



Středoškolská technika 2019

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

HLUKOVÁ MAPA

Jan Bohuněk

Gymnázium Botičská
Botičská 1, Praha 2

Obsah

Úvod.....	Chyba! Záložka není definována.
Přehled literatury	Chyba! Záložka není definována.
Zvuk.....	Chyba! Záložka není definována.
Zdroje zvuku.....	Chyba! Záložka není definována.
Šíření zvuku	Chyba! Záložka není definována.
Vlastnosti zvuku.....	Chyba! Záložka není definována.
Vnímání zvuku člověkem.....	Chyba! Záložka není definována.
Hluk	Chyba! Záložka není definována.
Hluk jako faktor životního prostředí	Chyba! Záložka není definována.
Účinky hluku na člověka	Chyba! Záložka není definována.
Hlukové limity.....	Chyba! Záložka není definována.
Metodika	Chyba! Záložka není definována.
Pomůcky	Chyba! Záložka není definována.
Postup.....	Chyba! Záložka není definována.
Výběr lokality a času.....	Chyba! Záložka není definována.
Měření	Chyba! Záložka není definována.
Zpracování.....	Chyba! Záložka není definována.
Vyhodnocení.....	Chyba! Záložka není definována.
Výsledky a diskuse	Chyba! Záložka není definována.
Závěr	Chyba! Záložka není definována.
Seznam literatury	Chyba! Záložka není definována.
Přílohy.....	Chyba! Záložka není definována.

Úvod

Ve své práci se zaměřím na problematiku hluku ve městě. K výběru tohoto tématu mě vedlo především to, že bydlím přímo v centru Prahy v místě s vysokou koncentrací dopravy. Jedná se o rušnou křižovatku hlavní tříproudé silnice s vedlejší dvouproudou komunikací, na jejímž středu je provozována tramvajová doprava. Především vlivem dopravy je zde proto velký hluk. Zajímá mě tedy, zdali dochází nejen na tomto místě a v jiných exponovaných lokalitách Prahy 2 k překračování povolených hlukových limitů nebo jestli je tento hluk z hlediska hlukových limitů v pořádku. Následně zpracuji hlukovou mapu karlovského předmostí Nuselského mostu. Jedná se o velmi hlučnou lokalitu rovněž na území Prahy 2, kde denně projede několik desítek tisíc automobilů. I přesto se ale v bezprostředním okolí komunikace nachází několik parků. Bude proto zajímavé posoudit, jak hlučné je okolí takto vytížené komunikace a zda je posezení v přilehlých parcích příjemné z hlediska hlukového zatížení.

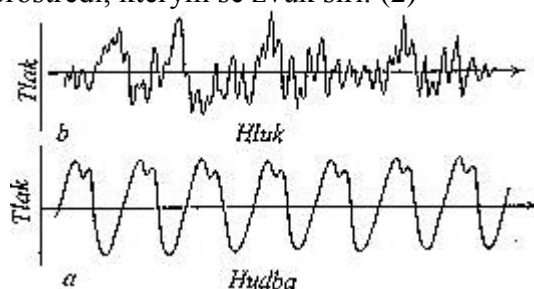
Přehled literatury

Zvuk

Zvuk je každé mechanické vlnění, které je schopno vyvolat v lidském uchu sluchový vjem. Fyzikálními ději spojenými se vznikem, šířením a vnímáním zvuku se zabývá akustika. Frekvence zvuku slyšitelné lidským uchem leží v intervalu přibližně od 16 Hz do 16 000 Hz. Podle jiných zdrojů jsou nejvyšší slyšitelné frekvence až 20 000 Hz, většina lidí však není schopná tak vysoké frekvence vnímat. (1) Frekvence vyšší než 16 kHz, respektive 20 kHz, nazýváme ultrazvukem, mechanické vlnění s nižší frekvencí než 16 Hz infrazvukem. Vyšší nebo nižší frekvence jsou pro lidské ucho neslyšitelné, jiní živočichové jsou ovšem schopni tyto zvuky vnímat. (2)

Zdroje zvuku

Zdrojem zvuku je chvění pružných těles. Pružné těleso je těleso, které se působením vnější síly deformuje a následně se vrátí do původní polohy. Chvění se pak přenáší do okolního prostředí, kterým se šíří, a vzbuzuje v něm zvukové vlnění. Toto vlnění dělíme na periodické a neperiodické. Periodickými zvuky nazýváme hudební zvuky (zvuky hudebních nástrojů, samohlásky) nebo tóny, neperiodické zvuky vnímáme jako hluk (skřípání, praskot, bušení...). Jako neperiodický zvuk označujeme i souhlásky. Druhem neperiodického vlnění je i šum. Ten vzniká změnami tlaku v prostředí, kterým se zvuk šíří. (2)



Obrázek 1 Hluk a hudba (3)

Šíření zvuku

Zvuk se šíří od svého zdroje látkovým prostředím libovolného skupenství. V prostředí, které není látkové (vakuum), se zvuk nešíří. Rychlost šíření zvuku ovlivňuje řada faktorů prostředí, jakými jsou například teplota, vlhkost nebo nečistoty. V pevných látkách se zvuk šíří rychleji, což je dané tím, že mají molekuly blízko u sebe, a vlnění se proto lépe přenáší. Šíření zvuku rovněž ovlivňují různé překážky způsobující ohyb nebo odraz zvukového vlnění. Vlivem těchto faktorů pak dochází ke vzniku ozvěny nebo dozvuku. (4)

Vlastnosti zvuku

Výška zvuku

Výška zvuku se určuje jeho frekvencí a dá se určit pouze u tónů, u hluku ji tudíž určit nelze. Platí, že čím vyšší je frekvence tónu, tím je větší výška. Výška se nejčastěji měří pomocí různých přístrojů, protože sluchem ji přesně určit nelze. (8)

Barva zvuku

Přestože mají některé tóny stejnou výšku, jsme schopni mezi nimi poznat rozdíl. To je dané právě barvou zvuků. Díky tomuto jevu jsme schopni rozlišit různé hlasy nebo nástroje. Fyzikálně je tento jev způsoben tím, že zvuk, který je složen z několika tónů, obsahuje určitý počet harmonických tónů, což jsou tóny, který zní společně s tónem základním. Právě počet a intenzita harmonických tónů určují výslednou barvu. (9)

Hlasitost a intenzita zvuku

Zvuková vlna šířící se pružným prostředím (voda, vzduch, kov...) představuje periodické stlačování a rozpínání tohoto prostředí. Ve vzduchu díky tomu dochází k periodickým změnám atmosférického tlaku, které vnímáme jako zvuk. Hlasitost zvuku je subjektivní, z tohoto důvodu byla zavedena veličina **intenzita zvuku** (akustická intenzita) I . Určují ji změny tlaku vzduchu v daném místě a je definována vztahem $I = \frac{P}{S}$, kde P je výkon zvukového vlnění a S je plocha, kterou vlnění prochází. Jednotka intenzity zvuku je tudíž $W \times m^{-2}$.

