.3 Datový model ... 18

4.4 Hardware pro GIS 19
4.5 Software pro GIS 19
5 Měření hluku v dopravě 21
5.1 Metodika měření hluku v dopravě 21
5.1.1 Cíl měření 21
5.2 Přesnost měření 21
5.3 Vlastní měření 22
5.4 Doba měření 22
5.5 Zjišťované a uváděné údaje 22
5.6 Predikce hluku silniční dopravy 24
5.7 Hlukové hygienické limity 27
6 Návrh systému 29
6.1 Raspberry Pi 29
6.2 Zvukoměr Voltcraft 322 Datalogger 30
6.3 Kalibrátor zvukoměru 31
6.4 Elektronické součástky 31
6.4.1 AD převodník 31
6.4.2 Senzor teploty a tlaku 32
6.4.3 GPS 32
6.4.4 Led dioda 33
6.5 Logování naměřených dat 33
6.6 Ochranný box na měřící sestavu 35
7 Realizace měření 37
7.1 Nastavení zvukoměru 37
7.2 Popis měření hluku 37
8 Dosažené výsledky 44

8.1 ArcGIS 44
8.2 Tvorba hlukové mapy 45
8.3 Výsledné hlukové mapy 45
9 Zhodnocení dosažených výsledků **49**
Literatura **51**
Seznam symbolů, veličin a zkratek **53**
Seznam Příloh **54**
Příloha A **55**
Obsah přiloženého CD **61**

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.1 Šíření zvuku v plynném prostředí kulovým vlněním a rovinným vlněním [2] 2

Obrázek 2.2 Křivky hladin stejné hlasitosti [1] 5

Obrázek 2.3 Blokové schéma zvukoměru 9

Obrázek 3.1 Ukázka hlukové mapy [13]. 13

Obrázek 3.2 Zjednodušený rámcový postup tvorby hlukové vrstvy [14]. 16

Obrázek 4.1 Schéma systému ArcGIS [17]. 20

Obrázek 6.1 Zvukoměr Voltcraft 322 Datalogger 30

Obrázek 6.2 Kalibrátor Lutron SC – 940A 31

Obrázek 6.3 AD převodník ADS 1115 [26] 32

Obrázek 6.4 Senzor tlaku a teploty BMP 280 [28] 32

Obrázek 6.5 Waveshare SIM7600E-H 4G HAT [30] 33

Obrázek 6.6 Aktivní program po zapnutí 35

Obrázek 6.7 Model ochranného boxu 35

Obrázek 6.8 Měřící soustava umístěná v ochranném boxu 36

Obrázek 7.1 Rozmístění měřených míst na ulici Úvoz 38

Obrázek 7.2 Hluková mapa ze dne 2.5.2019 39

Obrázek 7.3 Rozmístění měřených bodů 40

Obrázek 7.4 Rozmístění měřených bodů 41

Obrázek 7.5 Rozmístění měřených bodů 42

Obrázek 7.6 Rozmístění měřených bodů 43

Obrázek 8.1 Ukázka programu ArcGIS Pro 44

Obrázek 8.2 Hluková mapa ze dne 6. 5. 2019 45

Obrázek 8.3 Hluková mapa ze dne 8. 5. 2019 46

Obrázek 8.4 Hluková mapa ze dne 14. 5. 2019 47

Obrázek 8.5 Hluková mapa z noci 14. 5. na 15. 5. 2019 48

SEZNAM TABULEK

Tabulka 5.1 Hlukové hygienické limity [22]. 28

Tabulka 6.1 Vlastnosti Raspberry Pi 3B [24]. 29

Tabulka 6.2 Specifikace zvukoměru Voltcraft 322 Datalogger [25] 30

Tabulka 7.1 Naměřené hodnoty ze dne 2.5. 2019 39

Tabulka 7.2 Naměřená hodnoty ze dne 6. 5. 2019 40

Tabulka 7.3 Naměřené hodnoty ze dne 8.5. 2019 41

Tabulka 7.4 Naměřené hodnoty ze dne 14.5. 2019 42

Tabulka 7.5 Naměřené hodnoty z noci 14.5. 2019 na 15.5.2019 43

1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Stále se zvyšující hladina hluku v poslední době čím dál více ovlivňuje naše životy. Je to dáno se stále se zvyšující průmyslovou výrobou a zvyšující se hustotou dopravy. Negativní dopad zvyšující se hladiny hluku mělo za následek vytvoření různých směrnic a zákonů, ať už vydaných českými úřady tak evropskou komisí. Sledování o tom, jestli jsou tyto zákony dodržovány je velice obtížné. V oblastech, kde je zvýšené riziko hluku se nenachází zařízení, která by tuto situaci kontrolovala snad s výjimkou letišť.

Tato diplomová práce je zaměřena na měření hluku, který plyne ze zvýšené hustoty silniční dopravy. Pro měření hluku je využíváno platformy Raspberry Pi, která dokáže ukládat naměřená data. Ze kterých je pak možno vypočítat ekvivalentní hladinu akustického tlaku. Hygienické limity ekvivalentní hladiny akustického tlaku ze silniční dopravy jsou stanoveny do 55 dB. Tento limit bývá často překračován.

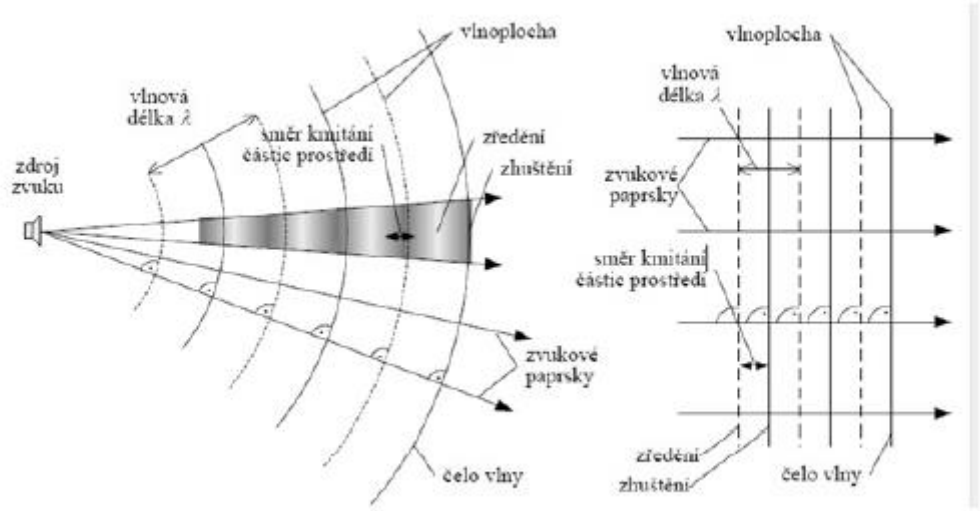
Diplomová práce je rozčleněna do devíti kapitol. První kapitola se zaobírá úvodem do problematiky měření hluku. Druhá kapitola je rozčleněna do čtyř podkapitol, které se věnují fyzikálním zákonům z oblasti měření hluku. Třetí kapitola je rozčleněna do tří podkapitol, které se zabírají problematikou tvoření hlukových map. Čtvrtá kapitola se zaobírá základními poznatky o Geografickém informačním systému. V páté kapitole je popsáno, jak postupovat při měření hluku ze silniční dopravy. Šestá kapitola je zaměřena na návrh systému pro měření hluku ve venkovních prostorách, který se bude následně dále zpracovávat. V sedmé kapitole je popsán průběh měření hluku ze silniční dopravy. Osmou kapitolu tvoří vypracované hlukové mapy na základě předchozích dat. Poslední kapitola vyhodnocuje naměřené výsledky.

2 FYZIKÁLNÍ ZÁKONY A MĚŘENÍ HLUKU

V následujícím textu budou popsány základní fyzikální zákony týkající se zvuku a hluku. V této kapitole teoretické základy ohledně měření hluku, které se zejména provádí v zájmu ochrany lidského zdraví a přijatelných podmínek k životu. Nejprve se tedy podíváme na samotné veličiny popisující zvuk a hluk a nakonec jakými přístroji se dá hluk změřit.

2.1 Zvuk

Zvuk chápeme obecně jako mechanické vlnění v pružném prostředí. V rozsahu akustických kmitočtů (tj. slyšitelných) označujeme vlnění v plynném či kapalném prostředí jako zvuk, mechanické vlnění (kmitání) v tuhých látkách jako vibrace (bez kmitočtového omezení), [1].



Obrázek 2.1 Šíření zvuku v plynném prostředí kulovým vlněním a rovinným vlněním [2]

Zvuk se šíří jak ve směru příčném (převážně pevné látky), tak ve směru podélném (v ostatních skupenstvích). Směr šíření zvukových vln je dán pomocí tzv. vlnoploch a paprsků, viz Obrázek 2.1. Vlnoplocha je plocha, na níž kmitají body se

stejnou fází (slovo vlnoplocha používáme i v rovině u křivek). Paprsky zobrazují směr šíření, kolmice k vlnoploše v daném bodě. Zvuk se akustickým polem šíří podle Hugyensova principu.

Hugyensův princip

Každý bod vlnoplochy, do něhož dospělo vlnění v určitém okamžiku, můžeme pokládat za zdroj elementárního vlnění, které se z něho šíří v elementárních vlnoplochách. Vlnoplocha v dalším časovém okamžiku je vnější obalová plocha všech elementárních vlnoploch, [2].

Podle kmitočtového rozsahu rozeznáváme:

- do 16 Hz – infrazvuk
- 16 Hz 16 kHz – zvuk
- 16 kHz – 1 GHz – ultrazvuk
- nad 1 GHz – hyperzvuk, [1].

Při šíření se rozruchu dochází k ovlivňování přímočarého šíření vlivem odrazu od překážek, ohybem v prostředí s měnícími se vlastnostmi nebo lomem při přechodu z jednoho prostředí do prostředí s jinými vlastnostmi; o míře odrazu, ohybu i lomu rozhoduje změna vlnové impedance prostředí, [3].

2.2 Fyziologická akustika

Fyziologická akustika se zabývá tím, jak člověk vnímá zvuk. Hledá závislosti mezi akustickými parametry zvuků (intenzita, frekvence, spektrum) a naším vjemem (hlasitost, barva, výška). Zabývá se též vnímáním zvuku za ztížených podmínek (hluk).

Sluchový orgán, kterým je ucho, se skládá ze tří částí:

- Zevní – boltec, vnější zvukovod, bubínek
- Střední – tři sluchové kůstky – kladívko kovadlinka, třmínek
- Vnitřní – 3 polokruhovité kanálky, vejčitý váček, kulovitý hlemýžď

Ucho je citlivý receptor na akustický tlak. Transformuje zvukové podněty na sluchové akční potenciály, které jsou vedeny do sluchových center mozku. Ve sluchovém centru jsou porovnávány signály z obou uší a vedeny do spánkových laloků,

čímž se dosahuje sluchového vjemu v našem vědomí. Subjektivní vjem je možné zjistit pouze statistickým zpracováním u velkého reprezentativně složeného souboru. Jen tak je v současné době možné experimentálně zjistit závislost mezi průměrným subjektivním vjemem a fyzikálními veličinami, [1].

2.2.1 Hlasitost

Jedná se o míru subjektivního vjemu zvuku, který souvisí s intenzitou zvuku. Změna, kterou lze rozpoznat závisí na výchozí intenzitě a jejím přírůstku. Přírůstek hlasitosti je úměrný relativní změně intenzity zvuku.

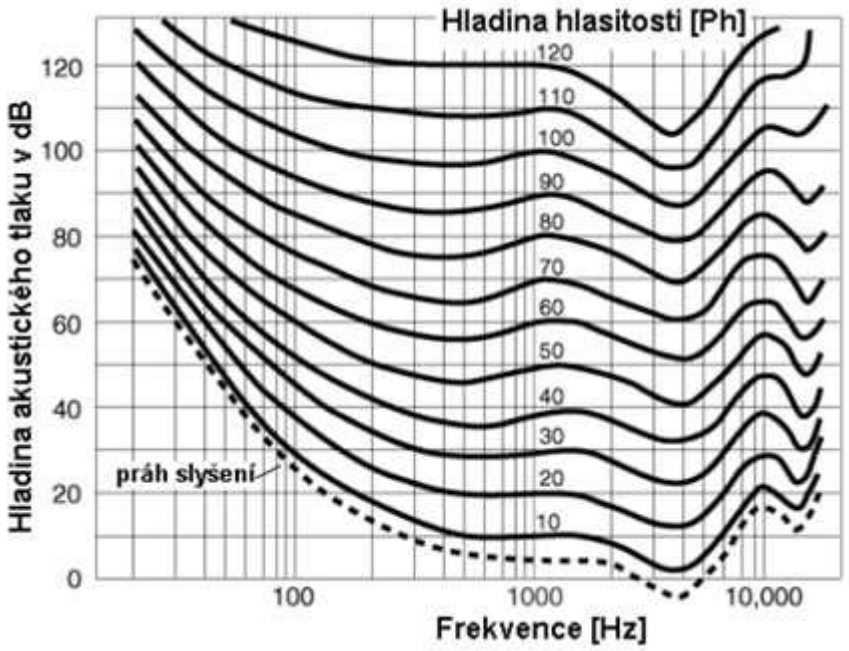
$$dH \approx \frac{dI}{I}, \tag{2.1}$$

Integrací a úpravou tohoto výrazu získáme:

$$H = 10 * log * \frac{I}{I_0}, \tag{2.2}$$

kde I je intenzita zvuku, I_0 je referenční hodnota intenzity pro 1 kHz – $I_0 = 10^{-12}$ Wm^{-2}.

Tato skutečnost je označována jako Weberův – Fechnerův fyziologický zákon. Z toho vyplývá, že smyslové vnímání člověka je tedy úměrné logaritmu podnětu. Ve skutečnosti je však tato logaritmická závislost mezi hlasitostí a intenzitou zvuku vztažené k frekvenci 1 kHz. Hlasitost tónů jiných frekvencí byla stanovena subjektivním srovnáním hlasitosti těchto tónů s tónem referenčním – 1 kHz. Tímto způsobem byly vytvořeny křivky hlasitosti, které udávají, jaký akustický tlak způsobí na různých frekvencích, stejný akustický vjem jako referenční čistý tón. Takto získaný frekvenčně nezávislý stupeň byla nazvána fón – 1 Ph. Na frekvenci je 1 kHz je velikostí roven 1 dB. Křivky hladin o stejné hlasitosti nazýváme jako Fletcher – Munsonovy křivky, [1].



Obrázek 2.2 Křivky hladin stejné hlasitosti [1]

2.3 Hluk

Za hluk se považuje každý nežádoucí zvuk, který má na nás negativní vliv a působí nám nepříjemný či rušivý vjem. Za zdroje hluku považujeme ta zařízení a předměty ve kterých vzniká akustická a energie a šíří se dále do okolí.

Podle průběhu hladiny hluku v čase se hluk dělí na:

- ustálený – hladina se v závislosti na čase nemění o více než 5 dB
- proměnný – 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 impulsy s trváním do 200 ms, nebo sledem takových impulsů následujících po sobě v intervalech delších než 10 ms, [1].

