



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

HLUKOVÁ MAPA

NOISE MAP

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JIŘÍ LOKAJ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ ROZMAN, CSc.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav biomedicínského inženýrství

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Biomedicínská technika a bioinformatika

Student: Jiří Lokaj

ID: 149233

Ročník: 3

Akademický rok: 2014/2015

NÁZEV TÉMATU:

Hluková mapa

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

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

DOPORUČENÁ LITERATURA:

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

Termín zadání: 9.2.2015

Termín odevzdání: 31.7.2015

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

Konzultanti bakalářské práce:

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Cílem této práce je seznámení se s problematikou měření hluku a tvorby hlukových map v geografických informačních systémech. V první jsou vysvětleny fyzikální základy zvuku a je pojednáno o prostorové, atmosférické a fyziologické akustice. Práce také pojednává o účincích hluku na člověka a technice pro jeho měření. V další části popisuje geografické informační systémy a hlukové mapy. Poslední část je o praktické tvorbě hlukových map, zahrnuje popis reálného měření, výsledky a hodnocení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Hlukové mapy, hluk, akustika, GIS, zvuk

ABSTRACT

The aim of this paper is to introduce the measurement of noise and create a noise map in a geographic information system. The first part is focused on describing the physical properties of sound in space, atmospheric and physiological acoustics. It also deals with the physiological effects of noise on the human body and technology needed for measure and process noise. Other part describes the structure of a geographic information system and noise map. The last part is about the practical creation of noise maps, includes a description of the real measurement results and evaluation.

KEYWORDS

Noise, noise map, acoustic, GIS, sound

LOKAJ, J. *Hluková mapa*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav biomedicínského inženýrství, 2015. 34 s., 7 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Rozman, CSc.

PROHLÁŠENÍ

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

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Doc. ing. Jiřímu Rozmanovi, CSc. za pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků	v
Úvod	1
1 ZVUK A HLUK	2
1.1 Zvuk	2
1.2 Fyzikální veličiny	3
1.3 Prostorová akustika	6
1.4 Fyziologická akustika	10
1.4.1 LIDSKÉ UCHO	10
1.5 Hluk a jeho účinky na člověka	15
2 Měření hluku	16
2.1 Hlukoměry	16
2.2 Náležitosti měření	17
2.3 Postup vlastního měření	18
2.4 Hygienické limity	20
3 hlukové mapy v GIS	21
3.1 GIS	21
3.2 Hlukové mapy	22
4 tvorba hlukové mapy	24
4.1 Vybavení pro měření	24
4.2 Popis prostoru pro měření	24
4.3 Průběh a výsledky měření	26
5 závěr	31
Literatura	33
Seznam příloh	35

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: Druhy příčného vlnění. Převzato z [13]	3
Obr. 1.2 Huygensův princip, převzato z [13]	6
Obr. 1.3: útlum zvuku vlivem relativní vlhkosti, převzato z [11]	7
Obr. 1.4: Vliv pohybu vzduchu a různých vrstev vzduchu na zvuk, převzato z [13].....	8
Obr. 1.5 Akustická pole v uzavřeném prostoru, , převzato z [13]	9
Obr. 1.6: Lidské ucho, převzato z [11]	10
Obr. 1.7: Isofony, převzato z [11].....	12
Obr. 1.8: Závislost hlasitosti na hladině hlasitosti, převzato z [11].....	13
Obr. 1.9: Maskovací efekt úzkopásmového zvuku se středním kmitočtem 1,2 kHz, převzato z [11].	14
Obr. 4.1 Minilizer s mikrofonom a GPS	24
Obr. 4.2 Měřená lokalita v Rosicích u Brna	25
Obr. 4.3 Hluková mapa Rosice - pracovní den.....	28
Obr. 4.4: Hluková mapa - Rosice - noc mezi pracovními dny	29
Obr. 4.5 Hluková mapa- nepracovní den, částečně transparentní	30

ÚVOD

Tématem této práce je hluková mapa. Toto téma v sobě spojuje problematiku nejen hlukového mapování, ale také teoretické základy z oblasti zvuku, hluku, prostorové akustiky, metodiky měření a geografických informačních systémů.

V úvodu práce jsou zmíněny základní veličiny, definice pojmů, se kterými se v tomto tématu setkáváme. Dále je probrána prostorová akustika, zdroje zvuku dle charakteristiky vzniklé vlny a akustická pole. Po části, která popisuje podstatu a vliv zvuku následuje část, která se věnuje fyziologické akustice, vnímání zvuku člověkem, a též vlivem hluku, převážně negativním, na člověka. Dále je v práci nastíněn princip zvukoměrů, jsou zde požadavky na měření hluku, metodika měření a hygienické limity.

V následující části se věnuje teoretickému popisu praktických věcí, tedy samotnému hlukovému mapování, legislativě a současnému stavu hlukových map v České republice společně s popisem používání příslušného geografického informačního systému ArcView pro tvorbu map na základě praktických zkušeností autora.

V poslední části je popsán vznik hlukových map vytvořených v rámci této práce, a to od výběru místa, až po finální úpravy v GIS. Mapy jsou následně srovnány a zhodnoceny.

1 ZVUK A HLUK

Za hluk je všeobecně považován každý nežádoucí zvuk, který vyvolává rušivý nebo nepříjemný vjem [2]. Proto budou v této kapitole uvedeny teoretické základy z oblasti zvuku, šíření zvuku, tedy atmosférické, prostorové a fyziologické akustiky, a konečně hluku samotného včetně jeho fyziologických účinků na zdraví člověka.

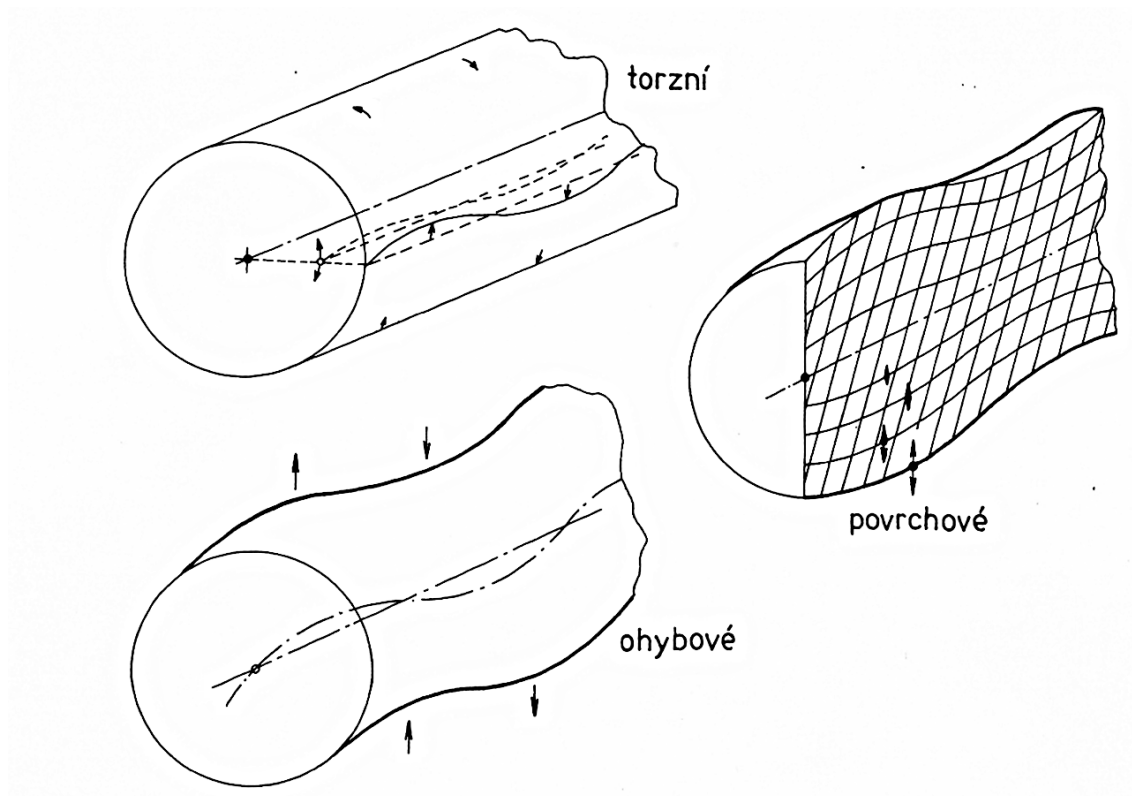
1.1 Zvuk

Za zvuk je označováno mechanické vlnění v látkovém prostředí (plynném, kapalném, pevném), tedy zhušťování a zředňování tohoto pružného prostředí. Zvukem také nazýváme kmitočtové složky mechanického vlnění, které jsou schopny vyvolat v lidském uchu sluchový vjem. Jako slyšitelný zvuk je člověk za fyziologických podmínek schopen vnímat mechanické vlnění při frekvencích přibližně od 16 do 20 000 Hz. V úvahu se zde však také bere věk, kdy se s rostoucím věkem zpravidla snižuje citlivost slyšení [6],[5]. Frekvence nižší než běžně slyšitelné se nazývají infrazvuk a frekvence vyšší ultrazvuk. Pojem hyperzvuk pak označuje zvuky s frekvencí vyšší než 1 GHz. Mechanické vlnění, které se šíří pevným prostředím je však označováno jako vibrace [13].

V prostředí homogenním a izotropním se vlnění šíří přímočaře. Podle směru kmitání částic, kmitají-li ve směru šíření vlny či kolmo k němu, se vlnění dělí na podélné – longitudinální a příčné - transverzální. U podélného vlnění je tak jednoznačně dána rovina kmitání, u příčného vlnění lze též udávat rovinu, ve které dochází k příčným kmitům. Jak je znázorněno na Obr. 1.1, za různých podmínek vzniká příčné vlnění různého druhu. Pokud například na tyč působí budící krouticí moment, dochází ke vzniku torzního vlnění, pokud na stejnou tyč bude působit budící síla kolmá na podélnou osu tyče, vznikne vlnění ohybové, a při vhodném proudění média kolem povrchu tyče mohou vzniknout povrchové vlny. Šíření mechanického vlnění jako zvuku postupuje prostředím ve vlnoplochách, kdy vlnoplochou je myšlená plocha do kterého vlnění dorazí ve stejném okamžiku a se stejnou fází. Kolmice na vlnoplochu je pak nazývána akustickým paprskem. Pokud se do děje šíření zvukové vlny neuplatňují další vlivy, mají vlnoplochy kulový tvar a akustické paprsky se šíří přímočaře. Lineárně polarizované vlnění pak vzniká, pokud se všechny kmity dějí v jedné rovině. Jednotlivé částice vlivem šíření zvuku kmitají kolem svých rovnovážných poloh, nedochází tedy k jednosměrnému pohybu částic ve směru šířící se vlny. Nejjednodušším způsobem lze takovýto harmonický pohyb popsat takto:

$$u = U \cdot \sin(\omega \cdot t - \phi) \quad (1)$$

kde u je okamžitá výchylka kmitavého pohybu částice, U je amplituda, ω je úhlová frekvence a ϕ je počáteční fáze [2], [11].



Obr. 1.1: Druhy příčného vlnění. Převzato z [13]

1.2 Fyzikální veličiny

Zvuk, respektive hluk, lze popsat mnoha různými veličinami. V této práci je kladen důraz pouze na vybrané, které se pojí s hlukovým mapováním. Jsou jimi například akustický tlak, vlnová délka, akustická rychlost, akustický výkon, intenzita zvuku, měrná akustická impedance, hladina akustického tlaku, hladina intenzity zvuku a doba dozvuku[12].

Vzrůst subjektivního sluchového vjemu se řídí logaritmickým zákonem. Také z důvodu velkého rozsahu vnímání akustického tlaku se používá vyjadřování vjemových veličin v logaritmické stupnici k určité vztažné hodnotě vyjádřené například y_0 [9].

$$L_y = 10 \cdot \log\left(\frac{y^2}{y_0^2}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{y}{y_0}\right) \quad (2)$$

V případě energetických veličin závislých na kvadrátu sledované veličiny platí

$$L_e = 10 \cdot \log\left(\frac{y_e}{y_0}\right) \quad (3)$$

Vlnová délka a rychlost šíření zvuku

Je to vzdálenost, λ [m], kterou vlna urazí za dobu jednoho kmitu T [s], je to také vzdálenost mezi dvěma nejbližšími body o stejném akustickém stavu.