Nejnižší možná slyšitelná intenzita zvuku je $10^{-12} W \times m^{-2}$ a je označována jako práh slyšení. Naopak zvuky vysokých intenzit mohou v uchu vyvolat bolest. Způsobují ji zvuky s intenzitou vyšší než $1 W \times m^{-2}$ a tato hodnota se proto označuje jako práh bolesti. Poměr prahu bolesti a prahu slyšení je velký (10^{12}) a navíc se jedná o velmi malá čísla. Proto je nepraktické používat jednotku intenzita zvuku k určení hlasitosti. Výhodnější je používat logaritmickou stupnici, jejíž základní jednotkou je bel (B); nazývána je tak podle vynálezce telefonu A. G. Bella. Na této logaritmické stupnici pak vyjadřujeme **hladinu intenzity zvuku** (hladinu akustické intenzity) L , která se však standardně udává desetkrát menší jednotkou – decibelem (dB). Hladinu intenzity zvuku určíme pomocí vztahu $L = 10 \log \frac{I}{I_0}$, kde I je intenzita zvuku a I_0 je intenzita odpovídající prahu slyšení zvuku o frekvenci 1 kHz. Prahu slyšení odpovídá v této logaritmické stupnici hodnota 0 dB, prahu bolesti 120 dB. (2) (4)

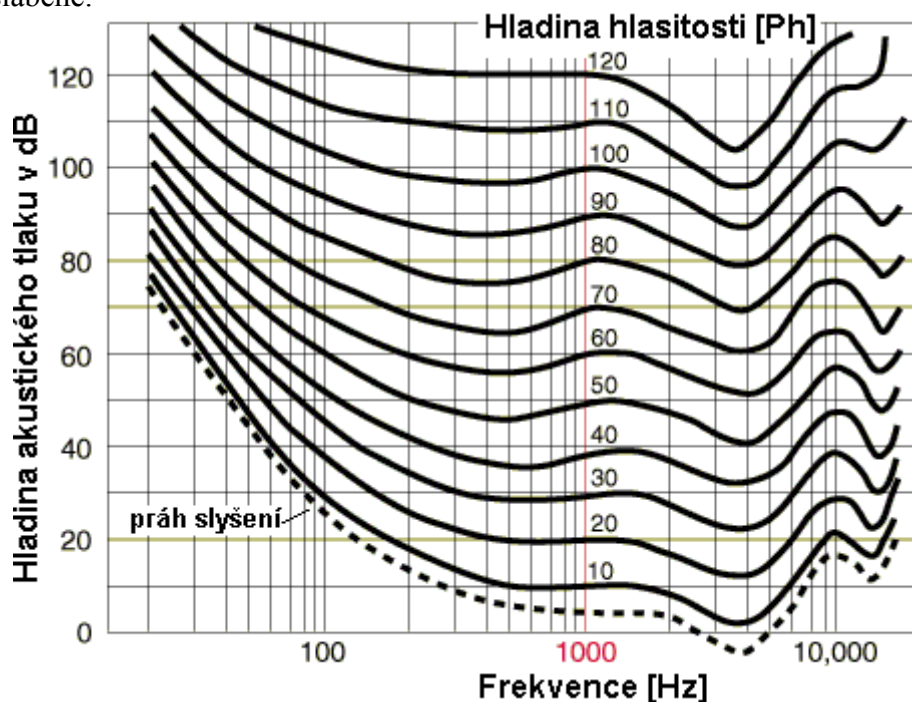
Vnímání zvuku člověkem

Intenzita zvuku je vektor, a proto je spojena i se směrem šíření zvuku. Abychom mohli správně definovat hladinu intenzity zvuku, musela by být plocha, na kterou zvuk působí, kolmá na směr šíření zvuku. Člověk je však schopen přijímat zvukové podněty z jakéhokoliv směru. Používání veličin intenzita zvuku a od ní odvozené veličiny hladina intenzity zvuku pro popisování vnímání zvuku člověkem by tudíž bylo z fyzikálního hlediska nesprávné. Proto definujeme veličinu **akustický tlak** p udávaný v pascálech, jehož druhá mocnina je přímo úměrná intenzitě zvuku. Od akustického tlaku můžeme pomocí výše zmíněné logaritmické stupnice odvodit veličinu **hladina akustického tlaku** L_p , která se udává rovněž v decibelech. Hodnotu hladiny akustického tlaku tedy spočítáme podle vzorce $L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \log \frac{p}{p_0}$, kde p je akustický tlak v daném prostředí a $p_0 = 2 \times 10^{-5}$ Pa, což

je akustický tlak odpovídající prahu slyšení. Akustický tlak a intenzita zvuku mají vždy stejnou hodnotu, protože jsou tak záměrně definovány. Jediný rozdíl mezi nimi je pouze ve směrovém působení – akustický tlak je skalár. Z tohoto důvodu se v praxi používá veličina hladina akustického tlaku. (10)