2.3.1 Účinky hluku na lidský organismus

Hluk na lidský organismus působí dvěma způsoby, ovlivňuje jak náš fyzický, tak i psychický stav. O fyziologické reakci člověka na zvuk nerozhodují však pouze fyzikální a psychoakustické parametry, ale také informační obsah zvuku potažmo hluku. Hluk proto můžeme rozdělit na habituální a emoční. Habituálním hlukem nazýváme taková hluk, který přijímáme jako běžný, normální a známý. Naproti tomu emoční hluk, je hluk pro nás zcela nový nebo varující. Zvuky, které v nás vyvolávají vzpomínku na nějakou nepříjemnou událost, jsou také emoční. Habituální hluk má práh účinku, který se pohybuje do hladin akustického tlaku A, což je cca 65 dB. Emoční však může působit i na prahu slyšitelnosti.

Účinky hluku lze rozdělit do dvou skupin:

- Specifické – přímo souvisí s poškozením sluchového orgánu. Do této skupiny patří sluchová adaptace či sluchová ztráta, tedy dočasné nebo trvalé posuny prahu slyšitelnosti. Které však mohou ovlivňovat i poruchy rovnováhy, vzniklé přímým přenosem podráždění zvukovou vlnu na polokruhovité kanálky vestibulárního ústrojí.
- Systémové – nesouvisí přímo se sluchovým orgánem a sluchovou oblastí mozkové kůry. Do této skupiny neurohumorální regulace, neurovegetativní regulace a bichomecké reakce

Z fyziologického hlediska neexistuje adaptace organismu na hlučné prostředí, [1],[4].

2.4 Měřené veličiny

Vzrůst subjektivního sluchového i hmatového vjemu se v zásadě řídí logaritmickým zákonem. Např. akustický tlak slyšitelného rozsahu vjemů přesahuje sedm dekád, což by při vyjádření v jednotkách tlaku [Pa] vedlo k nepraktickému zápisu. V následujícím textu budou popsány měřené veličiny a jejich výpočty.

2.4.1 Hladina intenzity a hladina akustického tlaku

Hladina intenzity je definována pro vztažnou hodnotu $I_0 = 10^{-12}$ Wm^{-2}

$$L_I = 10 * log * \frac{I}{I_0}, \tag{2.1}$$

kde I je naměřená inentzita zvuku a $I_0 = 10^{-12}$ Wm^{-2}.

Hladina akustického tlaku je definována pro vztažnou hodnotu $p_0 = 2.10^{-5}$ Pa

$$L_p = 20 * log * \frac{p}{p_0}, \tag{2.2}$$

kde p je naměřený akustický tlak a $p_0 = 2.10^{-5}$ Pa, [1].

2.4.2 Ekvivalentní hladina akustického tlaku

Jelikož v průběhu dne se hladina akustického tlaku výrazně mění, byla proto stanovena ekvivalentní hladina akustického tlaku, dále L_{eq}. V noci klesá hladina zvuku až na 30 dB, příležitostně s projíždějícími vozidly může vystoupat na hodnotu 70 dB. Denní hladina akustického zvuku je dána podle toho, kde se měření provádí, například v průmyslových částech města bude výrazně vyšší než na vesnici. [5]

Ekvivalentní hladinu akustického tlaku lze vypočítat

$$L_{eq} = 10 * \log\left(\frac{1}{T}\int_0^T \frac{p^2(t)}{p_0^2}\ dt\right) = 10 * \log\left(\frac{1}{T}\int_0^T 10^{0,1L_{pA}}\ dt\right), \tag{2.3}$$

kde T je délka měření, p(t) je naměřený akustický tlak, p_0 je práh slyšení, L_{pA} hladina akustického tlaku A [6].

Při měření hluku se v praxi setkáváme s případy, kdy máme udáno časové rozložení hladin. To znamená, kolikrát se hladina L_i vyskytovala za dobu t_i. Ekvivalentní hladinu pak vypočteme podle vztahu:

$$L_{eq} = 10 * log\frac{\sum_{i=1}^{N} t_i * 10^{0,1*Li}}{\sum_{i=1}^{N} t_i}, \tag{2.4}$$

kde t_i je doba trvání i-té naměřené hladiny, L_i je i-tá naměřená veličina, N je celkový počet naměřených hladin, [1].

Nebo se ekvivalentní hladina akustického tlaku dá měřit pomocí ekvivalentního kontinuálního hladinoměru. Tento měřič věrně sleduje všechny výkyvy, ukládá je do paměti a na konci měření vypočítá hodnotu "průměrné energie" nebo L_{eq}. Průměrem se nemyslí jednoduchý aritmetický průměr, protože hodnota se měří v decibelech, což jsou logaritmické hodnoty. Takže měřič přepočítává hodnoty dB na hladiny akustického tlaku, přidává je všechny, rozděluje je podle počtu vzorků a konečně převede tuto ekvivalentní úroveň zpět na decibely, [7].

L_{eq} - Je běžná praxe měřit hladiny hluku pomocí nastavení A-vážení zabudovaného do všech měřičů hladiny zvuku. V tomto případě je tento výraz správně známý jako L_{eq} a výsledky by měly říkat - například L_{eq} = 73 dB nebo L_{eq} = 73 dBA.

Dobrý měřič hladiny zvuku L_{eq} odzkouší a zachycuje hladinu hluku 16krát za sekundu, což znamená, že za hodinu to činí 16 x 60 x 60 = 57600 výpočtů, což není obtížné pro moderní měřidlo, ale poměrně úspěch několik let zpátky. Hladiny L_{eq} jsou logaritmické hodnoty (dB) a nelze je počítat přímo. Zdvojnásobení hladiny zvuku má za následek naměřený nárůst o 3 dB, čtyři identické zdroje v místnosti by zvýšily hladinu hluku o 6 dB a tak dále. To funguje oběma způsoby, řekněme, že 10 podobných strojů v místnosti produkuje 100 dB, pak odstranění jednoho stroje úplně sníží celkovou hladinu hluku na 0,5 dBA, bylo by třeba ztišit nebo odstranit 50% strojů, aby bylo dosaženo snížení o 3 dB.

L_{eq} se také používá při hodnocení dávky hluku nebo expozice zvuku na pracovišti. Například L_{eq} hladina 85 dBA po dobu 8 hodin je v současné době hodnocena jako 100% dávka ve Velké Británii. Použitím pravidla zdvojení je 85 dBA (8 hodin) = 82 dBA (16 hodin) nebo 88 dB přijatelné pouze 4 hodiny denně. Podobně, pokud je 85 dBA = 100 % dávka, pak 88 dBA = 200 % dávka, [7].

2.4.3 Hladina expozice zvuku

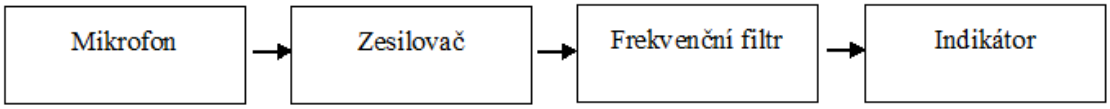
Hladina expozice zvuku vyjadřuje celkovou energii akustické události. Hladina expozice zvuku je v tomto ohledu podobná L_{eq}. Celková zvuková energie je integrována během doby měření, ale namísto toho, aby se zvýšila celková doba měření, používá se referenční hodnota 1 s. Měření hladiny expozice zvuku pomocí A-vážených hladin akustického tlaku je označeno symbolem L_{AE} a jednotkou je decibel.

$$L_{AE} = 10 * log * \left(\frac{1}{T_0}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{p^2(t)}{p_0^2}dt,\right) \quad (2.4)$$

kde T_0 je referenční doba trvání 1 s, p(t) je naměřený akustický tlak a p0 práh slyšení [6].

2.5 Zvukoměr

Zvukoměr je elektronické měřící zařízení, reagující na zvuk podobně jako lidský sluch a umožňující objektivní a reprodukovatelné měření jeho hladin. Zvukoměrná zařízení různých výrobců se vzájemně mohou lišit v detailech konstrukce a provedení, avšak všechny obsahují základní součástky jako je mikrofon, ústrojí zpracování signálu a indikační zařízení.



Obrázek 2.3 Blokové schéma zvukoměru

Kvalitní měřící mikrofon převádí dopadající zvuk na ekvivalentní elektrický signál. Nejvhodnějším mikrofonem pro měření je kondenzátorový mikrofon, k jehož přednostem patří přesnost spolehlivost a stabilita. Elektrický signál na výstupu mikrofonu bývá zpravidla velice malý, proto musí být ještě opatřen předzesilovačem. Zesílený elektrický signál je možno zpracovat pomocí odpovídajících elektronických zařízení. Jednou z možností je použití váhových filtrů. Váhové filtry jsou poměrně jednoduchá zařízení, jejichž kmitočtové charakteristiky odpovídají charakteristikám lidského sluchu. Nejrozšířenější a mezinárodně standardizované jsou zvukoměrné váhové filtry, které se označují A, B, C.

Nejrozšířenější je použití váhového filtru A, který zpracovává měřený signál s ohledem na pokud možno dokonalou aproximaci převrácené křivky stejné hlasitosti, odpovídající nízkým hladinám akustického tlaku. Příčinou méně častého využívání váhových filtrů B a C spočívá v tom, že odpovídající výsledky měření nesouhlasí s výsledky subjektivních zkoušek. Moderní zvukoměry jsou již vybaveny váhovým filtrem, zpravidla váhovým filtrem A, jak bylo uvedeno výše, [3], [9],[10].

Zvukoměry můžeme rozdělit do dvou tříd. Zvukoměry první třídy jsou určeny pro měření v laboratorních podmínkách a pro měření v terénu. Kdežto zvukoměry druhé

třídy jsou určeny pouze pro měření v terénních podmínkách. Zvukoměry třídy 2 mívají obvykle i některé vlastnosti zvukoměrů třídy 1. Stačí však, aby jen jedna z vlastností vyhovovala parametrům pro zvukoměry třídy 2, a tím pádem se řadí do této kategorie [3].

2.5.1 Měřící mikrofony

Mikrofon je akusticko-mechanicko-elektrický měnič, který snímané kmitání vnějšího plynného prostředí převádí na elektrický signál. Když se mikrofon vloží do měřícího pole, naruší tím zvukové pole, které chceme změřit. Odrazy a difrakce způsobené přítomností mikrofonu způsobují zvýšení měřené úrovně akustického tlaku. Ve většině případů potřebujeme měřit hodnotu akustického tlaku jako by se mikrofon v měřeném poli nenacházel. V tomto případě návrháři mikrofonů představují akustické tlumení stejné a opačné k nárůstu tlaku a výsledek je známý jako mikrofon na volném poli. Nicméně nárůst akustického tlaku v mikrofonní membráně se také liší podle úhlu dopadu zvukové vlny, takže kompenzace zavedená konstruktéry je pravdivá pouze v jednom úhlu dopadu. Proto jsou voleny malé rozměry mikrofonů, které mohou splnit důležitý požadavek – všesměrovou charakteristiku.

Většina zvukových měřidel je dodávána s 1/2 palcovým mikrofonem pro volné pole, který je vhodný pro většinu aplikací. Horní frekvenční rozsah mikrofonu závisí na průměru mikrofonu a vlnové délce zvuku. U mikrofonů o rozměru 1/2 palce dochází k maximálnímu nárůstu tlaku při 27 kHz s dohodnutou praktickou horní hranicí 20 kHz. Pokud se zdvojnásobí velikost mikrofonu, zdvojnásobí se frekvenční rozsah, avšak oblast membrány se sníží o faktor 4, takže snímač citlivosti se sníží o 14 dB. Proto nejsou mikrofony o velikosti 1/4 palce vhodné pro měření na nízké úrovni. Nicméně pro měření nad 146 dB je praktický limit pro většinu 1/2 palcových mikrofonů.

Měřící mikrofony jsou kondenzátorové nebo kapacitní zařízení, a proto vyžadují polarizační napětí. Předpolarizované, také známé jako elektretové mikrofony, které nevyžadují externí napájení, byly zavedeny později. Obě verze jsou v současné době používány, ačkoli někteří tradicionalisté tvrdí, že externě polarizované nebo vzduch-kondenzátorové mikrofony jsou stabilnější a přesnější. Preferováno je používání kondenzátorového mikrofonu z těchto důvodů: poměrně lehce dosažitelná „rovná"

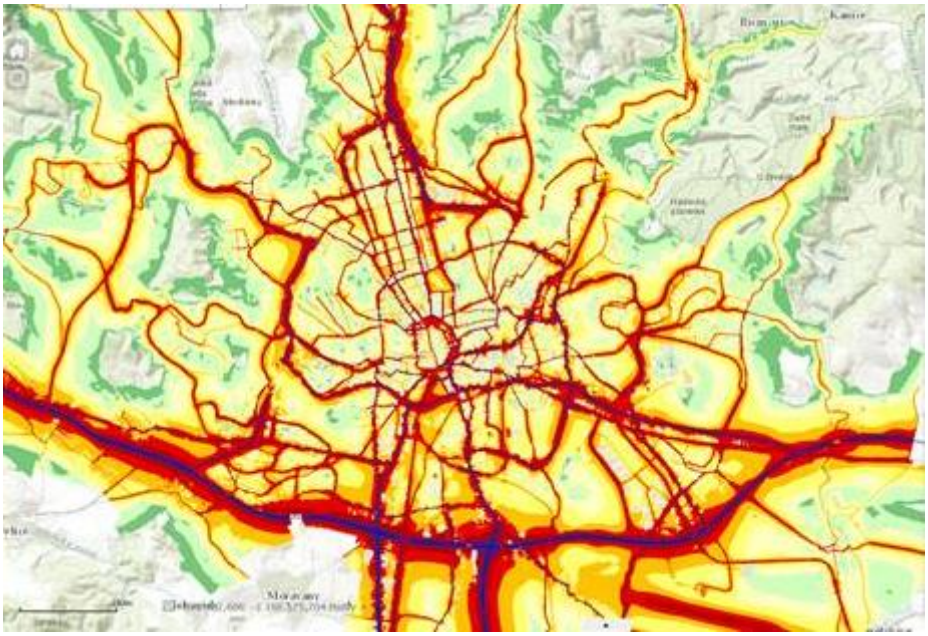
kmitočtová charakteristika v celém slyšitelném rozsahu kmitočtů (u mezních kmitočtů asi ± 2 dB), jeho citlivost je velmi stálá - neměnící se ani po mnoha letech, a důvodem nezanedbatelným je i malá hmotnost a rozměr, [8].

3 HLUKOVÉ MAPY

V této kapitole bude popsáno, jak vznikají hlukové mapy a k čemu slouží. Bude zde též rozepsán vývoj hlukového mapování na území České republiky. Závěr kapitoly se bude věnovat problematice tvorby hlukových map.

3.1 Popis hlukových map

V posledním desetiletí se hlukové mapy staly v zemích Evropské unie běžným nástrojem pro popis hlukové zátěže. Důležitým faktorem, kterým ovlivnil nárůst jejich významu, byla určitě nová nové Směrnice Evropského parlamentu a Rady, týkající se hodnocení a omezování hluku v životním prostředí. Základem této směrnice jsou 3 hlavní zásady: harmonizace (indikátorů hluku, hodnocení hluku, metod výpočtu, metod měření, monitorování, strategie a legislativy), shromažďování informací o hluku ve formě hlukových map a informovanost veřejnosti o současné hlukové situaci i strategii a financování snižování hluku. Hlavním úkolem hlukových map je prezentovat hladinu hluku (hodnoty indikátorů a jejich porovnání s limitními hodnotami), dále vyjadřují zátěž obyvatelstva (počet osob či obydlí v určité oblasti, zasažených určitou hlukovou hladinou). Jejich hlavní využití je při tvoření územních plánů. Hlukové mapy jsou vyžadovány v oblastech velké hustot osídlení, hlavní silniční a železniční dopravní cesty a v blízkosti letišť. Vypracovány byly koncem roku 2004, a aktualizují se vždy po 5 letech. Návrh direktivy připouští i mapy získané z výsledků měření hluku, preferuje však mapy vypočítané, protože pouze ty jsou použitelné i pro predikci budoucího hluku po aplikaci strategie jeho snižování, [11],[12].