Rychlost šíření zvuku, c [m/s], je rychlost šíření rozruchu od zdroje kmitání, přičemž platí, že pro homogenní prostředí je tato hodnota konstantní. Tato rychlost šíření je závislá na hustotě prostředí, teplotě, a dalších veličinách. Mezi vlnovou délkou, rychlostí šíření zvuku a frekvencí kmitání platí následující vztah

$$\lambda \cdot f = c \quad (4)$$

Akustická rychlost

Rychlost kmitání jednotlivých částic prostředí, kterým se šíří zvuková vlna je nazývána akustickou rychlostí v [m/s], přičemž její velikost je o mnoho řádů menší než rychlost šíření zvuku.

Akustický tlak

Při šíření zvukové vlny, zhušťování a zředění prostředí v rytmu šířící se vlny, dochází v prostředí, ve kterém se zvuková vlna chová jako tlaková vlna, k odchylkám tlaku v místech zředění a zhuštění kolem klidové hodnoty. Tyto výchylky jsou označovány jako akustický tlak s jednotkou 1 pascal [Pa].

Akustický výkon

Akustický výkon je určen silou působící na jednotkovou plochu

$$W = p \cdot v \cdot S = I \cdot S \quad (5)$$

kde

v ... akustická rychlost

S ...sledovaná plocha

I ... akustická intenzita

Intenzita zvuku

Intenzita zvuku je definována jako výkon procházející jednotkovou plochou kolmou na směr šíření. Lze jej též definovat jako součin akustického tlaku a akustické rychlosti, respektive jejich efektivních hodnot, nebo také jako druhou mocninu akustického tlaku dělenou akustickou impedancí prostředí [5]

$$I = \frac{N}{S} = p \cdot v = \frac{p^2}{z} \quad (6)$$

Měrná akustická impedance (vlnová impedance)

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

$$z = \frac{p}{v} \quad (7)$$

příčemž ve vzdáleném prostředí je rovna součinu rychlosti šíření zvuku a hustoty prostředí [5]:

$$z = \rho \cdot c \quad (8)$$

Hladina akustického tlaku

Jelikož rozsah hodnot akustického tlaku, které vnímá zdravý jedinec při zvuku o frekvenci 1000 Hz v rozsahu 30 μPa - 60 Pa, je pro lepší přehlednost v praxi používaná poměrná logaritmická jednotka hladiny akustického tlaku L_p , která je udávána v dB. Vztahuje se k začátku slyšitelného rozsahu akustických tlaků, tedy $p_0 = 20\mu\text{Pa}$, [14]. Poté

$$L_p = 20 \cdot \log \frac{p}{p_0} \quad (9)$$

kde je

p [Pa] ... efektivní hodnota akustického tlaku

p_0 [Pa] ... referenční akustický tlak.

Hladina intenzity zvuku

Stejně jako u akustického tlaku, i zde je velký rozsah hodnot, proto se také u intenzity zvuku zavedla vztažná logaritmická jednotka hladiny intenzity zvuku, a to pro vztažnou hodnotu $I_0 = 10^{-12} \text{ W m}^{-2}$ [2]. Platí tedy

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

Doba dozvuku

Doba dozvuku T [s] je zavedena pro uzavřené prostory a vyjadřuje čas, za který klesne hladina akustického tlaku o 60 dB, a to od okamžiku vypnutí či odstranění zdroje zvuku. Také se vyjadřuje průměrná doba dozvuku, což je aritmetický průměr dob dozvuku naměřených při frekvencích 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, [15].

Ekvivalentní hladina hluku

Vliv hluku na člověka je závislý na celkové akustické energii, které je jedinec vystaven. Vlivem tohoto předpokladu byla zavedena ekvivalentní trvalá hladina hluku, L_{ekv} , což je vlastně stálá hladina akustického tlaku, která by jedince ovlivnila stejně, jako pozorovaný proměnlivý hluk [11].

$$L_{ekv} = 10 \log \frac{1}{\sum_{i=1}^n \tau_i} \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot 10^{0,1 \cdot L_i} \quad (11)$$

kde

τ_i je doba trvání i -té naměřené hladiny,

L_i je i -tá naměřená hladina,

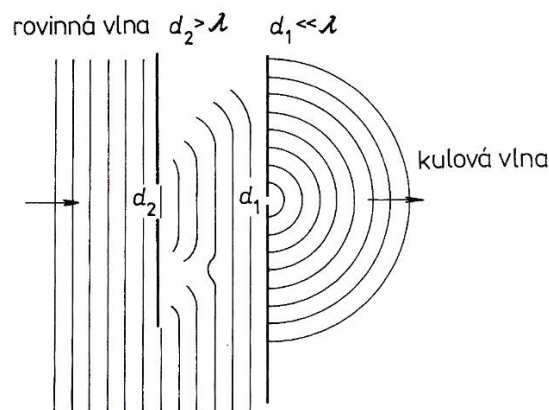
n je celkový počet naměřených hladin.

1.3 Prostorová akustika

Šíření zvuku je ovlivněno řadou faktorů, které se zvláště ve venkovním prostředí neustále mění. Těmito faktory jsou například vlhkost, teplota vzduchu, hustota vzduchu, vzdušné proudy. Tyto atmosférické faktory mimo jiné působí kolísání hladin akustického tlaku na konci přenosové trasy. Střední hodnota akustického tlaku je též závislá na teplotě, vlhkosti vzduchu, směru a rychlosti větru podél přenosové trasy. V rámci šíření zvuku v přízemních vrstvách atmosféry jsou nejvýznamnějšími překážkami stromy a stěny budov, popřípadě speciální protihlukové stěny, mlha, déšť, sníh, absorpce zvuku ve vzduchu, teplotní gradienty a atmosférické turbulence. Útlum zvuku těmito činiteli a překážkami je frekvenčně závislý.

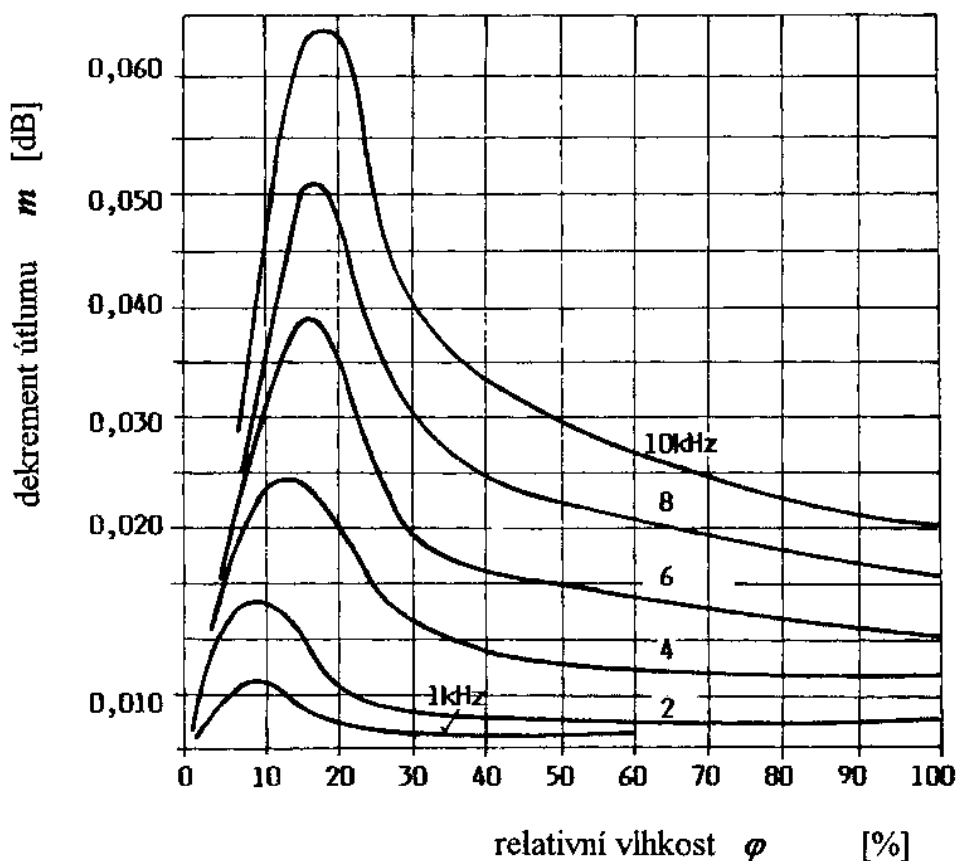
K šíření zvuku dochází pouze v prostředí, které je složeno z hmotných částic a vyznačuje se stlačitelností nebo pružností. Vlnění v plynném či kapalném prostředí je v oblasti slyšitelných kmitočtů nazýváno zvukem, v oblasti, zatímco v tuhých látkách toto vlnění označujeme jako vibrace, a to již bez kmitočtového omezení. Mezi těmito formami, tedy zvukem a vibracemi se vlnění přeměňuje na jejich rozhraní. Na rozhraní různých látek tak může docházet k ohybu, odrazu a lomu vlnění, a to v různých poměrech. O tomto poměru rozhoduje změna vlnové impedance prostředí.

Odras zvuku nastává, pokud je překážka srovnatelná nebo větší než vlnová délka rozruchu, a to ve všech směrech. Vibrace se pak odrážejí na styku různých látek. Pokud jsou rozměry pevné překážky podstatně větší nežli vlnová délka, lze užít zákon odrazu, který říká, že úhel odrazu se rovná úhlu dopadu. V případě nepravidelných či kulatých překážek apod. je pak situace složitější a kolem překážky dochází k různým deformacím zvukových vln a tedy i například zvýšení akustického tlaku před překážkou a následné snížení akustického tlaku v akustickém stínu za překážkou. Tyto ohyby paprsku šířícího se rozruchu jsou důsledkem Huygensova principu, kdy každé místo na hraně překážky je zdrojem kulových vln, a jejich složením dostáváme změnu šíření vln. Huygensův princip je zobrazen na obrázku 1.2, kde je také znázorněno chování rovinné vlny při průchodu otvorem. Pokud je otvor oproti vlnové délce příliš malý, vniká na něm nová kulová vlna. Pokud je však otvor značně větší než vlnová délka šířící se vlny, vlna otvorem prochází [13].



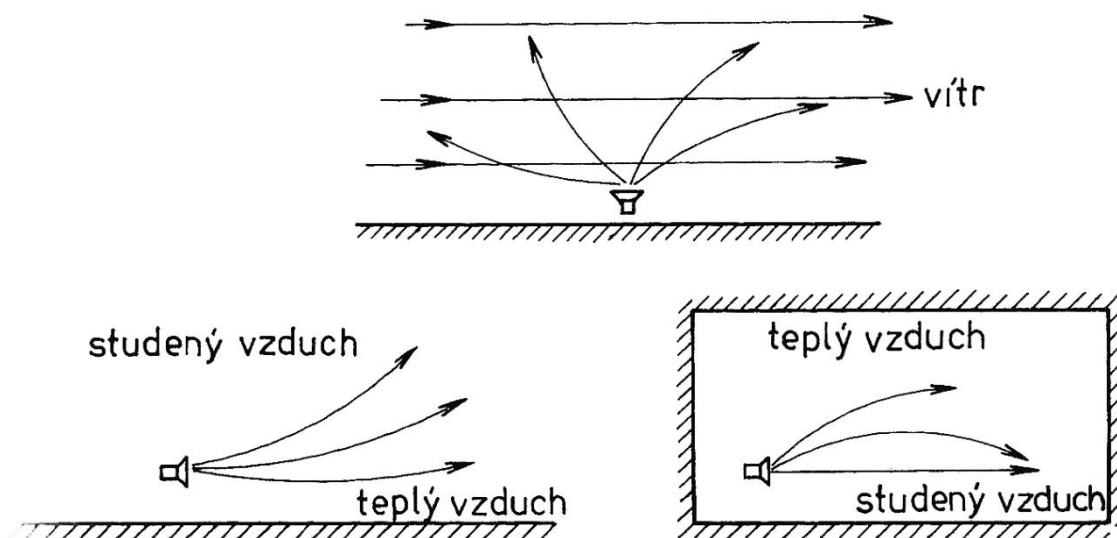
Obr. 1.2 Huygensův princip, převzato z [13]

Vliv vzdušné vlhkosti na šíření zvuku je patrný na obrázku 1.3, kde jsou zakresleny křivky pro vybrané frekvence. Je zde mimo jiné vidět, že útlum vlivem relativní vlhkosti vzduchu mnohem více postihuje vyšší frekvence. Nižší frekvence, kolem 1 kHz mají nejvyšší útlum kolem hodnoty relativní vlhkosti 10%, zatímco vyšší, kolem hodnoty 10 kHz jsou nejvíce tlumeny při hodnotách relativní vlhkosti kolem 20%.



