

UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA EKONOMICKO-SPRÁVNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2023

Karel Novotný

Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní

Měření a vizualizace hlukové zátěže
Diplomová práce

2023

Karel Novotný

Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní
Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Karel Novotný**
Osobní číslo: **E21831**
Studijní program: **N0688A140007 Informatika a systémové inženýrství**
Specializace: **Informační a bezpečnostní systémy**
Téma práce: **Měření a vizualizace hlukové zátěže**
Zadávací katedra: **Ústav systémového inženýrství a informatiky**

Zásady pro vypracování

Cílem práce je navrhnout vhodný postup pro sběr a analýzu dat hlukového znečištění ve vybrané, hlukově zatížené lokalitě. Navržený postup bude založen na využití vhodné mobilní aplikace a bude určen pro využití veřejností. Naměřené hodnoty budou vizualizovány v prostředí GIS.

Osnova:

- Hlukové znečištění.
- Metody měření hluku.
- Návrh postupu pro měření hluku s využitím vhodné mobilní aplikace.
- Vizualizace naměřených dat.

Rozsah pracovní zprávy: **cca 50 str.**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

HOLMES, D. (2021). *A Very Basic Guide to Noise and Noise Measurement*. Independently published.
NIEUWENHUIJSEN, M., & KHREIS, H. (2020). *Advances in Transportation and Health: Tools, Technologies, Policies, and Developments* (1st ed.). Elsevier.
SUI, D., ELWOOD, S., & Goodchild, M. (2012). *Crowdsourcing Geographic Knowledge: Volunteered Geographic Information (VGI) in Theory and Practice* (2013th ed.). Springer.
U.S. Department of Transportation. (2013). *Aircraft Source Noise Measurement Studies: Summary of Measurements, Data and Analysis*. CreateSpace Independent Publishing Platform.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Jitka Komárková, Ph.D.**
Ústav systémového inženýrství a informatiky

Datum zadání diplomové práce: **1. září 2022**
Termín odevzdání diplomové práce: **30. dubna 2023**

prof. Ing. Jan Stejskal, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

RNDr. Ing. Oldřich Horák, Ph.D. v.r.
vedoucí ústavu

V Pardubicích dne 1. září 2022

Prohlašuji:

Práci s názvem **Měření a vizualizace hlukové zátěže** jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze 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, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 28. 4. 2023

Jméno a příjmení autora v.r.

Karel Novotný

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval své vedoucí práce prof. Jitce Komárkové, Ph.D., za její odbornou pomoc a cenné rady, které mi pomohly při zpracování diplomové práce.

ANOTACE

Tato práce se zaměřuje na vhodný způsob pro sběr a vizualizaci zvukových dat. Hlavním cílem práce je vytvořit a implementovat algoritmus pro sběr a vizualizaci zvukových dat získaných za využití mobilních telefonů a konkrétní aplikace určené pro měření hluku. První část práce je zaměřena na obecné definice hluku a jeho negativních vlivů na okolí. Dále popisuje zájmovou oblast a nejčastěji využívané metody měření hluku. Ve druhé části je podrobněji popsán navržený způsob určený pro měření hladiny hluku širokou veřejností, samotný sběr dat a jejich vizualizace v GIS.

KLÍČOVÁ SLOVA

Hlukové znečištění, GIS, Měření hluku, Noise Capture, mobilní aplikace

TITLE

Noise load of the selected area of interest

ANNOTATION

This thesis focuses on a suitable method for the collection and visualization of sound data. The main goal of the work is to create and implement an algorithm for the collection and visualization of sound data obtained using mobile phones and specific applications intended for data collection. The theoretical part of the work is focused on general definitions of noise and its negative effects on the environment. It also describes the area of interest and the most frequently used noise measurement methods. In the practical part, the proposed method is described in more detail, intended for the general public noise level measurement, the actual data collection and their visualization in GIS.

KEYWORDS

Noise pollution, GIS, Noise measurement, Noise Capture, mobile app

OBSAH

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK.....	10
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK	11
TERMINOLOGIE	12
ÚVOD.....	13
1. HLUKOVÉ ZNEČIŠTĚNÍ.....	14
1.1 Účinky na člověka a divokou zvěř.....	15
1.2 Regulace a zmírnění hluku.....	16
1.3 Faktory způsobující hlukové znečištění.....	19
2. VYUŽÍVANÉ METODY MĚŘENÍ HLUKU	20
2.1 Modelové a simulační metody	20
2.2 Měření hluku komerčním subjektem	22
2.3 Crowdsourcing	23
2.4 Sběr dat pro osobní využití	24
3. ZÁJMOVÁ OBLAST.....	26
3.1 Hluková zátěž v zájmové oblasti.....	27
3.2 Protihluková opatření – pozemní doprava	29
3.3 Protihluková opatření – letecká doprava.....	30
4. NAVRŽENÍ VHODNÉHO POSTUPU MĚŘENÍ.....	33
4.1 Stanovení požadavků na aplikaci.....	33
4.1.1 Vícekriteriální analýza variant.....	33
4.1.2 Spuštění a použití aplikace Noise Capture	39
4.2 Návrh vhodného postupu měření	46
4.2.1 Příprava na měření	47
4.2.2 Postup měření	47
4.2.3 Zpracování výsledků měření.....	50
4.2.4 Příprava závěrečné zprávy	50
5. SBĚR A VIZUALIZACE DAT.....	52
5.1 Oblast provedení srovnávacího měření.....	52

5.2	Srovnávací měření a porovnání s hlukovou mapou	54
5.3	Měření hluku v zájmové oblasti	57
	ZÁVĚR	60
	POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE	62
	SEZNAM PŘÍLOH.....	65

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1: Příklady decibelové škály hlučnosti.....	14
Obrázek 2: Vliv rychlosti na hlučnost jednotlivých kategorií vozidel	22
Obrázek 3: Zájmová oblast v okolí Přerovského letiště	27
Obrázek 4: Přerov – hluková zátěž způsobená pozemní dopravou	29
Obrázek 5: Standardní levý letištní okruh	31
Obrázek 6: Letištní okruh publikovaný pro Přerovské letiště LKPO	32
Obrázek 7: Kalibrace pomocí okolního provozu	41
Obrázek 8: Metody autokalibrace a popis měřeného úseku	43
Obrázek 9: Zobrazení naměřených hodnot v GIS Noise Planet	44
Obrázek 10: Jednotlivé režimy aplikace v průběhu měření.....	45
Obrázek 11: Prostor měření referenční oblasti	52
Obrázek 12: Hluková mapa vytvořena za využití modelování a simulace (2017)	53
Obrázek 13: Porovnání měření bez kalibrace a s kalibrací.....	55
Obrázek 14: Vybrané body pro porovnání měření a simulace	55
Obrázek 15: Prostor měření zájmové oblasti	57
Obrázek 16: Sčítání dopravy z roku 2020	58
Obrázek 17: Měření hluku v zájmové oblasti	59
Tabulka 1: Základní limity hluku	17
Tabulka 2: Kategorie vozidel dle CNOSSOS-EU	21
Tabulka 3: Porovnání jednotlivých aplikací z hlediska zadaných parametrů.....	34
Tabulka 4: Ohodnocení vybraných atributů aplikací.....	35
Tabulka 5: Výsledná tabulka Saatyho metody	36
Tabulka 6: Časové úseky vhodné pro měření hlukové zátěže	49
Tabulka 7: Porovnání naměřených a vypočítaných hodnot (barevná škála Noise Capture)	56

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

dB	decibel
END	Enviromental Noise Directive
Ft	feet
GIS	Geographical Information System
GPS	Global Positioning Systém
OS	Operační systém
QNH	atmosférický tlak u hladiny moře
SW	Software

TERMINOLOGIE

„hluk ve venkovním prostředí“ – nechtěný nebo škodlivý zvuk ve venkovním prostředí vytvořený lidskou činností, včetně hluku vyzařovaného dopravními prostředky. Pro účely této práce se jedná zejména o leteckou a pozemní dopravu

„hlukové ukazatele L_{dvn} [dB] a L_n [dB]“ – jsou definovány ve Směrnici END, kde hlukový ukazatel pro den-večer-noc L_{dvn} [dB] je hlukovým ukazatelem míry obtěžování hlukem a ukazatel pro noc L_n [dB] je hlukovým ukazatelem míry rušení spánku [9]

„hygienické ukazatele $L_{AeqT}(\text{den})$ a $L_{AeqT}(\text{noc})$ “ – dle zákona č. 258/2000 Sb. Se jedná o mezní hodnoty hluku v chráněných prostorech. Blíže jsou definovány v nařízení vlády č. 272/2011 Sb. mimo jiné také pro chráněný venkovní prostor staveb, jsou mírou akustické zátěže prostředí, vyjádřené ekvivalentní hladinou akustického tlaku za zvolené období dne

„obtěžování hlukem“ – se rozumí míra, určená průzkumy v terénu, v jaké jsou lidé obtěžováni hlukem ve venkovním prostředí

„škodlivé účinky“ – se rozumí negativní účinky na lidské zdraví, projevující se zvýšenou pravděpodobností výskytu hypertenze nebo jiných chronických onemocnění

„mezní hodnoty ukazatelů hluku“ - hodnoty hlukových ukazatelů L_{dvn} a L_n , při jejichž překročení dochází ke škodlivému zatížení životního prostředí vyjádřenému jako dlouhodobé obtěžující nebo škodlivé působení na člověka. Na rozdíl od hygienických limitů hluku ve smyslu nařízení vlády č. 272/2011 Sb. jsou administrativním limitem v procesu strategického hlukového mapování, jehož překročení obvykle vyžaduje vypracování akčního plánu nápravy k odstranění nebo snížení nadlimitní hlukové zátěže

„oblast zvláštního zájmu“ – obytné oblasti, ve kterých jsou překročeny mezní hodnoty hlukových ukazatelů (dále též ohniska nadlimitního hluku (přesahujícího mezní hodnoty) nebo kritická místa

ÚVOD

Hlukové znečištění je v současné době stále větším problémem, který ovlivňuje životy mnoha lidí. Přestože se jedná o neviditelný a neuchopitelný problém, má vliv na kvalitu života, zdraví a pohodu jednotlivců i celých komunit. Hluk může být způsoben různými zdroji, jako jsou silniční doprava, průmyslové závody, letecký provoz nebo dokonce sousedi, kteří hlučí po celou noc. Z těchto důvodů je velmi důležité vyvíjet nové metody a postupy měření hluku, které budou následně schopné přesně určit úroveň hluku v různých oblastech a přijmout opatření k jeho snížení.

S přihlédnutím k dostupnosti co největšímu počtu lidí, se tato diplomová práce zaměřuje na vývoj vhodného postupu měření hluku pomocí mobilního telefonu. Hlavním cílem práce je navrhnout a ověřit postup, který umožní získat, pokud možno, co nejpřesnější sadu dat a intuitivním způsobem umožní tato data zobrazit pomocí některého z dostupných GIS.

V První části práce bude obecně vysvětlen pojem hlukové znečištění, jeho dopad na zdraví a kvalitu života, včetně příslušné legislativy a budou představeny stávající metody měření hluku. Druhým tématem teoretické části bude seznámení se sledovanou oblastí, druhy hlukového znečištění, kterým je tato oblast vystavena a metody, kterými je možné tyto jevy účinně tlumit.

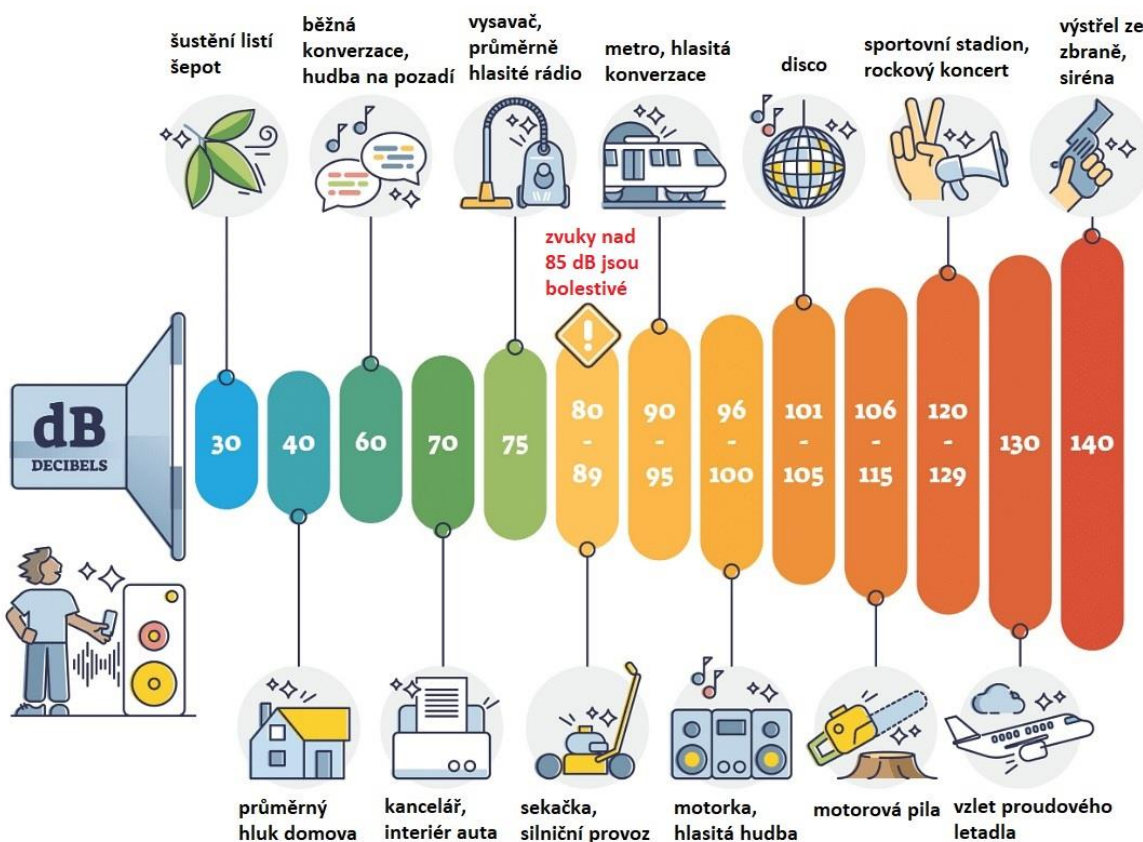
Druhá část práce bude obsahovat seznámení s relevantními aplikacemi a vícekritériální rozhodnutí, které je zaměřené na výběr té aplikace, která nejvíce odpovídá stanoveným kritériím a požadavkům této práce. Samotnému měření bude předcházet navrhnutí vhodného postupu, jak tento úkon provádět v souladu s již zavedenými postupy. Jedná se o úkony, které je vhodné dodržet, aby byla zaručena validita měřených dat v rámci mezí provedení měření širokou veřejností.

Samotné měření bude rozděleno na dvě etapy, kdy nejprve dojde k referenčnímu měření v místě, pro které existuje hluková mapa vytvořena pomocí simulací založených na modelech zvukových charakteristik jak prostředí, tak zdrojů hluku. Následně dojde k porovnání s modelovými daty na vybraných místech měřeného prostoru. Ve druhé etapě bude provedeno měření v samotné zájmové oblasti, kterou se stala obec Bochoř, nacházející se jižně letiště Přerov. Zde bude aplikován navržený způsob měření a provedeno kontrolní měření v časech, kdy bude obec Bochoř vystavena leteckému provozu. Výsledkem tohoto měření bude grafické znázornění hladin hluku ve vybrané, frekventované části obce za využití GIS.

1. HLUKOVÉ ZNEČIŠTĚNÍ

Hlukovým znečištěním se rozumí nežádoucí nebo nadměrný zvuk, který může mít škodlivé účinky na lidské zdraví, divokou zvěř a kvalitu životního prostředí. Hlukové znečištění běžně vzniká v mnoha průmyslových zařízeních a na některých dalších pracovištích, ale také pochází ze silniční, železniční, letecké dopravy a z venkovních stavebních činností.

Zvukové vlny jsou vibrace molekul vzduchu přenášené ze zdroje hluku do ucha. Zvuk je typicky popsán v podmínkách hlasitosti (amplitudy) a výšky (frekvence) zvukové vlny. Hlasitost (také nazývaná jako hladina akustického tlaku – SPL) se měří v logaritmických jednotkách, tzv. decibelech (dB). Obvykle lidské ucho dokáže detekovat zvuky, které se pohybují mezi 0 dB (práh slyšení) a přibližně 140 dB, přičemž zvuky mezi 120 dB a 140 dB způsobují bolest (práh bolesti). Příkladem může být SPL v knihovně, které je asi 35 dB, zatímco uvnitř jedoucího autobusu nebo metra se tato hodnota pohybuje přibližně na úrovni 85 dB; stavební činnosti mohou u zdroje generovat SPL až 105 dB. SPL klesá se vzdáleností od zdroje (obrázek 1).



Obrázek 1: Příklady decibelové škály hlučnosti

Zdroj: [3]

Rychlost přenosu zvukové energie, tzv intenzita zvuku je úměrná druhé mocnině SPL. Kvůli logaritmické charakteristice decibelové stupnice, zvýšení o 10 dB představuje deseti násobné zvýšení intenzity zvuku, zvýšení o 20 dB představuje sto násobné zvýšení intenzity, zvýšení o 30 dB představuje tisíci násobné zvýšení intenzity atd. Při zdvojnásobení intenzity zvuku se naopak SPL zvýší pouze o 3 dB. Pokud například stavební vrtačka způsobí hladinu hluku 90 dB, pak dvě stejné vrtačky pracující vedle sebe způsobí hladinu hluku 93 dB. Na druhou stranu, když se spojí dva zvuky, které se v SPL liší o více než 15 dB, slabší zvuk je maskován (nebo přehlušen) hlasitějším zvukem. Pokud například na staveništi vedle 95 dB dozeru pracuje vrtačka o hlučnosti 80 dB, bude kombinované SPL těchto dvou zdrojů naměřeno jako 95 dB; méně intenzivní zvuk z kompresoru nebude patrný [1].

Frekvence zvukové vlny se vyjadřuje v cyklech za sekundu (cps), ale častěji se používá hertz (Hz) (1 cps = 1 Hz). Lidský ušní bubínek je velmi citlivý orgán s velkým dynamickým rozsahem, který je schopen detekovat zvuky na frekvencích od 20 Hz (velmi nízká výška tónu) až do asi 20 000 Hz (velmi vysoká výška). Výška lidského hlasu v běžné konverzaci se vyskytuje na frekvencích mezi 250 Hz a 2 000 Hz. [2]

Hladiny hluku jsou proměnné v čase, údaje o měření hluku jsou tedy uváděny jako průměry v čase, které vyjadřují celkové hladiny hluku. Toho lze docílit několika způsoby. Například výsledky několika opakovaných měření hladiny zvuku mohou být zaneseny do statistické tabulky jako kód L₉₀=75 dB. Význam tohoto zápisu je následující: hladiny byly po 90 procent času měření rovné nebo vyšší než 75 dB. Další jednotka představuje tzv. ekvivalentní hladinu zvuku (L_{eq}), kterou lze využít k vyjádření průměrné SPL za jakékoli měřené období (například období nočního klidu). Jednotka, která zohledňuje období dne a noci se značí jako DNL (Day – Night Level). Toto rozdělení dne a noci je zdůvodněné tím, že člověk vnímá hluk ve dne jinak než právě v noci, kdy jsou jeho hlukové vjemy mnohem citlivější. K hodnotám SPL, které jsou měřeny mezi 22:00 a 7:00 hod. je přidán koeficient +10 dB. Měření DNL jsou používána především pro měření hlukové zátěže leteckou dopravou, která nebývá nocí omezena na rozdíl od například stavebních prací.