Obrázek 3.1 Ukázka hlukové mapy [13].

3.2 Vývoj hlukového mapování v ČR

Do konce 20. století byly v České republice upřednostňovány hlukové mapy pouze na základě měření. Naměřená data byla zpracována krajskými, případně okresními městy. Pro vytváření hlukových map se používala krátkodobá měření aktuální akustické situace na dané komunikaci. Takto získaná data jsou úzce spjata s dobou měření a s daným typem komunikace. Tím je znemožněna jakákoliv predikce. Tento systém tak dával pouze informaci o aktuální situaci a není vhodný pro potřeby územního plánování. Neumožňuje také výhledové zjišťování dopadu záměru do území a neumožňuje tedy zajistit žádoucí úroveň hluku na daném území, [14].

Proto se v zemích Evropské unie daleko dříve začalo v souvislosti s vývojem výpočetní techniky využívat výpočtové techniky. Simulačními výpočty je možno využít jak pro existující data, tak pro prognózy, jak se bude situace na daném území vyvíjet. Podstatnou výhodou používaní metod na základě výpočtových procedur je vysoká míra automatizace pro získávání požadovaných identifikačních údajů: unifikovanost postupu výpočtu, omezení vlivu lidského činitele na získané výsledky, snížení pracnosti, organizační a časové náročnosti na zjištění plošného stavu akustické situace v území, možnost rychlé reakce na změny ve vstupních údajích, možnost vytvoření databanky,

stanovení počtu zasažených lidí a dalších informací v rámci území a v rámci zpracování GIS. Podstatnou nevýhodou, která se podepíše na kvalitě výsledků, jsou vstupní data. Která ovlivní výpočty a tím pádem i výslednou hlukovou mapu, [12],[14].

Typy hlukových map

Jelikož dosud není možné zpracovat a vytvořit univerzální hlukovou mapu, která by nám dávala potřebné informace, musí typ hlukové mapy odpovídat typu získaných dat. Doposud bylo zjištěno pomoci hlukových map, že nadměrným hlukem je rušeno více než 300 000 obyvatel České republiky. Nejedná se však o konečně číslo, neboť ještě nebyla zmapována celá republika. Z údajů Světové zdravotnické organizace vyplývá, že dlouhodobá expozice hlukem nad 55 dB znamená vážné obtěžování a může nastartovat vznik řady onemocnění. Hluk nad 65 dB je lékaři uváděn jako dlouhodobě nesnesitelný, který prokazatelné poškozuje zdraví lidí, kteří jsou takové hodnotě vystaveni. Už po pěti letech, kdy je člověk obtěžován hlučným prostředím je podle lékařů diagnostikovatelný vztah mezi hlukovou zátěží a nemocemi, které hluk způsobuje nebo prohlubuje.

V současné době se rozlišují 4 základní typy hlukových map:

a) Emisní hluková mapa
b) Pásmová plošná hluková mapa, alternativně semaforová
c) Rozdílová hluková mapa
d) Bodová hluková mapa

Ad a) Emisní hluková mapa podává základní informace o hluku, který je způsoben silniční dopravou, a to v referenční vzdálenosti 7,5 m od osy komunikace. Výstupem je hluková mapa, která je barevně odstupňována většinou v rozlišení 5 dB. Podávají i informaci o změně intenzity dopravy.

Ad b) Pásmová plošná hluková mapa je základním zobrazením plošného zasažení území hlukem. Její hlavní využití je při územním plánování. V závislosti na rozsahu měřítka lze podchycovat případné změny. Orientace v těchto mapách je velice složitá a vyžaduje odborné vzdělání a určité zkušenosti. Proto se používá speciální plošná hluková mapa, tzv. „Semaforové zobrazení“. Jak už vyplývá z názvu, tak se pro zobrazení se používají pouze 3 barvy. Nastavení dělicích hranic záleží opět na účelu využití informací z této hlukové mapy.

Možné rozdělení ploch např. dle stávajících platných limitů pro den: Zelená – území zatížené podlimitním hlukem (pod 50 dB), žlutá – území zatížené hlukem mezi 50-60 dB, červená – území zatížené nadlimitním hlukem (nad 60 dB).

Ad c) Rozdílová hluková mapa je speciálním typem hlukové mapy. Využívá se například při stavbách protihlukových stěn. Zkoumá se rozdíl mezi původní situací a situací po dokončení realizace protihlukové stěny.

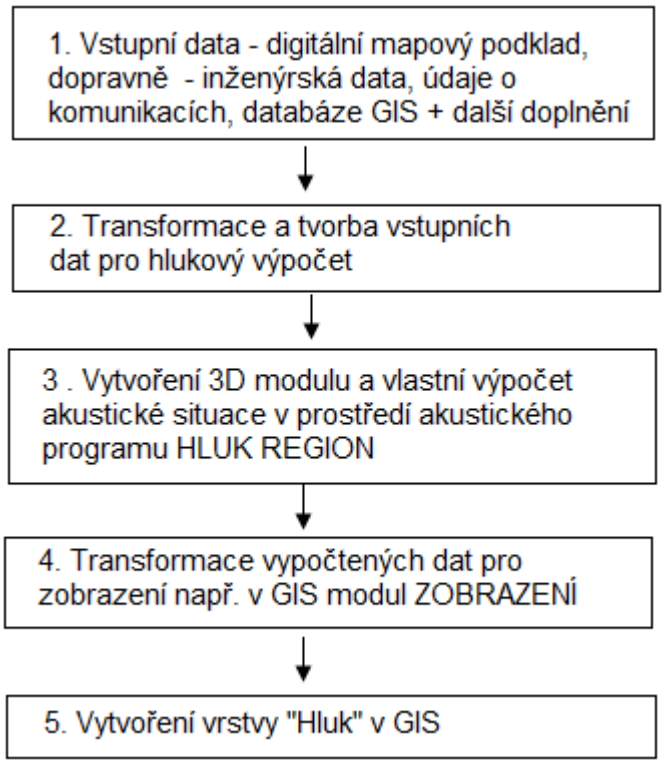
Ad d) Bodové hluková mapy se používají, pokud chceme cíleně měřit jen malé území, například před jednotlivými objekty. Krok výpočtových bodů lze nastavit dle potřeby. Výpočtové body 2 m před fasádami jsou barevně škálovány v základní 5 decibelové stupnici, [14],[15].

3.3 Problematika tvorby hlukových map

Hlavním problémem při vytváření hlukových map není výpočtový software. Největší problematikou je nedostatečná datová základna pro výpočet hluku. Data je potřeba pro každý výpočet získat základním měřením a vhodně doplnit tak, aby se dala automatizovaně zpracovat

V České republice od 90. let 20. století používá výpočtová technika, která již byla několikrát novelizována na základě vývoje znalostí v oblasti hluku z dopravy a změnách ve skladbě vozového parku. Přesnost této metody již byla několikrát vyzkoušena nejen v laboratořích a na území ČR, ale tuto metodu otestovali i zahraniční experti s dobrými výsledky. Vzhledem k tomu, že v naší republice jsou bohaté zkušenosti a letitá praxe s českou výpočtovou metodikou. Při výpočtech, které jsou prováděné touto metodikou, získáme relevantní výsledky, z tohoto důvodu je i nadále používána při tvorbě hlukových map na našem území. Musí se však dbát na její správné používání.

Celkový postup tvorby hlukových map je popsán tímto schématem:



Obrázek 3.2 Zjednodušený rámcový postup tvorby hlukové vrstvy [14].

Základním a největším problémem při hlukovém mapování tak zůstává problematika kvalitních vstupních dat. Zajištění, získání, zpracování těchto vstupních dat tvoří největší podíl a největší problém při zpracování hlukových map, [14],[15],[16].

4 GEOGRAFICKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM

V této kapitole bude popsáno, co je to geografický informační systém a k čemu se využívá.

4.1 Definice

Geografický informační systém, dále GIS se běžně používá pro označení počítačových systémů orientovaných na zpracovávání geografických dat, prezentovaných především v podobě různých map. Jednoznačná definice, která by byla přijatelná pro všechny, stále neexistuje. Spousta definic je ovlivněna prostředím, kde tyto definice vznikly, [17].

V zásadě můžeme rozlišit tři úrovně chápání GIS:

- GIS jako software
- GIS jako konkrétní aplikace
- GIS jako informační technologie

4.2 Geografické prvky

Prostorová data jsou tvořena všemi daty, která se vztahují k prostředí, ve kterém žije člověk, a které mohou být lokalizované v prostoru, případně i čase. Základní jednotkou, kterou lze popsat pomocí prostorových dat je geoprvek. Geoprvek je základní prostorová entita, kterou již nelze dělit na jednotky stejného typu. Takovým prvkem je například budova. Kterou můžeme například rozdělit na patra a místnosti, nelze ji však rozdělit na další budovy. Každý geografický prvek, který chceme v GISu zobrazit musí být správně popsán z mnoha hledisek. Z hlediska prostorových dat lze popis geoprvku rozdělit na pět základních složek:

- Geometrickou – zaznamenává přesnou lokalizaci geoprvku v prostoru, popisuje přímo jeho geometrické vlastnosti a nepřímo prostorové vztahy s okolními objekty - tzv. topologii

- Popisnou – zaznamenává negeometrické prvky, tzv. prvky
- Časovou – zaznamenává pozici prvku v čase, to je doba, ve které geoprvku odpovídají daná geometrie a atributy
- Vztahovou – popisuje vztahy, ve kterých je daný prvek s jinými prvky
- Funkční – popisuje operace, které lze s daným prvkem dělat, [17].

4.3 Datový model

Termínem datový model rozumíme označení logické struktury dat z pohledu zobrazení reálného světa v GISu. Datový model představuje zjednodušený pohled na část reálného světa. Je budován podle určitých pravidel. Při datovém modelování je podstatné určit, které elementy chceme potlačit a které naopak zvýraznit. Vytvoření dobrého datového modelu je velice důležité. Tento model nám totiž určí, která část reality bude reprezentována a jak bude reprezentována.

Datové modely lze rozlišit na dva základní modely:

- **Rastrový datový 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 datový 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, [18].

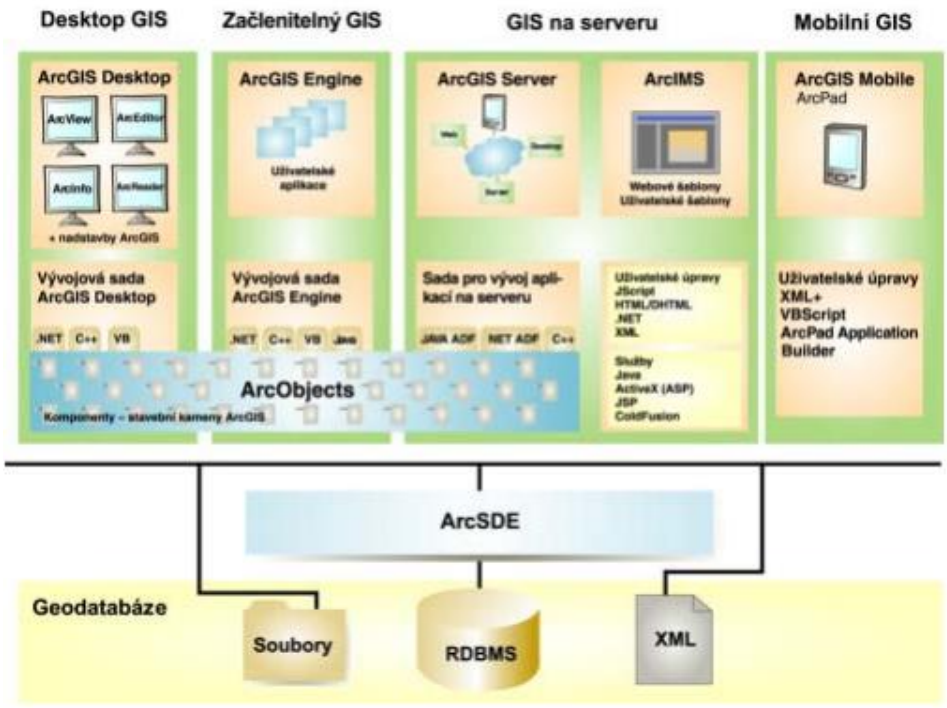
4.4 Hardware pro GIS

V současné době jsou GIS dostupné jak pro PC, tak pro víceuživatelské systémy. Což se hodí zejména v oblasti státní správy a řídících orgánů. Hlavně s ohledem na jejich vhodnost při zpracování velkého objemu dat. Vzhledem k pokroku ve výkonnosti procesorů jsou nyní personální počítače také vhodné pro práci s GIS. Velmi často se taktéž využívají pro řízení grafických periférií jako např. digitizéry, ve větších systémech.

- Digitizér – zařízení snímající průběh čar z analogového podkladu (mapy) a zjišťovat souřadnice bodů (čar),
- Ploter – zařízení vytvářející kopie analogových kopii map,
- Tiskárna – zařízení vytvářející výstupy textů nebo méně kvalitních grafických výstupů pro předběžné kontroly údajů,
- Lokální sítě - local area network (LAN), umožňují sdílení údajů anebo odeslání souborů na tiskárny, [17].

4.5 Software pro GIS

K nejznámějším dodavatelům GIS patří americká firma ESRI. Jde v současné době o největšího světového výrobce software pro geografické informační systémy. Největším a nejrozšířenějším programem je ArcGIS. Ta je k dispozici jako ArcGIS Desktop nebo ArcGIS Online. ArcGIS Desktop je k dispozici ve třech úrovních: ArcView, ArcEditor, ArcInfo, [17].



Obrázek 4.1 Schéma systému ArcGIS [17].

5 MĚŘENÍ HLUKU V DOPRAVĚ

V následující kapitole bude popsáno, jak provádět měření hluku v silniční dopravě a jaké jsou cíle měření.

5.1 Metodika měření hluku v dopravě

Metodika sjednocuje měřicí postupy pro stanovení hlukové zátěže lidí a území způsobované silniční dopravou. Výsledkem měření je především ekvivalentní hladina akustického tlaku A [dB], se stanovenou nejvyšší směrodatnou odchylkou.

5.1.1 Cíl měření

Cílem měření hluku silniční dopravy je získat objektivní informace o skutečném vlivu (podílu) silniční dopravy na akustickou situaci v dané lokalitě. Tyto informace jsou nezbytné pro:

- hodnocení současné situace,
- urbanistické řešení území,
- projektování změny, významu a kategorie dopravní trasy,
- navrhování protihlukových opatření (technických, stavebních a organizačních)
- hodnocení realizovaných protihlukových opatření, [12]

5.2 Přesnost měření

Přesnost měření je charakterizována největší směrodatnou odchylkou výsledků (σ). Je ovlivněna zejména dobou měření, klimatickými podmínkami při měření a třídou přesnosti použitých měřicích přístrojů.

Podle třídy přesnosti platí:

- běžná třída přesnosti (přehledové měření): $\sigma = 3{,}0$;
- technická třída přesnosti: $\sigma = 2{,}0$; [19].