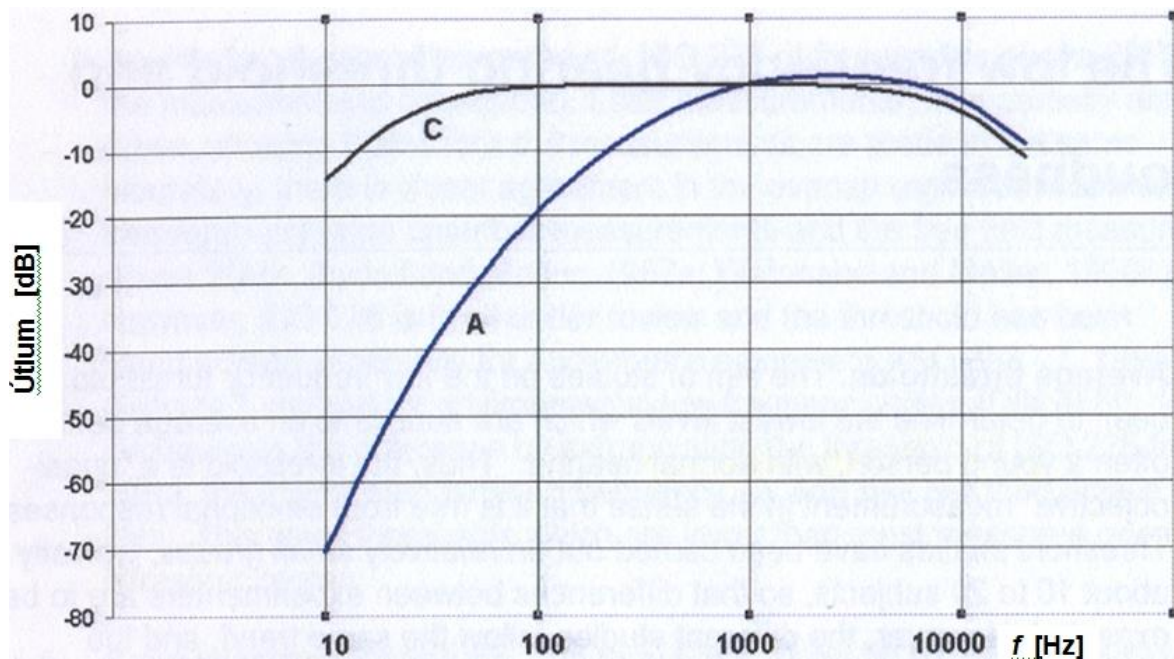
Váhová křivka A

Akustický tlak zcela neodpovídá reálnému vnímání zvuku člověkem. V této míře není zohledněna odlišná citlivost lidského ucha na zvuky o různých frekvencích. Citlivost ucha se totiž při vnímání zvuku mění v závislosti na tom, o jaké frekvence se jedná. Vnímání různých frekvencí lidským uchem popisuje Obrázek 2. Nejcitlivější sluch máme při vnímání zvuku o frekvencích mezi 700 Hz a 6 kHz, což znamená, že zvuky o takové frekvenci jsme schopni vnímat i tehdy, pokud mají minimální intenzitu. Důvod je především biologický, protože těmto intenzitám odpovídá například dětský pláč. Opakem je zvuk vyvolaný průtokem krve v uchu – vnímání frekvencí podobných těm, které vyvolává proudění krve v uchu, je u lidí značně zeslabené.



Obrázek 2 Citlivost lidského ucha v závislosti na frekvenci (11)

Aby naměřená intenzita zvuku odpovídala reálnému vnímání zvuku člověkem, byla stanovena **váhová křivka A**, která koriguje naměřený frekvenční průběh hladiny akustického tlaku.



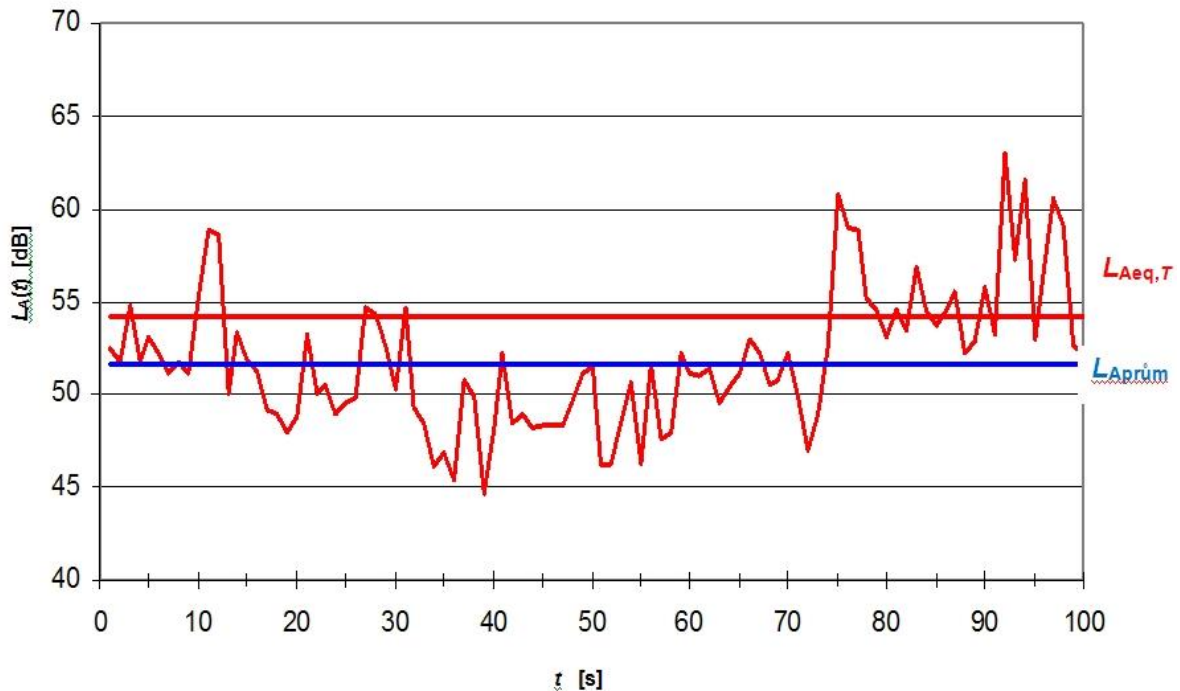
Obrázek 3 Průběh váhové křivky A a C (12)

Při měření hluku se hladiny akustického tlaku v jednotlivých frekvenčních pásmech korigují ve shodě s průběhem křivky A. Výslednou hodnotou je **hladina akustického tlaku A** L_{pA} . Díky tomu naměřené hodnoty více odpovídají vnímání zvuku lidským uchem. (12)

Ekvivalentní hladina akustického tlaku

Ekvivalentní hladina akustického tlaku A $L_{pAeq,T}$ zjednodušeně reprezentuje průběh a trvání zvuku v čase. Nelze však říci, že se jedná o průměrný hluk, neboť aritmetický průměr naměřených hodnot hladin akustického tlaku A v daném čase není shodný s ekvivalentní hladinou akustického tlaku A. Ta totiž vyjadřuje energetický průměr, který je stanoven na základě energetického sčítání hladin. Pravidlo o sčítání hladin říká, že k výsledné hodnotě více přispívají hodnoty vyšší než hodnoty nižší, protože se jedná o logaritmický průměr, nikoliv o aritmetický. Pokud budeme měřit okamžitou hladinu hluku L_A během časového úseku T, ekvivalentní hladina akustického tlaku se vypočítá podle vzorce $L_{pAeq,T} = 10 \log\left(\frac{10^{0,1 \times LA_1} + 10^{0,1 \times LA_2} + \dots + 10^{0,1 \times LA_x}}{x}\right)$, kde $L_{pAeq,T}$ je ekvivalentní hladina akustického tlaku A za dobu T, LA_1 a LA_2 jsou okamžité hladiny akustického tlaku A a x je celkový počet měření. Jednotkou ekvivalentní hladiny hluku je vždy decibel. (13) (14) (15)

Časový průběh



Obrázek 4 Porovnání průměrné a ekvivalentní hladiny akustického tlaku (13)

Pokles intenzity zvuku a akustického tlaku

Při šíření zvuku ve volném prostoru dochází k poklesu intenzity zvuku (a tím pádem i hladiny akustického tlaku) s rostoucí vzdáleností. Tato intenzita zvuku klesá vždy s druhou mocninou. Pokud se zvýší vzdálenost od zdroje zvuku na dvojnásobek, klesne intenzita zvuku na jednu čtvrtinu původní hodnoty. Oproti tomu akustický tlak klesá lineárně, protože se jedná o logaritmickou stupnici. Při zdvojnásobení vzdálenosti od zdroje zvuku klesne hladina akustického tlaku vždy přibližně o 6 dB. Pro výpočet hladiny akustického tlaku v nové vzdálenosti r od zdroje zvuku platí vztah $L_{pr} = L_{pr_0} + 20 \log \frac{r_0}{r}$, kde L_{pr_0} je hladina akustického tlaku v původní vzdálenosti, r_0 původní vzdálenost od zdroje zvuku a L_{pr} hladina akustického tlaku v nové vzdálenosti.