1.1 Účinky na člověka a divokou zvěř

Z hlediska bezpečnosti a zdraví, není hluk pouze nepříjemný faktor. Při určitých úrovních a trvání expozice může způsobit fyzické poškození ušního bubínku (tympanic membrane) a citlivých vláskových buněk vnitřního ucha (Příloha 1) a vést k dočasné nebo trvalé ztrátě sluchu. Ke ztrátě sluchu obvykle nedochází při SPL pod 80 dB (dlouhodobé vystavení hluku

například v zaměstnání se doporučuje udržovat pod hladinou 85 dB), ale většina lidí opakovaně vystavených více než 105 dB bude mít do určité míry trvalou ztrátu sluchu. Kromě ztráty sluchu může nadměrné vystavování hluku zvýšit krevní tlak, tepovou frekvenci, způsobit podrážděnost, úzkost, duševní únavu a narušit spánek. Nadměrný hluk má také negativní dopad na rekreaci a socializaci. Děti žijící v oblastech s vysokou úrovní hluku mohou trpět stresem a dalšími problémy, jako jsou poruchy paměti a pozornosti. Kontrola znečištění hlukem je proto důležitá na pracovišti i v komunitě. [4]

Hlukové znečištění má dopad i na divokou zvěř. Široká škála zvířat, včetně hmyzu, žab, ptáků a netopýřů, spoléhá na zvuk z různých důvodů. Hlukové znečištění může narušit schopnost zvířete přilákat partnera, komunikovat, navigovat, najít potravu nebo se vyhýbat predátorům, a tak může být dokonce existenční hrozbou pro zranitelné organismy. Problém znečištění hlukem je zvláště závažný pro mořské živočichy, zejména pro ty, kteří se spoléhají na echolokaci, jako jsou některé velryby, delfini. Velká část světových oceánů je znečištěna chaotickými zvuky z lodí, seismických testů a ropných vrtů. Některé z nejhlasitějších a nejškodlivějších zvuků v moři pocházejí z námořních sonarových zařízení, jejichž hluk se může šířit stovky kilometrů vodou a je spojen s hromadným úmrtím velryb a delfinů v důsledku uvíznutí v mělkých vodách. [5]

1.2 Regulace a zmírnění hluku

Účinným prostředkem při zmírňování nepříznivých dopadů hlukového znečištění mohou být protihlukové vyhlášky a zákony přijaté na místní, regionální a národní úrovni. Environmentální a průmyslový hluk je v České republice regulován podle nařízení vlády č. 272/2011 Sb. ze dne 24. srpna 2011, o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. [6] Podle tohoto nařízení vláda stanovila limity, které jsou členěné podle zájmového území, případně prostorů jak vnitřních, tak vnějších (tabulka 1). Konkrétně se jedná o rozdělení prostorů na chráněné vnitřní prostory staveb (veškeré obytné a bytové místnosti, ve kterých se člověk pohybuje), chráněné venkovní prostory staveb (prostory v okolí budov do maximální vzdálenosti 2 metrů od fasády budovy) a chráněné venkovní prostory (nezastavěný prostor využívaný k rekreaci, výuce případně lázeňství). [6] Pro zdravotnická zařízení jsou hlukové limity dále členěny na denní a noční dobu.

Tabulka 1: Základní limity hluku

Základní limity pro venkovní hluk (např. u obytných domů)		
Venkovní hluk	Den (6:00 – 22:00)	Noc (22:00 – 6:00)
Základní limit – pro hluk jiný než z dopravy	50 dB	40 dB
Pro hluk ze silniční dopravy	55 dB	45 dB
Pro hluk ze železniční dopravy	55 dB	50 dB
Pro hluk z hlavních silnic	60 dB	50 dB
Pro hluk v ochranných pásem drah	60 dB	55 dB
Pro starou hlukovou zátěž	70 dB	60 dB
Pro starou hlukovou zátěž u železničních drah	70 dB	65 dB
Základní limity pro vnitřní hluk (uvnitř obytných místností)		
Základní limit	40 dB	30 dB
Pro hluk ze silniční dopravy (neplatí pro stavby dokončené po 1.6.2006, u nich se použije základní limit)	45 dB	35 dB
Pro hluk z hudby, zpěvu a řeči	35 dB	25 dB

Zdroj: [6]

Pro účely této práce bude dostačující se zaměřit na limity, které jsou určené pro vnější prostory. V tomto případě je hlukové znečištění rozděleno na několik základních kategorií, které jsou patrné i z hlukové mapy vytvořené Ministerstvem zdravotnictví v roce 2017. [7] Konkrétně se jedná o hluk ze silniční dopravy, který je stanovený limitem 55 dB ve dne a 45 dB v noci s poznámkou, že u hlavních silnic jsou stanovené limity o 5 dB větší. V případě měření hluku ze železniční dopravy je stanoven pro limit pro den 55 dB a pro noc 50 dB. Opět je rozlišeno, zda se jedná o vedlejší nebo hlavní drážní koridor, jsou limity pro denní i noční dobu opět vyšší o 5 dB. Naopak pro posuzování hlukové zátěže bez vlivů dopravy je stanoven limit pro denní dobu na 50 dB a pro noční dobu 40 dB, což odpovídá hluku běžné konverzace, případně hudbě na pozadí (obrázek 1).

K profesionálnímu měření hluku jsou využívány drahé sofistikované zvukoměry, nicméně dostačujících výsledků pro běžného uživatele (například potenciálního zákazníka

poptávajícího novou nemovitost) lze dosáhnout i pomocí vhodné kombinace měřícího senzoru v podobě software / hardware a vhodným způsobem. Mikrofon, případně mobilní telefon, který je použit pro měření hluku se obvykle umísťuje do prostoru běžného pohybu osob, případně do vzdálenosti dvou metrů od zdí budov. Standardní stavba domu poskytne určité stínění před vnějšími zvuky za předpokladu, že dům splňuje minimální stavební normy a pokud hladina vnějšího hluku spadá do přijatelných limitů.

Jak již bylo řečeno, tyto limity jsou obecně specifikovány pro konkrétní období dne – například během denního světla, během večerních hodin a v noci během spánku. Kvůli lomu v atmosféře v důsledku noční teplotní inverze se mohou do oblasti dostat poměrně hlasité zvuky z dosti vzdálené dálnice, letiště nebo železnice. Jednou z využívaných technik pro kontrolu hluku na dálnici je vybudování protihlukových stěn, které oddělují dálnici od přilehlých obytných oblastí. Účinnost těchto bariér je omezena difrakcí zvuku, která je větší na nižších frekvencích, které často převládají u hluku ze silnice, zejména od velkých vozidel. Aby byly účinné, musí být co nejbližší buď ke zdroji (vhodnější varianta), nebo k chráněné oblasti.

Obecně lze mezi protihluková opatření zařadit několik účinných metod:

- **Zlepšení izolace:** Zlepšení izolace stěn, podlah a stropů může výrazně snížit množství zvuku, který vstupuje nebo vychází z budovy.
- **Použití zvukové izolace:** Použití zvukové izolace v interiéru může pomoci snížit hladinu hluku. Tento postup zahrnuje použití akustických panelů, podlahových krytin, závěsů a podobně.
- **Použití zvukotěsných oken:** Zvukotěsná okna mají silnější sklo a konstrukci, která pomáhá snížit množství hluku, který se dostane dovnitř.
- **Použití těžkých závěsů:** Použití těžkých závěsů může také pomoci snížit hladinu hluku tím, že pohltí zvuk a zabrání jeho šíření.
- **Využití bílého šumu:** Bílý šum je zvukový signál, který obsahuje všechny frekvence v dosahu lidského sluchu. Použití bílého šumu může pomoci maskovat jiné zvuky a snížit celkovou hladinu hluku.
- **Použití zeleně:** Použití rostlin a jiné zeleně může pomoci snížit hladinu hluku, protože listy a větve pohlcují zvuk a tlumí jeho šíření.
- **Úprava zdrojů hluku:** Účinnou metodou může být také úprava zdrojů hluku. Patří sem například použití tlumičů.

- **Omezení doby provozu:** Omezení doby zdrojů hluku, jako je například provoz strojních zařízení, může také pomoci snížit celkovou hladinu hluku.

1.3 Faktory způsobující hlukové znečištění

Zvuky a hlukové stopy na pozadí živoucího světa jsou neoddělitelnou součástí našeho každodenního života a civilizace. Hluk je obecně nežádoucí zvuk nebo zvuk, který vytváří určité nepohodlí v uších jak našich, tak i ostatních živočichů. V současné společnosti se hluk stal trvalým aspektem zejména kvůli každodenním činnostem, jako je doprava, průmyslová výroba a technologie. Na rozdíl od ostatních typů znečištění hluková zátěž postrádá prvek akumulace v prostředí, což zle vnímat jako pozitivní vlastnost, nicméně v určitých hlukově exponovaných místech může být trvalý. Hluk vzniká až tehdy, kdy zvukové vlny intenzivního tlaku dosáhnou lidských uší. V důsledku zvukových vibrací mohou tyto tlakové vlny dokonce ovlivnit svalovou tkáň. I když hluková zátěž nezpůsobuje přímo smrt, může přesto způsobit mnoho negativních následků.

- Hluk způsobený dopravou – hluk z dopravy představuje většinu znečišťujícího hluku ve městech. Například klakson auta produkuje 90 dB a autobus dokonce až 100 dB. Hluk je navíc kumulován velkým počtem dopravních prostředků, které se v jednu chvíli pohybují v prostředí chráněné oblasti. Zdroj hluku vytváří také podzemní vlaky, letadla létající nad městy a obydlenými oblastmi, které mohou produkovat hluk o velikosti až 130 dB.
- Stavební práce a industrializace – většina výrobních společností a průmyslových odvětví po celém světě používá stroje, které mohou generovat poměrně velkou hlukovou zátěž. Do této kategorie také patří různá zařízení, jako jsou odsávací ventilátory, kompresory, brusky a mnoho dalších. Dlouhodobé vystavení vysokým hladinám zvuku může zhoršit sluchovou schopnost pracovníků, které s těmito nástroji a prostředky přicházejí do styku na denní bázi.
- Kulturní akce – lidé obvykle vytváří hluk v jakémkoli společenském prostředí, ať už se jedná o klub, sakrální místa, svatby nebo jakékoli jiné společenské události, které se automaticky stávají primárním zdrojem hluku. Hlasitá hudba může také negativně ovlivnit sluchové schopnosti jednotlivce, který se často takto hlasitým produkcím vystavuje. [3]
- Zvířata - Hluk způsobený zvířaty, jako jsou psi, kočky a další domácí zvířata, může být také poměrně výrazným zdrojem hluku obzvláště ve večerních hodinách.

- Klimatizace a topení - Hlasitý může být také provoz klimatizace a topení, zejména pokud se jedná o větší a výkonnější systémy.

Nejčastěji se samozřejmě jedná o kombinaci některých nebo dokonce všech těchto faktorů.

2. VYUŽÍVANÉ METODY MĚŘENÍ HLUKU

Měření hluku za účelem zlepšení životní úrovně obyvatel je poměrně mladou vědní disciplínou. Posouzení hluku a snížení jeho dopadu je proto důležitou otázkou, široce podporovanou vnitrostátními předpisy v mnoha zemích. V Evropě například evropská směrnice 2002/49/EC požaduje, aby města s více než sto tisíci obyvateli vytvářela hlukové mapy, a tak definovala akční plány pro omezení obtěžování hlukem, ale také informovala občany o výši hlukové zátěže, které budou vystaveni v konkrétní lokalitě jejich pobytu, případně zaměstnání [9].

2.1 Modelové a simulační metody

Mnohé metropole řeší tento problém až v posledních letech a při určování hladiny hluku často využívají spíše modelů a simulací. Touto cestou se vydala například Velká Británie. Hluková zátěž se vypočítává pomocí simulací založených na vstupech, kterými jsou například údaje o dopravním toku, typ silnice a druhů vozidel po ní se pohybujících nebo železnice a charakteristická železniční doprava, kdy je rozdíl mezi například dopravními rychlovlaky a nákladními soupravami. Vzhledem k tomu, že sběr takových vstupních dat je velmi nákladný, bývají takové mapy často neaktuální a měření, respektive simulace se aktualizují až po delších časových úsecích. Například již zmíněná Velká Británie provádí tato měření po pěti letech [17].

Nejrozšířenější metodou pro vytváření hlukových map jsou v dnešní době metody, které umožňují obsáhnout rozsáhlé území za přijatelných ekonomických podmínek. Jedná se o vytváření hlukových modelů založeným na definovaných zdrojích zvuku a modelech akustického šíření (tabulka 2) pomocí standardních metod, jako je například CNOSSOS-EU [18] nebo ISO 9613-2 [19].

I když tyto přístupy poskytují přehled o hluku v životním prostředí, zůstávají z několika důvodů velmi omezené, protože samotné uvažované zdroje hluku jsou omezeny v podstatě pouze na dopravní zdroje. Modely emisí hluku jsou velmi zjednodušené (např. městský silniční provoz je na úseku silnice považován za konstantní, bez zohlednění dynamiky provozu [20]).

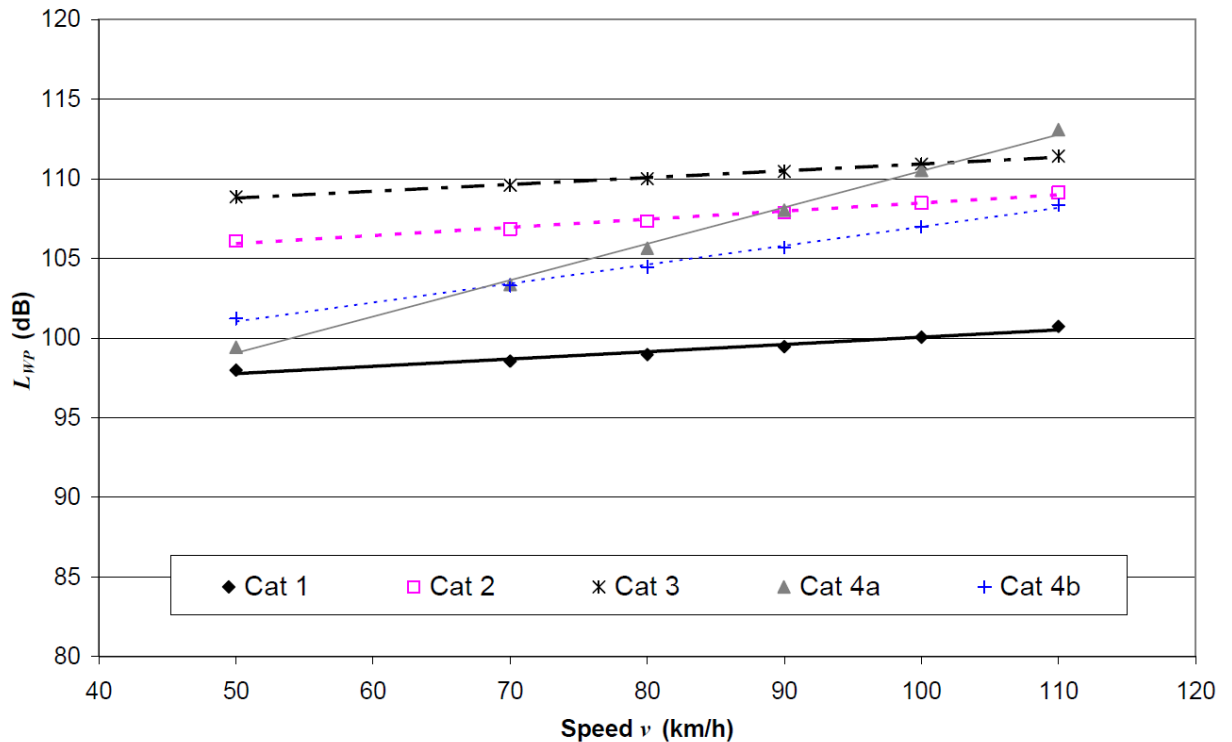
Tabulka 2: Kategorie vozidel dle CNOSSOS-EU

Kategorie	Název	Popis	Kategorie dle EC
1	Lehká motorizovaná vozidla	Osobní vozidla, dodávky (lehčí než 3,5 t), SUV, MPV, přívěsy a karavany	M1 a N1
2	Středně těžká vozidla	Středně těžká vozidla, dodávky (těžší než 3,5 t), autobusy	M2, M3 a N2, N3
3	Težká vozidla	Těžké nákladní automobily, případně autobusy s více nápravami	M2 a N2 s přívěsem, M3 a N3
4	Motorizované jednostopé vozidlo	4a) mopedy, tříkolky (méně než 50 cc objemu)	L1, L2, L3
		4b) motorčky, tříkolky (více než 50 cc objemu)	L3, L4, L5, L7
5	Volná kategorie	Může být definována později	nedefinováno

Zdroj: [18]

Modely šíření jsou založeny na aproximacích (např. s uvažovanými mikrometeorologickými vlivy) a získání hlukových map vyžaduje poměrně nezanedbatelné výpočetní časy v měřítku aglomerací, vstupní data modelů jsou často neúplná (např. typ terénu může být zvolen obecně z důvodu nedostatku informací) a i když je v dnešní době významná část dat zpřístupněna ve formě volně dostupných dat, tak jejich použití jako vstupních dat nebývá z různých objektivních důvodů příliš jednoduché [21]. Všechna tato omezení vedou k nedostatku realističnosti dané metody a do celého procesu navíc nevstupuje subjektivní vnímání a hodnocení okolního hluku uživateli, které může také poskytnout užitečný úhel pohledu na hlukové zatížení oblasti. Hlukové hodnoty jednotlivých kategorií vozidel jsou patrné z obrázku 2, kdy vodorovná stupnice znázorňuje rychlost, kterou se sledovaný prostředek pohybuje a svislá stupnice představuje velikost hluku, kterého tento prostředek při dané rychlosti dosahuje. Je nutno podotknout, že se jedná pouze o modelové situace a skutečné hodnoty mohou dosahovat, v závislosti na podmínkách, značných rozdílů.

Analogicky jsou podobným způsobem kategorizovány také dopravní prostředky pohybující se po kolejích, kdy hlavní kategorie tvoří samostatné jednotky a železniční soupravy ať už samostatně se pohybující, nebo vlečené lokomotivou.



Obrázek 2: Vliv rychlosti na hlučnost jednotlivých kategorií vozidel

Zdroj: [18]

2.2 Měření hluku komerčním subjektem

Alternativní přístup, který umožňuje evropská směrnice, je založen na měření hluku přímo v terénu. Vzhledem ale ke značnému počtu požadovaných měřicích bodů na aglomeračním měřítku je však toto řešení spíše teoretické. Vzhledem k finanční nákladnosti není příliš využíváno a spíše se praktikuje v případech, kdy je potřeba změřit hluk v konkrétní zájmové oblasti pro konkrétní projekt nebo studii.

Existuje několik různých způsobů měření hluku, které se používají v komerčních aplikacích. Jednou z nejrozšířenějších metod měření hluku je použití zvukoměrů, které dokáží přesně změřit hladinu hluku v určité lokalitě. Tyto měřiče pracují tak, že zaznamenávají zvukové vlny, které jsou následně analyzovány a vyhodnocovány pomocí různých algoritmů a vzorců. Zvuková měření jsou velmi přesná a lze je připojit k měření jak celkové hladiny hluku, tak i k měření specifických hlukových událostí. [27]

Další metodou měření hluku je použití akustických kamer, které nabízejí vizualizaci zdrojů hluku. Tyto kamerové systémy jsou schopny detekovat zdroje hluku a umožňují vizuální analýzu různých zdrojů zvuku. [28]

Komerční měření hluku lze provádět jak na pevných stanicích, tak pomocí mobilních platformer a systémů, například vozidla vybavená zvukoměry a jinými senzory. Tyto mobilní systémy poskytují měření hluku v různých oblastech a jsou užitečné pro mapování hladin hluku v širším měřítku.

Komerční měření hluku je důležitým nástrojem pro hodnocení úrovně hlukové zátěže v oblastech, kde se vyskytuje větší hustota hlukového zatížení. Tato měření pomáhají identifikovat nejvíce rušivé zdroje hluku a umožňují podniknout kroky k minimalizaci negativních vlivů hluku na zdraví a životní úroveň obyvatel.

2.3 Crowdsourcing

S rostoucím počtem uživatelů chytrých telefonů a s ohledem na neustálé zlepšování metrologické kvality chytrých telefonů je však možné uvažovat o realizaci velice husté sítě sledovacích míst pro pozorování hluku, prostorově i časově. Tento přístup tak umožňuje vytvářet realističtější hlukové mapy, integrující všechny relevantní zdroje zvuku i jejich časovou dynamiku, bez dalších omezení.

Zásadnější komplikaci v tomto ohledu může hrát rozdílná kalibrace jednotlivých senzorů a neidentické podmínky měření ať už automatického, pasivního, nebo případně s aktivní účastí uživatele. Pokud by docházelo k pasivnímu měření hluku aplikací, bez zásahu uživatele bylo by nejdříve potřeba definovat podmínky za jakých tato aplikace provádí měření. Zda se telefon nachází v ruce uživatele, batohu nebo například kapse. Aplikace by musela být schopna tyto rozdílné vstupní parametry brát v úvahu ve formě koeficientu, který by upravoval skutečné naměřené hodnoty a připodobňoval je realitě.