5.3 Vlastní měření

Při měření hluku z dopravy je potřeba dodržovat spoustu pravidel. Tato pravidla se liší podle toho, kde se měření provádí. Jinak probíhá měření v zastavěných a nezastavěných lokacích. Jednou ze zásad je vzdálenost mikrofonu od komunikace. Pokud měření probíhá v zastavěných oblastech, uvádí se vzdálenost od fasády. Měření se provádí ve vzdálenosti 1 m od budovy. Při měření je potřeba dbát a na situování mikrofonu. Minimální výška měřicího mikrofonu nad terénem je 1,5 m, doporučuje se však vyšší. Měřicí mikrofon se směruje ke komunikaci směrem předepsaným výrobcem většinou tak, aby osa nejvyšší citlivosti mikrofonu byla kolmá na podélnou osu komunikace a rovnoběžná s povrchem terénu, tj. aby rovina membrány byla rovnoběžná s dráhou vozidel pohybujících se po komunikaci, [12].

5.4 Doba měření

Pro měření je nutné zvolit správný den. Podle směrnic se totiž nesmí provádět měření den před a den po dni pracovního klidu. Z toho vyplývá, že měření je možno provádět pouze v úterý, ve středu a ve čtvrtek. Jinak nebude mít patřičnou váhu. Rovněž se musí měření provádět, když nejsou extrémní horka a mrazy. Pro naši zeměpisnou šířku jsou to jarní měsíce v období od března do června a od září do října. Při měření je potřeba dbát i na rychlost větru, pokud je vyšší než 10 ms^{-1}, pak se nedoporučuje měření provádět. Dosáhlo by se zkreslených výsledků, [19].

5.5 Zjišťované a uváděné údaje

1. Akustické údaje
   - základním údajem je ekvivalentní hladina akustického tlaku A [dB],
2. Neakustické údaje

a) Topografické údaje
   - přesný popis měřicího místa (vhodný náčrt, fotografie),
   - poloha mikrofonu,
   - popis komunikace (sklon, druh a kvalita povrchu vozovky).

b) Dopravní údaje
   - ve všech případech, kdy je to možné, je třeba sčítat dopravu, a to alespoň ve dvou kategoriích: nákladní vozidla a osobní vozidla (do této kategorie se zahrnují všechna vozidla postavená na podvozku osobního vozu),
   - je výhodné určovat průměrnou rychlost dopravního proudu.

c) Klimatické údaje
   - údaj o teplotě vzduchu ve stupních Celsia a rychlosti větru [m/s],
   - popis oblačnosti.

3. Uváděné údaje

a) Akustické údaje
   - ekvivalentní hladina akustického tlaku A uváděná v dB;
   - čas měření a délka měřícího intervalu.

b) Dopravně-inženýrské údaje
   - popis komunikace (sklon, druh a kvalita povrchu vozovky);
   - výsledky sčítání dopravy.

c) Popis měřícího místa.
   - popis měřícího místa (náčrt, fotografie):
   - umístění měřícího mikrofonu.

d) Přístroje použité při měření
   - název přístroje, výrobce, typ a výrobní číslo,
   - datum a místo úředního ověření zvukoměrného systému,
   - datum a místo úředního ověření akustického kalibrátoru,
   - způsob kalibrace zvukoměrného systému při měření.

e) Datum měření, osoba odpovědná za správnost provedeného měření a úplnost uváděných údajů, [19].

5.6 Predikce hluku silniční dopravy

Identifikátor, který se používá pro posouzení vlivu silniční dopravy na akustické vlastnosti venkovního prostředí je ekvivalentní hladina akustického tlaku A, L_{eq}. Celkový postup výpočtu L_{eq} silniční dopravy lze popsat těmito základními kroky:

1. Zadání vstupních výpočtových parametrů (úplné charakteristiky dopravně-urbanistické situace, jež má být řešena).
2. Výpočet L_{eq} v posuzovaném místě pro základní dopravně-urbanistickou situaci.
3. Zohlednění omezujících podmínek řešení úloh (uplatnění korekcí).
4. Výpočet výsledné hodnoty L_{eq}.

Bližší specifikace jednotlivých výpočtových kroků je tato:

K základnímu kroku 1):

Vstupními parametry pro výpočet ekvivalentní hladiny hluku ze silniční dopravy jsou:

- průměrný počet vozidel, která projedou daným profilem komunikace (křižovatkou) za 1 hodinu,
- podíl nákladních vozidel a autobusů v dopravním proudu,
- výpočtové období,
- výpočtová rychlost,
- podélný sklon nivelety komunikace,
- druh krytu vozovky,
- kolmá vzdálenost posuzovaného bodu od osy komunikace,
- výška posuzovaného bodu nad terénem.

Další parametry, nezbytné pro výpočet L_{eq} charakterizují urbanistickou situaci v území; jsou to následující údaje:

- lokalizace a druh zástavby,
- charakteristiky terénu (terén odrazivý, terén pohltivý),
- topografie řešeného místa a jeho okolí,
- výskyt a lokalizace zeleně, atd.

K základnímu kroku 2):

Podle údajů z předchozího bodu se stanoví pro dopravně a lokálně homogenní úseky komunikace základní ekvivalentní hodnoty hluku v daném bodě. Poté se v tomto bodě zjišťuje útlum dopravního hluku (tj. útlum při šíření hluku od komunikace k místu příjmu).

K základnímu kroku 3):

Data získaná pomocí předchozích kroků nám dají fyzikální hodnotu $L_{eq.}$ Tato hodnota zcela přímo odpovídá situaci, kdy na úroveň hladin hluku v místě příjmu má vliv jenom provoz na komunikaci a útlumové vlastnosti terénu mezi komunikací a posuzovaným bodem. Pro to abychom dostali přesné výsledky s ohledem na dopravně-urbanistickou situaci je potřeba provést korekce, kterými se původní výsledky patřičně modifikují.

Používají se korekce na:

- šířku komunikace,
- délku úseku komunikace,
- útlum hluku nízkou zástavbou,
- útlum hluku překážkou nebo konfigurací terénu,
- vliv přilehlé zástavy,
- vliv zeleně.

K základnímu kroku 4):

Z bodu 2 a 3 vyplývá, že problematika výpočtu hladina L_{eq} se rozpadá na podúlohy. V těchto podúlohách se provede výpočet L_{eq} z provozu na úsecích komunikace. Původní zdroj dopravního hluku, jímž byl provoz na posuzované komunikaci, se tím rozložil na řadu dílčích zdrojů (osobní automobily, nákladní vozy, autobusy, železniční doprava, atd.), tvořených provozem na úsecích komunikace. Celková hodnota L_{eq} v posuzovaném bodě bude tedy výslednicí působení řady zmíněných dílčích zdrojů dopravního hluku. Vypočítá se jako energetický součet ekvivalentních hladin, příslušejících jednotlivým úsekům komunikace. Tento postup se týkal výpočtu hodnot L_{eq} v posuzovaném bodě v případě, že jsou nám známy údaje, které ovlivňují šíření akustické energie na cestě mezi zdrojem a příjemcem.

Další skupinu úloh tvoří řešení situací, kdy hledáme množinu polohy bodů o stanovené výší ekvivalentní hladiny zvuku. Tato množina bodů o stejných úrovních ekvivalentní hladiny zvuku pak definuje ekvivalentní hladiny zvuku. Pomocí výpočtů lze polohu izofony nalézt jak pro situace na jedné komunikaci, tak i pro situace, kdy je akustická situace generovaná provozem na dvou či více komunikacích.

Pokud bychom nepoužívali výpočetní techniku, muselo by se pro výpočet použít menší rozpětí interpolačního intervalu. Interpolační rozpětí používané pro případ jednoho zdroje dopravního hluku nám totiž nezaručuje rychlou konvergenci k požadovanému výsledku, dokonce nemusí zaručit konvergenci vůbec. Podle zásad z předchozího postupu a získaných výsledků, lze říci, že hodnota L_{eq} závisí na dvou skupinách faktorů:

a) na použití vstupních parametrů pro výpočet základní ekvivalentní hladiny zvuku,
b) na použití korekcí.

Jestliže chceme dosáhnout velké přesnosti, je příznivější použít korekce, protože jsou vázány na definované případy jejich existence, kdy způsob jejich použití je podrobně popsán. Chyby, kterých se může dosáhnout, jsou s velkou pravděpodobností způsobeny špatným určením korekcí, nikoliv jejich vlastním použitím.

Nejvýhodnější situace je ovšem v případě a), ačkoliv je způsob výpočtu základní ekvivalentní hladiny zvuku též jednoznačně popsán. Chyby v tomto případě jsou především získané dopravně – inženýrské údaje. Jelikož se provádějí jen v omezeném počtu sčítacích intervalů. Tyto intervaly se pak přepočítávají na požadovanou dobu, zpravidla na 8 h. Těmito údaji jsou intenzita dopravy a její složení.

Při analýze citlivosti, která byla aplikována na základní algoritmus výpočtu L_{eq} bylo zjištěno, že je nutno minimalizovat chyby při počítání průjezdu nákladních vozidel a autobusů – 100 % chyba v určení hodinové intenzity vozidel na komunikaci může vést k maximální teoreticky zdůvodněné změně výsledné L_{eq} o ± 3 dB. Zdůvodnění: Matematický nárůst intenzity dopravy na dvojnásobek lze fyzikálně interpretovat jako existenci dvou stejných zdrojů dopravního hluku - důsledkem je pak zvýšení původní hodnoty L_{eq} o 3 dB, zatímco k chybě až 5 dB se dostáváme už i při nepřesném určení podílu nákladních vozidel a autobusů v dopravním proudu o 20 %. Je tedy zjevné, že

čím přesněji jsou určené vstupní parametry, co se zastoupení vozidel týče, tím je vypočítaná hodnota L_{eq} přesnější.

Podle ustanovení ČSN EN IEC 61672-1 „Zvukoměry" pro terénní výsledky s automatickým odečtem, zařadit do II. třídy přesnosti s chybou ±2 dB naměřené hodnoty. V 90. letech minulého století se začaly zvětšovat rozdíly mezi vypočítanými a naměřenými hodnotami L_{eq}. Vypočtené výsledky byly prakticky pravidelně vyšší než ty, které byly naměřeny. To bylo příčinou pro novelizaci metodiky výpočtu hluku ze silniční dopravy. Inovace metodiky pro výpočet hluku silniční dopravy byly ověřeny klasickými měřeními pomocí zvukoměrů podle „Metodiky měření hluku silniční dopravy" a výsledek plně ověřil novelizované výpočtové postupy pro všechny běžné situace, jimiž jsou:

- volné akustické pole,
- jednostranná zástavba,
- jednostranná rozptýlená zástavba,
- jednostranná rozptýlená zástavba s odrazem,
- oboustranná rozptýlená zástavba,
- oboustranná zástavba,
- náměstí historického typu.

Z výsledků naměřených hodnot v porovnání s těmi vypočítanými byla průměrná odchylka mezi nimi 0,46 dB. Při predikování hodnot je potom vypočítaná hodnota vyšší než skutečná naměřená [12],[19], [20],[21].

5.7 Hlukové hygienické limity

Pro hodnocení hlukové situace v území jsou využity charakteristiky hluku v chráněném venkovním prostoru a v chráněném venkovním prostoru staveb. Hygienické limity hluku v chráněném venkovním prostoru staveb a v chráněném venkovním prostoru jsou dány nařízením vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, takto: Hodnoty hluku, s výjimkou vysokoenergetického impulsního hluku tvořeného impulsy ve venkovním prostoru vznikajícími při střelbě z těžkých zbraní, při explozích výbušnin s hmotností nad 25 g

ekvivalentní hmotnosti trinitrotoluenu a při sonickém třesku, se vyjadřují ekvivalentní hladinou akustického tlaku A $L_{eq,T}$. V denní době se stanoví pro 8 souvislých a na sebe navazujících nejhlučnějších hodin (Leq,8h), v noční době pro nejhlučnější 1 hodinu (Leq,1h). Pro hluk z dopravy na pozemních komunikacích, s výjimkou účelových komunikací, a dráhách, a pro hluk z leteckého provozu se ekvivalentní hladina akustického tlaku A $L_{eq,T}$ stanoví pro celou denní (L_{eq},16h) a celou noční dobu (L_{eq},8h). Hygienický limit v ekvivalentní hladině akustického tlaku A, s výjimkou hluku z leteckého provozu a vysokoenergetického impulsního hluku, se stanoví součtem základní hladiny akustického tlaku A $L_{eq,T}$ se rovná 50 dB a korekcí přihlížejících ke druhu chráněného prostoru a denní a noční době podle přílohy č. 3 k nařízení vlády. Pro vysoce impulsní hluk se přičte další korekce -12 dB. V případě hluku s tónovými složkami, s výjimkou hluku z dopravy na pozemních komunikacích a drahách, a hluku s výrazně informačním charakterem se přičte další korekce - 5dB.Ve smyslu platné legislativy je jediným závazným deskriptorem pro popis stavu akustické situace v území ekvivalentní hladina akustického tlaku A (L_{eq}). Nejvyšší přípustné hodnoty hluku nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací stanoví se součtem základní hladiny hluk $L_{eq,T}$ = 50dB a příslušné korekce pro denní nebo noční dobu a místo, [22].

Tabulka 5.1 Hlukové hygienické limity [22].

Venkovní hluk	**Den (6 - 22 h)**	**Noc (22 – 6 h)**
Základní limit – hluk jiný než z dopravy	50 dB	40 dB
Hluk ze silniční dopravy	55 dB	45 dB
Hluk ze železniční dopravy	55 dB	50 dB
Hluk z hlavních silnic	60 dB	50 dB
Hluk v ochranných pásmech drah	60 dB	55 dB
Stará hluková zátěž	70 dB	60 dB
Stará hluková zátěž u železničních drah	70 dB	65 dB

6 NÁVRH SYSTÉMU

V následující kapitole bude popsán návrh systému pro měření zvuku pomocí Raspberry Pi. Bude zde popsána jak hardware, tak i software snímání hladiny akustického tlaku včetně postupů, které byly pro měření použity. Programovací část se bude provádět pomocí Python verze 3.5.

6.1 Raspberry Pi

Pro snímání hladiny akustického tlaku byla vybrána platforma Raspberry Pi 3B, která běží na operačním systému Raspbian. Jedná se o jeden z nejstarších a nejvíce univerzálních systémů. Platforma Raspberry Pi byla vybrána z důvodu své velikosti, výkonu a ceny. Celá soustava je napájena pomocí powerbanky, [23],[24].

Tabulka 6.1 Vlastnosti Raspberry Pi 3B [24].

Komponenty	**Vlastnosti**
Procesor (CPU)	1,2 GHz 64-bitový čtyřjádrový ARM Cortex-A53
Paměť (SDRAM)	1 GB sdílená s GPU
Video (GPU)	Broadcom VideoCore IV @ 400 MHz / 300 MHz, OpenGL ES 2.0 (24 GFLOPS), MPEG-2 a VC-1 (s licencí), 1080p30 H.264/MPEG-4 AVC dekodér a kodér s vysokým profilem
Audio výstup	digitální HDMI rev. 1.3 & 1.4, nebo analogový JACK
Video výstup	digitální HDMI rev. 1.3 & 1.4, nebo analogový JACK
USB 2.0 porty	4
Integrovaná síť	10/100 Mbit/s Ethernet + WiFi 802.11n a Bluetooth 4.1
Napájení	micro USB konektor

6.2 Zvukoměr Voltcraft 322 Datalogger

Pro měření dat byl použit zvukoměr od firmy *Voltcraft 322 Datalogger* (viz Obrázek 5.3)

Obrázek 6.1 Zvukoměr Voltcraft 322 Datalogger

Tabulka 6.2 Specifikace zvukoměru Voltcraft 322 Datalogger [25]

Název	Vlastnosti
Měřící rozsah	30 do 80 dB, 50 do 100 dB, 80 do 130 dB, 30 do 130 dB
Rozlišení	0.1 dB
Přesnost	±1.5 dB @ 94 dB
Frekvenční rozsah	31.5 Hz do 8 kHz
Napájení	9 V alkalická baterie

6.3 Kalibrátor zvukoměru

Pro kalibraci zvukoměru před každým měřením byl použit kalibrátor Sound Level Calibrator SC – 940A od firmy Lutron. Tento kalibrátor kalibruje zvukoměr na frekvenci 1kHz na 94 dB.

