



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

HLUKOVÁ MAPA V GIS NOISE MAP IN GIS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. THURAYA AWADOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ ROZMAN, CSc.

BRNO 2012

Anotace

Cílem této diplomové práce je vytvoření hlukové mapy v geografickém informačním systému. Nejprve se seznámíme s fyzikálními vlastnostmi zvuku a se základy z oblasti prostorové, fyziologické a atmosférické akustiky. Poté se budeme zabývat hlukem a jeho možnými vlivy na zdraví člověka. Podstatnou část této práce tvoří oblast metodiky měření hluku v městských aglomeracích a problematiku tvorby hlukových map.

Na základě teoretických poznatků bude vhodně zvolena metodika měření hluku ve zvolené oblasti. Hluková mapa bude vytvořena v rámci geografického informačního systému ArcView 9.2 firmy ARCDATA, s. r. o. Výsledná hluková mapa bude porovnána s platnými hygienickými limity. Za účelem srovnání bude diplomová práce doplněna o vyhodnocení hlukové mapy v softwaru CadnaA, který je využíván při profesionálním zpracovávání hlukových studií.

Klíčová slova

zvuk, hluk, hluková mapa, ArcView, CadnaA

Abstract

The aim of this thesis is to create a noise map in a geographic information system. First of all, physical features of sound and the basics concerning the spatial, physiological and atmospheric acoustics domain will be introduced. Furthermore, we will analyse noise and its possible influence on the health of people. Substantial part of this thesis will be devoted to the methodology of noise measurement in urban agglomerations and to the issue of creating noise maps. The methodology of noise measurement in a particular area will be determined on the basis of the theoretical background. Geographic information system ArcView 9.2 from the ARCDATA firm (Ltd.) will be used for creating the noise map. The final noise map will be compared to the current hygienic limits. For comparison reasons an analysis of noise map using software CadnaA, which is used in professional analysis of noise studies, will be included in this thesis too.

Keywords

sound, noise, noise map, ArcView, CadnaA

Bibliografická citace mé práce:

AWADOVÁ, T. *Hluková mapa v GIS*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 68 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Rozman, CSc.

Prohlášení

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

Jako autor(ka) uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil(a) autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl(a) nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

V Brně dne 18. května 2012

.....
podpis autorky

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Rozmanovi, CSc. za přínosné rady, vedení a podporu během vypracovávání diplomové práce. Touto cestou také velmi děkuji panu Mgr. Martinu Bublanovi za velmi přínosné rady z oblasti praktického měření hluku a za pomoc při realizaci diplomové práce. Také bych chtěla poděkovat Ing. Karlu Bubníkovi za trpělivost a ochotu při poskytování přístupu k ArcGIS.

V Brně dne 18. května 2012

.....
podpis autorky

OBSAH

1. ÚVOD	6
2. ZÁKLADY TEORIE ZVUKU A HLUKU	7
2.1 Zvuk	7
2.2 Prostorová akustika	9
2.2.1 Zdroje zvuku	10
2.2.2 Akustická pole	10
2.3 Atmosférická akustika	12
2.4 Fyziologická akustika	12
2.5 Hluk a jeho vliv na zdraví člověka	16
2.6 Metodika měření hluku v městských aglomeracích	19
2.6.1 Měřicí technika	19
2.6.2 Obecné náležitosti protokolů z měření hluku	21
2.6.3 Metodika měření hluku silniční dopravy	22
2.7 Hygienické limity	25
2.8 Hlukové mapy	26
3. GEOGRAFICKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM ArcGIS	29
3.1 Desktop ArcGIS	29
3.2 ArcView	31
3.3 Nadstavby ArcGIS	31
3.3.1 Spatial Analyst	31
3.3.2 Geostatistical Analyst	32
3.3.3 3D Analyst	32
4. REALIZACE MĚŘENÍ	33
4.1 Měřicí komponenty	33
4.2 Analýza dopravní situace	37
4.3 Měření hluku	39
4.4 Meteorologické podmínky	42
5. VYTVOŘENÍ HLUKOVÉ MAPY V ARCVIEW	44
5.1 Stanovení polohy v prostoru	46
5.2 Georeferencování	46
5.3 Vektorizace (digitalizace prostorových dat)	47
5.4 Interpolační metody	48
5.5 Analýza výsledných hlukových map	55
6. VYTVOŘENÍ HLUKOVÉ MAPY V CadnaA	57
7. ZÁVĚR	61
LITERATURA	62
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	65

1. ÚVOD

Hluk patří mezi negativní faktory životního prostředí, které se v současné době dostávají do popředí zájmu. Je to zejména v důsledku rostoucí industrializace, rozšiřující se infrastruktury a hospodářství. Významným činitelem přispívajícím k zvýšené hlukové zátěži je silniční doprava. Stále více se v boji s nadměrným hlukem uplatňuje vytváření hlukových map, a to především hlukových map z dopravy, na které bude tato diplomová práce zaměřena.

V první části této práce se seznámíme s fyzikálními vlastnostmi zvuku a se základy teorie z oblasti prostorové, fyziologické a atmosférické akustiky. Poté se budeme zabývat hlukem a jeho možnými vlivy na zdraví člověka. Abychom získali představu o reálné hlukové situaci v dané lokalitě, je nutné vhodně zvolit metodiku měření hluku. Proto se též podrobně seznámíme s metodikou měření hluku v městských aglomeracích, hygienickými limity a problematikou tvorby hlukových map.

K měření ekvivalentní hladiny hluku a k tvorbě hlukové mapy bude zvolena oblast ulice Hradecké, ulice Podnikatelské a Purkyňovy. Dle metodiky bude proveden záznam o použitém přístrojovém vybavení a postupu měření ekvivalentní hladiny hluku. Dále bude podrobně analyzována dopravní situace na vybraných komunikacích a bude uveden popis meteorologických podmínek, za kterých probíhalo měření.

Naměřené hodnoty ekvivalentních hladin hluku budou dále zpracovány v geografickém informačním systému ArcView 9.2. Pro přípravu dat a konečné zpracování hlukové mapy bude tato práce doplněna informacemi z oblasti georeferencování a vektorizace mapy. Významnou oblast tvoří i interpolační mechanismy, jejichž vhodná volba a nastavení mají stěžejní vliv na výsledný vzhled hlukové mapy. Výsledná hluková mapa bude poté porovnána s platnými hygienickými limity.

Za účelem srovnání, ve spolupráci s panem Mgr. Bublanem ze Zdravotního ústavu v Brně, bude diplomová práce doplněna o vyhodnocení hlukové mapy v softwaru CadnaA, který je jedním z hojně využívaných programových vybavení při profesionálním zpracovávání hlukových studií.

2. ZÁKLADY TEORIE ZVUKU A HLUKU

V této kapitole se seznámíme s teoretickými základy z oblasti zvuku, atmosférické, prostorové a fyziologické akustiky, a hluku a jeho fyziologických účinků na zdraví člověka. Poté se budeme zabývat metodikou měření hluku v městských aglomeracích, odpovídajícími hygienickými limity a problematikou tvorby hlukových map.

2.1 Zvuk

Zvuk je obecně možné chápat jako mechanické vlnění pružného prostředí – plynného, kapalného a pevného – šířícího se ve vlnoplochách s fázovou rychlostí, která je závislá na fyzikálních vlastnostech prostředí. Zvukem však také označujeme vlnění v plynném nebo kapalném prostředí v oblasti slyšitelných kmitočtů. Mechanické vlnění šířící se tuhým prostředím je označováno pojmem vibrace, tím se však v této práci zabývat nebudeme. Mechanické vlnění lze též dělit na vlnění příčné – šířící se kmity jsou kolmé ke směru šíření vlny, a vlnění podélné – kmity jsou rovnoběžné se směrem šíření. Zvuk se v kapalinách a plynech vždy šíří jako vlnění podélné, v pevných látkách navíc jako vlnění příčné, [1], [2].

Tabulka č.1 Frekvenční rozsah akustického vlnění

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

Charakteristické fyzikální veličiny

Zvuk a jeho šíření můžeme charakterizovat nejrůznějšími veličinami, mezi které zahrnujeme např. rychlost šíření zvuku, akustický tlak, akustickou rychlost atd. My se však zaměříme podrobněji pouze na vybrané veličiny, jimiž jsou akustický výkon, intenzita zvuku, měrná akustická impedance, hladina akustického tlaku, hladina intenzity a doba dozvuku [1].

Nejprve je však nutné zmínit, že např. z důvodu velkého rozsahu vnímání akustického tlaku a tím, že se vzrůst subjektivního sluchového vjemu řídí logaritmickým zákonem, bylo zavedeno vyjadřování vjemových veličin v logaritmické stupnici k určité vztažné hodnotě, [2]:

$$L_y = 10 \cdot \log\left(\frac{y^2}{y_0^2}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{y}{y_0}\right) \quad [\text{dB}] \quad (1).$$

Pro energetické veličiny závislé na kvadrátu sledované veličiny platí:

$$L_{\text{energ}} = 10 \cdot \log\left(\frac{y_{\text{energ}}}{y_0}\right) \quad [\text{dB}] \quad (2).$$

Nyní přistoupíme k popisu vybraných veličin.

Akustický výkon

je veličinou, kterou lze vyjádřit níže uvedeným vztahem, jelikož je akustický tlak definován silou působící na jednotkovou plochu:

$$W = p \cdot v \cdot S = I \cdot S \quad [\text{W}] \quad (3),$$

kde pakustický tlak

vakustická rychlost

Ssledovaná plocha

Iakustická intenzita

Měrná akustická impedance (vlnová impedance prostředí)

je definována poměrem akustického tlaku a akustické rychlosti

$$z = \frac{p}{v} \quad [N \cdot s / m^3] \quad (4).$$

Intenzita zvuku

představuje energii, která projde jednotkovou plochou kolmou na směr šíření zvuku:

$$I = \frac{W}{S} = p \cdot v = \frac{p^2}{z} = z \cdot v^2 \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (5).$$

Pro vzdálenou oblast platí:

$$z = \rho \cdot c \quad [N \cdot s / m^3] \quad (6),$$

kde ρměrná hmotnost prostředí

crychlost šíření zvukových vln.

Hladina akustického tlaku

a níže vyjádřený vztah představují hodnotu akustického tlaku vztaženou k určitému kmitočtu. Hodnota p_0 zde určuje prahovou hodnotu, která odpovídá hodnotě 0 dB.

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad [\text{dB}] \quad (7),$$

kde $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$referenční hodnota akustického tlaku.

Hladina intenzity

vyjadřuje, tak jako v případě hladiny akustického tlaku, intenzitu zvuku vztaženou k referenční hodnotě intenzity zvuku (odpovídající přibližně nejnižší úrovni zvuku zaznamenané lidským uchem):

$$L_I = 20 \log \frac{I}{I_0} \quad [\text{dB}] \quad (8),$$

kde $I_0 = 10 \text{ pW} \cdot \text{m}^{-2}$referenční hodnota intenzity zvuku.

Doba dozvuku T [s]

Tato veličina je charakterizována dobou, při níž se sníží hladina akustického tlaku o 60 dB po vypnutí zdroje. Doba dozvuku je veličinou, která byla zavedena pro uzavřené prostory, ve volném prostoru k doznívání zvuku nedochází. Úzce souvisí se srozumitelností zvuku v dané místnosti. Pro optimální srozumitelnost by neměla být doba dozvuku ani příliš krátká, ani příliš dlouhá. Např. čím vyšší je doba dozvuku, tím více dochází k interakcím mezi emitovaným a odraženým zvukem, čímž je srozumitelnost negativně ovlivněna. Doba dozvuku je závislá na velikosti dané místnosti a na materiálech přítomných uvnitř této místnosti, [1], [20].

2.2 Prostorová akustika

V této kapitole si budeme definovat základní zdroje zvuku, kterými jsou bodové, plošné a přímkové zářiče a jejich vlastnosti. Dále se zaměříme na akustická pole, která jsou jimi vytvářena. V zásadě můžeme akustická pole dělit na zvuková pole vytvářená ve volném a uzavřeném prostoru, a ty pak dále členit dle charakteristických vlastností v závislosti na vzdálenosti od zdroje zvuku.

2.2.1 Zdroje zvuku

Mezi základní zdroje zvuku patří:

- **bodový zářič** – nebo-li kulový zářič či zářič nultého řádu řadíme mezi nejjednodušší zdroje zvuku. Vlastností tohoto zářiče je vyzařování akustické energie do všech směrů se stejnou amplitudou a fází. Tím se vytváří zvukové pole kulových vln. Akustická intenzita postupující kulové vlny klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje a akustický tlak klesá úměrně se vzdáleností. Ve velké vzdálenosti od zdroje se mění kulová zvuková vlna na vlnu rovinnou.
- **plošný zářič** – je charakteristický vytvářením pole rovinných zvukových vln. Směr šíření těchto vln je kolmý na kmitající rovinu. Šířící se rovinné zvukové vlny se nemění, nemění se tedy akustická intenzita, akustický tlak ani plocha jejich vlnoploch.
- **přímkový zdroj** – je tvořen soufázovým kmitáním nekonečné řady bodových zdrojů (např. hustě jedoucím proudem automobilů) a je zdrojem pole válcových zvukových vln. Válcové zvukové vlny se šíří do všech směrů kolmých na osu, [2], [5].

2.2.2 Akustická pole

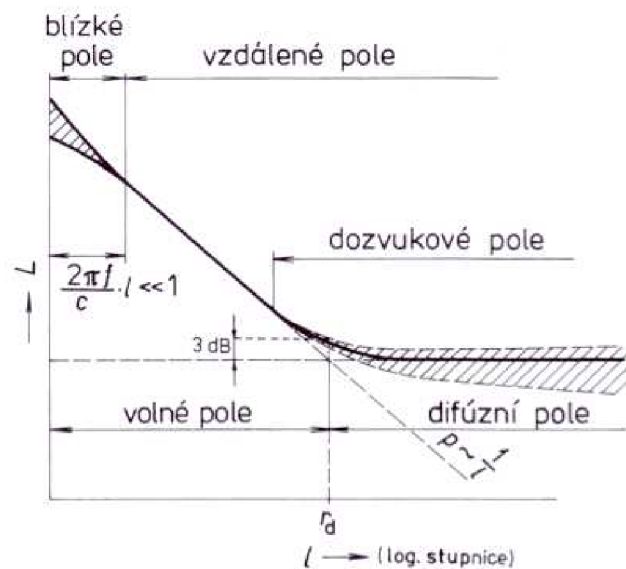
V případě působení více zdrojů zvuku zároveň se mohou vytvářet velice složitá akustická pole. Výsledné akustické pole je závislé na více faktorech, jako např. na počtu zdrojů a jejich umístění, na tvaru vyzařovacích ploch zdroje, na překážkách atd. Obecně můžeme rozdělit akustická pole, která se vytváří ve volném nebo uzavřeném prostoru.

Akustické pole můžeme považovat za volné v případě, že nedochází k uplatnění odrazů primární vlny od stěn či přítomných překážek, [2]. Volné akustické pole vzniká v homogenním isotropním prostředí, jež zásadním způsobem neovlivňuje šířící se akustickou vlnu. Volné akustické pole můžeme rozdělit na dvě části, kterými jsou:

- **blízké pole** – neboli Fresnelův prostor, se nachází v blízkosti zdroje akustických vln. Okamžitý akustický tlak a okamžitá akustická rychlost mají odlišné fáze. Pro toto pole je charakteristické značné kolísání akustického tlaku v závislosti na poloze částic prostředí od zdroje.
- **vzdálené pole** – v tomto poli jsou okamžitá rychlost a okamžitý akustický tlak téměř ve fázi, [5].

Zvuková pole vytvářená v uzavřeném prostoru (viz obr. 1) jsou typická přítomností sekundárních (odražených) vln. Pro uzavřené prostory je typické:

- **blízké pole** – vzniká u rozměrnějších zdrojů zvuku až do vzdálenosti, kdy $2\pi f \cdot l/c < 1$. Teprve poté se vytváří skutečné volné pole. Vlastností tohoto pole je výrazná změna akustického tlaku s rostoucí vzdáleností od zdroje zvuku.
- **vzdálené pole** – může být považováno za vzdálené v případě dostatečné vzdálenosti od zdroje, když už se nejedná o pole blízké.
- **volné pole** (pole přímých vln) – vzniká s větší vzdáleností od zdroje. Hustota akustické energie odražených vln je srovnatelná s hustotou akustické energie odražených vln. Nedochozí zde téměř k odrazům, absorpci či jakékoli deformaci.
- **difúzní pole** (pole odražených vln) – jinak zvané pole odražených vln. V tomto poli nemůžeme určit, kterým směrem se zvuková vlna šíří, směr je náhodný a stále se měnící, tudíž nemůžeme definovat žádnou vlnoplochu.
- **dozvukové pole** – není vždy definováno. Dozvukové pole je polem, kde se poslechově uplatňují odražené signály. Hranice dozvukového pole není fyzikální, nýbrž je určena postřehnutelností odražených signálů, [2].



Obr. č. 1 Typy akustických polí v uzavřeném prostoru, [2]

2.3 Atmosférická akustika

Atmosférická akustika se zabývá studiem podmínek šíření zvukových vln v atmosféře. Z důvodu různorodosti atmosféry, a to vlivem nerovnoměrného rozložení teploty, vlhkosti a hustoty vzduchu, dochází ke kolísání hladin akustického tlaku na konci přenosové trasy a k závislosti střední hodnoty hladiny akustického tlaku na teplotě, vlhkosti vzduchu, směru a rychlosti podél přenosové trasy.

Mezi základní činitele a překážky, mající vliv na šíření zvuku v přízemních vrstvách atmosféry a způsobující přídavný útlum zvuku, jsou:

- Absorpce zvuku ve vzduchu – tento jev je výrazně závislý na relativní vlhkosti vzduchu a kmitočtovém složení zvuku. Útlum vysokofrekvenčních složek zvuku v závislosti na vzdálenosti bude znatelný, naopak oblast nízkých frekvencí nebude téměř zeslabena.
- Mlha, déšť a sníh – vliv těchto činitelů by vyžadoval hlubší experimentální prozkoumání, avšak pro protihluková opatření nemá větší význam.
- Stromy a stěny budov – pevné překážky mají značný vliv na přídavný útlum. Dochází ke vzniku zvukového stínu, který závisí na velikosti překážky. Listoví též způsobuje absorpci a na kmenech stromů dochází k mnohonásobnému rozptylu.
- Teplotní gradienty, atmosférické turbulence, rychlost větru – teplotní gradienty způsobují lámání a odraz akustických vln na rozhraní vzduchu o různých teplotách. Vítr způsobuje ohýbání zvukových vln nahoru či dolů v závislosti na směru proudění, [1], [4], [5].

2.4 Fyziologická akustika

Fyziologická akustika představuje část fyziky, která se zabývá studiem závislostí parametrů zvukového signálu a jejich subjektivních počitků. Podrobněji se zaměříme na anatomický rozbor a fyziologii sluchového aparátu, které budou tvořit základ pro pochopení procesu vnímání zvuku lidským uchem. Dále budou objasněny pojmy jako jsou práh slyšení, hlasitost, výška tónu a subjektivní výška tónu.

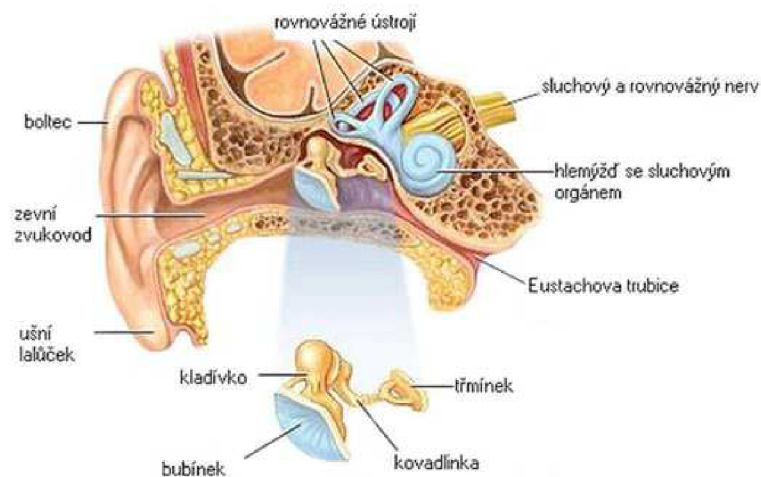
Anatomie a fyziologie sluchového aparátu

Lidské ucho představuje smyslový orgán, který zachycuje zvukové podněty ze zevního prostředí prostřednictvím receptorů. V případě sluchu je to nejsložitější typ receptorů, a těmi jsou smyslové buňky, konkrétně vláskové buňky Cortiho orgánu.