Metoda tak zvaného crowdsourcingu je z hlediska investic do hlukové studie na jednu stranu výrazně levnější, ale na druhou stranu vyžaduje velký počet zapojených dobrovolníků ochotných se na takové studii podílet. Metoda může být alternativou v situacích, kdy nasazení bezdrátových sensorových sítí pro monitorování hlukového znečištění představuje méně ekonomickou variantu obzvláště v rozsáhlých urbanistických územích. Klíčová myšlenka crowdsourcingu spočívá v tom, že sběr dat o hlukové zátěži provádí skupina dobrovolníků s potřebnými senzory a GPS modulem zabudovaným v chytrém telefonu. Vzhledem k všudypřítomnosti mobilních telefonů tento přístup může nabídnout velké prostorově-časové

pokrytí snímáním při nízkých nákladech. Nespornou výhodou tohoto přístupu je aktuálnost dat, která se může pohybovat v řádu hodin až dní, oproti měsícům až rokům, které poskytují klasičtější metody měření. Mobilní telefony určeny primárně ke komunikaci, spíše než pro zpracovávání akustických signálů, nicméně teoreticky nepředstavuje až takový problém provést správnou kalibraci potřebnou pro měření dat. Aby byly výsledky z mobilních telefonů věrohodné, je potřeba kvalitu zpracování dat co nejvíce přiblížit profesionálním měřicím zařízením. O potřebnou kalibraci by se mohl postarat vhodný software měřicí aplikace, kterou by mohl snadno obsluhovat i méně technicky zdatný uživatel. Na druhou stranu celý proces monitorování hluku zaměřený na nutnou spolupráci dobrovolníků může narážet na objektivní problémy v tom smyslu, že dobrovolníci nebudou mít zájem se pohybovat po předem definovaných trasách v předem definovaných časech. Z toho plyne neúplnost měřených dat i ve spojení s tím, že uživatelé budou své telefony používat i pro jiné činnosti, které vyložene neumožňují další využití mikrofonu, případně se uživatelé mohou rozhodnout používat měřicí aplikaci pouze tehdy, kdy má telefon dostatek energie. V důsledku toho jsou vzorky odebrané z mobilních telefonů obvykle náhodně distribuovány v prostoru a času a jsou neúplné. Nereálné je také očekávat, že dobrovolníci budou vždy nosit telefony v ruce, se správně nastavenými mikrofony umístěnými do ideální polohy pro snímání okolního hluku. Výzkum provedený společností Nokia naznačuje, že lidé mají tendenci nosit mobilní telefon v kapsách kalhot, taškách, na opasku a v ruce. [26] Protože dobrovolníci mohou přispívat vzorky měření, když je telefon v různých snímacích podmínkách, je potřeba také definovat, zda tyto rozdílné podmínky mají významný dopad na samotné výsledky měření.

V posledních 10 letech se tak objevilo několik iniciativ, které prokázaly relevanci tohoto přístupu [24], a to i přes nižší kvalitu akustických měření [25]. Méně viditelným benefitem tohoto přístupu je ten aspekt, že účastníci měření získávají zároveň zpětnou vazbu o stavu svého životního prostředí. Tímto kolektivním shromažďováním dat zároveň spolupracují na transparentnosti celého procesu, což může v konečném důsledku přispět k důvěryhodnosti měření. V současné době jsou však tyto přístupy stále poměrně experimentální a jen málo z nich ve skutečnosti vedlo k plně realizovaným studiím.

2.4 Sběr dat pro osobní využití

Předmětem této diplomové práce je navrhnutí vhodné metodiky pro sběr hlukových dat za využití konkrétní aplikace a následné znázornění v GIS. Obecně je ale vhodné nejdříve určit algoritmus takové činnosti. Dále je potřeba vytvořit konkrétní harmonogram činnosti a až

poté přistoupit k samotné realizaci nového projektu. Konkrétní zadání bude rozebráno v následující kapitole.

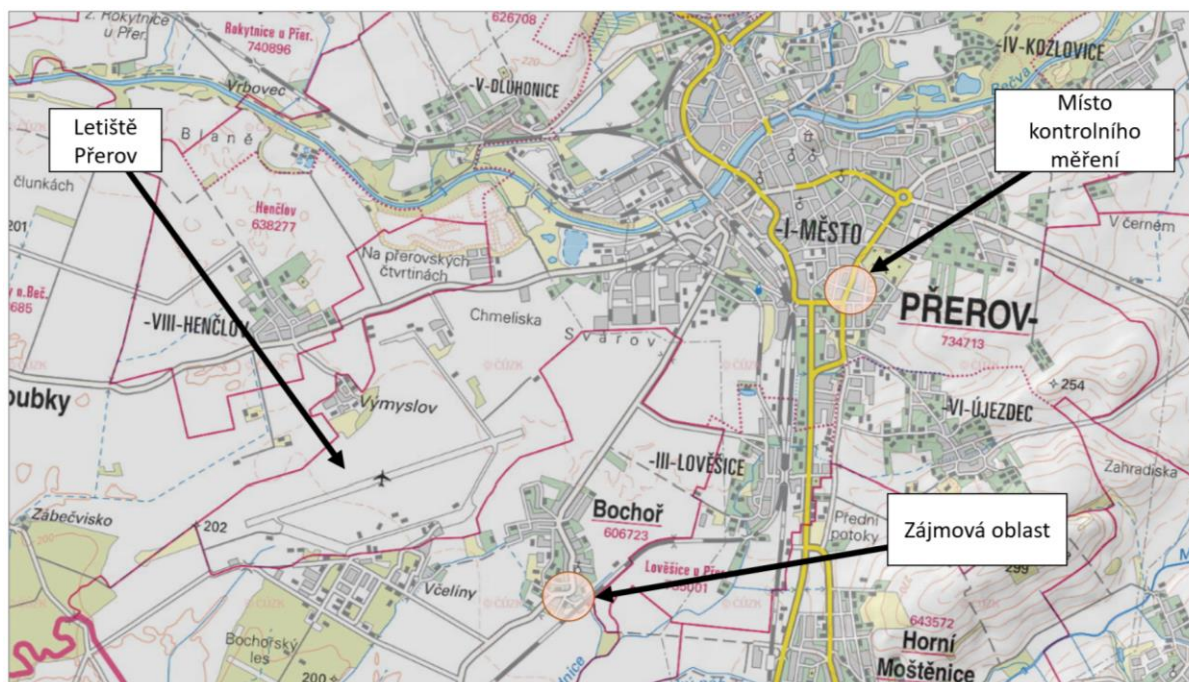
Obecný harmonogram sběru zvukových dat pro osobní využití [37] upravený pro potřeby této práce:

- **Výběr vhodného způsobu sběru dat:** Je možné použít různé způsoby sběru dat, například chytré telefony nebo na trhu dostupné snímače hluku.
- **Určit místo a čas sběru dat:** Důležité je vybrat vhodnou zájmovou oblast pro provádění měření, dále je třeba určit časový interval, ve kterém budou data sbírána.
- **Nastavení parametrů sběru dat:** Nastavení parametrů sběru dat bude obsahovat informace o zamýšlené délce záznamu, vzorkovací frekvence, citlivost senzoru a další parametry, které ovlivňují kvalitu dat. V podstatě se jedná o parametry zvoleného SW.
- **Zahájení sběru dat:** Zahájení sběru dat a následná kontrola, zda byla data uložena ve vhodném formátu, který umožní pozdější analýzu.
- **Zpracování dat:** Data lze zpracovávat různými způsoby, například pomocí statistických nástrojů, strojového učení nebo vizualizace dat.
- **Interpretace výsledků:** Interpretace výsledků a analýza dat. Zhodnocení relevantnosti pro zamýšlený výsledek.
- **Zabezpečení dat:** Kontrola, zda jsou data zabezpečena, respektive zálohována pro případnou ztrátu dat z primárního nosiče.

3. ZÁJMOVÁ OBLAST

Vzhledem k možnostem autora a zaměření diplomové práce bylo vybráno pro hledání vhodného způsobu měření hluku okolí letiště Přerov (Obrázek 2). Tato lokalita umožní měření všech významných zdrojů a příčin hluku. Kombinuje hlukové znečištění vytvářené jak hustou silniční dopravou, tak vlakovou dopravou a v neposlední řadě i leteckou dopravou, na kterou se v této práci budeme okrajově zaměřovat i s přihlédnutím k tomu, že lidé z okolních obcí (obzvláště pak z obce Bochoř) si často stěžují právě na leteckou dopravu. Město Přerov samotné je vysoce industrializované, a proto se hodí jako ideální lokalita pro výzkum hlukové zátěže.

Z hlediska dopravní situace je Přerov velice významným dopravním uzlem, což sebou samozřejmě nese kromě mnohých výhod spíše industriálního rázu, také mnoho nevýhod z hlediska značného zatížení životního prostředí. V prosinci roku 2022 byl i z tohoto důvodu zahájen projekt výstavby obchvatu Přerova, pokračování dálnice D1, které by mělo významně odlehčit dopravě právě v centru města. Jedná se v podstatě o konečnou úpravu podoby dálnice, která se shodou okolností dokončuje právě v okolí Přerova. Konkrétně se jedná o úseky v celkové délce 24,4 km. Trasa stavby dálnice D1 navazuje na předchozí úsek dálnice (km 75,660), který je součástí stavby 0135 u Říkovic. Konec úseku stavby je situován severozápadně Přerova, těsně před křížením trasy dálnice se stávající silnicí Kokory–Přerov, kde navazuje následující již dokončený úsek dálnice Přerov–Lipník nad Bečvou, zprovozněný v prosinci 2019. [22, 23]



Obrázek 3: Zájmová oblast v okolí Přerovského letiště

Zdroj: Vlastní zpracování [36]

3.1 Hluková zátěž v zájmové oblasti

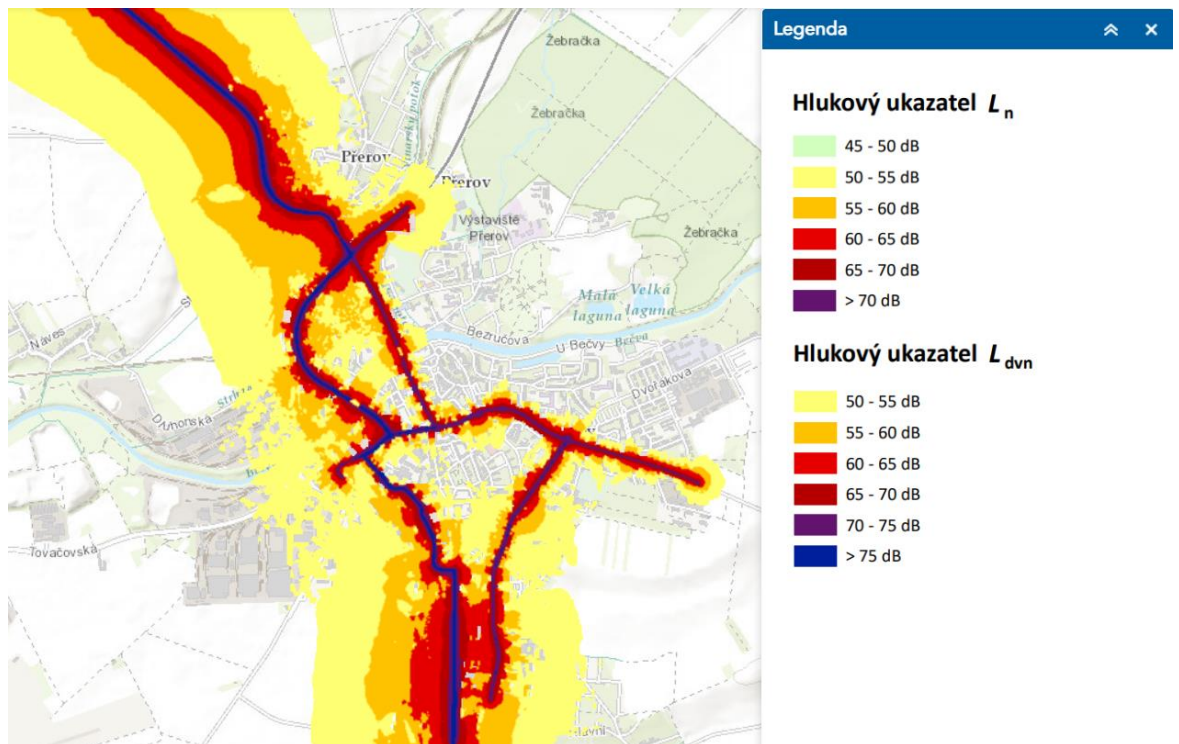
Ačkoliv je město Přerov velice hlukově zatíženým prostředím, nemá zpracovaný akční plán na eliminaci, případně potlačení tohoto problému. Hluková zátěž v Přerově zahrnuje kombinaci všech typů zdrojů nadměrného hluku, který je produkován zejména zvýšenou dopravou ve městě. Vzhledem k tomu, že hluk může mít škodlivý vliv na lidské zdraví a klid, je obecně regulován zákony a vyhláškami. Ty stanovují limity hluku pro různé oblasti, jako jsou obytné, komerční a průmyslové zóny. Místní úřady a organizace mohou přijmout opatření k minimalizaci hlukové zátěže, kterými jsou zejména:

- **Omezení dopravy v hlučných oblastech:** Omezení dopravy, omezení povolené rychlosti nebo průmyslových aktivit v oblastech s vysokou hladinou hluku může pomoci snížit hlukovou zátěž.
- **Využití protihlukových opatření:** Ke snížení hluku může přispět montáž protihlukových stěn, použití protihlukového asfaltu, izolace budov a další protihluková opatření.
- **Zvyšování povědomí o vlivu hluku:** Informování veřejnosti o negativním vlivu hluku na zdraví a o možnostech, jak minimalizovat dopad hluku v domácnostech.

- **Podpora výzkumu:** Podpora výzkumu hlukového znečištění a jeho dopadu na lidské zdraví a životní prostředí může pomoci najít nové a účinnější způsoby, jak minimalizovat hlukové znečištění.

Jak je patrné z obrázku 4, který znázorňuje dopravní hlukovou mapu, nejhorší situace je podél páteřní komunikace ze severu na jih, která se skládá z ulic Tovární, Husova, Gen. Štefánika a Hulínská. Na těchto komunikacích hluk z dopravy dosahuje až hodnoty 75 dB. Jedná se o ulice, do kterých má povolena volný průjezd nákladní a zároveň i tranzitní doprava. Nákladní vozy přitom mají zásadní vliv na hlukové znečištění. Zároveň se jedná o lokace, do kterých jsou v nejvyšší míře dislokované průmyslové areály a haly. Výjimku v tomto případě tvoří ulice Kojetínská a Husova, která je tvořena převážně obytnými domy.

Paralelní komunikace, která je alternativou hlavního tahu je tvořena ulicemi 9. května, Bří. Hovůrkových, Želatovská, Tř. 17. listopadu, Velká Dlažka a Lipnická. Na této komunikaci se pohybují zejména automobily osobní přepravy, MHD a vozy zásobování místních podniků. Okolí těchto komunikací tvoří zejména obytné budovy, které se stále nachází v oblasti, kde byl naměřen hluk přesahující 60 dB, což je hodnota, která není předpisem tolerována ani v té nejbenevolentnější kategorii, kterou tvoří „hluku ze silniční dopravy ve dne“ (tabulka 1).



Obrázek 4: Prerov – hluková zátěž způsobená pozemní dopravou

Zdroj: [13]

3.2 Protihluková opatření – pozemní doprava

Význam železničního uzlu Prerov na síti tranzitních železničních koridorů je dán především jeho polohou. Je jedním z důležitých železničních uzlů na II. tranzitním koridoru Břeclav – Prerov – Petrovice u Karviné a zároveň na rameni Prerov – Česká Třebová je přípojnou větví II. koridoru. Do železničního uzlu Prerov je dále zaústěna trať Brno – Prerov. [11]

Z hlediska eliminace hlukové zátěže měla zásadní význam rekonstrukce železniční tratě. V případě Prerova se jednalo o rekonstrukci dvoukolejného průtahu spojovacím uzlem. Dále ke snížení hlukového zatížení přispěla rekonstrukce obvodu osobního nádraží, což umožnilo v konečném důsledku zvýšit traťovou rychlost až na 160 km/h a v prostoru nádraží, mimo nástupiště, až na 80 km/h. Byla provedena rekonstrukce železničního svršku a sanace železničního spodku a mostních objektů včetně náročné rekonstrukce mostu přes Bečvu. Na tuto rekonstrukci navazuje další modernizace dosud nerekonstruovaných úseků tratí mezi odbočkou Rokytnice u Prerova, výhybnou Dluhonice a železniční stanice Prosenice, která se zároveň podílela na zmírnění dopadů hlukové zátěže v části Prerova, Předmostí. [11]

Možnost využití protihlukové stěny nebyla v problematických oblastech vzhledem k výšce obytných budov realizována, ačkoliv to bylo v původním plánu. Analýza prokázala, že by

takové opatření nedosahovalo požadovaného efektu. V těchto oblastech a v budovách, které slouží jako obytné bylo přistoupeno k výměně oken za modernější, schopné v dostatečné míře odstínit okolní hluk. [11, 12]

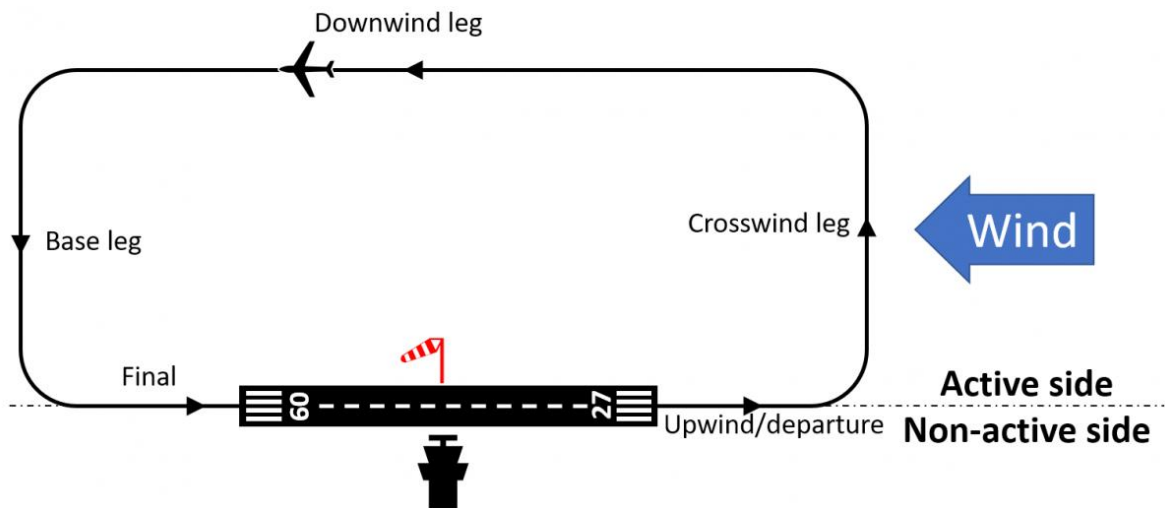
3.3 Protihluková opatření – letecká doprava

Hluk způsobený leteckou dopravou patří mezi hlavní zdroje hlukového znečištění v blízkosti letišť a letových tras. Jeho dopady na lidské zdraví a kvalitu života jsou dobře známé a mohou zahrnovat poruchy spánku, zvýšení hladiny stresových hormonů a zvýšení rizika kardiovaskulárních onemocnění. Hluk způsobený letadly je vysokofrekvenční a může být velmi rušivý, zejména v oblastech s vysokou hustotou letového provozu. Lidé, kteří žijí v těchto oblastech, se mohou setkat s řadou problémů, jako je snížení koncentrace, degradování kvality života a další. Existuje mnoho faktorů, které mohou ovlivnit hluk způsobený leteckou dopravou, včetně typů používaných letadel, typů motorů, vzdálenosti od letiště a rozmístění letových tras a letištních postupů. Hladinu hluku samozřejmě ovlivňují také meteorologické podmínky, jako je směr a síla větru, teplota a vlhkost ovzduší.

Pro minimalizaci negativních dopadů hluku existují různá opatření, jako jsou omezení nočního letového provozu, změna letových tras, používání moderních letadel a izolace budov a domů v okolí vzletových a přistávacích drah. Tyto kroky mohou pomoci snížit úroveň hluku a zlepšit kvalitu života pro lidi žijící v blízkosti letišť a letových tras.

Letecká protihluková opatření obvykle zahrnují několik rovin přístupu k problému. Konkrétně na Přerovském letišti se jedná jak o legislativní přístup, tak o přístup opírající se o způsob, jakým je na letišti Přerov prováděn přílet a odlet letadel na jednotlivé dráhy v používání.

Standartní obrazec, tzv. letištní okruh, je určená dráha, po níž se má letadlo pohybovat v blízkosti letiště. [14] Letištní okruh se skládá z pěti segmentů a čtyř zatáček (obrázek 5). I když to není v definici výslovně uvedeno, běžně jej používají letadla létající podle VFR nebo provádějící vizuální přiblížení nebo odlety. Dva hlavní rysy definující okruh jsou dráha a směr zatáčky. S ohledem na posledně jmenované mohou být okruhy "levé ruky" (všechny otáčky se provádějí doleva) nebo "pravé ruky" (pouze pravé zatáčky).