Obrázek 6.2 Kalibrátor Lutron SC – 940A

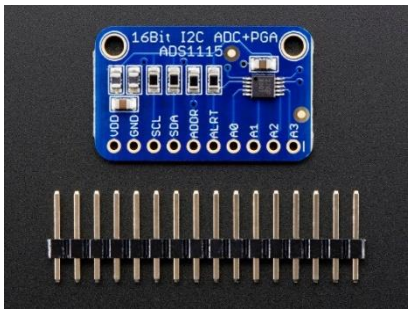
6.4 Elektronické součástky

V této kapitole budou popsány elektronické součástky, které byly použity pro propojení zvukoměru a Raspberry Pi a součástky, které zpřesní naše měření.

6.4.1 AD převodník

První úloha, kterou bylo potřeba vyřešit, spočívala v tom, jak se budou naměřená data logovat z analogového výstupu zvkoměru, kdy dostaneme signál v mV. Pro převod bylo nutné použít AD převodník. Pro naše účely byl vybrán AD převodník ADS 1015, který má 4 vstupy s nastavitelným zesílením. Pro správné nastavení převodníku byla použita knihovna *adafruit_ads1*15.ads1015*. Zesílení bylo nastaveno na 1, jelikož

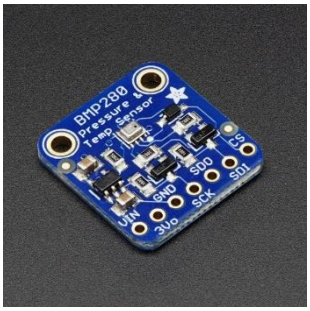
převod z mV na dB je dán výrobcem takto: 10 mV = 1 dB. Převodník ukládá data ve voltech. Tím pádem musel být proveden přepočet. Jak vyplývá z předchozího textu, musely být výsledné hodnoty vynásobeny 100, abychom dostali výsledek v dB. Před zapojením bylo potřeba nastavit I2C připojení.



Obrázek 6.3 AD převodník ADS 1115 [26]

6.4.2 Senzor teploty a tlaku

Dále byl pro zlepšení přesnosti výsledku použit senzor tlaku a teploty BMP 280. I pro tuto součástku bylo využito již vytvořené knihovny *adafruit_bmp280*. I pro tento senzor bylo potřeba nastavit připojení I2C. Senzor teploty a tlaku je potřeba zapojit paralelně s AD převodníkem, jelikož pracují na stejné sběrnici I2C, avšak na rozdílných portech.



Obrázek 6.4 Senzor tlaku a teploty BMP 280 **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

6.4.3 GPS

Pro správnou lokalizaci byla využita komponenta Waveshare SIM7600E-H 4G HAT, která může plnit mnoho funkcí včetně určování GPS souřadnic. Pro správnou funkčnost je potřeba použít SIM kartu. Připojeny musí být obě antény, které jsou

součástí balení. Jelikož GPS je naprogramována v jazyce C++, bylo nutné vytvořit program, který dokáže potřebná data převést do jazyku Python. Datum a čas je brán podle zimního času a pásma UTC. Čas se zapisuje s přesností na sekundy, což se nám poté hodí k výpočtu L_{eq}. GPS byla nastavena podle návodu uvedeného na stránkách pro podporu zařízení [29].

Obrázek 6.5 Waveshare SIM7600E-H 4G HAT [30]

6.4.4 Led dioda

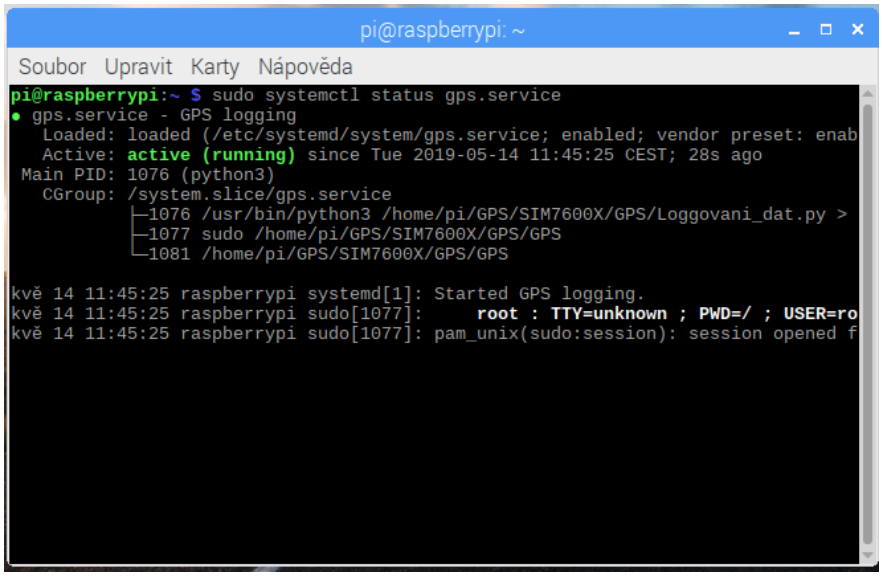
Led dioda slouží pro kontrolu, jestli měření probíhá správně. Zvolena byla dioda červené barvy, která byla zapojena do série s rezistorem o velikosti 330 Ω.

6.5 Logování naměřených dat

Jak už bylo napsáno výše, tak pro zpracování dat bylo využito programovacího jazyku Python. Po naimportování všech potřebných knihoven, zprovoznění a otestování jednotlivých součástek bylo potřeba vytvořit program, který bude všechna naměřená data ukládat do jednoho souboru. Výsledný soubor obsahuje data ze zvukoměru, senzoru a z GPS. Z GPS se vypisuje zeměpisná šířka a délka, datum a čas měření. Což

je vhodné pro další vyhodnocení. Jako výstupní soubor jsme zvolili soubor s koncovkou .csv, jelikož ten lze poté snadno nahrát do programu ArcGIS. Data se zapisují průměrně každých 15 vteřin, z nichž pak bude z každého místa vypočítaná ekvivalentní hladina akustického tlaku.

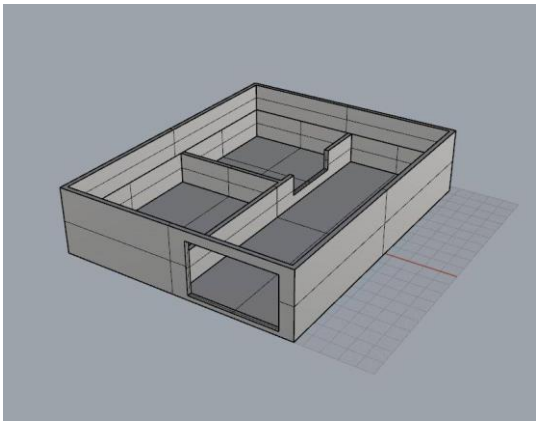
Jestli měření probíhá správně je kontrolováno problikávající LED diodou, která blikne vždy, když se zapíše nový řádek. Největším problémem je doba, než se načte GPS, poté se již data vypisují relativně rychle. Program pro měření a logování dat se spustí ihned po zapnutí Raspberry Pi. Spouštění programu bylo nastaveno v terminálu Raspberry Pi. Pro spuštění skriptu po zapnutí Raspberry Pi je potřeba napsat v terminálu příkaz *sudo systemctl start gps.service*. Pro kontrolu jestli skript probíhá na pozadí je potřeba v terminálu zadat příkaz *sudo systemctl status gps.service*. Pokud je zeleně napsáno **active running**, tak skript probíhá správně, viz Obrázek 6.6. Pokud ne, je nastaveno automatikcé restartování po 10 s. Tato situace může nastat v případě, že nejsou připojeny všechny komponenty. Pokud již nechceme provádět měření ihned po zapnutí Raspberry Pi, tak v terminálu zadáme příkaz *sudo systemctl stop gps.service*. Opět můžeme zkontrolovat, jestli došlo k zastavení pomocí příkazu *sudo systemctl status gps.service*. Pro správnou funkčnost tohoto systému je zapotřebí, aby byly připojeny všechny komponenty k Raspberry Pi. Zapisování dat je nastaveno tak, že se hodnoty připisují stále do stejného souboru, nedochází tak k mazání již naměřených dat. Při přesunu na nové měřící místo je potřeba vypnout zvukoměr. V poli „Hluk“ se vypíší nulové hodnoty. Tím pak v souboru poznáme, kdy měření neprobíhalo.



Obrázek 6.6 Aktivní program po zapnutí

6.6 Ochranný box na měřící sestavu

V programu Rhinoceros 3D byl vytvořen model boxu. Box slouží pro ochranu a kompaktnost měřící sestavy.



Obrázek 6.7 Model ochranného boxu

Z důvodu časové náročnosti tisku nebyl tento box vytisknut na 3D tiskárně, ale byl nakonec vyříznut z plexiskla a slepen pomocí lepidla. Celá měřící soustava byla do něj umístěna, viz Obrázek 6.8.

Obrázek 6.8 Měřící soustava umístěná v ochranném boxu

7 REALIZACE MĚŘENÍ

V této kapitole bude popsáno měření dat a jejich zpracování. Následně zde budou popsána tvorba hlukové mapy v programu ArcGIS.

7.1 Nastavení zvukoměru

Před zahájením samotného měření je nutné si nejprve správně nastavit zvukoměr. Ten musí být před každým měřením nakalibrován pomocí certifikovaného kalibrátoru. Hlavním zdrojem hluku pro nás byl hluk ze silniční dopravy. Proto byl zvukoměr vždy nastaven kolmo k vozovce ve výšce 1,5 m. Ve vzdálenosti minimálně 1 m od zástavby a v místech, kde to bylo možné 7,5 m od nejbližšího pruhu vozovky. Při měření byl zvukoměr nastaven na váhový filtr A, integrační konstantu FAST s měřícím rozsahem 30 – 130 dB. Z důvodu ochrany a eliminace větru, byl na mikrofon nasazen ochranný kryt.

7.2 Popis měření hluku

Měření se provádělo na ulicích v Brně v městské části Veveří. Tato lokalita byla zvolena z důvodu velice husté dopravní situace. Vybrána byla oblast mezi ulicemi Úvoz a Veveří. Měření probíhalo od 2. května 2019 do 15. května 2019. Vybrány byly dny: den po dnu pracovního klidu, den pracovního klidu, běžný pracovní den a noc před běžným pracovním dnem. Tyto dny byly vybrány z důvodu, aby se ukázalo, jak je hluk z dopravy ovlivněn tím, kdy se měření provádí. Předpokladem bylo, že po dni pracovního klidu bude hluk z dopravy výrazně vyšší než v ostatní dny. Z důvodů používání jen jednoho přístroje nešlo měřit na více místech ve stejný čas. Přes den byl vždy zvolen odpolední čas ve špičce mezi 15:00 – 18:00 a jednou se provádělo měření v nočních hodinách. Povolená maximální rychlost ve všech proměřených oblastech je 50 km/h. Měření se provádělo vždy po dobu 5 minut na každém stanovišti. Tato krátká doba neodpovídá normám, ale byla zvolena z časových důvodů a z důvodu, aby měření proběhlo v co nejmenším rozpětí a byla tím zachycena hluková zátěž v odpolední

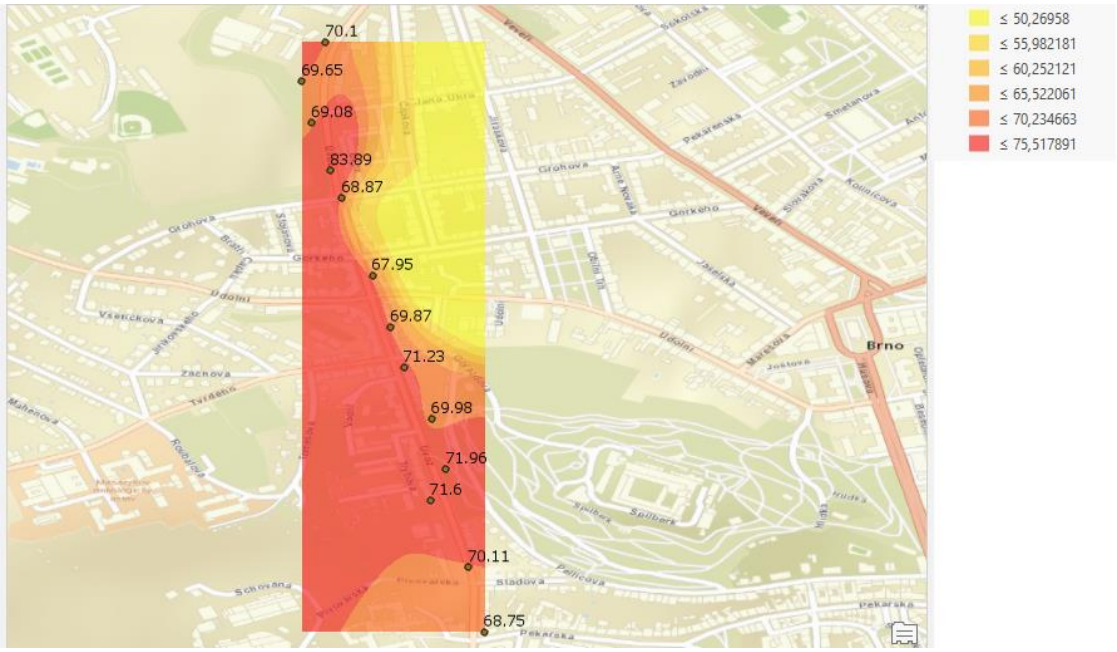
špičce. Za tuto dobu byla počítána i hustota dopravy. Jelikož zvukoměr měří hodnotu hladiny akustického tlaku, bylo nutné provést přepočet na ekvivalentní hladinu akustického tlaku podle rovnice 2.4.

První měření se provádělo 2. května 2019 od 15:45 do 17:05. Bylo proměřeno 13 míst na ulici Úvoz. Jelikož na této ulici se často tvoří kolony, tak se hůře provádí počítání průjezdu vozidel za dobu měření, z tohoto důvodu nemusí být výsledné číslo zcela přesné. Na této ulici jsou 3 zdroje hluku, a to osobní vozidla, nákladní vozidla a MHD (konkrétně trolejbusy 25 a 26). Měření bylo prováděno podle současné metodiky měření. V den měření byla polojasná obloha, vlhkost vzduchu byla 55 % a rychlost větru byla 1,2 ms^{-1}. Tyto hodnoty byly změřeny pomocí mobilního telefonu. Hodnoty, které byly logovány do Raspberry Pi, jsou uvedeny v Tabulce 6.1. Z obrázku 7.2 je patrné, že není vhodné zvolit pro měření jednu ulici. Jelikož nejsou naměřené hodnoty z okolních ulic, tak je výsledná hluková mapa zavádějící.