Ucho se dělí na ucho zevní, střední a vnitřní. Jednotlivé části jsou zobrazeny na obrázku č. 2. Zevní ucho je tvořeno ušním boltcem a zevním zvukovodem.

Střední ucho je uloženo v bubínkové oblasti kosti spánkové a jeho součástí je bubínek a tři sluchové kůstky – kladívko, kovádlínka, třmínek. Významnou součástí je Eustachova trubice představující spojení středoušní dutiny s nosohltanem a sloužící pro vyrovnávání tlaku na obou stranách bubínku.

Vnitřní ucho je uloženo v dutinách kosti skalní a je tvořeno tzv. labyrintem. Labyrint představuje útvar, v němž jsou uloženy receptory sluchového i vestibulárního ústrojí. Vlastním smyslovým orgánem je Cortiho orgán, který je uložen na bazilární membráně. Je tvořen smyslovými buňkami, které nazýváme buňkami vláskovými [17], [18].



Obr. č. 2 Anatomie sluchového aparátu, [14]

Nyní můžeme přistoupit k podrobnějšímu popisu mechanismu převodu akustického signálu a jeho recepcce. Zevnímu zvukovodu můžeme připisovat funkci jakéhosi rezonátoru, který zesiluje kmitočty ve frekvenčním pásmu od 2 kHz do 6kHz. Problém však nastává při omezení či zneprůchodnění této oblasti. Tlakové vlny přenášené vzduchem přicházející z vnějšího prostředí rozkmitají bubínek.

Toto chvění bubínku je mechanicky převáděno středoušními kůstkami na oválné okénko vnitřního ucha. Pro tento přenos je typická značná ztráta intenzity akustického signálu z důvodu velkého rozdílu akustických impedancí vzdušného prostředí a tekutiny vnitřního ucha. Tato ztráta

je kompenzována využitím převodu signálu z relativně velké plochy bubínku na malou plochu oválného okénka a s využitím pákového systému středoušních kůstek.

Postupná akustická vlna přechází ze středního ucha na perilymfu, kde dojde k rozkmitání bazilární membrány. Rychlost této postupné vlny se se vzdáleností od oválného okénka snižuje. Naopak amplituda signálu se postupně zvyšuje, až dosáhne v určitém bodě svého maxima, poté se opět snižuje. Poloha tohoto maxima je závislá na frekvenci zvukové vlny. Čím vyšší je frekvence signálu, tím dosahuje amplituda svého maxima v kratší vzdálenosti od oválného okénka. Při dosažení maxima se bazilární membrána maximálně vyklene. Tímto vyklenutím dochází k dráždění vlastních smyslových buněk Cortiho orgánu tektoriální membránou. Vnější vláskové buňky se depolarizují, současně také zkracují svoji délku. Po odeznění signálu se hyperpolarizují a jejich délka se vrací do původní polohy. Jednou z hlavních funkcí vnějších vláskových buněk je zesílení zvukové vlny. Postupná vlna přechází na vnitřní vláskové buňky, které se též depolarizují. Jejich prostřednictvím dochází k přeměně mechanického vlnění na akční potenciál vedený sluchovým nervem do centra sluchového analyzátoru, [3].

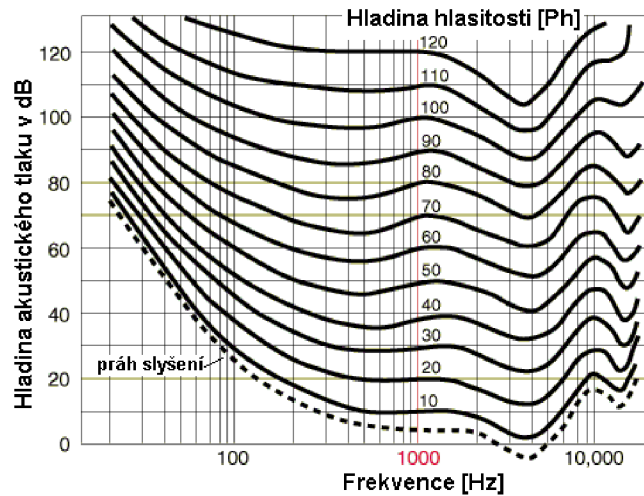
Frekvenční rozsah lidského ucha spadá do rozmezí kmitočtů od 16 Hz do 20 kHz. Nejcitlivější je ucho v oblastech kolem 1 kHz, což odpovídá přibližně frekvenčnímu rozsahu lidské řeči. Aby byl zvukový podnět vnímán jako slyšitelný, musí jeho intenzita, resp. akustický tlak, překročit jistou hodnotu, kterou označujeme jako práh slyšení. Naopak hodnota akustického tlaku přesahující 130 dB způsobuje bolestivé vjemy. Práh slyšení a práh bolesti vymezují oblast slyšení, [4], [5].

Hlasitost

Vnímání hlasitosti čistých tónů s různou frekvencí a hladinou akustického tlaku je vyjádřeno pomocí Fletcher-Munsonových křivek stejné hlasitosti. Tyto křivky udávají, jaký akustický tlak způsobí na různých frekvencích stejný vjem hlasitosti jako referenční čistý tón 1 kHz. Z průběhů křivek na obr. 3 je patrné, že lidské ucho je méně citlivé na zvuky nízkých frekvencí, a to tím více, čím je hladina akustického tlaku nižší. Svislá stupnice je logaritmická, a to je v souladu s Weber-Fechnerovým zákonem. Tento zákon říká, že hlasitost daného tónu roste řadou aritmetickou, roste-li jeho fyzikální intenzita řadou geometrickou, a je vyjádřen:

$$H = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad [dB \cdot W \cdot m^{-2}] \quad (9).$$

Platnost tohoto vztahu je však omezena pouze na tóny o frekvenci 1 kHz. Jednotkou hladiny hlasitosti je fon [Ph]. Tato jednotka je frekvenčně nezávislá. Jelikož fon nevyjadřuje přesné subjektivní vnímání změny hlasitosti, byla experimentálně stanovena subjektivní stupnice hlasitosti s jednotkou son, [1], [4].



Obr. č. 3 Fletcher-Munsonovy křivky, [13]

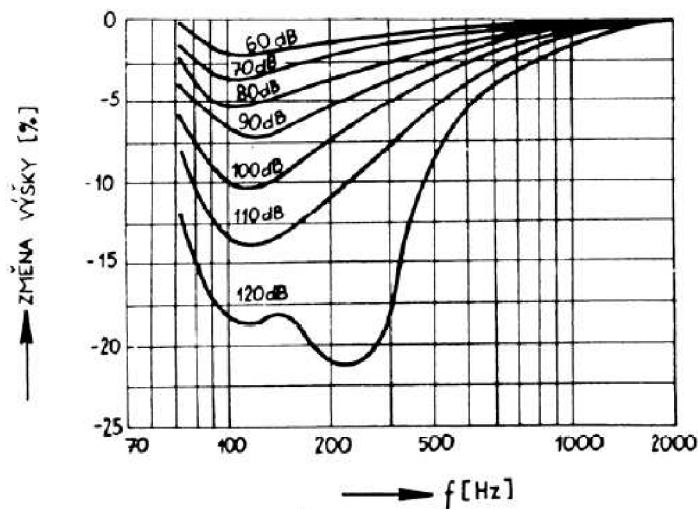
Práh slyšení

představuje nejmenší hodnotu intenzity zvuku, která vyvolá u dané osoby sluchový vjem. Velikost tohoto prahu je stanovena jako průměrná hodnota sluchových prahů u zdravých jedinců v rozmezí věku od 18 do 25 let. Práh slyšení je odlišný pro šum, čisté tóny či řeč a je frekvenčně závislý. Ucho je nejcitlivější v oblastech od 1–4 kHz, v oblastech mimo toto rozmezí se obvykle sluchový práh zvyšuje. Pro frekvenci 1 kHz odpovídá prahová hodnota 4,2 dB ($p_0 = 20 \mu\text{Pa}$). Práh slyšení se u impulsových zvuků s jeho rostoucí délkou snižuje, [1].

Subjektivní výška tónu

Nejprve se zmíníme o tom, co představuje pojem výška tónu. Výška tónu je subjektivní charakteristikou a odráží frekvenci periodického zvukového děje ve vědomí člověka. Výška tónu je závislá na frekvenci a intenzitě.

Subjektivní výška tónu je určena frekvencí čistého tónu. Tento tón má při subjektivním hodnocení stejnou výšku jako zkoumaný zvuk. Subjektivní výška tónu se mění v závislosti na hlasitosti. Tuto závislost můžeme pozorovat na obrázku č. 4. Čím vyšší je hlasitost nízkých tónů, tím je jejich subjektivní výška menší. U tónů nad 4 kHz se tato závislost neprojevuje, [1].



Obr. č. 4 Závislost subjektivní výšky tónu na hlasitosti, [1]

Sluchové ústrojí je typické svojí směrovou charakteristikou, která je daná umístěním a tvarem ušního boltce. Zde se setkáváme s tzv. binaurálním slyšením, které je výsledkem směrového účinku při lokalizaci zdroje zvuku a rozdílu intenzit zvuku dopadajících na jedno a druhé ucho. Při určování směru zvukového zdroje se uplatňuje tzv. Haasův efekt. Podstatou tohoto jevu je fakt, že ucho určí místo zdroje zvuku podle toho, kde zvukový signál dopadl nejdříve. Další vlny s intenzitou o 7 až 10 dB vyšší a se spožděním 30–50 ms dopadající na ucho nemění původní směrový vjem, [1].

2.5 Hluk a jeho vliv na zdraví člověka

Hluk

Hlukem rozumíme každý zvuk, který svojí intenzitou vyvolává u člověka nežádoucí, nepříjemné a škodlivé účinky. V současné době můžeme považovat hluk za jeden z významných zdrojů ohrožení životního prostředí a bezprostřední rizikový faktor ohrožení lidského zdraví.

Zdroje hluku mohou být nejrůznější povahy. Mohou to být předměty či zařízení, ve kterých vzniká akustická energie šířící se do okolí. Ve městech převažují hluky, jejichž zdrojem jsou dopravní prostředky. Jednotlivé dopravní prostředky vytváří hladinu akustického tlaku závislou na, [4]:

- mechanickém výkonu motoru
- rychlosti vozidla
- režimu práce motoru

- technickém stavu vozidla
- kvalitě vozovky
- okolní zástavbě
- povětrnostních podmínkách atd.

Hluk můžeme dělit dle průběhu hladiny hluku v čase na:

- ustálený – kde se hladina hluku v čase nemění více než o 5 dB,
- proměnný – kde se hladina hluku v čase mění o více než 5 dB,
- přerušovaný – který je typický náhlými změnami akustického tlaku, avšak v průběhu svého trvání je ustálený,
- nepravidelný – kde dochází ke změnám hladiny akustického tlaku v čase zcela náhodně,
- impulsní – tento typ hluku je tvořen jednotlivými zvukovými impulsy nebo jejich sledem s trváním od 1 do 200 ms, s intervaly mezi pulsy delšími než 10 ms, [1].

K popisu biologických účinků hluku byla zavedena ekvivalentní trvalá hladina hluku vycházející z předpokladu, že vliv hluku je závislý na celkové akustické energii, které je organismus exponován, [1]:

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

kde τ_i je doba trvání i-té naměřené hladiny

L_ije i-tá naměřená veličina

nje celkový počet naměřených hladin

Tje celková doba měření ekvivalentní hladiny hluku.

Fyziologické účinky hluku

Hodnocení fyziologických účinků hluku je dosti problematické. Je to zejména proto, že se působení hluku neprojevuje bezprostředně ani bolestí, ani zřetelnou poruchou sluchu. Naměřením akustických deskriptorů sice získáme objektivní informace o hlukové situaci v dané lokalitě, avšak nemusí zcela odrážet skutečnou situaci.

Účinky hluku můžeme dělit na:

- specifické – jsou vyvolány přímým působením na sluchový orgán,
- nespecifické – které ovlivňují celou řadu funkcí a reakcí člověka. Mezi tyto účinky můžeme zařadit poruchy spánku. Lidé z oblastí exponovaných hlukem si častěji stěžují na potíže s usínáním, únavu i po dostatečně dlouhém spánku či častější probouzení. Může se projevovat emocionální nerovnováhou, poruchami sociálních interakcí či zhoršenými průběhy nemocí. Může působit změny v psychice a nervovém systému, snižovat výkon, soustředění nebo působit negativně na tvůrčí, koncepční a řídicí práci. To vše i při hladinách nedosahujících škodlivé úrovně, [1], [21].

Poškození sluchového aparátu může vzniknout v důsledku krátkodobého akustického podnětu (tzv. akustické trauma) nebo dlouhodobým působením hluku na organismus. Dlouhodobé účinky hluku se projevují na sluchovém aparátu v několika stupních. První stupeň se projevuje posunem sluchového prahu. Tento děj je výsledkem adaptace, při které organismus vnímá hluk v menší hlasitosti. Nástup a odezva tohoto mechanismu je rychlá. Druhý stupeň představuje sluchovou únavu spojenou se změnou rozlišování frekvenčních změn, hlasitosti a změn maskování. Nastupuje po několika minutách, odeznívá však během několika hodin až za jeden den. Za kritickou hranici škodlivosti hluku je považována ekvivalentní hladina akustického tlaku 85 dB.

Hluky dosahující ekvivalentní hladiny nad 65 dB mají vliv na autonomní nervový systém regulující kardiovaskulární, dýchací, hormonální, termoregulační a další systémy. Poškození sluchu spolu s psychosomatickými a vegetativními potížemi se označuje jako hlukový syndrom. Mezi projevy se řadí zvýšený krevní tlak, nespavost, závratě, vyšší výskyt žaludečních vředů atd., [1]. Je pozoruhodné, že na základě výzkumu byla zvýšená hodnota krevního tlaku pozorována i u dětí školního věku. Tyto změny byly vyvolány po expozici krátkodobému hluku. Avšak dlouhodobá expozice hluku u dospělé populace spojená se znečištěným ovzduším, dle studie [23], představuje rizikový faktor pro výskyt aterosklerózy a tím i dlouhodobých změn krevního tlaku. Je zajímavé, že byl zkoumán vliv stresových faktorů hlukového a nehlukového charakteru na děti ze škol nacházejících se v hlučné a v relativně tiché oblasti. Výsledkem této studie bylo zjištění, že mezi projevy dětí po vystavení hlukovému a nehlukovému stresovému faktoru existuje statisticky významný rozdíl. Tento rozdíl byl přisuzován faktu, že děti ze škol, nacházejících se v hlučné oblasti, disponují jakousi hyporeaktivitou při působení stresových faktorů. U obou skupin dětí docházelo ke změnám měřených hodnot krevního tlaku, avšak výsledné změny nebyly tak výrazné jako u dětí ze škol, nacházejících se v tiché oblasti, [22], [24].

2.6 Metodika měření hluku v městských aglomeracích

2.6.1 Měřicí technika

Měření hluku zahrnuje velké množství metod od určování hladiny akustického tlaku až po frekvenční analýzy či určování akustického výkonu zařízení či výrobků. Na základě zvolené metody určujeme i technické vybavení, které bude pro dané měření použito. My se zaměříme na přístrojovou techniku pro určování jedné z nejdůležitějších veličin, a tou je akustický výkon.

Mikrofony

V případě měření zvuku je základem převod neelektrické veličiny (např. akustického tlaku) na elektrickou. Důležitou součástí měřicí techniky je tedy snímač a převodník. Jako snímače zvuku či hluku jsou používány mikrofony. Mikrofony dělíme na dynamické, elektrostatické a piezoelektrické. Jelikož jsou v praxi převážně používány mikrofony elektrostatické (kondenzátorové), podrobnější popis bude zaměřen zejména na tento typ. Kondenzátorové mikrofony se vyznačují velice dobrými vlastnostmi, a těmi jsou dlouhodobá stabilita, plochá přenosová charakteristika v širokém frekvenčním pásmu, přiměřeně vysoká citlivost, nízká hodnota vlastního šumu, malé rozměry a nízká hmotnost.

Základním konstrukčním prvkem jsou dvě elektrody – pohyblivá, která je tvořena tenkou kovovou membránou, a pevná stabilní perforovaná deska umístěná proti této membráně. Dopadající akustická vlna mění vzdálenost těchto dvou elektrod a tím dochází i ke změně kapacity kondenzátoru. Změny kapacity jsou dále převáděny na změny elektrického napětí mezi oběma elektrodami zajištěním konstantního náboje na tomto kondenzátoru. Základní, tzv. polarizační napětí, je tedy nutné převést přes obvod s vysokou impedancí, např. zesilovačem náboje. Z tohoto důvodu musí být předzesilovač výstupního napětí mikrofonu umístěn co nejbližší mikrofonní vložce (předzesilovač a mikrofon).

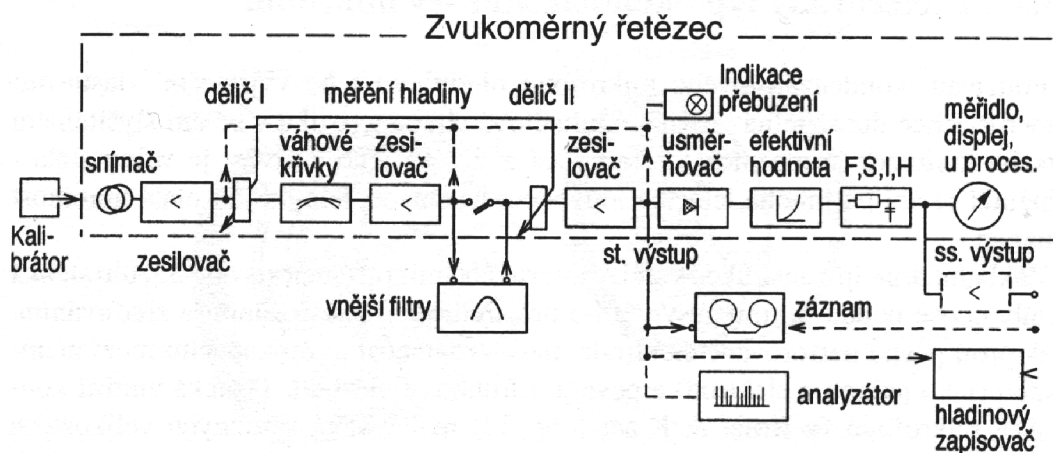
Při konstrukci mikrofonu je nutné realizovat kompromis mezi dosaženou hodnotou citlivosti a frekvenčním rozsahem. Pro frekvenční rozsah platí, čím menší je mikrofon, tím vyšší je měřitelný kmitočet a také kvalitnější všesměrovost. Naopak pro citlivost platí, že čím vyšší je velikost membrány, tím je vyšší i dosažená citlivost. Citlivost je také přímo úměrná velikosti polarizačního napětí, je zde tedy nutný předpoklad vysoké stability tohoto napětí. Hodnota polarizačního napětí nabývá obvykle hodnoty 200 V.

Mikrofony můžeme dále dělit dle vlastností a průběhu kmitočtové charakteristiky na mikrofony pro použití ve volném poli, mikrofony pro tlaková měření nebo pro difuzní zvuková pole. Je nutné podotknout, že přítomnost jakéhokoli mikrofonu narušuje zvukové pole, ve kterém

se nachází. Mikrofony pro měření ve volném zvukovém poli jsou umístovány do směru zdroje hluku. Jsou konstruovány tak, že je korigován vzestup akustického tlaku způsobený přítomností mikrofonu. Mikrofon pro tlaková měření se umísťuje do směru kolmého na směr šíření zvukových vln a měří skutečný akustický tlak, tedy nekompensuje vzestup tlaku způsobený přítomností mikrofonu. Mikrofony pro difuzní zvuková pole se velice podobají mikrofonům pro tlaková měření a vyznačují se v zásadě stejnou citlivostí ke zvukovým vlnám dopadajícím na membránu současně pod různými úhly, mají tedy kulovou všesměrovou charakteristiku, [1], [6].

