



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Katedra železničních staveb

Vliv zeleně na šíření hluku v okolí železničních staveb

**The influence of greenery on noise propagation in the
vicinity of railway constructions**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. David Pohořalý

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Inženýrství životního prostředí

Vedoucí diplomové práce: Ing. Lenka Lomoz, Ph.D.

Praha, 2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Pohořalý</u>	Jméno: <u>David</u>	Osobní číslo: <u>477199</u>
Zadávací katedra: <u>Katedra železničních staveb</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor/specializace: <u>Inženýrství životního prostředí</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Vliv zeleně na šíření hluku v okolí železničních staveb</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>The influence of greenery on noise propagation in the vicinity of railway constructions</u>	
Pokyny pro vypracování: V teoretické části práce proveďte rešerši na téma využití vhodné zeleně jako protihlukové ochrany u liniových staveb a její zhodnocení. V praktické části diplomové práce proveďte výběr vhodných lokalit pro akustická měření a proveďte zde měření. V rámci měření a následného vyhodnocení posuďte přínos zeleně jako protihlukové ochrany.	
Seznam doporučené literatury: ČSN EN ISO 3095 Akustika - Železniční aplikace - Měření hluku vyzařovaného kolejovými vozidly (2014) Nový R.: Hluk a chvění, 4. přepracované vydání, ČVUT nakladatelství, ISBN 978-80-01-06554-9 (2019) Kotzen B.: Environmental Noise Barriers: A Guide To Their Acoustic and Visual Design, 2nd Edition, CRC Press, ISBN 9780367865221 (2009)	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>Ing. Bc. Lenka Lomoz, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>27.9.2023</u>	Termín odevzdání DP v IS KOS: <u>8.1.2024</u> <small>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</small>
_____ Podpis vedoucího práce	_____ Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

<u>3.10.2023</u>	_____
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Vliv zeleně na šíření hluku v okolí železničních staveb** zpracoval samostatně za použití uvedené literatury a pramenů.

Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 7.1. 2024

Bc. David Pohořalý

Poděkování

Děkuji Ing. Lence Lomoz Ph.D. za její odborné vedení a užitečné rady při zpracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Katedře železničních staveb a Katedře hydromeliorací a krajinného inženýrství za poskytnutí měřicí techniky. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině za podporu během mého studia.

Anotace

Diplomová práce posuzuje vliv zeleně na šíření hluku v okolí železničních staveb na základě rozdílu naměřených hodnot ve stejné vzdálenosti od železniční trati s účinkem a bez účinku vegetace. Měření probíhalo na třech zvolených lokalitách v několika měřicích kampaních během roku. V teoretické části práce jsou popsány mechanismy útlumu hluku vlivem vegetace, dále jsou zde uvedeny studie zabývající se využitím vegetace v protihlukových opatřeních.

Klíčová slova:

Ekvivalentní hladina akustického tlaku A , $L_{Aeq,T}$, hladina expozice zvuku A , L_{AE} , vegetace, LAI, třetinooktávové frekvenční spektrum, měření hluku, ground effect.

Summary

The diploma thesis assesses the effect of greenery on noise propagation in the vicinity of railway constructions based on the difference of measured values at the same distance from the railway line with and without the effect of vegetation. The measurement took place at three selected locations in several measurement campaigns during the year. In the theoretical part of the thesis, the mechanisms of noise attenuation due to the influence of vegetation are described, and studies dealing with the use of vegetation in anti-noise measures are also described here.

Key words:

Equivalent A – weighted sound pressure levels $L_{Aeq,T}$, equivalent A – weighted sound exposure level L_{AE} , vegetation, LAI, one - third octave band, noise measurement, ground effect.

Obsah

ÚVOD.....	6
1. ÚVOD DO HLUKOVÉ PROBLEMATIKY.....	8
1.1. ZVUK	8
1.2. ZÁKLADNÍ AKUSTICKÉ VELIČINY	9
1.3. DĚLENÍ HLUKU.....	12
1.4. ŠÍŘENÍ ZVUKU V PROSTŘEDÍ.....	13
2. VEGETACE A JEJÍ FUNKCE V KRAJINĚ.....	18
3. VEGETACE V PROTIHLUKOVÝCH OPATŘENÍCH.....	20
3.1. SNÍŽENÍ KONCENTRACE SUSPENDOVANÝCH ČÁSTIC.....	20
3.2. VLIV VEGETACE NA HLUČNOST	21
3.3. VEGETAČNÍ PÁSY	25
3.4. PROTIHLUKOVÉ STĚNY S VEGETACÍ	32
4. VLASTNÍ MĚŘENÍ.....	37
4.1. VÝBĚR MĚŘICÍHO MÍSTA	37
4.1.1. Lokalita Kbely.....	38
4.1.2. Lokalita Praha – Klánovice.....	42
4.1.3. Lokalita Košíře	43
4.1.4. Lokalita Hloubětín.....	44
4.1.5. Lokalita Roztoky u Prahy.....	46
4.1.6. Lokalita Liboc.....	47
4.2. ZHODNOCENÍ LOKALIT	47
4.3. POPIS VYBRANÉ LOKALITY A UMÍSTĚNÝCH MĚŘICÍCH BODŮ	52
4.3.1. Lokalita Hloubětín.....	52
4.3.2. Lokalita Roztoky u Prahy.....	54
4.3.3. Lokalita Liboc.....	57
4.4. MĚŘICÍ APARATURA.....	59
4.5. METODIKA MĚŘENÍ	60
4.5.1. Metodika akustického měření	60
4.5.2. Metodika určení listové plochy	61
4.6. ZPRACOVÁNÍ DAT	66
4.7. POPIS MĚŘICÍCH KAMPANÍ.....	67
5. VÝSLEDKY	84
5.1. LIBOC.....	84
5.2. ROZTOKY U PRAHY	90

5.3. HLOUBĚTÍN	95
6. ZÁVĚR	101
7. LITERATURA	103
8. OBRÁZKY	107
9. TABULKY	109
10. GRAFY	110
11. SEZNAM PŘÍLOH	111

ÚVOD

Technologický pokrok má neoddiskutovatelně velký pozitivní vliv na lidský život, ale s tím jsou spojena i různá úskalí. S vývojem společnosti je úzce spjatá intenzifikace dopravy, například v České republice došlo během posledních deseti let k nárůstu vozového parku o více než 2 miliony vozidel. [1] Nejedná se pouze o silniční dopravu, kolejová doprava je hlavně ve větších městech využívána ve formě městské a příměstské hromadné dopravy, plánují se modernizace železničních tratí a výstavba vysokorychlostních tratí. Bez ohledu na typ je doprava pro člověka přínosná, ale zároveň člověku i životnímu prostředí škodí formou emisí, které produkuje. Nejvíce známé jsou emise, které znečišťují ovzduší, jedná se zejména o oxidy dusíku, suspendované částice frakce PM₁₀ a PM_{2,5}, oxid uhelnatý a uhlovodíky. Mimo tato znečištění doprava produkuje i škodlivé energetické znečištění ve formě světelné a zejména hlukové emise. [2]

Podle světové zdravotnické organizace WHO je přibližně 40 % evropské populace vystavováno dopravnímu hluku přesahující hodnoty 55 dB, tato hodnota může pro člověka působit rušivě, což má určitý vliv na lidskou psychiku a pracovní výkonnost. Při dlouhodobém působení hladiny zvuku dosahující 65 dB dochází ke zvýšení pravděpodobnosti projevu zdravotních potíží u člověka, nejčastěji se jedná o nemoci spojené s kardiovaskulárním systémem. Této hodnotě je vystaveno přibližně 20 % populace v evropských zemích. Z toho důvodu byla vydána Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES z roku 2002, která se zabývá problematikou hluku. Touto směrnicí se členské státy mimo jiné zavazují k mapování hlukové zátěže včetně reportu výsledků a k vypracování akčních plánů pro řešení hlukové problematiky. [3]

Při výběru protihlukových opatření ke snížení hluku z kolejové dopravy existují nepsaná pravidla při výběru postupu opatření. Na prvním místě je brán ohled na to, aby vůbec nevznikal přebytečný hluk. Z toho důvodu dochází k modernizacím a údržbě drah, případně vozového parku. V případě nedostatečného útlumu hluku se používají protihlukové stěny, nízké protihlukové clony a kolejnicové absorbéry. Tato opatření bývají finančně nákladná, mají velký vliv na zábor území a mohou narušovat estetický vjem. Posledním opatřením je

změna využití dráhy, např. omezení a zákaz provozu nákladních vlaků, popřípadě snížení provozní rychlosti.

Cílem této práce je na základě vlastních měření na předem zvolených lokalitách analyzovat zvukovou situaci z kolejové dopravy, určit rozdíl naměřených hodnot vlivem vegetace a jeho vývoj během roku s nárůstem listové plochy příslušné zeleně. V teoretické části se práce zabývá mechanismy zeleně, pomocí kterých dochází k útlumu zvuku. Dále je uvedeno konkrétní využití vegetace v protihlukových opatřeních ke snížení hluku z kolejové dopravy. Vegetace by mohla vyřešit výše uvedené problémy, mohla by snížit jak znečištění, které se dostává do atmosféry z dopravy, tak i hlukovou zátěž. Dále by zlepšila estetiku protihlukových stěn (PHS) a možná i vztah člověka k PHS, kdy je často na protihlukové opatření nahlíženo jako na „nutné zlo“.

1. ÚVOD DO HLUKOVÉ PROBLEMATIKY

Fyzikální obor technická akustika je základem pro porozumění hlukové problematice. Tato kapitola seznamuje čtenáře s elementárními akustickými veličinami a pojmy, které jsou základem pro problematiku měření hluku a jsou použity v této práci.

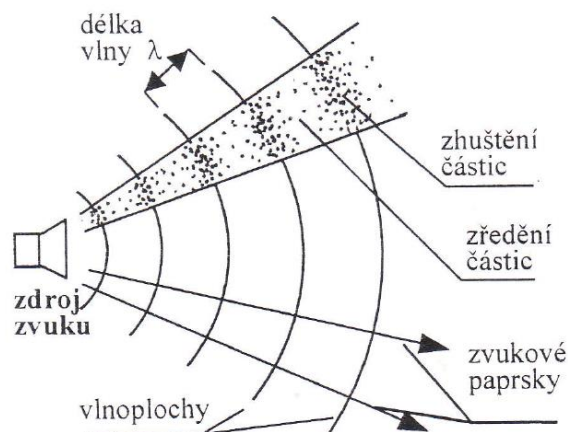
Hluk nelze přesně fyzikálně popsat, obecně se jedná o nežádoucí rušivý zvuk, který je subjektivně vnímán člověkem. Zvukový vjem je ovlivněn stářím a kondicí sluchového aparátu, ale také psychickým rozpoložením a osobními preferencemi. Proto konkrétní zvuk může negativně působit na danou osobu a považuje ho za hluk, ale na jiného jedince nemá nepříjemné účinky. Vypovídajícími hodnotami pro popis hluku je hladina intenzity zvuku, která je charakterizována jednotkou decibel, a výška tónu určená frekvencí zvuku. [23] [24]

1.1. Zvuk

Podle autora Richarda Nového *podstatou slyšitelného zvuku je mechanické kmitání pružného prostředí ve frekvenčním rozsahu 20 až 20 000 kmitů za sekundu, které se šíří konečnou rychlostí určitým prostředím.* [24] Kromě frekvenčního rozsahu odpovídajícímu slyšitelnému zvuku existují i pásma infrazvuku a ultrazvuku. Mechanické kmitání dosahující frekvencí nižší, než je slyšitelné pásmo, tedy 20 Hz, se nazývá infrazvuk. Naopak kmitání přesahující hodnot 20 000 Hz se řadí do pásma ultrazvuku. [25]

Zvuk se v prostoru šíří pomocí akustického vlnění směrem od zdroje hluku pomocí vlnoploch, které jsou kolmé na zvukové paprsky. Vlnová plocha je tvořena kmitajícími částicemi kolem své rovnovážné polohy se stejnou fází. Během postupu akustické vlny dochází k zahuštění částic. Akustické vlnění od zdroje hluku je zobrazeno na obrázku 1. [26]

Vlnění je rozděleno podle směru kmitání částic na podélné a příčné, přičemž u plynného a kapalného prostředí se vyskytuje pouze podélné vlnění. U tuhých materiálů dochází ke kombinaci podélného i příčného vlnění. [26]



Obrázek 1: Akustické vlnění. [26]

1.2. Základní akustické veličiny

Vlnová délka

Vlnová délka λ [m] je vzdálenost dvou po sobě časově následujících např. maxim kmitů vlny i sledovaného vlnění. Obecně je to vzdálenost mezi nejbližšími vlnoplochami se stejnými akustickými stavy kmitajících částic. Lze ji také definovat jako vzdálenost, kterou urazí zvuková vlna za dobu jednoho kmitu, tedy periodu T . Vojtěch Mišun [26]

Vlnová délka λ je definována následujícím vztahem

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{1}{T} \quad (\text{m}), \quad (1)$$

kde je c (m/s) rychlost šíření vlnění,

f (Hz) frekvence vlnění,

T (s) perioda vlnění.

Vlnová délka je tedy závislá na rychlosti šíření a frekvenci vlnění. Při šíření akustické vlny vzduchem je vlnová délka pro frekvenci 100 Hz rovna 3,4 m a s rostoucí frekvencí klesá. [24]

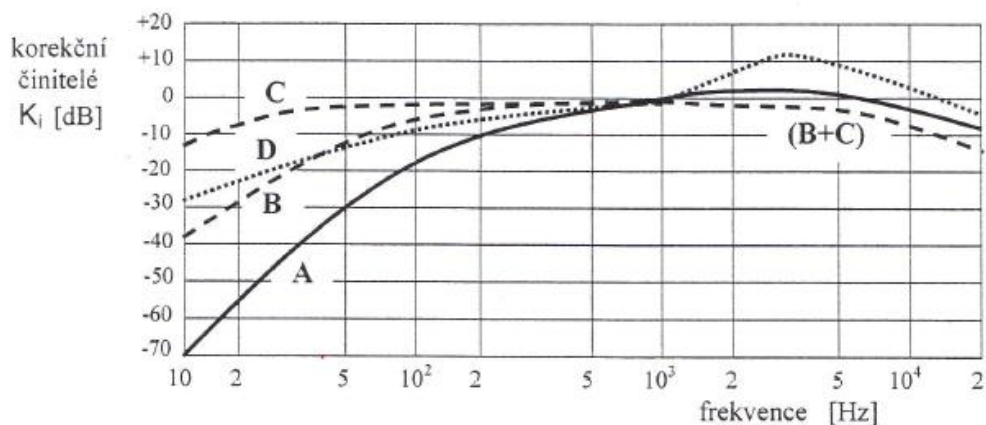
Vlnová délka je základním parametrem při návrhu protihlukové stěny. Daný předmět je považován za hluk stínící překážku pouze tehdy, když jeho nejmenší rozměr h , výška, je větší než vlnová délka λ . Vlnová délka akustických vln o nízkém kmitočtu může přesahovat i několik metrů, tedy tlumení nízko frekvenčního hluku je velmi obtížné a nákladné. [27]

Frekvence

Frekvence f (Hz) neboli kmitočet udává počet kmitů, které částice vykoná za sekundu. Mezi frekvencí f a periodou T platí následující vztah

$$f = \frac{1}{T} \quad (\text{Hz}). \quad (2)$$

Lidský sluchový aparát vnímá rozdílné frekvence zvuku s odlišnou citlivostí. Při řešení hlukové problematiky je většinou stěžejní dopad na člověka, proto je nutné akustický signál přiblížit vlastnostem lidského sluchu. Pro korekci hlasitostí se využívají váhové filtry A, B, C, D. Při použití filtru dochází k útlumu nízkých hladin akustického tlaku, viz obrázek 2. Největší citlivost lidského ucha se udává 1000 Hz, proto na této frekvenci je korekce nulová. V této práci se pracuje pouze s filtrem A, který je vyznačen písmenem A v použitých akustických veličinách. [24] [26]

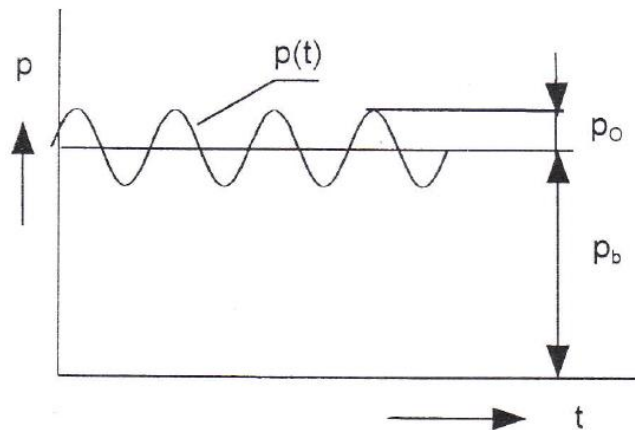


Obrázek 2: Korekce váhovými filtry. [26]

Akustický tlak

Zhušťování a zředování kmitajících částic prostředí odpovídá zvýšení či snížení tlaku v plynech a kapalinách. To znamená, že celkový tlak v daném prostředí se při šíření vlnění mění, tedy kolísá okolo původního statického nebo barometrického tlaku v ovzduší. Vojtěch Mišun [26]

Celkový statický tlak je součet středního barometrického tlaku p_b neboli atmosférického tlaku, a akustického tlaku p . Tedy akustický tlak p je následně definován jako odchylka od tlaku statického. Toto tvrzení je zobrazeno pomocí obrázku 3.



Obrázek 3: Průběh akustického tlaku. [26]

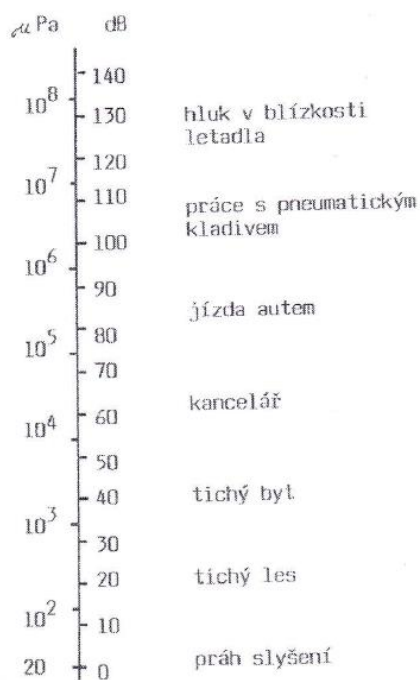
Lidský sluchový aparát je velmi citlivý na změnu tlaku vzduchu, je schopen zaznamenat změnu akustického tlaku o velikosti $2 \cdot 10^{-5}$ Pa. Nachází-li se tato změna tlaku ve slyšitelném pásmu, vytváří zvukový vjem. Na druhou stranu je zdravé lidské ucho schopno snášet i akustický tlak dosahující hodnot 120 Pa, tedy hodnotu $1 \cdot 10^6$ větší. Z toho důvodu byla odvozena logaritmická stupnice **hladina akustického tlaku L_p** (dB). Jako referenční hodnota této stupnice byla zvolena mezní hodnota slyšitelnosti $2 \cdot 10^{-5}$ Pa, která odpovídá hodnotě 0 dB. [24] [26]

Hladina akustického tlaku L_p (dB) je definována následujícím vztahem

$$L_p = 20^x \log \frac{p}{p_0} \quad (\text{dB}), \quad (3)$$

kde je p_0 (Pa) referenční hodnota akustického tlaku,
 p (Pa) sledovaný akustický tlak.

Ze stupnice, která je zobrazena na obrázku 4, vyplývá, že při deseti násobnému zvýšení tlaku se zvýší hladina akustického tlaku o 20 dB. [26]



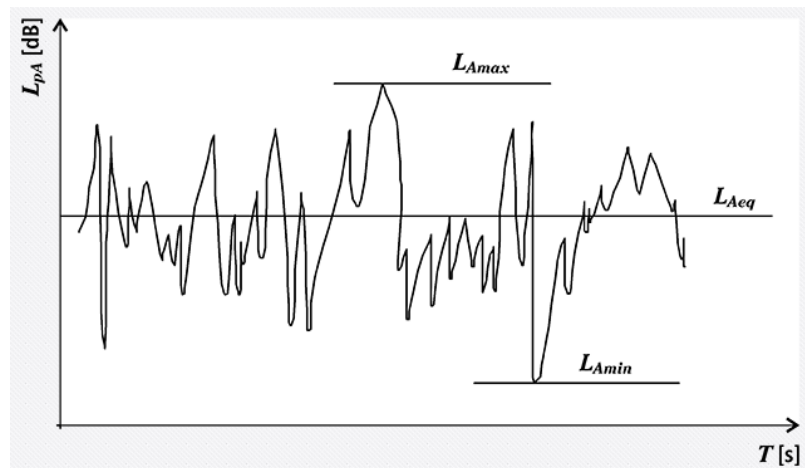
Obrázek 4: Hladiny akustického tlaku. [26]

1.3. Dělení hluku

Při řešení hlukové problematiky lze hlukovou expozici charakterizovat do dvou základních skupin. První skupina se nazývá ustálený hluk, za ustálený hluk se považuje hluková expozice, jejíž hladina akustického tlaku v daném časovém intervalu se nemění o více než 5 dB. Opakem ustáleného hluku je hluk proměnný, kde hladina naopak ve sledovaném intervalu kolísá o více než 5 dB. [26]

Při kolísání hladiny hluku v časovém intervalu nelze hlukovou situaci charakterizovat hladinou akustického tlaku L_A , z toho důvodu byla vytvořena ekvivalentní hladina akustického tlaku A , $L_{Aeq,T}$ (dB). Je to fiktivní ustálená hladina akustického tlaku A , která má stejné účinky na člověka během sledovaného časového úseku T , jako proměnlivá hladina akustického tlaku A za stejný čas. Richard Nový

Dalšími veličinami, které jsou sledovány při vyhodnocování hlukové situace ze zvukového záznamu, jsou maximální a minimální hladiny akustického tlaku A , L_{Amax} , resp. L_{Amin} . Pro lepší představivost jsou tyto veličiny vyznačeny na následujícím obrázku 5. [26]



Obrázek 5: Časový průběh hladiny akustické tlaku A. [28]

U kolejové dopravy jsou stěžejním prvkem pro hodnocení akustické situace jednotlivé průjezdy. Pro hodnocení těchto průjezdů se využívá **hladina expozice zvuku A**, L_{AE} , která vyjadřuje celkovou energii průjezdu vztaženou k časovému intervalu 1 sekunda. [29]

1.4. Šíření zvuku v prostředí

Pro popsání šíření zvukové vlny v prostoru je nutné charakterizovat typ zdroje hluku a s tím související druh vlnoploch, kterými se propaguje zvuk. V běžné praxi se zdroj zvuku dělí do tří skupin: bodový, líniový a plošný zdroj.