Hluk

Hlukem označujeme každý zvuk, který má obtěžující či rušivý charakter nebo má negativní vliv na lidské zdraví. Nadměrná míra hluku prokazatelně poškozuje lidské zdraví a je zdrojem celé řady onemocnění. Hluková zátěž se v poslední době neustále zvyšuje, a proto se stále více objevují snahy tuto zátěž eliminovat a snížit její dopady na lidské zdraví na minimum. (1) (16)

Hluk jako faktor životního prostředí

Po znečištěném ovzduší a znečištěných povrchových vodách je hluk považován za třetí nejzávažnější problém z hlediska ochrany životního prostředí. Jednou z nejzávažnějších vlastností zvuku a hluku je jeho schopnost šířit se na velké vzdálenosti, a to nejen ve vzduchu a ve vodě, ale i v pevných látkách. Naštěstí se akustická energie zamořující prostředí nemůže v přírodě kumulovat jako například těžké kovy a jiné chemické látky. Některé odhady udávají, že nárůst hlučnosti v našem životním prostředí může činit až 1 dB za rok. Nejhorší

situace je ve městech, kde je vysoká koncentrace dopravy, přičemž například na některých místech Prahy dosahuje v dopravní špičce hladina akustického tlaku $A L_{pA} = 85 \text{ dB}$. (1)

Účinky hluku na člověka

Hluk je nebezpečný zejména proto, že se proti němu nemůže lidský organismus nijak bránit, jako je tomu například u zraku. Dlouhodobý pobyt člověka v místě s vysokou hodnotou hladiny akustického tlaku A má značné negativní účinky. Ty se však neprojevují bezprostředně, ale v těle se kumulují a projeví se obvykle až po delší době. Negativní účinky na lidský organismus se objevují již v případě, kdy je člověk delší dobu vytaven hladině akustického tlaku A o hodnotách okolo 65 dB . V těchto případech může docházet k poruchám trávení, spánku nebo emocionální rovnováhy. Pokud je člověk dlouhodobě vystaven hodnotám vyšším než 85 dB , dochází k trvalým poruchám sluchu a vzniká nedoslýchavost. Při překročení prahu bolesti, který leží mezi 120 a 130 dB , se účinky hluku mění na bolest v uších. V případě, že hodnoty L_{pA} dosahují 160 dB , dochází k protržení bubínku.



Obrázek 5 Účinky hluku na člověka (17)

Na druhou stranu ani příliš nízké hodnoty hladiny akustického tlaku člověku nesvědčí. Pokud se pohybují okolo 20 dB, hovoříme již o hlubokém tichu, které je člověku nepříjemné. V případě, že je člověk dlouhou dobu v prostředí s takto nezvykle nízkou hladinou akustického tlaku, může docházet ke stejným poruchám jako v případě nadměrného hluku. Za příjemné ticho považujeme hodnoty kolem 30 dB, při hodnotách okolo 35 dB si nejlépe odpočineme (odpovídají šumu moře a stromů). (1) (18)

Hlukové limity

Hlukové limity jsou stanoveny ve vládním nařízení č. 272/2011 Sb. (Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací). Důležitá je zejména část třetí (§ 11 a § 12), pojednávající o limitech v chráněných vnitřních prostorech staveb, v chráněných venkovních prostorech staveb a chráněných venkovních prostorech. Nejčastějším zdrojem nadlimitního hluku jsou pozemní komunikace, tedy silnice a dráhy. Významným původcem hluku je rovněž letecká doprava, pro kterou platí speciální nařízení. Dalšími, avšak méně častými zdroji hluku, může být například hlasitá hudba, střelnice či akustické výstražné signály (např. v okolí lomů). (19) (20)

Hygienické limity hluku v chráněných vnitřních prostorech staveb

Podle přílohy 2 k nařízení vlády 272/2011 Sb., se chráněným vnitřním prostorem staveb se rozumí nemocniční pokoje, ordinace, obytné místnosti, přednáškové sítě, učebny a pobytové místnosti škol, jeslí a staveb pro předškolní a školní výchovu a vzdělávání. Z tohoto nařízení rovněž vyplývá, že přípustné hodnoty pro hluk z pozemních komunikací se stanovují pro celou denní a noční dobu (denní doba: 6.00–22.00; noční doba: 22.00–6.00). (19) (20)

Tabulka 1 Hlukové limity v chráněných vnitřních prostorech staveb

doba	základní limit hluku	korekce 1
denní doba	40 dB	45 dB
noční doba	30 dB	35 dB

Legenda: Základní limit ekvivalentní hladiny akustického tlaku A, označovaný jako $L_{pAeq,T}$, se počítá vždy pro celou denní, respektive noční dobu (denní doba: $T = 16$ h; noční doba: $T = 8$ h). Korekce 1 = místnosti nacházející se v okolí dálnice, silnice I. a II. třídy, nebo v ochranném pásmu dráhy. (Ochranným pásmem dráhy se podle § 8 zákona č. 266/1994 Sb., o dráhách, rozumí vzdálenost 60 metrů od krajních kolejí železnice, respektive 30 metrů od krajních kolejí tramvajové tratě. (21)) (19)

Hygienické limity hluku v chráněných venkovních prostorech staveb a v chráněném venkovním prostoru

Podle zákona 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví se chráněným venkovním prostorem rozumí nezastavěné pozemky, které jsou užívány k rekreaci, lázeňské léčbě a výuce. Chráněným venkovním prostorem staveb se rozumí prostor v okruhu 2 m od stavby. Chráněný venkovní prostor zdravotnických zařízení a chráněný venkovní prostor staveb zdravotnických zařízení má speciální korekce, korekce pro všechny ostatní prostory jsou uvedeny v Tabulce 1. (19) (20) (22)

Tabulka 2 Hlukové limity v chráněném venkovním prostoru staveb a v chráněném venkovním prostoru

doba	základní limit $L_{pAeq,T}$	korekce 1	korekce 2	SHZ
denní doba	50 dB	55 dB	60 dB	70 dB
noční doba	40 dB	45 dB	50 dB	60 dB

Legenda: Korekce 1 – prostor v blízkosti komunikace III. třídy; korekce 2 – prostor v blízkosti komunikace I. nebo II. třídy; SHZ = stará hluková zátěž – stanovení této korekce je obtížné, neboť se stanovuje na základě několika kritérií posouzených krajskou hygienickou stanicí. (19)

Metodika

Cílem mé práce bylo změřit hodnoty ekvivalentní hladiny hluku na různých místech Prahy 2 a zpracovat hlukovou mapu jedné vybrané lokality. V této kapitole popíšu pomůcky, které jsem k pokusu potřeboval, a postup, jakým jsem měřil hodnoty hluku, vyhodnocoval je a zpracovával do tabulek a hlukové mapy.