Obr. 1.3: útlum zvuku vlivem relativní vlhkosti, převzato z [11]

Na obrázku 1.4 je znázorněn vliv pohybu vzduchu na šíření vzduchu. Tento pohyb může být způsoben buď větrem, kdy se následně vlnoplochy nešíří stejnoměrně, ale lépe po směru větru, nebo lokálními rozdíly v teplotách vzduchu. Pokud je tedy zahřátý vzduch, například nad tmavou vozovkou, deformuje dráhu šíření zvuku, a to ve směru stoupajícího teplého vzduchu. Tento jev funguje i opačně, tedy ve chvíli, kdy je vyšší vrstva teplejší než nižší, opět se deformuje dráha zvuku od teplejšího. V obou případech tato deformace vzniká na rozhraní dvou rozdílně prohřátých vrstev, kdy se zvukový paprsek láme od teplejší vrstvy.



Obr. 1.4: Vliv pohybu vzduchu a různých vrstev vzduchu na zvuk, převzato z [13]

Pro tvorbu hlukových map je také nezbytné znát vznik a způsob šíření zvuku v prostoru, tedy zdroje zvuku a akustická pole.

Bodový zdroj

Jedná se o nejjednodušší zdroj zvuku, který je také někdy nazýván kulový zdroj. Takovýto zdroj vyzařuje do všech směrů se stejnou intenzitou, fází i amplitudou. Vzniká tak pole složené z kulových vln, jejichž akustická intenzita klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje a akustický tlak klesá úměrně se vzdáleností. Pokud uvažujeme velkou vzdálenost od zdroje a malý výsek plochy kulové vlny, lze tuto část považovat za rovinnou vlnu.

Přímkový zářič

Zde vzniká pole válcových zvukových vln, a to jako výsledek soufázového kmitání nekonečné řady bodových zdrojů. Zvukové vlny se v tomto případě šíří do všech směrů kolmých na osu tvořenou zdroji.

Plošný zářič

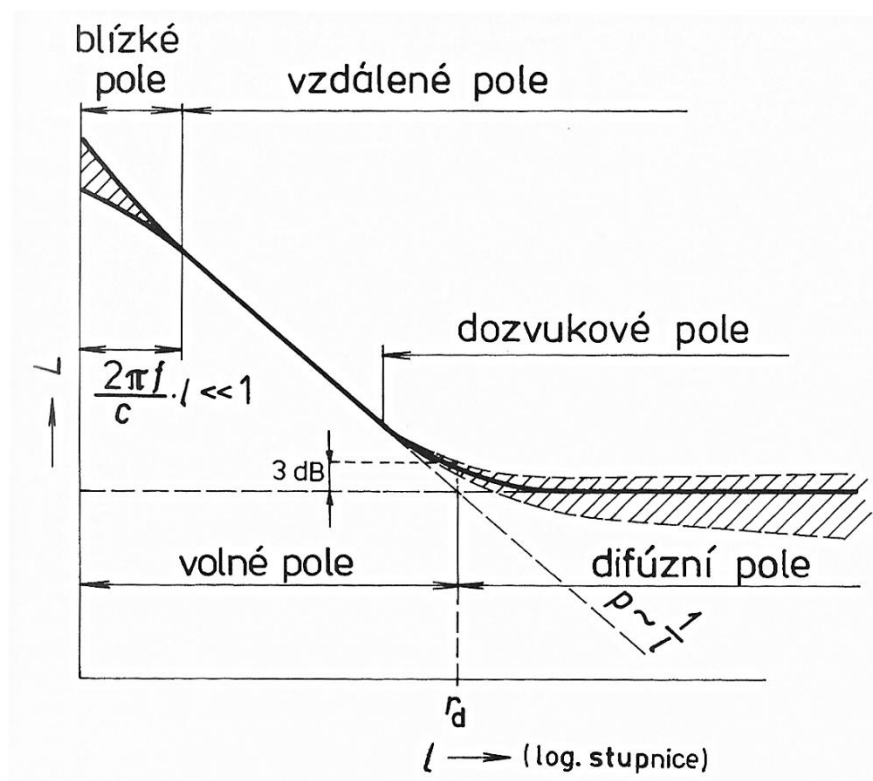
Zde vzniklé pole vln se šíří kolmo od kmitající roviny. V ideálním případě se při šíření rovinné zvukové vlny nemění akustická intenzita, akustický tlak ani plocha vlnoploch.

Akustická pole

Nejjednodušeji lze rozdělit akustická pole na pole, která se vytváří v otevřeném prostoru a na ta, která se vytváří v prostoru uzavřeném. Samotná pole však mohou nabývat různých složitých tvarů, neboť jsou mimo jiné ovlivňována počtem a druhem zdrojů zvuku, charakterem prostředí šíření vln, meteorologickými podmínkami a překážkami.

Typy akustických polí jsou znázorněny na obrázku 1.5. jedná se o tato pole:

- **blízké pole** – vzniká u rozměrnějších zdrojů zvuku, po překročení prahové hodnoty se mění ve volné pole. Vlastností tohoto pole je výrazná změna akustického tlaku s rostoucí vzdáleností od zdroje zvuku.
- **volné pole** - také označováno pole přímých vln vzniká ve větší vzdálenosti od zdroje. K odrazům, absorpci nebo jiné deformaci zde téměř nedochází.
- **vzdálené pole** – rozeznáváme ho za hranicí blízkého pole.
- **difúzní pole** - je také nazýváno pole odražených vln. Jak již z názvu vyplívá, vlny se zde po odrazu šíří různým směrem, při vzájemné interakci vzniká pole, kde bývá nemožné určit jakoukoli vlnoplochu.
- **dozvukové pole** – toto pole nemusí být vždy definováno, neboť ani jeho hranice není fyzikálně určena. Hranice tohoto pole jsou určeny postřehnutelností odražených vln.[13]



Obr. 1.5 Akustická pole v uzavřeném prostoru, převzato z [13]

Zevní ucho

Počáteční částí sluchového ústrojí je boltec, který je chrupavčitý, a jehož tvar je ideálně uzpůsoben pro vnímání zvukových vln převážně v předozadní a horizontální rovině (závisí na straně, na které se ucho nachází). Boltec dále ústí do trubice nazývané zvukovod, ve kterém dochází ke směřování zvukové vlny k bubínku. Bubínek je vazivová blána, jejíž povrch dosahuje přibližně 55 mm^2 . Tato blána je hranicí mezi zevním a středním uchem a kromě funkce přenosu zvukových kmitů také slouží jako ochrana středního před vnějším prostředím.

Střední ucho

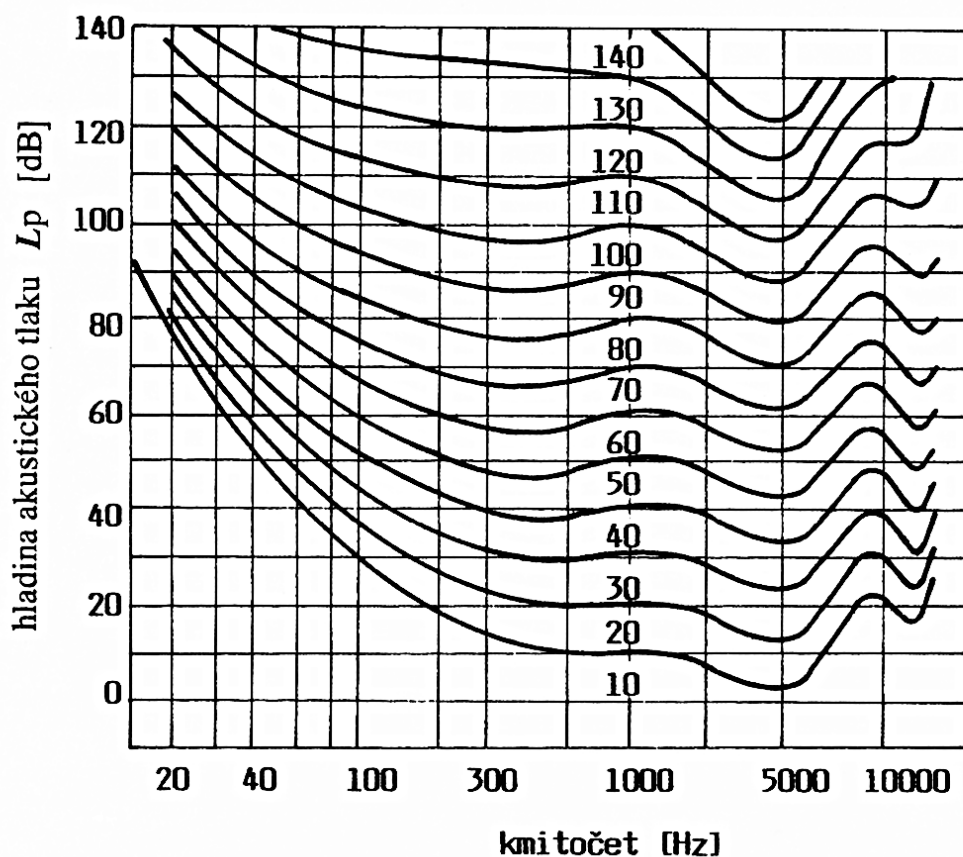
Střední ucho je místem dalšího převodu mechanického vlnění, přeměny jeho intenzity pomocí pákového systému kůstek a místem vyrovnávání tlaku oproti vnějšímu prostředí. Na bubínek naléhá první středoušní kůstka - kladívko, která přiléhá na kovádlínku, přiléhající na třmínek. Tato soustava kůstek plní funkci zesílení intenzity a současně má ochrannou funkci. Součástí středního ucha je také Eustachova trubice, která je spojením s nosní dutinou, poskytující možnost vyrovnání tlaku. Skrz tuto cestu je ale současně možný přenos patogenů způsobující například zánět středního ucha.

Vnitřní ucho

Poslední středoušní kůstka naléhá svou největší plochou na oválné okénko labyrintu vnitřního ucha. Labyrint je kostěný a blanitý. Jeho kostěná podoba vymezuje prostor blanitou strukturu labyrintu, které je tvořen třemi na sebe kolmými polokruhovitými kanálky a hlemýžďem. Polokruhovité kanálky jsou místem rovnovážného systému, který není součástí sluchové dráhy. Vibrace třmínku na oválném okýnku rozhýbávají endolymfu, což je tekutina plnící hlemýžď. Tento pohyb ohýbá vláskové buňky Cortiho orgánu a vznikají elektrické signály převáděné do mozku skrz kochleární nerv.

Vnímání hlasitosti

To jak člověk vnímá hlasitost čistých tónů s různou frekvencí a hladinou akustického tlaku je znázorněno Fletcher-Munsonovými křivkami stejné hlasitosti, tedy isofonami na obrázku 1.7. Při konstrukci těchto křivek byl použit referenční tón o frekvenci 1 kHz. Křivky pak udávají, jaký akustický tlak při různých frekvencích vyvolá stejný vjem hlasitosti jako použitý referenční tón.



Obr. 1.7: Isofony, převzato z [11]

Na obr. 1.7 je vidět, že lidské ucho je méně citlivé na zvuky nízkých frekvencí, což je umocňováno snižující se hladinou akustického tlaku. Svislá stupnice je podle Weber-Fechnerova zákona logaritmická. Tento zákon říká, že hlasitost tónu roste řadou ritmetickou, roste-li jeho fyzikální intenzita řadou geometrickou. Tomu odpovídá funkce pro určení hladiny hlasitosti $L_N[\text{Ph}]$:

$$L_N = \text{konst} \cdot \log \frac{I}{I_0} \quad (12)$$

Kdy konstanta úměrnosti závisí především na frekvenci tónu. Pro tón o kmitočtu 1000 Hz je možno psát

$$L_N = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} \quad (13)$$

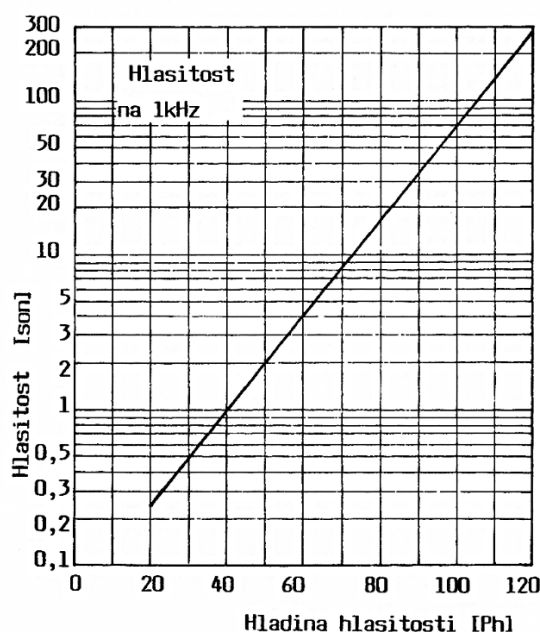
respektive

$$L_N = 20 \cdot \log \frac{p}{p_0} \quad (14)$$

Při frekvenci 1000 Hz jsou si tedy hladina hlasitosti a hladina akustického tlaku číselně rovny. Pro další frekvence se hladina hlasitosti stanoví porovnáním se zvukem uvedeném referenčním kmitočtu 1 kHz. Z grafu na obrázku je patrné, že aby byl subjektivní vjem posluchače stejný jak u nízkofrekvenčního, tak u zvuku o vysoké frekvenci, musí být ten nízkofrekvenční mnohem silnější.