Bodový zdroj

Za bodový zdroj zvuku se uvažuje zdroj, kde vlnová délka akustického vlnění výrazně převažuje nad rozměry zdroje zvuku. *Pro praktické úvahy je důležitá i vzdálenost mezi zdrojem a místem příjmu zvuku. Je-li tato vzdálenost větší než 1,5násobek největšího rozměru zdroje zvuku, lze přibližně tento zdroj již považovat za bodový.* Doc. Ing. Jan Kaňka, Ph.D. [30] Jako konkrétní případ lze uvést letadlo nebo průjezd automobilu, tramvaje, případně lokomotivy. Stěžejní charakteristikou bodového zdroje je šíření zvuku pomocí kulových vlnoploch. [28] [30]

Líniový zdroj

U líniového neboli přímkového zdroje zvuku výrazně převládá jeden rozměr, což má za následek změnu typu vlnoploch. Zvuk už se nešíří v kulových vlnoplochách jako u bodového zdroje, ale ve válcových plochách. Za líniový zdroj lze uvažovat průjezd dlouhého vlaku nebo souvislý provoz na pozemní komunikaci. [28] [30]

Plošný zdroj

Speciálním typem zdroje zvuku v problematice dopravního hluku je tzv. plošný zdroj, u kterého se zvuk šíří v rovinných vlnoplochách. V praxi si lze takový zdroj představit jako nádraží nebo velké křížení pozemních komunikací. [28] [30]

V ideálním prostředí nedochází při šíření zvuku ke ztrátám a přeměnám energie, energie je konzervována a rozprostřena do plochy. Při emisi zvuku od zdroje dochází k šíření vlnoploch do prostoru, během kterých se zvětšuje plocha vln a dochází ke snížení akustického výkonu. Podle předchozích tvrzení, by mělo docházet k největšímu útlumu výkonu u bodového zdroje, kdy se zvuk šíří pomocí kulových vlnoploch do prostoru. V praxi není zvuk rovnoměrně vyzařován do všech směrů, z toho důvodu byl vytvořen činitel směrovosti. *Činitel směrovosti Q [-] je bezrozměrné číslo, které charakterizuje směrové vyzařování zvuku zdrojem. Hodnota činitele směrovosti je ovlivněna odraznými plochami vyskytujícími se v blízkosti zdroje zvuku a souvisí s tím, do jak velké části prostoru je zvuk vyzařován. Nejčastěji je zdroj zvuku umístěn na odrazné ploše (terénu). Pak je zvuk vyzařován do poloprostoru a činitel směrovosti se přibližně rovná 2. Obdobně, je-li zdroj umístěn u paty rozměrného stavebního objektu, pak je zvuk vyzařován do 1/4 prostoru a $Q = 4$ atd. Jestliže se zvuk šíří od zdroje neomezeně do všech směrů, potom $Q = 1$. Doc. Ing. Jan Kaňka, Ph.D. [30]* Po využití známých matematických vztahů se lze dopracovat do následujícího tvaru

$$L_p = L_w + 10 \times \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} \right) \quad (4)$$

- kde je L_p hladina akustického tlaku,
 L_w hladina akustického výkonu,
 r vzdálenost od zdroje,
 Q činitel směrovosti.

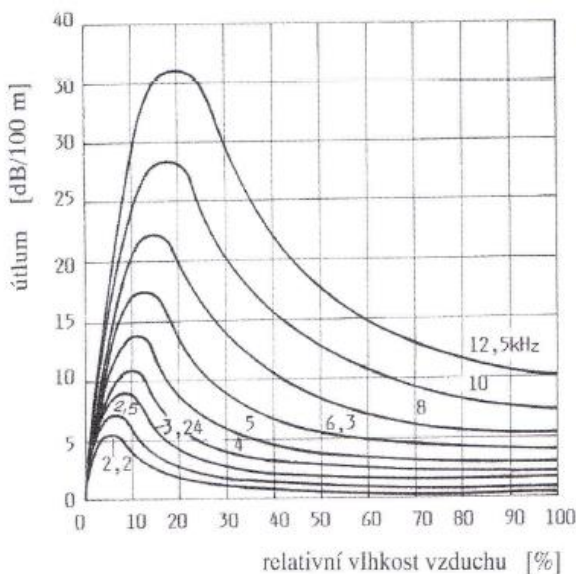
Po následujícím dosazení a úpravách vychází, že při zdvojnásobení vzdálenosti od bodového zdroje dochází k poklesu hladiny akustického tlaku o 6 dB. U liniového zdroje zvuku dochází při zdvojnásobení vzdálenosti od zdroje k poklesu hladiny akustického tlaku o 3 dB. U plošného zdroje nedochází k poklesu tlaku vlivem zdvojnásobení vzdálenosti v blízkosti zdroje, později ve větších vzdálenostech dojde k poklesu přibližně o 1 dB. [24] [27] [31]

V předchozí části této podkapitoly bylo popsáno šíření zvuku v ideálním prostředí, kde nedochází k úbytku akustické energie, pouze k jejímu rozprostření do prostoru. Nyní bude část kapitoly věnována reálnému prostředí, ve kterém dochází k určitým ztrátám a přeměnám akustické energie.

Atmosférická absorpce

Prvním případem útlumu akustické energie je atmosférická absorpce. Při šíření vlny na vzdálenost stovky metrů dochází k přeměně akustické energie vlivem molekulární absorpce.

Atmosférická absorpce je závislá na celkem čtyřech proměnných veličinách: frekvence zvuku, vlhkost, tlak a teplota. Na následujícím obrázku 6 jsou uvedeny hodnoty útlumu pro jednotlivé frekvence zvuku a vlhkosti při teplotě vzduchu 20 °C. Z grafu je zřejmé, že pro určité frekvence a stav atmosféry může být útlum razantní, avšak měření v praxi probíhá za určitých podmínek, za kterých nedochází k podobným útlumům. Proto se při hodnocení hlukové situace tento útlum zanedbává. [24] [30]

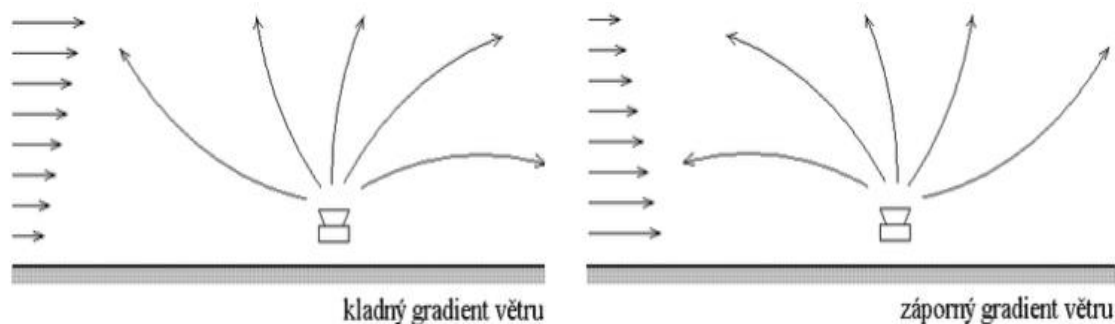


Obrázek 6: Útlum zvuku vlivem atmosférické absorpce. [24]

Útlum vlivem větru

Vliv větru popisuje pan *Doc. Ing. Jan Kaňka, Ph.D.* ve své publikaci [30]. *Samotný vítr, tj. skutečnost, že vzduchová hmota se pohybuje, nemá na šíření zvuku vliv, protože rychlost větru je vždy řádově nižší oproti rychlosti zvuku. Šíření zvuku však může být ovlivněno gradientem rychlosti větru, tj. změnou rychlosti v závislosti na výšce nad terénem. Při kladném gradientu, tj. je-li rychlost*

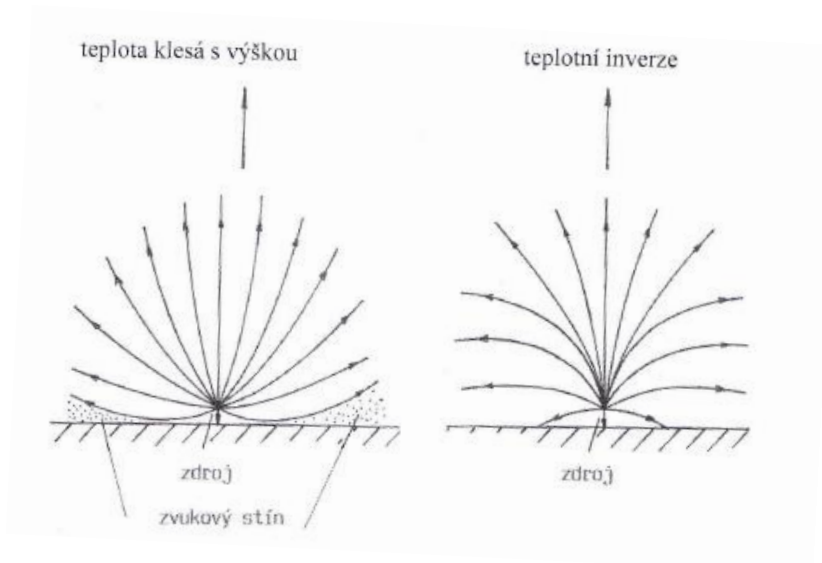
ve vyšších vrstvách atmosféry vyšší, se ve směru proti větru zvukové vlny ohýbají od zemského povrchu tak, že nízko nad terénem vzniká akustický stín. Ve směru po větru se zvukové vlny ohýbají naopak k zemskému povrchu, což může být příčinou zesílení přenosu zvuku. Při záporném gradientu rychlosti větru je tomu naopak. Kolmo na směr větru se útlum ani zesílení přenosu zvuku neprojevují. Toto tvrzení je znázorněno na následujícím obrázku 7.



Obrázek 7: Útlum zvuku vlivem gradientu větru. [30]

Útlum vlivem gradientu teploty

Podobný stav nastává i vlivem teplotního gradientu. S rostoucí teplotou vzduchu roste i rychlost zvuku. Při normálním teplotním gradientu teplota klesá s výškou, to má za následek odklánění paprsků od zemského povrchu a může vznikat zvukový stín viz obrázek 8. Při teplotní inverzi je studený vzduch pod teplým a dochází k nárůstu teploty s výškou, to má za následek ohýbání zvukových paprsků k zemi. [24] [30]



Obrázek 8: Útlum vlivem teplotního gradientu. [24]

Tímto byla ukončena část úvodu do problematiky hluku, kde byly uvedeny základní akustické veličiny a popsáno šíření zvuku v prostředí. V následující části je prostor věnován vegetaci, jakož to stěžejnímu prvku práce, a její základní funkce v krajině.

2. VEGETACE A JEJÍ FUNKCE V KRAJINĚ

Rostliny jsou esenciálním prvkem pro život na Zemi, jejich základní funkcí je udržování atmosféry ve stavu pro dýchání živých organismů. Dále tvoří nepostradatelný díl potravního řetězce, kde slouží jako potrava pro řadu živočichů včetně člověka. Kromě toho slouží jako výrobní a stavební materiál, palivo, ale hlavně má i zásadní vliv na stav a funkci krajiny nebo mikroklíma. V následujících odstavcích budou uvedeny tyto základní funkce a procesy ve vztahu k přírodě a člověku.

V zelených rostlinách, konkrétně v chloroplastech probíhá biochemický proces – fotosyntéza, který je základem pro život na Zemi. Ve světelné fázi rostlina za přístupu světla a vody přemění oxid uhličitý na jednoduchý cukr – glukóza a jako vedlejší produkt se uvolní kyslík do atmosféry, který je využíván živočichy pro dýchání. Druhá fáze se nazývá temnostní, kde bez přístupu světla je využívána energie získána ve světelné fázi a dochází k zabudování CO₂ do molekul cukrů. [32]

V krajině má vegetace vliv na odtokový režim. Rostliny jsou schopny na svém povrchu zachytit velkou část srážky a díky kořenům zvyšuje propustnost území, vegetace tedy zadržuje vodu a snižuje povrchový odtok. S povrchovým odtokem přímo souvisí i vodní eroze půdy.

Eroze půdy je přirozený proces, při kterém dochází obměně půdy novými částicemi. Především vlivem lidské činnosti nastává tzv. zrychlená eroze. Při zrychlené erozi dochází ke smyvu půdních částic v krátkém časovém horizontu a nedochází k náhradě půdotvornými procesy, které trvají delší dobu. Hlavním důvodem zrychlené eroze je intenzifikace zemědělství, při které docházelo ke spojení orné půdy do velkých celků a s tím spojené odlesňování. Vodní erozi je postiženo až 40% orné půdy na území ČR, větrná eroze poškozují přibližně 10% orné půdy. To má za následek ztráty až 21 milionů tun ornice za rok. Eroze by mohla být snížena mimo jiné využitím vegetace ve formě větrolamů a technických opatření pro snížení vodní eroze. [33] [34]

Globální oteplování je aktuální problém, se kterým se musí lidstvo potýkat. S oteplováním je úzce spjat pojem městský tepelný ostrov, který je charakteristický vyšší teplotou než její okolí. Příčinnou vzniku tepelného ostrova

je velké množství zastavěné plochy, která akumuluje a později vyzařuje sluneční záření, a zároveň malý podíl zeleně, která má schopnost příznivě regulovat mikroklima. Zeleň reguluje teplotu ve městech zejména dvěma způsoby. První je stínění zastavěných ploch, na které poté nedopadá sluneční záření. Druhým způsobem je proces evapotranspirace, při kterém je absorbované záření vázáno do vodní páry, která následně chladí své okolí. [5] [6]

3. VEGETACE V PROTIHLUKOVÝCH OPATŘENÍCH

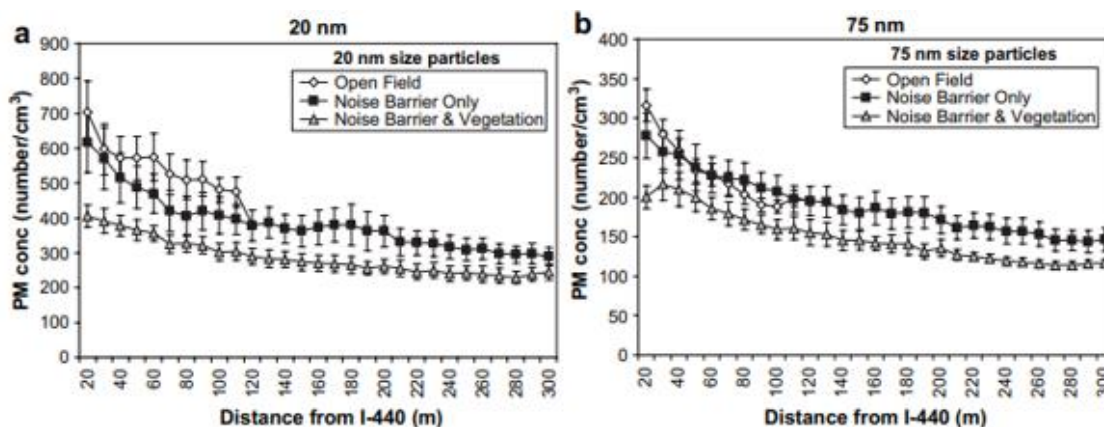
Tato kapitola je věnována možnostmi využití vegetace k ochraně proti dopravnímu hluku a s tím spojeným znečištění ovzduší. Budou popsány základní mechanismy útlumu hluku vlivem vegetace, výhody, nevýhody a omezení použití vegetace v protihlukových opatřeních.

3.1. Snížení koncentrace suspendovaných částic

Jedním ze základních vypovídajících parametrů znečištění ovzduší jsou rozptýlené prachové částice PM₁₀. Tyto částice jsou zachyceny pomocí vegetace dvěma způsoby. Prvním mechanismem je zachytávání přímo na listech. Menší částice polutantů se infiltrují přímo do listů, větší částice se zachytávají na listech a následně se mohou dostat do průduchů v listech. Depozice je závislá zejména na velikosti částic, větší se usazují snáz než malé, které jsou transportovány na větší vzdálenosti. Druhým principem je snížení rychlosti proudění vzduchu, tedy vegetace zastává funkci větrolamu. Nižší rychlost vzduchu má za následek nižší vzdálenost depozice, zároveň snížená rychlost proudění usnadňuje zachytávání přímo na listech vegetace. Na depozici má vliv skladba, rychlost větru, šířka a výška vegetačního pásu. [7]

Ve studii *Impacts of noise barriers on near-road air quality* [8] je porovnán vliv protihlukové stěny a přilehlé vegetace na snížení koncentrace suspendovaných částic, resp. vzdálenost dopadu částic ze silniční dopravy. Studie je věnována pouze znečištění ovzduší, hlukové problematice zde není věnován prostor. Jako referenční místo byla vybrána dálnice v americkém státu Severní Karolína s intenzitou dopravy 125 000 aut za den. Měření bylo provedeno na třech místech ve vzdálenostech 20, 50, 100 a 300 m od komunikace, za protihlukovou stěnou, která byla vysoká 6 m ve vzdálenosti 5 m od komunikace. Dále na volném poli bez účinku stěny a za stěnou se zelení ve stejných vzdálenostech. Studie uvádí, že za určitých povětrnostních podmínek vlivem proudění vzduchu okolo protihlukové stěny může být koncentrace prachových částic i vzdálenost dopadu částic vyšší než u případu bez protihlukové stěny. Hlavní výsledky práce jsou uvedeny na následujícím obrázku 9, kde jsou naměřené hodnoty koncentrace prachových částic o velikosti 20, resp. 70 nm v určitých vzdálenostech od komunikace. Z grafů je zřejmé, že k největšímu snížení koncentrace došlo u

stěny s vegetací. Protihluková stěna má malý vliv na změnu koncentrace, a to pouze v kratších vzdálenostech od komunikace, od vzdálenosti 100 m nemá stěna žádný vliv na koncentraci suspendovaných částic o velikostech 20 a 75 nm. [8]

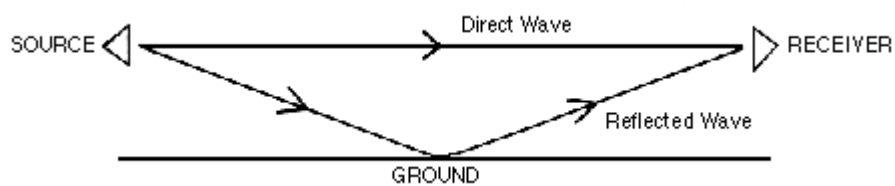


Obrázek 9: Graf koncentrace PM 20 (75) nm v závislosti na vzdálenosti. [8]

3.2. Vliv vegetace na hlučnost

Využití vegetace k útlumu hluku je předmětem mnoha vědeckých prací, kdy začátky se datují k roku 1946. Publikace pojednávají o tom, jakým způsobem dochází k útlumu hluku, který je klíčový pro návrh vhodného protihlukového opatření.

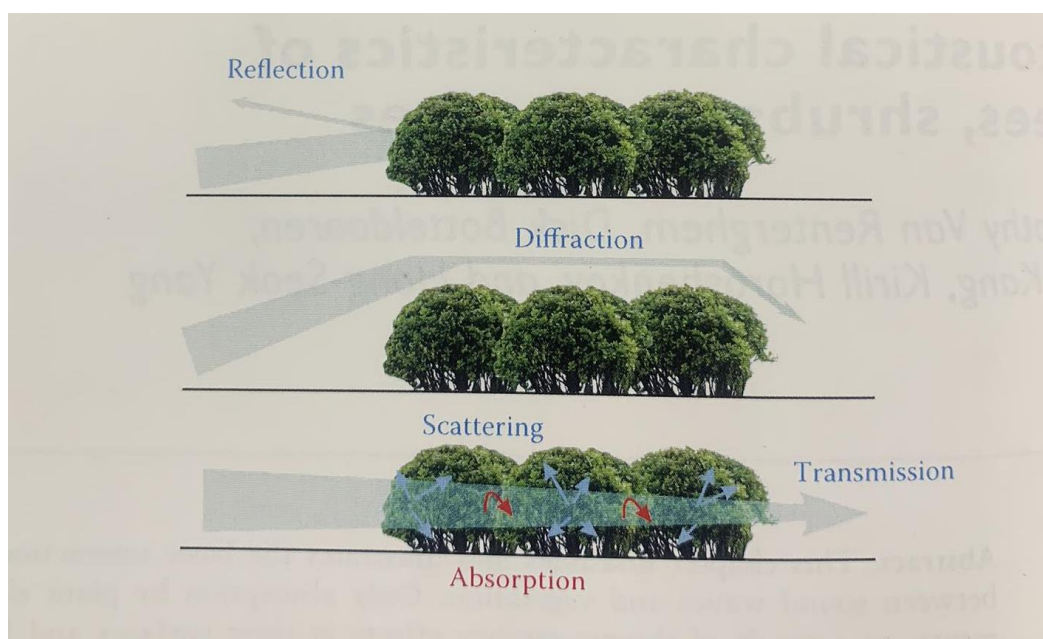
V kapitole 1.4 bylo popsáno chování akustické vlny vlivem gradientu větru. Při kladném gradientu dochází k ohybu zvukového paprsku směrem k povrchu. U zpevněných, málo porézních půd může docházet k odrazu akustické vlny. Naopak měkká, více pórovitá půda má větší tendenci akustické vlnění pohlcovat. Tento jev se nazývá tzv. „ground effect“. Akustické chování zemin přímo ovlivňují dvě základní vlastnosti, již zmíněná pórovitost a vlhkost půdy. Vlhkost zeminy způsobuje vyplnění pórů vodou a tím snížení pórovitosti. Z toho důvodu vlhké půdy mají nižší tendenci k útlumu hluku. Na akustický útlum zvuku má samozřejmě velký vliv i vegetační kryt zeminy, mechanismy útlumu vlivem vegetace budou popsány dále v kapitole. Kromě vlastnosti půdy má vliv na odraz, resp. útlum i frekvence zvuku. Nízko frekvenční hluk s velkou vlnovou délkou má tendenci k odrazu od povrchu země. Tento případ je vyobrazen na obrázku 10, kde dochází k navýšení akustického tlaku vlivem odrazu. Naopak střední a vyšší frekvence mají tendenci k útlumu. [9] [11] [35]



Obrázek 10: Schéma ground effectu. [10]

Vegetace je heterogenní prostředí, které se skládá z kmenů stromů, stonků rostlin, větví, listů, ale i také vzduchu. Z toho důvodu existuje několik mechanismů, pomocí kterých dochází ke zlepšení hlukové situace vlivem vegetace. Obecně se rozlišují do dvou skupin, na přímý a nepřímý akustický efekt. [35]

Mezi mechanismy, které přímo ovlivňují šíření akustické vlny, patří odraz, difrakce, rozptyl a absorpce vlivem výše uvedených prvků vegetace. Tyto případy přímého útlumu jsou ilustrovány na obrázku 11.