Obrázek 7.1 Rozmístění měřených míst na ulici Úvoz

Tabulka 7.1 Naměřené hodnoty ze dne 2.5. 2019

Leq [dB]	Teplota [°C]	Tlak [Pa]	Nadmořská výška [m.n.m]	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka	Den
70,10	21,79	976,78	308,07	49,20338167	16,59280156	2.5.2019
69,65	21,52	976,95	306,67	49,20260488	16,592328	2.5.2019
69,08	22,07	976,98	306,49	49,20177433	16,59252033	2.5.2019
83,89	22,91	977,32	303,42	49,20083269	16,59290031	2.5.2019
68,87	23,95	977,75	299,78	49,20030005	16,59312465	2.5.2019
67,95	24,43	978,21	295,78	49,19876236	16,59372207	2.5.2019
69,87	23,56	978,16	296,35	49,1977456	16,59408607	2.5.2019
71,23	22,44	978,03	297,44	49,19694569	16,59434738	2.5.2019
69,98	22,82	978,41	294,18	49,19592231	16,59490108	2.5.2019
71,96	22,68	979,07	288,42	49,19493212	16,59518482	2.5.2019
71,60	22,55	979,78	282,38	49,1943099	16,59487114	2.5.2019
70,11	22,61	980,67	274,79	49,19298221	16,59562564	2.5.2019
68,75	21,70	981,38	268,61	49,19170587	16,59594227	2.5.2019



Obrázek 7.2 Hluková mapa ze dne 2.5.2019

Pro další měření proto byla zvolena jiná oblast. Druhé měření se provádělo v pondělí 6. května v městské části Brno – Veveří ve vybraných ulicích, a to konkrétně Úvoz, Jana Uhra, Čápkova, Grohova a Jiráskova. Měření probíhalo v době od 15:40 do 17:30. V době měření bylo oblačno, vlhkost vzduchu byla 60 % a rychlost větru byla 2

ms^{-1}. Tyto údaje byly opět změřeny pomocí mobilního telefonu. Zbylá data byla ukládána do Raspberry Pi, viz Tabulka 7.2.

Obrázek 7.3 Rozmístění měřených bodů

Tabulka 7.2 Naměřená hodnoty ze dne 6. 5. 2019

Leq [dB]	Teplota [°C]	Tlak [Pa]	Nadmořská výška [m.n.m]	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka	Den
64,65	15,1	985,14	236,58	49,20304285	16,5926254	6.5.2019
71,32	12,9	985,35	234,9	49,20222048	16,59239687	6.5.2019
55,41	13,49	985,38	234,57	49,20198079	16,59292658	6.5.2019
56,35	11,98	985,56	233,07	49,20222556	16,59426667	6.5.2019
58,34	11,84	985,71	231,84	49,20192986	16,5941761	6.5.2019
54,32	12,74	986,16	227,89	49,20110985	16,59427705	6.5.2019
53,74	13,33	986,37	226,13	49,20033363	16,59438563	6.5.2019
56,42	12,79	986,34	226,36	49,20038011	16,59335517	6.5.2019
69,17	12,47	986,11	228,31	49,20065421	16,59291832	6.5.2019
68,54	13,12	985,79	231,09	49,20130458	16,59276158	6.5.2019
55,63	12,86	986,65	223,79	49,20041659	16,59462288	6.5.2019
55,07	13,77	986,72	223,21	49,20065086	16,59552964	6.5.2019
50,11	12,82	986,9	221,61	49,20097668	16,59657679	6.5.2019
48,10	12,1	986,55	224,65	49,20178922	16,59619689	6.5.2019
60,29	13,62	986,33	226,45	49,20242821	16,59583226	6.5.2019
60,24	13,07	985,98	229,46	49,20245088	16,59491231	6.5.2019

Třetí měření proběhlo v den pracovního klidu, konkrétně ve státní svátek 8. května 2019. Měření se provádělo opět na 16 místech v městské části Brno – Veveří. Měřilo se v čase od 15:55 do 17:55. V době měření byla polojasná obloha, naměřená rychlost větru byla 5 ms^{-1} a vlhkost vzduchu byla 55 %.

Obrázek 7.4 Rozmístění měřených bodů

Tabulka 7.3 Naměřené hodnoty ze dne 8.5. 2019

Leq [dB]	Teplota [°C]	Tlak [Pa]	Nadmořská výška [m.n.m]	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka	Den
64,33	18,89	980,74	274,14	49,2031637	16,59233161	8.5.2019
66,47	20,06	981,19	270,31	49,202402	16,59222975	8.5.2019
56,19	18,37	980,84	273,35	49,2019963	16,59342158	8.5.2019
53,66	18,66	980,73	274,21	49,2021538	16,59422386	8.5.2019
54,45	18,10	980,74	274,14	49,2018733	16,59436795	8.5.2019
55,81	18,38	981,10	271,14	49,2011655	16,5943683	8.5.2019
54,18	17,11	981,36	268,77	49,2003996	16,59438474	8.5.2019
56,77	19,98	981,21	270,14	49,2003988	16,59341394	8.5.2019
69,19	22,06	981,07	271,37	49,2006876	16,59295644	8.5.2019
65,90	20,26	980,44	276,73	49,2011883	16,5925024	8.5.2019
56,76	18,94	981,14	270,73	49,2004317	16,59524753	8.5.2019
53,44	17,66	981,05	271,53	49,2005851	16,59617658	8.5.2019
51,36	17,78	980,98	272,10	49,2005552	16,59632781	8.5.2019
48,65	18,06	980,32	277,68	49,2019285	16,59631676	8.5.2019
55,17	16,84	980,09	279,75	49,2021265	16,59585132	8.5.2019
61,02	17,21	979,75	282,63	49,2022489	16,59514425	8.5.2019

Čtvrté měření proběhlo 14. května 2019. Jednalo se o úterý běžného pracovního týdne, tím pádem se jednalo o měření, které vyhovuje normám. Měřilo se v čase od 15:40 do 17:40. Měření se provádělo opět ve stejné lokalitě jako předchozí měření. Bylo zvoleno opět 16 bodů. V době měření bylo oblačno, vlhkost vzduchu byla opět 55 % a rychlost větru byla 4 ms^{-1}.

Obrázek 7.5 Rozmístění měřených bodů

Tabulka 7.4 Naměřené hodnoty ze dne 14.5. 2019

Leq [dB]	Teplota [°C]	Tlak [Pa]	Nadmořská výška [m.n.m]	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka	Den
67,80	13,59	994,73	155,21	49,2030956	16,5929204	14.5.2019
73,24	14,85	995,01	152,96	49,2024302	16,5929197	14.5.2019
55,80	13,75	994,74	155,06	49,2020957	16,5929513	14.5.2019
57,02	11,96	994,78	154,88	49,2021392	16,5939485	14.5.2019
58,49	10,72	994,96	153,36	49,20145191	16,59432211	14.5.2019
60,42	10,46	995,52	148,50	49,2011830	16,5944148	14.5.2019
58,13	10,35	995,82	146,05	49,2004141	16,5942724	14.5.2019
56,15	10,54	995,71	146,92	49,2004480	16,5935930	14.5.2019
67,26	11,48	995,28	150,61	49,2006764	16,5931994	14.5.2019
65,79	11,16	994,72	155,29	49,2012091	16,5928933	14.5.2019
53,34	10,95	995,54	148,40	49,2004189	16,5948969	14.5.2019
61,82	11,00	995,58	148,13	49,2006960	16,5955607	14.5.2019
55,20	10,52	995,58	148,11	49,2009849	16,5964691	14.5.2019
56,88	9,91	995,10	152,10	49,2017519	16,5960558	14.5.2019
60,80	11,18	994,65	155,85	49,2021884	16,5958794	14.5.2019
60,43	11,49	995,18	151,43	49,2020472	16,5948570	14.5.2019

Páté měření probíhalo v noci ze 14. na 15. května. Měření probíhalo ve stejné lokalitě a na stejných místech jako měření přes den. Měřilo se od 23:15 do 1:15. V době měření bylo zatažená obloha, rychlost větru byla 4 ms^{-1} a vlhkost vzduchu byla 60 %.

Obrázek 7.6 Rozmístění měřených bodů

Tabulka 7.5 Naměřené hodnoty z noci 14.5. 2019 na 15.5.2019

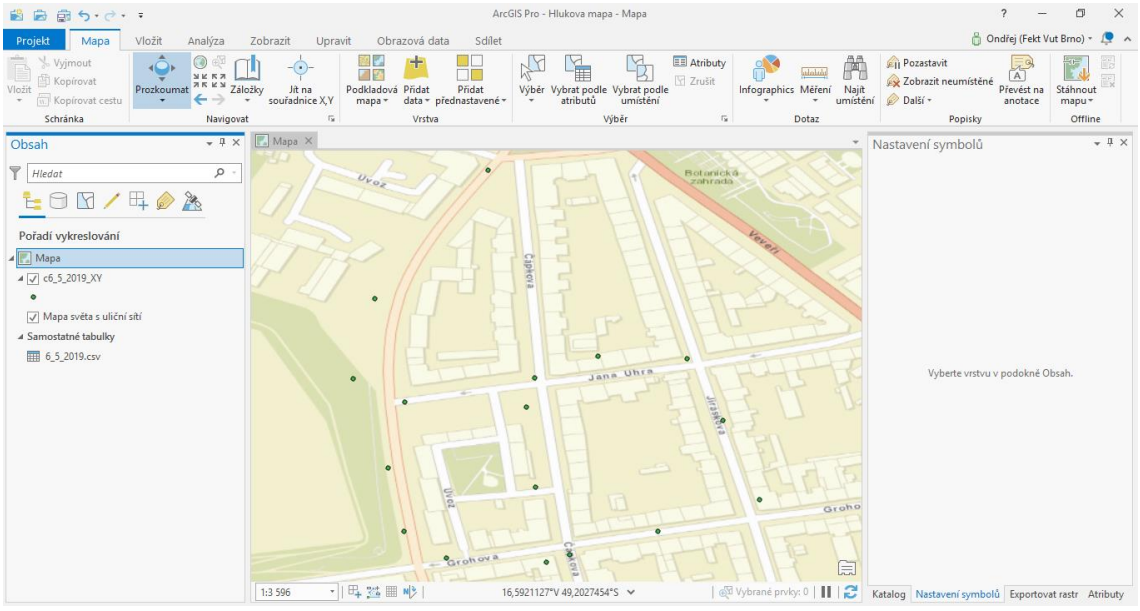
L_{eq}[dB]	Teplota [°C]	Tlak [Pa]	Nadmořská výška [m.n.m]	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka	Den
57,99	10,31	992,74	172,04	49,20304552	16,59289904	14.5.2019
61,40	10,03	992,89	170,82	49,20228809	16,59280536	14.5.2019
47,31	9,70	992,94	170,38	49,20213443	16,59318148	14.5.2019
47,47	9,43	993,06	169,44	49,20216409	16,59417968	14.5.2019
41,68	9,00	993,15	168,59	49,20190074	16,59425783	14.5.2019
42,02	8,46	993,53	165,39	49,20101854	16,59431879	14.5.2019
44,18	8,45	993,88	162,35	49,20049713	16,59433279	14.5.2019
48,81	8,44	993,60	164,85	49,20042904	16,59355904	15.5.2019
57,50	7,88	993,31	167,25	49,2006959	16,59306632	15.5.2019
58,18	8,38	992,94	170,44	49,20124118	16,59289855	15.5.2019
46,18	8,43	993,71	163,97	49,20054963	16,59516671	15.5.2019
41,62	8,66	993,67	164,13	49,2006	16,5957915	15.5.2019
44,99	7,31	993,73	163,79	49,20073655	16,59647814	15.5.2019
40,88	7,45	993,47	165,96	49,20165896	16,59632887	15.5.2019
40,31	7,43	992,99	169,99	49,20241509	16,59564973	15.5.2019
39,73	7,19	992,69	172,47	49,20203639	16,59486865	15.5.2019

8 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

V této kapitole budou popsány vytvořené hlukové mapy z dat, která jsou uvedena v předchozí kapitole.

8.1 ArcGIS

Pro zpracování hlukových map by použit program ArcGIS od firmy Esri, který dokáže pracovat s více než stovkou formátů. Je možnost nahrávat textové soubory nebo soubory z přístrojů GPS, tabulky či data z databázových systémů. ArcGIS dokáže pracovat již s vytvořenými daty, ale je možnost si naimportovat vlastní vrstvy. Tento program dokáže přehledně analyzovat a vizualizovat data i pro méně zkušeného uživatele. Pro naše potřeby byla využita bezplatná zkušební verze ArcGIS Pro, která slouží k mapování a analýze naměřených dat. Pro vytvoření účtu stačí zadat e-mailovou adresu a heslo, obratem obdržíte potvrzující e-mail a kliknutím na odkaz spustíte 21denní zkušební verzi. Poté je potřeba na vašem účtu na záložce organizace povolit licence. Ať už pro základní funkce programu tak pro toolboxy, které jsou nezbytné ke správné analýze.

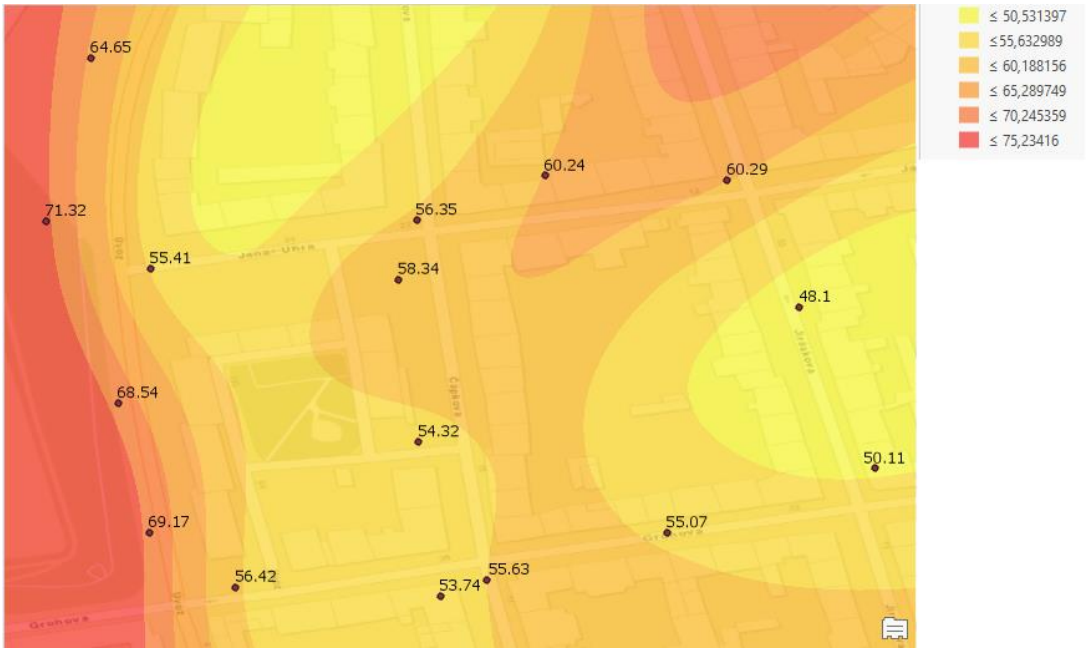


Obrázek 8.1 Ukázka programu ArcGIS Pro

8.2 Tvorba hlukové mapy

Po naměření hodnot pomocí zvukoměru a Raspberry Pi bylo nejprve potřeba zpracovat data. Naměřená data byla zprůměrována, aby se s nimi lépe pracovalo, vyjma hladiny akustického tlaku. Ten byl přepočítán na ekvivalentní hladiny akustického tlaku. Poté mohla být data nahrána do programu ArcGIS. ArcGIS dokáže nahrávat a zpracovávat data ve formátu .csv. Po nahrání souboru byla vybrána data ze sloupce zeměpisná šířka a zeměpisná délka. Tím se zobrazily naše naměřené body. Poté bylo už jen potřeba zvolit správnou interpolační metodu. ArcGIS nabízí například metodu nejbližšího souseda, IDW (Inverse Distance Weighing), Kriging nebo Spline. Pro naše zpracování byla vybrána metoda Spline, neboť nejlépe vyobrazí požadované izolínie a izofóny. Hlukové mapy byly zpracovány podle naměřených hodnot, které jsou uvedeny výše. Pro vytvoření map byl zvolen typ emisní hlukové mapy.