Pomůcky

Nejdůležitější pomůckou pro tento pokus je hlukoměr. Používal jsem školou zapůjčený hlukoměr Vernier SLM-BTA. Tento hlukoměr má dva rozsahy – nižší rozsah od 35 do 90 dB a vyšší od 75 do 130 dB. Vzhledem k tomu, že jsem měřil hluk ve městě, který je působený především automobilovou a tramvajovou dopravou, používal jsem nižší rozsah, protože okamžité hodnoty hladin akustického tlaku zpravidla nepřesahovaly 80 dB. Frekvenční rozsah hlukoměru je 31,5–8 000,0 Hz. Rozsah sice zdaleka nepokrývá celé sluchové pole člověka, nicméně pokrývá oblast, ve které je lidský sluch nejcitlivější. Proto je toto rozpětí dostatečné, neboť zvuky o frekvencích nižších než 31,5 Hz a vyšších než 8 000 Hz nejsou v našem okolí tak časté. Citlivost přístroje je jedna desetina decibelu. Velmi důležitá je přesnost zařízení, ta je u tohoto modelu 1,5 dB.

Hlukoměr umožňuje zobrazovat měřené hodnoty v rychlém nebo pomalém tempu. Já jsem používal zobrazování pomalé, neboť interval zobrazování hodnot přibližně po jedné vteřině je dostačující. Další z funkcí je použití váhové křivky A nebo C. Pro měření hluku z dopravy je nutné použít váhovou křivku A. Poslední funkcí hlukoměru je zobrazování maximálních hodnot, tuto funkci jsem ovšem ve svém měření nepoužil.

Další pomůckou, která slouží ke zpracování a vyhodnocení naměřených dat, je tabulkový editor řady Microsoft Excel. Do něj jsem naměřená data zapisoval a následně počítal ekvivalentní hladiny akustických tlaků.

Postup

Výběr lokality a času

V první části pokusu jsem vybral 6 různých lokalit v Praze 2. Mezi lokalitami byla místa, která trpí vysokou hlučností, a zároveň i místa, která jsou oblíbenými oblastmi k odpočinku. Aby byla naměřená data porovnatelná mezi sebou, vybral jsem pro měření jeden konkrétní den v týdnu a jednu konkrétní hodinu – pondělí, 18.00. Tento čas patří v Praze k dopravní špičce, a proto jsou hodnoty naměřeného hluku nejvyšší. Následně jsem stanovil ještě druhý termín – neděle, 10.00 – a měření jsem na vybraných místech zopakoval. Tento čas je naopak obdobím, kdy je hlučnost v Praze nejnižší.

Ve druhé části pokusu jsem vybral jednu lokalitu v Praze 2 a zpracovával jsem její hlukovou mapu. Zvolil jsem severní předmostí Nuselského mostu o rozloze přibližně 3 ha. Jedná se o zajímavou oblast, neboť je z hlediska hladin akustického tlaku velmi nesterjnorodá. Tato

lokality trpí extrémním hlukovým zatížením způsobeným automobilovou dopravou na severojižní magistrále. Přesto se pár desítek metrů od této šestiproudé komunikace nachází čtyři parky (park Na Karlově, Karlovské předmostí, park Nad Bělehradskou a park Folimanka), které jsou oblíbenými odpočinkovými místy Pražanů. Hladiny hluku se zde tudíž na relativně malém území pohybují ve velkém rozpětí. Pro měření hodnot hluku jsem zvolil období, kdy budou naměřené hodnoty nejvíce vypovídající – odpoledne pracovního dne v dopravní špičce.

Měření

Pro každou část jsem použil odlišnou délku času T . Zatímco v první části jsem se snažil docílit co nejpresnějších výsledků, ve druhé části jsem potřeboval především co nejvíce hodnot, aby byla hluková mapa přesnější. Z toho důvodu jsem pro první část stanovil na základě experimentálních měření jako neoptimálnější hodnotu času $T = 180\text{ s}$ a pro druhou část $T = 30\text{ s}$. Pro obě části jsem pak stanovil i interval, ve kterém odečítám hodnoty okamžitých hladin akustického tlaku z displeje přístroje. Ten je pro obě části vždy 5 vteřin.

Pro sestavení hlukové mapy jsem severní předmostí Nuselského mostu rozdělil na 40 bodů. Body byly rozmístěny rovnoměrně po celé ploše měřené oblasti, vzdáleny od sebe byly přibližně 25 metrů a v každém z těchto bodů jsem změřil hodnoty okamžitých hladin akustických tlaků.



Obrázek 6 Body v hlukové mapě

Zpracování

V programu Microsoft Excel jsem vytvořil tabulku a vzorec podle vztahu v kapitole Ekvivalentní hladina akustického tlaku. Do tabulky jsem zapsal naměřené hodnoty a spočítal ekvivalentní hladiny akustických tlaků pro všechna místa.

Vyhodnocení

Vypočtené hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku v první části jsem porovnával dvojím způsobem. Nejprve jsem mezi sebou porovnával hodnoty z nedělního dopoledne

a pondělního odpoledne. Následně jsem obě dvě hodnoty orientačně porovnal s hlukovými limity uvedenými v kapitole Hlukové limity.

Ve druhé části jsem rovněž spočítal ekvivalentní hladiny akustických tlaků v každém z bodů. Výsledné hodnoty jsem následně roztrídil do čtyř intervalů a přiřadil jsem jim barvy, jak je vidět v Tabulce 3.

Tabulka 3 Intervaly výsledných hodnot hladin akustického tlaku a jejich barva

Číslo intervalu	Interval	Barva
1	(40 dB; 55 dB)	tmavě zelená
2	(55 dB; 60 dB)	světle zelená
3	(60 dB; 65 dB)	oranžová
4	(65 dB; 80 dB)	červená

Body, na kterých jsem prováděl měření, jsem zanesl do mapy a obarvil je příslušnou barvou podle Tabulky 3. Přibližně v polovině vzdálenosti dvou sousedních bodů z rozdílných intervalů jsem vedl křivku rozdělující oblasti s různou hladinou hluku. Vzniklé plochy jsem obarvil příslušnou barvou podle toho, do jakého intervalu oblast spadá. Výsledkem byla hluková mapa, kterou jsem vytvořil v grafickém programu Gimp 2.

Výsledky a diskuse

V první části mojí práce shrnuje výsledky měření Tabulka 4 a Tabulka 5. V krajním sloupci jsou uvedena místa, na kterých měření probíhalo, a další sloupce ukazují ekvivalentní hladinu akustického tlaku $L_{pAeq, T=180 s}$ v různých časech.