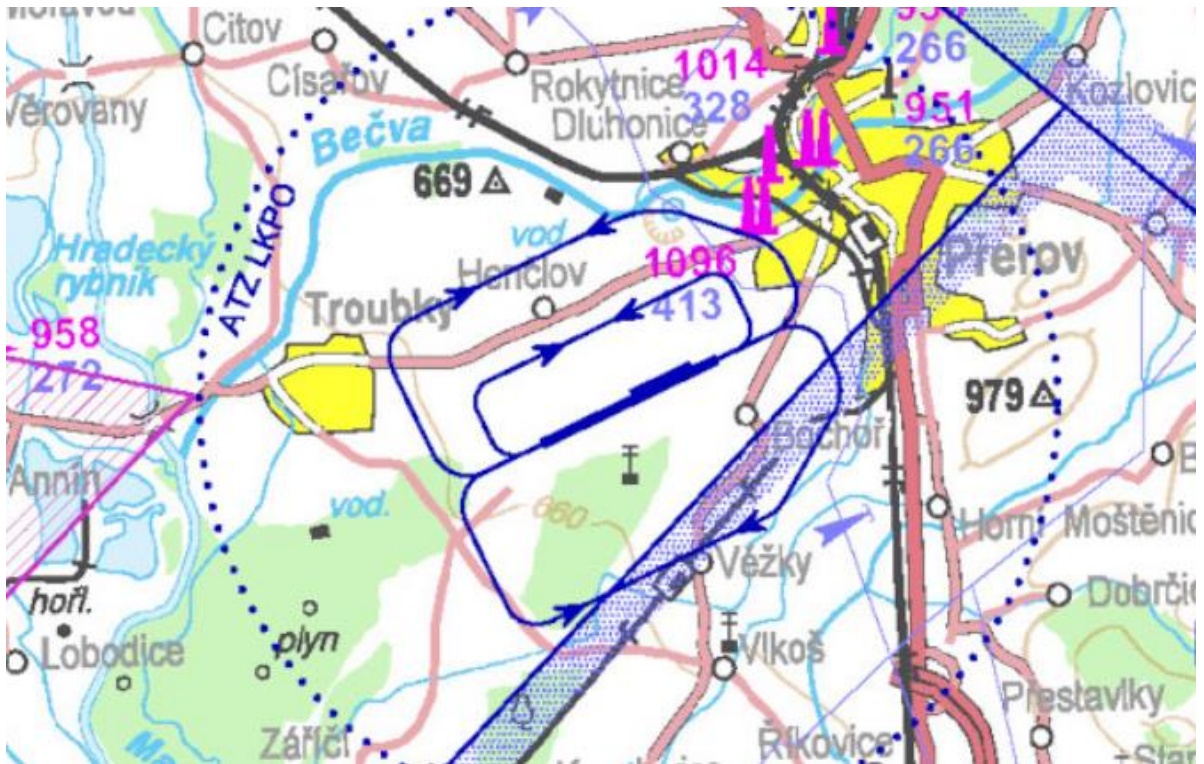
Obrázek 5: Standardní levý letištní okruh

Zdroj: [15]

Letištní okruh LKPO (identifikační značka letiště Přerov) je prováděn na výšce 1640 ft QNH. [10][16] V případě letiště Přerov se jedná přibližně o hodnotu 300 metrů nad terénem. Taková výška umožňuje letadlům provádět bezpečný odlet a přilet vzhledem k případným překážkám v oblasti letiště a zároveň se jedná o protihlukové opatření. Letadla (letouny a vrtulníky, případně výrníky) provádějí výcvik a přiblížovací manévry na této výšce. Až po minutě zastavených oblastí zahajují piloti stoupání, respektive klesání. Okruh na letišti v Přerově je tvarově nestandardní. Obvykle se jedná o okruh obdélníkového tvaru, který obsahuje čtyři devadesátistupňové zatáčky, nicméně s přihlédnutím k zastaveným oblastem je možné tento standardní okruh tvarově přizpůsobit. Takové přizpůsobení musí být poté publikováno v příslušných leteckých dokumentech. Na obrázku 6 je patrné, jakým způsobem je okruh publikován pro letiště Přerov. Vyhýbá se zastaveným oblastem a obcím Troubky, Henčlov, Přerov, Bochoř a Věžky. Pilot je povinen tento obrazec dodržovat a nenarušit jeho tvar.

Bývalé vojenské letiště bylo do roku 2013 využíváno armádou a byla zde umístěna těžká vrtulníková technika. V dnešní době na letišti probíhá výcvik na lehkých výrnících, což jsou proti vrtulníkům řady MI-17 a MI-24, které na letišti působily v nedávné době, poměrně nehlukné stroje. Nicméně obyvatelé přilehlých obcí si přesto stěžují na hlukovou zátěž a neustálé kroužení výrníků a ultralehkých letadel nad jejich domy. Měření hlukové zátěže bude probíhat v době, kdy je na letišti dislokované Centrum leteckého výcviku Pardubice (CLV Pardubice), z čehož plyne i větší hluková zátěž přilehlého okolí letiště. CLV využívá k výcviku těžkých vrtulníků MI-17 a menších vrtulníků typu Enstrom 480 B. [42]

Legislativní přístup zahrnuje především poplatky spojené s přistáním na letišti. Každý uživatel, který přistane na Přerovském letišti je povinen zaplatit poplatek odpovídající váhové kategorie jeho letadla. Přesto, že v Přerově nejsou na rozdíl od letiště Václava Havla v Praze přímo určené hlukové poplatky, je zde přistávací poplatek, který do určité míry funguje jako jakési „odrazení“ případných zájemců o přistání. I takové opatření v konečném důsledku snižuje hlukovou zátěž okolí.



Obrázek 6: Letištní okruh publikovaný pro Přerovské letiště LKPO

Zdroj: [10]

4. NAVRŽENÍ VHODNÉHO POSTUPU MĚŘENÍ

Návrh řešení problému je klíčovým a nezbytným krokem této části diplomové práce. V jednotlivých krocích bude provedena:

Identifikace zkoumaného problému: Cílem práce je navržení vhodné metodiky pro sběr a vizualizaci hlukových dat v libovolné oblasti za využití dostupného SW pro mobilní telefony. Pro potřeby této práce bude využito okolí letiště v Přerově, které je zatíženo všemi základními druhy hlukového zatížení, které je zmíněno v teoretické části této práce.

Definování zkoumaných otázek: Která mobilní aplikace je nejvhodnější pro řešení daného problému? Jaké jsou na ní kladené požadavky? Jak aplikaci nainstalovat, použít a případně pracovat s naměřenými daty? Jaký bude očekávaný výsledek a výstup z naměřených dat?

Ověření správnosti navrženého postupu v praxi: Ověření funkčnosti navrženého způsobu provedením vzorkového měření a případné porovnání s již existujícími daty.

4.1 Stanovení požadavků na aplikaci

Aby bylo možné vybrat vhodný SW v podobě aplikace určené pro chytrý telefon. Je nejprve nutné si stanovit základní požadavky. Vzhledem k možnostem autora práce se v první řadě bude jednat o aplikace určené primárně pro operační systém Android. Jedná se o volně dostupné aplikace, které lze stáhnout ze serveru Google Play. Bude možné využívat vícejazyčné aplikace, nicméně pro zjednodušení výběru se bude jednat o aplikace přeložené do anglického jazyka. V tomto případě se čeština jevila jako příliš omezující faktor. Ačkoliv je předpokládána základní znalost anglického jazyka, aplikace, se kterými jsem pracoval vykazovaly snadnou ovladatelnost a byly jednoduché na pochopení.

Aplikace by měla být schopna provést autokalibraci a zároveň by měla využívat GPS modulu, který je součástí telefonu. GPS souřadnice budou zásadní pro následnou vizualizaci v některém z dostupných GIS.

4.1.1 Vícekriteriální analýza variant

Po provedené rešerši došlo k výběru tří aplikací, které se dostaly do finálního výběru. Jedná se o aplikaci NoiseCapture [30], Ambiciti [37] a Decibel X [31]. V příloze D je možné porovnat grafické rozhraní těchto tří aplikací. Konkrétně se jedná o okno, kde je zobrazená aktuálně měřená hodnota.

Naopak do výběru nebyly zařazeny některé další aplikace, které nesplňovaly vstupní požadavky, nejčastěji se jednalo o chybějící možnost záznamu GPS souřadnic a jejich následného uložení pro další zpracování. Jedná se konkrétně o aplikace Zvukový měřič – Decibel metr (Tools Dev), Sound Meter PRO (Smart tools co.), Decibel Meter (Maximo apps) a Zvukoměr (Splend apps)

Tabulka 3 obsahuje základní porovnání technických parametrů jednotlivých aplikací. Některé z těchto parametrů jsou následně použity v tabulce 4, která představuje samotnou analýzu variant a výběr nejvhodnější aplikace. Informace vycházejí z dostupných zdrojů jak na stránkách vývojáře aplikace, tak i Google Play.

Tabulka 3: Porovnání jednotlivých aplikací z hlediska zadaných parametrů

Kritérium	Noise Capture	Decibel X	Ambiciti
Cena	Zdarma	Zdarma s reklamami	Zdarma s reklamami
Přesnost	Vysoká	Střední	Střední
Kalibrace	Manuální	Manuální	Automatická
Záznam dat	Ano	Ne	Ano
Vizuální zobrazení zvuku	Ano	Ano	Ne
GPS	Ano	Ano	Ano
Kompatibilita	Android	iOS, Android	iOS, Android
Možnosti exportu	CSV	CSV	CSV
Uživatelské rozhraní	Intuitivní	Intuitivní	Intuitivní
Nákupy v aplikaci	Ne	Ano	Ne
Reklamy	Ne	Ano	Ne
Jazyky	8+	13	8

Zdroj: Vlastní zpracování

Ohodnocení pro vícekritériální hodnocení vychází z osobní zkušenosti a expertního odhadu autora založeného na základě používání všech tří aplikací a informací dostupných na stránkách vývojářů [30, 31, 37]. Aplikace byly používány za stejných podmínek s přibližně dvouhodinovou časovou dotací na každou aplikaci, než došlo k postupné preferenci aplikace Noise Capture ve smyslu používání v terénu. Hodnocení se pohybuje na škále od 1 do 10, kdy 1 představuje nejmenší počet bodů a 10 naopak největší. Výsledek hodnocení je součtem těchto bodů a je znázorněn v tabulce 4. Tuto tabulku ještě doplní Saatyho metoda pro vícekritériální hodnocení [38], kdy bude této metodě podrobena šest nejvýznamnějších atributů (příloha C).

- K1 – Cena
- K2 – Využití GPS

- K3 – Možnost kalibrace
- K4 – Technická podpora
- K5 – Kvalita měření
- K6 – Kompatibilita s OS

Tabulka 4: Ohodnocení vybraných atributů aplikací

Kritérium	Noise Capture	Decibel X	Ambiciti
Kvalita měření	8	8	7
Spolehlivost měření	9	8	8
Funkce analýzy dat	9	6	7
Ukládání dat	ANO	ANO	ANO
Možnost kalibrace	9	8	8
Využití GPS	8	7	7
Cena	10	7	5
Použitelnost	Nehodnoceno	Nehodnoceno	Nehodnoceno
Technická podpora	8	7	7
Integrace s jinými aplikacemi	8	6	6
Dostupnost na trhu	7	8	8
Dostupnost manuálů a návodů	8	7	6
Ochrana osobních údajů	8	7	7
Podpora v různých jazycích	6	8	7
CELKEM	98	87	83

Zdroj: Vlastní zpracování

- Kvalita měření – vyhodnocuje, jak přesně a spolehlivě aplikace měří hluk. Kritérium vychází z rozsahu frekvencí uváděných výrobcem.
- Spolehlivost měření – vyhodnocuje, jak často je aplikace spouštěna a zda poskytuje konzistentní výsledky měření. Toto kritérium bylo vyhodnocené způsobem opakovaného měření na jednom místě se stejnými podmínkami měření.
- Funkčnost analýzy dat – vyhodnocuje, jak dobře aplikace poskytuje funkce analýzy dat a zda umožňuje uživatelům lépe porozumět naměřeným datům.
- Ukládání dat – vyhodnocuje, jak aplikace umožňuje ukládat a organizovat naměřená data.
- Možnost kalibrace – vyhodnocuje, zda aplikace umožňuje kalibraci na základě konkrétního hardwaru a umožňuje tak přesnější měření.

- Využití GPS – vyhodnocuje, zda aplikace umožňuje sledování polohy uživatele pomocí GPS a kombinuje tak údaje o hluku s polohou uživatele.
- Použitelnost – hodnotí, jak snadno se aplikace používá a zda poskytuje uživatelsky přívětivé rozhraní. Pro potřeby této práce nebyla snadnost použití a uživatelská přívětivost hodnocena, protože se všemi aplikacemi se mi pracovalo pohodlně a intuitivně.
- Cena – vyhodnocuje, zda je aplikace zdarma nebo placená a zda její cena odpovídá poskytovaným funkcím. Do hodnocení se promítá i možnost prováděných mikrotransakcí a případné obtěžující oznámení.
- Technická podpora – hodnotí, jak kvalitní a snadno dostupná je technická podpora pro aplikaci.
- Integrace s jinými aplikacemi – vyhodnocuje, zda aplikace umožňuje integraci s jinými aplikacemi a poskytuje tak více funkcí.
- Dostupnost na trhu – vyhodnocuje, zda je aplikace dostupná v obchodě s aplikacemi na konkrétní platformě (např. Android nebo iOS).
- Dostupnost manuálů a návodů – vyhodnocuje, zda aplikace poskytuje kvalitní návody a návody pro uživatele, kteří chtějí lépe porozumět funkčnosti aplikace.
- Ochrana osobních údajů – vyhodnocuje, jaká opatření aplikace přijímá k ochraně osobních údajů uživatelů a jestli ukládá data bez vědomí uživatele.
- Podpora více jazyků – hodnotí, jak dobře aplikace podporuje využití více jazyčné verze.

Pro vyhodnocení nejvhodnější aplikace pomocí Saatyho metody bylo vybráno šest podstatných kritérií. Celý výpočet je součástí Přílohy C.

Tabulka 5: Výsledná tabulka Saatyho metody

Váha	0,13	0,27	0,19	0,08	0,29	0,04	Výsledek
Výsledky	K1	K2	K3	K4	K5	K6	
L1	0,71	0,60	0,71	0,60	0,43	0,14	57 %
L2	0,14	0,20	0,14	0,20	0,43	0,43	26 %
L3	0,14	0,20	0,14	0,20	0,14	0,43	17 %

Zdroj: Vlastní zpracování

Na základě vytvořené tabulky a vyhodnocení jednotlivých kritérií a za pomoci Saatyho matice lze konstatovat, že aplikace Noise Capture v dané srovnávací analýze vychází jako nejlepší volba pro měření hluku. Tato aplikace získala celkově nejvyšší počet bodů (98 bodů) díky přesnému měření hluku, schopnosti zaznamenávat GPS souřadnice a vytvářet mapové vizualizace naměřených dat. Dále se ukázala jako uživatelsky přívětivá a nabízí širokou škálu nastavení a možností exportu dat. Decibel X a Ambiciti se umístily na druhém a třetím místě se 87 a 83 body. Přestože tyto aplikace nabízejí také kvalitní měření a některé další užitečné funkce, jako je například možnost kalibrace, nezískaly v dané srovnávací analýze nejvyšší body. Výsledky Saatyho metody potvrdily pořadí preferovaných aplikací, kdy se na prvním místě umístila opět Noise Capture s 57 %.

NoiseCapture je mobilní aplikace pro měření hluku, která byla vyvinuta pro operační systémy Android. Tato aplikace umožňuje uživatelům měřit hladinu hluku a vizualizovat data v reálném čase. Hlavní funkcí aplikace je měření hladiny hluku pomocí mikrofону mobilního telefonu. Aplikace umožňuje uživatelům měřit akustický tlak v decibelech (dB) a také sledovat vývoj hladiny hluku v reálném čase v grafickém rozhraní. Tento režim alarmu umožňuje okamžitě reagovat na nadměrné hlukové podněty, což může být užitečné zejména v prostředí, kde je vyžadována ochrana sluchu, jako jsou hlučné továrny, letiště a podobně. Noise Capture navíc ukládá naměřená data, takže uživatelé mohou později zpětně analyzovat hladiny hluku v konkrétních časech a místech. Tyto informace lze také sdílet s ostatními uživateli aplikace nebo odborníky na hluk. NoiseCapture také nabízí další funkce, jako je geolokační bodování a možnost vytvářet vlastní hlukové mapy.

Technické parametry aplikace:

- Podporované operační systémy: Android
- Požadavky na verzi OS: Android 4.0.3 nebo novější
- Jazyky aplikace: angličtina, francouzština, němčina, španělština, italština, portugálština, polština, čínština, japonština a další
- Rozsah měření: 30–130 dB
- Metoda měření: Měření akustického tlaku pomocí mikrofónu v mobilním zařízení
- Režim upozornění na poplach: Možnost nastavit prahovou úroveň hluku, která při překročení spustí upozornění na poplach
- Hlukové mapy: Uživatelé mohou vytvářet své vlastní hlukové mapy a sdílet je s ostatními uživateli aplikace

- Záznam zvuku: Aplikace umožňuje uživateli nahrávat zvukové záznamy a ukládat je spolu s údaji o hladině hluku
- Geotagging: Aplikace umožňuje uživatelům nastavit polohu měření a přidat k němu další informace, jako jsou fotografie, poznámky atd.
- Sdílení dat: Uživatelé mohou svá měření sdílet s ostatními uživateli aplikací nebo odborníky na hluk
- Ukládání dat: Aplikace ukládá naměřená data, takže uživatelé mohou později zpětně analyzovat hladiny hluku v konkrétních časech a místech [30]

Ambiciti je mobilní aplikace, která měří hladinu hluku v reálném čase. Aplikace umožňuje uživatelům snadno a přesně měřit úroveň pomocí vestavěného mikrofonu v mobilním telefonu. Kromě měření hladiny hluku aplikace poskytuje i další funkce jako záznam měření, grafické zobrazení dat, kalibraci mikrofonu a nastavení prahů hluku. Díky grafickému zobrazení dat mohou uživatelé sledovat a analyzovat změny hladiny hluku v čase. Aplikace také umožňuje uložit naměřená data do souboru pro pozdější analýzu a porovnání.. Aplikace Ambiciti se snadno používá a je přehledná, takže je vhodná pro široké spektrum uživatelů, jako jsou hudebníci, inženýři, stavební dělníci, zdravotníci, ekologové a všichni ostatní, kteří potřebují přesné měření hladiny hluku. Aplikace je dostupná pro operační systémy Android a iOS.

Technické parametry aplikace:

- Rozsah měření: 30 až 130 dB
- Přesnost: $\pm 1,5$ dB
- Formát záznamu dat: CSV
- Možnost kalibrace mikrofonu
- Možnost nastavit prahové úrovně hluku pro výstrahy
- Grafické zobrazení dat v reálném čase
- Možnost zvukového upozornění při dosažení prahové hladiny hluku
- Kompatibilita s mobilními zařízeními s operačními systémy Android iOS [37]

Decibel X je mobilní aplikace pro měření hladiny hluku, která uživatelům umožňuje snadno a přesně měřit hluk v reálném čase pomocí vestavěného mikrofonu mobilního telefonu. Aplikace je k dispozici pro zařízení iOS a Android a nabízí uživatelské rozhraní s moderním designem, které se snadno používá a je intuitivní. Uživatelé mohou monitorovat hladinu hluku v reálném čase a získat přesné měření pomocí vestavěného mikrofonu a algoritmů zpracování

signálu. Kromě měření hladiny hluku nabízí aplikace Decibel X i další funkce jako grafické zobrazení dat, záznam měření, možnost nastavení prahů hluku, kalibraci mikrofonu a mnoho dalšího. Uživatelé mohou také nastavit časový interval pro měření a sledování hladiny hluku v průběhu času.

Technické parametry aplikace:

- Kompatibilita: Aplikace je dostupná pro zařízení iOS (verze 11.0 a novější) a Android (verze 4.0.3 a novější).
- Rozsah měření: Aplikace dokáže měřit hladinu hluku v rozsahu od 0 do 130 decibelů (dB).
- Přesnost: Přesnost měření je udávána +/- 2 dB.
- Doba záznamu: Aplikace dokáže zaznamenat hladinu hluku až 24 hodin.
- Výstupní úroveň: Aplikace může zobrazovat výsledky měření v decibelech (dB) nebo procentech maximálního zatížení (SPL).
- Kalibrace: Aplikace umožňuje kalibraci pomocí interního nebo externího zdroje zvuku.
- Nahrávání: Aplikace umožňuje nahrávat zvukové soubory a exportovat je do různých formátů.
- Další funkce: Aplikace také obsahuje další funkce, jako je historie měření, hodnoty alarmů a grafické zobrazení výsledků. [31]

4.1.2 Spuštění a použití aplikace Noise Capture

Mobilní aplikace Noise Capture umožňuje uživatelům rychle a snadno získat přesné hodnoty hladiny hluku pomocí jejich zařízení a je zejména užitečná pro lidi, kteří pracují v hlučném prostředí, jako je průmysl nebo stavebnictví, a také pro lidi, kteří chtějí měřit hladinu hluku ve svém okolí z osobních důvodů, jako je sledování hladiny hluku ve svém domě, v parku nebo při sportovních akcích.