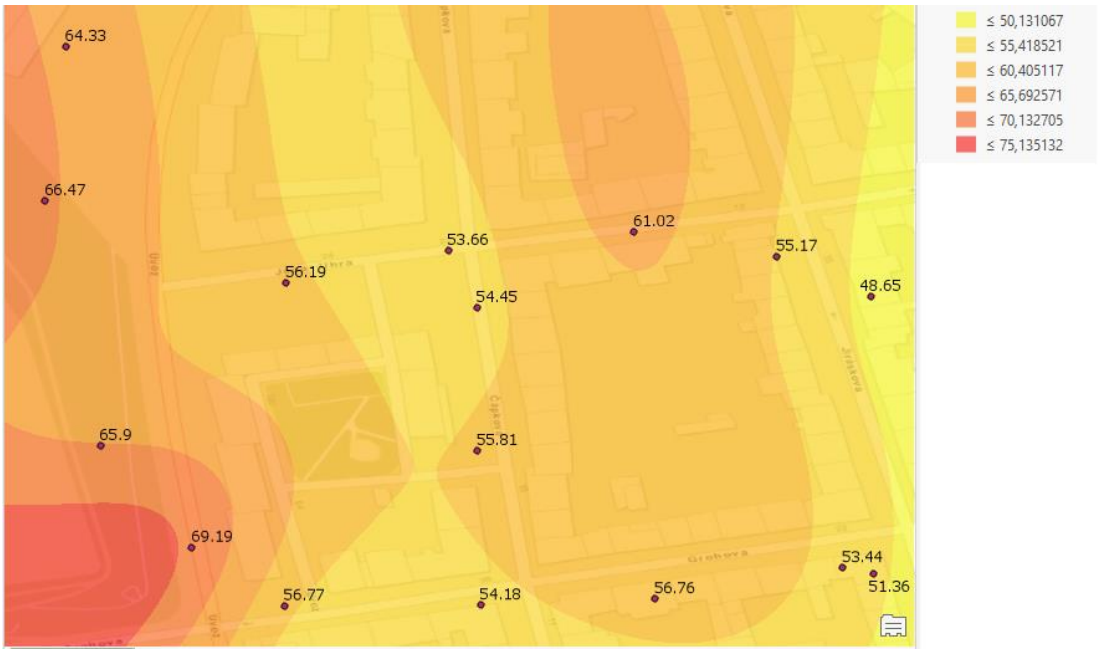
8.3 Výsledné hlukové mapy



Obrázek 8.2 Hluková mapa ze dne 6. 5. 2019

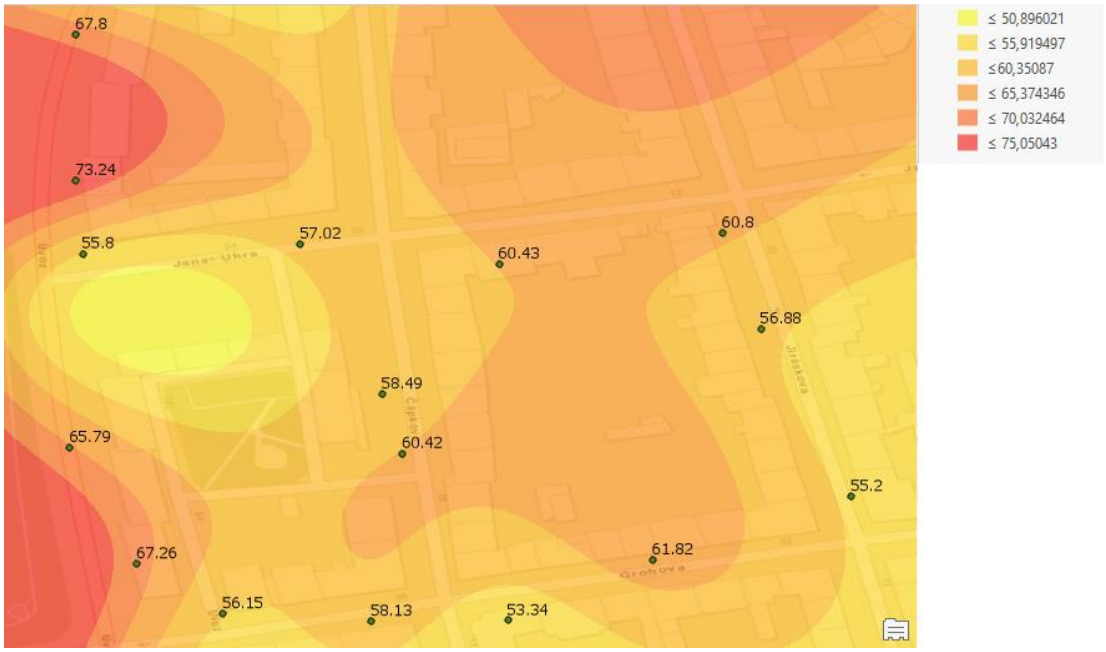
První hluková mapa byla vytvořena z dat naměřených v den po pracovním klidu, konkrétně v pondělí 6. května 2019, viz Obrázek 8.2. Jak je patrné z mapy, tak největší

hluk je v oblasti okolo ulice Úvoz. Tato ulice je velice frekventovaná. Zde hodnoty výrazně přesahují hygienické limity, které by se ve dne měly pohybovat do 55 dB. Čím více se měření provádělo do zastavěné části, tím byla ekvivalentní hladina akustického hluku nižší. Jednalo se o vedlejší ulice. Na ulicích Grohova, Čápkova, Jana Uhra a Jiráskova byly naměřené hodnoty srovnatelné s hygienickými limity. Zvyšující se hodnoty na ulici Jana Uhra jsou pravděpodobně způsobeny hlukem, který se se šíří z ulice Veveří, kde mimo osobní vozidla jezdí i MHD (konkrétně tramvaj č. 12).



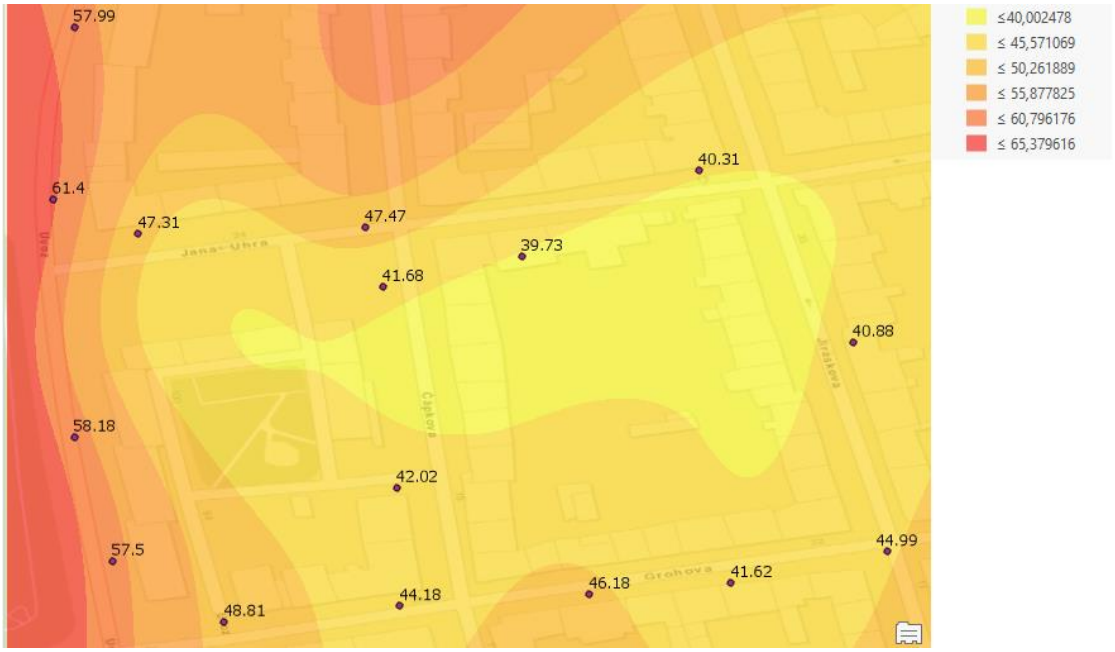
Obrázek 8.3 Hluková mapa ze dne 8. 5. 2019

Druhá hluková mapa byla vytvořena z dat naměřených v den pracovního klidu, konkrétně ve státní svátek 8. května 2019, viz Obrázek 8.3. Jak je patrné z hlukové mapy, tak i ve státní svátek je výrazně zvýšený hluk z ulice Úvoz. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny ve spodní části měřeného úseku. Naměřené hodnoty jsou nepatrně nižší než v den po pracovním klidu. V ulicích Jana Uhra, Čápkova a Grohova jsou hodnoty okolo hygienického limitu 55 dB. Na ulici Jiráskova jsou hodnoty L_{eq} pod hranicí hygienického limitu. Na ulici Jana Uhra s blížící se vzdáleností k ulici Veveří opět hodnota L_{eq} stoupá nad hranici hygienického limitu.



Obrázek 8.4 Hluková mapa ze dne 14. 5. 2019

Třetí hluková mapa byla vytvořena z dat naměřených v běžný pracovní den, konkrétně v úterý 14. května 2019, viz Obrázek 8.4. Z hlukové mapy vyplývá, že v běžný pracovní den hodnoty L_{eq} přesahovaly hodnotu hygienického limitu v téměř celé měřené oblasti, vyjma bodu 11. Dokonce i ve vedlejších ulicích, např. v ulici Jana Uhra, která jinak během celého měření byla pod hygienickým limitem. Nejvyšší hodnoty byly opět naměřeny na ulici Úvoz.



Obrázek 8.5 Hluková mapa z noci 14. 5. na 15. 5. 2019

Z hlukové mapy, která byla vytvořena z dat naměřených v nočních hodinách je patrné, že i v nočních hodinách přesahuje L_{eq} hygienické limity na ulici Úvoz, viz Obrázek 8.5. Body 3,4 a 8, které jsou velice blízko ulice Úvoz, také přesahují hygienické limit pro noční dobu. Hygienický limit pro noční dobu je 45 dB. Nepatrně je i zvýšena hodnota v bodě 11. Jinak v měřené oblasti nedošlo k překročení hygienických limitů.

9 ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

V této kapitole budou zhodnoceny dosažené výsledky a popsány problémy, které jsou spojeny s měřením hluku ze silniční dopravy a následné tvorby hlukových map. Cílem práce bylo vytvořit zařízení pro měření hluku a následné ukládání dat pomocí platformy Raspberry Pi.

V praktické části bylo potřeba nejprve vymyslet, jak se bude hluk měřit. Z důvodu přesnosti měření byl zvolen profesionální zvukoměr. Pomocí jack 3,5 mm byl ze zvukoměru získán analogový signál, který byl poté převeden pomocí AD převodníku na digitální signál. Dále byl použit senzor pro měření teploty, tlaku a nadmořské výšky. Tento senzor neměří dostatečně přesně nadmořskou výšku. Jak je patrné v kapitole 7, při měření na stejném místě dostaneme pokaždé jinou hodnotu nadmořské výšky.

Největší problém představovalo měření souřadnic. Jelikož naše komponenta pro určení souřadnic byla naprogramována v programu C++. Bylo nutné převést získaná data pro zpracování v Pythonu. Při prvním zapnutí trvá delší dobu, než se GPS poprvé načte, proto je vhodné před započetím měření v terénu poprvé načíst souřadnice doma s použitím monitoru. Poté se již souřadnice vypisují relativně rychle. Dále je problém, že GPS není zcela přesná. Jak je patrné z kapitoly 7. Naměřené body nejsou na stejných souřadnicích, ačkoliv se všechna měření prováděla na totožných místech. Dalším problémem může být měření času, který je výrobcem nastaven na zimní čas UTC a pro naše podmínky by se musel s každou změnou času z letního na zimní a naopak přeměňovat. Proto byl pro tuto práci zachován čas daný výrobcem. Pro naše měření je to dostačující, jelikož potřebujeme znát jen časový rozdíl mezi dvěma měřeními.

Dalším úskalím pro vypracování byla doba měření. Protože měsíc před odevzdáním nám „shořela“ SD karta v Raspberry Pi, kdy již bylo zařízení téměř připravené k měření. Jelikož nebyla naprogramovaná část zálohována, musela se veškerá nastavení provést znovu. Poté byly Velikonoce a květnové státní svátky. Důsledkem toho se musely zvolit dny, které budou vhodné pro následné vyhodnocení. Z důvodu těchto státních svátků se musela měření provést i v jiné dny, než je dáno normou. Vzniklo tak porovnání, jestli je ve vybrané lokalitě L_{eq} rozdílná s ohledem na

to, v jaký den měření probíhá. Z naměřených hodnot a hlukových map je patrné, že rozdíl není tak výrazný, jak jsme očekávali. Na hlavní ulici je hluk ze silniční dopravy srovnatelný ve všech třech dnech. Jak je patrné z map, tak i na vedlejších ulicích je hluk srovnatelný. Měření je z velké části ovlivněno kolemjdoucími, kteří jsou často zvídaví nebo jejich hlasitou mluvou znehodnocují měření. Po ulici Úvoz jezdí velmi často vozy záchranné služby se zapnutou sirénou, kdy jejich hodnota dosahuje hodnoty okolo 120 dB. To přispívá ke zvýšené ekvivalentní hladině akustického tlaku.

Při nočním měření bylo zjištěno, že kromě ulice Úvoz hodnoty L_{eq} výrazně nepřesahují hygienické limity. Z tohoto důvodu by obyvatelé, kteří mají okna do této frekventované ulice, měli mít protihluková skla. To bohužel neřeší situaci v letních měsících, kdy mají lidé okna zpravidla v noci otevřená. Zde by pomohlo vysazení další zeleně. Podle mnoha studií má hluk negativní dopad na kvalitu našeho spánku a tím samozřejmě i na naše zdraví.

Pro zdokonalení systému by bylo dobré přidat displej, na který se vypíší aktuálně naměřené hodnoty. Dále by mohlo být využito spouštění skriptu pomocí mobilního telefonu, k tomu je však zapotřebí připojení k internetu. Dále by bylo pro uživatele příjemné, kdyby se naměřené hodnoty ukládaly na cloudové uložiště, k tomu je však také zapotřebí internetové připojení. Bylo by tak zajištěné uchování naměřených dat, i když dojde k poškození SD karty v průběhu měření.

LITERATURA

[1] ROZMAN, Jiří a kol.: Diagnostika životního prostředí, VUT FEI, Brno, 2000

[2] 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.

[3] ŠKVOR, Zdeněk, Elektroakustika a akustika, ČVUT Praha, 2012

[4] JIŘÍCEK, Ondřej, Úvod do akustiky, ČVUT, Praha, 2002.