Zvukoměry

Pro měření a analýzu zvuku a hluku je používána celá řada měřicích přístrojů. Jelikož se budeme zabývat oblastí měření hluku pro posouzení jeho vlivu na člověka a životní prostředí, zaměříme se pouze na zvukoměry.



Obr. č. 5 Blokové schéma zvukoměru, [1]

Na obr. 5 je uvedeno blokové schéma zvukoměru. Jeho nedílnou součástí je tzv. efektovací obvod, který umožňuje stanovení efektivní hodnoty výstupního signálu, a to z toho důvodu, že pomocí zvukoměru neměříme pouze harmonické signály, ale obecně signály nekoherentní. Součástí konstrukce zvukoměru je též integrační obvod, který slouží pro určení průměrných hodnot v určitém časovém rozmezí. Integrační obvody spolu s měřidlem charakterizují dynamické vlastnosti zvukoměru. Ty jsou pro nás důležité z hlediska vzájemného srovnání výsledků a jsou charakterizovány integračními časovými konstantami S (slow), F (fast) a I (impulse). Časová konstanta S vyhodnocuje hodnotu měřeného signálu za 1 s a při funkci F za 200 ms. Časová konstanta I je nesymetrická s dobou náběhu 35 ms a dobou dopadu 2 s.

Aby měřené veličiny více odpovídaly vlastnostem lidského ucha, jsou do zvukoměrného řetězce zařazeny i váhové filtry upravující frekvenční charakteristiku filtru. Frekvenční charakteristika váhových filtrů A, B, C přibližně odpovídá křivkám stejné hlasitosti pro 40, 70 a 100 dB. Nyní se nejvíce využívá váhový filtr A s definovaným rozsahem kmitočtů od 10 Hz do 20 kHz. Pro měření v určitých kmitočtových pásmech se využívají pásmové filtry oktávové a třetinooktávové. Je též důležité zmínit, že je ve výstupním obvodu nebo měřidle vyžadován přechod z lineární závislosti na hodnotu udanou logaritmickou (decibelovou) stupnicí.

V současnosti se výhradně využívají digitální zvukoměry s displejovým zobrazením měřených hodnot. Veškeré funkce zvukoměru, kromě snímače, mohou být řešeny programovým vybavením, které umožňuje automatizaci celého měřicího procesu.

2.6.2 Obecné náležitosti protokolů z měření hluku

Aby bylo měření průkazné, je nutné provést záznam – protokol či zprávu, kde budou zaznamenány náležitě údaje dané akreditačními nebo autorizačními požadavky a metodickými návody Ministerstva zdravotnictví. Těmi jsou:

- Identifikační údaje – číslo protokolu, název a adresa měřené lokality, datum měření, doba měření atd.;
- Účel měření – určuje strategii měření a způsob hodnocení;
- Použité přístroje – identifikace všech použitých přístrojů (název, typ, evidenční číslo atd.);
- Strategie měření – popis strategie, musí být jasné, proč byl zvolen daný postup;
- Použitá metoda měření – zda byly použity akreditované nebo autorizované postupy nebo metodické návody, popř. udání důvodu v případě použití jiných postupů;
- Popis měřeného místa – charakteristika místa měření, popis okolního prostoru měřené lokality, přesný popis umístění mikrofону a jeho zaměření, fotodokumentace;
- Popis zdroje hluku – jednoznačná identifikace všech zdrojů hluku, podmínky provozu zdrojů, charakteristika hluku (proměnný, ustálený, impulsní atd.), tónovost, typ zdroje hluku – plošný, liniový, bodový; měřeno ve zvukovém poli – volném, difuzním; v případě dopravy – hustota, složení, průměrná rychlost, povrch atd.;
- Podmínky měření – uvést vše, co by mohlo nepříznivým způsobem ovlivnit zdroj hluku a jeho šíření a co by mohlo ovlivnit expozici;
- Deklarace měřených veličin – uvádět veličiny přesně dle nařízení vlády, uvádět jen relevantní veličiny a hodnoty atd.;

- Meteorologická situace, mikroklimatické podmínky – zaznamenat směr a sílu větru, srážky, teplotu, vlhkost, při dlouhodobých měřeních zaznamenávat tyto parametry v pravidelných časových intervalech;
- Hluk pozadí – je nutné jej vždy uvést, uvést zdroj hluku pozadí; v případě, že hluk pozadí nelze změřit, nutné změřit např. v jiné dosti podobné lokalitě nebo výjimečně použít hodnoty naměřené v jiný den;
- Volba délky měřicího intervalu – je třeba zaznamenat a 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 nerepresentativních hodnot, uvést důvod jejich vyřazení atd.;
- Hodnocení a interpretace – doporučené základní hodnocení, resp. porovnání s hygienickým limitem, jako součást protokolu či povinná součást protokolu v případě měření komunálního hluku, [2], [19].

2.6.3 Metodika měření hluku silniční dopravy

Existuje celá řada metodik měření hluku v závislosti na různých zdrojích hluku, různých účelech měření či hodnotících metodách. My se však zaměříme pouze na metodiky měření hluku silniční dopravy, které definují postupy stanovení vlivu silniční dopravy na akustickou situaci v dané lokalitě. Pro měření ve venkovním prostoru se používají zejména zvukoměry vyhovující požadavkům ČSN s použitím váhového filtru typu A a dynamickými vlastnostmi typu F. Také je vyžadováno, aby byla zvukoměrná technika na počátku, v průběhu a na konci měření kalibrována akustickými kalibrátory.

Vlastní měření

Metodika měření závisí na tom, zda budeme měřit v zastavěném či nezastavěném území, a zda měříme u oboustranně či pouze jednostranně obestavených komunikací.

1) Místa měření v zastavěném území

- 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;
- oboustranně obestavěné komunikace bez souvislé zástavby – zde volíme měřicí místo přednostně 2 m (nejméně 1 m) od fasády přilehlé nesouvislé zástavby nebo na hranici pozemku, 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;
- jednostranně obestavěné komunikace se souvislou zástavbou – zde je voleno měřicí místo přednostně 2 m (nejméně 1 m) od fasády přilehlé souvislé zástavby a na straně neobestavěné ve vzdálenosti 25 m od osy nejbližšího dopravního pruhu komunikace;
- jednostranně obestavěné komunikace bez souvislé zástavby – zde je voleno měřicí místo přednostně 2 m (nejméně 1 m) od fasády přilehlé nesouvislé zástavby a na straně neobestavěné ve vzdálenosti 25 m od osy nejbližšího dopravního pruhu komunikace.

2) Místa měření v nezastavěném území

V tomto případě jsou měřicí místa na obou stranách komunikace ve vzdálenosti 25 m, resp. 7,5 m od osy krajního jízdního pruhu. Skutečnou vzdálenost volíme dle účelu měření.

Co se týká počtu měřicích míst, je nutné získat výsledky alespoň z jednoho místa měření, a to jak v případě, že se na zvoleném úseku komunikace nemění intenzita provozu, tak i na úseku, kde se nemění intenzita, ale mění se druh krytu vozovky, počet jízdních pruhů, sklon nivelety či charakter okolní výstavby, [2].

Poloha mikrofону

Měřicí mikrofón umístíme optimálně do výšky 3,0 m a 3,5 m před plochu odrážející hluk v případě měření dopravního hluku a hlukových map. Naopak při zjišťování vlivu hluku na osoby ve venkovním prostoru umístíme mikrofón do výšky 1,2 až 1,5 m. Mikrofón by měl být umístěn ke komunikaci tak, aby osa nejvyšší citlivosti mikrofónu byla kolmá na podélnou osu komunikace a rovnoběžná s povrchem terénu, respektive se směřuje k nejvýznamnějšímu zdroji hluku, [2], [10].

Doba měření

Aby naměřená data reprezentovala skutečnou hlukovou situaci v dané lokalitě, je nutné zvolit vhodnou dobu a délku měření. Doporučuje se měřit v měsících od března do června a od září do října optimálně v pracovních dnech úterý až čtvrtek, tak aby den před a den po nebyly dny pracovního klidu. Také meteorologické podmínky by měly být vhodné pro měření. Povrchy silnic by neměly být příliš mokré, ani pokryté sněhem či ledem. I teplotní inverze či rychlost větru nad $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ znemožňuje korektní měření.

Doba měření a minimální trvání měření závisí na typu dosažení třídy přesnosti. Přesnost měření je dána velikostí směrodatné odchylky měření. Běžná třída přesnosti je charakterizována směrodatnou odchylkou $\sigma = 3,0$ a technická třída přesnosti $\sigma = 2,0$. V tabulce č. 2 je uvedena názorná ukázka dob měření pro technickou třídu přesnosti, 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, [2], [10].

Tabulka č. 2 Doby měření pro běžnou třídu přesnosti

Intenzita provozu za 24 hodin	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
12 000 a více	7.00 – 12.00	15	12.30 – 19.00	15
Noční doba				
méně než 720	22.00 – 24.00	120	00.00 – 06.00	360
720 – 2400	22.00 – 24.00	60	00.00 – 06.00	60
2401 – 12 000	22.00 – 24.00	30	00.00 – 06.00	60
12 000 a více	22.00 – 06.00	60		

Tabulka č. 3 Doby měření pro technickou třídu přesnosti

Intenzita provozu za 24 hodin	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
12 000 a více	7.00 – 12.00	30	12.30 – 19.00	30
Noční doba				
méně než 720	22.00 – 24.00	120	00.00 – 06.00	360
720 – 2400	22.00 – 24.00	120	00.00 – 06.00	360
2401 – 12 000	22.00 – 24.00	120	00.00 – 06.00	120
12 000 a více	22.00 – 06.00	60		

Hodnoty hluku se vyjadřují pomocí hladiny akustického tlaku v decibelech. Při hodnocení se využívají akustické deskriptory, mezi které řadíme ekvivalentní hladinu akustického tlaku, maximální hladinu akustického tlaku, hladinu hlukové expozice, distribuční hladiny a dlouhodobou průměrnou ekvivalentní hladinu. Vždy se ke každému měření uvádí nejistota měření, [10].

2.7 Hygienické limity

Nejvyšší přípustné hladiny jsou stanoveny v nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací č. 272 ze dne 24. srpna 2011. Předmětem úpravy tohoto nařízení jsou 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. My se však v naší diplomové práci zaměříme pouze na bod třetí, a to konkrétně na část zabývající se hygienickými limity hluku venkovních prostor.

Toto 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, s výjimkou účelových komunikací, se stanovuje ekvivalentní hladina akustického tlaku pro celou denní $L_{Aeq,16h}$ a celou noční dobu $L_{Aeq,8h}$.

Hygienický limit ekvivalentního akustického tlaku, s výjimkou hluku z leteckého provozu a vysokoenergetického impulsního hluku, se určí součtem základní hladiny ekvivalentní hladiny akustického tlaku $A L_{Aeq,T} = 50$ dB a korekcí (viz tabulka č. 4) v závislosti na druhu chráněného prostoru a denní či noční době.

Tabulka č. 4 Korekce pro stanovení hygienických limitů hluku v chráněných venkovních prostorech staveb a v chráněném venkovním prostoru

Druh chráněného prostoru	Korekce [dB]			
	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 a chráněný ostatní venkovní prostor	0	+5	+10	+20

Korekce, které jsou uvedeny, se nesčítají. Pro měření během noční doby se pro chráněný venkovní prostor staveb přičítá korekce -10 dB, s výjimkou hluku z dopravy na železnici, kde se používá korekce -5 dB.

Nyní si vysvětlíme pravidla pro použití korekcí uvedených v tabulce č. 4. Tyto korekce se použijí pro hluk z:

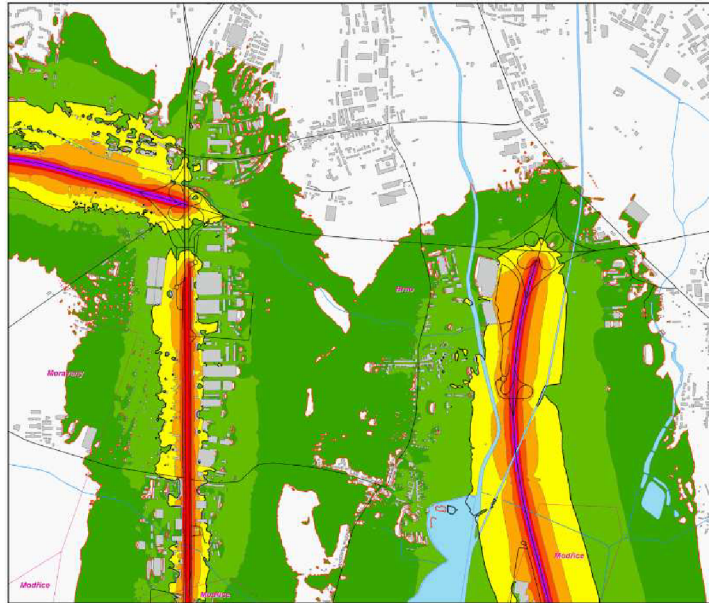
- 1) provozu stacionárních zdrojů, z veřejné produkce hudby, pro hluk na účelových komunikacích a hluk ze železničních stanic zajišťujících vlakotvorné práce,
- 2) dopravy na silnicích III. třídy a místních komunikacích III. třídy a drahách,
- 3) dálnic, silnic I. a II. třídy a z komunikací I. a II. třídy, kde převažuje dopravní hluk nad hlukem z dopravy na ostatních pozemních komunikacích,
- 4) z dopravy na pozemních komunikacích v případě staré hlukové zátěže, s výjimkou účelových komunikací a drahách, které jsou zahrnuty v bodech 2 a 3. Hodnota uvedených korekcí bude použita i v případě, že dojde k definovaným změnám vozovky či změnám ve venkovním prostoru staveb uvedených v nařízení, [8].

2.8 Hlukové mapy

Hlukové mapování je procesem vytváření grafické prezentace z naměřených údajů o stávající hlukové situaci v dané lokalitě. Při hlukovém mapování se používají hlukové ukazatele, které jsou srovnávány s jejich definovanými mezními hodnotami a informují nás o překročení právě těchto limitních hodnot. Hlukové mapy si můžeme také představit jako mapy, kde jsou zvýrazněny oblasti postižené hlukem (viz obrázek č. 6).

Jelikož neexistuje univerzální typ hlukových map, které by zpracovávaly všechny potřebné informace, dělí se hlukové mapy na:

- emisní – tento typ hlukové mapy je vytvořen na základě měření dopravního hluku v referenční vzdálenosti 7,5 m od osy komunikace. Výsledkem je barevná grafická prezentace komunikace v závislosti na zatížení komunikace hlukem v základním rozlišení 5 dB.
- pásmová plošná – využívá se při plošném zasažení území hlukem. Pro lepší orientaci se vytváří tzv. semaforové zobrazení, kde mohou být dělicí hranice vymezeny dle limitů s použitím tří barev – zelená, červená a žlutá.
- rozdílová – tato hluková mapa nám může sloužit pro prezentaci hlukové situace např. před a po realizaci protihlukového opatření.
- bodová – kde jsou definovány výpočtové body před fasádami jednotlivých objektů, kde je zkoumána akustická situace, [11].



Obr. č. 6 Ukázka hlukové mapy části města Brna, [15]

Strategické hlukové mapování a akční plány

Strategické hlukové mapování a akční plány pro snižování hlukové zátěže jsou důležitým nástrojem pro řešení problémů s hlukem. Jak pro strategické hlukové mapování, tak pro akční plány je typické, že jsou zpracovávány ve vybraných lokalitách bez ohledu na konkrétní zdroje hluku a překračování hlukových limitů a mají výrazně preventivní charakter.

Strategické hlukové mapy dělíme na:

- strategické hlukové mapy městských aglomerací – které dělíme dále podle počtu obyvatel žijící v této aglomeraci,
- strategické hlukové mapy pro okolí hlavních pozemních komunikací, železničních tratí a letišť – které se dále dělí dle intenzity dopravy.

Pro strategické hlukové mapování je též důležité stanovit mezní hodnoty hluku, které jsou definovány pomocí hlukových ukazatelů. Tyto ukazatele jsou definovány ve vyhlášce č. 523/2006 Sb. Hlukové ukazatele se stanovují pro den-večer-noc L_{dvn} , pro den L_d , pro večer L_v a pro noc L_n zvlášť. L_d je dlouhodobým průměrem hladiny akustického tlaku vážené funkcí A podle české technické normy určený za všechna denní období jednoho roku. To platí i pro L_v a L_n pouze s rozdílem, že jsou to hlukové ukazatele pro večerní a noční rušení hlukem. Den trvá 12 hodin od 6.00 do 18.00 hod., večer je definován jako rozmezí od 18.00 – 22.00 hod. a noc trvá

od 22.00 – 06.00 hod. Pro hlukové ukazatele L_{dvn} a L_n pro silniční dopravu platí mezní hodnoty $L_{dvn} = 70$ dB a $L_n = 60$ dB.

Hlukový ukazatel L_{dvn} získáme výpočtem ze vztahu:

$$L_{dvn} = 10 \log \frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_d}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_v+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right) \quad [\text{dB(A)}] \quad (11).$$

Po strategickém hlukovém mapování se poté dostávají do popředí akční plány, které představují soubor opatření pro snížení hlukové zátěže ve zkoumané lokalitě. Do tohoto souboru jsou zahrnuta stavební opatření, klasická protihluková opatření či opatření organizačního charakteru v místech, kde byly překročeny mezní hodnoty hluku, [9], [12].

3. GEOGRAFICKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM ArcGIS

Geografické informační systémy jsou důležitým nástrojem pro monitorování životního prostředí podporující práci s prostorovými daty. Umožňují nám získání, údržbu, analýzu a zobrazení geograficky vázaných informací. Existuje velký počet geografických informačních systémů. Rostoucí možnosti technických prostředků nám umožňují přístup k těmto systémům i v podobě, která je dostupná pro běžného uživatele bez odborných znalostí (např. v podobě aplikace pro mobilní telefon), ale i v podobě sofistikovaných softwarů určených zejména pro odbornou veřejnost. V této diplomové práci se zaměříme na ArcGIS, resp. ArcView, [1], [25].

Geografický informační systém ArcGIS je vyvíjen společností Esri. V rámci tohoto systému existují různé typy produktů a jejich konkrétní realizace, mezi které řadíme:

- **Desktop ArcGIS** – ArcGIS Desktop,
- **Mobilní ArcGIS** – ArcGIS Mobile, ArcPad, ArcGIS for Smartphone,
- **Serverový ArcGIS** – ArcGIS Server obsahující technologii ArcSDE,
- **GIS pro vývojáře** – ArcGIS Engine, EDN (Esri Developer Network).

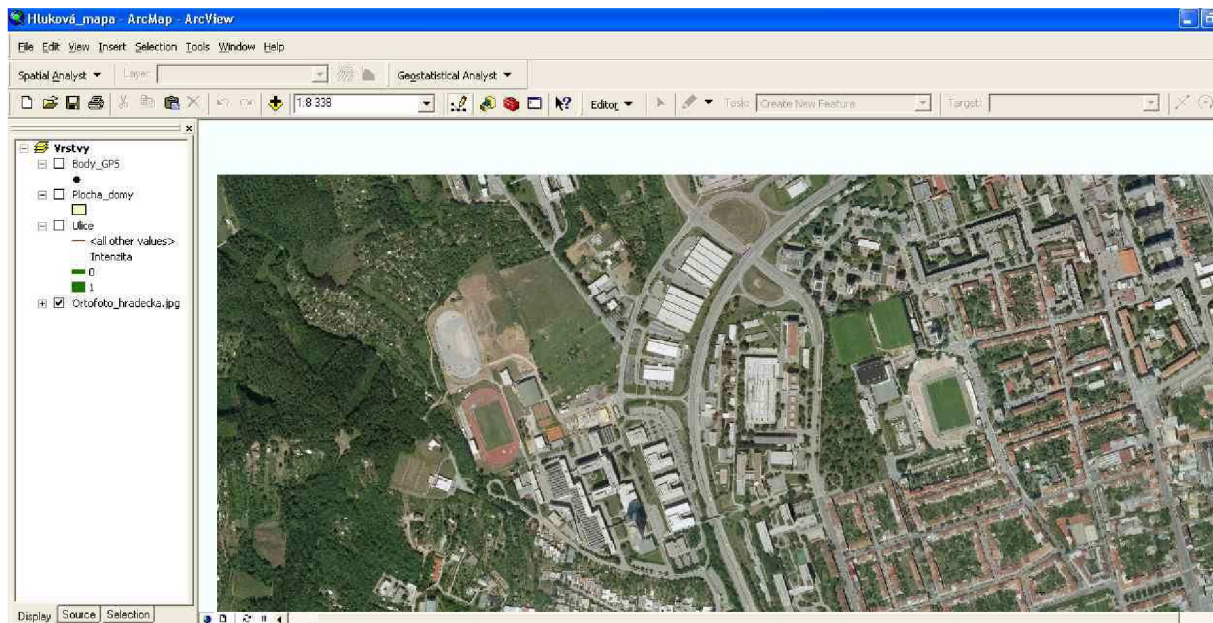
3.1 Desktop ArcGIS

Pro naši práci se zaměříme na ArcGIS Desktop, tedy ArcGIS pro osobní počítače. ArcGIS Desktop je tvořen třemi produktovými úrovněmi (licencemi), kterými jsou:

- **ArcView** – tento produkt slouží zejména pro zobrazování, analýzu a tvorbu map. Jeho součástí jsou i základní nástroje pro tvorbu, správu a editaci geodat.
- **ArcEditor** – je vybaven základními funkcemi, které jsou součástí ArcView. Navíc obsahuje pokročilé způsoby pro tvorbu nových dat, jejich kontrolu, editaci a správu.
- **ArcInfo** – slouží pro odborníky k řešení sofistikovaných analytických úloh a pro tvorbu profesionálních mapových a jiných výstupů.