Tabulka 4 Hladiny akustického tlaku 17. a 18. března ve stanovených časech

Místo	17. 3. 2019, 10.00	18. 3. 2019, 18.00
nám. IPP	70,41 dB	73,82 dB
zastávka IPP	65,77 dB	65,42 dB
nám. Míru	57,14 dB	58,46 dB
Rumunská/Bělehradská	65,51 dB	70,41 dB
Tylovo nám.	54,91 dB	61,50 dB
Fügnerovo nám.	60,27 dB	61,61 dB

Tabulka 5 Hladiny akustického tlaku 7. a 8. dubna ve stanovených časech

Místo	7. 4. 2019, 10.00	8. 4. 2019, 18.00
nám. IPP	70,58 dB	74,48 dB
Zastávka IPP	65,44 dB	65,29 dB
nám. Míru	54,68 dB	56,9 dB
Rumunská/Bělehradská	66,86 dB	70,25 dB
Tylovo nám.	56,57 dB	60,89 dB
Fügnerovo nám.	59,69 dB	60,95 dB

Z tabulek vyplývá, že téměř na všech místech je hladina akustického tlaku vyšší v pondělní špičce než v neděli dopoledne, tudíž původní předpoklad byl správný. Největší rozdíl v naměřených hodnotách je patrný u míst, která jsou bezprostředně u silnic (náměstí I. P. Pavlova, křižovatka Rumunská/Bělehradská, Tylovo náměstí), což je rovněž v souladu s původním předpokladem. Právě na těchto místech totiž nejvíce záleží na počtu automobilů, které daným místem projedou, a počet vozidel je v pracovní dny výrazně vyšší.

Na místech více vzdálených od silnice (náměstí Míru, Fügnerovo náměstí, zastávka I. P. Pavlova) je hladina akustického tlaku stálejší, neboť se vzrůstající vzdáleností od zdroje hluku klesá intenzita zvuku s druhou mocninou, a hlukoměr proto nezaznamenává takové výchytky hodnot jako v bezprostřední vzdálenosti u silnice. Právě v těchto místech je často rozdíl mezi nedělním a pondělním měřením menší než deklarovaná odchylka hlukoměru. Na zastávce I. P. Pavlova byly naměřené hodnoty téměř identické v obou dvou časech. I o víkendu zde totiž panuje značný tramvajový provoz a místem prochází mnoho turistů i místních. Větší rozdíly v naměřených hodnotách by byly patrné tehdy, pokud bych měření prováděl o víkendu brzy ráno.

Při porovnání změřených hodnot s hygienickými limity uvedenými v Tabulce 2 je zřejmé, že do základní hodnoty, která činí pro denní dobu 50 dB, se žádná z lokalit nevejde. Naopak při použití korekce 3 pro starou hlukovou zátěž se do limitu 70 dB vejdou téměř všechny lokality. Použití této korekce by bylo namístě, protože všechny lokality se nachází u komunikací uvedených do provozu před datem 1. 1. 2001. Pouze hodnota naměřená na náměstí I. P. Pavlova i tento limit překračuje. Ovšem je nutné zmínit, že hlukové limity jsou stanoveny pro celou denní dobu a že v časech kolem 6., respektive 22. hodiny bude tato hodnota pravděpodobně nižší. Nicméně i tak bude výsledná hodnota pravděpodobně na hraně hlukových limitů, neboť tato oblast je dlouhodobě problematická.

Například podle stále platného Akčního plánu snižování hluku pro aglomeraci Praha z roku 2008 je více než 100 000 obyvatel Prahy vystaveno hluku o hodnotách vyšších než 70 dB. V tomto dokumentu jsou ulice jako Legerova, Rumunská nebo Bělehradská uvedeny mezi 50 nejkritičtějsími místy z hlediska hlukového zatížení a dlouhodobého překračování hlukových limitů. (23)

V roce 2016 byl představen nový návrh Akčního plánu snižování hluku aglomerace Praha. Ze statistiky zveřejněné v tomto návrhu vyplývá, že jen na Vinohradech žije přibližně 8 400 osob, které jsou v noci vystaveny hluku vyššímu, než je přípustných 60 dB (což odpovídá hodnotě pro starou hlukovou zátěž). Na Novém Městě je to pak dalších 7 400 obyvatel. (24) Opět lze předpokládat, že se jedná o obyvatele žijící v okolí výše zmíněných problematických ulic a dalších exponovaných míst.

Výsledky druhé části mé práce popisuje hluková mapa karlovského předmostí Nuselského mostu (Obrázek 7, Příloha 1), která byla vytvořena za použití podkladové mapy Institutu plánování a rozvoje Prahy (22). Nuselský most je součástí tzv. severojižní magistrály, která je jednou z nejvytíženějších komunikací v Praze. Dle návrhu Akčního plánu pro snižování hluku v aglomeraci Praha 2016 projede po šestiproudém Nuselském mostě přibližně 78 200 vozidel denně. Na karlovském předmostí se Nuselský most větví na dvě tříproudé silnice. Ve směru do centra je to ulice Legerova, po které každý den projede až 53 600 vozidel. V opačném směru tvoří severojižní magistrálu ulice Sokolská, kde běžně projede až 45 100 automobilů.

Na vytvořené hlukové mapě předmostí Nuselského mostu je vidět, že nejvyšší hlukové zatížení je v bezprostředním okolí komunikace Nuselský most, respektive silnic Legerova a Sokolská, což je ve shodě s původním předpokladem. V blízkosti těchto komunikací dosahovaly hodnoty hluku často více než 70 dB. Při souvislém provozu v místě rozvětvení Nuselského mostu překročily občas okamžité hladiny akustického tlaku i hodnoty 80 dB.



Obrázek 7 Hluková mapa

Naopak s rostoucí vzdáleností od zdroje hluku výrazně klesá hladina akustického tlaku. Díky stromům a keřům, které v některých místech tvoří přírodní hlukovou bariéru, klesla hladina akustického tlaku například na okraji parku Folimanka či parku Na Karlově až k hodnotám okolo 50 dB. Vzdálenost míst s takto nízkou hladinou akustického tlaku například od místa rozvětvení Nuselského mostu přitom někdy činí přibližně jen 100 m. Může se zdát, že tato vzdálenost je velmi krátká, ovšem z fyzikálního hlediska se nejedná o nic neobvyklého. Podle vzorce uvedeného v kapitole Pokles intenzity zvuku a akustického tlaku lze spočítat, že pokud by se jednalo o jeden zdroj hluku se změřenou hladinou akustického tlaku 80 dB, klesla by hladina akustického tlaku na 100 metrech dokonce až ke 40 dB.