[5] Hluk v komunálním prostředí. Ekvivalentní hladina akustického tlaku [online]. [cit. 2019-05-16]

Dostupné z: http://www.khshk.cz/elearning/kurs2a/kapitola_17__ekvivalentn_hladina_akustickho_tlaku.html

[6] BERNARD, Pierre, Leq, SEL, What? Why? When?, Brüel & Kjaer

[7] Acoustic Glossary. Leq. [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: http://www.acoustic-glossary.co.uk/leq.htm

[8] Gracey & Associates. Microphones [online]. [cit. 2019-05-16] Dostupné z: http://www.gracey.co.uk/basics/microphones-b1.htm

[9] ANSI S, Specification for Sound Level Meters , Brüel a Kjaer, 1983

[10] HASSAL, ZAVIERII: Acoustic Noise Mesaurments, Brüel a Kjaer, 1979

[11] 2002/49/EC: 2002. Směrnice Evropského parlamentu a Rady Evropy ze dne 25. Června 2002 Hodnocení a management environmentálního hluku (anglicky). Brusel: Official Journal of the European Communities, 2002.

[12] LIBERKO, Miloš a Libor LÁDYŠ, 2011. Výpočet hluku z automobilové dopravy - MANUÁL 2011. 1. Praha: ENVICONSULT PRAHA, EKOLA group, s.r.o, 78 s.

[13] VARS BRNO a.s. Hlukové mapy on-line a přehledně. © 2019 [online]. [cit. 2019-05-16] Dostupné z: http://www.vars.cz/hlukove-mapy-on-line-a-prehledne

[14] LÁDYŠ, Libor, Hlukové mapování, Praha, 2005,

[15] MIRCEA, M., I. KOVACS, 2008. Strategic mapping of the ambient noise produced by road traffic, accordinglyto european regulations. In: 2008 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics. IEEE, 2008, s. 321-326

[16] POPP, CH., BING, M. From Noise Mapping to Action Planning. In Forum Acusticum 2005, Budapest (Hungary), 29. 8. – 2. 9. 2005. Stuttgart: S.Hirzel Verlag, 2005, s. 64. ISSN 1610-1928

[17] SMUTNÝ, Jaroslav GEOGRAFICKÉ INFORMAČNÍ SYSTÉMY, 2007, Brno, VUT Brno FAST

[18] TUČEK, Ján. Geografické informační systémy: principy a praxe. 1. vyd. Brno: Computer Press, 1998, 424 s. CAD. ISBN 80-722-6091-X.

[19] SMETANA, Ctirad a kol., Hluk a vibrace, měření a hodnocení, Sdělovací technika, Praha, 1998, ISBN 80-901936-2-5

[20] ČSN EN IEC 61672-1 Elektroakustika – Zvukoměry - Část 1: Technické požadavky, 2003.

[21] ROAD TRAFFIC: MEASUREMENT OF NOISE IMMISSION – SURVEY METHOD, Edition 2, Approved 2002-05, Nordtest, ISSN: 1459–2754

[22] Atelier Dek. HLUKOVÉ LIMITY, MĚŘENÍ HLUKU A HLUKOVÉ STUDIE. Dostupné z: https://atelier-dek.cz/hlukove-limity-mereni-hluku-hlukove-studie-145

[23] MAIJALA, P., Z. SHUYANG, T. HEITTOLA, T. VIRTANEN, Environmental noise monitoring using source classification in sensors, Elsevier Ltd., 2017

[24] RaspbberyPi. Documentation. Dostupné z: https://www.raspberrypi.org/documentation/

[25] Conrad Electronics, Sound Level Meter 322 Datalog, Version 11/02

[26] *Adafruit* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: https://www.adafruit.com/product/1085

[27] Adafruit [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: https://learn.adafruit.com/raspberry-pi-analog-to-digital-converters/ads1015-slash-ads1115

[28] RPishop [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: http://rpishop.cz/adafruit/726-adafruit-bmp280-i2c-a-spi-senzor-barometrickeho-tlaku-vysky.html

[29] Podpora zařízení SIM7600E-H 4G HAT: https://www.waveshare.com/wiki/SIM7600E-H_4G_HAT

[30] RPishop [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z http://rpishop.cz/waveshare/1089-waveshare-sim7600e-h-4g-hat.html

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

L_{eq} – Ekvivalentní hladina akustického tlaku

GIS – Geografický informační systém

GPS – Globální polohový systém

UTC – Koordinovaný světový čas

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A

PŘÍLOHA A

Protokol o měření

Jméno: Ondřej Kyjovský
Doba měření: 15:45 – 17:45
Vlhkost vzduchu: 55 %
Rychlost větru: 1,2 ms^{-1}

Leq [dB]	Teplota [°C]	Tlak [Pa]	Nadmořská výška [m.n.m]	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka	Den
70,10	21,79	976,78	308,07	49,20338167	16,59280156	2.5.2019
69,65	21,52	976,95	306,67	49,20260488	16,592328	2.5.2019
69,08	22,07	976,98	306,49	49,20177433	16,59252033	2.5.2019
83,89	22,91	977,32	303,42	49,20083269	16,59290031	2.5.2019
68,87	23,95	977,75	299,78	49,20030005	16,59312465	2.5.2019
67,95	24,43	978,21	295,78	49,19876236	16,59372207	2.5.2019
69,87	23,56	978,16	296,35	49,1977456	16,59408607	2.5.2019
71,23	22,44	978,03	297,44	49,19694569	16,59434738	2.5.2019
69,98	22,82	978,41	294,18	49,19592231	16,59490108	2.5.2019
71,96	22,68	979,07	288,42	49,19493212	16,59518482	2.5.2019
71,60	22,55	979,78	282,38	49,1943099	16,59487114	2.5.2019
70,11	22,61	980,67	274,79	49,19298221	16,59562564	2.5.2019
68,75	21,70	981,38	268,61	49,19170587	16,59594227	2.5.2019

Místo měření	Počet vozidel za 5 min (osobní/nákladní)	Počet vozidel za 1 h (osobní/nákladní)
1	145/2	1740/24
2	184/1	2208/12
3	155/2	1860/24
4	167/3	2004/36
5	187/2	2244/24
6	172/3	2064/36
7	163/1	1956/12
8	152/2	1824/24
9	160/2	1920/24
10	148/1	1776/12
11	143/3	1716/36
12	146/4	1752/48
13	150/2	1800/24

Protokol o měření

Jméno: Ondřej Kyjovský
Doba měření: 15:40 – 17:30
Vlhkost vzduchu: 60 %
Rychlost větru: 2 ms^{-1}

Leq [dB]	Teplota [°C]	Tlak [Pa]	Nadmořská výška [m.n.m]	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka	Den
64,65	15,1	985,14	236,58	49,20304285	16,5926254	6.5.2019
71,32	12,9	985,35	234,9	49,20222048	16,59239687	6.5.2019
55,41	13,49	985,38	234,57	49,20198079	16,59292658	6.5.2019
56,35	11,98	985,56	233,07	49,20222556	16,59426667	6.5.2019
58,34	11,84	985,71	231,84	49,20192986	16,5941761	6.5.2019
54,32	12,74	986,16	227,89	49,20110985	16,59427705	6.5.2019
53,74	13,33	986,37	226,13	49,20033363	16,59438563	6.5.2019
56,42	12,79	986,34	226,36	49,20038011	16,59335517	6.5.2019
69,17	12,47	986,11	228,31	49,20065421	16,59291832	6.5.2019
68,54	13,12	985,79	231,09	49,20130458	16,59276158	6.5.2019
55,63	12,86	986,65	223,79	49,20041659	16,59462288	6.5.2019
55,07	13,77	986,72	223,21	49,20065086	16,59552964	6.5.2019
50,11	12,82	986,9	221,61	49,20097668	16,59657679	6.5.2019
48,10	12,1	986,55	224,65	49,20178922	16,59619689	6.5.2019
60,29	13,62	986,33	226,45	49,20242821	16,59583226	6.5.2019
60,24	13,07	985,98	229,46	49,20245088	16,59491231	6.5.2019

Místo měření	Počet vozidel za 5 min (osobní/nákladní)	Počet vozidel za 1 h (osobní/nákladní)
1	150/2	1800/24
2	190/1	2080/12
3	17/0	204/0
4	15/0	180/0
5	20/0	240/0
6	10/0	120/0
7	7/0	84/0
8	20/0	240/0
9	140/1	1680/12
10	168/2	2016/24
11	10/0	120/0
12	15/0	180/0
13	22/0	264/0
14	8/0	96/0
15	16/0	192/0
16	4/0	48/0

Protokol o měření

Jméno: Ondřej Kyjovský
Doba měření: 15:55 – 17:55
Vlhkost vzduchu: 55 %
Rychlost větru: 5 ms^{-1}

Leq [dB]	Teplota [°C]	Tlak [Pa]	Nadmořská výška [m.n.m]	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka	Den
64,33	18,89277344	980,7441	274,1404751	49,2031637	16,59233161	8.5.2019
66,47	20,05617188	981,1936	270,3081973	49,202402	16,59222975	8.5.2019
56,19	18,36842105	980,844	273,3525233	49,2019963	16,59342158	8.5.2019
53,66	18,65560192	980,7326	274,2088171	49,2021538	16,59422386	8.5.2019
54,45	18,10424548	980,7373	274,139339	49,2018733	16,59436795	8.5.2019
55,81	18,37820313	981,0992	271,1368995	49,2011655	16,5943683	8.5.2019
54,18	17,11275699	981,3607	268,7680043	49,2003996	16,59438474	8.5.2019
56,77	19,97705078	981,2121	270,1412467	49,2003988	16,59341394	8.5.2019
69,19	22,06141493	981,0743	271,3715993	49,2006876	16,59295644	8.5.2019
65,90	20,26017578	980,4366	276,7266716	49,2011883	16,5925024	8.5.2019
56,76	18,93666131	981,1449	270,7305649	49,2004317	16,59524753	8.5.2019
53,44	17,65888158	981,0509	271,527999	49,2005851	16,59617658	8.5.2019
51,36	17,77613525	980,9819	272,1049788	49,2005552	16,59632781	8.5.2019
48,65	18,06070772	980,3238	277,6805156	49,2019285	16,59631676	8.5.2019
55,17	16,83910362	980,0889	279,7479743	49,2021265	16,59585132	8.5.2019
61,02	17,20893555	979,75	282,6263706	49,2022489	16,59514425	8.5.2019

Místo měření	Počet vozidel za 5 min (osobní/nákladní)	Počet vozidel za 1 h (osobní/nákladní)
1	75/2	900/24
2	77/1	924/12
3	5/0	60/0
4	6/0	72/0
5	2/0	24/0
6	3/0	36/0
7	7/0	84/0
8	8/0	96/0
9	67/2	804/24
10	65/0	780/0
11	8/0	96/0
12	5/0	60/0
13	2/0	24/0
14	4/0	48/0
15	5/0	60/0
16	8/0	96/0

Protokol o měření

Jméno: Ondřej Kyjovský
Doba měření: 15:40 – 17:40
Vlhkost vzduchu: 55 %
Rychlost větru: 4 ms^{-1}

Leq [dB]	Teplota [°C]	Tlak [Pa]	Nadmořská výška [m.n.m]	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka	Den
67,80	13,59	994,73	155,21	49,2030956	16,5929204	14.5.2019
73,24	14,85	995,01	152,96	49,2024302	16,5929197	14.5.2019
55,80	13,75	994,74	155,06	49,2020957	16,5929513	14.5.2019
57,02	11,96	994,78	154,88	49,2021392	16,5939485	14.5.2019
58,49	10,72	994,96	153,36	49,20145191	16,59432211	14.5.2019
60,42	10,46	995,52	148,50	49,2011830	16,5944148	14.5.2019
58,13	10,35	995,82	146,05	49,2004141	16,5942724	14.5.2019
56,15	10,54	995,71	146,92	49,2004480	16,5935930	14.5.2019
67,26	11,48	995,28	150,61	49,2006764	16,5931994	14.5.2019
65,79	11,16	994,72	155,29	49,2012091	16,5928933	14.5.2019
53,34	10,95	995,54	148,40	49,2004189	16,5948969	14.5.2019
61,82	11,00	995,58	148,13	49,2006960	16,5955607	14.5.2019
55,20	10,52	995,58	148,11	49,2009849	16,5964691	14.5.2019
56,88	9,91	995,10	152,10	49,2017519	16,5960558	14.5.2019
60,80	11,18	994,65	155,85	49,2021884	16,5958794	14.5.2019
60,43	11,49	995,18	151,43	49,2020472	16,5948570	14.5.2019

Místo měření	Počet vozidel za 5 min (osobní/nákladní)	Počet vozidel za 1 h (osobní/nákladní)
1	152/1	1824/12
2	133/2	1596/24
3	5/0	60/0
4	10/0	120/0
5	10/0	120/0
6	8/0	96/0
7	10/0	132/0
8	12/0	144/0
9	142/2	1704/24
10	155/2	1860/24
11	6/0	72/0
12	7/0	84/0
13	11/0	132/0
14	12/0	144/0
15	9/0	108/0

16	14/0	168/0

Protokol o měření

Jméno: Ondřej Kyjovský
Doba měření: 23:15 – 1:15
Vlhkost vzduchu: 60 %
Rychlost větru: 4 ms^{-1}

Leq [dB]	Teplota [°C]	Tlak [Pa]	Nadmořská výška [m.n.m]	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka	Den
57,99	10,31	992,74	172,04	49,20304552	16,59289904	14.5.2019
61,40	10,03	992,89	170,82	49,20228809	16,59280536	14.5.2019
47,31	9,70	992,94	170,38	49,20213443	16,59318148	14.5.2019
47,47	9,43	993,06	169,44	49,20216409	16,59417968	14.5.2019
41,68	9,00	993,15	168,59	49,20190074	16,59425783	14.5.2019
42,02	8,46	993,53	165,39	49,20101854	16,59431879	14.5.2019
44,18	8,45	993,88	162,35	49,20049713	16,59433279	14.5.2019
48,81	8,44	993,60	164,85	49,20042904	16,59355904	15.5.2019
57,50	7,88	993,31	167,25	49,2006959	16,59306632	15.5.2019
58,18	8,38	992,94	170,44	49,20124118	16,59289855	15.5.2019
46,18	8,43	993,71	163,97	49,20054963	16,59516671	15.5.2019
41,62	8,66	993,67	164,13	49,2006	16,5957915	15.5.2019
44,99	7,31	993,73	163,79	49,20073655	16,59647814	15.5.2019
40,88	7,45	993,47	165,96	49,20165896	16,59632887	15.5.2019
40,31	7,43	992,99	169,99	49,20241509	16,59564973	15.5.2019
39,73	7,19	992,69	172,47	49,20203639	16,59486865	15.5.2019

Místo měření	Počet vozidel za 5 min (osobní/nákladní)	Počet vozidel za 1 h (osobní/nákladní)
1	52/0	624/0
2	45/0	540/0
3	2/0	24/0
4	1/0	12/0
5	2/0	24/0
6	1/0	12/0
7	2/0	24/0
8	3/0	36/0
9	47/2	564/0
10	35/2	420/24
11	2/0	24/0
12	3/0	36/0
13	1/0	12/0
14	0/0	0/0

15	1/0	12/0
16	1/0	12/0

OBSAH PŘILOŽENÉHO CD

• **Hlukové mapy** - složka která obsahuje hlukové mapy a mapy míst měření

• **Data** – složka, která obsahuje naměřená data

• **Praktická_část** - složka, která obsahuje logovací program v Pythonu

. Obsahuje tyto soubory:

– bmp280.py

– Dioda.py

– Hluk.py

– logovani_dat.py

– nacitani_gps.py

• Ondrej_Kyjovsky_DP.pdf – text diplomové práce.