Dálší veličinou je hlasitost, $N[\text{son}]$, mezi níž a hladinou hlasitosti je matematická závislost vyjádřena vzorcem

$$N = 2^{\frac{L_N - 40}{10}} \quad (12)$$

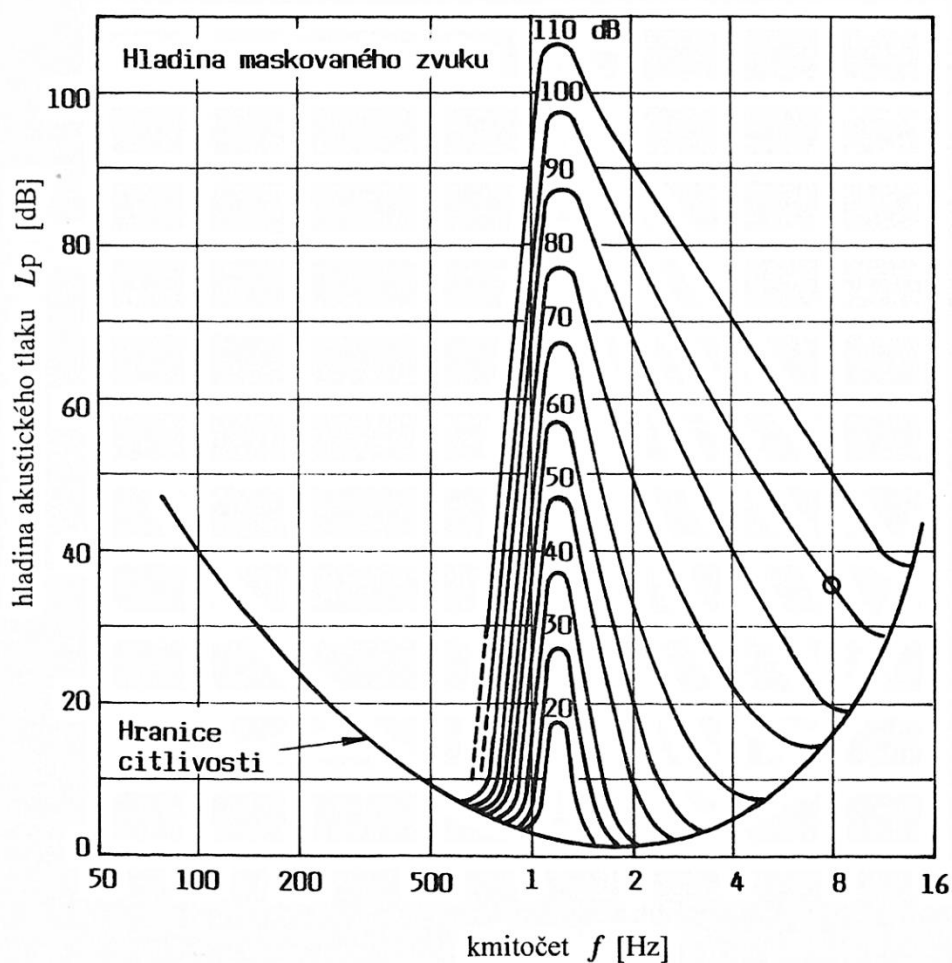


Obr. 1.8: Závislost hlasitosti na hladině hlasitosti, převzato z [11]

Jednotka son byla stanovena experimentálně a jedná se o psychoakustickou jednotku. Son můžeme definovat jako hlasitost tónu o frekvenci 1000 Hz a intenzitě 40 dB. Jeden son je tedy zároveň 40 fónů. Závislost hlasitosti vyjádřené sony na hladině hlasitosti vyjádřené pomocí fónů je znázorněna na obrázku 1.8, přičemž pro fóny je zavedena dekadická osa a pro sony logaritmická[6],[11].

Maskování

Maskovací efekt, který je znázorněn na obrázku 1.9 vzniká při současné působení alespoň dvou rozdílných zvuků. Toto maskování je vlastně překrytí slabších zvuků silnějšími, což je možné díky posunutí prahu slyšení silnějším zvukem. Velikost maskovacího efektu se liší dle velikosti rozdílu mezi působícími zvuky. Posunutí prahu slyšení je různé pro čisté tóny a pro širokopásmové zvuky[15].



Obr. 1.9: Maskovací efekt úzkopásmového zvuku se středním kmitočtem 1,2 kHz, převzato z [11].

Na obrázku 1.9 je použit tón o frekvenci 1,2 kHz, a tak maskuje hlavně vyšší frekvence. Tón vyznačený kroužkem o frekvenci 8 kHz a hladině akustického tlaku 35 dB bude slyšet, pokud maskující zvuk bude mít hladinu akustického tlaku nižší než sto dB.

Pokud na sluchový orgán dopadá současně zvuk přímý a zvuk odražený od akustické překážky, může docházet ke zkreslení slyšeného zvuku, což je vlivem delší dráhy, tedy časového zpoždění, odraženého zvuku oproti zvuku přímému. Pokud je zpoždění odraženého zvuku menší než 50 ms, zkreslení se neprojeví, neboť zvuky splynou v jeden vjem. V rozmezí zpoždění 50 – 100 ms dochází ke směšování zvuků, které již lidské ucho vnímá a které snižuje srozumitelnost přijímaných zvuků. Jakmile je zpoždění větší než 100 ms vnímá již sluchový aparát oba zvuky odděleně, vzniká tedy jev známý jako ozvěna.

Výška tónu

Výška tónu je vnímána subjektivně jako odpověď na frekvenci a intenzitu vnímaného periodického zvukového děje. Subjektivní výška tónu obecně je určena frekvencí základního tónu. Čím vyšší je hlasitost nízkých tónů, tím je jejich subjektivní výška menší. U tónů nad 4 kHz se tento jev neprojevuje.[15]

Práh slyšení

Práh slyšení představuje nejmenší hodnotu intenzity zvuku, která vyvolá u daného jedince sluchový vjem. Stanovuje se arbitrárně, průměrem u zdravých jedinců v rozmezí věku 18 až 25 let. Práh slyšení je frekvenčně závislý a odlišný pro různé zvuky, [5]. Nejcitlivější oblast našeho ucha je v okolí 5 kHz, mimo toto rozmezí sluchový práh převážně roste. Za práh slyšitelnosti se považuje hranice 4 fonu, při 100 Hz odpovídají $p_0 = 30 \mu\text{Pa}$. Práh slyšení se u zvuků charakteru impulsu s jeho rostoucí délkou snižuje. [14]

1.5 Hluk a jeho účinky na člověka

Jak již bylo popsáno výše, hluk je jakýkoliv nepříjemný, rušivý, nebo pro člověka škodlivý zvuk. Tento hluk se může primárně šířit vzduchem, ale také například stěnami či strojními konstrukcemi a následně mohou tyto vlny být vyzářeny do prostoru.

Hluk můžeme dělit dle průběhu hladiny hluku v čase na:

- impulsní – hluk je tvořen jednotlivými zvukovými impulsy nebo jejich sledem v délce jednotlivých impulsů od 1 do 200 ms, intervaly mezi nimi jsou delší než 10 ms
- nepravidelný – dochází ke změnám hladiny akustického tlaku v čase náhodně
- přerušovaný – který je typický náhlými změnami akustického tlaku, avšak v průběhu svého trvání je ustálený
- proměnný – hladina hluku se mění v čase o více než 5 dB
- ustálený – hladina hluku se nemění v čase o více než 5 dB, [12].

Hluk člověka negativně ovlivňuje v několika rovinách. Navíc ne každé poškození nebo ovlivnění nemusí být ihned patrné, ale může se manifestovat až po delší dobu působení hlukové zátěže na daný subjekt. I proto je důležité znát a regulovat míru hluku v prostředí, kde žijeme. Nepříznivé účinky hluku na zdraví člověka lze obecně definovat jako morfologické nebo funkční změny organismu, které vedou ke zhoršení jeho jedné či více funkcí, ke snížení kompenzační kapacity vůči stresu nebo zvýšení vnímavosti k jiným nepříznivým vlivům prostředí.

Nejčastější postižení sluchu hlukem se nazývá akustické trauma. To může vzniknout po impulsech jako je výstřel, výbuch, pronikavý zvuk, apod. Projevit se může pocitem ohlušení, tlakem či bolestí v uchu a šelestem. Po několika minutách až dnech se však stav obvykle normalizuje. Pokud se jedná o dlouhodobý intenzivní hluk, ten může způsobit dočasné posunutí, zvýšení, sluchového prahu. Při hladinách hluku vyšších než 85 dB může postupně dojít až k trvalému posunu prahu, a to nejčastěji jako důsledek nekrózy vláskových buněk vnitřního ucha. V první fázi se porucha sluchu projeví v oblasti frekvencí 6 – 4 kHz, postupně projevy rozšiřují na frekvence další. V tomto případě se již

jedná o změny ireverzibilní. Po odstranění zdroje hluku už porucha dále neprogreduje. Také hluk, který přímo nepoškozuje sluch, může mít negativní důsledky na lidský organismus. Hluk ovlivňuje též psychiku a nervový systém. Velmi významně může škodit v pracovním prostředí, kdy negativně ovlivňuje schopnost soustředění, snižuje přesnost výkonu, kombinační schopnosti apod. Tyto negativní důsledky se mohou projevit v závislosti na druhu činnosti již od 45 dB.

Vegetativní nervová soustava je pak ovlivněná hlukem zhruba silnějším než 65 dB. Tímto je tedy ovlivněno několik soustav, ať už cévní, dýchací, hormonální, termoregulační. Možný rozsah poškození hlukem je stále zkoumán, neboť veškeré vlivy ještě nejsou známy.

Psychosomatické a vegetativní potíže provázející poškození hlukem se souhrnně nazývají hlukovým syndromem, který se projevuje zvýšením krevního tlaku, zhoršením komfortu spánku hlavně v REM fázi, bolestmi hlavy, podrážděností, malátností, nesoustředěním, zvýšením krevního tlaku apod.

V době chtěného spánku jsou za dostatečně dokázané negativní vlivy hluku považovány změny fyziologických reakcí, například změna v záznamu EEG, či změna srdeční aktivity, poruchy spánku a s tím související zvýšené užívání léku na spaní. [1], [1], [4], [12],.

Děti jsou k poškození hlukem náchylnější, u malých dětí může navíc negativně ovlivňovat osvojování řeči. [12]

2 MĚŘENÍ HLUKU

Měření hluku se řídí mnoha normami a nařízeními, s ohledem na prostředí a účel měření. V této práci je primárně věnována pozornost měření hluku v městském prostředí a následné zpracování dat do hlukové mapy.

2.1 Hlukoměry

Pro měření hluku lze užít různé měřicí přístroje. Pro získání dat pro následnou tvorbu hlukových map lze použít zvukoměry. Součástí každého zvukoměru je efektovací obvod, neboť běžně se vyskytující zvuky jsou zvuky převážně složené, ne harmonické, díky tomuto obvodu tedy získáme efektivní hodnotu signálu. Další důležitou součástí je integrační obvod, který nám pomáhá měřit hodnotu signálu a určitý časový interval podle své charakteristiky. Užívány jsou celkem tři druhy charakteristik, jimiž jsou:

- S(slow) - vyhodnocuje signál za jednu sekundu
- F(Fast) - pracuje s 200 ms
- I(impulse), která pracuje nesymetricky s náběhovou dobou 35 ms a dobou dopadu 2s.