Obrázek 11: Útlum vlivem vegetace. [36]

Absorpce

K absorpci hluku dochází vlivem listů dvěma způsoby. K prvnímu způsobu útlumu dochází pomocí tzv. “thermo-viscous“ efektu na rozhraní listu s okolním vzduchem. U druhého způsobu vlivem postupu akustické vlny dochází k rozpořívání listu, část energie vlny bude následně ztracena z důvodu napojení listu na mnohem tužší větvíčky, případně kmen. V tomto případě

dochází ke ztrátě energie vlivem její přeměny na teplo. Tento útlum je závislý na hustotě listů, ale i na úhlu natočení listu vzhledem ke zvukové vlně. Z toho důvodu může u určitých rostlinných druhů docházet k velmi malému útlumu a u některých druhů radikálně většímu. Existuje i závislost útlumu na frekvenci zvuku, u nízkofrekvenčního hluku, přibližně do 2000 Hz dochází k velmi malé redukci hluku. [35]

Odraz

K odrazu akustické vlny dochází při střetu s akusticky tvrdým povrchem. Při šíření zvuku vegetačním pásem dochází k odrazu vlnění mimo měřicí místo zejména vlivem kmenů a větví rostlin. Odraz zvuku je úměrný hustotě skladby vegetace. [35]

Difrakce

Jestliže akustická vlna narazí na překážku délky b , která je rozměrově malá oproti délce příslušné akustické vlny, tato vlna pokračuje přes překážku, jako by vůbec nebyla a tvoří se pouze malý akustický stín za překážkou. Tento akustický stín se zvětšuje a prodlužuje při zvyšující se frekvenci. Vojtěch Mišun [26].

Ohyb zvuku nastává u hran pevných objektů, u vegetačního pásu je akustická energie přenesená ohybem zanedbatelná, většina energie projde skrz vegetaci. [35]

Rozptyl

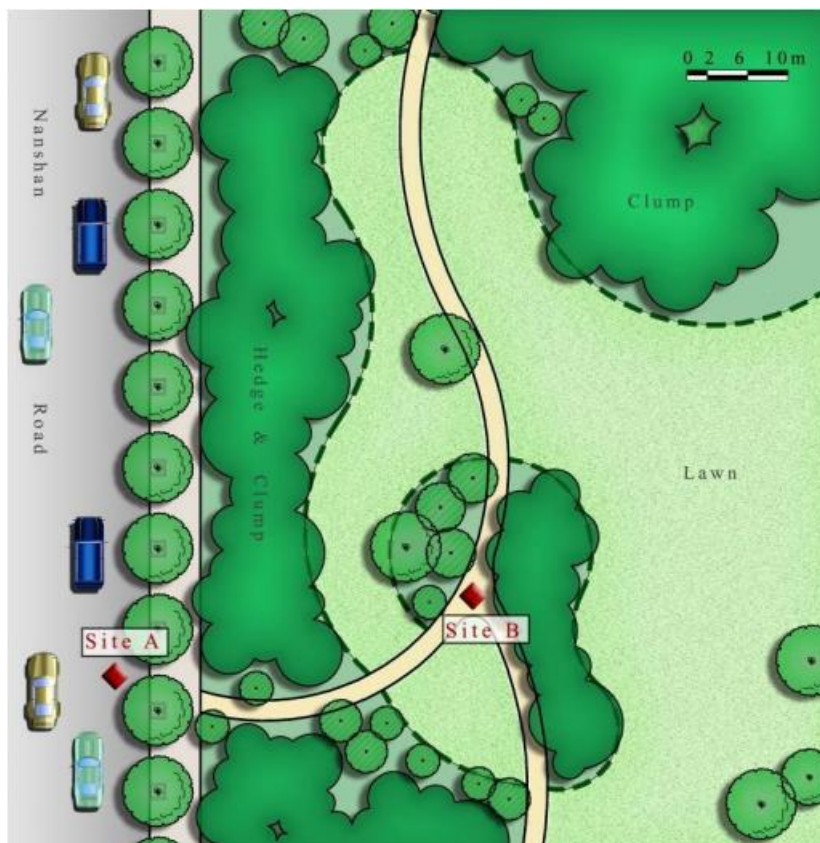
Rostliny jsou tvořeny kmenem nebo stonkem, větvemi a spoustou listů, to je mnoho prvků, pomocí kterých při kolizi akustické vlny dochází k narušení původní dráhy zvuku. Dochází k prodloužení cesty, kterou vlnění musí urazit a k rozložení akustické energie do větší plochy. Hlavním parametrem pro rozptyl je velikost jednotlivých vegetačních složek, která by měla odpovídat velikosti vlnové délky zvuku. To má za následek, že u frekvence zvuku nižší než 2000 Hz je rozptyl velmi malý. [35]

Nepřímo na šíření zvuku můžou rostliny působit vytvořením v korunovém patře speciálního mikroklima. [35]

Kromě fyzického útlumu ovlivňuje vnímání zvuku i tzv. psychologický útlum. Hluk je abstraktní veličina s individuálním vnímáním. Každý člověk má odlišný sluchový vjem, který je ovlivněn nejen sluchovým aparátem, ale i psychickým

stavem člověka. Vegetace může zakrývat zdroj hluku a vytvářet příjemné prostředí, které v člověku vyvolá příjemnější zvukový vjem. [13] [14]

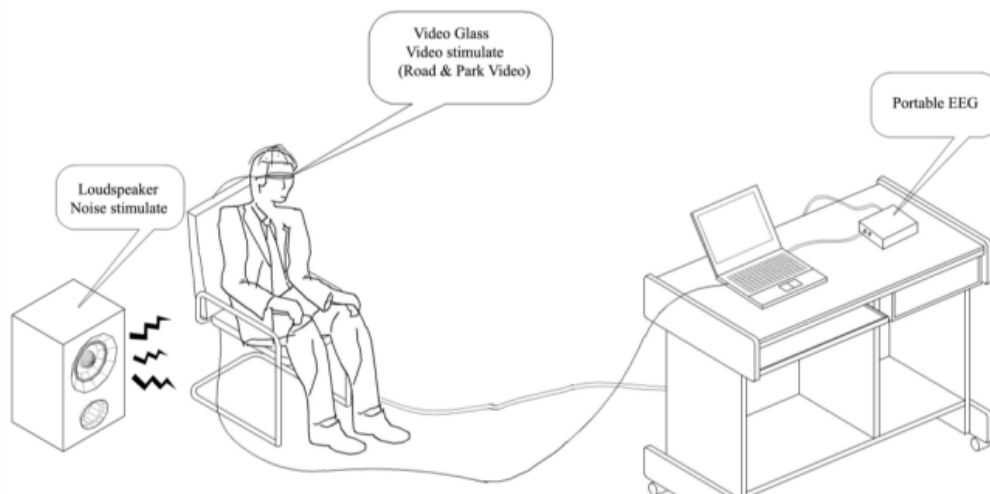
Tato problematika je probírána a otestována ve studii *An Assessment of Psychological Noise Reduction by Landscape Plants*. [13] Autoři si pro studii vybrali 40 respondentů, 20 mužů a 20 žen ve věku 21-25 let z čínské Zhejiang Forestry University. Cílem studie bylo na základě videozáznamu a záznamu zvuku odhadnout útlum dopravního hluku vlivem vegetace. Pro tento experiment byla vybrána pozemní komunikace s vytížením 800 vozidel za hodinu, kterou lemuje park. Videozáznam i zvukový záznam byly pořízeny na dvou místech, bez a s vlivem vegetace, viz obrázek 12. Zvukoměr na místě A snímal zvuk v bezprostřední vzdálenosti od komunikace. Naopak lokalita pro měření B byla zvolena přibližně 35 m od předchozí místa, s účinkem vegetace.



Obrázek 12: Vybraná měřicí místa [13]

Účastníkům byl posléze v laboratořích přehráván videozáznam vytvořený na zvolených místech, zároveň jim byl spuštěn zvukový záznam z reproduktoru. Pro navození autentické představy byl videozáznam prezentován respondentům

pomocí virtuální reality. Součástí výzkumu bylo i měření elektrické aktivity mozku pomocí přístroje EEG. Schéma výzkumu lze vidět na obrázku 13. [13]



Obrázek 13: Schéma výzkumu psychologického útlumu. [13]

V rámci studie byl respondentům položen dotazník, ve kterém mimo jiné byl určován zjevný útlum vlivem vegetace. Na výběr bylo pět možností, > 10 dB, 8–10 dB, 5–8 dB, 3–5 dB a < 3 dB. Ekvivalentní hladina akustického tlaku A v místě A byla 68,6 dB a v místě B 62,9 dB. Tedy rozdíl vlivem fyzikálních jevů včetně vegetace byl necelých 6 dB. Ve výsledku 30 % respondentů určilo útlum > 10 dB, 25 % vybralo 8-10 dB. Tedy 55 % účastníků výzkumu nadhodnotilo útlum vlivem vegetace. Správný interval útlumu vybralo 40 % studentů a zbylých 5 % vybralo interval 3–5 dB. [13]

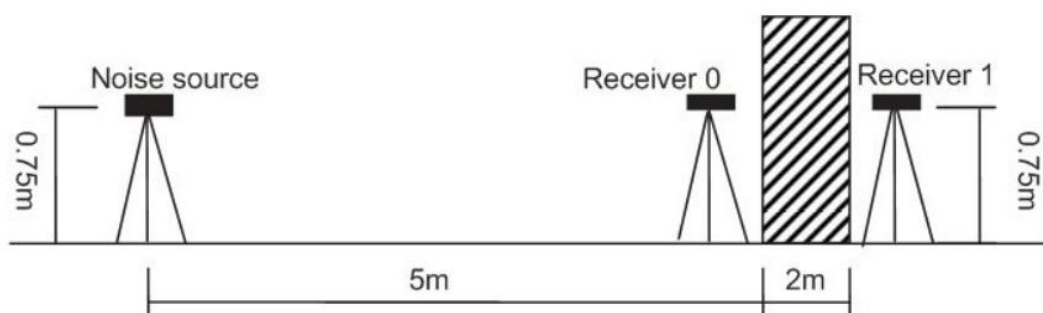
Výsledky EEG dosahovaly příznivějších hodnot u záznamu včetně vegetace, na základě toho lze předpokládat, že vegetace snižuje psychologický stres, který má vliv na zjevnou hlučnost. [13]

3.3. Vegetační pásy

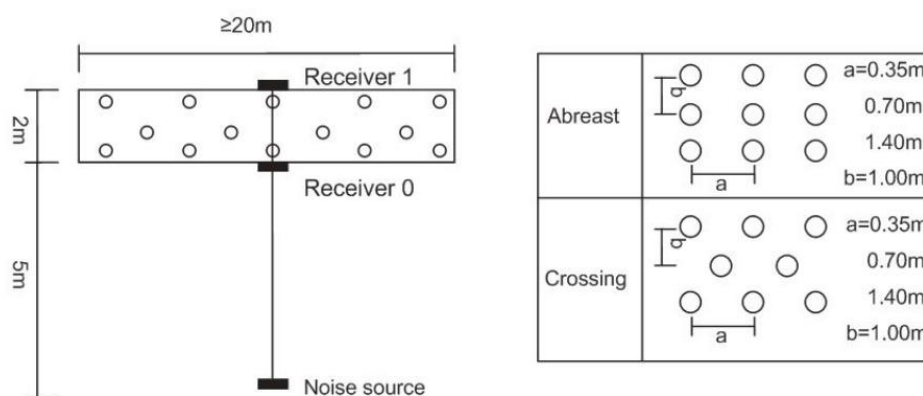
Jednou možností využití vegetace v protihlukových opatření jsou přímo vegetační pásy. Účinnost vegetace je viz předchozí kapitola individuální a variabilní v závislosti na místních podmínkách. Hlukovou situaci kromě dané vegetace ovlivňuje reliéf terénu, klimatické podmínky, ale i vlastnosti akustického vlnění. Existuje mnoho studií zabývajících se problematikou vegetačních pásů jako protihlukové opatření s rozdílnými výsledky v důsledku unikátních podmínek.

Nalezení, resp. vytvoření ideálního místa je velmi časově náročné, trvá několik desítek let, než daná vegetace doroste do patřičných rozměrů. Šířka, hustota biomasy, ale i patřičné schéma výsadby je následně neměnná. Velkou roli hraje i vhodná druhová skladba pro daný zdroj hluku.

Studie *The Investigation of Noise Attenuation by Plants and the Corresponding Noise-Reducing Spectrum* [15] testuje 6 stálezelených rostlinných druhů běžně používaných v intravilánu na území Číny. Konkrétně řeší útlum vlivem vegetace v třetinooktávovém spektru. Měření se provádělo 5 m od zdroje hluku, před a za vegetační clonou. Jako zdroj hluku byl použit reproduktor vysílající bílý šum. Schéma měření je zobrazeno na obrázku 14. Součástí experimentu bylo i testování vlivu uspořádání jednotlivých rostlin, byly kladeny vedle sebe nebo kříženě viz obrázek 15.



Obrázek 14: Schéma frekvenční analýzy rostlinných druhů. [15]



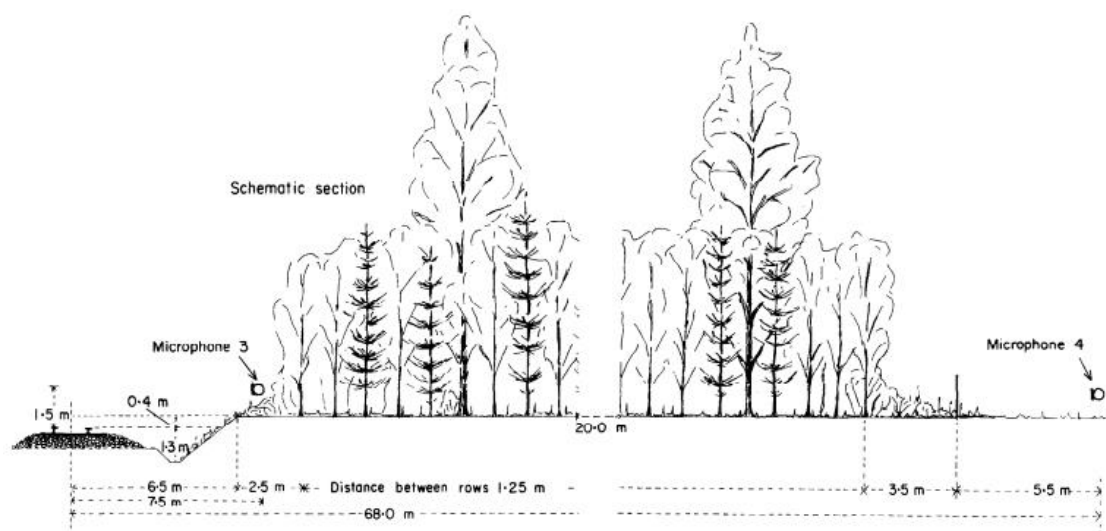
Obrázek 15: Schéma kladení jednotlivých rostlin. [15]

Z testovaných druhů ve frekvenčním rozsahu do 800 Hz dosahoval největší účinnosti cedr himálajský, který ale měl od této hodnoty prakticky nulovou účinnost. Naopak například kalina libovonná nebo oleandr obecný dosahují

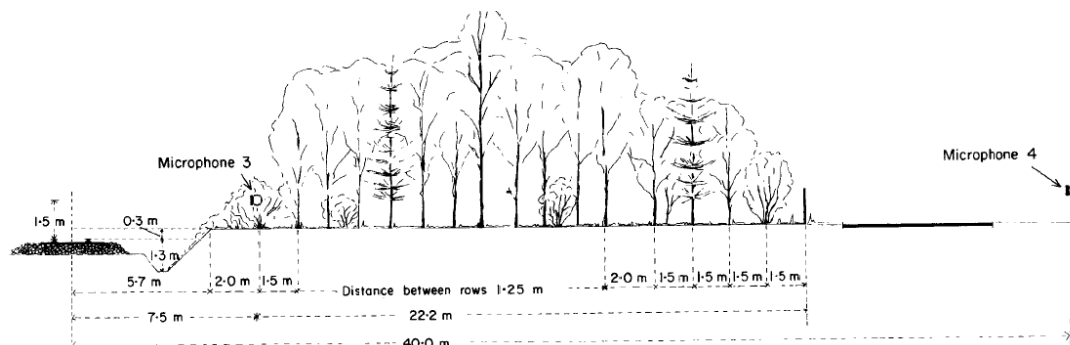
útlumu až od hodnoty 1600 Hz. Z výsledků studie plyne závěr, že největší efektivita útlumu nastává když, frekvenční spektrum útlumu vegetace se přibližuje k frekvenčnímu spektru zdroje hluku. Charakteristické dominantní frekvence jsou odlišné dle druhu dopravy, např. u kolejové dopravy je dominantní frekvence 2 kHz naopak u silniční převládá frekvence 5 kHz. Vhodné je kombinovat druhy vegetace a rozmístění rostlin do kříže má větší vliv na útlum než umístění vedle sebe. [15]

Praktické využití vegetačního pásu jako protihlukové opatření popisuje ve své studii z roku 1979 [16] J. Kragh. Měření probíhalo na dvou železničních tratích na území Dánska. Předmětem studie je určení rozdílu naměřených hodnot vlivem vegetace porovnáním naměřených hodnot 15 průjezdů vlaku zvukoměry umístěných ve stejné vzdálenosti od železniční trati na volné louce a za vegetací. Celkově byly vybrány dvě lokality pro měření. První lokalita obsahovala úsek železniční trati, který byl tvořen svařovanými kolejnicemi uložených na otevřeném štěrkovém loži s dřevěnými pražci. Těleso se nacházelo na 0,5 m vysokém náspu oproti přilehlému terénu, kde byl umístěn zvukoměr 1 ve vzdálenosti 7,5 m od osy trati a ve výšce 1,5 m nad temenem kolejnice. Druhý zvukoměr 2 byl umístěn ve stejné výšce v co největší možné vzdálenosti 55 m od osy trati. Druhé měřicí místo se nacházelo ve vzdálenosti 250 m od referenčního místa a těleso železniční trati se nacházelo v 0,5 m zářezu. Toto místo bylo vybráno kvůli 50 m širokému pásu vegetace. Pás byl tvořen 50letými jilmy a břízami s 15letými buky. Autor vegetaci označil jako hustou s plně vyvinutou listovou plochou. Zvukoměry byly umístěny ve dvou místech zároveň. Zvukoměr 3 měřil opět ve vzdálenosti 7,5 m od osy trati ve výšce 1,5 m na TK a zvukoměr 4 zaznamenával hluk s účinkem vegetace ve vzdálenosti 68 m. Schéma je zobrazeno na obrázku 16. Pro druhou sadu měření byl vybrán referenční úsek železniční trati v metrovém náspu k přilehlému posekanému poli. Na poli byl umístěn zvukoměr 1 ve vzdálenosti 7,5 m od osy koleje ve výšce 1,5 m nad TK. Současně probíhalo měření zvukoměrem 2 ve vzdálenosti 40 m od osy trati ve stejné výšce. Druhý úsek byl vybrán ve vzdálenosti 1100 m od referenčního úseku. Těleso železniční trati je v daném úseku v 0,5 m zářezu oproti okolí, kde se nachází vegetační pás. Vegetační skladba je složena z několika druhů, z mladých dubů a modřínů, dále 20letých dubů, habrů, topolů, jedlí a různých křovin. Měření probíhalo na dvou

místech zároveň s účinkem a bez účinku vegetace. Zvukoměr 3 byl umístěn ve vzdálenost 7,5 m od osy trati a ve výšce 1,5 m nad TK. Zvukoměr 4 zaznamenával zvuk zpoza vegetace ve vzdálenosti 40 m od osy trati ve výšce 1,5 m nad TK. Schéma měřicího místa druhé sady měření lze vidět na obrázku 17. [16]



Obrázek 16: Schéma měřicího místa 1. [16]

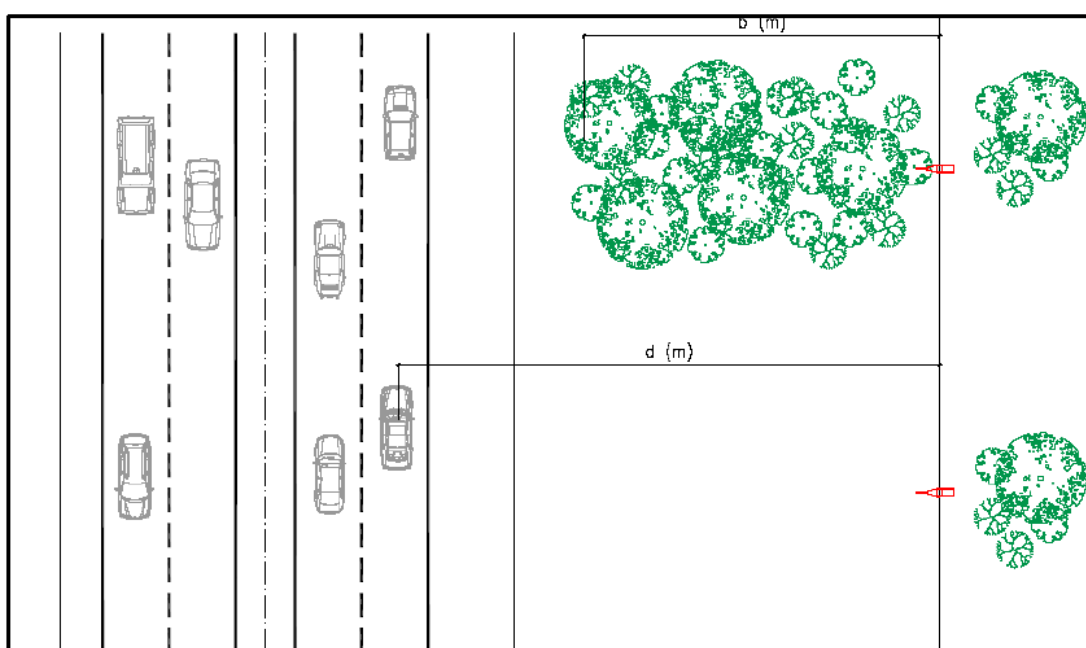


Obrázek 17: Schéma měřicího místa druhé sady měření. [16]

V první měřicí kampani byl na louce změřen útlum vlivem vzdálenosti 13,4 dB, útlum byl určen na základě rozdílu hodnot ze zvukoměru 1 a 2. Rozdíl hodnot naměřených zvukoměry 3 a 4 byl 22,4 dB, tento útlum ovlivnila vegetace. Z důvodu odlišných vzdáleností zvukoměrů, lze předpokládat, že výsledný rozdíl naměřených hodnot vlivem vegetace bude o něco nižší než 9 dB. U druhé měřicí kampaně byl útlum mimo vegetaci roven 12,4 dB a s účinkem vegetace byl 18,3 dB. Na základě toho lze odhadnout, že v tomto úseku byl hluk z kolejové dopravy snížen z důvodu vegetace o šířce 25 m o necelých 6 dB. Nutno ale zmínit, že

v obou případech byla na místech měření bez vegetace těleso železniční trati v náspu a na místě měření s vegetací bylo v zářezu. [16]