Díky tomuto jevu netrpí přilehlé parky extrémním hlukovým zatížením na rozdíl od bezprostředního okolí vozovek. Naprostá většina laviček v parcích se nachází ve tmavě zelené zóně hlukové mapy, což znamená, že ekvivalentní hladina akustického tlaku zde nepřesahuje 55 dB. Část laviček se nachází i ve světle zelené zóně, kde ekvivalentní hladiny akustického tlaku nepřesahují 60 dB. Tato hodnota přibližně odpovídá hlasitému rozhovoru a jedná se o slabé rušení bez negativních vlivů na zdraví člověka při krátkodobém zatížení. V oranžové ani červené zóně mapy se téměř žádné lavičky nenachází.

Dalším zajímavým trendem, který lze na mapě pozorovat, je větší hlukové zatížení u ulice Sokolská v porovnání s Legerovou. Tuto skutečnost ovlivňují především dva faktory. Prvním z nich je ten, že po ulici Legerova projede dle citovaného návrhu Akčního plánu až o deset tisíc aut denně více ve srovnání s ulicí Sokolská. Druhým faktorem je skutečnost, že mapa vznikala v období odpolední dopravní špičky. Touto dobou se obyvatelé centra města vracejí z práce domů, a proto se ve směru do centra tvoří každý pracovní den v odpolední špičce v Legerově ulici kolony stojících či pomalu popojíždějících aut. Oproti tomu v Sokolské ulici je provoz většinou velmi plynulý, auta zde projíždí maximální povolenou rychlostí 50 km/h (často i vyšší) a díky tomu je v jejím okolí větší hluk.

Závěr

V maturitní práci jsem nejprve porovnával hodnoty hladin akustického tlaku naměřené v sobotu dopoledne s hodnotami naměřenými následující pondělní odpoledne v dopravní špičce. Ve shodě s původním předpokladem byly naměřené hodnoty v dopravní špičce většinou vyšší než hodnoty ze nedělního dopoledne. Nicméně například na Fügnerově náměstí se od sebe hodnoty nelišily více než o 1,5 dB a na zastávce I. P. Pavlova dokonce dvakrát vyšla v neděli nepatrně vyšší ekvivalentní hladina hluku, což mne překvapilo.

Překračování hlukových limitů staré hlukové zátěže jsem zjistil pouze na náměstí I. P. Pavlova, křižovatka Rumunské a Bělehradské byla ve špičce pracovního dne na hraně těchto limitů. Je nutné zdůraznit, že se jedná o měření v nejvíce exponovaných hodinách a že ekvivalentní hladina akustického tlaku pro celou denní dobu (tj. od 6 do 22 hod.) by tyto limity pravděpodobně nepřekročila. Nicméně i hodnota 70 dB je alarmující, neboť takto vysoká hladina hluku má velmi negativní vliv na zdraví člověka. Z tohoto důvodu je dnes již nepřijatelné, aby byli obyvatelé okolí nově vybudovaných komunikací vystaveni tak vysokým hodnotám hluku, a rovněž je snaha snižovat počet obyvatel, kteří jsou vystaveni hluku odpovídajícímu limitu staré hlukové zátěže.

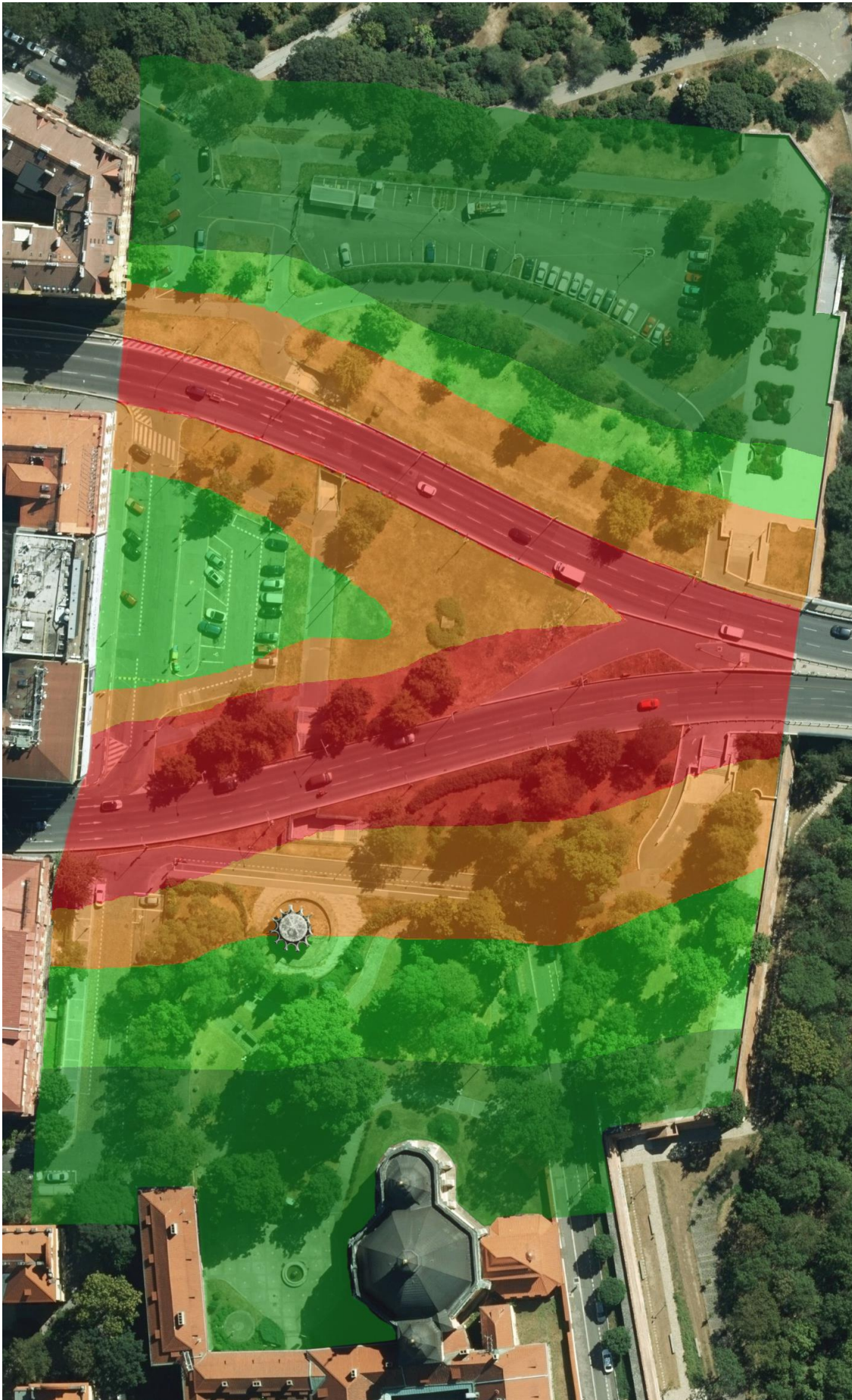
Ve druhé části jsem sestavil hlukovou mapu karlovského předmostí Nuselského mostu. Ačkoliv se jedná o relativně malou oblast o rozloze přibližně 3 ha, zpracování naměřených dat, jejich vyhodnocení a vytvoření mapy mi trvalo několik hodin. Vzniklá hluková mapa je vesměs ve shodě s oficiální hlukovou mapou Prahy, a tudíž došlo ke splnění stanovených cílů, proto jsem s výsledkem spokojen. Z mapy je zřejmé, že lavičky se nachází téměř výhradně v zelených zónách mapy, a proto jsou parky z hlediska hlukového zatížení příjemným místem k posezení. Větším problémem, než je hluk, bude v tomto místě pravděpodobně znečištění ovzduší zplodinami z aut.