Jelikož má lidský sluch velmi specifické vlastnosti, pracují zvukoměry s různými váhovými filtry, aby se jim co nejlépe přiblížili. Frekvenční charakteristika váhových filtrů pod označením A, B, C je přizpůsobena tak, aby odpovídala křivkám stejné

hlasitosti pro 40, 70 a 100 dB. V současnosti je nejvíce používán váhový filtr A s definovaným rozsahem kmitočtů od 10 Hz do 20 kHz.

Pro měření ve venkovních prostorech se striktně používají zvukoměry, které svými vlastnostmi vyhovují požadavkům ČSN, převážně s uplatněním váhového filtru typu A a dynamickými vlastnostmi typu F. Pro úspěšné měření zvukoměrem, je potřeba mikrofón. Nejčastěji se používají kondenzátorové či piezoelektrické mikrofóny. U kondenzátorových je proměňující se akustický tlak registrován pomocí změny napětí na kondenzátoru, které za konstantního náboje odpovídá změnám kapacity, vynucené pohybem elektrody spojené s membránou mikrofónu. Tyto mikrofóny se vyznačují vysokou citlivostí, časovou stálostí parametrů, nízkou úrovní šumu a plochou kmitočtovou charakteristikou. U piezoelektrických je také přítomna membrána, ale ta deformuje krystalový výbrus, na kterém se následně vytváří piezoelektrickým jevem napětí. Tento typ mikrofónů mívá oproti kondenzátorovým vyšší šum a nižší citlivost.[13].

2.2 Náležitosti měření

Pro následnou použitelnost a průkaznost měření je při něm potřeba vyhotovit protokol o průběhu měření, kde budou zaznamenány všechny potřebné údaje stanovené ministerstvem zdravotnictví. Jedná se například o:

- Identifikační údaje – číslo protokolu, přesné určení měřené lokality, datum a doba měření, kdo měří, atd.;
- Použité přístroje – jednoznačné identifikátory použitých přístrojů (název, typ, evidenční číslo atd.);
- Popis měřeného místa – charakteristika místa měření, popis okolí, umístění mikrofónu a jeho zaměření;
- Strategie měření – popis strategie, objasnění postupu;
- Účel měření – určuje strategii měření a způsob hodnocení;
- Použitá metoda měření – popis použitých standardizovaných postupů, odůvodnění použití jiných postupů;
- Podmínky měření – zejména popsat vše, co by mohlo nepříznivým způsobem ovlivnit zdroj hluku a jeho šíření a co by mohlo ovlivnit expozici;
- Deklarace měřených veličin – veličiny přesně dle nařízení vlády, jen relevantní veličiny a hodnoty atd.;
- Meteorologická situace, mikroklimatické podmínky – směr a síla větru, srážky, teplota, vlhkost, při dlouhodobých měřeních v pravidelných časových intervalech;
- Volba délky měřicího intervalu – odůvodnit zejména v případě proměnného hluku;
- Korekce hodnot – při různých vnějších podmínkách, zda bylo použito normování dat či vyřazení hodnot;
- Výsledné hodnoty a prezentace výsledků – výsledná hodnota měřené veličiny dle nařízení vlády přepočítaná na délku posuzovaného referenčního časového intervalu; výsledné hodnoty jsou uváděny v tabulkách, popř. graficky, v případě vyřazení nereprezentativních hodnot, uvést důvod jejich vyřazení atd.;
- Hodnocení a interpretace.[3]

2.3 Postup vlastního měření

Požadavky na měření se odvíjí od prostoru, ve kterém měříme. Zdali se jedná o zastavěné či nezastavěné území.

Měření v zastavěném území

- jednostranně obestavěné komunikace bez souvislé zástavby – vybíráme měřicí místo ideálně 2 m (minimálně 1 m) od fasády přilehlé nesouvislé zástavby, na neobestavěné straně pak ve vzdálenosti 25 m od osy nejbližšího dopravního pruhu komunikace.
- jednostranně obestavěné komunikace se souvislou zástavbou – v tomto případě vybíráme taktéž měřicí místo přednostně 2 m (minimálně 1 m) od fasády přilehlé souvislé zástavby, na neobestavěné straně ve vzdálenosti 25 m od osy nejbližšího dopravního pruhu komunikace;
- oboustranně obestavěné komunikace bez souvislé zástavby – zde volíme měřicí místo 2 m (nejméně 1 m) od fasády přilehlé nesouvislé zástavby či na hranici pozemku, vybíráme rovný úsek bez stoupání na straně komunikace, kde je vzdálenost od dopravního pruhu menší nebo v místech stoupání na straně stoupacího pruhu;
- oboustranně obestavěné komunikace se souvislou zástavbou – v tomto případě volíme přednostně místo měření 2 m (nejméně 1 m) od fasády souvislé zástavby, a to: v rovném úseku bez stoupání na straně komunikace, kde je vzdálenost od dopravního pruhu menší nebo v místech stoupání na straně stoupacího pruhu [2],[19].

Měření v nezastavěném území

Měřicí místa jsou na obou stranách komunikace ve vzdálenosti 25 m, resp. 7,5 m od osy krajního jízdního pruhu. Skutečnou vzdálenost volíme podle účelu měření. Počet měřicích míst je udán minimální podmínkou minimálně jednoho výsledku z každého místa se změnou intenzity či změnou druhu krytu vozovky, počtu jízdních pruhů, sklonu nivelety či charakteru okolní výstavby, [2],[19].

Umístění mikrofону

Pokud vytváříme hlukové mapy nebo měříme hluk dopravy, umístíme mikrofón před plochu odrážející hluk do výšky 3,0 m až 3,5 m. Pokud zjišťujeme vliv hluku na osoby ve venkovním prostoru, umístíme mikrofón do výšky 1,2 až 1,5 m. Mikrofón umístíme tak, že osa nejvyšší citlivosti mikrofónu je kolmá na podélnou osu komunikace a rovnoběžná s povrchem terénu.[2] Hodnoty hluku jsou zaznamenávány a vyjadřovány pomocí hladiny akustického tlaku v decibelech. Hodnotíme ekvivalentní hladinu akustického tlaku, hladinu hlukové expozice, maximální hladinu akustického tlaku a dlouhodobou průměrnou ekvivalentní hladinu. [2], [23]

Doba měření

Volba vhodné doby měření je klíčová pro vypovídající schopnost výsledků. Měření je dle doporučení vhodné provádět od března do června a od září do října, a to pokud možno v pracovní dny od úterý do čtvrtka, při podmínce, že den před či den po měření nebyly dny pracovního klidu. V potaz je třeba brát i meteorologické podmínky. Vozovka by neměla být příliš mokrá, ani pokrytá vrstvou sněhu či ledu. Omezujícími faktory jsou též teplotní inverze a rychlost větru vyšší než 5 m/s. Podle požadavku na dosažení třídy přesnosti volíme dobu a minimální trvání měření. Přesnost měření určuje směrodatná odchylka měření. Pro běžnou třídu přesnosti je hodnota směrodatné odchylky = 3,0, pro technickou třídu přesnosti = 2,0.

V tabulkách 2.2 je uvedena názorná ukázka dob měření pro technickou třídu přesnosti ve dne kde T představuje dobu měření a t minimální délku měření. Měření v denní době se uskutečňuje v dopoledních či odpoledních hodinách, v noci se měří v obou jejích polovinách. V tabulce 2.1 jsou údaje pro běžnou třídu přesnosti.

Tabulka 2.1 Doba a délka měření pro běžnou třídu přesnosti.

Intenzita provozu počet vozidel / 24 h	T[h]	t[min]	T[h]	t[min]
	denní doba			
méně než 720	6:00 - 14:00	480	14:00-22:00	480
720 - 2400	8:00 - 12:00	60	13:00 - 17:00	60
2401 - 12 000	8:00 - 12:00	30	13:00 - 18:00	30
12 001 a více	7:00 - 12:00	15	12:30 - 19:00	15
	noční doba			
méně než 720	22:00 - 24:00	120	0:00-6:00	360
720 - 2400	22:00 - 24:01	60	0:00-6:00	60
2401 - 12 000	22:00 - 24:02	30	0:00-6:00	60
12 001 a více	22:00 - 6:00	60		

Tabulka 2.2 Doba a délka měření pro technickou třídu přesnosti.

Intenzita provozu počet vozidel / 24 h	T[h]	t[min]	T[h]	t[min]
	denní doba			
méně než 720	6:00 - 14:00	480	14:00-22:00	480
720 - 2400	8:00 - 12:00	120	13:00 - 17:00	120
2401 - 12 000	8:00 - 12:00	60	13:00 - 18:00	60

12 001 a více	7:00 - 12:00	30	12:30 - 19:00	30
	noční doba			
méně než 720	22:00 - 24:00	120	0:00-6:00	360
720 - 2400	22:00 - 24:00	120	0:00-6:00	360
2401 - 12 000	22:00 - 24:00	120	0:00-6:00	120
12 001 a více	22:00 - 6:00	60		

2.4 Hygienické limity

Nejvyšší přípustné hladiny hluku jsou stanoveny v nařízení vlády č. 272/2011[14], o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací a kontrolovány ministerstvem zdravotnictví, respektive jednotlivými hygienickými stanicemi. Nařízení stanoví hygienické limity hluku a vibrací na pracovištích, hygienické limity vibrací pro chráněné vnitřní prostory staveb a hygienické limity hluku pro chráněný venkovní prostor, chráněné venkovní prostory staveb a chráněné vnitřní prostory staveb. Podrobněji z tohoto nařízení uvádím část o hygienických limitech hluku venkovních prostor. Nařízení stanovuje, že hodnoty hluku, s výjimkou vysokoenergetického impulsního hluku, se vyjadřují ekvivalentní hladinou akustického tlaku $A_{L_{Aeq,T}}$. Pro hluk z dopravy na pozemních komunikacích, vyjma účelových komunikací, je zde předepsána ekvivalentní hladina akustického tlaku pro celou denní dobu $L_{Aeq,16h}$ a celou noční dobu $L_{Aeq,8h}$. [14] Hygienický limit ekvivalentního akustického tlaku, vyjma hluku způsobeného leteckým provozem a vysokoenergetického impulsního hluku, je určen součtem základní hladiny ekvivalentní hladiny akustického tlaku $A_{L_{Aeq,T}} = 50$ dB a příslušnou korekcí, a to podle druhu chráněného prostoru a denní či noční době. Při měření v noční době pro chráněný venkovní prostor staveb je přičtena korekce -10dB, pouze u hluku z železniční dopravy je používána korekce -5 dB. Veškeré korekce se nikterak nesčítají[14]. Korekce pro chráněné prostory jsou vypsány v tabulce 2.3[2],[3].

Tabulka 2.3 Korekce

Druh chráněného prostoru	1)	2)	3)	4)
chráněný venkovní prostor staveb lůžkových zdravotnických zařízení	-5	0	5	15
chráněný venkovní prostor lůžkových zdravotnických zařízení včetně lázní	0	0	5	15
chráněný venkovní prostor ostatních staveb	0	5	10	20

Jednotlivé stupně korekcí z tabulky 2.3:

1) Použije se pro hluk z provozu stacionárních zdrojů, hluk z veřejné produkce hudby, dále pro hluk na účelových komunikacích a hluk ze železničních stanic a zajišťujících

vlakotvorné práce, zejména rozřadování a sestavu nákladních vlaků, prohlídku vlaků a opravy vozů.

2) Použije se pro hluk z dopravy na silnicích III. třídy a místních komunikacích III. Třídy a dráhách.

3) Použije se pro hluk z dopravy na dálnicích, silnicích I. a II. třídy a místních komunikacích I. a II. třídy v území, kde hluk z dopravy na těchto komunikacích je převažující nad hlukem z dopravy na ostatních pozemních komunikacích. Použije se pro hluk z dopravy na dráhách v ochranném pásmu dráhy.

4) Použije se v případě staré hlukové zátěže z dopravy na pozemních komunikacích s výjimkou účelových komunikací a dráhách uvedených v bodu 2) a 3). Tato korekce zůstává zachována i po položení nového povrchu vozovky, prováděné údržbě a rekonstrukci železničních drah nebo rozšíření vozovek při zachování směrového nebo výškového vedení pozemní komunikace, nebo dráhy, při kterém nesmí dojít ke zhoršení stávající hlučnosti v chráněném venkovním prostoru staveb nebo v chráněném venkovním prostoru, a pro krátkodobé objízdné trasy. Tato korekce se dále použije i v chráněných venkovních prostorech staveb při umístění bytu v přístavbě nebo nástavbě stávajícího obytného objektu nebo víceúčelového objektu nebo v případě výstavby ojedinělého obytného, nebo víceúčelového objektu v rámci dostavby proluk, a výstavby ojedinělých obytných nebo víceúčelových objektů v rámci dostavby center obcí a jejich historických částí[3]..