Obdobné problematice se na území České republiky věnoval v rámci disertační práce Ing. D. Polič. Charakter práce [17] je uveden v názvu „Vliv doprovodné zeleně na hlukovou situaci podél pozemní komunikace“. Vliv podélné vegetace na hluk ze silniční dopravy byl posouzen celkem na deseti lokalitách, které nesly obdobné charakteristiky. Jednalo se o místo s morfologicky shodnými profily, kde šlo provést měření s účinkem a bez účinku vegetace. Dále byl rozhodující zdroj hluku, neměnná intenzita dopravy se stejnou rychlostí a složením, stejným povrchem a sklonem vozovky. Situační schéma měřicího místa je zobrazeno na obrázku 18. [17]

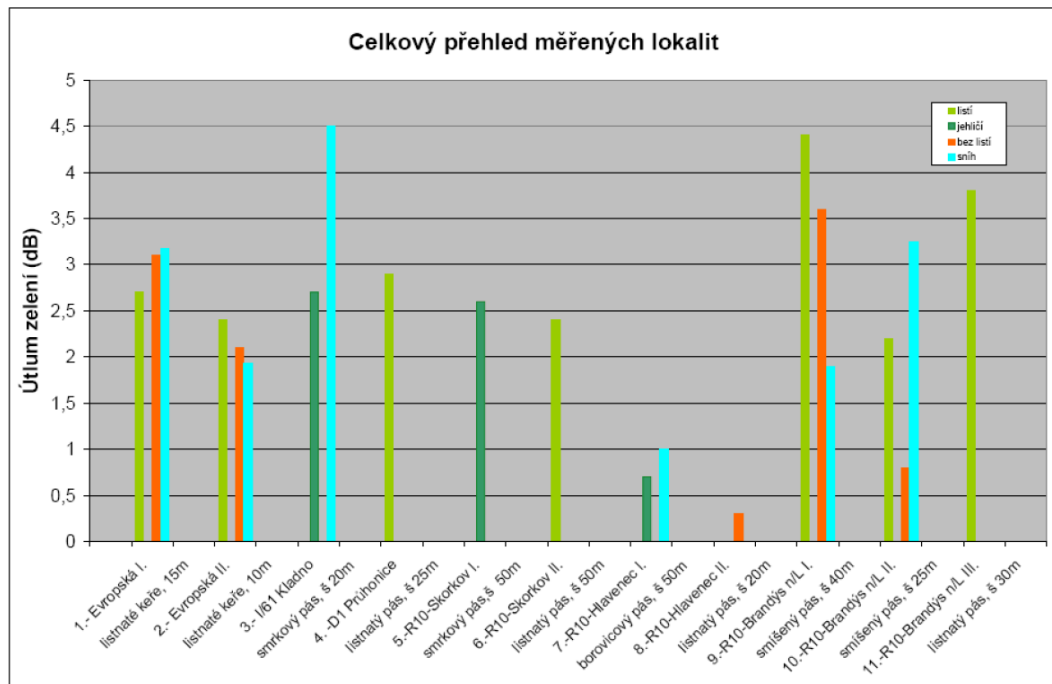


Obrázek 18: Situační schéma měřicího místa. [17]

Výsledky měření s popisem území lze vidět v následující tabulce 1. Útlum vlivem vegetace byl určen na základě rozdílu hladin akustického tlaku bez vlivu a s vlivem vegetace. Pro přehledné shrnutí je vytvořen graf útlumu, který je zobrazen na obrázku 19.

Tabulka 1: Výsledky měření s popisem lokalit [17]

Lokalita		Popis zeleně	šířka pásu (m)	Datum /čas	Útlum (dB)
1	Evropská I.	listnaté opadavé keře: šeřík, ptáčí zob, pámešník, keřové patro beze stromů, výška: 2,5-3,5 m, průměr kmenů do 30 mm, hustota: á 0,5 m, neprostupné, neprůhledné	15	6.1.2009	3,25
				3.1.2009	3,1
				15.12.2008	3,1
				6.10.2008	2,8
				23.4.2008	2,6
2	Evropská II.	listnaté opadavé keře: šeřík, ptáčí zob, pámešník, bez čemý keřové patro beze stromů, výška: 2,5-3,5 m, průměr kmenů do 30 mm, velmi husté, neprostupné, hustota: á 0,5 m	10	06.10.08	2,4
				15.12.08	2,1
				14.01.09	1,9
3	V61 Kladno	jehličnatý smrkový stejněvěká porost, stromové patro, kmeny zavěšené až k zemi výška: cca 10 m, průměr kmenů do 200 mm, hustota: á 1,5 m, neprůhledné	20	3.1.2009	2,7
				6.1.2009	4,5
4	D1 Průhonice	Listnatý les – Javor, jasan, břiza, šipek, vtroušeny borovice, smrk výška: cca 12 m, průměr kmenů do 150 mm, hustota: á 1,5 m, neprůhledné, prostupné	25	18.9.2008	2,9
5	R10 - Skorkov I.	Jehličnatý les - smrková stejněvěká monokultura, výška: cca 25 m, průměr kmenů do 300 mm, hustota: á 5,0 m, jen stromové patro, průhledné, prostupné	50	12.10.2008	2,6
6	R10 - Skorkov II.	listnatý porost: dub, buk, liska, břiza, ostružiní, výška: 4,5 - 5,0 m, průměr kmenů do 100 mm, hustota: á 1,0 m, nižší stromové a bylinné patro, neprůhledné, prostupné	50	12.10.2008	2,4
7	R10 - Hlaveneč I.	Jehličnatý les - borovicová stejněvěká monokultura, výška: cca 20 m, průměr kmenů do 150 mm, hustota: á 1,0 resp. 1,5 m, řady stromové patro, spadané větve průhledné, prostupné	50	4.10.2008	0,7
				16.1.2009	1,0
8	R10 - Hlaveneč II.	stejněvěká tyčovina - dub letní, dub červený, výška: do 4,5 m, průměr kmenů do 50 mm, hustota: á 0,5 m, nižší stromové patro, průhledné, ztěží prostupné	20	7.10.2008	0,3
9	R10 - Brandýs n/L I.	smíšený porost borovice, dub, břiza, javor, osika, lipa, jeřáb, krušina, trnka, výška: do 15 m, průměr kmenů do 200 mm, hustota: á 2,5 m, stromové patro, průhledné, prostupné	40	23.12.2008	3,6
				3.10.2008	4,4
				16.1.2009	1,9
10	R10 - Brandýs n/L II.	smíšený porost borovice modřín, dub, břiza, vysoká tráva, výška: 3 - 4 m, průměr kmenů do 100 mm, hustota: á 0,5 m, nízké stromové a bylinné patro, neprůhledné, ztěží prostupné	25	23.9.2008	2,2
				23.12.2008	0,8
				5.1.2009	3,25
11	R10 - Brandýs n/L III.	Listnatý porost: dub, buk, jasan, břiza, habr, javor, jeřáb, syřka, trnka, výška: do 24 m, průměr kmenů do 200 mm, hustota: á 2-3,5 m, stromové a keřové patro, průhledné, prostupné	30	18.10.2008	3,8



Obrázek 19: Graf přehledu měřených lokalit. [17]

Nejvyšší útlum vlivem vegetace byl zaznamenán na lokalitě 3–I/61 Kladno, ze dne 6.1.2009. Hustý smrkový pás o šířce 20 m způsobil útlum o velikosti 4,5 dB. Zásadní vliv na útlum měl kromě vegetace čerstvě napadlý sníh, který vytvořil pokrývku o výšce 10 cm. Bez této sněhové pokrývky byl ve stejné lokalitě naměřen útlum 2,7 dB. Naopak nejmenší hodnota útlumu hluku ze silniční dopravy byla zjištěna na lokalitě 8–R10–Hlavenec II. Porost zde tvořil 20 m široký pás složený z mladých dubů letních a červených, který snížil hluk o pouze 0,3 dB. Za zmínku stojí, ale fakt, že měření bylo prováděno na přelomu podzimu a zimy, tedy mimo vegetační období. Z toho důvodu budou u listnatých stromů výsledky ovlivněny absencí listů.[17]

Z výsledků výše uvedených prací plynou rozdílné výsledky. Při důkladné analýze zdroje hluku a vytvoření vhodného vegetačního pásu lze docílit snížení hluku o více než 6 dB při šířce pásu minimálně 25 m. Na druhou stranu ne všechna vegetace kolem komunikací a železničních tratí plní funkci ochrany před hlukem a útlum je minimální.

Nespornou výhodou vegetačních pásů je estetika, a hlavně mohou vytvářet ekologický významný prvek krajiny, vytvářet habitat nebo biokoridor pro migraci různých živočišných druhů. Na druhou stranu velký zábor území s nejistou účinností je hlavní nevýhodou. Dále se dá předpokládat velká proměnlivost

účinnosti vlivem opadávání a růstem listů s dlouhou dobou růstu vegetace. Důsledkem toho je prakticky nulová možnost použití ve městech.

Většinu výše uvedených problémů řeší kombinace protihlukové stěny s vegetací, kterým bude věnována následující kapitola.

3.4. Protihlukové stěny s vegetací

Spolupůsobení protihlukové stěny (PHS) a vegetace lze docílit několika způsoby, vegetaci lze zakomponovat přímo do stěny jako výplň připraveného skeletu nebo zavěsit pomocí podpůrných skeletů. Takto porostlá vegetace má vliv na odraz zvuku od protihlukové stěny. Dalším způsobem je umístit vegetaci před protihlukové opatření, vegetace tlumí jak přímý zvuk od zdroje, tak i odražený od stěny. Na následujících obrázcích 20 a 21 jsou vyobrazeny příklady protihlukové stěny v kombinaci s vegetací.



Obrázek 20: Porostlá protihluková stěna. [18]



Obrázek 21: Trvale zelená vegetace před PHS. [18]

O vývoj protihlukové clony s vegetačním krytem na území České republiky se pokusila společnost BRENS EUROPE. Pro veletrh InnoTrans 2016 konaného v Berlíně si společnost připravila nízkou protihlukovou clonu ve formě gabionové clony, zobrazené na obrázku 22. Kostra gabionu je vyplněna vysoce pohltivým syntetickým materiálem, u kterého útlum dosahoval hodnot A4 (jednočíselná hodnota zvukové pohltivosti není výrobcem uváděna). Povrch vytvářel přirozenou vegetační plochu s přírodním vzhledem a s možností retence vody. Pro vegetační plochu byly použity suchomilné rostliny, např. rozchodníky, netřesky a tymián. Plánovaná výška clony byla 0,75 m nad temenem kolejnice. Vzdálenost umístění clony se pohybovala v rozmezí 1,75 – 2 m od osy koleje. Z důvodu slabého zájmu byl tento projekt zastaven a nebylo provedeno testování clony na reálném úseku. [19]



Obrázek 22: Prototyp gabionové clony s přirozenou vegetací. [19]

Dalším příkladem je polovegetační clona použitá ve Francii. V roce 2011 byl ve francouzském Lyonu vybrán zkušební úsek pro polovegetační nízkou protihlukovou clonu. Clona o celkové délce 14 m byla postavena podél pozemní komunikace na promenádě v centru Lyonu. Cílem 1 m vysoké a 40 cm široké clony je snížit hlukovou emisi z přilehlé silniční dopravy. Na obrázku 23 lze vidět clonu, vytvořenou z kovového rámu plněným substrátem. V substrátu je zasazeno až 40 rostlin na jeden m², v dostupné literatuře není uvedeno druhové složení. [20]



Obrázek 23: Polovegetační clona v Lyonu. [20]

Měření probíhalo na dvou místech zároveň ve výšce 1,2 m, která simuluje sedící osobu, vzdálené 3,5 m od silnice. První měřicí místo bylo umístěno přímo za clonou a druhé bylo vzdáleno 20 m od clony. Výsledkem měření je pokles hodnoty akustického tlaku A , $L_{Aeq,T}$ hodnoty 67 dB na 62 dB, tím pádem útlum hlukové zátěže v důsledku účinnosti polovegetační clony je 5 dB. Součástí výzkumu byl i dotazník, který byl pokládán na stejném místě s přítomností a bez clony. Podle respondentů došlo vlivem clony ke snížení obtěžování hlukem a celkově k mírnému zlepšení hlukové situace, ale stejně většina účastníků označila místo jako nepříjemné. [20]

Předmětem studie *Acoustic evaluation of modular greenery noise barriers* [21] je schopnost vegetace umístěné na betonové cloně ovlivňovat odraz zvukové vlny. Studie se zabývá problémem odrazivosti dvojice protihlukových stěn umístěných paralelně u pozemní komunikace. Je zde uveden případ, kdy došlo ke snížení účinnosti protihlukové stěny o 4 dB vlivem odrazových procesů mezi dvojicí stěn umístěných naproti sobě. Základem prototypu protihlukové stěny jsou betonové dílce tloušťky 0,2 m. Tyto dílce jsou spojeny pomocí malty do celku o rozměrech 2,62x2,42 m (šxd). Prototyp stěny je zobrazen na obrázku 24. Zeleň je připevněna na kostru z nerezové oceli pomocí modulů, které jsou vyplněny recyklovaným substrátem. Moduly jsou na designované pro nízké keře, ve studii je použit smil řanšanský.



Obrázek 24: Prototyp betonové clony s možností osazení vegetace. [21]

Měření probíhalo pomocí dvou zvukoměrů, první byl umístěn mezi zdrojem hluku a stěnou ve vzdálenosti 1,4 m od stěny a ve vzdálenosti 1 m od zdroje hluku. Druhý byl situován ve stejné vzdálenosti, tedy 1 m za zdrojem hluku. Měření probíhalo ve třech výškách h : 0,8, 0,9 a 1 m. Tato situace je znázorněna na obrázku 25.

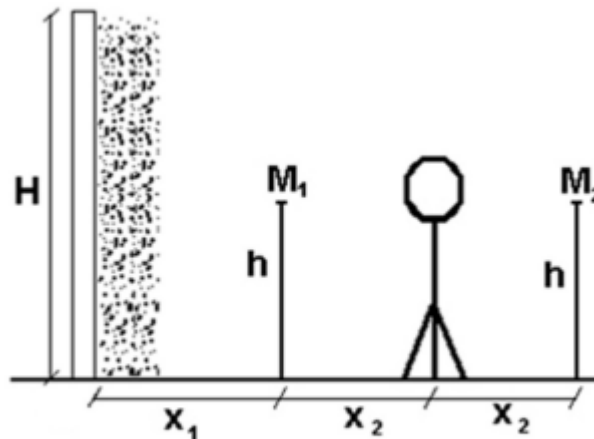
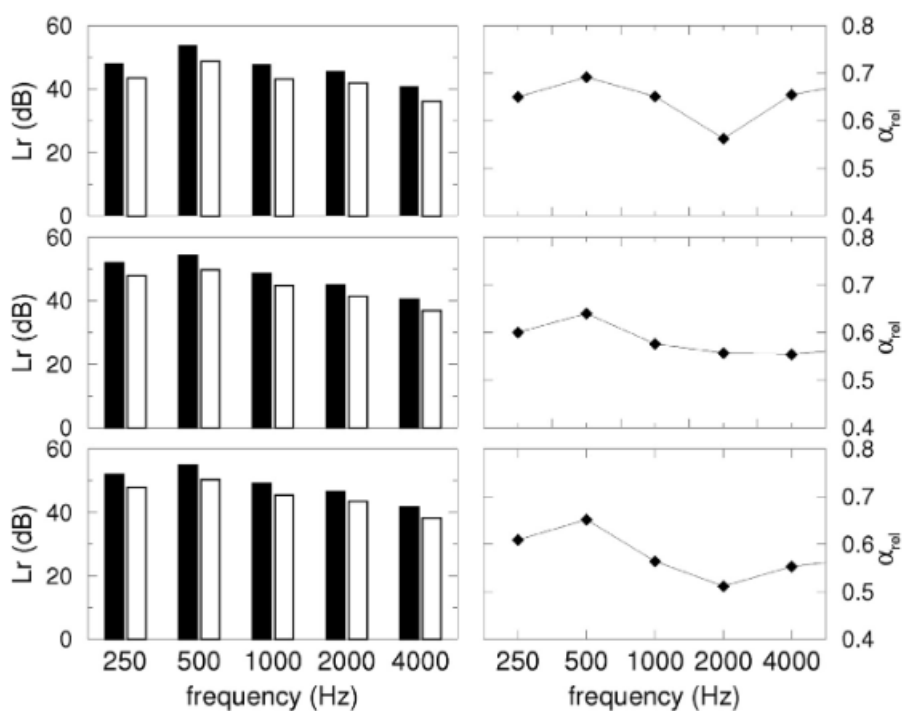


Fig. 2. Sketch of the experimental set-up. $H=2.42$ m, $h=0.8, 0.9$ and 1 m, $x_1=1.4$ and $x_2=1$ m.

Obrázek 25: Situace měření. [21]

Zvukoměr M1 snímá přímý zvuk ze zdroje, který je navýšen o odraz zvuku od stěny, zatímco zvukoměr M2 snímá pouze přímý zvuk od zdroje. Na základě rozdílu naměřených hodnot zvukoměry M1 a M2 byla určena hodnota odrazu. Měření probíhalo ve dvou případech. První případ představoval odrazivou stěnu bez vegetace. Zatímco při druhém případě byla stěna osazena vegetací. Výsledkem měření je porovnání naměřených hodnot pro odrazivou stěnu bez vegetace a stěnu s vegetací. Výsledky jsou zobrazeny na obrázku 26, kde jsou

znázorněny hodnoty hladin akustického tlaku odrazové vlny a koeficient absorpce. Výsledky jsou určeny pro tři výšky měření, vrchní výsledky jsou pro výšku $h = 1$ m, střední pro $h = 0,9$ m a spodní pro $h = 0,8$ m. Tmavý sloupeček představuje naměřené hodnoty bez vegetace, světlý s vegetací. Bohužel součástí studie nejsou konkrétní číselné výsledky, pouze výsledky ve formě grafů, ze kterých lze uvažovat útlum hladiny akustického tlaku odražené vlny do 5 dB. Výsledky měření byly dále použity pro predikci hlukových map pomocí softwaru CadnaA. [21]



Obrázek 26: Naměřené hladiny akustického tlaku odražené zvukové vlny. [21]

4. VLASTNÍ MĚŘENÍ

Předmětem této práce je analýza a porovnání naměřených hodnot hluku z kolejové dopravy s účinkem vegetace s hodnotami naměřených ve stejné vzdálenosti od osy koleje mimo vegetaci. Z důvodu omezeného množství zvukoměrné techniky, kterou si lze od Katedry železničních staveb zapůjčit, měření probíhalo na dvou místech zároveň, a to s přítomností zeleně a bez zeleně. Cílem bylo vybrat tři vhodné lokality pro měření s rozdílnou druhovou skladbou a šířkou vegetačního pásu.

4.1. Výběr měřicího místa

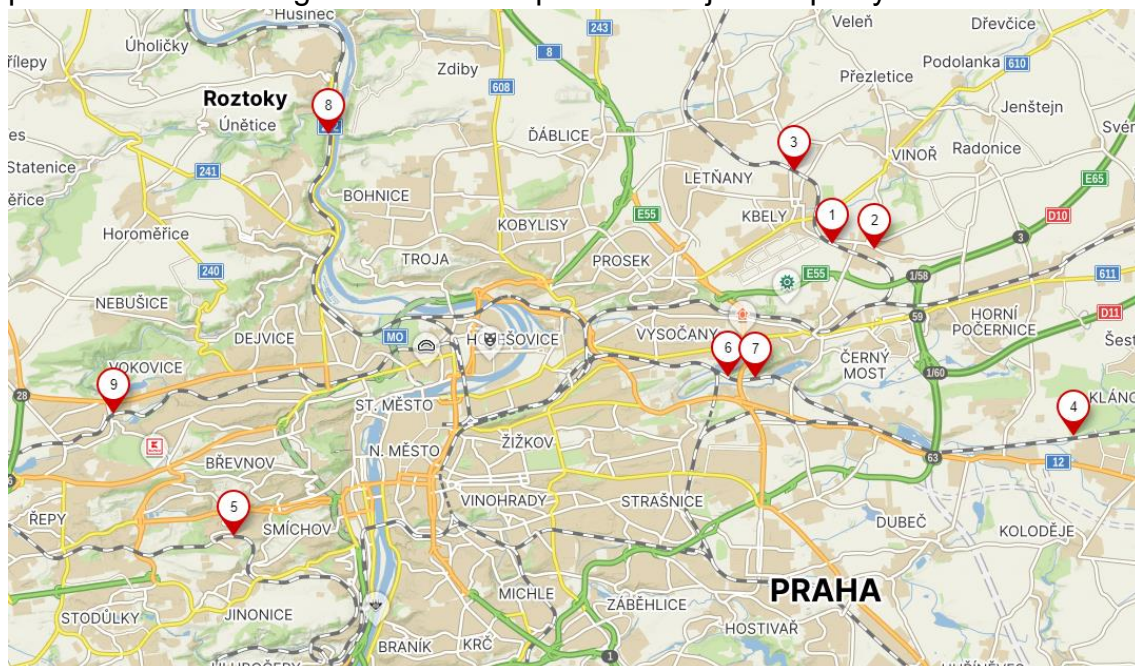
Výběr místa pro měření hluku je základní a zároveň jeden z nejdůležitějších úkolů pro řešení dané problematiky. Nevhodně zvolená lokalita může výrazně ovlivnit výsledky měření, které poté nelze považovat za reprezentativní a validní. Za přijatelnou lokalitu byla považována železniční trať s přilehlým pásem vegetace a dostatečným prostorem pro provedení měření.

Z důvodu plánovaného častého měření během roku byla lokalita výběru místa omezena na území Prahy a její blízké okolí. Dalšími závaznými parametry byl reliéf terénu v blízkosti železniční trati, snadná přístupnost a dostatečná dopravní vytiženost. Pro prvotní vytipování lokalit pro měření byly použity internetové mapové portály Google Maps a Mapy.cz, pomocí kterých byly prozkoumány železniční tratě a jejich okolí na území hlavního města.

Vhodnost vybraných míst byla posouzena využitím polohopisu, leteckých snímků a výškopisu. Letecké snímky byly použity k posouzení stavu přilehlé vegetace, zejména během vegetačního období. Následně pomocí výškopisu byl prozkoumán reliéf okolí. Z důvodu ovlivnění šíření zvukových vln od zdroje byla snaha vybrat rovinná území, ideálně ve stejné výškové úrovni se železniční tratí. Dále bylo nutné, aby se ve sledované lokalitě nacházel úsek, jak se zelení, tak i bez větší přítomnosti zeleně.