Základem ArcGIS Desktop jsou vzájemně propojené aplikace ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox a ModelBuilder.

- **ArcMap** – je centrální aplikací ArcGIS Desktop (ve všech produktových úrovních) (viz obrázek č. 7). Slouží nám pro zobrazování geografických dat a zobrazení výkresu mapy. Při zobrazení geografických dat se pracuje s geografickými vrstvami, naopak při zobrazení výkresu mapy jsou používány mapové stránky obsahující nejen rámce geografických dat, ale také mapové prvky.



Obr. č. 7 Grafické prostředí ArcMap

- **ArcCatalog** – je aplikací pro organizaci a správu dat GIS, jako jsou mapy, glóby, datové sady, modely, atd. Pomocí nástrojů umožňuje prohlížení a vyhledávání geografických informací; zaznamenávání, prohlížení a správu metadat; nebo definování, export a import schémat a návrhů geodatabáze.
- **ArcToolbox** – obsahuje širokou škálu prostředků pro zpracování prostorových dat (geoprocessing), statistickou analýzu, vektorovou analýzu, geokódování, konverzi dat atd. Je k dispozici ve všech produktových úrovních s různě velkou škálou nástrojů.
- **ModelBuilder** – je rozhraním pro grafické modelování návrhů a implementací modelů při zpracování prostorových dat. Modely představují graficky ztvárněné diagramy postupů zpracování dat.

Výhodou ArcGIS Desktop je jeho možnost doplnění jednotlivých funkčních úrovní o velké množství nadstaveb s nejrůznějšími funkčními možnostmi. Příkladem těchto nadstaveb je ArcGIS 3D Analyst, ArcGIS Geostatistical Analyst, ArcGIS Spatial Analyst, ArcGIS Tracking Analyst atd. V současnosti je možné využívat verzi ArcGIS Desktop 10, [16].

3.2 ArcView

ArcView tvoří základní funkční úroveň ArcGIS Desktop. Je tvořena aplikacemi ArcMap, ArcCatalog, ArcScene, ArcGlobe, ArcToolbox a ModelBuilder. Umožňuje:

- tvorbu a správu dat
- interaktivní tvorbu map
- dotazování na mapu a nástroje pro práci s mapou
- přímé čtení datových formátů, integraci dat
- práci s prostorovými daty atd.

Z výše vyjmenovaných aplikací již byly popsány ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox a ModelBuilder. Nyní se ještě zmíníme o možnostech aplikace ArcGlobe a ArcScene. Tyto dvě specializované aplikace jsou součástí nadstavby ArcGIS Desktop, které umožňují prohlížení vrstev dat GIS a tvoří rozhraní pro tvorbu a analýzu povrchů. ArcGlobe pracuje s velkými objemy dat, která zobrazuje na glóbu. ArcScene pracuje s menšími objemy dat a zobrazuje je v 3D prostoru, [16].

3.3 Nadstavby ArcGIS

Nyní přistoupíme k popisu vybraných nadstaveb. Jak již bylo řečeno, možnosti ArcGIS Desktop lze rozšířit o celou řadu nástrojů v rámci rozšiřujících modulů. V této kapitole budou popsány základní nadstavby, které jsou k dispozici k ArcGIS 9.2 na ÚBMI, Spatial Analyst a Geostatistical Analyst, a 3D Analyst jako další z velmi využívaných nadstaveb při práci v GIS.

3.3.1 Spatial Analyst

Tento modul nám umožňuje zejména tvorbu dat v rastrovém formátu a analyzovat souvislosti mezi různými typy geografických dat, a to ve vektorovém i rastrovém formátu. Je určen pro analýzu a popis spojitě se měnících veličin, jako např. tlak, teplota, srážky, jelikož nám umožňuje vytvářet rastrovou vrstvu pomocí interpolace naměřených hodnot z diskrétních bodů ze zájmové oblasti. Je vybaven interpolačními metodami, kterými jsou IDW, Spline, Kriging nebo Topo To Raster. Kromě interpolačních mechanismů je vybaven mapovou algebrou, základními analýzami digitálního modelu terénu tak jako 3D Analyst. Je však rozšířen o specifické analýzy, jakými jsou distanční analýza, analýzy hustoty či statistické výpočty v rastru.

Dále jsou v této nadstavbě zpracovány možnosti hydrologického a dynamického modelování. Je zde možnost převedení dat ve vektorovém formátu na rastrová data a naopak či reklasifikace rastru na základě námi definovaných podmínek, [31].

3.3.2 Geostatistical Analyst

Jedná se o modul, který rozšiřuje základní systém ArcGIS Desktop o geostatistické metody. Tyto metody umožňují statistické zpracování, jež do svých výpočtů zahrnují i informaci o geografických souřadnicích zpracovávaných údajů. V nabídce jsou možnosti jak stochastických, tak deterministických metod. Pro sledovanou veličinu je možné provést analýzu prostorové variability a empirické prostorové variability, analýzu kovariančních odchylek, křížovou analýzu kovariančních odchylek a grafické výstupy v podobě QQ plotů, histogramů atd.

Na ploše zájmového území lze s použitím této nadstavby předpovědět hodnoty spojitě se měnící veličiny pomocí nejrůznějších interpolačních mechanismů. Z hodnot naměřených v diskrétních bodech se pomocí interpolačních metod vytvoří rastr, který informuje o rozložení měřené veličiny v dané oblasti. V nabídce jsou interpolační metody – metoda inverzního vážení (IDW), vyhlazovací metoda (Spline), polynomická metoda (Polynomial), Kriging a Cokriging.

Výsledné hodnoty je možné vizualizovat v nejrůznějších formách, jako např. v podobě předpovědní mapy, pravděpodobnostní mapy, mapy předpokládaných středních chyb atd. Výstupy interpolace je možné prezentovat ve formě izolonií, hypsometrie nebo bodů na požadovaných souřadnicích s možností uložit informace o použitém typu interpolace a jejím nastavení, [32].

3.3.3 3D Analyst

3D Analyst je nadstavbou ArcGIS Desktop, která je určena pro tvorbu, analýzu a zobrazení 3D modelu reliéfu zájmového území. Její použití je nezbytné v případech, kdy je nutné zohlednit průběh reliéfu. Pomocí nástrojů 3D Analyst je na základě měření provedených v diskrétních bodech vytvořen trojúhelníkový model reliéfu (TIN), který umožňuje vyjádřit ostré zlomy. Formát TIN je možné konvertovat do rastrového formátu a naopak, nebo na vektoru.

Terén lze texturovat prostřednictvím leteckého nebo družicového snímku. Na povrch lze rozmístit 3D modely budov, stromů, aut atd. Reálný vzhled scény je umocněn nasvícením oblasti sluncem pohybujícím se v reálném čase po obloze a barevnými přechody na obloze. Vytvořený 3D model je poté vizualizován pomocí aplikací ArcScene nebo ArcGlobe. Je možné vytvářet i 3D animace zájmové oblasti a analyzovat ji tak z libovolného úhlu a pozice.

Tento modul nám dále umožňuje široké pole možností analýzy reliéfu, např. výpočet sklonu, stínování reliéfu, analýzu viditelnosti, nalezení nejstrmější cesty nebo jednoduchou rastrovou analýzu, [33].

4. REALIZACE MĚŘENÍ

4.1 Měřicí komponenty

V této části práce bude popsáno přístrojové vybavení, které bylo použito v rámci měření hluku. Za tímto účelem byl použit zvukoměr Minilyzer ML1, mikrofon miniSPL, zvukoměr 2250 Brüel&Kjaer, mikrofon 4189 Brüel&Kjaer, kalibrátor 4231 Brüel&Kjaer a stanice GPS.

Minilyzer ML1

Za účelem měření ekvivalentní hladiny hluku byl použit zvukoměr Minilyzer ML1 firmy NTI (v.č. AEK713A2A2). Jedná se o přístroj s velkou škálou měřicích funkcí. Lze např.:

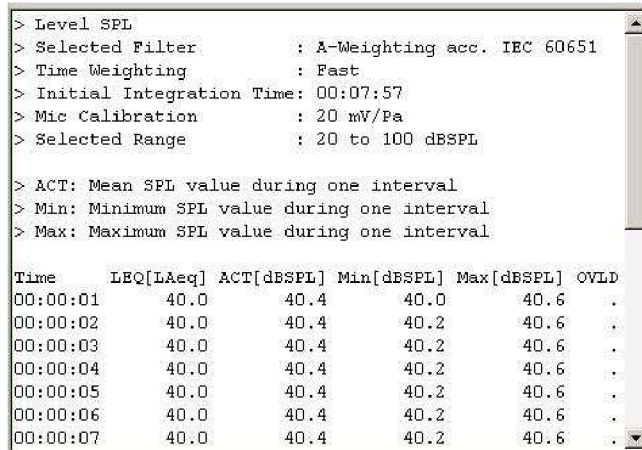
- měřit hladinu RMS (absolutní hladina vstupního signálu), REL (hladina RMS vztažená k referenční hodnotě), SPL (ekvivalentní trvalá hladina hluku), THD + N (celkové harmonické zkreslení + hluk), frekvenci,
- testovat polaritu,
- měřit hladinu RMS jako funkci frekvence nebo hladinu RMS, THD+N a frekvenci jako funkci času,
- zaznamenávat 1/3 oktávové spektrum RMS nebo SPL
- vizualizovat průběh vstupního signálu.

Součástí vybavení tohoto zvukoměru je miniSPL. Jedná se o všesměrový kondenzátorový mikrofon pro volné pole. Technická data k miniSPL jsou citlivost 20 ± 2 mV/Pa, napájení 1 x AA baterie 1,5 V, rozsah teplot 0°C až $+45^{\circ}\text{C}$, vlhkost $<90\%$.



Obr. č. 8 Minilyzer ML1 a MiniSPL

Tato měřicí sada též obsahuje software MiniLINK. Velkou výhodou tohoto programového vybavení je ukládání naměřených hodnot (viz obrázek č. 9), možnost přenosu dat do PC, online záznam měření do PC a uložení ve formátu, pomocí něhož můžeme data lehce importovat do programu Excel, atd.



```
> Level SPL
> Selected Filter      : A-Weighting acc. IEC 60651
> Time Weighting     : Fast
> Initial Integration Time: 00:07:57
> Mic Calibration    : 20 mV/Pa
> Selected Range     : 20 to 100 dB SPL

> ACT: Mean SPL value during one interval
> Min: Minimum SPL value during one interval
> Max: Maximum SPL value during one interval
```

Time	LEQ[LAeq]	ACT[dBSPL]	Min[dBSPL]	Max[dBSPL]	OVLd
00:00:01	40.0	40.4	40.0	40.6	.
00:00:02	40.0	40.4	40.2	40.6	.
00:00:03	40.0	40.4	40.2	40.6	.
00:00:04	40.0	40.4	40.2	40.6	.
00:00:05	40.0	40.4	40.2	40.6	.
00:00:06	40.0	40.4	40.2	40.6	.
00:00:07	40.0	40.4	40.2	40.6	.

Obr. č. 9 Ukázka data loggingu

Analyzátor 2250 Brüel&Kjaer

Pro kontrolu činnosti zvukoměru Minilyzer ML1 a měření ekvivalentní hladiny hluku pro další zpracování v programu CadnaA byl použit zvukoměr 2250 (v. č. 2506190, ověřen ČMI Brno č. 6035-OL-Z0036-10, platnost do 31. 5. 2012) a měřicí mikrofón 4189 (v. č. 2508922, ověřen ČMI Brno č. 6035-OL-M0049-10, platnost do 26. 5. 2012) společnosti Brüel&Kjaer. Pro účely kalibrace je používán kalibrátor 4189 Brüel&Kjaer (v. č. 1882109, kalibrován ČMI Brno 6035-KL-K0008-12, ověřen 16. 2. 2012).

Tento zvukoměr je zaměřen na monitorování hluku životního prostředí, pracovního prostředí, určen pro kontrolu kvality výrobků, frekvenční analýzu v čase atd. Vybrané charakteristiky zvukoměru jsou:

- dynamický rozsah zvukoměru je 120 dB,
- frekvenční rozsah od 3 Hz do 20 kHz,
- možnost ukládání širokopásmových a spektrálních dat pro pozdější analýzu,
- záznam zvuku, atd.



Obr. č. 10 Analyzátor 2250 společnosti Brüel&Kjaer, [36]

Jednou z funkcí tohoto zvukoměru je provedení záznamu ekvivalentní hladiny hluku a dalších veličin v daném intervalu měření a případné odstranění konkrétní ekvivalentní hladiny hluku např. po průjezdu sanitky nebo zatroubení vozidla, tak aby nedošlo ke zkreslení výsledné hodnoty.

GPS

Pro získání geografické informace o poloze měřicích bodů byl použit GPS přijímač firmy Garmin GPSMAP 60C_{sx} (v. č. 10R-022491). Přesnost určení polohy je 7–10 m, při normálním režimu GPS i méně. Je velice citlivý i v oblastech s minimálním výhledem na oblohu. Je vybaven možností zaznamenávat body či trasy nebo je plánovat. Pracuje v teplotním rozsahu -15°C až +70°C a je napájen dvěma AA bateriemi. Tento přijímač integruje informace z více čidel, můžeme jej tedy také použít i pro měření nadmořské výšky nebo jako elektromagnetický kompas. Pomocí barometrického výškoměru lze měřit okolní barometrický tlak a tlak přepočítaný na hladinu moře. Výškový počítač umožňuje zobrazit průměrnou a maximální vertikální rychlost sestupu/výstupu, minimální nebo maximální výšku atd. Elektromagnetický kompas umožňuje přesné určení azimutu. Součástí přístroje je i slot na microSD karty, pomocí nichž můžeme do přístroje uložit další mapy z edice MapSource.



Obr. č. 11 Garmin GPSMAP 60CSx

Kalibrace zvukoměru

Dle metodiky měření hluku silniční dopravy je vhodné před, v průběhu a po dokončení měření provést kalibraci použitého zvukoměru. Kalibrace probíhá s pomocí akustických kalibrátorů. Za tímto účelem bychom mohli použít tónový kalibrátor Lutron SC-940A 1kHz/94 dB, který je dostupný na ÚBMI. Tento kalibrátor je však dle normy nutné jednou za dva roky kalibrovat. Samotná kalibrace kalibrátoru je nákladná záležitost. Z finančních důvodů tedy nebylo možné kalibraci kalibrátoru zrealizovat.

Pro kontrolu činnosti zvukoměru bylo provedeno měření spolu s dalším zvukoměrem typu Brüel&Kjaer 2250, který je používán pro profesionální monitorování hluku životního prostředí a zejména je platně kalibrován v rámci Českého metrologického institutu. Tento institut zabezpečuje jednotnost a přesnost měřidel a měření ve všech oborech vědecké, technické a hospodářské činnosti v rozsahu podle § 14 zákona č. 505/1990 Sb. o metrologii. Ověření činnosti zvukoměru 2250 Brüel&Kjaer je platné do 31. 5. 2012 a ověření měřicího mikrofону 4189 Brüel&Kjaer do 26. 5. 2012.

Při kontrole činnosti zvukoměru Minilyzer ML1 byly oba zvukoměry umístěny do stejné polohy a po dobu 5 minut byl prováděn záznam ekvivalentní hladiny hluku. Výsledné hodnoty měření jsou uvedeny v tabulce č. 5.

Tabulka č. 5 Výsledné hodnoty měření při kontrole činnosti zvukoměru Minilyzer ML1

	Minilyzer ML1	Brüel&Kjaer 2250
$L_{Aeq,5 \text{ min}}$ [dB(A)]	71,5	71,7
$Max L_{Aeq,5 \text{ min}}$ [dB(A)]	56,4	56,5
$Min L_{Aeq,5 \text{ min}}$ [dB(A)]	81,3	81,5

Z výsledných hodnot můžeme usoudit, že mezi naměřenými hodnotami ekvivalentních hladin není zásadní rozdíl a činnost zvukoměru Minilyzer ML1 můžeme považovat za korektní.

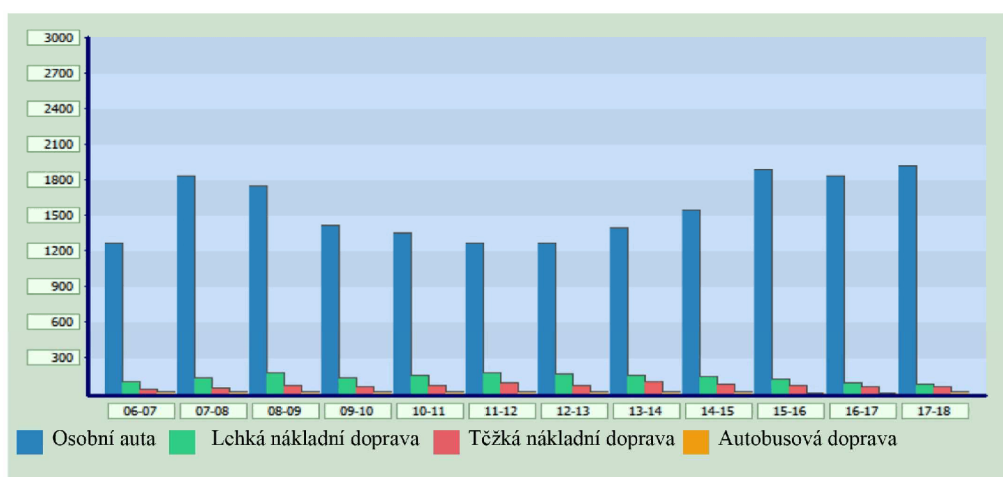
4.2 Analýza dopravní situace

Nyní přistoupíme k analýze dopravní situace naší zájmové oblasti, a tou je oblast ulice Hradecké, ulice Purkyňovy a Podnikatelské. Pro nás jsou významné zejména informace o intenzitě dopravy na těchto komunikacích. Tyto studie jsou prováděny přibližně jednou za rok a jejich poslední aktualizace proběhla v roce 2010. Tyto dopravní průzkumy poskytly Brněnské komunikace, a. s.

Dopravní situace ulice Hradecká

Ulice Hradecká je významným zdrojem hluku pro svoje okolí. Jedná se o mezinárodní silnici E461 vedoucí v trase Svitavy-Brno-Vídeň. Komunikace je čtyřpruhová obousměrná a maximální povolená rychlost je 80 km.h^{-1} . V oblasti před křižovatkou s ulicí Královopolská – Skácelova dochází v důsledku zúžení do dvou jízdních pruhů k snížení rychlosti ve směru do centra na 40 km.h^{-1} a ve směru na Svitavy na 60 km.h^{-1} . Hlavním zdrojem hluku je osobní a nákladní doprava a v období od 26. 3. 2012 do 31. 5. 2012 v části jejího úseku i autobusová doprava linky č. 53 z důvodu zjednosměrnění ulice Podnikatelské. Průměrný počet spojů linky č. 53 za hodinu je 5 ve směru Technologický park – Slovanské náměstí. Intenzita dopravy v této oblasti je velmi ovlivněna stavbou tunelů Dobrovského na silnici I/42 tvořící brněnský Velký městský okruh. Tato stavba začala v roce 2006 a její dokončení je odhadováno zhruba na polovinu roku 2012.