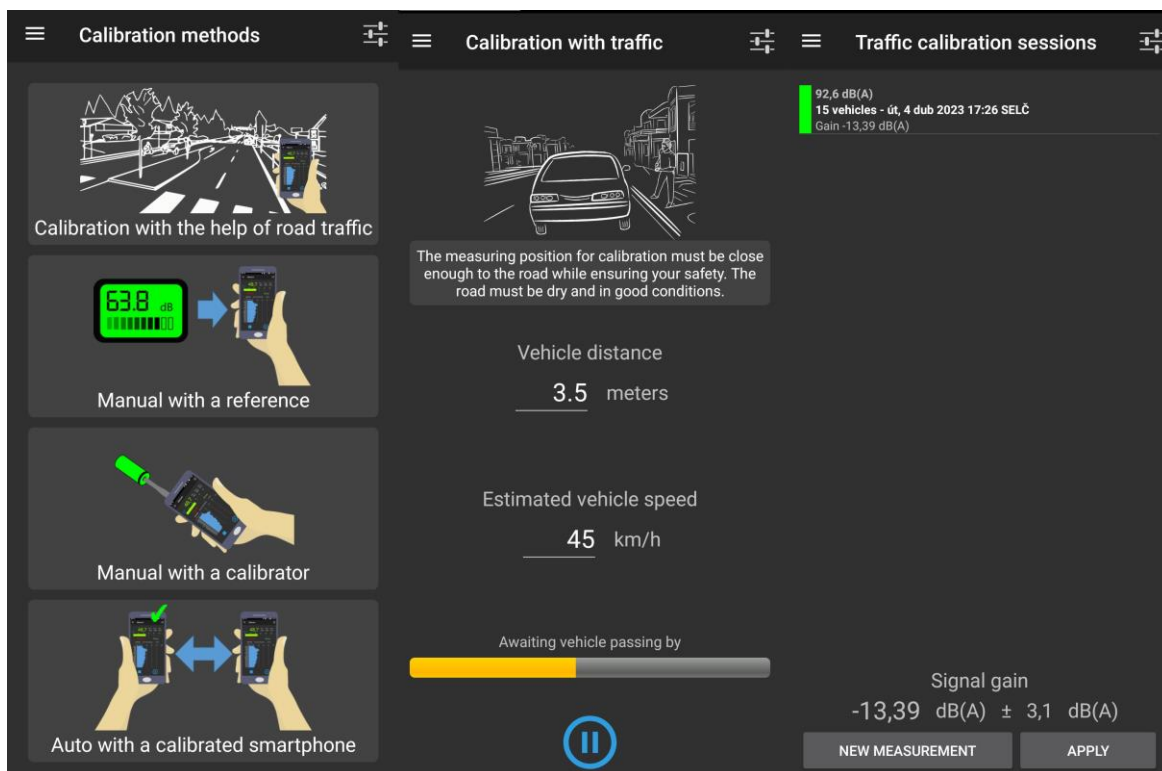
Aplikaci je možné stáhnout přes obchod Google Play a způsob instalace a je totožný, jako u jakékoliv jiné aplikace. Po stažení do zařízení bude aplikace vyžadovat registraci. Dále má aplikace několik požadavků, které musí chytrý telefon splňovat:

- Použití chytrého telefonu vybaveného systémem GPS. Před zahájením záznamu hluku je nutné aktivovat určování polohy pomocí GPS.
- Použití chytrý telefon musí mít operační systém minimálně Android 4.0.3.

Kalibrace: I přesto, že aplikace ke svojí činnosti nutně nevyžaduje provedení kalibrace, je tento úkon určitě vhodný a zajistí přesnější měření. V hlavním menu Aplikace lze zvolit nabídku Calibration a poté budou nabídnuty čtyři způsoby, kterými lze kalibraci provádět.

- **Kalibrace pomocí silničního provozu** je způsob, který je snadno použitelný přímo na místě měření. Tato metoda funguje na principu nízké variability průměrných emisí hluku jednotlivých vozidel. Výhodou tohoto protokolu pro uživatele je, že nevyžaduje specifické vybavení, tj. referenční zdroj zvuku nebo zařízení, ani zvláštní znalosti v oblasti akustiky. Metoda spočívá v měření hladiny hluku několika vozidel při jejich průjezdu v různých měřicích bodech. Naměřené hladiny se porovnávají s hladinami očekávanými numerickým modelem, přičemž rozdíl slouží jako referenční chyba vkládaná do následných měření. Robustnost protokolu byla testována v reálných podmínkách za využití sadou 8 chytrých telefonů. Srovnání s měřičem hladiny zvuku třídy 1 na 6 kontrolních bodech ukazuje průměrnou chybu u všech telefonů $-0,6 \pm 1,2$ dB(A). [35]

Samotná kalibrace probíhá takovým způsobem, že uživatel stojící poblíž silnice nastaví předpokládanou rychlost kolem projíždějících automobilů a jejich vzdálenost a aplikace sama rozpozná a počítá projíždějící automobily. Ve chvíli, kdy provede patnáct měření provede vyhodnocení a zobrazí naměřenou referenční odchylku. Uživatel potvrdí relevantnost tohoto měření a od té doby je tato oprava vkládána do každého následného měření (obrázek 7).



Obrázek 7: Kalibrace pomocí okolního provozu

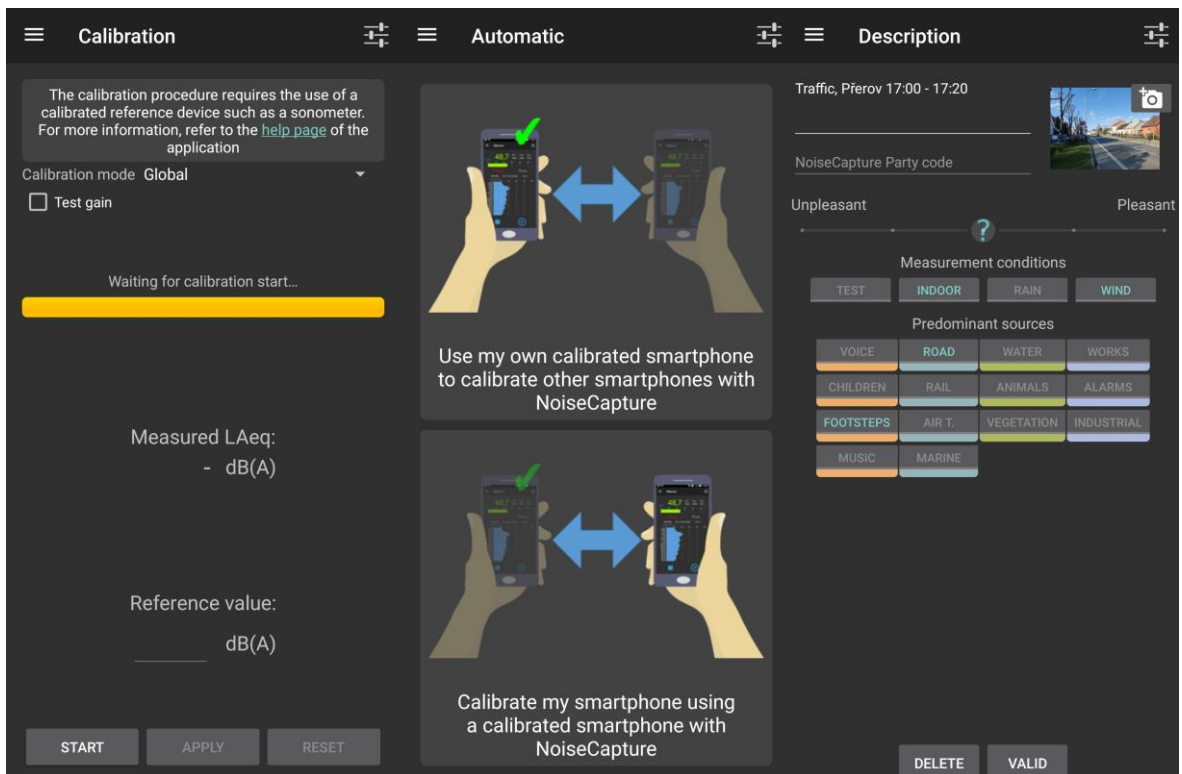
Zdroj: Noise Capture [30]

Pro provedení kalibrace je nutné stát na chodníku a měření musí být provedeno na místě dostatečně blízko vozovky s ohledem na bezpečnost. Silnice musí být relativně rovná a vozidla musí projíždět konstantní rychlostí, bez zrychlování nebo zpomalování a bez front. Je důležité, aby vozovka byla suchá a v dobrém stavu. Pro spuštění kalibrace uživatel stiskne tlačítko "NEW MEASUREMENT" (nové měření). Poté je nutné odhadnout vzdálenost mezi chytrým telefonem a nejbližší silnicí a také průměrnou rychlost vozidel.

Po spuštění měření stačí počkat, až žlutý indikátor průběhu měření dosáhne konce (obrázek 7). Kompletní měření trvá v průměru 3 až 5 minut. V případě velmi zvláštního akustického jevu, jako je například osoba, která si s uživatelem provádějícím měření přijde popovídat nebo velmi hlučné motorky, je možné stisknout tlačítko pauzy a poslední tři sekundy měření se vymažou, což zvyšuje kvalitu kalibrace. Po dokončení měření je možné se vrátit na hlavní obrazovku a zobrazit výsledky měření. Pro optimální kalibraci je nutné provést alespoň tři měření na různých místech. Zobrazená kalibrační hodnota je průměrem odhadovaných hodnot pro každou relaci. Tuto hodnotu lze na telefonu použít pomocí tlačítka „použít“.

- **Kalibrace pomocí referenčního zařízení, nebo kalibrátoru:** V tomto režimu lze vybrat frekvenci, na které uživatel zamýšlí provést kalibraci. Pokud se provádí kalibrace z referenčního zařízení (např. zvukoměru), je možné v seznamu zvolit také možnost "Global" (globální), což umožní provést kalibraci v celém spektru měření. V druhém případě se nesmí opomenout nastavit referenční zařízení tak, aby provádělo měření ve stejném frekvenčním pásmu jako váš smartphone. Poté je možné stisknout tlačítko START. Před zahájením kalibrace má uživatel k dispozici zahřívací čas, který mu může pomoci připravit kalibraci (v případě potřeby se připravit na zapnutí referenčního zařízení). Poté se spustí kalibrační měření po danou dobu. Pro lepší přesnost by měla být doba měření stejná jak pro smartphone, tak pro referenční zařízení (levý screenshot z obrázku 8). Po dokončení měření je potřeba zadat do editačního pole referenční hodnotu (z referenčního zařízení) a stisknout tlačítko APPLY. Pokud uživatel nechce použít korekční faktor, můžete stisknutím tlačítka RESET provést novou kalibraci nebo může činnost kalibrace opustit. [30]
- **Automatická kalibrace z kalibrovaného chytrého telefonu:** Při této metodě může chytrý telefon, který již byl kalibrován pomocí aplikace Noise Capture, kalibrovat jeden nebo více chytrých telefonů. Na straně kalibrovaných mikrofonů je postup plně automatický. Celý systém je řízen referenčním smartphonem (prostřední screenshot z obrázku 8).

Pro kalibraci je nezbytné, aby byl referenční smartphone v režimu vysílač, zatímco kalibrované smartphony musí být v režimu přijímače. Na referenčním smartphonu je možné zvolit zdrojový signál – buď růžový šum, kdy smartphone generuje referenční signál, nebo okolní šum, kdy se pro kalibraci používá okolní šum. V obou případech musí být zdroj zvuku bezdrátově připojen k referenčnímu smartphonu a musí být ve stejné vzdálenosti od všech smartphonů. Po zvolení zdroje signálu stačí stisknout tlačítko START a zbytek postupu je automatický. V případě potřeby lze aktuální kalibraci zrušit pomocí tlačítka CANCEL. [30]

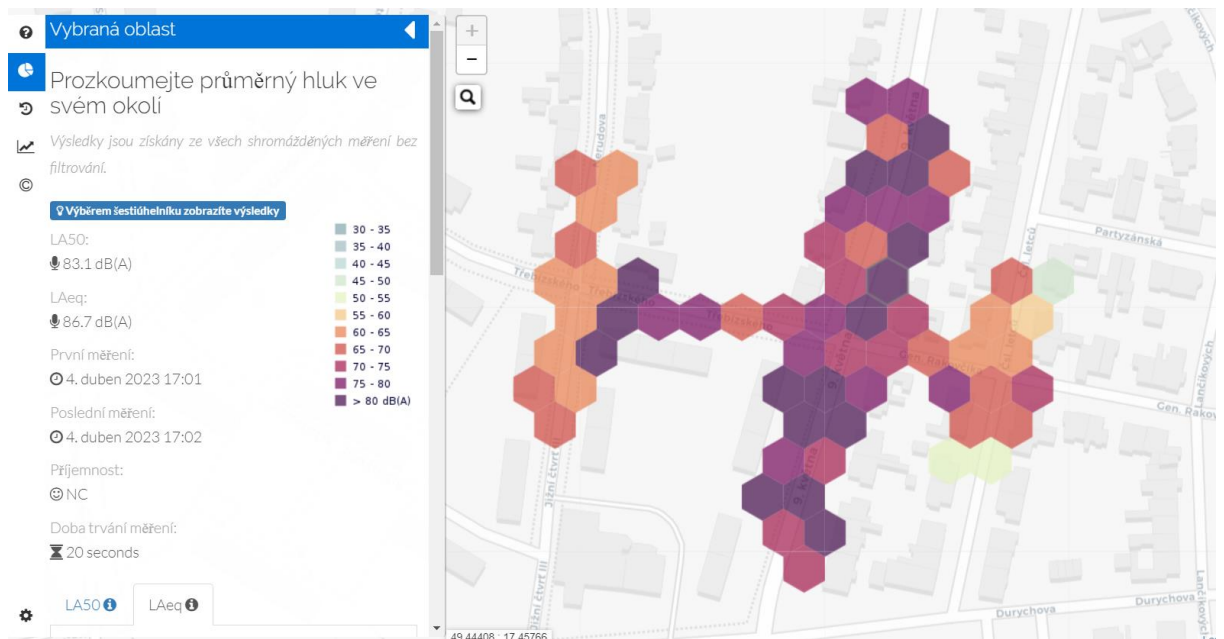


Obrázek 8: Metody autokalibrace a popis měřeného úseku

Zdroj: Noise Capture [30]

Po kalibraci už je možné přejít rovnou k měření, které je plně automatické a graficky velice srozumitelně znázorněné. Měření lze zahájit přepnutím do hlavního menu tlačítkem MEASUREMENT a v tu chvíli aplikace zahájí měření. Dále je pak možné začít zaznamenávat tlačítkem RECORD, které je zastoupené ikonou mikrofону na hlavní obrazovce. V menu je také znázorněné, zda mobilní telefon získává informace o pozici pomocí lokalizace za využití GPS, či nikoliv. Například není žádoucí odesílat informace na server Noise Planet, pokud byl hluk měřen v místnosti, nebo tunelu.

Přesná hodnota měření je zobrazena na mapě v mobilním telefonu, kterou je možné sledovat během provádění měření. Na portál Noise Planet se tato data nahrávají automaticky (pokud je tato varianta zvolena v nastavení), ale už zobrazuje pouze průměrné hodnoty na výrazně větší oblast. Tyto oblasti jsou v mapě na serveru Noise Planet charakterizovány hexagony a po označení těchto bodů se na levé straně obrazovky zobrazí podrobnosti s naměřenými hodnotami (obrázek 9).



Obrázek 9: Zobrazení naměřených hodnot v GIS Noise Planet

Zdroj: [32]

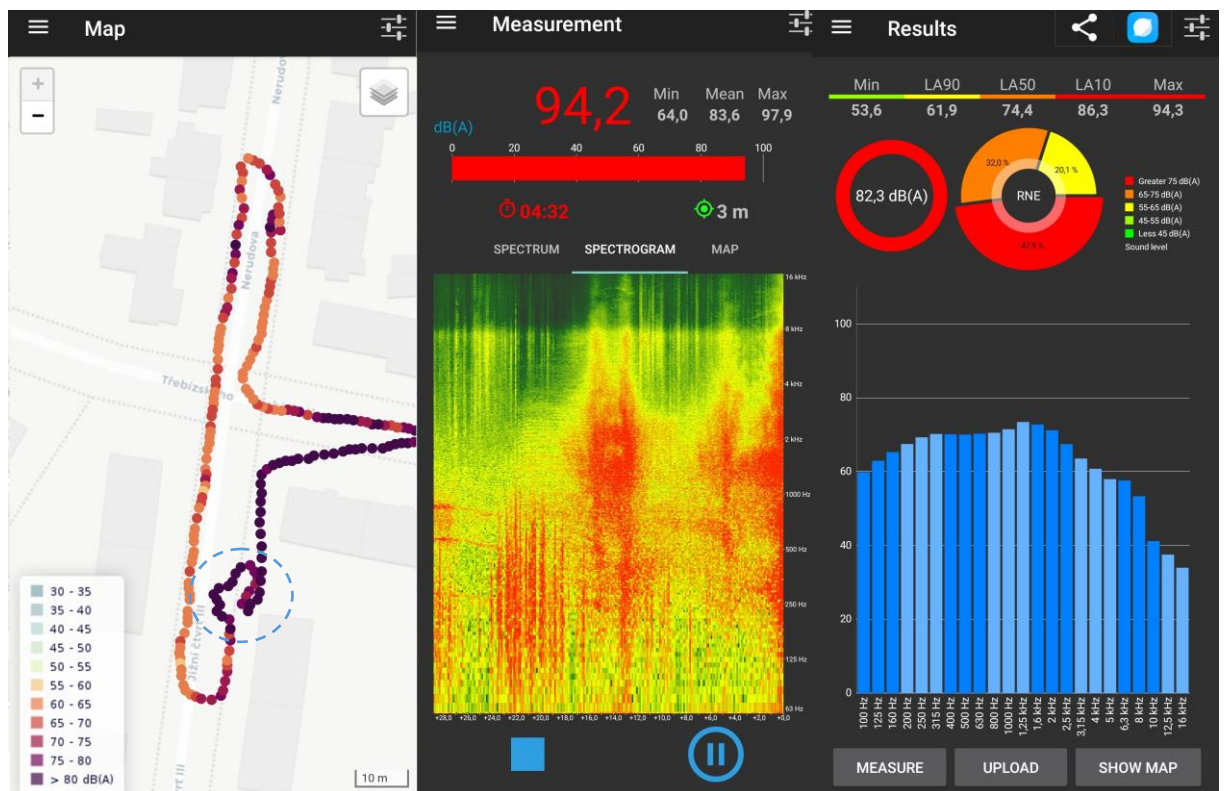
Pro porovnání je přiložen snímek obrazovky mobilního telefonu, který vznikl přímo ve chvíli měření. Obsahuje podrobnější informace o pozici měření a další analýzu měřených zvuků. Celkem je možné přepnout v aplikaci mezi třemi režimy zobrazení.

V levé části obrázku 10 na záložce MAP je detailní pohled na mapu, kde jsou v reálném čase zobrazovány hodnoty měření. Shodou okolností přes sledovanou oblast přeletěl v době měření vrtulník z místního letiště, což je patrné na v zakroužkované oblasti ve spodní části mapy. Na této pozici probíhalo měření až do chvíle přeletu vrtulníku téměř přesně nad měřicí stanicí. Po přeletu vrtulníku byl opět obnoven pohyb měřicí stanice směrem na sever podle předem definované trasy a i přesto, že se vrtulník se poměrně rychle vzdaloval, je z měření patrné, že hluk se v této oblasti změnil a z průměrných 55–65 dB se skokově zvýšil na hodnotu přesahující 80 dB. Na obrázku 10 je poté patrné, že na ulici Třebízského v oblasti blíže k 9. května (během návratu k hlavní křižovatce) došlo k mírnému poklesu hluku. To bylo způsobeno tím, že vrtulník byl již příliš daleko aby mohl ovlivnit měření a zároveň jsem se již přiblížil k hlavní silnici 9. května a tam se začal opět prosazovat hluk způsobený místní dopravou.

Ve střední části obrázku 10 je znázorněna záložka SPECTROGRAM, která zobrazuje frekvenční spektra zvukového signálu jako funkci času. Zvukový signál lze analyzovat pomocí Fourierovy transformace, která umožňuje převedení signálu z časové oblasti do

frekvenční oblasti. Tento proces rozkládá zvukový signál na jednotlivé složky různých frekvencí, které se liší amplitudou a fází.

Spektrogram se skládá z mnoha vertikálních sloupců, které představují jednotlivé frekvence v audio signálu. Tyto sloupce jsou vykresleny vedle sebe v čase, aby se vytvořil dvourozměrný obraz. Na vodorovné ose je znázorněn časový průběh signálu, na svislé ose kmitočet. Každý sloupec má určitou šířku, která odpovídá konkrétní frekvenci. Barvy nebo intenzita v každém sloupci pak ukazují amplitudu signálu pro danou frekvenci v daném okamžiku.