Na základě výše zvolených kritérií bylo vybráno 9 míst, které jsou situovány v 6 lokalitách, převážně v okrajových částech města Prahy. Místa jsou vyznačena v mapě na následujícím obrázku 27. Tyto lokality byly podrobeny terénnímu průzkumu, při kterém se ověřovala jejich vhodnost. Následně byly určeny parametry pro vícekritériální hodnocení, na jejichž základě byla vybrána

tři místa pro měření, resp. lokality. Na těchto lokalitách se prováděla měření a posuzoval se vliv vegetace na hluk z přilehlé kolejové dopravy.

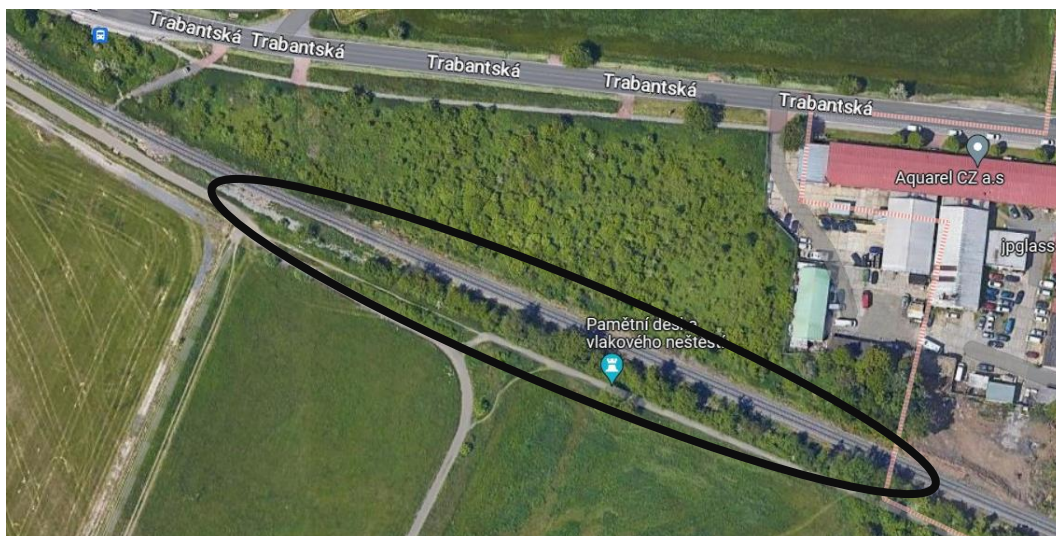


Obrázek 27: Vytipovaná měřicí místa. [36]

Pod čísly 1–3 se nachází vytipovaná měřicí místa na lokalitě Kbely, 4 se nachází v Klánovickém lese. Měřicí místo 5 se nachází na lokalitě Košíře, 6 a 7 jsou situována v Hloubětíně. Měřicí místo 8 se nachází na katastrálním území Roztok u Prahy a poslední místo 9 je v lokalitě Liboc. Všech těchto 6 lokalit je spolu s měřicími místy popsáno v následujících podkapitolách.

4.1.1. Lokalita Kbely

První vytipované měřicí místo se nachází v městské čtvrti Kbely na území městské části Praha 19, kterou lze vidět na obrázku 27 pod číslem 1. Vybrané místo se nachází u železniční trati 070 Praha – Turnov mezi stanicemi Praha-Satalice a Praha-Kbely. Podrobná situace spolu s vyznačeným prvním místem pro měření je zobrazena na obrázku 28. Měřicí místo se nachází v těsné blízkosti Vojenského letiště Praha – Kbely, které svým provozem by mohlo narušovat průběh a výsledky měření. Při terénním průzkumu byl zdokumentován vegetační pás o šířce 5–7 m, který je zde tvořen vzrostlými stromy lemující železniční trať. Konkrétně se jedná o ořešák královský, jabloň lesní a višně obecnou, které jsou doplněny křovinami: svída krvavá, hloh obecný, růže šípková a bez černý. Průzkum je doložen fotografií, kterou lze vidět na obrázku 29.

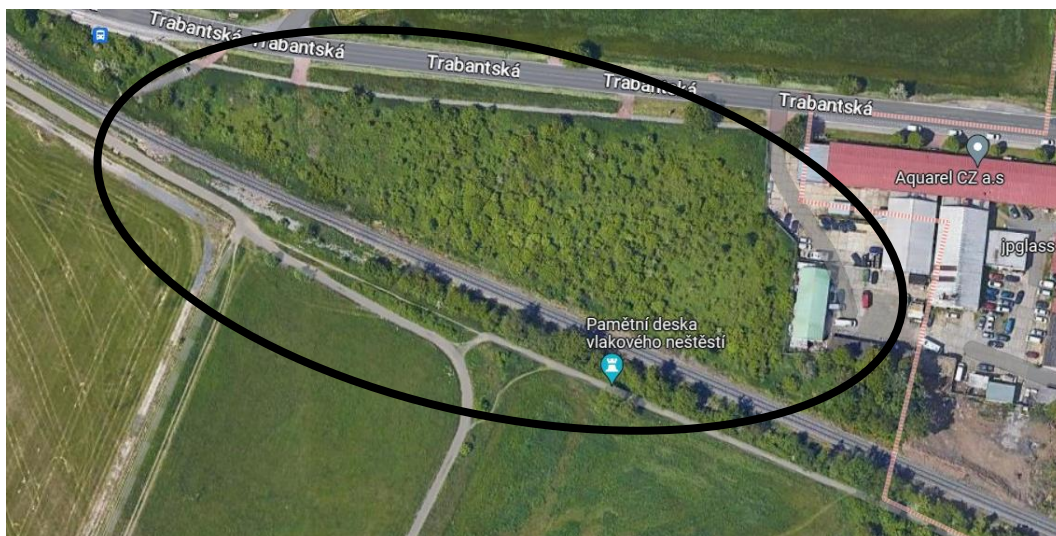


Obrázek 28: Situace prvního místa. [36]



Obrázek 29: Záběr na první místo.

Na stejném území (lokalita Kbely) jako první měřicí místo bylo vytipováno i druhé místo pro měření. Jedná se o neudržovaný volný prostor mezi železniční trati 070 Praha – Turnov a ulicí Trabantská, o šířce v řádu desítek metrů. Tento prostor je vyznačen na následujícím obrázku 30. Toto území bylo vytipováno z důvodu husté a nepropustné vegetace po celé ploše. Vegetace je zde tvořena převážně rostlinami, které lze zařadit do životní strategie: “r-strategie“. R – strategické rostliny jsou charakteristické velkou reprodukční kapacitou, rychlým růstem a tvorbou biomasy s krátkým životním cyklem. Konkrétně se jedná o merlík bílý, zlatobýl obrovský a růži šípkovou s občasným výskytem jabloně lesní. Na obrázku 31 je zachycen stav vegetace při obhlídce území.



Obrázek 30: Letecký snímek oblasti 2. [36]



Obrázek 31: Záběr na druhé místo.

Městská čtvrť Kbely nabídla i třetí, na první pohled vhodné měřicí místo. Tentokrát se jedná o severní část území Kbel, konkrétně o část lemující železniční trať 070 Praha – Turnov mezi ulicemi Semilská a Jilemnická. Toto místo je vyznačeno na leteckém snímku na obrázku 32. Oblast o délce přibližně 300 m byla na základě průzkumu omezena pouze na území u ulice Semilská nedaleko bytové zástavby z důvodů nevhodného reliéfu okolí pro měření hluku. Vegetační pás o šířce přibližně 5 m je zde tvořen vzrostlými stromy bez viditelného spodního patra. Konkrétně se jedná o následující druhy: střemcha

obecná, bříza bělokorá, svída krvavá, javor jasanolistý a líska obecná. Situaci této lokality zachycuje fotografie z terénního průzkumu na obrázku 33.



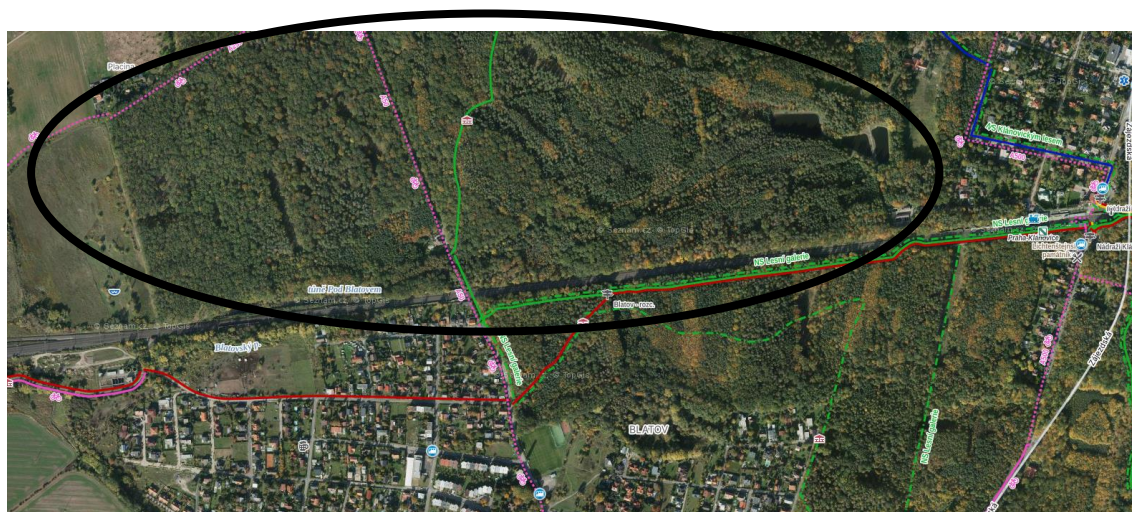
Obrázek 32: Letecký snímek zachycující třetí měřicí místo. [37]



Obrázek 33: Fotografie z průzkumu třetího místa.

4.1.2. Lokalita Praha – Klánovice

Čtvrté vyhlédnuté místo pro měření se nachází ve východní části Prahy, v městské části Praha – Klánovice, kde prochází nejvytíženější železniční trať na našem území, železniční trať 001 Praha – Bohumín. Na základě mapových portálů byla vybrána oblast Klánovického lesa mezi stanicemi Praha-Běchovice střed a Praha-Klánovice, která je zobrazena na obrázku 34. Snahou správy lesa je, aby druhová skladba lesa se co nejvíce podobala přirozenému složení v dané lokalitě. Nejvíce zastoupený je dub zimní a dub letní s borovicí lesní, které jsou doplněny o olši lepkavou, modřín opadavý či smrk ztepilý. Následující obrázky 35 a 36 byly pořízeny během průzkumu. [22]



Obrázek 34: Letecký snímek Klánovického lesa. [36]



Obrázek 35: Fotografie z průzkumu Klánovického lesa.



Obrázek 36: Fotografie z průzkumu Klánovického lesa.

4.1.3. Lokalita Košře

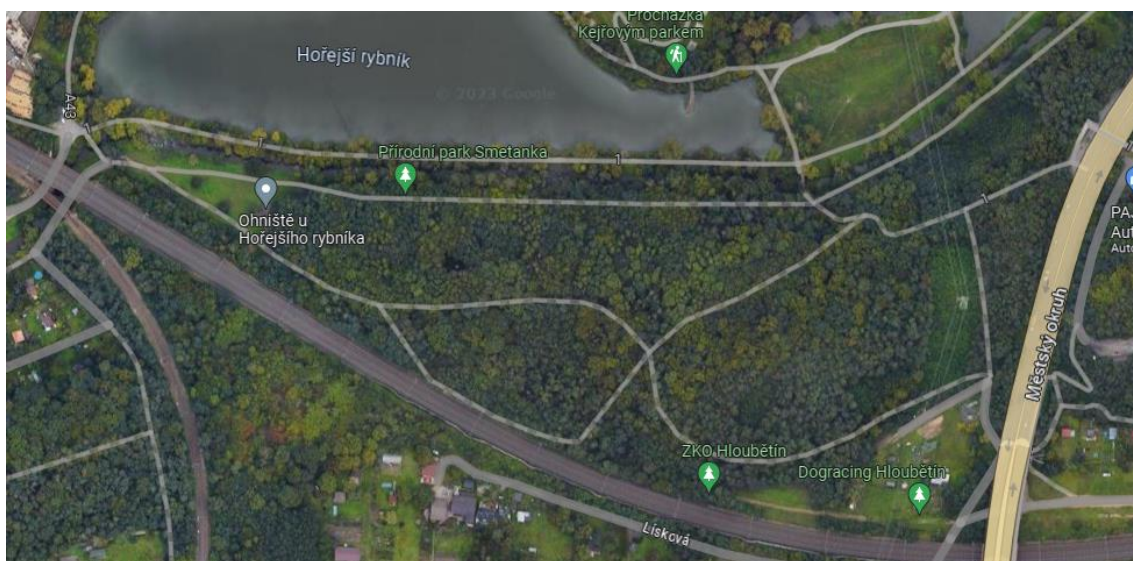
Další lokalita s měřicím místem 5 se nachází na trati 122, spojující pražskou čtvrť Smíchov s Hostivicemi. Konkrétně se jedná o území městské části Košře, mezi vlakovými stanicemi Praha-Jinonice a Praha-Cibulka. Vybrané měřicí místo lemující ulici Na Výši je zobrazená na obrázku 37. Hustý vegetační pás dosahující šířky 5 m je složen z křovin a ojedinelých stromů, fakticky se jedná o javor klen, ořešák královský, trnovník lepkavý, svída krvavá a kustovnice cizí.



Obrázek 37: Letecký snímek s vyznačeným měřicím místem 6 [37]

4.1.4. Lokalita Hloubětín

U frekventované železniční trati 001 Praha – Bohumín se nachází další lokalita, ve které byla vytipována měřicí místa 6 a 7. Měřicí místo 6 spadá do katastrálního území Hloubětín a nachází se v přírodním parku Smetanka nedaleko Hořejšího rybníka, který je zobrazen na následujícím leteckém snímku na obrázku 38. Území se nachází mezi železničními stanicemi Praha-Libeň a Praha-Kyje. Přírodní park Smetanka je tvořen vzrostlými druhy odpovídající bukodubovému vegetačnímu stupni, konkrétně se jedná o dub zimní, jilm habrolistý a jeřáb břek. Fotodokumentace průzkumu je zobrazena na obrázku 39.



Obrázek 38: Letecký snímek vybraného území 6. [36]



Obrázek 39: Fotografie z průzkumu měřicího místa č. 6.

Místo, které je na mapě (obr. 27) vyznačeno pod číslem 7, se nachází na stejné železniční trati, tedy 001 mezi stanicemi Praha-Libeň a Praha-Kyje. Měřicí místo, které je znázorněno na obrázku 40, je situováno v městské části Hloubětín, několik stovek metrů od předešlého měřicího místa, v zahrádkářské kolonii. Vegetační pás šířky přibližně 15 m je zde tvořen hustým porostem, zejména se jedná o trnku s ojedinělou jabloní lesní. Vegetace je zobrazena na obrázku 41.



Obrázek 40: Letecký snímek měřicího místa č. 7. [37]



Obrázek 41: Vegetace – měřicího místa č. 7 Hloubětín.

4.1.5. Lokalita Roztoky u Prahy

Celkově osmé měřicí místo se nachází severně od Prahy na katastrálním území Roztoky, v ulici Riegrova poblíž přírodní rezervace Roztocký háj – Tiché údolí. Lokalitou prochází železniční trať 090 Praha – Děčín a regionální doprava na trati 091 Praha – Kralupy nad Vltavou. Vybraný úsek, který je situován mezi stanicemi Praha-Sedlec a Roztoky u Prahy je zobrazen na obrázku 42.



Obrázek 42: Letecká snímek měřicího místa č. 8. [36]

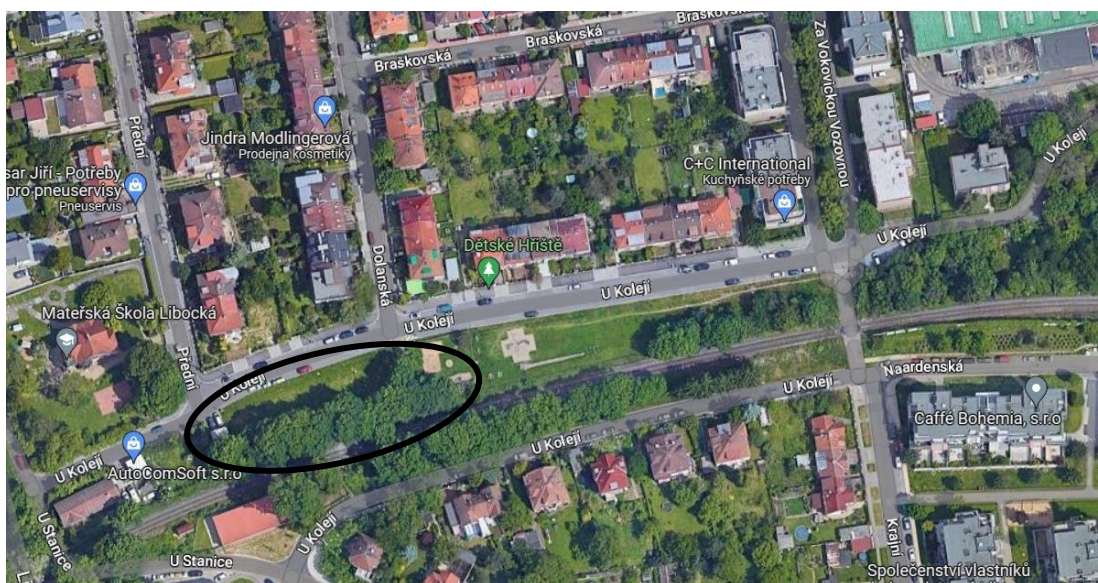
Vegetační pás zobrazený na obrázku 43 je tvořen ze dvou řad vzrostlých stromů, konkrétně se jedná o střemchu obecnou, javor babyka a habr obecný. Výše uvedené druhy jsou doplněny bylinným a keřovým patrem, dominující rostliny jsou ostružiník lesní a kopřiva dvoudomá.



Obrázek 43: Vegetace – lokalita Roztoky u Prahy.

4.1.6. Lokalita Liboc

Poslední měřicí místo lze najít na mapě (obr. 27) pod číslem 9, které je situováno v pražské městské čtvrti Liboc. Území zobrazené na obrázku 44 se nachází v ulici U Kolejí nedaleko dětského hřiště. Ulice i dětské hřiště jsou málo vytížené, proto nedochází k narušení a ovlivnění měření. Vybranou lokalitou prochází jednokolejná železniční trať 120 Praha – Kladno – Rakovník, konkrétně se jedná o úsek mezi stanicemi Praha-Veleslavín a Praha-Ruzyně.



Obrázek 44: Situace deváté lokality. [36]

4.2. Zhodnocení lokalit

Základním předpokladem pro správný výběr lokalit je určení kritérií, pomocí kterých budou hodnoceny. Ve výsledku se zvolilo pět základních kritérií, které mohou výrazně ovlivnit průběh nebo výsledky měření. Celkem bylo podrobena zkoumání 9 měřicích míst v šesti lokalitách, ze kterých se na základě vícekritériálního hodnocení zvolila tři finální místa pro měření. V další části této podkapitoly budou jednotlivá kritéria popsána.

- **Reliéf terénu**

Reliéf terénu má zásadní vliv na šíření akustického vlnění. Cílem práce je získání reprezentativních hodnot, z toho důvodu byla preferována rovinná území ve výškové úrovni železniční trati.

- **Dostupnost**

U tohoto kritéria byl kladen důraz na dopravní, ale i následnou pěší docházkovou vzdálenost. Dopravní vzdálenost byla uvažována od sídla Fakulty stavební, ale i vzdálenost jednotlivých míst od sebe spolu s docházkovou vzdáleností od auta, popřípadě prostupnost území.

- **Rušivé elementy**

Za rušivý element byl považován jakýkoli zvukový projev, který svou intenzitou narušoval měření. Konkrétně se jednalo o letecký a automobilový provoz, štěkot psa, ale i hluk z lidské činnosti, zejména stavební práce.

- **Intenzita kolejové dopravy**

S rostoucí intenzitou dopravy roste reprezentativnost výsledků měření a dochází k úspoře času stráveného v terénu. S reprezentativností výsledků souvisí i variabilita vozového parku, čím více druhů vlaků, tím lépe.

- **Vegetace**

Toto kritérium zohledňuje hlavní vlastnosti vegetace ovlivňující útlum hluku. Základními parametry je šířka vegetačního pásu, hustota biomasy, rozmanitost druhové skladby a prevalence keřového a bylinného patra. Dále v tomto kritériu bylo zohledněno referenční místo bez vegetace.

Vyhodnocení bylo provedeno pomocí tabulky 2, kde k jednotlivým kritériím byla přiřazena bodová váha 1–5. Bodové hodnocení odpovídá školní klasifikaci, tedy 1 = nejvíce vhodné pro řešení dané problematiky a 5 = velmi nevhodné, může docházet k silnému ovlivnění výsledků. Následně se sečetly body všech kritérií pro dané měřicí místo, místo s nejnižším počtem bodů bylo určeno jako nejvíce vhodné. Území, která obdržela u jakéhokoli kritéria bodovou váhu 5, byla automaticky stanovena jako nevhodná pro řešení této práce.

Tabulka 2: Vícekriteriální hodnocení

	Reliéf terénu	Dostupnost	Rušivé elementy	Intenzita dopravy	Vegetace	
Měřicí místo 1	1	2	4	3	4	14
Měřicí místo 2	1	2	5	3	3	14
Měřicí místo 3	3	2	3	3	4	15
Měřicí místo 4	1	5	1	1	5	13
Měřicí místo 5	5	3	2	4	3	17
Měřicí místo 6	5	2	2	1	2	12
Měřicí místo 7	2	2	2	1	3	10
Měřicí místo 8	2	2	3	2	1	10
Měřicí místo 9	2	1	3	3	3	12

V následujícím textu jsou rozebrány výhody a nevýhody jednotlivých lokalit, resp. měřicích míst.

Kbely

Výhodami všech potenciálních měřicích míst v městské části Kbely byla dobrá dostupnost, všechna místa byla dobře přístupná a nacházela se ve stejné části Prahy.

Nespornou výhodou prvního místa byl reliéf terénu, okolí železniční trati je rovinaté, přibližně ve stejné výšce jako těleso trati. Ke zvolení této lokality na základě konzultace nedošlo z důvodu vegetačního pásu, který nedosahuje dostatečné šířky a hustoty. Druhým a hlavním důvodem byla frekventovaná letecká doprava na místním letišti.

Stejně jako u prvního místa, tak i u druhého je hlavním problémem letecké vytížení přilehlého vojenského letiště. Tento problém je zde navýšen i frekventovanou silniční dopravou na silnici v ulici Trabantská. Na základě těchto skutečností nebylo měřicí místo vybráno pro řešení problematiky této práce.