Podrobný průzkum intenzity dopravy na ulici Hradecké je uveden na obrázku č. 12 a v tabulce č. 6. Pro získání hodnoty intenzity dopravy za 24 hodin se suma osobní a nákladní dopravy násobí koeficientem 1,3.



Obr. č. 12 Intenzita dopravy na ulici Hradecké v obou směrech, [28]

Tabulka č. 6 Hodnoty intenzity dopravy na ulici Hradecké v obou směrech, [28]

Čas	Os. auta	Lehká nákl. doprava	Těžká nákl. doprava	Autobusy	SUMA
-06:00-	1330	106	38	7	1481
-07:00-	1929	139	50	6	2124
-08:00-	1829	175	62	13	2079
-09:00-	1485	136	55	12	1688
-10:00-	1414	154	63	9	1640
-11:00-	1323	180	91	9	1603
-12:00-	1330	166	67	8	1571
-13:00-	1457	154	102	9	1722
-14:00-	1615	146	78	10	1849
-15:00-	1982	124	72	3	2181
-16:00-	1929	92	56	3	2080
-17:00-	2009	79	57	6	2151
celkem	19632	1651	791	95	22169

Dopravní situace ulice Podnikatelská

Maximální povolená rychlost na ulici Podnikatelské je 50 km.h⁻¹. Jedná se o komunikaci dvoupruhovou obousměrnou, avšak v období od 26. 3. 2012 do 31. 5. 2012 je zde v důsledku připojování inženýrských sítí v areálu Technologického parku uzavírka jednoho jízdního pruhu. Na této pozemní komunikaci je hlavním zdrojem hluku osobní, nákladní a autobusová doprava v konečné části její trasy. Bohužel k této pozemní komunikaci též nejsou k dispozici podrobnější studie o intenzitě dopravy. Průměrný počet osobních vozidel na této ulici je 8000 z toho 7 % tvoří počet nákladních vozidel. Zdrojem hluku na této ulici je též autobusová doprava. Průměrný počet spojů linky č. 53 v obou směrech je 10.

Dopravní situace ulice Purkyňova

Ulice Purkyňova je dvoupruhová obousměrná komunikace včetně obousměrné tramvajové dráhy. Maximální povolená rychlost na této komunikaci je 50 km.h⁻¹. Bohužel k této pozemní komunikaci není k dispozici podrobnější studie o intenzitě dopravy. Zdrojem hluku na této komunikaci je osobní a nákladní doprava. Intenzita osobní dopravy je cca 9000 vozidel za 12 hodin z toho 9 % tvoří doprava nákladní. Významným zdrojem hluku je též tramvajová doprava po celé její trase. Intenzita provozu tramvajové linky č. 12 a 13 za 12 hodin je přibližně 26 spojů za hodinu v obou směrech. Za zdroj hluku na této ulici můžeme považovat i autobusovou dopravu, konkrétně linku č. 53. Průměrný počet spojů za hodinu během 12 hodin je 5 spojů ve směru Technologický park – Slovanské náměstí a 5 spojů ve směru Slovanské náměstí – Technologický park.

Dopravní situace - shrnutí

Z analýz dopravní situace je zřejmé, že nejvyšší intenzita dopravy, a to jak v rámci osobní tak i nákladní dopravy, je na ulici Hradecké (viz tabulka č. 7). Tento fakt bude mít významný vliv na výslednou ekvivalentní hladinu hluku. Důležitá je pro nás informace o procentu tvořeném nákladní dopravou. Tuto informaci využijeme v kapitole č. 4.3 pro výběr měřicího intervalu a pro přepočet ekvivalentní hladiny hluku na 12hodinový interval.

Tabulka č. 7 Počet průjezdů osobních automobilů za 12 hodin a % nákladní dopravy na ulici Hradecké, Purkyňově a Podnikatelské

Ulice	Osobní doprava	Nákladní doprava [%]
Hradecká	19632	12
Purkyňova	9000	9
Podnikatelská	8000	7

4.3 Měření hluku

Poloha a nastavení zvukoměru

Pro vytváření hlukových map by měl být mikrofon umístěn do výšky minimálně 3,0 m. Jelikož nebylo k dispozici příslušné technické vybavení, mikrofon byl umístěn do výšky pouze cca 1,5 m. Osa nejvyšší citlivosti mikrofonu byla umístěna kolmo na podélnou osu komunikace a byla směřována k nejvýznamnějšímu zdroji hluku v dané oblasti.

Při měření byl použit váhový filtr typu A, integrační konstanta FAST a měřicí rozsah 20–100 dB(A), jak můžeme vidět na obrázku č. 13. Z důvodu ochrany mikrofonu a eliminace vlivu větru na výsledné měření byl použit mikrofonní kryt.



Obr. č. 13 Nastavení displeje při měření ekvivalentní hladiny hluku

Doba a průběh měření

Jelikož byl k dispozici pouze jeden zvukoměr, bylo nutné měření rozvrhnout do několika dnů. Měření bylo realizováno v měsíci dubnu, a to ve čtvrtek 12. 4., v úterý 17. 4. a ve středu 18. 4. 2012, kdy dny před a po nebyly dny pracovního klidu, jak nám to doporučuje metodický návod.

Po konzultaci s Mgr. Bublanem byla stanovena jako dostatečná délka měření doba 30 minut. Během této doby byl současně vyhodnocen i počet průjezdů osobních aut, nákladních vozidel a počet tramvají, v obou směrech na dané komunikaci.

V praxi se vytváří hlukové mapy pro denní (od 6.00 do 22.00 hod) a noční dobu (od 22.00 do 06.00 hod). Tímto způsobem jsou stanoveny i hygienické limity, se kterými jsou výsledné hodnoty ekvivalentní hladiny hluku porovnávány. Pro vytvoření denní či noční hlukové mapy se měří v celém časovém období. S našimi technickými prostředky a softwarovým vybavením nebylo možné tohoto dosáhnout. Výběr konkrétního 30minutového intervalu na dané pozici a výsledná hladina $L_{Aeq,0.5hod}$ by velice ovlivnila výslednou hlukovou mapu. Podle Mgr. Bublana (osobní komunikace), je velmi výhodné v našem případě využít přepočtu pro celou denní dobu, jelikož výsledná ekvivalentní hladina hluku není posléze ovlivněna výběrem konkrétního 30minutového intervalu, a tudíž ani intenzitou dopravy v daném rozmezí.

Abychom tento přepočet mohli využít, bylo nutné získat informace o průměrné intenzitě provozu na vybraných ulicích. Jelikož byly k dispozici informace o intenzitě dopravy pouze za 12hodinový interval (od 06.00 do 18.00), bylo možné vypočítat pouze $L_{Aeq,12hod}$.

Pro výpočet ekvivalentní hladiny hluku pro 12hodinový interval vycházíme z výpočtu platného pro 30minutový interval (viz rovnice č. 12).

Výpočet ekvivalentní hladiny hluku pro 30minutový interval:

$$L_{Aeq,0.5hod} = 10 \cdot \log \left(\frac{N_0 \cdot 10^{0,1L_0} + N_N \cdot 10^{0,1L_N}}{0,5} \right) \quad [\text{dB(A)}] \quad (12),$$

kde $L_{Aeq,0.5hod}$ hladina naměřená za 30 minut

N_0 počet osobních aut za 30 minut

N_N počet nákladních aut za 30 minut

L_0 hladina hluku po průjezdu jednoho osobního vozidla

L_N hladina hluku po průjezdu jednoho nákladního vozidla.

Avšak musí platit:

$$N_N = N_0 \cdot k \quad (13),$$

kde kpoměr mezi počtem nákladních a osobních vozidel.

Přepočet ekvivalentní hladiny hluku z 30minutového intervalu na $L_{Aeq,12hod}$:

$$L_{Aeq,12hod} = 10 \cdot \log \left(\frac{N_{0-12} \cdot 10^{0.1L_0} + N_{N-12} \cdot 10^{0.1L_N}}{0,5} \right) \quad [\text{dB(A)}] \quad (14),$$

kde N_{0-12}počet osobních vozidel za 12 hodin

N_{N-12}počet nákladních vozidel za 12 hodin.

Opět musí být splněna podmínka:

$$N_{N-12} = N_{0-12} \cdot k \quad (15).$$

Po odvození získáme výsledný vzorec:

$$L_{Aeq,12hod} = 10 \left(\frac{0.5}{12} \cdot \frac{N_{0-12}}{N_0} \cdot 10^{0.1L_{Aeq} \cdot 0.5hod} \right) \quad [\text{dB(A)}] \quad (16).$$

Tento výpočet však můžeme použít pouze v případě, že poměr mezi počtem osobních aut a nákladních vozidel během 30minutového intervalu je přibližně stejný jako poměr mezi počtem osobních aut a nákladních vozidel dle celodenního hodnocení. V případě ulice Purkyňovy je nutné uvažovat i o tramvajové dopravě. Abychom vhodně zvolili dobu měření, bylo nutné spočítat průměrný počet tramvají během 12 hodin a vybrat 30minutový interval, ve kterém bude počet průjezdů tramvají odpovídat této průměrné hodnotě.

Obdobným způsobem lze získat ekvivalentní hladinu hluku za 24 hodin:

$$L_{Aeq,24hod} = 10 \left(\frac{0.5}{24} \cdot \frac{N_{0-24}}{N_0} \cdot 10^{0.1L_{Aeq} \cdot 0.5hod} \right) \quad [\text{dB(A)}] \quad (17).$$

Do výpočtu je zahrnuta intenzita dopravy za 24 hodin. Pro získání intenzity dopravy za 24 hodin se suma osobní a nákladní dopravy násobí koeficientem 1,3.

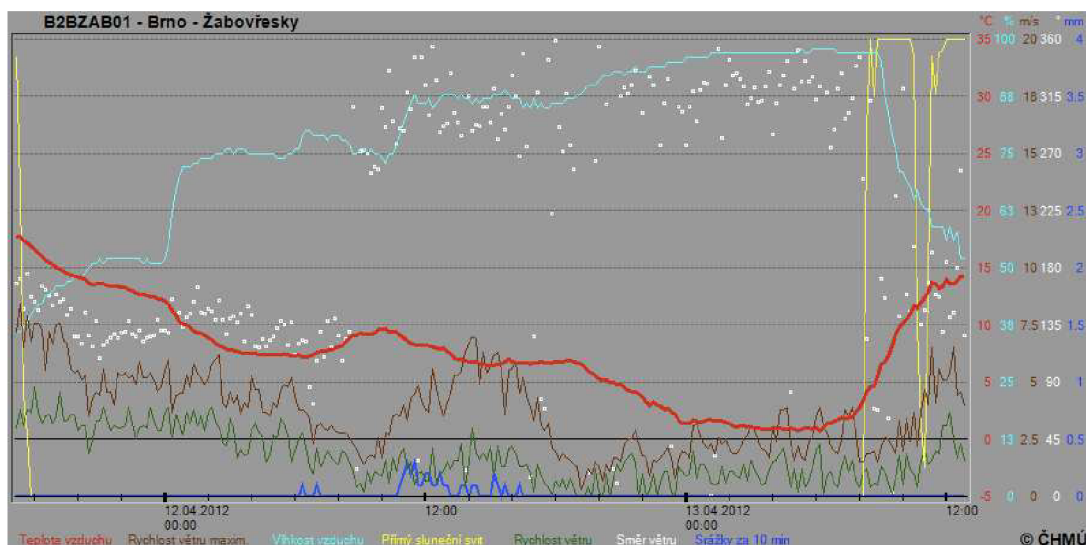
4.4 Meteorologické podmínky

Měření hladiny hluku by mělo probíhat za optimálních meteorologických podmínek. Jak již bylo řečeno v teoretické části, měření bychom neměli provádět při teplotní inverzi, za silného deště, sněžení nebo zejména při rychlostech větru vyšších než $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. S meteorologickými podmínkami též souvisí stav povrchu vozovek. Povrch silnice by neměl být příliš mokrá nebo pokrytý sněhem či ledem.

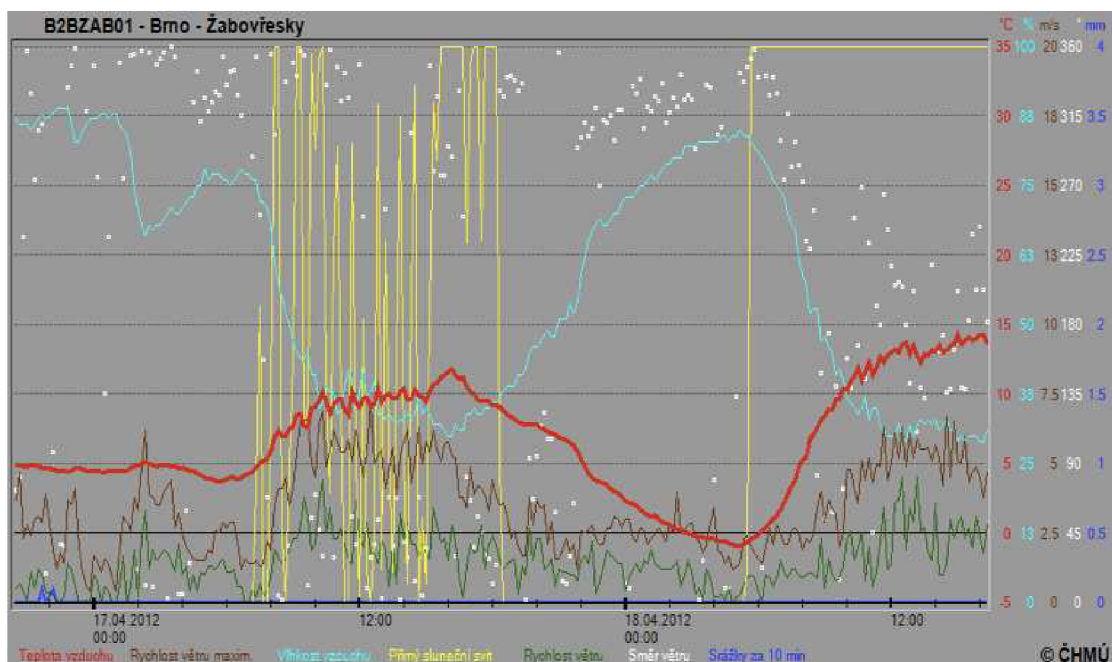
Aktuální informace o počasí na území České republiky byly získávány na webových stránkách Českého hydrometeorologického ústavu. Konkrétně ve městě Brně se nachází dvě meteorologické stanice, a to dobrovolná stanice v Žabovřeskách a profesionální stanice v Tuřanech. Informace byly získávány z obou stanic, a to jak v číselné, tak v grafické podobě. Na obrázku č. 14 jsou uvedeny v číselné podobě aktuální informace o meteorologických podmínkách ze dnů, ve kterých probíhalo měření. Tyto informace jsou aktualizovány každou hodinu. Pro lepší představu je na obrázcích č. 15 a 16 uvedena grafická prezentace průběhu meteorologických podmínek ze dnů, kdy bylo realizováno měření, z dobrovolné stanice v Žabovřeskách. Tyto informace jsou aktualizovány každých 10 minut. Čas na ose x je udáván v SEČ (středoevropský čas), pro získání SELČ (středoevropský letní čas) je tedy nutné přičíst jednu hodinu.

Aktuální počasí Datum : 12.04.2012 Termín : 18 UTC (20 SELČ)		Aktuální počasí Datum : 17.04.2012 Termín : 15 UTC (17 SELČ)		Aktuální počasí Datum : 18.04.2012 Termín : 12 UTC (14 SELČ)	
Stanice:	Brno - Tuřany	Stanice:	Brno - Tuřany	Stanice:	Brno - Tuřany
Oblačnost:	7/8 - skoro zataženo	Oblačnost:	6/8 - oblačno	Oblačnost:	1/8 - jasno
Spodní vrstva:	2/8 Sc 810 m	Spodní vrstva:	6/8 Cu 1500 m	Spodní vrstva:	1/8 Cu 1500 m
Vítr:	260° - 4 m/s	Vítr:	350° - 4 m/s	Vítr:	240° - 4 m/s
Náraz větru:		Náraz větru:		Náraz větru:	
Tlak vzduchu:	1003.8 hPa	Tlak vzduchu:	1010.3 hPa	Tlak vzduchu:	1001 hPa
Tendence:	1.3 hPa	Tendence:	-2.2 hPa	Tendence:	-2.3 hPa
Teplota:	6.4° C	Teplota:	9.4° C	Teplota:	11.7° C
Rosný bod:	4.2° C	Rosný bod:	-4.9° C	Rosný bod:	-2.5° C
Rel. vlhkost:	86 %	Rel. vlhkost:	36 %	Rel. vlhkost:	37 %
Počasí:	Děšť slabý občasný	Počasí:		Počasí:	
Průběh:	děšť, děšť	Průběh:		Průběh:	
Srážky:	4 mm / 12h.	Srážky:		Srážky:	
Srážky 1 h.:	nem 1h.	Srážky 1 h.:		Srážky 1 h.:	

Obr. č. 14 Aktuální meteorologické informace ze dnů, kdy bylo realizováno měření, [37]



Obr. č. 15 Grafická prezentace meteorologických podmínek ze dne 12. 4. 2012, [37]



Obr. č. 16 Grafická prezentace meteorologických podmínek ze dne 17. 4. a 18. 4. 2012, [37]

Dne 12. 4. 2012 probíhalo měření pouze v rozmezí od 10.00 do 12.00 hod., jelikož se pak vyskytly dešťové srážky, které znemožnily další měření. Průměrná rychlost větru během měření nepřekročila hranici $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Dne 17. 4. a 18. 4. 2012 se během dne nevyskytovaly žádné srážky a též průměrná rychlost větru se pohybovala kolem hodnoty $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Můžeme tedy konstatovat, že měření hladiny hluku probíhalo za korektních a srovnatelných meteorologických podmínek.

5. VYTVOŘENÍ HLUKOVÉ MAPY V ARCVIEW

V této kapitole se postupně seznámíme s pojmy potřebnými při přípravě dat a pro tvorbu hlukové mapy v GIS. V rámci určení polohy v prostoru si představíme typy souřadnicových systémů. Dále se budeme zabývat procesem georeferencování a vektorizace mapy, jelikož jsou úzce spjaty s prací s mapovými podklady. V konečné fázi tvorby hlukové mapy je nutné vybrat vhodný interpolační mechanismus, proto bude do této kapitoly zahrnut i popis vybraných interpolačních mechanismů dostupných zejména v rámci nadstaveb ArcGIS.

Zpracování naměřených dat

V tabulce č. 8 jsou uvedeny naměřené hodnoty ekvivalentních hladin akustického tlaku, jeho minimální a maximální hodnota a hodnota ekvivalentní hladiny hluku za 12 a 24 hodin vypočítaná ze vzorce 16 a 17. Hlavním zdrojem hluku v zájmové oblasti je hluk z dopravy. Tento zdroj hluku označujeme jako zdroj liniový.