3 HLUKOVÉ MAPY V GIS

3.1 GIS

Geografické informační systémy (GIS) jsou nástroje pro popis a zkoumání životního prostředí na základě geograficky uspořádaných a zobrazených dat. Ač existuje mnoho geografických informačních systémů, všechny mají podobnou strukturu. Základem je hardware, i když v dnešní době se již nemusí přímo modelovat, ale může sloužit jen pro zobrazení modelu, který je spočítán na virtuální stanici v síti. Další součástí je vhodný software, podkladové mapy, a databáze dat. Propojení naměřených např. zvukových dat a podkladové mapy probíhá nejčastěji pomocí metadat u zvukových dat v podobě dat GPS.[10] Jedním z rozšířených systémů je systém ArcGis vyvíjený společností Esri. Systém ArcGIS má několik distribucí, a to pro stolní počítače - Desktop ArcGis, pro mobilní zařízení - ArcGIS Mobile, ArcPad, ArcGIS for Smartphone, serverovou distribuci vhodnou pro sdílení dat - ArcGIS Server a v neposlední řadě GIS pro vývojáře – ArcGIS Engine, [18].

ArcGIS Desktop

ArcGIS desktop, má několik licenčních úrovní, Základní ArcView, pokročilejší ArcEditor a nejvyšší verzi ArcInfo. V rámci své práce jsem se seznámil s ArcView, což

je dostatečný nástroj pro zobrazování, analýzu, a tvorbu map, se základními nástroji pro tvorbu správu a editaci geodat. ArcGis se skládá ze základních vzájemně propojených modulů ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox a ModelBuilder.

ArcMap – je ve všech produktových úrovních hlavní aplikací ArcGIS Desktop. Zobrazuje geografická data, kdy pracuje s geografickými vrstvami, a výkresy mapy, kdy používá mapové stránky obsahující nejen rámce geografických dat, ale také mapové prvky.

ArcCatalog – je část organizující a správu dat GIS. Umožňuje prohlížení a vyhledávání geografických informací, export a import schémat a návrhů geodatabáze, zaznamenávání, prohlížení a správu metadat, definování.

ArcToolbox – obsahuje nástroje pro zpracování prostorových dat, (geoprocessing), vektorovou analýzu, statistickou analýzu, geokódování, konverzi dat atp.

ModelBuilder – umožňuje grafické modelování návrhů a modelů při zpracování prostorových dat. Jelikož se GIS používají pro velké množství úkolů, lze je doplnit o různé nadstavby a plug-iny, u ArcGIS Desktop jsou to konkrétně: ArcGIS 3D Analyst, ArcGIS Spatial Analyst, ArcGIS Geostatistical Analyst, ArcGIS Tracking Analyst atp.

Rozšiřující moduly ArcGIS

Rozšiřující moduly, ke kterým mají přístup studenti ÚBMI jsou Spatial Analyst a Geostatistical Analyst, a 3D Analyst.

Geostatistical Analyst

Spatial Analyst je nástroj pro analýzu dat a práci s geografickými daty jak v rastrové, tak vektorové podobě. Umí pracovat s kontinuálně se měnícími veličinami, například teplotou, srážkami, aj. Jako interpolační metody používá IDW, Spline, Kriging nebo Topo To Raster. Je možné zde vytvářet dynamické, např. hydrologické modely. Dokáže také převádět data z vektorového formátu na rastrový a opačně.

3D Analyst

Umí vytvářet 3D modely krajiny a to na základě trojúhelníkového modelu reliéfu, do kterého mohou být zasazeny další 3D objekty jako budovy apod. Umožňuje bohatou práci s reliéfem včetně stínování reliéfu, analýzu viditelnosti, výpočtu sklonu apod.

3.2 Hlukové mapy

Hlukové mapy jsou vizuálním vyjádřením hlukové situace v dané lokalitě. Díky hlukovým mapám lze odhalit různá překročení limitů a lépe tak chránit člověka před

negativními účinky hluku. Mapování hluku se používá v různých situacích, což způsobuje, že nestačí jeden druh hlukových map:

- rozdílová - tento typ hlukové mapy se používá pro zobrazení rozdílů, například před zavedením a po zavedení protihlukových opatření
- pásmová plošná – své využití najde, pokud zkoumáme plošné zasažení území hlukem. Pro lepší orientaci se mezi dělicími hranicemi může na základě limitů vytvářet tzv. semaforové zobrazení situace, tedy území s podlimitním hlukem zelenou barvou, území zatížené hraniční hodnotou oranžově a území zatížené nadlimitním hlukem je značeno červeně.
- bodová - místní akustická situace se zkoumá na základě definovaných výpočtových bodů před fasádami jednotlivých objektů, dopočítané body jsou 2 metry od fasády a značí se barevnou škálou rozlišující změnu hluku o pět decibelů
- emisní - vzniká na základě měření dopravního hluku a to v referenční vzdálenosti 7,5m od osy komunikace. Výstupem je barevné rozlišení komunikace na základě jejího zatížení, nejčastěji v základním rozlišení 5dB.[3]

V České republice je tvorba hlukovým map povinná na základě přejaté evropské legislativy, podobně jako v ostatních členských zemích Evropské unie.[22] V současné době jsou hlukové mapy vytvořeny v České republice pro města Brno, Ostrava a Praha, pro takřka celou dálniční síť, vybrané úseky silnic první třídy, Letiště Václava Havla v Praze a pro většinu železničního koridoru Ostrava - Praha. Všechny tyto mapy jsou jak v noční, tak v denní variantě. Tyto hlukové mapy vznikly na základě zákona č. 258/2000 Sb.,[21] a směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES,[22] aplikované do českého práva vyhláškami ministerstva zdravotnictví č. 523/2006 Sb.[19], a Vyhláškou č. 561/2006 Sb.[12] Tyto předpisy stanovily povinnost tvorby hlukových map pro jimi definovaná území. Kromě měst s již vytvořenou mapou se jedná o aglomeraci Ústí nad Labem - Teplice, aglomerace Plzeň, Liberce, Olomouce, tedy aglomerací, kde žije více než 100000 lidí. Hlukovým mapováním se ve smyslu těchto předpisů rozumí prezentace údajů o stávající hlukové situaci s použitím hlukového ukazatele, které ukazují překročení příslušné mezní hodnoty, údaje o počtu osob a staveb pro bydlení, škol, školských poradenských zařízení, školských zařízení pro zájmové a další vzdělávání, školských výchovných a ubytovacích zařízení, zařízení školního stravování, diagnostických ústavů, dětských domovů, dětských domovů se školou, výchovných ústavů, středisek výchovné péče a nemocnic vystavených definovaným hodnotám hlukového ukazatele v oblasti, pro kterou se zpracovává hluková mapa. Strategické hlukové mapy pro aglomerace se zaměřují na hluk způsobený: provozem na hlavních pozemních komunikacích, provozem na hlavních železničních tratích, provozem hlavních letišť, integrovanými zařízeními. Vyhláška 523/2006 také stanovuje mezní hodnoty hluku a to pro den - L_d , pro večer - L_v , pro noc L_n a pro den, večer a noc - L_{dvn} , kdy den trvá od 6:00 do 18:00 hodin, večer od 18:00 do 22:00 hodin a noc od 22:00 do 6:00. Pro L_{dvn} toto nařízení stanoví mezní hodnotu 70 dB a pro L_n stanovuje mezní hranici 60 dB.[3], [19]

4 TVORBA HLUKOVÉ MAPY

4.1 Vybavení pro měření

Data pro hlukovou mapu byla registrována zvukoměrem Minilyzer ML1 od firmy NTI (viz obr. 4.1), který je mimo jiné mnohé funkce schopen zaznamenávat přímo ekvivalentní hladiny hluku pro dobu měření. K přístroji byl připojen všesměrový kondenzátorový mikrofón mini SPL. Obě tyto komponenty byly nabíjeny AA bateriemi. Citlivost mikrofónu mini SPL je $20 \pm 2 \text{ mV/Pa}$ a společně se zvukoměrem dokáže pracovat v teplotních podmínkách od 0°C do 45°C , a při vzdušné vlhkosti do 90%.



Obr. 4.1 Mininlizer s mikrofonem a GPS

Aby bylo následně možné určit přesnou polohu měření a tento bod propojit s mapovým podkladem, byla použita metoda georeferencování, kdy byla pozice každého bodu měření zjištěna pomocí přístroje Garmin GPSmap 60CSx (obr. 4.1). Při zaznačování měřených bodů do paměti přístroje tento přístroj udával přesnost určení polohy v rozsahu 3 metrů. Dále byl při měření použit stativ pro držení zvukoměru, anemometr pro kontrolu rychlosti větru, ruční meteostanice pro určení teploty, vlhkosti vzduchu, atmosférického tlaku. Tyto údaje byly vždy konzultovány s aktuálními daty nejbližší meteorologické stanice ČHMÚ v Popůvkách.

4.2 Popis prostoru pro měření

Jelikož měření hluku mělo proběhnout v městském prostředí, byla po domluvě s vedoucím práce zvolena lokalita v městě Rosice u Brna, kde byly před časem na okraji

města postaveny nové řadové domy, v bezprostřední blízkosti průmyslové zóny a nedaleko silnice první třídy I/23. Na malém území (viz obr 4.2) tak vedle sebe jsou klidné lokality bydlení v řadové zástavbě, průmyslová zóna, nákupní zóna a rušná silnice I/23, Rosicemi vedená jako ulice Brněnská. Pro měření byla teda zvolena ulice Malackova v této nové zástavbě, Ulice Janáčkova pro srovnání hodnot v sousední staré zástavbě, blízká silnice první třídy, označena jako Brněnská, okolí průmyslového areálu včetně slepé části ulice Brněnské, ulice Průmyslové a pro vypovídající mapu ještě potřebná část ulice U Boží Muky a celé ulice Kolesova a Vaňurova. V ulicích Malackova, Vaňurova a Kolesova, je dopravním značením vyznačena obytná zóna, nejvyšší povolená rychlost je zde tedy 20 km/h. V ostatních ulicích je povolena maximální rychlost 50 km/h. U žádné z místních komunikací nebyla známa statistika průjezdu vozidel, s výjimkou ulice Brněnské, kde v součtu za pracovní den projede cca 14 tisíc vozidel. Kromě tohoto významného potencionálního zdroje hluku v lokalitě, je také benzinová stanice, již zmíněný průmyslový areál a parkoviště u diskontů. Na ulici Brněnské je taky kruhový objezd, před kterým brzdí řidiči na příjezdu do Rosic, což může také ovlivňovat hladinu hluku. V části průmyslového areálu se pracuje na směny během celého dne po celý týden. Ulice Malackova je vydlážděna betonovými kostkami a lze tedy předpokládat rozdílnou hlučnost oproti asfaltovým povrchům. Na druhou stranu na ulici Janáčkově u bodu 6 je retardér, který také místně zvyšuje hlučnost a ulice je na rozdíl od Malackovy tranzitní pro obyvatele dalších přilehlých ulic. Křižovatka ulic Brněnská a Janáčkova je velmi frekventovaná, neboť se zde tranzitní doprava dělí do dvou směrů, jednak dále na západ po ulici Brněnské směrem na Zastávku a Třebíč a pak část tranzitní dopravy odbočuje směrem na jih na Tetčice a Ivančice. Výjezd od Ivančic a Tetčic je na ulici Brněnskou do kopce, což hlavně u rozjezdů nákladních vozidel zvyšuje jejich hlučnost.