Třetí a zároveň poslední místo v lokalitě Kbely nebylo vybráno z důvodu málo husté vegetace bez viditelného keřového patra. Dalším problémovým parametrem byla doprava na přilehlé silnici.

Praha-Klánovice

Oblast Klánovického lesa nabídla zajímavou lokalitu s pestrou druhovou skladbou odpovídající přirozenému složení daného vegetačního stupně. Železniční trať je lemována vzrostlými stromy dosahující 100let, ale není zde tvořena přirozená bariéra keřovým a bylinným patrem, která je nezbytná pro tuto

práci. Další nevýhodou lokality byla špatná přístupnost s měřicí technikou a absence referenčního měřicího místa bez vegetace.

Košíře

Při průzkumu lokality byl zjištěn pro měření hluku nevhodný reliéf terénu. Železniční trať je v zářezu oproti vybranému úseku a docházelo by k ovlivnění měření. Tato skutečnost je zobrazena na obrázku 45. Z tohoto důvodu byla tato oblast zamítnuta.



Obrázek 45: Fotodokumentace lokality 5.

Hloubětín

Výhodami celkově šestého měřicího místa je vytížená železniční trať a různorodá vegetace o dostatečné šířce. Terénní průzkum ale odhalil nevhodný reliéf terénu. Dalším nedostatkem je absence stanoviště pro měření hluku z kolejové dopravy bez účinku vegetace.

Sedmé měřicí místo se nachází u stejné železniční trati 001. Jak již bylo zmíněno, nespornou výhodou měřicího místa je frekventovaná doprava na přilehlé trati, která je zde tvořena třemi kolejemi. Na rozdíl od předchozího místa je zde terén rovinný a přibližně ve výšce 1 m nad temenem kolejnice. Nevýhodou vegetačního pásu, je jeho druhová skladba, která je tvořena pouze trnkou s ojedinělou přítomností jabloně lesní. Nicméně svojí dostatečnou hustotou a šířkou je pro práci vhodný. Na základě hodnocení bylo toto měřicí místo vybráno pro další šetření.

Roztoky u Prahy

Výhodami této lokality je velké vytížení přilehlé železniční trati 090/091, rovinnaté území podél trati s různorodou vegetací a relativně dobrá dostupnost místa. Nevýhodou je letecká trasa nacházející se nad zvoleným územím, která by mohla narušovat jednotlivé průjezdy vlakové dopravy. Dále se zde nachází pozemní komunikace s hustou silniční dopravou. Vzhledem k jejímu umístění za tratí z pohledu případného měření, lze konstatovat, že měření nebude touto dopravou ovlivněno. Vegetační pás s pestrou druhovou skladbou dosahuje dostatečné šířky, mírnou nevýhodou je jeho menší hustota oproti měřicímu místu 7. Tato lokalita byla na základě hodnocení doporučena pro měření.

Liboc

Jako poslední lokalita byla zvolena oblast v městské části Liboc u železniční trati 120. Výhodami lokality je snadná dostupnost, rovinný terén v úrovni železniční trati a odlišná druhová skladba od ostatních lokalit. Naopak nevýhodou je nízká vytíženost železniční trati a šířka vegetačního pásu. Přesto na základě hodnocení byla lokalita vybrána.

4.3. Popis vybrané lokality a umístěných měřicích bodů

V této kapitole jsou detailně popsána tři vybraná měřicí místa, resp. lokality na základě vícekritériálního hodnocení. Vybraná měřicí místa 7 (lokality Hloubětín), 8 (lokality Roztoky u Prahy) a 9 (lokality Liboc) jsou dále v textu pro snadnou orientaci uváděny pod názvem "lokality". Ve vybraných lokalitách bylo postupně určeno 9 měřicích bodů M0 – M8.

4.3.1. Lokalita Hloubětín

Jako nejlépe hodnocená lokalita byla zvolena oblast v městské části Hloubětín, konkrétně se jedná o měřicí místo 7. Vybraný úsek pro měření s vyznačenými měřicími body je zobrazen na obrázku 46.



Obrázek 46: Měřicí místa – lokalita Hloubětín. [37]

Měřicí bod M1 zaznamenává zvuk z kolejové dopravy s minimálním účinkem vegetace, viz obrázek 47. Tento případ je zjednodušen a je považováno, že zvukoměr zaznamenává zvuk bez účinku vegetace. Naopak zvukoměr na bodu M2 snímá zvuk s účinkem vegetačního pásu, který je zobrazen na obrázku 48. Původně byl uvažován pro měření hluku s účinkem vegetace bod M0, ale z důvodu umístění dilatačního zařízení v měřicím profilu docházelo k výraznému ovlivnění hlukové situace. Z toho důvodu byl vybrán bod M2. Oba body M1 i M2 jsou ve vzdálenosti přibližně 25 m od středu osy železniční trati ve výšce 1,3 m nad terénem, tedy 2,3 m nad temenem kolejnice. Železniční svršek zobrazený na obrázku 49 je zde tvořen otevřeným šterkovým kolejovým ložem frakce 32/63

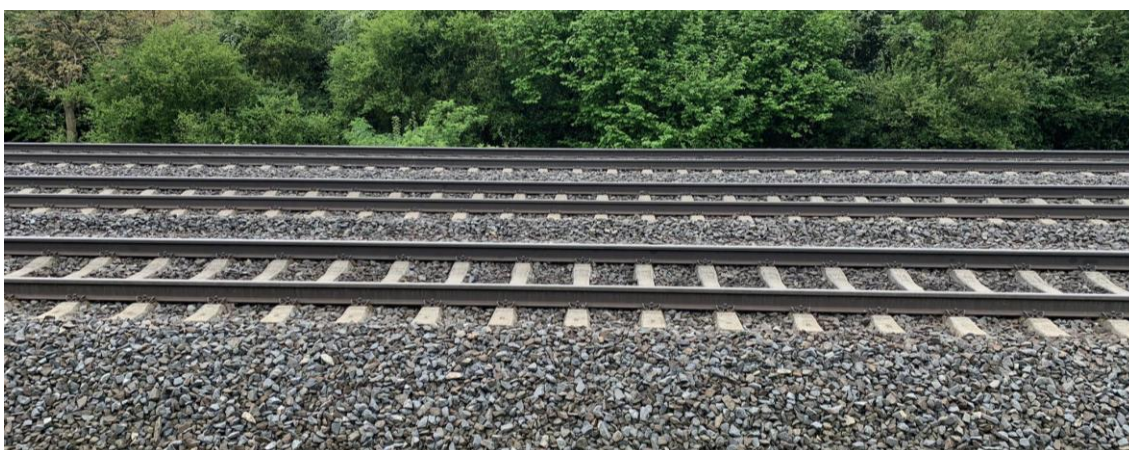
a betonovými pražci typu B 91 S. Bezстыkové kolejnice jsou upevněny na pražce pomocí bezpodkladnicového upevnění typu W 14. Vybraný úsek trati byl bez viditelných vad, které by mohli ovlivňovat hlukovou situaci.



Obrázek 47: Měřicí bod M1.



Obrázek 48: Měřicí bod M2.



Obrázek 49: Železniční svršek – lokalita Hloubětín.

4.3.2. Lokalita Roztoky u Prahy

Jako druhá lokalita pro určování vlivu zeleně na šíření hluku v okolí železničních staveb byla vybrána oblast nacházející se v Roztokách u Prahy. Vybraná oblast s vyznačenými body je zobrazena na obrázku 50.



Obrázek 50: Měřicí body – lokalita Roztoky u Prahy. [36]

Zvukoměr umístěný na měřicím bodu M3 zaznamenává zvuk s účinkem vegetace. Mikrofon je připevněný na stativ ve výšce 3 m od země z důvodu mírného náspu trati vůči měřicímu místu, tato výška mikrofonu zhruba odpovídá 1,2 m nad temenem kolejnice. Pohled na stanoviště M3 je zobrazen na snímku 51. Měřicí bod M3 byl stanoven těsně za pásem vegetace ve vzdálenosti 40 m od osy železniční trati.



Obrázek 51: Měřicí bod M3.

Pro měření hlukové situace bez účinku vegetace byl zvolen měřicí bod M4, který byl umístěn ve stejné vzdálenosti od osy trati jako bod M3, tedy 40 m. Zvukoměr byl umístěn ve výšce 1,50 m nad terénem a zhruba 1,2 m nad temenem kolejnice. Fotografie na obrázku 52 znázorňuje danou situaci. Na tomto místě byly provedeny celkem 4 měření, poté z důvodu neočekávaného nárůstu vegetace, viz obrázek 53, bylo nutné změnit polohu bodu. Proto byl dne 10.8.2023 v terénu intuitivně zvolen nový měřicí bod M5.



Obrázek 52: Měřicí bod M4.



Obrázek 53: Nárůst vegetace – Roztoky u Prahy.

Poloha nového měřicího bodu M5 byla na základě naměřených hodnot a prozkoumání mapových podkladů chybná, bod M5 se nacházel ve vzdálenosti 45 m od osy trati, bod M5 je vyobrazen na obrázku 54. Výsledky získané, z tohoto místa dne 10.8.2023 jsou vyřazeny a nejsou uváděny ve výsledcích měření. Na základě těchto skutečností bylo vytipováno nové měřicí místo M6, které již bylo ve vzdálenosti 40 m od osy kolejiště. Na tomto místě bylo následně provedeno další měření.



Obrázek 54: Měřicí bod M5.

Železniční svršek je zde řešen pomocí bezpodkladnicového upevnění typu W 14 bezstykových kolejnic na betonové pražce typu B 91 S a otevřeného štěrkového kolejového lože o frakci 32/63. Obrázek 54 znázorňuje detail železniční trati. Při průzkumu trati nebyly nalezeny viditelné vady, ovlivňující měření.



Obrázek 55: Detail železniční trati 90.

4.3.3. Lokalita Liboc

Jako třetí a zároveň poslední lokalita byla vybrána část území Liboce, toto místo spolu s měřicími body je vyznačeno na obrázku 56.



Obrázek 56: Vybrané území – lokalita Liboc. [36]

Měřicí body M7 a M8 byly umístěny ve vzdálenosti 15,5 m od osy koleje ve výšce 2,3 m nad temenem kolejnice. Zvukoměr umístěný na bodě M7 zaznamenával zvuk z kolejové dopravy bez účinku vegetace, slouží k tomu prostor, který místní využívají k přechodu železniční trati. Měřicí místo je zobrazeno na obrázku 57.



Obrázek 57: Měřicí bod M7.

Měřicí bod M8 je situován 15 m od druhého měřicího bodu za vegetačním pásem tak, že snímá zvuk s účinkem vegetace. Vegetační pás o celkové šířce přibližně 8 m je zde tvořen vzrostlými jasanů ztepilými, javorů mléč, které jsou doplněny o bez černý. Polohu tohoto místa lze vidět na obrázku 58.



Obrázek 58: Měřicí bod M8.

Železniční svršek zobrazený na obrázku 59 je zde tvořen otevřeným štěrkovým kolejovým ložem o frakci 32/63 a betonovými pražci typu B 91 S. Bezstykové kolejnice jsou upevněny na pražce pomocí bezpodkladnicového upevnění typu W 14. Na vybraném úseku se nenachází žádné viditelné vady.



Obrázek 59: Detail železniční trati 120.

4.4. Měřicí aparatura

Během jednotlivých měřicích kampaní byly použity následující přístroje a pomůcky:

- přesný integrující ruční zvukoměr Brüel & Kjaer 2250 L vč. 2654639 s měřicím mikrofonem Brüel & Kjaer 4950 vč. 2879842,
- přesný integrující ruční zvukoměr Brüel & Kjaer 2270 vč. 3000925 s měřicím mikrofonem Brüel & Kjaer 4189 vč. 2785058,
- akustický kalibrátor Brüel & Kjaer 4230 vč. 1026612,
- temperature humidity logger, typ: S3121,
- anemometr 5000, typ: AN1 V14,
- barometr GTD 1100,
- bushnell Velocity Speed Gun,
- měřicí pásmo,
- ochranný kryt proti větru Brüel & Kjaer UA 0459,
- stativ kovový 2x,
- LaiPen LP 100,
- mobilní telefon iPhone Xr.

Záznam zvuku byl snímán pomocí dvou zvukoměrů společnosti Brüel & Kjaer, které byly umístěny na vysouvacích kovových stativěch. Výjimkou bylo měřicí místo M3 v lokalitě Roztoky u Prahy z důvodu měření ve výšce 3 m nad terénem. Zde byl mikrofon upevněn pomocí držáku na stativu a propojen kabelem se zvukoměrem. Konstantnost zvukoměrů byla při každém měření ověřována justací pomocí akustického kalibrátoru Brüel & Kjaer 4230. Všechny tyto zvukoměrné přístroje měly v souladu s vyhláškou č. 345/2002 Sb. [41] platný ověřovací list. Dle ČSN EN ISO 3095 [42] zabývající se měřením hluku vyzařovaného kolejovými vozidly musí být mikrofony chráněny před větrem, proto během všech měření byl aplikován ochranný kryt proti větru Brüel & Kjaer UA 0459.

4.5. Metodika měření

Metodika měření je rozdělena do dvou částí. První část se věnuje získání akustických dat pro další hodnocení. Druhá část metodiky se týká samotné zeleně, kde se jedná o kvantifikování zeleně a určení její listové plochy.

4.5.1. Metodika akustického měření

Prvním předpokladem vytvoření metodiky měření je určení strategie a postupu měření. Strategií práce bylo na základě opakovaného měření na stejných místech v několika lokalitách během roku popsat vliv zeleně na šíření hluku. Vliv zeleně na šíření hluku se dá určit na základně několika způsobů. Prvním způsobem je měření na určitém úseku železniční trati – v jednom profilu na dvou místech zároveň, před vegetací a za vegetací. Tyto místa by se od sebe lišily pouze vzdáleností od osy železniční trati, rozdílem těchto hodnot by byl získán útlum vlivem vegetace a prostředí mezi měřicími místy. Nevýhodou je obtížné umístění zvukoměrné techniky před vegetací, do blízkosti železniční trati. Druhým způsobem je měření na dvou rozdílných místech železniční trati zároveň, ve stejné vzdálenosti od osy železniční trati. První měřicí místo by zaznamenávalo hluk s účinkem vegetace a druhé bez účinku vegetace. Výsledkem by byl rozdíl hladin akustického tlaku těchto dvou míst. Po zvážení výhod a nevýhod obou způsobů byl vybrán druhý způsob, tedy měření ve stejné vzdálenosti od osy trati na různých místech.

Metodika měření vychází z ČSN EN ISO 3095 Akustika – Železniční aplikace – Měření hluku vyzařovaného kolejovými vozidly. [42] Měřicí místa se nachází v blízkosti od sebe na přímém úseku trati, kde není nutné měnit rapidně rychlost vlaku, proto lze měření charakterizovat jako zkoušku při konstantní rychlosti jízdy dle ČSN EN ISO 3095. Metodika měření byla ovlivněna podstatou práce a specifickými podmínkami na vybraných lokalitách, tudíž nebylo možné dodržet všechny podmínky normy, včetně vzdálenosti měřicích bodů. Schémata měřicích míst jsou zobrazena v Příloze A této práce.

Během měření byl zaznamenáván časový rozvoj akustického signálu pomocí ekvivalentní hladiny akustického tlaku L_{Aeq} s váhovým filtrem A, s časovou konstantou Fast s krokem záznamu 1 s. Samotná měření byla rozdělena do jednotlivých měřicích kampaní.

Součástí měřicích kampaní je zaznamenávání meteorologických podmínek, které by mohli ovlivnit výsledky a průběh měření. Zejména se jedná o rychlost větru, teplota, vlhkost a barometrický tlak v úrovni mikrofonu. Teplota a vlhkost vzduchu byla během celého měření zaznamenávána pomocí temperature humidity logger, Typ: S3121. Barometrický tlak byl měřen pomocí barometru GTD 1100, a rychlost větru anemometrem 5000, typ: AN1 V14. Měření bylo předem plánováno tak, aby byly dodrženy příznivé meteorologické podmínky pro měření. Zejména se jednalo o bezdeštné počasí s mírným větrem do 5 m/s.

Během měření byly jednotlivé průjezdy na železniční trati zapisovány do záznamového archu, kde byl vyplněn čas průjezdu, druh vlaku, počet vagonů, poznámky k hlukové situaci, ale i rychlost. Rychlost průjezdu byla měřena pomocí ručního radaru od společnosti Bushnell.

Všechny fotografické snímky byly pořízeny 12 MP fotoaparátem mobilního telefonu iPhone Xr.

Kratší vzdálenosti byly měřeny pomocí dálkoměru HILTY, pro měření delších vzdáleností a nepřístupných míst byly použity mapové portály, konkrétně byly vzdálenosti určovány pomocí leteckých snímků.

Nejistota Měření

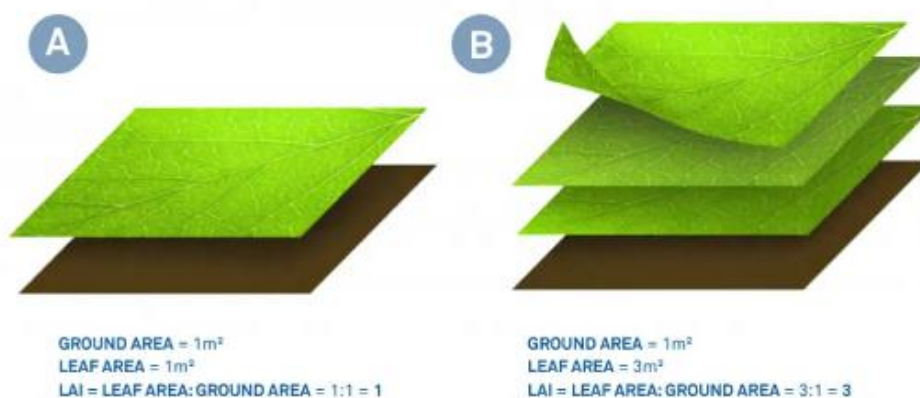
Nejistota měření byla stanovena pomocí přílohy G ČSN EN ISO 3095 [52] na hodnotu $U_{AB}=\pm 2$ dB. Uvedená rozšířená nejistota měření $\pm U_{AB}$ je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření $k=2$, což poskytuje hladinu spolehlivosti přibližně 95 %.

4.5.2. Metodika určení listové plochy

Součástí práce je analýza šíření zvuku během vegetačního období s růstem listů, resp. listové plochy. Měření začínalo na začátku dubna v době, kdy řešená vegetace byla zcela bez listů a pokračovalo se v intervalu jednoho měsíce. Poslední sada měření byla naplánována na konec listopadu, kdy dojde k opadání listů a práce se uzavře měřením zcela bez listů. Pro správné řešení dané problematiky je nutná vhodná charakteristika stavu vegetace. Z toho důvodu bylo nutné přijít na řešení, jak vyjádřit stav vegetace, zejména stav listové plochy při jednotlivých měřeních. Tento problém byl konzultován s Katedrou hydromeliorací

a krajinného inženýrství na Fakultě stavební ČVUT v Praze a došlo se k následujícím řešením.

Jako první řešení se nabízelo využití indexu listové plochy LAI (leaf area index). Jedná se o nejvíce rozšířený ukazatel v hydrologii, ekologii nebo v biochemii pro popsání struktury korunního patra rostlin. Zároveň slouží pro popsání výměnných procesů mezi atmosférou a biosférou, které probíhají na povrchu listu. LAI je bezrozměrná veličina vyjadřující poměr plochy zelených listů k ploše zemního povrchu, která dosahuje hodnot 0–9. Hodnotu LAI = 3 si lze představit jako 3 m² plochy zelených listů připadající na 1 m² země, viz obrázek 60. [38] [39]



Obrázek 60: Index listové plochy. [38]

Pro získání LAI hodnot existuje mnoho metod a postupů s rozdílnými požadavky a přesností měření, které jsou výhodné pro určitý typ úloh. Například nejjednodušší a nejpřesnější je tzv. přímá metoda. Přímá metoda spočívá ve sběru všech listů a následného změření jednotlivých ploch. I přes technologický pokrok ve formě skenerů je tato metoda velmi pracná a pro řešení této problematiky zcela nevhodná, jelikož se jedná o destruktivní, nevratnou metodu. [38]

Jako nejvhodnější zařízení pro získání LAI hodnot pro tuto práci bylo vybráno zařízení LaiPen LP 100, které bylo zapůjčeno od již zmíněné Katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství. LaiPen LP 100, který lze vidět na obrázku 61, je lehké kapesní zařízení sloužící pro rychlé a opakovatelné měření LAI hodnot na základě slunečního záření.