Tabulka č. 8 Výsledky hodnoty ekvivalentních hladin hluku – pozice na ulici Hradecké (H), ulici Podnikatelské (Po) a ulici Purkyňově (Pu)

Pozice	Datum měření	$L_{Aeq,0.5 \text{ hod}}$ [dB(A)]	Max $L_{Aeq,0.5 \text{ hod}}$ [dB(A)]	Min $L_{Aeq,0.5 \text{ hod}}$ [dB(A)]	$L_{Aeq,12 \text{ hod}}$ [dB(A)]	$L_{Aeq,24 \text{ hod}}$ [dB(A)]
1. H	12. 4. 2012	75,6	82,3	54,3	75,7	73,9
2. H	12. 4. 2012	76,1	86,1	55,7	76,1	73,8
3. H	12. 4. 2012	75,6	85,4	52,6	75,9	74,0
4. H	17. 4. 2012	75,0	81,9	59,9	74,9	73,0
5. Pu	17. 4. 2012	72,3	78,2	60,1	74,7	72,8
6. H	17. 4. 2012	76,1	83,0	61,2	76,1	73,9
7. H	17. 4. 2012	76,5	84,2	62,1	75,9	74,1
8. Pu	17. 4. 2012	70,5	76,3	62,5	72,5	70,6
9. H	17. 4. 2012	75,1	88,7	59,6	75,3	73,4
10. H	17. 4. 2012	75,0	81,5	63,4	75,0	73,1
11. H	17. 4. 2012	74,9	81,9	60,3	75,2	73,3
12. H	17. 4. 2012	74,4	79,9	61,5	74,5	72,7
13. H	17. 4. 2012	74,3	80,6	59,8	74,4	72,5
14. Pu	17. 4. 2012	69,4	77,4	58,9	71,8	70,0
15. Pu	17. 4. 2012	68,7	79,0	56,7	71,7	69,8
16. Pu	18. 4. 2012	70,1	75,8	60,2	73,3	71,4
17. Po	18. 4. 2012	62,9	72,6	52,3	67,4	65,5
18. Po	18. 4. 2012	63,3	80,1	51,5	66,7	64,8
19. Po	18. 4. 2012	64,0	74,7	55,2	67,5	65,7

Při pohledu na naměřené hodnoty je zřejmý vztah mezi výslednými hodnotami hluku a intenzitou dopravy na dané komunikaci. Komunikací s nejvyššími hodnotami ekvivalentních hladin hluku je ulice Hradecká. Z námi analyzované dopravní situace na ulici Hradecké, Podnikatelské a Purkyňovy zahrnuje ulice Hradecká nejvyšší intenzitu dopravy, a to jak v rámci osobní, tak nákladní dopravy. Naopak ulice Podnikatelská disponuje ze všech tří komunikací nejnižším počtem průjezdů osobní i nákladní dopravy, čemuž odpovídají i nejnižší naměřené hodnoty ekvivalentní hladiny hluku v naší zájmové oblasti.

Při podrobnějším zkoumání výsledných hodnot si můžeme povšimnout ekvivalentních hladin hluku na ulici Hradecké na pozici 12 a 13. Zde jsou hodnoty ekvivalentních hladin hluku mírně nižší než na ostatních pozicích v okolí ulice Hradecké. Tyto pozice se nacházejí v oblasti zúžení do dvou jízdnic pruhů a snížení rychlosti až na 40 km.h⁻¹. Z tohoto důvodu bychom se mohli domnívat, že snížená rychlost má vliv na výslednou ekvivalentní hladinu hluku. Avšak pro potvrzení či vyvrácení tohoto předpokladu by bylo nutné podrobit tuto situaci další analýze.

Dále bychom si mohli povšimnout rozdílů mezi hodnotami po přepočtu $L_{Aeq,0.5hod}$ na $L_{Aeq,12hod}$. Nejvýraznější rozdíl mezi těmito hodnotami jsou na ulici Podnikatelské. Tyto rozdíly jsou způsobeny jednosměrnou uzavírkou mající vliv na aktuální intenzitu dopravy. Pro přepočet ekvivalentní hladiny hluku z 30minutového na 12hodinový interval jsme totiž použili informaci o průměrné intenzitě dopravy bez uzavírky na této komunikaci. V případě, že bychom měli k dispozici aktuální informace o intenzitě dopravy za 12 hodin během této uzavírky, byl by průměrný počet vozidel pravděpodobně nižší a v rámci výpočtu by byla nižší i hodnota výsledné ekvivalentní hladiny hluku.

Do protokolu bychom měli zaznamenat i hluk pozadí. V případě ulice Hradecké tuto hodnotu nebylo možné změřit, avšak za hluk pozadí můžeme považovat naměřenou hodnotu 52,6 dB(A), kdy během krátkého intervalu nebylo na komunikaci přítomno žádné vozidlo. Hluk pozadí na ulici Podnikatelské odpovídal hodnotě 49,9 dB(A) a na ulici Purkyňově 51,5 dB(A). Avšak je nutné podotknout, že hluk pozadí na ulici Podnikatelské a Purkyňově může být výrazně ovlivněn dopravou z ulice Hradecké.

5.1 Stanovení polohy v prostoru

Pro práci s prostorově vázanými daty je nutné nejprve jednoznačně definovat jejich polohu v prostoru. Existuje celá řada prostorových referenčních systémů, které definují polohu geoprvků různými způsoby, s různou přesností a rozlišením. Polohu je možné určovat přímo pomocí souřadnicových systémů (tzv. georeferencing) nebo nepřímo pomocí geokódů (tzv. geocoding). My se však zaměříme pouze na určení polohy pomocí souřadnicových systémů.

Souřadnicové systémy dělíme na:

- globální souřadnicové systémy, které jsou využívány pro stanovování polohy v rámci rozsáhlých území (celá Země, stát nebo jeho velká část);
- lokální souřadnicové systémy, které jsou platné pro malé oblasti (archeologické naleziště, výrobní areál apod.).

Globální souřadnicové systémy se z hlediska plynulosti stanovování polohy dělí na:

- kontinuální souřadnicové systémy – které při určování polohy geoprvků měří kontinuálně, bez skokových změn souřadnic a bez přerušování;
- diskrétní souřadnicové systémy – se používají zejména při práci s rastrovými daty. Typická je pro ně skoková změna souřadnic při určování polohy geoprvků.

Při práci s GPS byl používán souřadnicový systém World Geodetic System 1984 (WGS 1984) a při tvorbě hlukových map v prostředí ArcGIS souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK), které byly stanoveny Vládou ČR jako jedny z mnoha použitelných na území našeho státu. Tyto souřadnicové systémy jsou globálními kontinuálními absolutními souřadnicovými systémy, které jsou definovány ve vztahu k rovině, do níž je zemský povrch promítnut. Absolutní stanovování polohy představuje přímé přiřazení souřadnic poloze geoprvcu vyjádřených v globálním souřadnicovém systému. Těchto souřadnicových systémů je celá řada a jedná se o elipsoidy s definovanou délkou hlavní a vedlejší poloosy, [26].

5.2 Georeferencování

Jako zdroj mapových podkladů byly využity letecké snímky naší zájmové oblasti na mapovém portálu www.mapy.cz. Jedná se o rastrová data, která je nutné před samotným vytvářením hlukových map v ArcGIS předzpracovat, jelikož neobsahují informace o geografické poloze.

Georeferencování je proces, při němž dochází k transformaci obrazového záznamu do libovolné souřadnicové soustavy. Poté je poloha pixelu vyjádřena pomocí mapových souřadnic. V prostředí GIS se georeferencování provádí pomocí tzv. vlícovaných bodů. Těmito body jsou pixely rastru o známých souřadnicích. Po ukončení procesu je každému pixelu georeferencovaného obrazu přiřazena nová hodnota vycházející z hodnot původních tzv. převzorkováním. Nejčastěji využívané metody převzorkování jsou metoda nejbližšího souseda, bilineární interpolace či kubická konvoluce, [26].

Při georeferencování v prostředí ArcGIS je nutné vybrat rastr, který chceme souřadnicově připojit. Poté si musíme definovat tzv. vlícované body, tedy body o známých souřadnicích. To můžeme učinit pomocí funkce *Input X and Y* v rámci panelu nástrojů *Georeferencing*. Jakmile zadáme první kontrolní bod, dojde k posunutí rastru na zadané souřadnice. Rastr je transformován již po zadání dvou bodů, avšak pro získání větší přesnosti a pro výpočet střední kvadratické chyby je nutné zadat nejméně čtyři tyto kontrolní body. Výslednou kvalitu procesu georeferencování je možné zkontrolovat pomocí hodnoty střední kvadratické chyby a její hodnoty u konkrétních vlícovaných bodů, [27].

Z dalších možností při tvorbě hlukové mapy je možnost využití mapových podkladů, které jsou již svázány s geografickými souřadnicemi. V tomto případě již tedy není nutné tato rastrová data georeferencovat. Této možnosti jsme však nemohli využít, jelikož je součástí licence ArcInfo, která nebyla k dispozici.

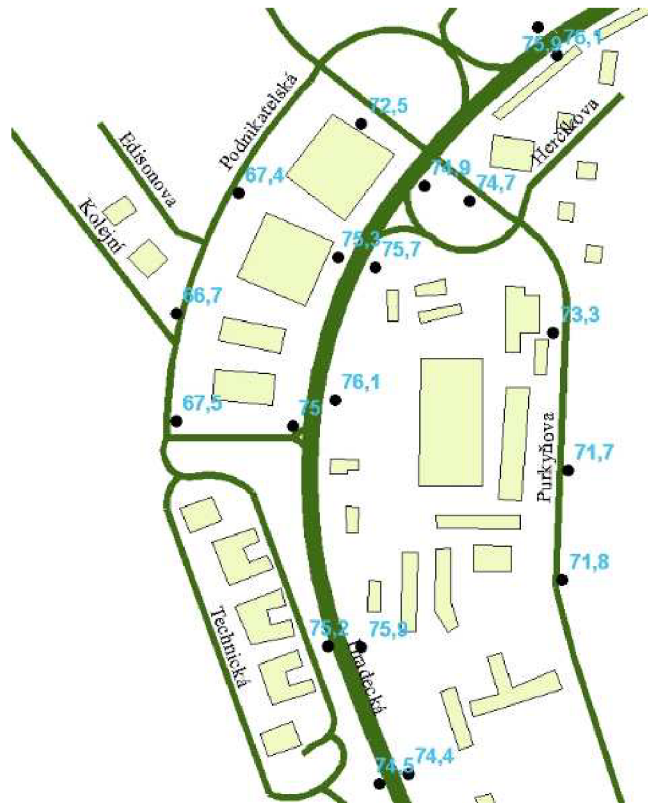
5.3 Vektorizace (digitalizace prostorových dat)

Abychom mohli dále pokračovat v tvorbě hlukové mapy, je nutné vytvořit digitální vektorovou reprezentaci prostorových prvků, jako např. komunikací, domů, obcí atd. (viz obrázek č. 17). K této reprezentaci se využívá topologických prvků, kterými jsou:

- bod
- linie
- polygon.

V prostředí ArcGIS je používán vektorový model typu *Coverage*, *Shapefile* a *Geodatabase*. Pro tvorbu map a pro některé druhy analýz je pro nás význačný model typu *Shapefile*. V prostředí ArcCatalog je nutné vytvořit datové soubory pro prvky, které chceme vektorizovat. V našem případě si vytvoříme soubory ve formátu shapefile pro GPS data, resp. hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku (bod), pro komunikace (polyline) a pro domy (polygon). Tato

vektorová data již neobsahují informace o prostorovém umístění, avšak každému takto vytvořenému souboru je možné nastavovat atributy. Samotný proces editace vektorových vrstev se provádí v prostředí ArcMap, [27].



Obr. č. 17 Mapa zájmové oblasti ve vektorovém formátu s vyznačením jednotlivých měřicích bodů

5.4 Interpolační metody

Abychom získali výsledné prostorové rozložení ekvivalentních hladin hluku z hodnot naměřených v diskrétních bodech, je nutné použít metod interpolace. Interpolací získáme hodnoty i v místech, kde dané měření neproběhlo. Interpolačních metod existuje celá řada, my se však zaměříme na jejich základní dělení.

Interpolační metody lze dělit dle různých kritérií na:

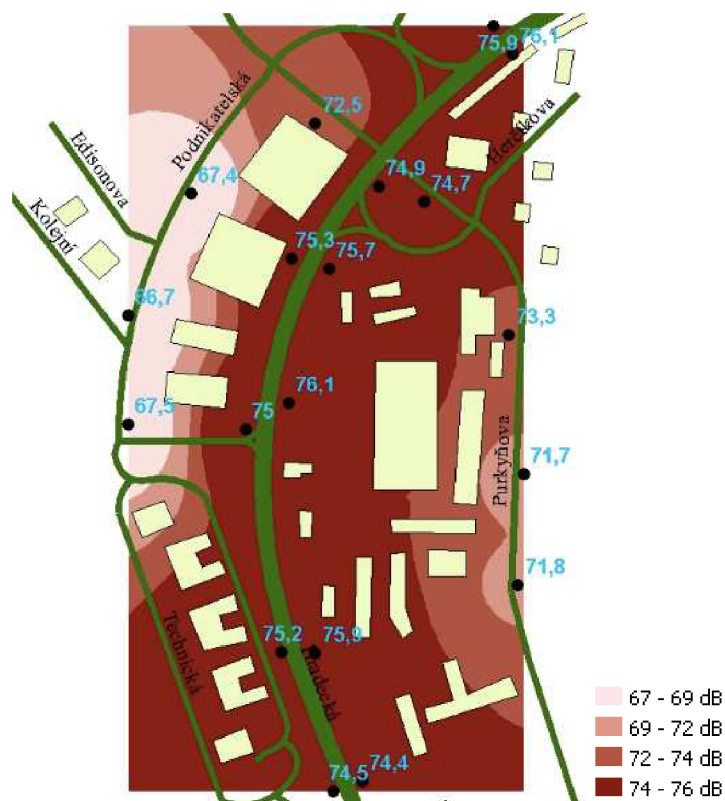
- **Globální** – které do výpočtu zahrnují všechny naměřené hodnoty zájmového území. Změna jakékoli vstupní hodnoty v bodě měření vede ke změně výsledného prostorového rozložení v rámci celé oblasti.

- **Lokální** – zahrnuje do svého algoritmu pouze část naměřených hodnot. Změna jedné vstupní hodnoty způsobí změnu pouze v lokální oblasti.
- **Deterministické** – do této kategorie zahrnujeme metodu přirozeného souseda, metodu inverzních vzdáleností (IDW), Spline, Trend atd. Výsledné zpracování pro dané hodnoty je vždy stejné, jelikož tyto interpolační metody zahrnují do svých výpočtů přímo vstupní hodnoty a nevyžívají zde teorie pravděpodobnosti.
- **Stochastické** – do této oblasti řadíme zejména širokou oblast metod Krigingu. Zahrnují jevy nahodilého charakteru. Tyto metody jsou založeny na statistických modelech, které předpokládají prostorovou korelaci mezi vstupními hodnotami, [39].

Nyní přistoupíme k popisu jednotlivých interpolačních metod. V krátkosti budou popsány vybrané metody, které jsou dostupné v rámci nadstaveb ArcGIS Spatial Analyst a Geostatistical Analyst. V rámci popisu jednotlivých metod budou uvedeny hlukové mapy vytvořené pomocí těchto interpolačních mechanismů na základě námi naměřených hodnot ekvivalentních hladin hluku.

IDW (Inverse Distance Weighted) – je metodou lokální a deterministickou. Interpolovaný povrch je váhovaným průměrem diskrétních bodů a váhy jednotlivých bodů jsou funkcí inverzní vzdálenosti. Je tedy založena na předpokladu, že hodnota v diskrétním bodě v blízkosti predikované oblasti bude mít na výsledný odhad větší vliv než hodnota vzdálená.

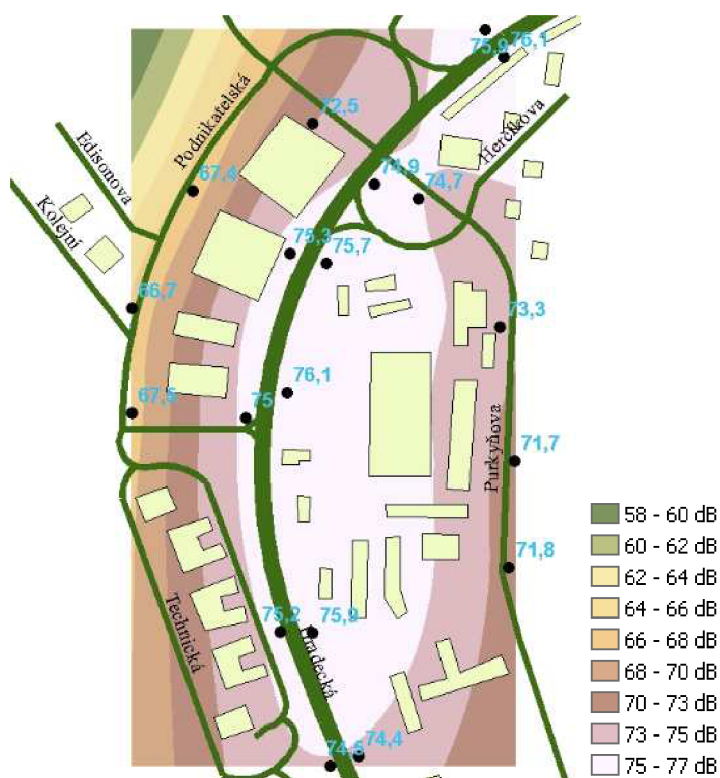
Nevýhodou této metody je fakt, že při interpolaci nelze získat hodnoty nižší nebo vyšší než jsou hodnoty naměřené v jednotlivých bodech. Pokud nejsou k dispozici extrémní hodnoty z dané oblasti, dochází v těchto místech ke zkreslení. Jak můžeme vidět na obrázku č. 18, nejvyšší hodnoty ekvivalentních hladin hluku se nacházejí zejména v okolí ulice Hradecké. Velmi názorná je barevná prezentace, kde barevný odstín odpovídající rozmezí 74–76 dB kopíruje průběh ulice Hradecké. Nejnižší hodnoty ekvivalentních hladin hluku se nacházejí v okolí ulice Podnikatelské. Jak již bylo řečeno, hraniční hodnoty nenabývají hodnot nižších či vyšších než jsou námi naměřené hodnoty ekvivalentních hladin hluku na jednotlivých měřených pozicích, [39].



Obr. č. 18 Hluková mapa vytvořená metodou IDW v rámci nadstavby Geostatistical Analyst

Spline – jedná se opět o interpolaci lokální. Tento interpolační mechanismus je založen na principu splnění dvou podmínek. První podmínkou je proložení zájmové oblasti polynomickými funkcemi s nejmenším celkovým zakřivením. Matematicky je tato podmínka vyjádřena minimalizací sumy kvadrátů členů druhé derivace povrchu. Druhou podmínkou je průchod povrchu diskretními body.

Ve srovnání s IDW výsledný povrch prochází vstupními hodnotami a je schopen extrapolace dat. Není metodou vhodnou pro body, které jsou umístěny v těsné blízkosti a nabývají velmi rozdílných hodnot, [39].



Obr. č.19 Hluková mapa vytvořená metodou Spline v rámci nadstavby Spatial Analyst

Na obrázku č. 19 je uvedena hluková mapa vytvořená metodou Spline. Ve výsledné hlukové mapě ve srovnání s metodou IDW je možné nalézt oblasti s hodnotami dosahujícími až 58 dB(A), tedy mnohem nižšími než jsou námi naměřené hodnoty ekvivalentních hladin hluku. Tyto hodnoty se však nacházejí mimo oblast vymezenou našimi měřícími body. Z tohoto důvodu by bylo vhodné pro posouzení korektnosti výpočtu interpolační metody provést další měření v této oblasti, jelikož metoda Spline nenabízí možnost zhodnocení kvality výsledku procesu interpolace.

Kriging

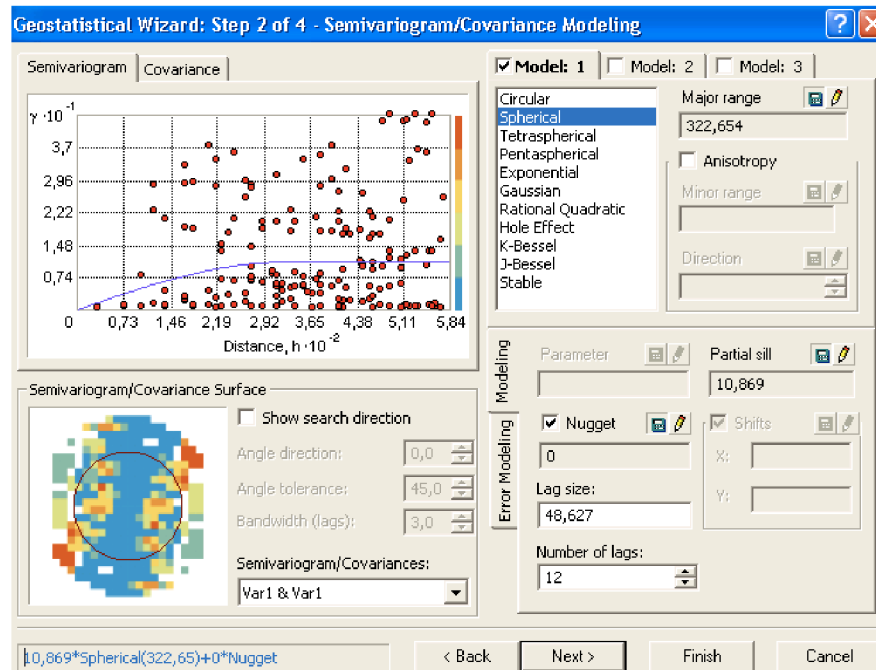
Kriging řadíme mezi geostatistické metody určování lokálního odhadu. Pro stanovení hodnoty $Z(s_0)^*$ se využívá vah, které závisí na vzdálenosti mezi měřenými body a odhadovanou hodnotou a na prostorovém uspořádání měřených bodů v okolí $Z(s_0)^*$. Za tímto účelem je nutné určit prostorovou autokorelaci mezi měřenými body.