Obrázek 10: Jednotlivé režimy aplikace v průběhu měření

Zdroj: Vlastní zpracování

Spektrogram umožňuje identifikovat frekvenční charakteristiky zvukového signálu v průběhu času. To znamená, že můžeme pozorovat, jak se v čase mění složení frekvencí v signálu. Při měření hluku lze pomocí spektrogramu identifikovat různé zdroje hluku a určit jejich potenciální dopad na okolní prostředí. Spektrogram se také často používá k analýze akustických vlastností různých prostorů. Pomocí spektrogramu můžeme například zjistit, jak se zvuk v daném prostoru šíří a jaké jsou vlastnosti prostoru, jako je doba odezvy a útlum zvuku. [33]

Zároveň je na této záložce zobrazena aktuální hodnota okolního hluku a k tomu příslušící průměr a minimální a maximální hodnoty, ze kterých je tento průměr skládán.

Záložka SPEKTRUM zobrazuje souhrnné statistiky naměřených hodnot. V horní části je pomocí koláčových grafů zobrazen poměr zastoupených rozmezí hlasitosti a ve spodní části pak sloupcový graf který zobrazuje kmitočtovou charakteristiku.

Další položky v hlavním menu (HISTORY) umožňují vrátit se k již neměřeným úsekům a případně upravit dříve nastavené atributy. Právý screenshot z obrázku 8 zobrazuje právě takové menu. Pro větší přehlednost je možné měřený úsek doplnit fotografií a dále označit některé atributy, které se do snímání zvuku promítaly. Například je možné označit, že hluk byl měřen venku, při dešti, za probíhající dopravy jak pozemní, letecké tak i železniční. Tyto informace budou nahrány na GIS Noise Planet v podobě „TAGů“ přidělených k Vašemu měření.

4.2 Návrh vhodného postupu měření

Navrhovaná časová osa závisí na konkrétních cílech měření, které se mohou lišit v závislosti na tom, kdo a pro jaké účely měření provádí. Pro získání relevantního množství dat bude, vhodné dodržet následující postup:

1. Určit místo, kde bude měření prováděno
 - Například rušné náměstí, rušná křižovatka, oblast kolem velkého nákupního centra nebo průmyslový areál.
2. Nachystat si mobilní telefon s GPS a aplikací pro měření hluku.
 - Existuje mnoho použitelných aplikací pro různé platformy (iOS, Android, Windows), jako je Sound Meter nebo Decibel X. Pro účely této práce byla jako nejvhodnější vybrána aplikace Noise Capture
 - Ujistit se, že je mobilní telefon plně nabitý a paměť má dostatečnou kapacitu pro uložení dat.
3. Začít měřit hlukovou zátěž na určeném místě a zaznamenávat hodnoty v pravidelných intervalech.
 - Provést měření po dobu alespoň 30 minut až 1 hodinu, z důvodu nasbírání dostatečně velkého množství dat.
 - Opakovat měření na různých místech v oblasti pro získání průměrné hodnoty hlukové zátěže v oblasti.
4. Analyzovat data a vypočítat střední hodnotu, maximální hodnotu, minimální hodnotu.
 - Zkontrolovat, zda výsledky splňují limity stanovené místními hlukovými předpisy.

- Zpracovat a vyhodnotit data a připravit zprávu o měření, která obsahuje výsledky a interpretaci výsledků.

Protože se expozice hluku může lišit v závislosti na denní době a dni v týdnu, doporučuje se provádět měření v různé dny a v různé hodiny, což umožní získat komplexní a relevantní údaje. Na následujících stránkách budou podrobněji rozebrány jednotlivé aktivity. Na diagramu je zobrazena posloupnost jednotlivých aktivit v rámci měření.

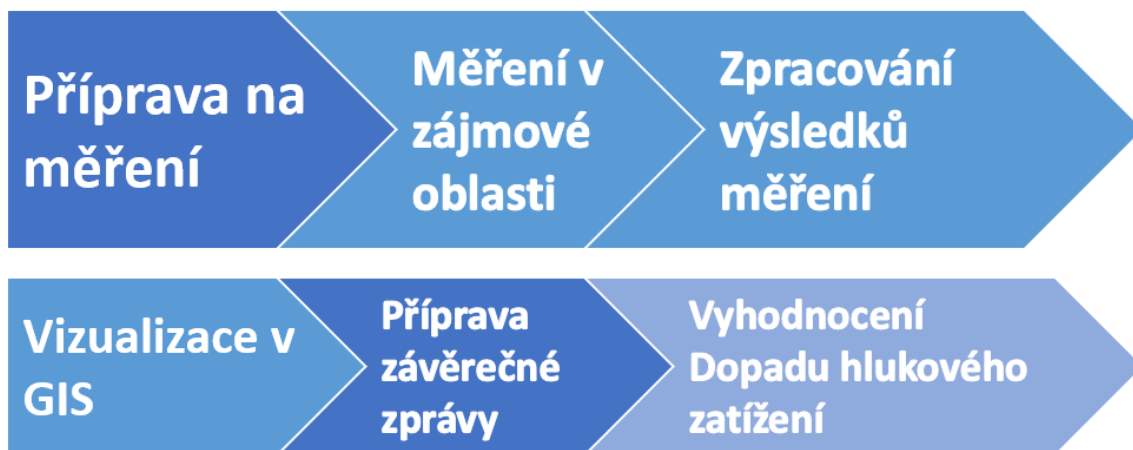


Diagram navrhovaného postupu měření

Zdroj: Vlastní zpracování

4.2.1 Příprava na měření

Příprava zahrnuje výběr konkrétních oblastí, kde bude měření hlukové zátěže prováděno pomocí mobilního telefonu. Při výběru těchto oblastí je důležité vzít v úvahu různé faktory, které mohou ovlivnit množství hluku v dané lokalitě. Pro účely této DP byly vybrány lokality ve městě Přerov a jeho přilehlého okolí. Samozřejmě je naprosto validní provádět měření v lokalitách, které vyhovují účelům měření, přestože nejsou vystaveny výraznějšímu hlukovému zatížení.

Obecně se jedná o oblasti, kde je vysoká koncentrace dopravy, což může být například křižovatka silnic, dopravní tepna nebo silnice vedoucí kolem budovy. Takové oblasti jsou typicky hlučné a poskytují dobré podmínky pro měření hlukové zátěže.

4.2.2 Postup měření

Způsob měření bude obsahovat konkrétní postupy a úkony při vlastním měření hlukové zátěže v hlukově zatíženém prostoru pomocí mobilního telefonu. V této fázi je důležité zajistit co největší spolehlivost a přesnost dat a minimalizovat možné chyby měření.

Konkrétní hodiny měření by se měly co nejvíce blížit skutečnému provozu v dané oblasti a zahrnovat různé denní a večerní doby, včetně víkendů. Měření má provádět ve všední dny v ranní a odpolední špičce, kdy je provoz na vhodných komunikacích a v průmyslových zónách největší. Je také nutné provádět měření v noci, kdy může docházet k rušení z jiných zdrojů, jako jsou noční kluby a bary. Měření se doporučuje provádět i o víkendech, kdy může být v dané oblasti menší provoz. Samotné měření by mělo být provedeno ve stejném časovém intervalu v každém ze zvolených měřicích bodů. Pokud se měření provádějí v různých časech, je nutné zajistit, aby každé měření bylo prováděno za konzistentních podmínek.

Zde je několik zásad, které by měly být splněny pro konzistentní přístupy k měření:

1. Pro všechna měření by měl být použit stejný typ mobilního telefonu.
2. Mobilní telefon by měl být umístěn ve stejné vzdálenosti od místa měření.
3. Měření by měla být prováděna vždy ve stejnou denní dobu, aby se minimalizovaly vlivy sezónních a denních výkyvů hluku.
4. Měření by mělo být prováděno za podobných meteorologických podmínek, jako je teplota, vlhkost a rychlost větru.
5. Mobilní telefon by měl být při každém měření umístěn na stejném místě, aby bylo zajištěna konzistentnost v umístění telefonu.
6. Pro všechna měření by měla být použita stejná metoda analýzy dat, aby byla zajištěna konzistence výsledků zpracování.
7. Měření by měla být prováděna na stejném místě po dobu alespoň několika dní, aby byla zajištěna konzistentnost v průběhu času.
8. Za provádění všech měření by měla být odpovědná stejná osoba, aby se minimalizovaly vlivy subjektivity různých měřičů.
9. Všechny přístroje a nástroje používané pro měření by měly být kalibrovány a udržovány za stejných podmínek, aby se minimalizovaly účinky technických chyb.
10. Použití stejného typu mikrofону pro každé měření pro zajištění konzistence přenosu audio signálů.
11. Použití stejného typu paměťové karty k ukládání dat z každého měření, aby byla zajištěna konzistence při ukládání a zpracování dat.
12. Ujistit že se mobilní telefon během záznamu zvuku nepřepne do úsporného režimu, aby byla zajištěna detekce všech zvukových signálů.

13. Při měření uvnitř budov, by se měla měření provádět, pokud možno na stejném místě v místnosti, aby se minimalizovaly účinky akustických vlastností různých částí místnosti.
14. Provádět měření v různých vzdálenostech od zdrojů hluku, pro získání více informací o hlukové zátěži v různých oblastech.
15. Ujistit se, že mobilní telefon není příliš blízko jiných zdrojů rušení, jako jsou jiné mobilní telefony nebo bezdrátové směrovače, aby se minimalizovaly účinky elektromagnetického rušení.
16. Pro každé měření použijte stejnou aplikaci pro měření hluku, abyste zajistili konzistentnost při používání a interpretaci výsledků.
17. Ujistit se, že všechny přístroje používané k měření jsou v dobrém technickém stavu a přístroje poskytují přesné výsledky.
18. Zaznamenávat všechny potřebné informace o každém měření, jako je datum, čas, místo, meteorologické podmínky a další, aby se minimalizovali chyby při záznamu dat.
19. Při zpracování výsledků měření se používají standardizované metody a postupy, aby byla zajištěna jednotnost interpretace výsledků.

Tyto zásady zůstávají platné bez ohledu na to, jakou konkrétní aplikaci se každý uživatel rozhodně použít. Rozdíl může nastat v případě, že se uživatel rozhodne, nebo nemá příležitost využít buď aplikace, která zároveň zaznamenává GPS souřadnice, nebo tuto funkci nepodporuje jeho mobilní telefon. V tomto případě by bylo potřeba do měření zahrnout ještě způsob, jakým by bylo vhodné konkrétní pozici určit a do GIS jí poté vložit manuálně.

Tabulka 6 znázorňuje příklad časového harmonogramu měření hlukové zátěže ve sledované oblasti. Tento harmonogram vychází z běžné zkušenosti toho, v jakých časových intervalech vzniká nejvíce hluku. V případě pracovních dnů jsou to faktory převážně spojené s dopravou do zaměstnání a o víkendu se jedná spíše o aktivity spojené s trávením volného času.

Tabulka 6: Časové úseky vhodné pro měření hlukové zátěže

Den v týdnu	Ranní špička	Polední špička	Odpolední špička	Večer
Pondělí	7:00 – 9:00	11:30 – 13:30	16:00 – 18:00	21:00 – 22:00
Úterý	7:00 – 9:00	11:30 – 13:30	16:00 – 18:00	21:00 – 22:00

Středa	7:00 – 9:00	11:30 – 13:30	16:00 – 18:00	21:00 – 22:00
Čtvrtek	7:00 – 9:00	11:30 – 13:30	16:00 – 18:00	21:00 – 22:00
Pátek	7:00 – 9:00	11:30 – 13:30	16:00 – 18:00	21:00 – 23:00
Sobota	10:00 – 12:00		13:00 – 15:00	21:00 – 23:00
Neděle	10:00 – 12:00		13:00 – 15:00	21:00 – 23:00

Zdroj: Vlastní zpracování

4.2.3 Zpracování výsledků měření

Prvním krokem je shromáždit všechna data získaná z měření. Data by měla být uložena v souboru s příslušným označením pro každý měřený bod. Data by navíc měla být řádně popsána, aby bylo jasné, jaký typ dat byl shromážděn a kde byl měřen.

Poté by měla být provedena základní analýza dat. Měli bychom se zaměřit na střední hodnoty, rozptyly a korelace mezi naměřenými hodnotami. Základními statistickými metodami lze získat základní informace o hlukové zátěži v měřených bodech.

Dalším krokem je analýza získaných dat v kontextu stanovených limitů a směrnic. Limit pro hlukovou zátěž může nabídnout v závislosti na místních předpisech, jako jsou místní zákony a směrnice EU. Naměřená data by měla být porovnána s těmito limity, aby se zjistilo, zda jsou naměřené hodnoty v souladu s platnými předpisy.

Následně by měla být provedena analýza trendů v datech. Trendy by měly být sledovány v čase v různých bodech, abychom získali co nejpřesnější představu o vývoji hlukové zátěže v území. Je třeba vzít v úvahu roční období a události, které mohou hladinu hluku ovlivnit, jako jsou stavební práce, koncerty, sportovní akce nebo místní oslavy.

Na konci by měly být výsledky interpretovány. Interpretace by měla poskytnout komplexní pohled na hlukovou zátěž v měřených bodech. Zahrnuje identifikaci nejhluchnějších oblastí, analýzu trendů v čase a srovnání s platnými předpisy.

Je důležité zvážit, jak lze získané výsledky využít k tomu, aby pomohly místní samosprávě snížit hlukovou zátěž a zlepšit tak kvalitu života v oblasti.

4.2.4 Příprava závěrečné zprávy

Po provedení analýzy dat by měla být připravena závěrečná zpráva obsahující výsledky měření a interpretaci dat. Tento krok je samozřejmě relevantní pouze v případě že je taková

zpráva vyžadována. Tento obecný způsob je použitelný jak pro jednotlivce, tak v případě, že o provedení měření projeví zájem třetí strana.

Zpráva by měla být napsána jasným a uchopitelným jazykem tak, aby byla snadno srozumitelná všem zainteresovaným stranám. Závěrečná zpráva by měla obsahovat všechny naměřené hodnoty, metody měření, použitou metodiku a přístroje. Výsledky by měly být prezentovány pomocí grafů, tabulek a přehledných vizualizací. Součástí zprávy by měla být i diskuse a interpretace výsledků v kontextu stanovených limitů a směrnic, které umožní posouzení úrovně hlukové zátěže v území. Dále by zpráva měla obsahovat doporučení možných opatření ke snížení hlukové zátěže v oblasti. Doporučení by měla vycházet z interpretace výsledků a měla by být konkrétní a praktická, aby byla snadno aplikovatelná v praxi.

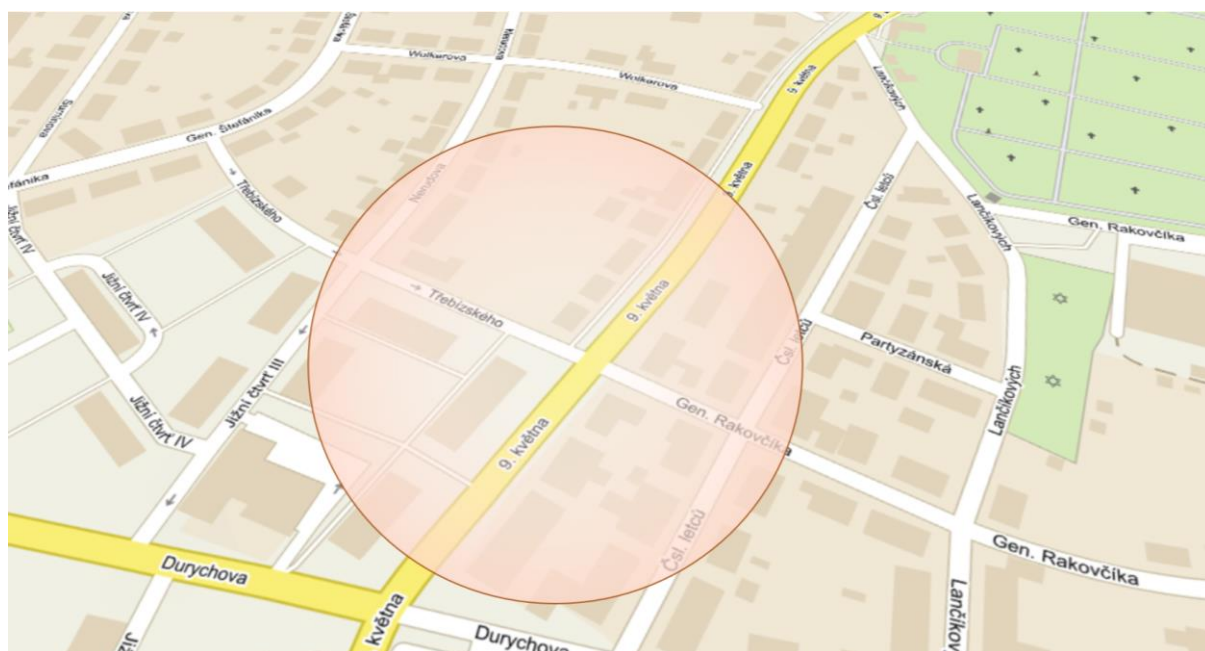
Zpráva by měla také obsahovat popis omezení měření, jako jsou technické problémy nebo omezení časových a finančních zdrojů. Tyto informace jsou důležité pro posouzení přesnosti a spolehlivosti výsledků měření. Zpráva měla být napsána tak, aby byla srozumitelná pro širokou veřejnost, ale zároveň dostatečně podrobná pro odborníky v oboru. Zpráva by měla být předložena v elektronické podobě s uvedením zdrojů a použité literatury.

5. SBĚR A VIZUALIZACE DAT

V První etapě bylo měření prováděno v oblasti, která je již hlukově zmapovaná oficiálními způsoby a příslušnými orgány. Jedná se o oblasti dobře patrné na obrázku 3. V těchto lokalitách proběhlo kontrolní měření v určenou dobu a výsledek byl porovnán s hlukovou mapou, která vznikla metodou výpočtu na základě modelů dle naměřené intenzity dopravy. Dopravní situace v době měření zůstává v podstatě stejná jako v době, kdy byla vytvořena tato hluková mapa. Do budoucna se počítá s obchvatem města a je zde předpoklad, že dojde k utlumení dopravy, zejména té tranzitní.

5.1 Oblast provedení srovnávacího měření

První místo, kde byl prováděn kontrolní sběr se nachází na křížení ulice 9. května a Třebízského (obrázek 11). Trasa byla zvolena takovým způsobem, aby korelovala právě s měřením z roku 2017 a zároveň se nacházela v zastavěné oblasti tvořené převážně obytnými domy.



Obrázek 11: Prostor měření referenční oblasti

Zdroj: GoogleEarth

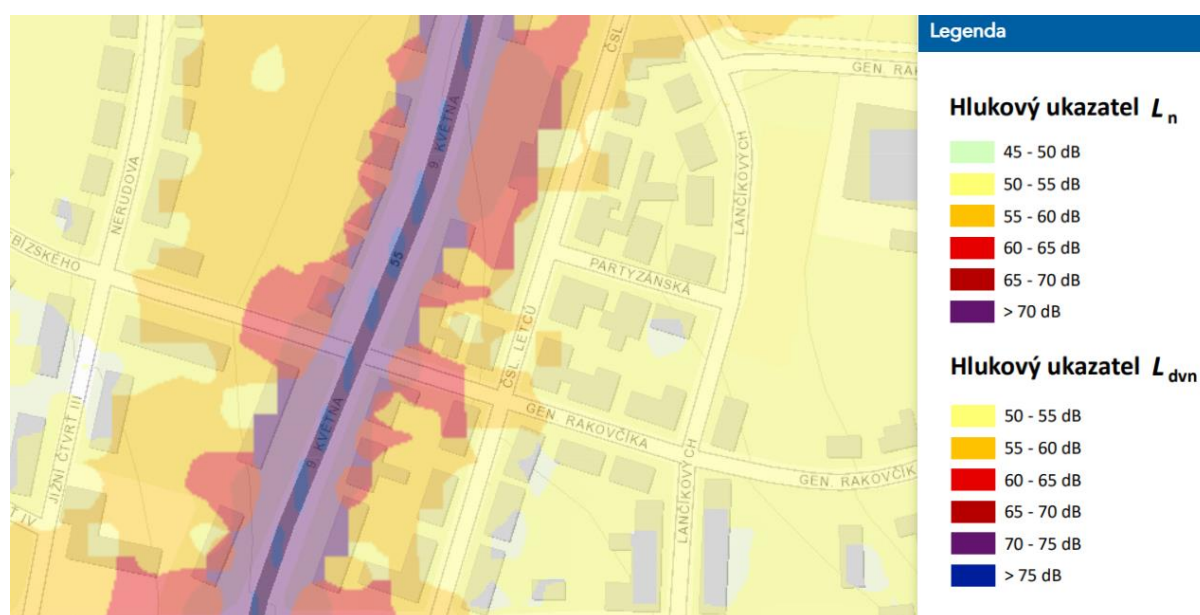
Obrázek 12 představuje hlukovou mapu z roku 2017. Hluková mapa byla vytvořena pomocí sofistikované simulace, která zohledňuje všechny relevantní faktory ovlivňující hladinu hluku v dané oblasti. Na obrázku 10 jsou zobrazeny různé barevné zóny, které představují různé úrovně hluku v daném prostoru. Tyto úrovně se pohybují od nízkých po extrémně vysoké, jak

lze snadno vyčíst z připojené legendy. Zóny jsou rozděleny podle frekvenčních pásem, které umožňují identifikaci zdrojů hluku. Na základě této hlukové mapy lze snadno určit oblasti ve městě, které jsou nejvíce ohroženy nadměrně vysokou hladinou hluku a následně zvážit případná opatření ke snížení této hodnoty. Mezi taková opatření může patřit například optimalizace plynulosti dopravy, zlepšení izolace budov, použití protihlukových stěn a další.