Obrázek 61: LaiPen LP 100. [39]

Výhodou tohoto zařízení je, že nevyžaduje specifické počasí a je schopné měřit i při zatažené obloze. Přístroj funguje na principu modré složky viditelného záření (400-500 nm), které je pohlcováno listy. Záření zachycené zpod korunního prostoru se vydělí zářením získaném na volném prostoru bez účinku vegetace, tento podíl je označován jako ALAI a slouží pro přímé určení LAI hodnot. Přímé hodnoty LAI jsou odvozeny z Lambert-Beer zánikového zákona upraveného Monsi – Saeki, ve kterém je odvozen **koeficient zániku k** pro jednotlivé rostlinné druhy. V tomto případě byl zvolen **koeficient zániku k** 0,5, což odpovídá pro smíšené listnaté stromy. Pro výpočet LAI na základě ALAI je odvozen následující vzorec č. 5

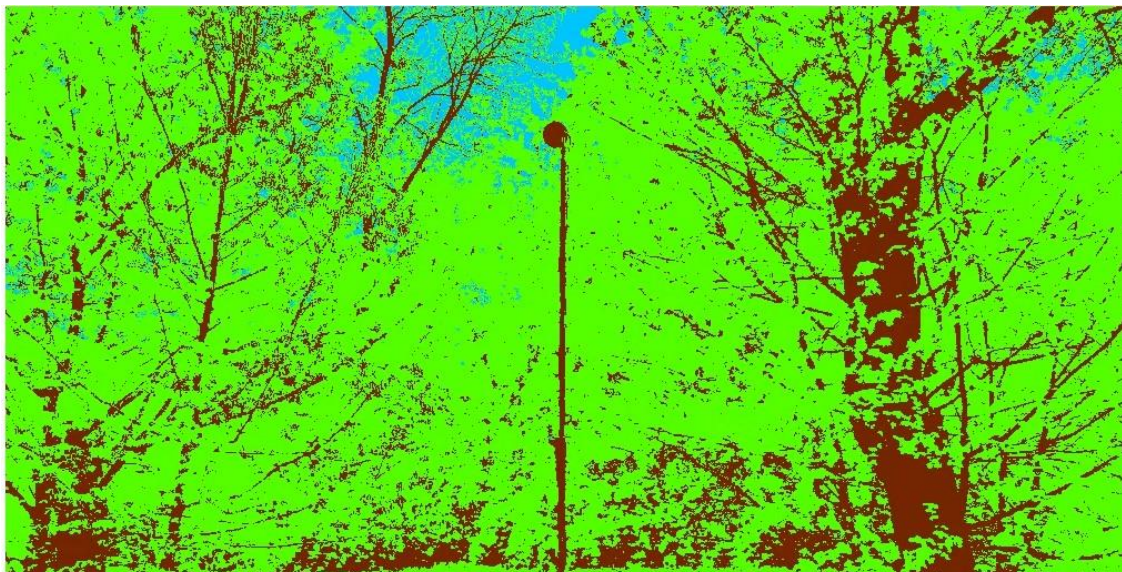
$$LAI = \frac{1}{k} * |\ln(ALAI)| , \quad (5)$$

kde je **k** koeficient zániku. [39]

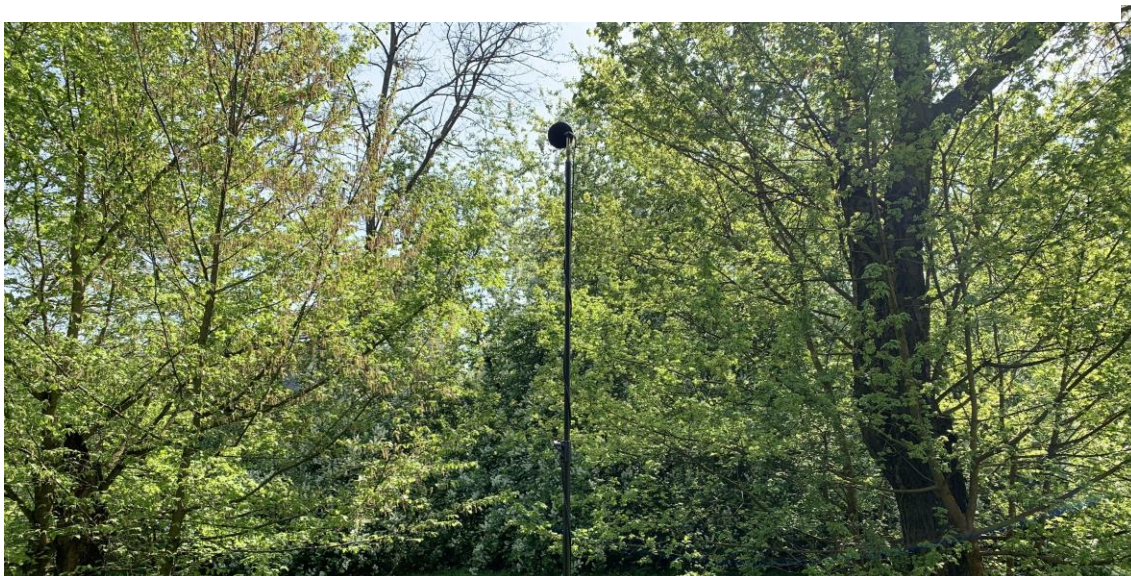
Tato metoda je jednoduchá a dostatečně přesná pro řešení problému této práce, avšak ne úplně vhodná. Šíření akustického vlnění ovlivňuje zejména zeleň nacházející se ve vodorovném směru mezi zdrojem hluk – železniční trať a zvukoměrem. LAI hodnota má vypovídající schopnost o listech nacházející se mezi zdrojem – slunce a přijímačem – LaiPen LP 100. Na základě porovnání těchto hodnot z předchozích měření lze říci, že došlo k určitému vývoji listové

plochy jako celku a lze předpokládat nárůst i ve vodorovném směru. Proto byla v každé měřicí kampani zjišťována hodnota LAI pro daný vegetační pás. Pro lepší znázornění nárůstu vegetace ve vodorovném směru byla zvolena jiná metoda, zakládající se na fotografickém snímku.

Ideou tohoto řešení je zjistit vývoj listové plochy ve vodorovném směru porovnáním fotografických snímků pořízených v každé měřicí kampani. Předpokladem je zachycení aktuální situace při dané kampani vždy ze stejného místa směrem od zvukoměru ke zdroji. Porovnáním fotografií lze už na první pohled rozlišit určité rozdíly týkající se listové plochy, ale je nutné tyto rozdíly vyjádřit na základě faktů. Pro znázornění vývoje listové plochy byl tedy použit software společnosti Esri ArcGIS Pro, který primárně slouží pro práci s prostorovými daty. K řešení výše popsaného problému byla použita funkce řízená klasifikace, která spočívá v interaktivním rozdělení jednotlivých pixelů snímku do předem zvolených kategorií na základě zvolené metody. Prvním krokem je vytvoření klasifikačního schémata, ve kterém jsou vytvořeny kategorie, do kterých bude snímek rozdělen. V tomto případě byly zvoleny tři základní kategorie: obloha, listy a kmen/větve. Na tento krok navazuje vytvoření trénovacích množin, jejichž základem je vyznačení jednotlivých prvků na snímku do předem zvolených kategorií. Zjednodušeně lze říci, že je softwaru řečeno, jak na snímku vypadají listy, obloha nebo kmen/větve. Na této části závisí přesnost celkové řízené klasifikace, čím více a přesněji se vyznačí prvků, tím je lepší preciznost výsledků. Při vyznačení 100–150 prvků pro jednotlivé kategorie dosahovala klasifikace dostatečné přesnosti, při zvolení více trénovacích množin měl software problémy se zpracováním. Pro následnou klasifikaci byla vybrána metoda maximální pravděpodobnosti. Tato metoda je založena na principu Bayesovi teorie rozhodování a na normálním rozdělení buněk trénovacích množin ve vícerozměrném prostoru. Výsledkem je rastr s rozděleným obsahem do předem zvolených kategorií. Takto vytvořený rastr lze následně převést na vrstvu tvořenou jednotlivými polygony se známou plochou. Pro lepší představu jsou přiloženy obrázky 62, resp. 63 zachycující danou situaci. [40]



Obrázek 62: Porovnání snímku s vrstvou polygonu.



Obrázek 63: Porovnání snímku s vrstvou polygonu.

Na základě jednoduchých operací lze následně zjistit celkovou plochu listů, tedy kolik procent fotografického snímku je tvořeno listovou plochou. Tuto hodnotu lze následně porovnat s ostatními snímky z měřicích kampaní. Výše popsaný postup byl proveden pro každou měřicí kampaň, celkem pro 12 snímků. Tento postup nebyl prováděn pro lokalitu Hloubětín z důvodu nepatrného vývoje listové plochy během měření a husté dřevní hmoty. Výsledky jsou uvedeny dále v popisu jednotlivých měřicích kampaní. [40]

4.6. Zpracování dat

Změření akustických dat v terénu je pouze část práce s daty. Takto změřený surový záznam zvuku se musí následně zpracovat v příslušném softwaru. Společnost Brüel & Kjaer vyvinula pro své zvukoměry program Brüel & Kjaer Type 7820 Evaluator, ve kterém byl zvukový záznam zpracován. V Evaluatoru se pracovalo se záznamy ekvivalentních hladin akustického tlaku A , $L_{Aeq,T}$, ze kterých byly na základě seznamu průjezdů, vytvořeným během měření, vyznačeny jednotlivé průjezdy. Neplatné průjezdy byly pro další hodnocení vynechány. Průjezd se volil tak, aby hodnota $L_{Aeq,T}$ na konci a na začátku průjezdu klesla přibližně o 10 dB pod maximální hladinu, tím byl vytvořen průjezd vlaku, který obsahoval dostatečnou akustickou energii. Doba průjezdu byla závislá na druhu a rychlosti vlaku, nejkratší doba průjezdu byla 7 s. Dále byl kladen důraz, aby doba průjezdu dané vlakové soupravy byla na obou měřicích bodech stejná. Výsledkem zpracování byla ekvivalentní hladina akustického tlaku A , $L_{Aeq,T}$ a hladina expozice zvuku A , L_{AE} průjezdů. Dále byly získány hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku A , $L_{Aeq,T}$ v třetinooktávovém frekvenčním spektru v rozsahu 12,5 Hz – 16 kHz. **Pracovalo se s 329 průjezdy, měření probíhalo na dvou zvukoměrech zároveň, celkově se tedy v Evaluatoru pracovalo s 658 průjezdy.**

Další část práce s daty představovaly operace v softwaru Microsoft Excel. Podstatou práce v excelu bylo provedení rozdílu hladin akustického tlaku dvojice měřicích bodů. Dále byl pomocí aritmetického průměru zjištěn rozdíl hladin akustického tlaku pro celý měřicí den, rozdíly byly rozděleny dle směru jízdy, druhu vlakové soupravy a jejich kombinace. Při běžném průměrování průjezdů vlakových souprav je používán energetický průměr, v této práci byl energetický průměr nahrazen aritmetickým průměrem, z důvodu práce s energetickými rozdíly, kde lze použít aritmetický průměr.

Výsledkem jsou aritmetické průměry rozdílu ekvivalentních hladin akustického tlaku A , $L_{Aeq,T}$, hladin expozice zvuku L_{AE} a $L_{Aeq,T}$ v třetinooktávovém frekvenčním spektru v rozsahu 12,5 Hz – 16 kHz. Součástí bylo i vytvoření grafů pro jednotlivé výsledky. Celkem bylo vytvořeno 296 grafů.

4.7. Popis měřicích kampaní

V této kapitole jsou popsána jednotlivá měření včetně meteorologických podmínek, jednotlivých průjezdů, popřípadě náhodné jevy ovlivňující měření. V následující tabulce 3 jsou uvedeny všechny měřicí kampaně rozdělené podle data měření s popisem, na jakých lokalitách se měřilo a počtem změřených průjezdů. Měření provedena v jeden den jsou označena jako jedna měřicí kampaň.

Tabulka 3: Seznam měřicích kampaní

Měřicí kampaň	Datum	Lokalita	Počet průjezdů
1	04.04.2023	Liboc	9
1	04.04.2023	Roztoky u Prahy	21
2	27.04.2023	Liboc	12
3	04.05.2023	Roztoky u Prahy	28
4	11.05.2023	Hloubětín	42
5	31.05.2023	Liboc	9
5	31.05.2023	Roztoky u Prahy	14
6	29.06.2023	Hloubětín	45
7	10.08.2023	Roztoky u Prahy	22
7	10.08.2023	Liboc	8
8	11.08.2023	Hloubětín	39
9	14.09.2023	Hloubětín	30
10	22.09.2023	Liboc	9
11	03.10.2023	Roztoky u Prahy	15
12	07.12.2023	Roztoky u Prahy	11
12	07.12.2023	Liboc	5
12	07.12.2023	Hloubětín	10

První měřicí kampaň

První sada měření proběhla 4.4.2023 v lokalitách Liboc a Roztoky u Prahy.

V městské části Liboc měření bylo provedeno v časovém rozmezí 9:30 – 11:40. V této době bylo změřeno a zaznamenáno celkem devět průjezdů, čtyři směrem na Kladno a pět do Prahy. Tyto zachycené průjezdy jsou vypsány v následující tabulce 4. Meteorologické podmínky byly pro měření hluku příznivé, teplota se pohybovala v rozmezí 2–6 °C, relativní vlhkost vzduchu dosahovala hodnoty 40 %. Většinu času měření bylo oblačno s nárazovým větrem do 3 m/s. Tlak vzduchu byl 996 hPa. V době prvního měření byla daná vegetace zcela bez listů, z toho důvodu nebyl měřen LAI index. Během měření v této lokalitě nebyly zaznamenány žádné výjimečné události ovlivňující hlukovou situaci v době průjezdu vlaku.

Tabulka 4: Seznam průjezdů – Liboc 4.4.2023

Průjezd	Směr	Čas průjezdu	Doba průjezdu	Rychlost (km/h)	Označení vozu	M7		M8	
						L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)	L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)
1	Kladno	9:53:15	0:00:08	58	Os 9814–2 vozy	64,8	73,8	67,8	76,8
2	Praha	9:59:14	0:00:08	53	Os 9819–2 vozy	63,4	72,5	67,0	76,0
3	Praha	10:02:20	0:00:08	45	Os 9821–2 vozy	61,5	70,5	64,9	73,9
4	Kladno	10:22:26	0:00:16	50	Sp 1568–4 vozy	73,2	85,2	75,7	87,7
5	Praha	10:36:43	0:00:15	39	R 1235–4 vozy	66,8	78,6	68,1	79,9
6	Kladno	10:54:37	0:00:09	43	Os 9856–2 vozy	62,9	72,5	66,2	75,7
7	Praha	10:58:26	0:00:08	44	Os 9861–2 vozy	61,6	70,7	64,9	73,9
8	Kladno	11:22:07	0:00:08	44	Sp 1566–4 vozy	65,4	74,4	68,5	77,6
9	Praha	11:34:06	0:00:12	46	Sp 1571–4 vozy	69,0	79,8	72,0	82,8

Na toto měření navazovalo měření v lokalitě Roztoky u Prahy. Měření začalo ve 12:30 a poslední průjezd byl zaznamenán ve 14:20. Meteorologické podmínky byly pro měření hluku příznivé, teplota se pohybovala v rozmezí 9–10 °C, relativní vlhkost vzduchu dosahovala hodnoty 25 %. Většinu času měření bylo skoro jasno s nárazovým větrem do 3 m/s. Tlak vzduchu byl 1003 hPa. Celkově bylo změřeno 21 průjezdů, které jsou zaznamenány v tabulce 5. V době prvního měření byla daná vegetace zcela bez listí, z toho důvodu nebyl měřen LAI index. Během měření v této lokalitě nebyly zaznamenány žádné výjimečné události ovlivňující hlukovou situaci v době průjezdu vlaku.

Tabulka 5: Seznam průjezdů – Roztoky u Prahy 4.4.2023

Průjezd	Směr	Čas průjezdu	Doba průjezdu	Rychlost (km/h)	Označení vozu	M3		M4	
						L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)	L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)
1	Praha	12:44:30	0:00:07	74	Os 28125–2 vozy	62,3	70,8	63,0	71,4
2	Roztoky	12:48:48	0:00:09	62	Os 28126–2 vozy	59,7	69,3	59,8	69,3
3	Roztoky	12:51:36	0:00:24	51	Cargo –20 vozů	65,8	79,6	68,4	82,2
4	Roztoky	12:55:33	0:00:10	72	Os 6914–3 vozy	62,6	72,6	64,4	74,4
5	Praha	12:58:25	0:00:16	81	R 683–7 vozů	76,2	88,2	78,6	90,6
6	Roztoky	13:03:56	0:00:15	78	R 688–7 vozů	73,4	85,1	76,5	88,3
7	Praha	13:07:17	0:00:09	67	Os 9631–3 vozy	62,8	72,3	64,5	74,1
8	Praha	13:16:46	0:00:15	72	EC 173–10 vozů	66,9	78,6	68,9	80,6
9	Roztoky	13:26:18	0:00:09	80	Os 9634–3 vozy	65,2	74,8	66,4	76,0
10	Praha	13:33:11	0:00:08	77	Os 9633–3 vozy	68,8	77,9	69,0	78,0
11	Roztoky	13:40:41	0:00:12	73	R 610–7 vozů	61,9	72,7	66,8	77,6
12	Praha	13:43:52	0:00:08	67	Os 28127–2 vozy	65,4	74,4	67,3	76,3
13	Roztoky	13:47:08	0:00:08	70	Os 28128–2 vozy	56,8	65,8	58,3	67,3
14	Roztoky	13:49:50	0:00:16	58	Cargo–2 vozy	66,3	78,3	68,3	80,3
15	Roztoky	13:54:46	0:00:09	62	os 6916–3 vozy	60,4	70,0	62,8	72,3
16	Praha	14:02:35	0:00:08	91	Os 6913–3 vozy	68,0	77,1	68,7	77,8
17	Roztoky	14:03:40	0:00:16	88	R 686–7 vozů	73,7	85,7	76,0	88,1
18	Praha	14:05:48	0:00:20	58	Cargo –13 vozů	75,1	88,1	75,8	88,8
19	Praha	14:09:14	0:00:21	62	Cargo–20 vozů	73,5	86,7	79,0	92,2
20	Roztoky	14:13:27	0:00:12	64	Cargo–8 vozů	72,3	83,1	72,8	83,6
21	Praha	14:13:43	0:00:07	70	Os 28129–2 vozy	63,6	72,1	63,2	71,7

Druhá měřicí kampaň

Druhé měření, dne 27.4.2023 proběhlo pouze na lokalitě Liboc. Měření probíhalo od 9:30 do 12:00. V tomto časovém rozmezí bylo zaznamenáno celkem 12 průjezdů, z toho 4 musely být vyřazeny. První 3 průjezdy byly vyřazeny z důvodu nefunkčnosti jednoho ze zvukoměrů, dále průjezd číslo 9 byl vyřazen z důvodu narušení hlukové situace sanitním vozem. Veškeré záznamy z měření jsou zobrazeny v tabulce 6. Meteorologické podmínky byly pro měření hluku příznivé, teplota se pohybovala v rozmezí 10–14 °C, relativní vlhkost vzduchu dosahovala hodnoty 35 %. Většinu času měření bylo oblačno s nárazovým větrem do 3 m/s. Tlak vzduchu byl 982 hPa. Součástí měření bylo zjištění i LAI indexu, který dosahoval hodnoty 1,4. Na základě rozboru fotografického snímku bylo zjištěno, že 36% fotografie tvoří listová plocha.

Tabulka 6: Seznam průjezdů – Liboc 27.4.2023

Průjezd	Směr	Čas průjezdu	Doba průjezdu	Rychlost (km/h)	označení vozu	M7		M8	
						L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)	L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)
1	Praha	9:38:00	vyřazeno	48	Sp 1569–4 vozy	-	-	-	-
2	Kladno	9:56:00	vyřazeno	43	Os 9814–2 vozy	-	-	-	-
3	Praha	10:06:49	vyřazeno	48	-	-	-	-	-
4	Praha	10:09:49	0:00:07	48	Os 9821–2 vozy	65,4	73,9	68	76,5
5	Kladno	10:21:30	0:00:16	43	Sp 1568–4 vozy	73	85,1	74,2	86,3
6	Praha	10:38:35	0:00:14	46	R 1235–4 vozy	66,9	78,3	68,5	80
7	Kladno	10:55:46	0:00:09	38	Os 9856–2 vozy	62,9	72,5	65	74,6
8	Praha	10:59:29	0:00:09	46	Os 9861–2 vozy	61,6	71,1	64,6	74,1
9	Kladno	11:22:22	vyřazeno	36	Sp 1566–4 vozy	-	-	-	-
10	Praha	11:34:48	0:00:14	40	Sp 1571–4 vozy	70,6	82	71,9	83,4
11	Kladno	11:54:23	0:00:09	36	Os 9816–2 vozy	62,5	72,1	65	74,5
12	Praha	11:58:17	0:00:07	39	Os 9823–2 vozy	64	72,4	66,2	74,7

Třetí měřicí kampaň

Dne 4.5.2023 bylo v časovém rozmezí 10:20–12:50 provedeno druhé měření na lokalitě Roztoky u Prahy. Meteorologické podmínky byly pro měření hluku příznivé, teplota se pohybovala v rozmezí 17–25 °C, relativní vlhkost vzduchu dosahovala hodnoty 40 %. Většinu času měření byla obloha jasná a bylo bezvětrí. Tlak vzduchu byl 1002 hPa. Zaznamenané průjezdy jsou vypsány v následující tabulce 7. Celkem bylo změřeno 29 vlakových souprav, ze kterých byly následně vyřazeny 4 průjezdy. Důvodem vyřazení bylo použití výstražného systému vlaku, souběh dvou vlaků a narušení zvukové situace průletem letadla. V době měření LAI index dosahoval hodnoty 1,8, listová plocha tvořila přibližně 74 % fotografického snímku.

Tabulka 7: Seznam průjezdů – Roztoky u Prahy 4.5.2023

Průjezd	Směr	Čas průjezdu	Doba průjezdu	Rychlost (km/h)	Označení vozu	M3		M4	
						L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)	L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)
1	Roztoky	10:25:52	0:00:09	74	Os 9624–3 vozy	61,8	71,4	62,8	72,4
2	Praha	10:32:33	0:00:09	81	Os 9632–3 vozy	68,2	77,8	69,2	78,8
3	Praha	10:44:02	0:00:09	68	Os 28121–2 vozy	69,2	78,7	69,3	78,9
4	Roztoky	10:45:23	0:00:14	83	EC 174–9 vozů	61,8	73,2	66,5	77,9
5	Roztoky	10:52:26	vyřazeno	20	Os 28122–2 vozy	-	-	-	-
6	Praha	10:52:26	0:00:15	81	R 607–7 vozů	77,1	88,9	79,3	91,1
7	Roztoky	10:55:46	0:00:09	74	Os 9626–3 vozy	65,2	74,7	66,8	76,3
8	Praha	11:03:47	vyřazeno	79	Os 9625–3 vozy	-	-	-	-
9	Roztoky	11:03:47	vyřazeno	72	R 690–7 vozů	-	-	-	-
10	Praha	11:07:36	0:00:17	62	Cargo–6 vozů	76	88,3	78,2	90,5
11	Praha	11:10:41	0:00:35	72	Cargo–30 vozů	64,5	79,9	67,7	83,2
12	Praha	11:18:31	0:00:16	76	R 681–7 vozů	63,6	75,7	66,2	78,2
13	Roztoky	11:26:20	0:00:10	78	Os 9628–3 vozy	65,8	75,8	68,4	78,4
14	Praha	11:32:33	0:00:10	75	Os 9627–3 vozy	66	76	67,3	77,3
15	Roztoky	11:40:31	vyřazeno	-	R 612–7 vozů	-	-	-	-
16	Praha	11:44:25	0:00:10	86	Os 28123–2 vozy	67,4	77,4	66,6	76,6
17	Praha	11:48:25	0:00:35	63	Cargo–16 vozů	67,2	82,6	70,4	85,8
18	Roztoky	11:51:23	0:00:24	66	Cargo–17 vozů	67,3	81,1	74,4	88,2
19	Praha	11:52:25	0:00:18	69	Cargo–10 vozů	72	84,5	73,4	85,9
20	Roztoky	11:56:09	0:00:09	80	Os 6912–3 vozy	65,8	75,4	67	76,5
21	Roztoky	12:00:40	0:00:34	72	Cargo–33 vozů	64,7	80	68,6	83,9
22	Praha	12:03:19	0:00:10	71	Os 6911–3 vozy	63,8	73,8	68,3	78,3
23	Roztoky	12:07:04	0:00:10	79	Os 9612–3 vozy	68,7	78,7	68,8	78,8
24	Roztoky	12:10:16	0:00:26	60	Cargo–23 vozů	68,9	83	71,9	86,1
25	Praha	12:14:24	0:00:12	69	R 609–7 vozů	63,9	74,7	66,8	77,6
26	Roztoky	12:25:50	0:00:11	50	Os 9630–3 vozy	60,5	70,9	62,8	73,2
27	Praha	12:33:18	0:00:11	77	Os 9629–3 vozy	68,1	78,5	69,8	80,2
28	Praha	12:40:45	0:00:16	76	EC 171–9 vozů	62,1	74,2	64,3	76,3
29	Praha	12:44:26	0:00:13	75	Os 28125–2 vozy	66,3	77,5	70,1	80,9

Čtvrtá měřicí kampaň

Celkově čtvrtá měřicí kampaň byla provedena 11.5.2023 na lokalitě Hloubětín. Měření probíhalo dvě a půl hodiny od 8:30 do 11:00. V tomto časovém úseku bylo zaznamenáno celkem 42 průjezdů, ze kterých bylo 8 vyřazeno z důvodu změny měřicího místa. Záznamový list je zobrazen v tabulce 8. Meteorologické podmínky byly pro měření hluku příznivé, teplota se pohybovala v rozmezí 18–22 °C, relativní vlhkost vzduchu dosahovala hodnoty 45 %. Většinu času měření bylo oblačno s nárazovým větrem do 3 m/s. Tlak vzduchu byl 988 hPa. Součástí měření bylo zjištění i LAI indexu, který dosahoval hodnoty 1,3.