Mezi vstupní podmínky krigování řadíme:

- lineární kombinace vstupních hodnot $Z(s_0)^* = \sum \lambda_i \cdot Z(s_i)$,
 kde $Z(s_0)^*$ odhad hodnoty v bodě s_0
 $Z(s_i)$ měřená hodnota v bodě s_i
 λ_i neznámá váha charakteristická pro měřenou hodnotu v bodě s_i ,
- nestranný odhad (průměrná chyba odhadu je rovna 0) $\sum (Z(s_0)^* - Z(s_i)) = 0$,
- minimalizace rozptylu odhadu $\sum (Z(s_0)^* - Z(s_i))^2 = \min$.

Semivariogram (viz obrázek č. 20) nám slouží pro vizualizaci prostorové autokorelace sledovaného jevu vzhledem ke vzdálenosti a směru působení. Dále je vytvořen model empirického semivariogramu. Pro modelování empirického semivariogramu se používá celá řada funkcí, jako např. kruhová, sférická, exponenciální atd. Model empirického semivariogramu tvoří základ prostorové predikce hodnot v oblastech mimo měřicí body.

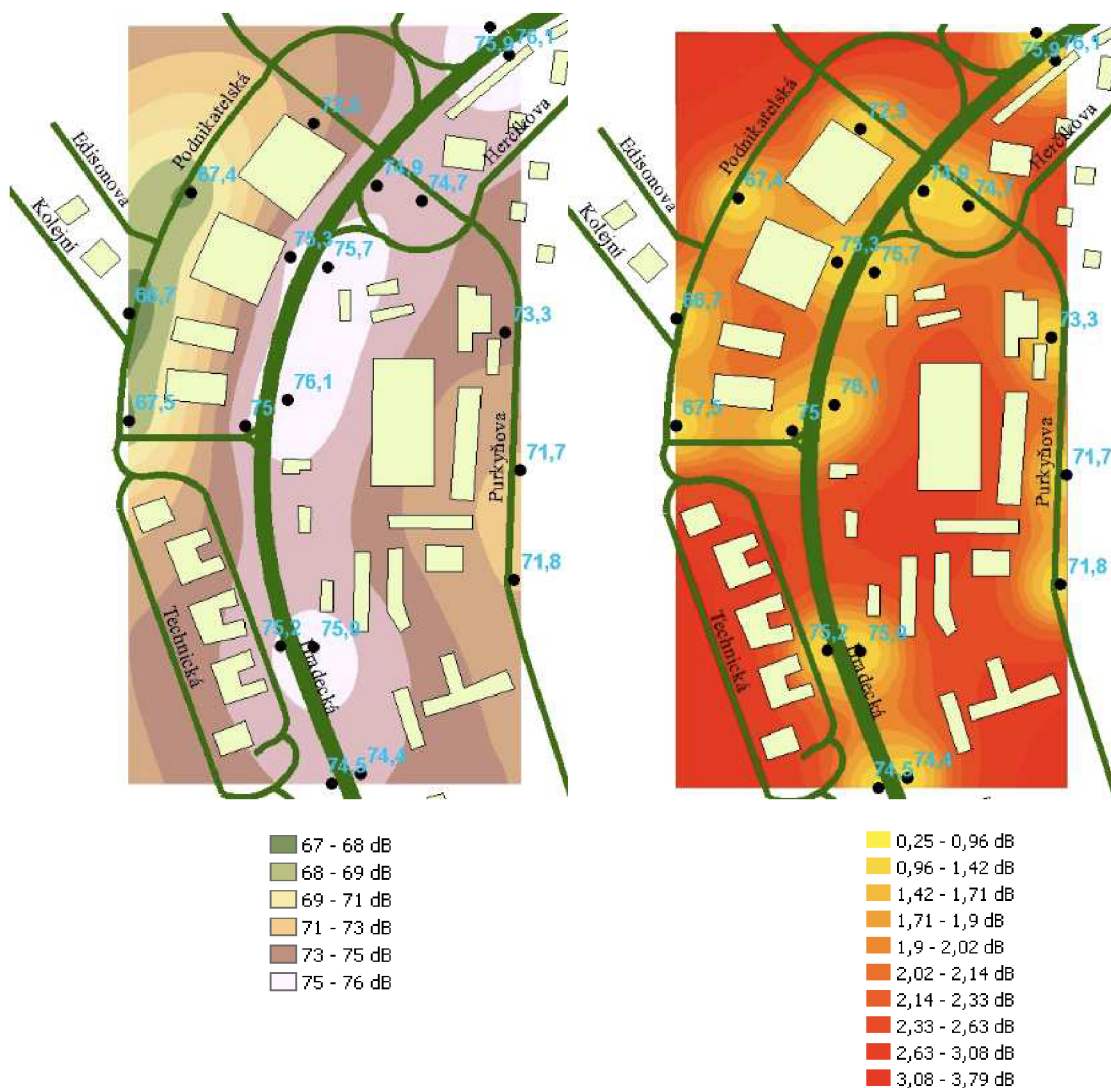
Metoda krigování není vhodná pro vstupní hodnoty s náhlými změnami, které by mohly být reprezentovány zlomovými liniemi, [38], [39].



Obr. č. 20 Model semivariogramu v rámci nadstavby Geostatistical Analyst

Univerzální krigování

Univerzální krigování používáme v případě, že je porušena podmínka stacionarity. Tato metoda předpokládá, že prostorová variance v bodě $Z(s_0)$ je součtem tří komponent – strukturní části (drift), náhodné, ale prostorově korelované složky a náhodného šumu. K interpolaci dat se využívá driftu, který je jednoduchou polynomiální funkcí. Z rozdílu aktuálních hodnot jednotlivých naměřených bodů a driftu je získáno reziduum, které by již mělo splňovat podmínku stacionarity. Reziduum je dále interpolováno a spolu s driftem tvoří základ výpočtu odhadované hodnoty, [38], [39].



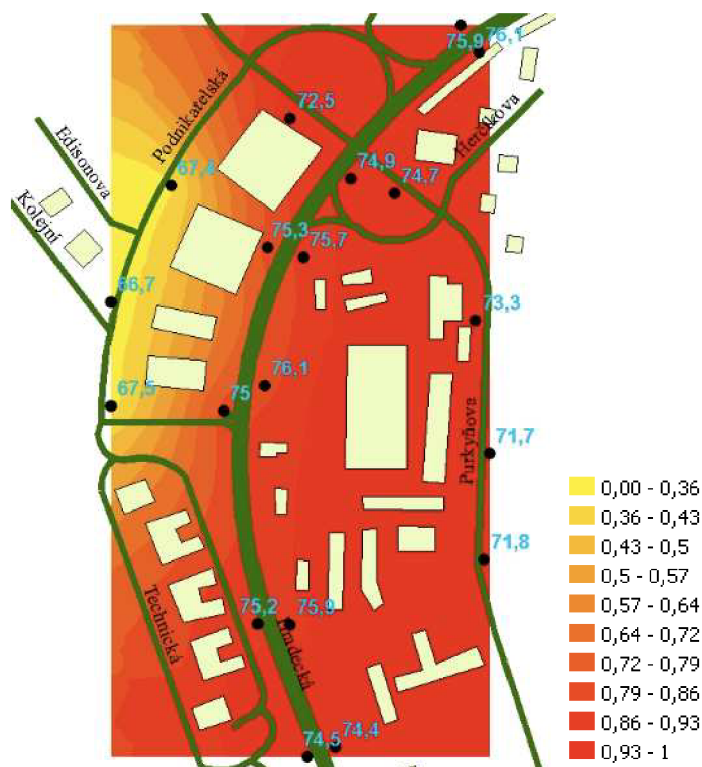
Obr. č. 21 Hluková mapa vytvořená metodou Ordinary Kriging a mapa předpokládaných středních chyb

Na obrázku č. 21 byla vytvořena hluková mapa prostřednictvím velmi využívaného interpolačního mechanismu Ordinary Kriging v rámci nadstavby Geostatistical Analyst. Velkou výhodou této nadstavby je možnost zhodnocení kvality výsledné hlukové mapy ve formě mapy předpokládaných středních chyb. K tomu, aby byla hodnota středních chyb co nejnižší, je nutné vhodně rozmístit měřicí body. Pro zlepšení odhadu predikce by bylo vhodné umístit alespoň jeden měřicí bod na ulici Hradecké za sjezdem z ulice Podnikatelské. Chyba odhadu též vzrůstá v oblasti areálu průmyslových budov mezi ulicemi Hradeckou a Purkyňovou. Jelikož jsme se však zaměřili na těsné okolí vybraných komunikací a interpolační mechanismy nezahrnují do svých výpočtů přítomnost jednotlivých budov, jejich odrazivost či útlum v rámci šíření hluku nebude brán na tuto chybu predikce zřetel.

Indikátorové krigování

Tato metoda využívá transformace dat původních hodnot na hodnotu indikátoru 0/1 neboli ne/ano. Indikátor nabývá hodnoty 1 v případě, že původní údaj splňuje v daném místě stanovenou podmínku a naopak. Tyto indikátorové hodnoty jsou vstupem pro krigování. Výsledkem lokálního odhadu je pravděpodobnost, s jakou je na daném místě splněna testovaná podmínka.

Použití indikátorového krigování můžeme aplikovat na tvorbu hlukové mapy. Jako testovací podmínku lze nastavit hygienický limit. Ve výsledné hlukové mapě poté můžeme pozorovat pravděpodobnosti překročení, resp. nepřekročení limitní hodnoty ekvivalentní hladiny hluku. Vylepšením indikátorového krigování je krigování pravděpodobnostní, které využívá navíc ke svému výpočtu původních hodnot, [38], [39].



Obr. č. 22 Mapa vytvořená metodou pravděpodobnostního krigování v rámci nadstavby Geostatistical Analyst

V rámci nadstavby Geostatistical Analyst jsme využili možnosti pravděpodobnostního krigování. Tato interpolační metoda nám umožňuje vytvořit tzv. pravděpodobnostní mapu, resp. pravděpodobnost překročení určité hodnoty. V našem případě je možné tuto limitní hodnotu nastavit na 70 dB(A), jakožto hygienický limit pro ulici Hradeckou, popř. 55 dB(A) jako hygienický limit pro ulici Purkyňovu a Podnikatelskou. Jako kritická hodnota byla nastavena ekvivalentní hladina hluku 70 dB(A), jelikož limit 55 dB(A) je překročen na všech měřených pozicích. Na obrázku č. 22 lze vidět, že kritická hodnota 70 dB(A) je překročena na většině zájmového území. Pouze v oblasti ulice Podnikatelské je tato pravděpodobnost nízká, což je zřejmě zejména v okolí měřících bodů, jejichž hodnota nedosahuje prahové hodnoty 70 dB(A).

5.5 Analýza výsledných hlukových map

Ke zhodnocení hlukové situace vycházíme z Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací č. 272 ze dne 24. srpna 2011. V našem případě se zaměřujeme na hygienické limity hluku venkovních prostor. Pro hluk z dopravy na pozemních komunikacích je pro nás stěžejní stanovení hladiny akustického tlaku pro celou denní dobu

$L_{Aeq,16h}$. Jak již bylo řečeno, v rámci námi stanovené metodiky měření hluku bylo možné získat pouze ekvivalentní hladinu hluku za 12 hodin. I přes toto omezení budou srovnány námi naměřené ekvivalentní hladiny hluku se základní hladinou akustického tlaku $L_{Aeq,T} = 50$ dB a daných korekcí. Toto srovnání zde sice zavádí jistou chybu ve vyhodnocení ve smyslu nadhodnocení měřené hodnoty, avšak je výhodnější použít hodnotu získanou přepočtem na 12hodinový interval než použití ekvivalentní hladiny hluku měřené např. v rámci jedné hodiny, kde by se zaváděla mnohem větší chyba daná výběrem konkrétního měřicího intervalu než chyba spojená s výpočtem (viz rovnice č. 16).

Ulici Hradeckou považujeme z hlediska přiznání korekcí za silnici I. třídy, kde převažuje dopravní hluk nad hlukem z dopravy na ostatních pozemních komunikacích a kde je možné uplatnit korekci pro starou hlukovou zátěž. Starou hlukovou zátěží rozumíme hlukovou situaci v okolí pozemních komunikací a drah, která vznikla do 31. prosince 2000. K základní hladině akustického tlaku $L_{Aeq,T} = 50$ dB(A) přičítáme hodnotu 20 dB(A). Výsledný hygienický limit pro ulici Hradeckou je tedy 70 dB(A). Ulici Podnikatelskou a Purkyňovu považujeme z hlediska korekcí za komunikace III. třídy bez uplatnění korekcí pro starou hlukovou zátěž, jelikož po roce 2000 zde došlo v rámci ulice Purkyňovy k prodloužení tramvajové tratě a ke stavbě sjezdu z ulice Hradecké. Hygienický limit pro ulici Purkyňovu a Podnikatelskou je tedy 55 dB(A).

Při pohledu na hlukové mapy je zřejmé, že hygienické limity na ulici Podnikatelské a Purkyňově a taktéž na ulici Hradecké, jsou výrazně překročeny. Z hlediska hlukové zátěže je tedy situace velice neuspokojivá. Při hodnocení hlukové situace je též nutné podotknout, že jsme se v našem případě zaměřili na hluk z dopravy jako takový a nebyl zkoumán vliv hluku na okolní obyvatelstvo, resp. zástavbu. V tomto případě by bylo nutné změnit strategii a rozložení měřicích bodů, a to do vzdálenosti cca 2 m od fasády. V případě naší zájmové oblasti by umístění těchto měřicích míst výrazně ovlivnilo výslednou ekvivalentní hladinu hluku, a to zejména v důsledku vyšší vzdálenosti od vozovky, která má výrazný vliv na výslednou měřenou hodnotu.

Při porušení příslušných hygienických limitů se do popředí dostávají akční plány pro řešení neuspokojivé hlukové situace, popřípadě má zhodnocení hlukové situace vliv na posouzení vhodnosti výstavby v dané lokalitě. Avšak pro konkrétní návrhy řešení pro zlepšení hlukové situace by byla nutná podrobnější analýza zahrnující vliv hluku na okolní zástavbu či průzkum vlivu hluku na konkrétní oblast plánované výstavby.

6. VYTVOŘENÍ HLUKOVÉ MAPY V CadnaA

Jak již bylo řečeno, s přístrojovým vybavením a požadavky vyplývajícími z použitého geografického informačního systému ArcGIS nebylo možné zcela dodržet optimální podmínky pro vytváření hlukových map. Ve spolupráci s panem Mgr. Bublanem bylo provedeno měření ekvivalentní hladiny hluku v okolí ulice Hradecké s profesionální přístrojovou technikou a softwarovým vybavením, které jsou používány pro analýzu hlukových situací realizovaných v praxi.

Metodika měření hluku je závislá na použitém softwaru. V tomto případě byl využit software CadnaA. CadnaA (Computer Aided Noise Abatement) představuje software určený pro výpočty, prezentaci, hodnocení a predikci hluku ve venkovním prostředí. Prostřednictvím výkonných a rychlých výpočetních algoritmů, velkého množství nástrojů pro 3D vizualizaci a uživatelsky příjemného prostředí je vhodným nástrojem pro tvorbu hlukových studií a hlukového mapování i velice rozsáhlých oblastí, [34].

Realizace měření

K měření ekvivalentní hladiny hluku byl použit zvukoměr typu Brüel&Kjaer 2250, který byl již použit pro kontrolu činnosti zvukoměru Minilyzer ML1. Pro vytvoření hlukové mapy v CadnaA je dostačující hodnota ekvivalentní hladiny hluku z jednoho místa měření. Tento postup však můžeme použít v případě, že se na zvoleném úseku nemění intenzita provozu, počet jízdnic pruhů, charakter okolní výstavby, povrch vozovky atd.

Jako oblast zájmu byla vybrána jedna pozice v okolí ulice Hradecké. Číslo pozice odpovídá pozici v rámci měření s Minilyzer ML1 a záznam ekvivalentní hladiny hluku byl proveden simultánně. Měřicí mikrofon 4189 Brüel&Kjaer byl pomocí speciálního stojanu umístěn do výšky 4 m a byl proveden záznam ekvivalentní hladiny hluku po dobu 30 minut. Stejně jako v předchozí části byl použit přepočítání ekvivalentní hladiny hluku $L_{Aeq,0.5hod}$ na $L_{Aeq,12hod}$.

Tabulka č. 9 Ekvivalentní hladiny hluku získané v rámci měření zvukoměrem typu 2250 Brüel&Kjaer

Pozice	Datum měření	$L_{Aeq,0.5 hod}$ [dB(A)]	Max $L_{Aeq,0.5 hod}$ [dB(A)]	Min $L_{Aeq,0.5 hod}$ [dB(A)]	$L_{Aeq,12 hod}$ [dB(A)]	$L_{Aeq,24 hod}$ [dB(A)]
9.	17. 4. 2012	74,2	87,3	58,7	74,4	72,5

V tabulce č. 9 je uvedena ekvivalentní hladina hluku naměřená během 30 minut, maximální a minimální hodnota ekvivalentní hladiny hluku během tohoto intervalu a vypočítaná ekvivalentní hladina hluku pro 12hodinový a na ukázkou i pro 24hodinový interval. Výsledná ekvivalentní hladina hluku naměřená pomocí zvukoměru typu 2250 Brüel&Kjaer je 74,2 dB(A) a pomocí Minilyzer ML1 75,1 dB(A). Na počátku práce v terénu jsme srovnávali činnost obou zvukoměrů a výsledný rozdíl mezi záznamy byl maximálně 0,2 dB a to ve smyslu podhodnocení u zvukoměru Minilyzer ML1. Můžeme tedy zkonstatovat, že umístění mikrofonu do polohy 4,0 m způsobuje rozdíl v hodnotě ekvivalentní hladiny hluku oproti našemu analyzátoru umístěnému ve výšce 1,5 m nad terénem. Tento rozdíl je způsoben zejména vlivem odrazu a útlumu okolního terénu.

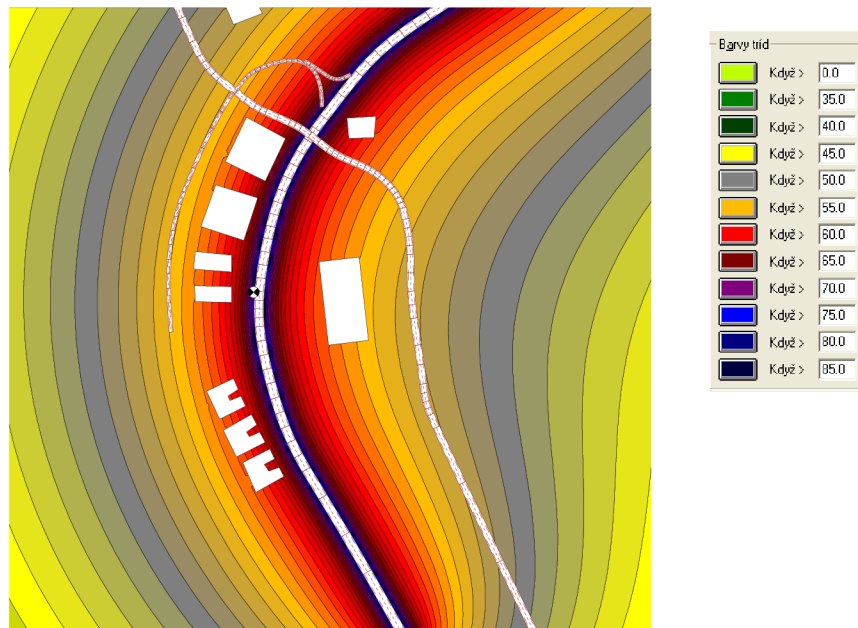
CadnaA je vybavena širokou škálou nástrojů pro 3D analýzu a vizualizaci. Jelikož však v ArcGIS nebyla k dispozici extenze 3D Analyst, bude hluková mapa vyhodnocena v rámci 2D analýzy.