Pro ověření přesnosti měření byl výsledek praktického měření porovnán s touto hlukovou mapou. Hluk byl měřen v takové šířce kolem hlavní silnice 9. května, aby byla zaručena naměření a následné srovnání většího rozmezí hodnot na stupnici hlukové zátěže.

Porovnání hlukové mapy vytvořené simulací a měření skutečné hladiny hluku pomocí mobilního telefonu poskytuje zajímavé informace o přesnosti použitého modelu. Hluková mapa vytvořená simulací zahrnuje odhady hladin hluku založené na různých faktorech, jako jsou typy dopravy, hustota obyvatelstva, topografie a další, zatímco měření skutečné úrovně hluku za pomoci mobilního telefonu se zaměřilo na konkrétní místa ve městě a měří skutečné hladiny hluku v reálném čase.

Výsledky srovnání poukazují na nesrovnalosti, které vznikají při použití různých metod měření, zda se odhady simulace a skutečné hladiny hluku shodují, nebo zda se výrazně liší. Do měření se také promítá denní doba, nebo konkrétní den v týdnu, kdy měření na místě probíhá, protože simulace pouze odhaduje průměrnou hladinu hluku na základě předdefinovaných parametrů a tyto skutečnosti do výpočtu nepromítá.



Obrázek 12: Hluková mapa vytvořena za využití modelování a simulace (2017)

Zdroj: [13]

5.2 Srovnávací měření a porovnání s hlukovou mapou

Pro měření byla zvolena odpolední špička mezi 16:00 – 18:00 hodinou, kdy je předpoklad největší hlukové zátěže. Konkrétní měření s aplikací probíhalo v 17:00 a během celého dvaceti minutového procesu provoz na hlavní silnici v podstatě neustal.

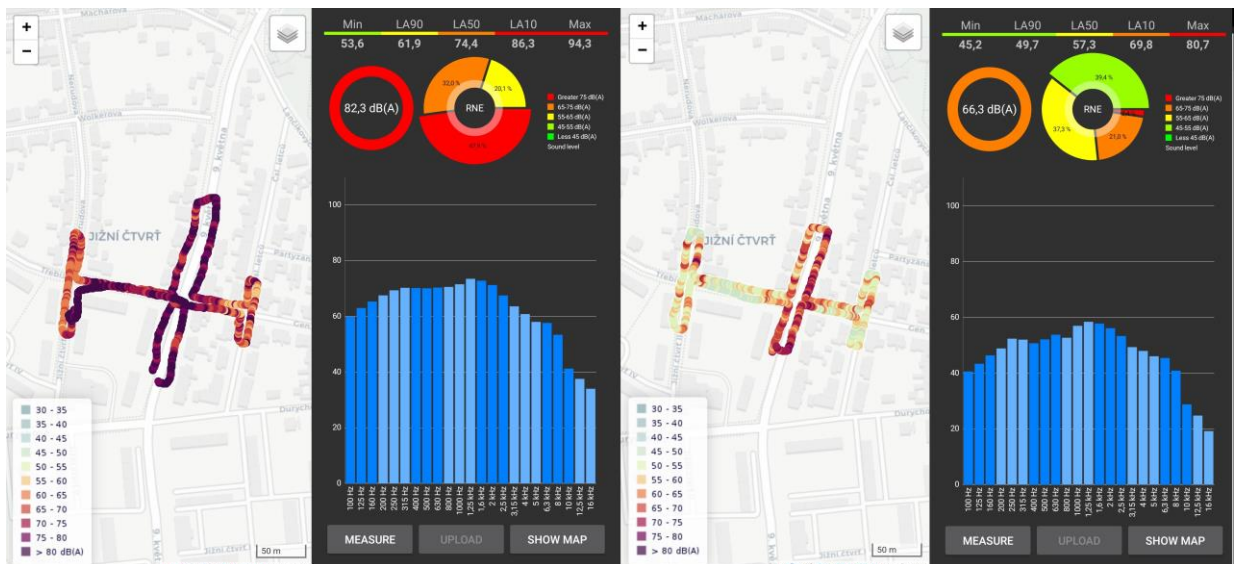
Bylo vhodné zjistit, jaké hodnoty aplikace naměří v nastavení, kdy nebyla kalibrována na provoz a poté je porovnat s realitou, kterou pro potřeby této práce představuje měření vytvořené pomocí simulace v roce 2017. Poté proběhla kalibrace a měření bylo opakováno ve stejném rozsahu jako v předchozím případě. Pokud by hodnoty odpovídaly modelu, bylo by možné měření aplikace považovat za relativně přesné.

Již na během probíhajícího měření bylo zřejmé, že naměřené hodnoty v případě nekalibrovaného měření nebudou odpovídat vypočítanému modelu. Na obrázku 12 jsou znázorněné zóny s největším zatížením v podstatě jen přímo na cestě, jako by se hluk nešířil za hranici silnice. Maximálně zasahuje mírně do ulice už v podstatě snížený na úroveň 60–65 dB. Takto nízké hodnoty hluk ze silnice nedosáhl téměř ani na vedlejší ulici.

Na obrázku 13 jsou snímky obrazovky z aplikace, které představují porovnání výsledků při měření před kalibrací a po kalibraci. Měření bylo stejným způsobem provedeno i následující pracovní den ve stejnou dobu a hodnoty byly již podobné těm, které vykresluje model z roku 2017. Před kalibrací byly ve stejném místě hodnoty vyšší o hodnotu $+13,39 \text{ dB(A)} \pm 3,1 \text{ dB(A)}$. Jedná se o hodnotu, která byla vypočítána během kalibrace a následně zanesena (odečtena) v dalším kole měření. Kalibrace je tedy naprosto nezbytným krokem v procesu měření.

Po kalibraci neměřené hodnoty klesly o tuto hodnotu a modelu se díky tomu více přiblížily. Pro srovnání bylo vybráno několik bodů v měřené oblasti (obrázek 14) a pro názornost jsou naměřené hodnoty z těchto bodů zanesené do tabulky 6, kde lze snadno pomocí barevného kódu porovnat nesrovnalosti obou měření. Patrné jsou rozdíly mezi hodnotami skutečně naměřenými a těmi, které byly vypočítané pomocí modelování v roce 2017.

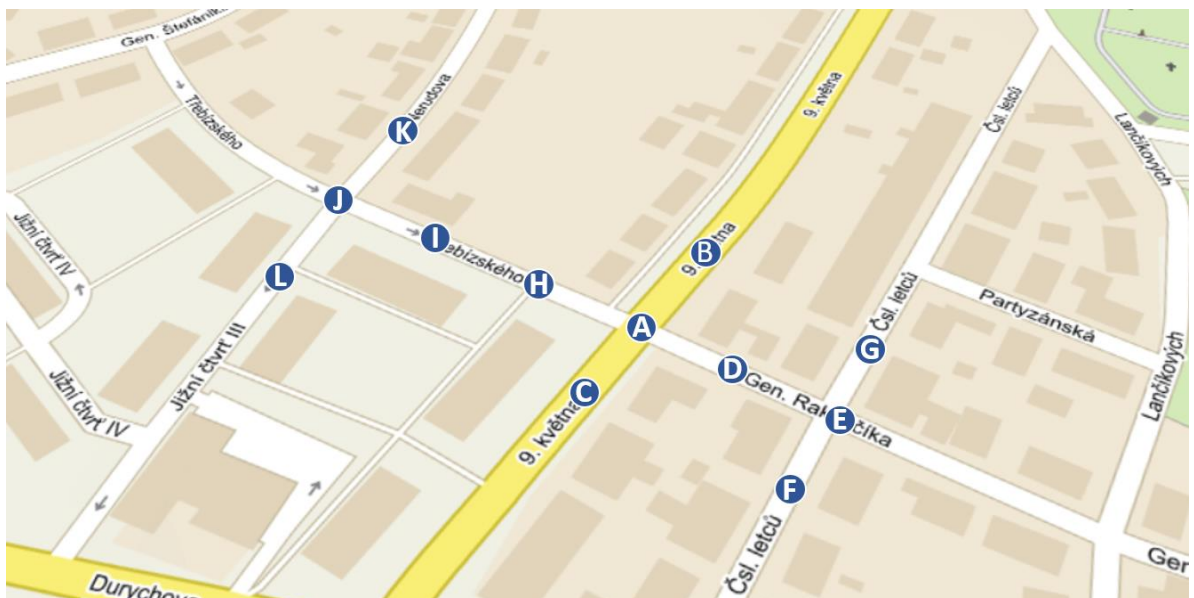
Základní analýza dat tedy implikuje, že za předpokladu správné činnosti kalibrace aplikace a její poměrně spolehlivé schopnosti měřit hluk, se naměřené hodnoty příliš neliší od hodnot vypočítaných pomocí komerčního software a použitých modelů. Tím že do celého procesu měření vstoupil i vrtulník, který je znázorněn v příloze (jeho hlukové charakteristiky byly naměřeny v bezprostřední blízkosti pomocí stejné aplikace) se dá odvodit, že šíření hluku ulicemi města je komplikovanější a intenzivnější, než naznačují tyto modely.



Obrázek 13: Porovnání měření bez kalibrace a s kalibrací

Zdroj: Vlastní zpracování

Pro další měření shledávám tento postup a aplikaci jako dostatečně spolehlivý prostředek, který je schopen poskytnout základní představu o hlukových charakteristikách zkoumané oblasti. Jako argument, který tuto tezi podporuje lze použít i schopnost aplikace uskutečnit autokalibraci za využití hned několika metod, které byly popsány v předešlé kapitole. Po kalibraci byly naměřené hodnoty téměř přesně shodné s těmi vypočítanými pomocí modelů a simulace v roce 2017.



Obrázek 14: Vybrané body pro porovnání měření a simulace

Zdroj: Vlastní zpracování

Srovnání povolených hlukových limitů (Tabulka 1) s naměřenými hodnotami ukazuje, že v některých místech měření dochází k překročení těchto limitů. Povolených 55 dB pro hluk ze silniční dopravy mezi 6:00 – 22:00 hodinou není dodržen ani podle vcelku benevolentního modelu a hlukové mapy z roku 2017. Pokud bychom silnici v ulici 9. května označili jako hlavní silnici, kde jsou povolené limity dokonce 60 dB, ani zde by nenastala úřady schválená varianta.

V případě měření na místě by byly tyto limity překročené dokonce i v postranních ulicích, jak naznačují body E-L. Vzhledem k tomu, že referenční ulice není ani páteří ulicí Přerova, jsou tyto hodnoty poměrně alarmující. Situace se pravděpodobně výrazně zlepší v době, kdy bude dokončena dálnice a obchvat kolem města. Vzhledem k faktu, že plán dokončení tohoto komunikačního kanálu předpokládá otevření obchvatu kolem roku 2025, neočekává se do té doby ani zlepšení situace ani realizace náhradního prozatímního řešení.

Aplikace Noise Capture se stala velmi populární právě pro svou schopnost sbírat a analyzovat data a zároveň je nahrávat na server noise-planet.org v reálném čase. Tato schopnost je užitečná zejména pro urbanisty, architekty, výzkumníky a další odborníky zabývající se urbanismem a ochranou životního prostředí. Příkladem může být situace, kdy urbanista potřebuje pro svůj projekt aktuální data z místa, které pro něj není z nějakého důvodu dostupné. Takové měření pro něj může udělat některý ze členů komunity Noise-Planet a v reálném čase je sdílet na internetu přímo zanesené do příslušného GIS. V případě Noise Capture se jedná o server Noise-Planet. Není tedy potřeba data z aplikace nějakým způsobem nahrávat, upravovat a vkládat do jiných GIS systémů. Nicméně i tuto variantu aplikace samozřejmě nabízí.

Tabulka 7: Porovnání naměřených a vypočítaných hodnot (barevná škála Noise Capture)

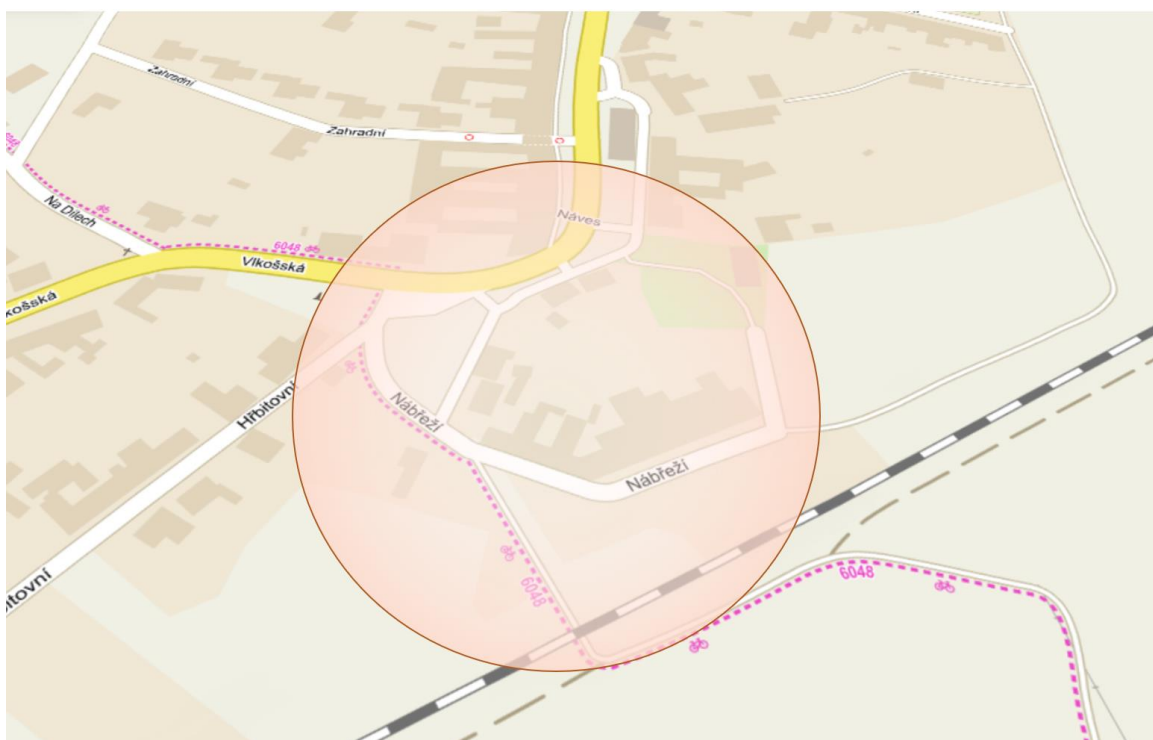
Bod na mapě	Hluková mapa 2017	Barevný kód	Noise Capture	Barevný kód	Noise Capture (kalibrace)	Barevný kód
A	70–75 dB		> 80 dB		70–75 dB	
B	70–75 dB		> 80 dB		70–75 dB	
C	70–75 dB		> 80 dB		70–75 dB	
D	60–70 dB		70–75 dB		60–70 dB	
E	55–60 dB		70–75 dB		55–60 dB	
F	50–55 dB		65–70 dB		50–55 dB	

G	50–55 dB		65–70 dB		50–55 dB	
H	60–65 dB		70–75 dB		60–70 dB	
I	55–60 dB		> 80 dB (vrtulník)		55–60 dB	
J	50–55 dB		65–70 dB		50–55 dB	
K	50–55 dB		65–70 dB		50–55 dB	
L	50–55 dB		65–70 dB		50–55 dB	

Zdroj: Vlastní zpracování

5.3 Měření hluku v zájmové oblasti

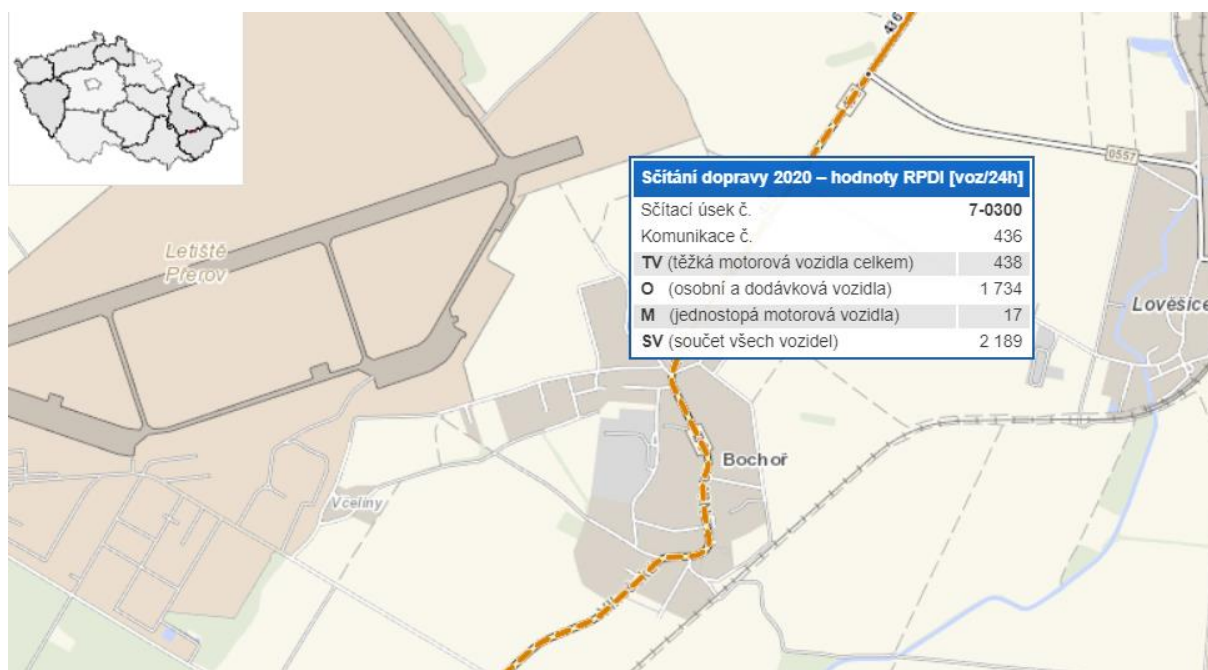
Ve druhé etapě probíhalo měření na místě, pro které hluková mapa vytvořena nebyla, nicméně je také poměrně významně hlukem zatížená. Jedná se o zástavbu v obci Bochoř. Místo bylo zvolené takovým způsobem, aby bylo v blízkosti železnice, frekventované silnice a zároveň co nejblíže leteckému provozu provozovanému z letiště Přerov. Po celou dobu měření obcí projížděly nákladní automobily a zároveň probíhal letecký výcvik z blízkého letiště. Na obrázku 15 je zobrazena měřená oblast.



Obrázek 15: Prostor měření zájmové oblasti

Zdroj: GoogleEarth

Měření probíhalo v době největší polední dopravní špičky. Podle výsledků z celostátního sčítání dopravy z roku 2020 (obrázek 16) obcí projede přibližně 2200 automobilů za 24 hodin. V porovnání s předchozími roky, kdy celostátní sčítání probíhalo je to o řádově o stovky vozů méně. V roce 2010 se jednalo o 3055 vozů a v roce 2016 pak celkem 2700 vozů. Nepředpokládám, že by nastolený trend pokračoval i v roce 2023, kdy pokračuje stavba na obchvatu Přerova a na místo bylo možné pozorovat desítky projíždějících nákladních automobilů, které byly zapojené do činností spojených s budovaným obchvatem. I přesto, že jsem konkrétní sčítání neprováděl, pozoroval jsem spíše opačný poměr nákladních a osobních automobilů, než ukazuje tabulka vložená do obrázku 16.



Obrázek 16: Sčítání dopravy z roku 2020

Zdroj: [39]

V levé části obrázku 17 je patrné, jak se kolem projíždějící provoz projevuje na naměřených hodnotách. Během přesunu po plánované trase se střídají zelené a červené úseky, což přímo koresponduje s provozem na silnici, kolem které jsem se pohyboval a s provozem, který kolem mne projížděl.