Obr. 4.2 Měřená lokalita v Rosicích u Brna

4.3 Průběh a výsledky měření

Měření probíhalo za korektních podmínek, tedy vždy při rychlosti větru do 5 m/s, při suchých vozovkách a v případě cíleného měření v pracovní dny ve dnech nenavazující na dny nepracovní, stejně tak v případě nočního měření, víkendové měření nebylo prováděno v neděli odpoledne, kdy se doprava v rosidích krátkodobě zvýší, vlivem velkého počtu lidí přesouvajících se z jižní Vyšochiny a Jižních Čech zpět do Brna a okolí. Z důvodu pouze jednoho měřicího přístroje a neznalosti statistik o dopravě na většině komunikací, či přesného pracovního rozvrhu firem v průmyslové zóně, bylo provedeno měření na 23 optimálních bodech v půlhodinových intervalech. Aby měření v jednotlivých bodech bylo následně srovnatelné, byl zvolen interval měření vždy od 9:15 do 15:30, tedy čas mezi úzkými dopravními špičkami, respektive pro noční měření od 22:30 do 4:30. Vlivem množství měřených míst a ne vždy optimálního počasí se měření odehrálo ve víc dnech, a to pro den 19, 20, 21 a 26 května, pro noc z 19. na 20. a z 20 na 25. května 2015. Srovnávací víkendové měření, tedy v nepracovní dny, bylo provedeno 23. a 24. května 2015. Mikrofon byl vždy umístěn na stativu ve výšce 1,5 metru, a to v pozicích odpovídajících normám. Poloha měřených bodů je znázorněna na obrázku 4.2. Uvedené naměřené hodnoty, respektive ekvivalentní hladiny hluku pro 30 minut, byly zpracovány pomocí programů ArcView a ArcCatalog. Po převedení bodu zaznamenaných v GPS přístroji v souřadnicovém systému World Geodetic System 1984 – WGS84 do systému shodným se systémem s ortofotomapou S-JTSK byly k měřeným bodům přidány jejich hodnoty $L_{Aeq0,5}$, a vytvořeny hlukové mapy pro jednotlivá měření, a to pomocí splinu (viz obr. 4.3 a obr. 4.4). Pro vytvoření hlukových map byly jako podklad použity mapové podklady, na které byla zakoupena licence od Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního.

Pro lepší přehlednost byly ortofotomapy nahrazeny neprůhlednou hlukovou mapou, na které byly další dvě vrstvy, a to konkrétně domy a ulice. Ulice jsou v mapě popsány svým názvem. ArcView nabízí široké možnosti práce s daty a mapovými podklady. U jednotlivých vrstev si tak lze volit různé parametry zobrazení. Při tvorbě hlukových map, přičemž je v běžném kontextu myšleno při strategickém hlukovém mapování dle evropské směrnice, se výsledná vrstva vzniklá interpolací hlukových dat volí neprůhledná. Strategické hlukové mapování se totiž, jak již bylo zmíněno výše, provádí pro poměrně velká území, jelikož se jedná o velké aglomerace a hlavní silniční a železniční mapy. V případě této práce byly však vytvořeny hlukové mapy poměrně malého území, na kterém lze i při celkovém zobrazení sledovat vliv kulturní krajiny a městské zástavby na šíření hluku, proto jsem také pro porovnání u hlukové mapy z nepracovního dne, které se v rámci strategických hlukových map nevytváří, zvolil též částečně transparentní zobrazení hlukové mapy nad ortofoto mapou. Při zobrazení většího území, by se však toto zobrazení s mnoha podobnými odstíny stávalo oproti neprůhledným hlukovým mapám, které obsahují méně a lépe odlišených barev, hůře zřetelné a tedy i hůře interpretovatelné. Na tomto malém území jsem si také mohl dovolit u mapy nepracovního dne na mapu přidat kromě názvů ulic i čísla popisná jednotlivých domů, aniž by to ubíralo na přehlednosti mapy. Takto detailní rozlišení jednotlivých staveb by u celých aglomerací nedávalo smysl, ale v rámci šíření hluku mezi několika

málo ulicemi je tento pohled přínosný. Zároveň u této mapy pro nepracovní den (obr 4.5) bylo voleno jemnější rozlišení decibelové stupnice, a to 2 dB, oproti obvyklým 5 dB u strategických hlukových map.

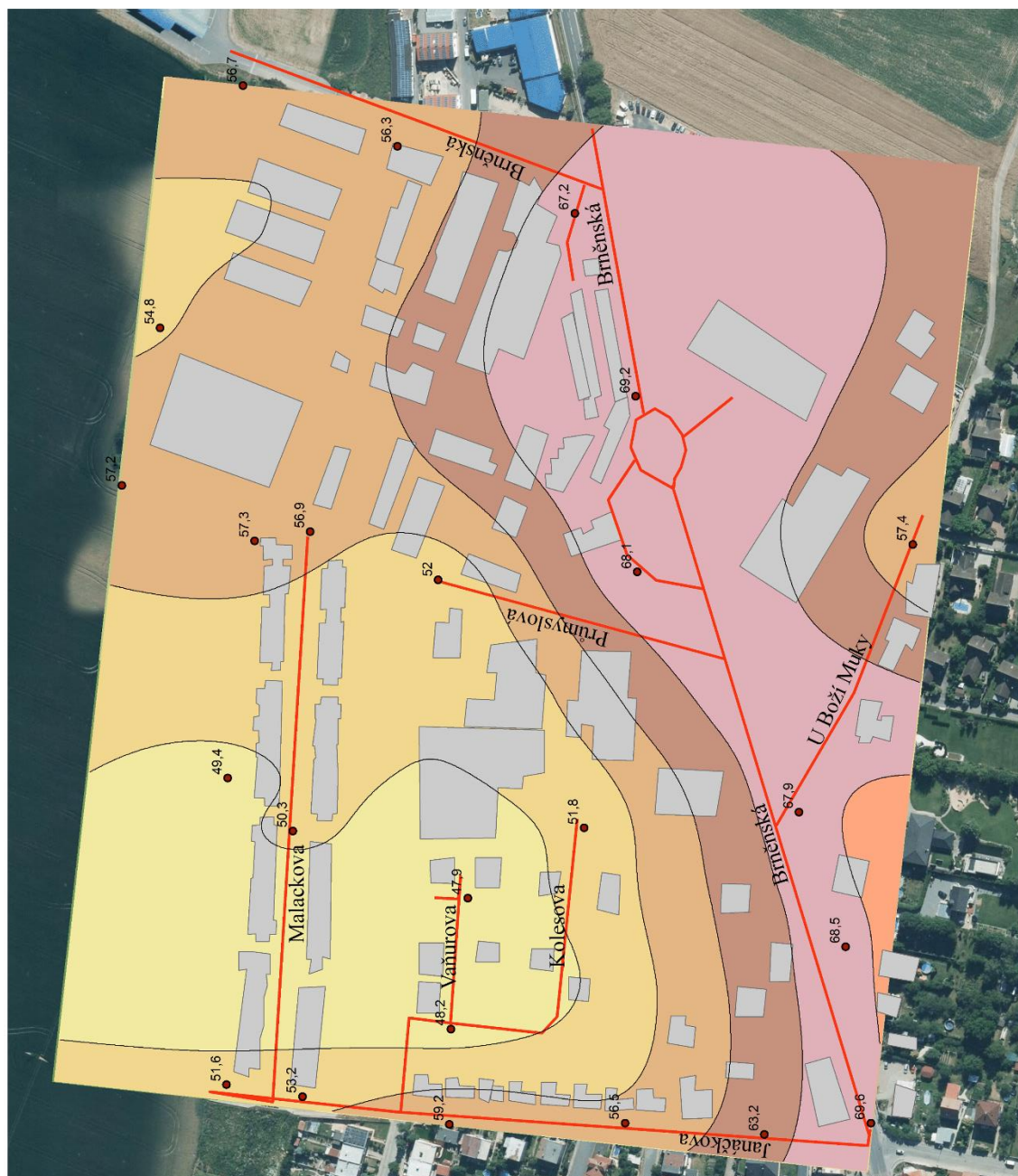
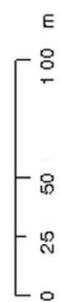
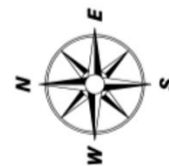
Tím, že hlukové mapování proběhlo na poměrně malém území, a s relativně malým počtem měřených bodů, je na všech mapách, zvláště kolem jejich krajů, patrné zvýšení hladin hluku. Dobře viditelný je tento efekt v jihovýchodním rohu mapy pod bodem 21, kdy se nejvyšší hladiny hluku nenachází jen v oblasti vytížené silnice I/23, v obci pod jménem Brněnská, ale i jižně od ní, kde však již není žádný měřený bod, lze tedy předpokládat, že vzhledem k charakteru zástavby, obchodní zóna, by se po změření hodnot v této oblasti hluková mapa změnila, maxima by se přesunula přísněji do okolí ulice Brněnské. Na mapách je vidět, že dominantním zdrojem hluku, hlavně z jižní strany měřené oblasti je silnice první třídy I/23, a to ať už v noci, ve dne, či v nepracovní den. Hlučnější místa na této silnici jsou před kruhovým objezdem, na příjezdu do Rosic, kde auta dobrždí a následně se rozjíždějí na kruhový objezd, a též na křižovatce s Janáčkovou ulicí, kde velké množství aut odbočuje na Ivančice či Tetčice nebo z těchto směru přijíždí. Hluk v oblasti nově vystavěných domů v Malackově ulici je nižší (v centrální části), či v blízkosti průmyslové zóny srovnatelný svou hladinou s hlukem zaznamenaným ve staré zástavbě na ulici Janáčkova. V případě slepé Malackovy ulice by však být předpoklad jiný, mělo by zde totiž jezdit méně aut. Průmyslová zóna je svému okolí zdrojem hluku, a to jak ve dne, tak i v noci. Je však menším zdrojem hluku než ulice Brněnská pro své okolí, kde však také během měření nebyl překročen příslušný hlukový limit pro silniční dopravu. Průmyslová zóna dle map nezatěžuje hlukem novou ulici Malackovu více, než je dopravním hlukem zatížena ulice Janáčkova, kterou jsme proměřili právě pro srovnání s Malackovou. Kromě nočních hodnot vychází jako nejméně zasažená hlukem ulice kolem ulic Vaňurova a Kolesova. Toto je dáno tím, že přímo na těchto ulicích je jen několik málo domů a celá oblast leží v jakémsi vnitrobloku chráněna domy kolem ostatních ulic.

Hluková mapa

Rosice u Brna - pracovní den

Proměřené ulice
 - Brněnská(část)
 - Janáčkova
 - Kolesova
 - Malackova
 - Průmyslová
 - U Boží Muky(část)
 - Vaňurova

Ekvivalentní hladina hluku(dB)



Obr. 4.3 Hluková mapa Rosice - pracovní den



Obr. 4.4: Hluková mapa - Rosice - noc mezi pracovními dny

Hluková mapa

Rosice u Brna - nepracovní den

Proměřené ulice

- Brněnská(část)
- Janačkova
- Kolesova
- Malackova
- Průmyslová
- U Boží Muky(část)
- Vaňurova

Legenda - Ekvivalenční hladina akustického tlaku [dB]

43,66461563 - 46
46,000000001 - 48
48,000000001 - 50
50,000000001 - 52
52,000000001 - 54
54,000000001 - 56
56,000000001 - 58
58,000000001 - 60
60,000000001 - 62
62,000000001 - 64
64,000000001 - 66
66,000000001 - 68



Obr. 4.5 Hluková mapa- nepracovní den, částečně transparentní

5 ZÁVĚŘ

Obsahem této bakalářské práce bylo seznámení se s teoretickými základy z oblasti zvuku, akustiky, hluku, hlukových map, ale hlavně tvorba reálné hlukové mapy. Pro tvorbu hlukových map byla zvolena lokalita v městě Rosice u Brna.

V počáteční fázi práce jsem se věnoval dostatečnému porozumění teorii zvuku, jeho šíření různými prostory, hluku a jeho vlivu na člověka, což je téma stále velmi studované a rozvíjející se; dále porozumění teorii prostorové akustiky, metodiky měření zvuku, respektive hluku a příslušným hygienickým limitům. Dále byly popsány příslušné hygienické limity a metodiku tvorby hlukových map. Hlukové mapy byly pomocí ArcGis a ArcCatalog vytvořeny pro pracovní den, nepracovní den, a noc mezi pracovními dny. Mapa zahrnuje, oblast ulice Malackovy, Janáčkovy, Kolesovy, Vaňurovy, U Boží Muky, Průmyslové a části Brněnské, a to od křižovatky s Janáčkovou po výjezd z Rosic, směrem na Brno. Hlavními zdroji hluku je zde ulice Brněnská, tedy silnice I/23 a poté průmyslový areál. Při měření se překročení příslušných limitů neprokázalo, avšak na několika místech byly naměřené hodnoty velice blízko hygienickým limitům. Vzhledem k tomu, že každý bod byl měřen právě 30 minut, je možné, že pokud by měření probíhalo delší dobu, a to i během dopravních špiček, došlo by k překročení hygienických limitů.

V rámci práce lze též srovnat mapy pracovního dne a noci mezi pracovními dny, které, jsou tvořeny s důrazem na maximální podobnost se strategickými hlukovými mapami a hlukovou mapou nepracovního dne, která je graficky mírně odlišná a přizpůsobena dobrému rozlišení a porozumění hlukové situace na malém území.