Tvorba hlukové mapy v CadnaA

Pro tvorbu hlukové mapy si nejprve načteme mapu zájmové oblasti. Pro analýzu je možné využít data z CAD systémů nebo dále pokračujeme zakreslováním jednotlivých objektů, v našem případě budov a komunikací, do výsledné mapy.

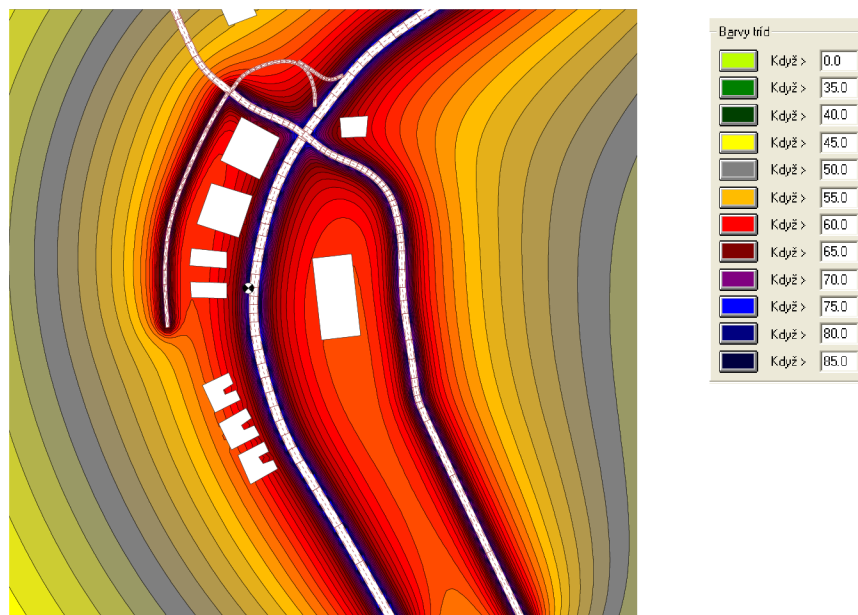
Jednotlivým objektům dále definujeme parametry. Při vytváření hlukové mapy je stěžejní charakterizování všech zdrojů hluku. Jak již bylo řečeno v našem případě se jedná o liniový zdroj, tedy komunikaci, která je definována intenzitou dopravy v rámci měřeného intervalu a procentem tvořeným nákladní dopravou, povrchem komunikace, sklonem vozovky atd. Po zadání všech parametrů charakteristických pro daný objekt a veškerých vlivů v terénu vyskytujících se v hodnocené oblasti bychom měli získat výslednou hodnotu ekvivalentní hladiny hluku, která by měla odpovídat ekvivalentní hladině hluku zaznamenané zvukoměrem.

Jelikož interpolační mechanismy nezahrnují do svých výpočtů přítomnost budov, jejich odrazivost či jejich vliv na šíření zvuku v prostoru, nebudeme o nich uvažovat ani v rámci modelování hlukové mapy v CadnaA.



Obr. č. 23 Hluková mapa v okolí ulice Hradecké vytvořená v CadnaA

Na obrázku č. 23 je zobrazena hluková mapa okolí ulice Hradecké vytvořená v CadnaA. Hlavní rozdíl mezi hlukovou mapou vytvořenou v ArcView a CadnaA je ten, že při tvorbě hlukové mapy v CadnaA vycházíme z jedné naměřené hodnoty (viz pozice bodu na obrázku č. 23) v případě splnění daných podmínek, tedy $L_{Aeq,12hod} = 74,4 \text{ dB(A)}$ a ta se vyskytuje podél celé ulice Hradecké. S rostoucí vzdáleností hodnota ekvivalentní hladiny hluku klesá, a to je reprezentováno barevně definovanými izoliniemi.



Obr. č. 24 Hluková mapa ulice Hradecké, Podnikatelské a Purkyňovy vytvořená v CadnaA

Hluková mapa na obrázku č. 24 zaznamenává hlukovou situaci v oblasti ulice Hradecké, Podnikatelské a Purkyňovy. Ulice Hradecká byla vyhodnocena stejným způsobem jako na obrázku č. 23. Do mapy byly dále zaznačeny další dva liniové zdroje, kterými jsou ulice Podnikatelská a Purkyňova. Při modelování těchto dvou liniových zdrojů vycházíme z naměřených hodnot z pozice č. 15 na ulici Purkyňově ($L_{Aeq,12hod} = 71,7 \text{ dB(A)}$) a z pozice č. 18 na ulici Podnikatelské ($L_{Aeq,12hod} = 66,7 \text{ dB(A)}$) (viz tabulka č. 7). V rámci modelování hlukové situace jsme simulovali měření ve 4 metrech. Poté byla v obou případech hodnota ekvivalentní hladiny hluku o 0,6 dB nižší než námi naměřená ekvivalentní hladina hluku v 1,5 m.

Výsledná mapa je však velice ovlivněna tím, že do modelování hlukové situace nejsou zahrnuty všechny objekty, které by mohly jakýmkoli způsobem ovlivnit šíření hluku v dané oblasti. Taktéž mohou mít vliv na výslednou hodnotu ekvivalentní hladiny různé výškové profily.

ArcView vs. CadnaA

Závěrem je nutné podotknout, že každý z použitých softwarů má své klady i zápory. CadnaA je vysoce specializovaným softwarem určeným pro analýzu a hodnocení hluku ve venkovním prostředí. Naopak ArcGIS je program se širokou škálou nástrojů pro analýzu různorodých dat svázaných s prostorovou informací. Pro zpracování hlukových map se jeví jako vhodnější použití CadnaA, avšak i tento software má jisté nevýhody. Pro tvorbu hlukové mapy je sice možné využít hodnotu ekvivalentní hladiny hluku pouze z jednoho místa měření, což výrazným způsobem snižuje časovou i finanční náročnost celého procesu, avšak nemusí zachytit skutečnou hlukovou situaci v dané lokalitě. Tento jev je eliminován použitím ArcGIS, jelikož pro výpočet výsledné hlukové mapy je nutné použít hodnoty z více zvolených měřicích bodů, aby bylo možné aplikovat interpolační mechanismy.

Mezi hlukovými mapami vytvořenými v obou softwarech jsou sice rozdíly v grafické prezentaci ekvivalentních hladin hluku, jelikož však na všech pozicích v okolí ulice Hradecké, ulice Podnikatelské a Purkyňovy byly významně porušeny hygienické limity a žádná hodnota nebyla hraniční, můžeme naše zhodnocení hlukové situace v rámci ArcView považovat za korektní.

7. ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo vytvoření hlukové mapy v geografickém informačním systému vybrané zájmové oblasti. V první části této práce jsme se podrobněji seznámili s teoretickými základy týkajícími se fyzikálních vlastností zvuku, oblasti prostorové, fyziologické a atmosférické akustiky a hlukem a jeho možnými vlivy na zdraví člověka. Pro vytvoření hlukové mapy je nutné mít k dispozici kvalitně naměřená data. Z tohoto důvodu bylo nutné detailně prostudovat metodiku měření hluku v městských aglomeracích, platné hygienické limity a problematiku tvorby hlukových map.

V druhé části práce jsme se věnovali samotnému měření a práci s nasbíranými daty. Jako zájmovou oblast pro vytvoření hlukové mapy bylo zvoleno okolí ulic Hradecké, Podnikatelské a Purkyňovy v Brně. Na základě dostupných informačních zdrojů jsme analyzovali dopravní situaci a intenzitu dopravy na těchto komunikacích. K vlastnímu měření hluku bylo použito digitálního zvukoměru Minilyzer ML1, naměřená data byla následně vyhodnocena v geografickém informačním systému ArcView 9.2. Hlukové mapy byly vytvořeny s použitím interpolačních mechanismů v rámci nadstavby ArcGIS Spatial Analyst a Geostatistical Analyst. Výsledné hlukové mapy byly porovnány s platnými hygienickými limity. Z naměřených hodnot mimo jiné vyplývá, že ve všech vybraných lokalitách byly překročeny hygienické limity.

Za účelem srovnání možných přístupů k tvoření hlukových map bylo provedeno v naší vybraných lokalitách další měření. Tentokrát jsme však k měření využili profesionální přístrojovou techniku a data jsme vyhodnotili pomocí programového vybavení CadnaA, jež jsme měli k dispozici díky laskavé pomoci Mgr. Martina Bublana ze Zdravotního ústavu v Brně. Také z hlukové mapy vytvořené v programovém prostředí CadnaA vyplývá, že hygienické limity ve vybrané lokalitě jsou překročeny. V práci jsme analyzovali a hodnotili také výhody a nevýhody obou způsobů tvoření hlukových map.

Po analýze hlukových map je možné zkonstatovat, že hluková situace v okolí ulic Hradecké, Podnikatelské a Purkyňovy je velice neuspokojivá. Je však nutné podotknout, že naše zhodnocení hlukové situace nebylo zaměřeno na vliv hluku na jednotlivé objekty a osoby, ale naši pozornost jsme soustředili na hluk tvořený dopravou z komunikací přítomných v naší zájmové oblasti. Pokud bychom chtěli navrhnout příslušná opatření pro snížení expozice hluku v dané oblasti, bylo by nutné provést podrobnější analýzu i v hodnocení vlivu hluku na jednotlivé domy a objekty nacházející se v dané oblasti.

LITERATURA

- [1] ROZMAN, J., SADOVSKÝ, P., ČERMÁK, D.: *Diagnostika životního prostředí*. Brno: VUT FEI, 2000. 136 s. ISBN 80-214-1771-4
- [2] SMETANA, C. a kol.: *Hluk a vibrace. Měření a hodnocení*. Praha: Sdělovací technika, 1998. 188 s. ISBN 80-901936-2-5
- [3] HRAZDIRA, I., MORNSTEIN, V.: *Lékařská biofyzika a přístrojová technika*. Brno: Neptun, 2001. 380 s. ISBN 80-9022896-1-4
- [4] NOVÝ, R.: *Hluk a chvění*. Praha: ČVUT, 2009. 400 s. ISBN 978-80-01-04347-9
- [5] VAŇKOVÁ, M a kol.: *Hluk, vibrace a ionizující záření, část I*. Brno: VUT, 1995. 140 s. ISBN 80-214-0695-X
- [6] VAŇKOVÁ, M a kol.: *Hluk, vibrace a ionizující záření, část II*. Brno: VUT, 1996. 161 s. ISBN 80-214-0818-9
- [7] ŘIHÁČEK, T.: *Zvukové prostředí města a jeho vliv na prožívání*. Brno: MU, 2009. 240 s. ISBN 978-80-210-4809-6
- [8] *Nariženi vlády č. 272 ze dne 24. srpna 2011 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací* [online]. 2011. [cit. 2011-12-28].
Dostupné na WWW: <<http://www.nrl.cz/index.php?cat=3>>
- [9] *Vyhláška č. 523/2006 Sb.* [online]. 2006. [cit. 2011-12-20].
Dostupné na WWW: <<http://portal.gov.cz/>>
- [10] MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ – Hlavní hygienik České republiky. *Metodický návod pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí* [online]. Praha, 11. 12. 2001. [cit. 2011-12-14]. Dostupné na WWW :
< http://www.nrl.cz/metodika/postup_prostredi.php>
- [11] 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. 2011-12-27]. Dostupné na WWW:
<www.sospraha.cz/doprava/seminar05/soubory/hlukove-mapy-Ladys.doc>
- [12] DOUCHA, P.; BERNARD, M.; FADRŇÝ, M.; MATĚJKA, L.: *Hluk ve vnějším prostředí. Právní rádce občana obtěžovaného hlukem* [online]. Tábor: Ekologický právní servis, 2007. [cit. 2012-01-01]. Dostupné na WWW:
<http://hluk.eps.cz/files/Hluk_brozura.pdf>

- [13] Fletcher_Munsonovy křivky [online]. [cit. 2011-11-06] Dostupné na WWW: <http://homen.vsb.cz/~ber30/texty/varhany/anatomie/pistaly_akustika.htm>
- [14] Anatomie sluchového aparátu [online]. [cit. 2011-11-06] Dostupné na WWW: <<http://www.kntb.cz/o-nemocnici/zdravotnicka-oddeleni/chirurgicke-obory/orl-usni-nosni-krcni/operativa-orl/>>
- [15] Hluková mapa [online]. [cit. 2012-10-02] Dostupné na WWW: <http://hlukovemapy.mzcr.cz/image.aspx?obr=Mapy/Silnice/JM_Ldvn/jm%208.png>
- [16] ARCDATA PRAHA S. R. O. *ArcGIS* [online]. Praha [cit. 2011-12-15] Dostupné na WWW: <<http://www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/software/esri/>>
- [17] HOLIBKOVÁ, A., LAICHMAN, S.: *Přehled anatomie člověka*. Olomouc: UP Olomouc, 2006. 140 s. ISBN 80-244-1480-5
- [18] WILHELM, Z. a kol.: *Stručný přehled fyziologie člověka pro bakalářské studijní programy*. Brno: MU, 2010. 117 s. ISBN 978-80-210-5283-3
- [19] Náležitosti protokolů z měření hluku [online]. 2007. [cit. 2011-12-28] Dostupné na WWW: <<http://www.nrl.cz/index.php?cat=4>>
- [20] Doba dozvuku v místnosti [online]. [cit. 2011-12-15] Dostupné na WWW: <www.fce.vutbr.cz/fyz/ficker.t/navod.pdf>
- [21] Stosic, L., Belojevic, G., & Milutinovic, S. (2009). Effects of traffic noise on sleep in an urban population. *Arhiv Za Higijenu Rada i Toksikologiju*, 60(3), 335-42. Dostupné na WWW: <<http://search.proquest.com/docview/521707344?accountid=17115>>
- [22] Lepore, S. J., Shejwal, B., Kim, B. H., & Evans, G. W. (2010). Associations between chronic community noise exposure and blood pressure at rest and during acute noise and non-noise stressors among urban school children in India. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7(9), 3457-3466. Dostupné na WWW: <<http://search.proquest.com/docview/757263052?accountid=17115>>
- [23] Fuks, K., Moebus, S., Hertel, S., Viehmann, A., Nonnemacher, M., Dragano, N., Hoffmann, B. (2011). Long-term urban particulate air pollution, traffic noise, and arterial blood pressure. *Environmental Health Perspectives*, 119(12), 1706-11. Dostupné na WWW: <<http://search.proquest.com/docview/913287880?accountid=17115>>
- [24] Babisch, W. (2008). Road traffic noise and cardiovascular risk. *Noise & Health*, 10(38), 27-33. Dostupné na WWW: <<http://search.proquest.com/docview/203679726?accountid=17115>>

- [25] Kanjo, E. (2010). NoiseSPY: A real-time mobile phone platform for urban noise monitoring and mapping. *Mobile Networks and Applications*, 15(4), 562-574. doi:10.1007/s11036-009-0217-y
- [26] RAPANT, P.: *Úvod do geografických informačních systémů* [online]. Ostrava: Institut geoinformatiky, HGF VŠB – TU, 2002. [cit. 2012-03-05]. Dostupné na WWW: < <http://gis.vsb.cz/dokumenty/ugis/>>
- [27] KLIMÁNEK, P. a kol.: *Geoinformační systém – návody ke cvičením v systému ArcGIS*. Brno: MENDELU, 2008. 66 s. ISBN 978-80-7375-211-8
- [28] *Ročenka dopravy Brno 2010*. Brno: Brněnské komunikace, a. s., 2011. 35 s.
- [29] Jízdní řády MHD Brno [online]. [cit. 2012-04-04]. Dostupné na WWW: < <http://www.idos.cz/>>
- [30] ArcView [online]. Praha [cit. 2012-04-04]. Dostupné na WWW: < <http://download.arcdata.cz/doc/2006/ArcView.pdf>>
- [31] ArcGIS Spatial Analyst [online]. Praha [cit. 2012-04-04]. Dostupné na WWW: < <http://download.arcdata.cz/doc/2006/ArcGIS-Spatial-Analyst.pdf>>
- [32] ArcGIS Geostatistical Analyst [online]. Praha [cit. 2012-04-04]. Dostupné na WWW: < <http://download.arcdata.cz/doc/2006/ArcGIS-Geostatistical-Analyst.pdf>>
- [33] 3D Analyst [online]. Praha [cit. 2012-04-04]. Dostupné na WWW: < <http://download.arcdata.cz/doc/2006/ArcGIS-3D-Analyst.pdf>>
- [34] CadnaA [online]. [cit. 2012-04-04]. Dostupné na WWW: < <http://www.datakustik.com/en/products/cadnaa/features/>>
- [35] SEZNAM.CZ, a. s. *Mapy.cz – mapa Evropy, České republiky, plány měst a obcí ČR* [online]. [cit. 2012-04-04]. Dostupné na WWW : < <http://www.mapy.cz/>>
- [36] 2250 Brüel&Kjaer [online]. [cit. 2012-04-15]. Dostupné na WWW: < <http://produits-btp.batiproduits.com/Brel-Kjaer/2250/fiche/r?id=1121197189>>
- [37] Aktuální informace o počasí – Český hydrometeorologický ústav [online]. [cit. 2012-04-17] Dostupné na WWW: < <http://www.chmi.cz/>>
- [38] Kriging [online]. [cit. 2012-03-03]. Dostupné na WWW: < <http://www.gis.zcu.cz/studium/ugi/referaty/05/ArchivReferatu/KRIGING.pdf>>
- [39] Interpoláční mechanizmy [cit. 2012-03-03]. Dostupné na WWW: < <http://www.gama.fsv.cvut.cz/~cepek/proj/bp/2009/linda-krikavova-bp-2009.pdf>>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

W	akustický výkon [W]
p	akustický tlak [Pa]
z	měrná akustická impedance [N.s.m ⁻³]
v	rychlost [m.s ⁻¹]
S	plocha [m ²]
L _{Aeq,T}	ekvivalentní hladina akustického tlaku [dB]
I	akustická intenzita [W.m ²]
ρ	měrná hmotnost prostředí
c	rychlost šíření zvukových vln [m.s ⁻¹]
p ₀	referenční hodnota akustického tlaku 20 μPa
I ₀	referenční hodnota akustické intenzity pW.m ⁻²
L _{dvn}	ukazatel pro celodenní obteřování hlukem [dB]
L _d	ukazatel pro den [dB]
L _v	ukazatel pro večer [dB]
L _n	ukazatel pro noc [dB]
L _p	hladina akustického tlaku [dB]
L _I	hladina akustické intenzity [dB]
F	síla [N]
T	doba dozvuku [s]
T	čas [h]
H	hlasitost [dB·W·m ⁻²], [Ph], [son]
σ	směrodatná odchylka
RMS	Root Mean Square
REL	Relative RMS
THD+N	Total Harmonic Distortion + Noise
SPL	Sound Pressure Level
TIN	Triangulated Irregular Network
N ₀	počet osobních aut za 30 minut
N _N	počet nákladních aut za 30 minut
L ₀	hladina hluku po průjezdu jednoho osobního vozidla
L _N	hladina hluku po průjezdu jednoho nákladního vozidla
QQ	quantile-quantile plot
k	poměr mezi počtem osobních a nákladních vozidel

N_{0-12}	počet osobních vozidel za 12 hodin
N_{N-12}	počet nákladních vozidel za 12 hodin
SEČ	středoevropský čas
SELČ	středoevropský letní čas
CadnaA	Computer Aided Noise Abatement
GIS	Geographic Information System
WGS	World Geodetic System
ÚBMI	Ústav biomedicínského inženýrství
ČMI	Český metrologický institut
S-JTSK	Jednotné trigonometrické síť katastrální