V levé části je také šipkou naznačena pozice, ze které jsem měřil probíhající letový provoz. Ve střední části obrázku 17 je poté snímek z aplikace FlightRadar24 [40], kde je modrým bodem naznačena pozice pozorovatele a vpravo o dní se nachází ikona letadla. Hluk měření během tohoto průletu koresponduje s právě s levou částí obrázku s místem, kam ukazuje šipka. V tomto případě se jedná a vrtulníky EN-480 Enstrom, který se nachází ve výšce 270

metrů nad zemí (tlaková výška vrtulníku 1556 ft nad mořem mínus nadmořská výška letiště 676 ft = 880 ft / 270 m nad terénem). Stranově se vrtulník nachází 360 metrů od pozorovatele (měřeno pomocí nástroje “měření vzdáleností” na mapy.cz) [41]

Zároveň je také možno porovnat publikovaný okruh (obrázek 6) a skutečný tvar letištního okruhu, tak jak se často létá. Okruh bývá často zkrácený a v důsledku toho se letecký provoz dostane blíže k zastavěné oblasti. V tuto chvíli naměřený hluk dosáhl hodnoty přibližně 65–70 dB. Nejedná se o zanedbatelnou hodnotu, nicméně se zpravidla ztratí v hluku od projíždějících nákladních automobilů.



Obrázek 17: Měření hluku v zájmové oblasti

Zdroj: Vlastní zpracování

V pravé části obrázku 17 je konečný výsledek konkrétního měření prezentovaný ve formě koláčového grafu, ze kterého je patrné, že nejvíce zastoupené rozmezí naměřené hlasitosti v čase, se nachází mezi 55–65 dB a to celkem 44,8 procenty. Střední hladina hluku je nicméně 67,1 dB(A), což přesahuje povolenou hladinu hluku (tabulka 1) i v případě, že se jedná o hluk z hlavních silnic. Měření v terénu tedy prokázalo, že obec Bochoř je nadměrně vystavena hlukové zátěži.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout a v praxi ověřit postup měření hlukové zátěže širokou veřejností. S ohledem na výsledky této práce lze konstatovat, že navržený postup měření hlukové zátěže pomocí mobilního telefonu je poměrně efektivní a přesný. Během měření v terénu se podařilo získat mnoho přesných výsledků měření, které jsou srovnatelné s profesionálními výsledky vytvořenými pomocí metody využívající počítačovou simulaci a modelování.

V první části práce byl popsán fenomén moderního způsobu života, kterým se obzvláště s rozvojem osobní dopravy stalo hlukové znečištění. Tato problematika byla vybrána zejména z důvodu negativních účinků, kterými působí na zdraví a psychiku člověka. Dále byla představená zájmová oblast, která byla vybrána z toho důvodu, že představuje území zasažené všemi významnými druhy hlukového znečištění a zároveň byla již dříve podrobena výzkumu zaměřenému na hlukové znečištění. Tento výzkum následně posloužil jako etalon pro porovnání s údaji naměřenými pomocí zvolené aplikace. Tato zájmová oblast představuje pouze modelovou situaci, nicméně navržený způsob měření lze použít obecně ve všech venkovních prostorech. Pro vnitřní prostory je možné navržený způsob využít v omezené míře, z toho důvodu, že nebude možné využít GPS souřadnice a následné znázornění pomocí GIS.

Ve druhé části byl proveden výběr vhodné mobilní aplikace, kdy byla za využití vícekritériálního rozhodnutí vybrána aplikace, která svými vlastnostmi a možnostmi nejvíce odpovídala potřebám zamýšleného měření a následného využití těchto dat pro zobrazení ve vhodném geografickém informačním systému a následném porovnání s již známou hlukovou mapou zájmové oblasti. Součástí praktické části této práce bylo navržení vhodného postupu pro provedení měření hlukové zátěže širokou veřejností. Tento postup zahrnuje konkrétní body a činnosti, které je vhodné provádět v rámci přípravy na měření i během samotného měření. Navržený postup pomůže dosáhnout, pokud možno co nejpřesnějších výsledků, které mohou být později použity například v rámci argumentace s příslušnými úřady o hlukové zátěži konkrétního území.

Jako naprosto zásadním bodem se ukázala nutnost provést kalibraci aplikace pomocí některého z nabízených způsobů. Důležitost pravidelné kalibrace se ukázala jako klíčová pro získání přesných výsledků měření hlukové zátěže. Hodnoty, které byly zkušebně naměřené před touto kalibrací vykazovaly nezanedbatelné rozdíly oproti referenčním hlukovým mapám.

Po provedení kalibrace se již výsledky shodovaly v podstatě přesně s referenčním měřením. I přesto, že je toto referenční měření již z roku 2017, situace ve městě se v podstatě zásadně nezměnila. Je pravděpodobné, že se spíše zhoršila vzhledem k probíhajícím pracím na obchvatu Přerova.

Toto měření může být významným přínosem pro širokou škálu lidí a organizací, včetně jednotlivců, komunit, úřadů a dalších subjektů. Ačkoliv je cílovou skupinou pro využití této práce široká veřejnost, která se zajímá o kvalitu svého životního prostředí a hlukovou zátěž ve svém okolí, mohou tento postup využít například i komunity, které chtějí přímo dosáhnout zlepšení životní úrovně ve svém prostředí právě snížením hlukové zátěže. Výsledky měření mohou být užitečné i pro státní instituce, které se zabývají problematikou hlukové zátěže a potřebují získat podrobné údaje o hladinách hluku v určitých oblastech v téměř reálném čase. Aplikace Noise Capture, která byla vybrána umožňuje online sdílení informací na partnerském GIS portálu Noise Planet zcela zdarma.

Výsledky této práce ukazují, že měření hlukové zátěže pomocí mobilního telefonu je efektivní a cenově dostupnou alternativou k profesionálním metodám měření. Navržený postup ve spojení se správně kalibrovanou aplikací tak uživatelům poskytuje užitečný nástroj pro měření hlukové zátěže a při správném využití má i potenciál pozitivně ovlivnit kvalitu života v dané oblasti.

POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE

- [1] Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "noise". Encyclopedia Britannica, 23 Sep. 2013, <https://www.britannica.com/science/noise-pollution>. Accessed 16 February 2023.
- [2] Purves D, Augustine GJ, Fitzpatrick D, et al., editors. *Neuroscience. 2nd edition*. Sunderland (MA): Sinauer Associates; 2001. The External Ear. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK10908/>
- [3] Collegedunia. (2022, August 24). *Noise Pollution: Types, Causes, Effects & Control Measures*. <https://collegedunia.com/exams/noise-pollution-causes-effects-biology-articleid-1110#types>
- [4] Children's Environmental Health Network. (2022). Children's Environmental Health Network. In Children's Environmental Health Network - *A healthy environment for all children*. <https://cehn.org/>
- [5] Masud N, Hayes L, Crivelli D, Grigg S, Cable J. *Noise pollution: acute noise exposure increases susceptibility to disease and chronic exposure reduces host survival*. R Soc Open Sci. 2020 Sep 16;7(9):200172. doi: 10.1098/rsos.200172. PMID: 33047012; PMCID: PMC7540788.
- [6] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. ze dne 24. srpna 2011, *o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací*. In: Sběrka zákonů. 2011, částka 97, §11 a §12 [cit. 21. únor 2023].
- [7] Ministerstvo zdravotnictví České republiky. Hlukové mapy 2017 [online]. [cit. 21. únor 2023]. Dostupné na: < <https://geoportal.mzcr.cz/portal/home/> >.
- [8] Berg, R. E., & Nathanson, J. A. (2010, January 22). Noise pollution | *Definition, Examples, Effects, Control, & Facts*. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/noise-pollution>
- [9] EUR-Lex - 32002L0049 - EN - EUR-Lex. (n.d.). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32002L0049>
- [10] AIM, Air Navigation Services of the Czech Republic. (n.d.). AIM | *Air Navigation Services of the CR*. <https://aim.rlp.cz/>
- [11] SRO, T. (n.d.-b). *Železniční infrastruktura*. <https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Drazni-doprava/Zeleznicni-infrastruktura/Zeleznicni-infrastruktura>
- [12] *Technické poradenství – Sofis Grant*. (n.d.-b). http://www.sofis-grant.cz/?page_id=188
- [13] ArcGIS Web Application. (n.d.). <https://geoportal.mzcr.cz/SHM2017/#>
- [14] Schwenk, W., & Schwenk, R. (1998). *Aspects of International Cooperation in Air Traffic Management*. Kluwer Law International B.V.

- [15] Aerodrome Traffic Circuit | SKYbrary Aviation Safety. (n.d.). <https://skybrary.aero/articles/aerodrome-traffic-circuit>
- [16] VFR příručka - Česká republika. (n.d.). https://aim.rlp.cz/vfrmanual/actual/lkpo_text_cz.html
- [17] Pollution and environmental quality - GOV.UK. (2023, February 27). <https://www.gov.uk/environment/pollution-and-environmental-quality>
- [18] Kephapoulos S, Paviotti M, Anfosso-Lédée F. Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU). EUR 25379 EN. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union; 2012. JRC72550
- [19] eStudio.cz. (n.d.). ČSN ISO 9613-2 (011664). <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-iso-9613-2-011664-159198.html#>
- [20] A. Can, L. Leclercq, J. Lelong, D. Botteldooren, *Traffic noise spectrum analysis: Dynamic modeling vs. experimental observations*, *Applied Acoustics*, 2010, ISSN 0003-682X, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X10000836>
- [21] Montgomery, G. E., & Schuch, H. C. (1993). *GIS Data Conversion Handbook*. Gis World.
- [22] Mapa staveb - rsdweb. (n.d.). In rsdweb. <https://www.rsd.cz/web/guest/mapa-staveb#/stavby/D1/d1-0136-rikovice-prerov>
- [23] Přispěvatelé projektů Wikimedia. (2023). Dálnice D1. https://cs.wikipedia.org/wiki/D%C3%A1lnice_D1#cite_note-M1-22
- [24] Guillaume, Gwenaël, Can, Arnaud, Petit, Gwendall, Fortin, Nicolas, Palominos, Sylvain, Gauvreau, Benoit, Bocher, Erwan and Picaut, Judicaël. "Noise mapping based on participative measurements" *Noise Mapping*, vol. 3, no. 1, 2016. <https://doi.org/10.1515/noise-2016-0011>
- [25] Zuo, J.; Xia, H.; Liu, S.; Qiao, Y. "Mapping Urban Environmental Noise Using Smartphones". *Sensors* 2016, 16, 1692. <https://doi.org/10.3390/s16101692>
- [26] Cui, Y., Chipchase, J., & Ichikawa, F. (2007). *A Cross Culture Study on Phone Carrying and Physical Personalization*. *Lecture Notes in Computer Science*, 483–492. https://doi.org/10.1007/978-3-540-73287-7_57
- [27] Wikipedia contributors. (2022, October 25). Sound level meter. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Sound_level_meter
- [28] Wikipedia contributors. (2023, January 25). Acoustic camera. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Acoustic_camera

- [29] Decide, G. P. . L. U. 6. /. (n.d.). Noise-Planet - NoiseCapture. <https://noise-planet.org/noisecapture.html>
- [30] Apps by SkyPaw. (n.d.). <https://www.skypaw.com/>
- [31] Decide, G. P.-. C. U. 6. /. (n.d.). *Noise-Planet - Map*. <https://noise-planet.org/map.html>
- [32] Wikipedia contributors. (2023b, February 15). *Spectrogram*. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Spectrogram>
- [33] NoiseCapture - Apps on Google Play. (n.d.). https://play.google.com/store/apps/details?id=org.noise_planet.noisecapture&hl=en
- [34] Aumond, P., Can, A., Gozalo, G.R., Fortin, N., & Suárez, E.S. (2020). *A method of in situ acoustic calibration of smartphone-based sound measurement applications*. HAL (Le Center Pour La Communication Scientifique Directe). <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107337>
- [35] Vítejte - Národní geoportál INSPIRE. (n.d.). <https://geoportal.gov.cz/>
- [36] Oguntunde PE, Okagbue HI, Oguntunde OA, Odetunmibi OO. *A Study of Noise Pollution Measurements and Possible Effects on Public Health in Ota Metropolis, Nigeria*. Open Access Maced J Med Sci. 2019 Apr 29;7(8):1391-1395. doi: 10.3889/oamjms.2019.234. PMID: 31110591; PMCID: PMC6514342.
- [37] Ambiciti - Apps on Google Play. (n.d.). <https://play.google.com/store/apps/details?id=fr.inria.mimove.quantifiedself&hl=en&gl=US>
- [38] Jablonský, J. (2007). *Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*
- [39] Ředitelství silnic a dálnic České republiky - rsdweb. (n.d.). Rsdweb. <https://www.rsd.cz/>
- [40] Flightradar. (n.d.). *Live Flight Tracker - Real-Time Flight Tracker Map | Flightradar24*. Flightradar24. <https://www.flightradar24.com/>
- [41] Mapy.cz. (n.d.-b). Mapy.cz. <https://mapy.cz/>
- [42] EVici webdesign s.r.o. (n.d.). LOM PRAHA. <https://www.lompraha.cz/>

SEZNAM PŘÍLOH

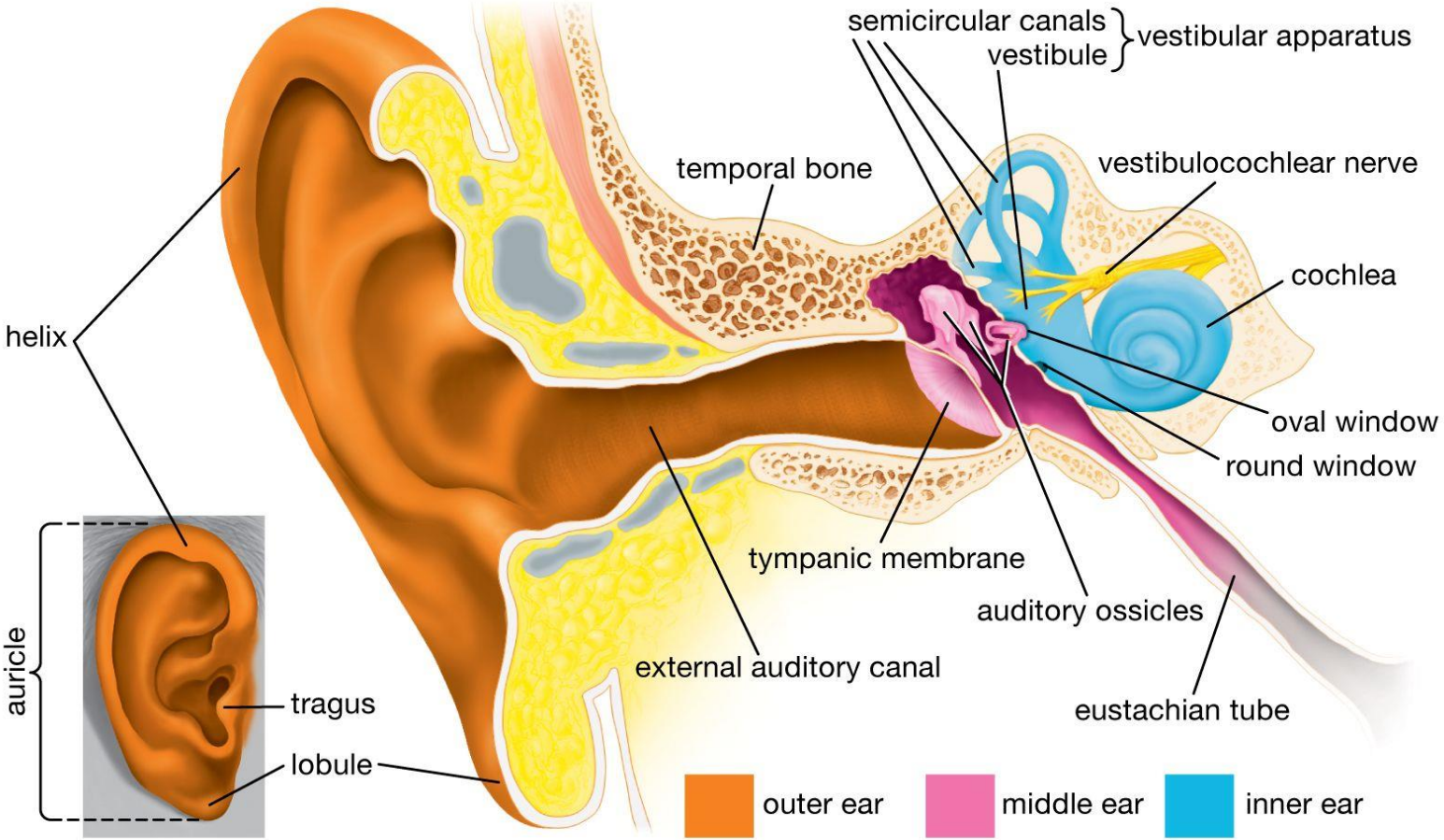
Příloha A: Struktura lidského ucha

Příloha B: Tabulka pro záznam provedených měření

Příloha C: Řešení rozhodovacího problému za využití Saatyho metody

Příloha D: Porovnání grafického provedení okna měření jednotlivých aplikací

PŘÍLOHA A: STRUKTURA LIDSKÉHO UCHA



© Encyclopædia Britannica, Inc.

PŘÍLOHA B: *Tabulka pro záznam provedených měření*

Časový úsek	Datum	Čas začátku měření	Čas konce měření	Lokace měření	Typ mobilního telefonu	Vzdálenost od zdroje hluku	Charakteristika prostředí	Poznámky

PŘÍLOHA B: Řešení rozhodovacího problému za využití Saatyho metody

Za využití ohodnocených kritérií z tabulky 4, byla na vybrané atributy aplikována vícekritériální rozhodovací metoda.

- 1 - rovnocenné části i a j
- 3 - slabě preferovaná část i před j
- 5 - silně preferovaná část i před j
- 7 - velmi silně preferovaná část i před j
- 9 - absolutně preferovaná část i před j

I – řádek
J – sloupec

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
Varianta	Cena	Využití GPS	Možnost kalibrace	Technická podpora	Kvalita měření	Kompatibilita s OS
Noise Capture	10,00	8,00	9,00	8,00	8,00	7
Decibel X	7,00	7,00	8,00	7,00	8,00	8
Ambiciti	7,00	7,00	8,00	7,00	7,00	8

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	Geo P.	Váhy kritérií
K1	1,00	5,00	0,33	0,33	0,33	5,00	0,99	13 %
K2	0,20	1,00	3,00	5,00	3,00	7,00	1,99	27 %
K3	3,00	0,33	1,00	5,00	0,33	5,00	1,42	19 %
K4	3,00	0,20	0,20	1,00	0,14	3,00	0,61	8 %
K5	3,00	0,33	3,00	7,00	1,00	5,00	2,17	29 %
K6	0,20	0,14	0,20	0,33	0,20	1,00	0,27	4 %
Celkem							7,46	100 %

K1

CENA	L1	L2	L3	Geo P.	Váha
L1	1,00	5,00	5,00	2,92	71 %
L2	0,20	1,00	1,00	0,58	14 %
L3	0,20	1,00	1,00	0,58	14 %
Celkem				4,09	1,00

K2

Využití GPS	L1	L2	L3	Geo P.	Váha
L1	1,00	3,00	3,00	2,08	60 %
L2	0,33	1,00	1,00	0,69	20 %
L3	0,33	1,00	1,00	0,69	20 %
Celkem				3,47	1,00

K3

Možnost kalibrace	L1	L2	L3	Geo P.	Váha
L1	1,00	5,00	5,00	2,92	71 %
L2	0,20	1,00	1,00	0,58	14 %
L3	0,20	1,00	1,00	0,58	14 %
Celkem				4,09	1,00

K4

Technická podpora	L1	L2	L3	Geo P.	Váha
L1	1,00	3,00	3,00	2,08	60 %
L2	0,33	1,00	1,00	0,69	20 %
L3	0,33	1,00	1,00	0,69	20 %
Celkem				3,47	1,00

K5

Kvalita měření	L1	L2	L3	Geo P.	Váha
L1	1,00	1,00	3,00	1,44	43 %
L2	1,00	1,00	3,00	1,44	43 %
L3	0,33	0,33	1,00	0,48	14 %
Celkem				3,37	1,00

K6

Kompatibilita s OS	L1	L2	L3	Geo P.	Váha
L1	1,00	0,33	0,33	0,48	14 %
L2	3,00	1,00	1,00	1,44	43 %
L3	3,00	1,00	1,00	1,44	43 %
Celkem				3,37	1,00

$$v_i = \frac{G_i}{\sum_{i=1}^n G_i}$$

Váha	0,13	0,27	0,19	0,08	0,29	0,04	Výsledek
Výsledky	K1	K2	K3	K4	K5	K6	
L1	0,71	0,60	0,71	0,60	0,43	0,14	57 %
L2	0,14	0,20	0,14	0,20	0,43	0,43	26 %
L3	0,14	0,20	0,14	0,20	0,14	0,43	17 %

PŘÍLOHA D: Porovnání grafického provedení okna měření jednotlivých aplikací



Ambiciti

Decibel X

Noise Capture