Osobně mi práce přinesla nové zkušenosti ať už v oblasti měření dat a zacházení s hlukoměrem, tak ve zpracování a vyhodnocování naměřených dat. Zdokonalil jsem se rovněž v používání tabulkového editoru Microsoft Excel a grafického programu Gimp 2. V neposlední řadě jsem se pak dozvěděl mnoho informací týkajících se hluku a hlukového znečištění nejen v Praze.

Seznam literatury

1. NOVÝ, Richard. *Hluk a chvění, vyd. 3.* . Praha : České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04347-9.
2. SVOBODA, Emanuel. *Přehled středoškolské fyziky. 2. přeprac. vyd.* Praha : Prometheus, 1996. ISBN 80-7196-006-3.
3. Hluk a hudba [online]. [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: <http://www.1sg.sk/~pkubinec/hudba.html>. [Online]
4. LEPIL, Oldřich. *Fyzika pro gymnázia: Mechanické kmitání a vlnění.* Praha : Prometheus, 1994. ISBN 80-901619-6-0.
5. REICHL, Jaroslav a VŠETIČKA, Martin. Výška tónu. Encyklopedie fyziky [online]. [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/194-vyskazvuku>. [Online]
6. REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Barva zvuku. Encyklopedie fyziky [online]. [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/195-barva-tonu>. [Online]
7. KAŇKA, Jan, Stavební fakulta ČVUT Praha. Intenzita zvuku – decibel. TZB-Info [online]. [cit. 2018-01-13]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/216-intenzita-zvuku-decibel>.
8. BERNAT, Petr. Vnímání zvuku člověkem [online]. [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: https://homen.vsb.cz/~ber30/texty/varhany/anatomie/pistaly_akustika.htm. [Online]
9. HELLMUTH a spol. Vážená hladina akustického tlaku. Krajská hygienická stanice Královéhradeckého kraje [online]. Ústí nad Orlicí, 2013 [cit. 2018-01-13]. Dostupné z: http://www.khshk.cz/e-learning/kurs2a/kapitola_15_ven_hladina_akustickho_tlaku.html.
10. HELLMUTH a spol. Ekvivalentní hladina ak. tlaku. Krajská hygienická stanice Královéhradeckého kraje [online]. Ústí nad Orlicí, 2013 [cit. 2018-01-13]. Dostupné z: http://www.khshk.cz/e-learning/kurs2a/kapitola_17_ekvivalentn_hladina_akustickho_tlaku.html.
11. KAŇKA, Jan. Působení zvuku v čase – ekvivalentní hladina. TZB Info [online]. [cit. 2018-01-15]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/218-pusobenizvuku-v-case-ekvivalentni-hladina>.
12. HELLMUTH a spol. Sčítání hladin. Krajská hygienická stanice Královéhradeckého kraje [online]. Ústí nad Orlicí, 2013 [cit. 2018-01-13]. Dostupné z: http://www.khshk.cz/e-learning/kurs2a/kapitola_14_stn_hladin.html.
13. Hluk. Státní zdravotní ústav [online]. Praha [cit. 2018-01-08]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/hluk>.
14. Účinky hluku na člověka. Ekologické centrum Most [online]. [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: <http://www.ecmost.cz/ovzdusi/pic/hlukomer.jpg>. [Online]

15. REICHL, Jaroslav a VŠETIČKA, Martin. Účinek hluku na lidský organismus. Encyklopedie fyziky [online]. [cit. 2018-01-13]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/202-ucinek-hluku-na-lidsky-organismus>.
16. Vyhláška č. 272/2011 Sb., Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, § 11 a §12. In: Sbírka zákonů, 24. 8. 2011. [online] [cit. 2017-12-11] Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-272#>.
17. Hlukové limity. Frank Bold [online]. 8. 1. 2017 [cit. 2017-12-17]. Dostupné z: <http://frankbold.org/poradna/kategorie/hluk/rada/stanovovani-limitu-hluku-pro-hudbu-letiste-silnice-a-dalsi>.
18. Zákon č. 266/1994 Sb., o drahách, § 8. In: Sbírka zákonů, 14. 12 1994. [Online] [cit. 2018-15-1] Dostupné z: https://www.mdcr.cz/getattachment/Dokumenty/Drazni-doprava/Legislativa-v-drazni-doprave/Zakony-v-drazni-doprave/266-94-k_1-4-2017-uplzeni.pdf.aspx?lang=cs-CZ.
19. Zákon č. 258/2011 Sb., Zákon o ochraně veřejného zdraví, § 30, odst. 3. In: Sbírka zákonů, 14. 7. 2000. [online] [cit. 2018-1-19] Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-258>.
20. NOVÁK, Josef, Václav VOLEJNÍK a Karel ŠNAJDR. Akční plán snižování hluku pro aglomeraci Praha 2008 [online]. 4. 9. 2008 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: http://portalzp.praha.eu/public/5d/4d/62/1717890_422100_akcni_plan_Praha_text.pdf f. [Online]
21. LÁDYŠ, Libor. Akční plán snižování hluku aglomerace Praha 2016 – NÁVRH [online]. prosinec 2016 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: http://portalzp.praha.eu/public/4c/fe/45/2394449_745878_AP_Praha_aglo_snizhluku_2016_NAVRH.pdf. [Online]
22. Geoportal Praha [online]. Praha: Institut plánování a rozvoje prahy, 2019 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://www.geoportalpraha.cz/>. [Online]
23. BUREŠ, Jiří. Rychlost zvuku v kapalinách. ConVERTER [online]. 2002 [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/rychlost-zvuku-kapaliny.htm>. [Online]
24. BUREŠ, Jiří. Rychlost zvuku v pevných látkách. ConVERTER [online]. 2002 [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/rychlost-zvuku-pevne.htm>. [Online]
25. BUREŠ, Jiří. Rychlost zvuku ve vzduchu. ConVERTER [online]. 2002 [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/rychlost-zvuku-vzduch.htm>. [Online]



www.geoport Praha.cz, © Institut plánování a rozvoje hl. m. Prahy, stránka vytvořena: 1.5.2019 15:37:42