LITERATURA

- [1] BABISCH, W. *Road traffic noise and cardiovascular risk*. Noise & Health, 2008, roč. 10, č. 38, s. 27-33.
- [2] BERAN, V. *Chvění a hluk*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2010, 200 s., ISBN 978-80-7043-916-6
- [3] DUDOVÁ, J., *Právní aspekty ochrany veřejného zdraví před environmentálním hlukem*. Brno: Masarykova univerzita, 2013, 240 s., ISBN 978-8010-6522-2
- [4] EUROPEAN CENTRE FOR ENVIRONMENT AND HEALTH. *Night Noise Guidelines for Europe* [online]. World Health Organization, 2007 [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: http://ec.europa.eu/health/ph_projects/2003/action3/docs/2003_08_frep_en.pdf
- [5] HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J.: *Fyzika*. Brno: VUTIUM. 2000. 1198 s. ISBN 80-214-1868-0
- [6] HRAZDIRA, I., MORNSTEIN, V.: *Lékařská biofyzika a přístrojová technika*. Brno: Neptun. 201, 380 s. ISBN 80-9022896-1-4
- [7] KŘIVÁNEK, V., *Metodika pro měření a hodnocení komunikací z hlediska hlukové zátěže*. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., 2014, 55 s. ISBN 978-80-8650282-3
- [8] LÁDYŠ, L.: *Hlukové mapy v ČR. Zatížení vnitřního města individuální automobilovou dopravou – zapojení občanů do řešení této problematiky*. Praha 19. - 20. května 2005. Sborník [online]. 2005, [cit.30.12.2014]. Dostupné z: <http://www.sospraha.cz/doprava/seminar05/soubory/hlukove-mapy-Ladys.doc>.
- [9] MÜLLER, G., MÖSER, M. *Handbook of Engineering Acoustics*. Berlin: Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 2013, ISBN 978-3-540-24052-5
- [10] NOVOTNÁ, M., ČECHUROVÁ, M., BOUDA, J. *Geografické informační systémy ve školách*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, s.r.o., 2012, 154 s., ISBN 978-80-7380-385-8
- [11] NOVÝ, R. *Hluk a chvění*. Praha: ČVUT, 2009, 400s. ISBN 978-80-01-04347-9
- [12] ROZMAN, J., SADOVSKÝ, P., ČERMÁK. *Diagnostika životního prostředí*. Brno: VUT FEL., 2000, 136 s. ISBN 80-214-1771-4
- [13] SMETANA, C. a kol.: *Hluk a vibrace Měření a hodnocení*. Praha: Sdělovací technika. 1998. 188 s. ISBN 80-901936-2-5
- [14] SILBERNAGEL, S., DESPOPOULOS A.: *Atlas fyziologie člověka*. Praha: Grada Publishing. 2010, 117 s., ISBN 978-80-210-5283-3
- [15] TOMAŠIČ, P., RYCHTÁŘIKOVÁ, M., DLHÝ, D., GAŠPAROVIČOVÁ, V., *Akustika budov: priestorová akustika*. Bratislava: STU v Bratislave, 2010, 288 s. ISBN 978-80-227-3235-2
- [16] TUČEK, M., CIKRT, M., PELCLOVÁ, D., *Pracovní lékařství pro praxi*. Praha: Grada Publishing, 2005, 344 s., ISBN 80-247-0927-9
- [17] VAŇKOVÁ, M. a kol.: *Hluk, vibrace a ionizující záření, část I*. Brno: VUT. 1995. 140 s. ISBN 80-214-0695-X
- [18] ARCDATA PRAHA S. R. O. ArcGIS [online]. Praha: [cit. 30.12.2014]. Dostupné z URL: <<http://www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/software/>>.

- [19] *Vyhláška č. 523/2006 Sb.* [online]. 2006, [cit. 30. 5. 2015]. Dostupné z URL: <<http://portal.gov.cz/>>.
- [20] *Vyhláška č. 561/2006 Sb.* [online]. 2006, [cit. 30. 5. 2015]. Dostupné z URL: <<http://portal.gov.cz/>>.
- [21] *Vládní nařízení č. 258/2000 Sb.* [online]. 2000, [cit. 30. 5. 2015]. Dostupné z URL: <<http://portal.gov.cz/>>.
- [22] *Evropská směrnice 2002/49 ES.* [online]. 2002, [cit. 30. 5. 2015]. Dostupné z URL: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=URISERV:121180/>>.
- [23] VLÁDA ČESKÉ REPUBLIKY: *Nařízení vlády č. 272 ze dne 26. srpna 2011 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací* [online], Praha, 2006. [cit. 30. 5. 2015]. Dostupné z URL: <<http://faolex.fao.org/docs/pdf/cze124913.pdf/>>

SEZNAM PŘÍLOH

A	Návrh zařízení	36
A.1	Protokoly o měření.....	36

A NÁVRH ZAŘÍZENÍ

A.1 Protokoly o měření

Hluková mapa - Bc práce				protokol 1			
autor		Jiří Loka		datum		19.5.2015	
přístroje		Minilizer ML1		čas začátku		12:45	
		mikrofon mini SPL		čas konce		15:30	
		GPS Garmin GPSmap 60CSx		teplota v 12:45		16°C	
		ruční meteostanice		teplota v 15:30		12,5°C	
		ruční anemometr		tlak v 12:45		100035 pa	
		stativ		tlak v 15:30		99839 pa	
				vlhkost v 12:45		27%	
				vlhkost v 15:30		34%	
				rychlost větru - 15:30		3 m/s	
				rychlost větru - 15:30		3 m/s	
				zataženo			
Měřené body		min [dB]	L _{Aeq0,5} [dB]	max [dB]			
1		40,1	57,4	74,6			
2		42,3	67,9	85,2			
3		41,9	68,5	86,7			
4		41,2	69,6	84,2			
5		42,6	69,2	80,4			

Hluková mapa - Bc práce				protokol 2	
autor				datum	
Jiří Loka				19.5. - 20.5.	
přístroje				čas začátku	
Minilizer ML1				22:45	
mikrofon mini SPL				čas konce	
GPS Garmin GPSmap 60CSx				4:35	
ruční meteostanice				teplota v 22:45	
ruční anemometr				11°C	
stativ				teplota v 4:35	
				7°C	
				tlak v 22:45	
				99428 pa	
				tlak v 4:35	
				99640 pa	
				vlhkost v 22:45	
				38%	
				vlhkost v 4:35	
				40%	
				rychlost větru - 22:45	
				2,8 m/s	
				rychlost větru - 4:35	
				1,6 m/s	
				zataženo	
Měřené body	min [dB]	L _{Aeq0,5} [dB]	max [dB]		
1	38,6	43	68,4		
2	39,4	53	74,5		
3	40,2	53,2	75,6		
4	42,3	55,7	70,4		
5	41,8	47,2	67,9		
6	39,8	45,2	63,9		
7	41,6	44,8	79,8		
8	38,7	42,4	54,9		
9	39,5	42,1	46,5		
10	40,3	42,1	51,2		

Hluková mapa - Bc práce				protokol 3	
autor	Jiří Loka			datum	20.5.2015
přístroje	Minilizer ML1			čas začátku	9:30
	mikrofon mini SPL			čas konce	14:30
	GPS Garmin GPSmap 60CSx			teplota v 8:30	14°C
	ruční meteostanice			teplota v 16:00	16°C
	ruční anemometr			tlak v 8:30	100225 pa
	stativ			tlak v 16:00	99985 pa
				vlhkost v 8:30	34%
				vlhkost v 16:00	49%
				rychlost větru - 8:30	0,5 m/s
				rychlost větru - 16:00	4 m/s
				oblačno	
Měřené body	min [dB]	L _{Aeq0,5} [dB]	max [dB]		
1	42,2	58,5	76,2		
2	41,5	59,2	78,6		
3	40,8	48,2	69,3		
4	41,2	47,9	65,2		
5	42	51,8	69,8		
6	41,6	53,2	79,8		
7	41,5	50,3	76,5		
8	43,8	56,9	69,4		
9	40,6	51,6	75,7		

Hluková mapa - Bc práce		protokol 5	
autor		Jiří Loka	
přístroje		Minilizer ML1	
		mikrofon mini SPL	
		GPS Garmin GPSmap 60CSx	
		ruční meteostanice	
		ruční anemometr	
		stativ	
		datum	
		23.5.2015	
		čas začátku	
		8:30	
		čas konce	
		16:00	
		teplota v 8:30	
		12°C	
		teplota v 16:00	
		14°C	
		tlak v 8:30	
		99975 pa	
		tlak v 16:00	
		99430 pa	
		vlhkost v 8:30	
		38%	
		vlhkost v 16:00	
		45%	
		rychlost větru - 8:30	
		2,6 m/s	
		rychlost větru - 16:00	
		3,5 m/s	
		zataženo	

Měřené body	min [dB]	L _{Aeq0,5} [dB]	max [dB]
1	40,2	54,7	78,2
2	39,7	64,7	82,1
3	39	64,9	84
4	42,3	65,2	83,6
5	41	58,8	78,8
6	40,4	54,6	76
7	40,3	51,1	77,9
8	39,6	45,2	74,2
9	38,4	44,6	72,1
10	41,5	53,2	78,4
11	39,8	52,4	79,2
12	42,5	52,4	74,5
13	41,7	54,9	76,4
14	39,4	52,2	69,8
15	38,8	48,9	65,2

Hluková mapa - Bc práce				protokol 6	
autor	Jiří Loka			datum	24.5.2015
přístroje	Minilizer ML1			čas začátku	9:30
	mikrofon mini SPL			čas konce	14:15
	GPS Garmin GPSmap 60CSx			teplota v 9:30	13°C
	ruční meteostanice			teplota v 14:15	15°C
	ruční anemometr			tlak v 9:30	97825 pa
	stativ			tlak v 14:15	95685 pa
				vlhkost v 9:30	35%
				vlhkost v 14:15	49%
				rychlost větru - 9:30	0,2 m/s
				rychlost větru - 14:15	4 m/s
				oblačno	
Měřené body	min [dB]	L _{Aeq0,5} [dB]	max [dB]		
1	40	52,2	70,1		
2	39,5	50,4	66,3		
3	40,3	48,6	65,9		
4	40,5	51,2	72,3		
5	41,6	55,7	80		
6	41,3	64,5	81,6		
7	42,9	65,2	79,6		
8	42,2	65,1	81,5		
9	39,9	52,6	65,3		

Hluková mapa - Bc práce		protokol 7	
autor	Jiří Loka	datum	27.5.2015
přístroje	Minilizer ML1	čas začátku	22:00
	mikrofon mini SPL	čas konce	4:30
	GPS Garmin GPSmap 60CSx	teplota v 22	11°C
	ruční meteostanice	teplota v 4:30	8°C
	ruční anemometr	tlak v 22	97825 pa
	stativ	tlak v 4:30	95685 pa
		vlhkost v 22	32%
		vlhkost v 4:30	36%
		rychlost větru - 22	3m/s
		rychlost větru - 4:30	0.5 m/s
		oblačno	

Měřené body	min [dB]	L _{Aeq0,5} [dB]	max [dB]
1	39,6	44,5	60,1
2	37,2	39	64,8
3	39,2	41,4	59,6
4	38,2	40	49,2
5	35,4	38,3	45,3
6	38,9	42,4	47,4
7	39,6	42,3	46,9
8	38,5	42,2	46,3
9	40,4	45,8	72,4
10	38,8	46,4	68,5
11	39,6	52,2	74,5
12	41,3	54,9	78,9
13	40,1	48,2	73,1
14	38,2	41,6	52,1

Hluková mapa - Bc práce				protokol 8	
autor	Jiří Loka			datum	26.5.2015
přístroje	Minilizer ML1			čas začátku	9:30
	mikrofon mini SPL			čas konce	15:00
	GPS Garmin GPSmap 60CSx			teplota v 9:30	14°C
	ruční meteostanice			teplota v 15:00	17°C
	ruční anemometr			tlak v 9:30	98825 pa
	stativ			tlak v 15:00	100285 pa
				vlhkost v 9:30	38%
				vlhkost v 15:00	36%
				rychlost větru - 9:30	2m/s
				rychlost větru - 15:00	1,5 m/s
				polojasno	
Měřené body	min [dB]	L _{Aeq0,5} [dB]	max [dB]		
1	42,1	49,4	62,8		
2	43,6	57,3	65,4		
3	44,2	57,2	64,6		
4	43,5	54,8	68,3		
5	42,4	56,7	82,8		
6	41,7	56,3	84,6		
7	45,7	67,2	85		
8	43,8	69,2	89,6		
9	41,9	68,1	85,3		
10	43,3	52	79,1		