Tabulka 8: Záznam průjezdů – Hloubětín 11.5.2023

Průjezd	Směr	Čas průjezdu	Doba průjezdu	Rychlost (km/h)	Označení vozu	M1		M2	
						L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)	L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)
1	Kolín	8:52:50	vyřazeno	-	Os 8603–3 vozy	-	-	-	-
2	Střed	8:54:00	vyřazeno	-	Os 8824–3 vozy	-	-	-	-
3	Praha	8:56:00	vyřazeno	-	Os 9320–3 vozy	-	-	-	-
4	Kolín	8:58:00	vyřazeno	-	Os 8821–6 vozů	-	-	-	-
5	Praha	9:01:10	vyřazeno	-	RJ 1042–8 vozů	-	-	-	-
6	Praha	9:06:11	vyřazeno	-	Os 8822–6 vozů	-	-	-	-
7	Kolín	9:08:12	vyřazeno	-	Os 9321–6 vozů	-	-	-	-
8	Kolín	9:10:13	vyřazeno	-	LE 1255–5 vozů	-	-	-	-
9	Praha	9:13:14	0:00:12	109	RJ 1002–8 vozů	67,1	77,9	71,5	82,3
10	Střed	9:19:28	0:00:13	115	R 950–6 vozů	74,1	85,2	77,1	88,2
11	Kolín	9:20:21	0:00:13	90	R 945–6 vozů	69,7	80,9	72,7	83,9
12	Střed	9:23:16	0:00:15	112	R 887–8 vozů	76,8	88,5	79,0	90,8
13	Praha	9:23:52	0:00:10	106	Os 9322–3 vozy	65,2	75,2	69,0	79,0
14	Střed	9:26:35	0:00:12	125	Railjet 574–8 vozů	66,4	77,2	69,0	79,8
15	Kolín	9:27:32	0:00:12	102	R 961–6 vozů	68,9	79,7	71,4	82,2
16	Kolín	9:32:34	0:00:13	106	EC 125–8 vozů	70,6	81,8	73,0	84,2
17	Kolín	9:37:02	0:00:12	112	Os 8605–3 vozy	69,4	80,2	71,2	82,0
18	Praha	9:38:19	0:00:12	80	Os 8826–3 vozy	71,6	82,3	75,1	85,9
19	Praha	9:40:33	0:00:20	56	Cargo –26 vozů	70,1	83,2	74,1	87,1
20	Kolín	9:43:37	0:00:11	109	SuperCity 503–7 vozů	67,7	78,1	70,3	80,7
21	Střed	9:45:22	0:00:11	106	R 932–7 vozů	69,6	80,0	73,0	83,4
22	Střed	9:47:23	0:00:11	112	IC 546–7 vozů	70,7	81,2	74,4	84,8
23	Střed	9:50:03	0:00:15	96	R 988–7 vozů	79,0	90,8	81,9	93,6
24	Kolín	9:52:41	0:00:14	99	RJ 1033–8 vozů	69,5	80,9	72,1	83,5
25	Praha	9:53:15	0:00:11	80	Os 8600–3 vozy	60,6	71,0	63,1	73,5
26	Střed	10:04:35	0:00:15	102	EC 277–8 vozů	80,0	91,7	83,0	94,8
27	Praha	10:06:02	0:00:32	80	Cargo–24 vozů	67,9	83,0	71,2	86,3
28	Kolín	10:06:59	0:00:12	77	Os 9323–3 vozy	65,5	76,3	67,9	78,7
29	Střed	10:12:12	0:00:11	99	R 867–5 vozů	65,5	75,9	68,4	78,8
30	Praha	10:13:22	0:00:13	109	RJ 1004–8 vozů	70,4	81,5	74,6	85,7
31	Kolín	10:18:02	0:00:24	80	R 925–6 vozů	79,2	93,0	81,9	95,7
32	Kolín	10:20:18	0:00:11	105	R 979–7 vozů	74,1	84,5	76,9	87,3
33	Střed	10:20:44	0:00:08	101	LE 1252–5 vozů	64,1	73,2	67,2	76,3
34	Praha	10:22:57	0:00:16	101	IC 512–5 vozů	65,4	77,5	67,3	79,3
35	Praha	10:23:29	0:00:12	90	Os 8600–3 vozy	62,5	73,3	68,3	79,1
36	Kolín	10:25:07	0:00:13	115	EC 115–8 vozů	69,5	80,7	72,1	83,3
37	Praha	10:26:41	0:00:19	90	Os 9324–3 vozy	65,0	77,8	69,6	82,3
38	Kolín	10:34:12	0:00:13	119	Railjet 257–8 vozů	67,6	78,8	70,6	81,7
39	Praha	10:35:52	0:00:11	120	EC 222–8 vozů	75,5	86,0	78,5	88,9
40	Kolín	10:37:35	0:00:12	85	Os 8607–3 vozy	66,9	77,7	69,4	80,2
41	Střed	10:38:58	0:00:12	112	R 948–6 vozů	68,6	79,4	71,5	82,3
42	Kolín	10:52:05	0:00:14	118	RJ 1007–8 vozů	67,7	79,1	70,2	81,6

Pátá měřicí kampaň

Během páté sady měření dne 31.5.2023 byly provedeny celkem 2 měření, první v lokalitě Liboc a druhé v Roztokách u Prahy.

V časovém rozmezí 9:00-11:00 bylo měřeno v Liboci. Celkem bylo zaznamenáno 9 průjezdů, které jsou vypsány v tabulce 9. Během měření v této lokalitě nebyly zaznamenány žádné výjimečné události ovlivňující hlukovou situaci v době průjezdu vlaku. Meteorologické podmínky byly pro měření hluku příznivé, teplota vzduchu byla 18 °C, relativní vlhkost vzduchu se pohybovala okolo 40 %. Většinu času měření bylo oblačno s nárazovým větrem do 3 m/s. Tlak vzduchu dosahoval hodnoty 986 hPa. LAI index v době měření byl roven 3,4 a listová plocha tvořila přibližně 76 % daného fotografického snímku.

Tabulka 9: Záznam průjezdů – Liboc 31.5.2023

Průjezd	Směr	Čas průjezdu	Doba průjezdu	Rychlost (km/h)	Označení vozu	M7		M8	
						L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)	L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)
1	Kladno	9:24:17	0:00:14	45	R 1232–4 vozy	67,7	79,1	68,1	79,6
2	Praha	9:37:22	0:00:17	48	Sp 1569–4 vozy	69,4	81,7	70,7	83,0
3	Praha	9:50:56	0:00:10	46	Os 9819–2 vozy	64,7	74,7	66,1	76,1
4	Kladno	9:56:18	0:00:10	52	Os 9814–2 vozy	66,0	76,0	67,5	77,5
5	Praha	10:02:20	vyřazeno	45	Os 9821–2 vozy	-	-	-	-
6	Kladno	10:21:38	0:00:18	38	Sp 1568–4 vozy	74,1	86,6	74,4	86,9
7	Praha	10:37:53	0:00:14	40	R 1235–4 vozy	65,9	77,4	67,0	78,4
8	Kladno	10:54:49	0:00:09	49	Os 9856–2 vozy	64,6	74,2	66,0	75,5
9	Praha	10:59:29	0:00:10	47	Os 9861–2 vozy	65,2	75,2	68,2	78,2

Druhé měření dne 31.5.2023 probíhalo v Roztokách u Prahy od 12:00 do 13:30, kdy bylo změřeno celkem 14 průjezdů vlaků. Těchto 14 průjezdů je zapsáno v následující tabulce 10, celkem 2 průjezdy byly z měření vyřazeny z důvodu narušení zvukové situace průletem letadla. Meteorologické podmínky byly pro měření hluku příznivé, teplota se pohybovala v rozmezí 21–30 °C, relativní vlhkost vzduchu dosahovala hodnoty 30 %. Většinu času měření bylo jasno s nárazovým větrem do 2 m/s. Tlak vzduchu byl 1001 hPa. LAI index v době měření byl roven 2,4 a listová plocha tvořila přibližně 79 % daného fotografického snímku.

Tabulka 10: Záznam průjezdů – Roztoky u Prahy 31.5.2023

Průjezd	Směr	Čas průjezdu	Doba průjezdu	Rychlost (km/h)	Označení vozu	M3		M4	
						L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)	L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)
1	Praha	12:18:43	0:00:11	67	R 609–7 vozů	65,7	76,1	68,2	78,6
2	Roztoky	12:25:43	vyřazeno	-	Os 9630–3 vozy	-	-	-	-
3	Praha	12:33:17	0:00:13	66	Os 9629–3 vozy	68,3	79,4	69,9	81,1
4	Praha	12:35:37	0:00:09	45	Lokomotiva	67,9	77,4	66,4	75,9
5	Praha	12:43:30	0:00:09	55	Os 28125–2 vozy	61,0	70,5	63,1	72,6
6	Roztoky	12:48:05	0:00:09	50	Os 28126–2 vozy	60,8	70,3	62,0	71,6
7	Roztoky	12:56:54	0:00:09	50	Os 6914–3 vozy	59,8	69,3	65,9	75,4
8	Praha	12:57:49	0:00:14	72	R 683–7 vozů	76,2	87,7	78,4	89,8
9	Roztoky	13:01:43	vyřazeno	-	EC 378–10 vozů	-	-	-	-
10	Roztoky	13:06:56	0:00:14	82	R 688–7 vozů	74,0	85,4	76,3	87,8
11	Praha	13:08:09	0:00:09	64	Os 9631–3 vozy	66,3	75,8	67,9	77,4
12	Praha	13:14:39	0:00:14	80	EC 173–10 vozů	66,9	78,3	69,9	81,4
13	Roztoky	13:16:17	0:00:25	41	Cargo–17	69,6	83,6	70,4	84,3
14	Roztoky	13:26:14	0:00:11	65	Os 9634–3 vozy	65,0	75,4	67,5	77,9

Šestá měřicí kampaň

Dne 29.6.2023 proběhlo v pořadí druhé měření v lokalitě Hloubětín. Měření probíhalo 2 hodiny od 8:00 do 10:00, během této doby bylo změřeno celkem 45 průjezdů na železniční trati 001, které jsou vypsány v tabulce 11. Z 45 průjezdů bylo následně 12 vyřazeno z důvodu křížení dvou průjezdů a poruchy na voze, která narušovala hlukovou situaci. Meteorologické podmínky byly pro měření hluku příznivé, obloha byla jasná a bezvětří. Teplota se pohybovala v rozmezí 25–30 °C, relativní vlhkost vzduchu dosahovala hodnoty 35 %. Tlak vzduchu byl 1001 hPa. Součástí měření bylo zjištění i LAI indexu, který dosahoval hodnoty 2,0.

Tabulka 11: Záznam průjezdů – Hloubětín 29.6.2023

Průjezd	Směr	Čas průjezdu	Doba průjezdu	Rychlost (km/h)	Označení vozu	M1		M2	
						L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)	L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)
1	Kolín	8:13:10	0:00:16	105	Supercity 516–7 vozů	80,0	92,0	81,2	93,3
2	Praha	8:17:02	0:00:16	94	R 934–6 vozů	77,5	89,5	81,3	93,3
3	Praha	8:19:27	0:00:13	81	R 874–8 vozů	63,3	74,4	66,2	77,3
4	Kolín	8:21:33	0:00:14	91	EC 141–10 vozů	75,2	86,7	77,0	88,5
5	Praha	8:27:17	0:00:12	77	Sp 1524–6 vozů	70,4	81,2	73,8	84,6
6	Střed	8:28:02	0:00:13	110	R 962–10 vozů	70,4	81,5	72,8	84,0
7	Kolín	8:28:57	0:00:11	95	R 977–7 vozů	71,2	81,6	72,5	82,9
8	Praha	8:30:14	0:00:11	85	LET 1290–5 vozů	65,0	75,5	67,2	77,6
9	Praha	8:33:46	vyřazeno	-	-	-	-	-	-
10	Kolín	8:33:46	vyřazeno	-	-	-	-	-	-
11	Střed	8:35:46	0:00:11	94	Railjet 578–8	67,4	77,8	69,2	79,6
12	Praha	8:40:46	vyřazeno	-	-	-	-	-	-
13	Kolín	8:40:46	vyřazeno	-	-	-	-	-	-
14	Kolín	8:40:46	vyřazeno	-	-	-	-	-	-
15	Praha	8:42:54	0:00:13	62	Os 8822–6 vozů	63,3	74,4	65,2	76,4
16	Praha	8:45:17	0:00:15	76	Railjet 574–8 vozů	60,3	72,0	62,8	74,6
17	Praha	8:47:33	0:00:17	111	IC 576–10 vozů	77,9	90,2	80,7	93,0
18	Kolín	8:49:37	0:00:11	103	R 923–7 vozů	79,8	90,2	81,3	91,7
19	Střed	8:50:52	0:00:10	103	R950 - 6 vozů	78,7	88,7	80,4	90,4
20	Praha	8:54:42	0:00:10	78	Os 8824–3 vozy	63,6	73,6	71,5	81,5
21	Praha	8:58:13	vyřazeno	-	-	-	-	-	-
22	Kolín	9:01:41	0:00:11	88	RJ 1003–8 vozů	69,7	80,1	71,2	81,6
23	Střed	9:04:36	0:00:10	82	R 990–7 vozů	65,4	75,4	67,3	77,3
24	Praha	9:05:51	0:00:15	79	Sp 1526–6 vozů	69,5	81,3	72,0	83,7
25	Střed	9:06:41	0:00:14	90	RJ 1002–8 vozů	68,0	79,5	69,9	81,4
26	Kolín	9:11:06	0:00:11	84	Os 9321–3 vozy	67,2	77,6	69,2	79,6
27	Střed	9:14:24	0:00:09	96	LE 1255–5 vozů	65,0	74,6	66,2	75,8
28	Kolín	9:16:19	0:00:08	85	Vectron–1 vůz	61,5	70,5	62,9	72,0
29	Praha	9:18:10	0:00:12	83	R 894–6 vozů	74,8	85,6	78,4	89,2
30	Střed	9:18:43	0:00:12	103	EC 125–10 vozů	74,5	85,3	75,9	86,6
31	Praha	9:26:02	0:00:12	80	Os 9322–3 vozy	66,0	76,8	70,5	81,3
32	Kolín	9:29:59	0:00:10	108	R 961–6 vozů	70,0	80,0	71,2	81,2
33	Praha	9:33:13	vyřazeno	-	-	-	-	-	-
34	Kolín	9:33:13	vyřazeno	-	-	-	-	-	-
35	Praha	9:35:05	0:00:12	70	Os 8826–3 vozy	64,6	75,4	68,6	79,4
36	Kolín	9:37:24	0:00:09	99	Os 8605–3 vozy	70,6	80,1	72,0	81,6
37	Praha	9:37:51	0:00:12	103	R 932–7 vozů	68,6	79,3	71,5	82,3
38	Kolín	9:40:13	vyřazeno	-	-	-	-	-	-
39	Praha	9:40:13	vyřazeno	-	-	-	-	-	-
40	Kolín	9:44:20	0:00:12	108	SuperCity 503–7 vozů	68,4	79,2	70,2	81,0
41	Praha	9:46:14	0:00:35	85	Carho–31 vozů	69,8	85,2	71,8	87,3
42	Střed	9:48:53	0:00:14	101	R 988–7 vozů	79,9	91,4	82,4	93,9
43	Kolín	9:55:13	0:00:12	87	Os 9323–3 vozy	67,1	77,9	70,2	81,0
44	Kolín	9:56:13	vyřazeno	-	-	-	-	-	-
45	Praha	9:56:13	vyřazeno	-	-	-	-	-	-

Sedmá měřicí kampaň

Dne 10.8.2023 bylo provedeno měření v lokalitách Roztoky u Prahy a Liboc.

V Roztokách u Prahy bylo změřeno celkem 22 průjezdů vlaků v časovém rozmezí 9:30 – 11:45. Z 22 průjezdů bylo celkem 10 vyřazeno z důvodu častého leteckého provozu, který narušoval hlukovou situaci. Záznam průjezdů je zobrazen v tabulce 12. Meteorologické podmínky byly pro měření hluku příznivé, teplota se pohybovala v rozmezí 21–30 °C, relativní vlhkost vzduchu dosahovala hodnoty 30 %. Většinu času měření bylo polojasno s nárazovým větrem do 3 m/s. Tlak vzduchu byl 999 hPa. LAI index v době měření byl roven 3,4 a listová plocha tvořila přibližně 84 % daného fotografického snímku. Před měřením muselo být zvoleno jiné měřicí místo, které snímalo hluk mimo vegetaci, z důvodu neočekávaného nárůstu vegetace. Při hodnocení naměřených hodnot bylo zjištěno, že nové měřicí místo bylo špatně zvoleno, nacházelo se přibližně o 5 m větší vzdálenosti od osy železniční trati. Z toho důvodu není měření počítáno do výsledků práce.

Tabulka 12: Záznam průjezdů – Roztoky u Prahy 10.8.2023

Průjezd	Směr	Čas průjezdu	Doba průjezdu	Rychlost (km/h)	Označení vozu	M3		M4	
						L _{Aeq} (dB)	L _{AE} (dB)	L _{Aeq} (dB)	L _{AE} (dB)
1	Roztoky	9:50:12	vyřazeno	40	Cargo–20 vozů	-	-	-	-
2	Roztoky	9:57:12	vyřazeno	52	Os 6908–3 vozy	-	-	-	-
3	Praha	9:58:12	0:00:16	62	R 967–7 vozů	75,1	87,1	74,7	86,7
4	Praha	10:07:28	vyřazeno	48	Os 6909–3 vozy	-	-	-	-
5	Praha	10:15:28	vyřazeno	67	railjet 257–9 vozů	-	-	-	-
6	Praha	10:18:28	0:00:17	64	R 607–7 vozů	64,6	76,9	64	76,3
7	Praha	10:23:16	vyřazeno	42	Cargo–6 vozů	-	-	-	-
8	Roztoky	10:30:16	0:00:12	56	Os 9624–3 vozy	61,6	72,4	61,1	71,9
9	Praha	10:33:16	vyřazeno	58	Os 9632–3 vozy	-	-	-	-
10	Praha	10:42:59	0:00:38	51	Cargo–20 vozů	67,8	83,6	67,9	83,7
11	Praha	10:45:20	0:00:11	39	Os 28121–2 vozy	57	67,4	59,4	69,8
12	Roztoky	10:48:20	vyřazeno	46	Os 28122–2 vozy	-	-	-	-
13	Roztoky	10:49:09	0:00:17	66	EC 174–9 vozů	63,2	75,5	60,9	73,2
14	Roztoky	10:57:11	0:00:12	64	Os 9626–3 vozy	64,2	75	64	74,8
15	Praha	11:00:14	0:00:18	76	R 681–7 vozů	74,7	87,2	74,1	86,6
16	Roztoky	11:05:15	0:00:13	64	R 690–7 vozů	73,9	85	74,6	85,7
17	Roztoky	11:11:02	vyřazeno	48	Cargo–36 vozů	-	-	-	-
18	Praha	11:12:02	vyřazeno	50	Os 9625–3 vozy	-	-	-	-
19	Roztoky	11:15:02	0:00:24	38	Cargo–20 vozů	66,6	80,4	67,3	81,1
20	Praha	11:21:17	vyřazeno	66	ES 453–9 vozů	-	-	-	-
21	Roztoky	11:26:17	0:00:10	60	Os 9628–3 vozy	63,7	73,7	63,6	73,6
22	Roztoky	11:31:38	0:00:27	32	Cargo–10 vozů	72,7	87	68,2	82,5

Na předchozí měření navazovalo měření v lokalitě Liboc, které bylo provedeno v čase 12:30 – 14:45. V této době bylo zaznamenáno celkem 8 průjezdů, které jsou vypsány v tabulce 13. Během měření v této lokalitě nebyly zaznamenány žádné výjimečné události ovlivňující hlukovou situaci v době průjezdu vlaku. Meteorologické podmínky byly pro měření hluku příznivé, teplota se pohybovala v rozmezí 20–22 °C, relativní vlhkost vzduchu dosahovala hodnoty 35 %. Většinu času měření bylo polojasno s nárazovým větrem do 3 m/s. Tlak vzduchu byl 983 hPa. LAI index v době měření byl roven 3,4 a listová plocha tvořila přibližně 75 % daného fotografického snímku.

Tabulka 13: Záznam průjezdů – Liboc 10.8.2023

Průjezd	Směr	Čas průjezdu	Doba průjezdu	Rychlost (km/h)	Označení vozu	M7		M8	
						L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)	L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)
1	Kladno	12:54:06	0:00:08	48	Os 9818–2 vozy	64,1	73,2	65,7	74,7
2	Praha	12:58:24	0:00:09	46	Os 9863–2 vozy	62,5	72,0	65,3	74,9
3	Kladno	13:22:07	0:00:14	44	Os 9828–2 vozy	67,8	79,2	68,9	80,4
4	Praha	13:34:37	0:00:17	54	SP 1585–4 vozy	70,7	83,0	72,5	84,9
5	Kladno	13:53:08	0:00:10	50	R 1234–4 vozy	66,6	76,6	68,4	78,4
6	Praha	13:58:01	0:00:12	50	Sp 1575–4 vozy	65,8	76,6	68,2	79,0
7	Kladno	14:22:01	0:00:17	48	Sp 1570–4 vozy	73,4	85,7	74,1	86,4
8	Praha	14:34:20	0:00:12	47	R 1237–4 vozy	68,6	79,4	69,9	80,7

Osmá měřicí kampaň

Celkově třetí měření v lokalitě Hloubětín bylo provedeno 11.8.2023 v časovém rozmezí 8:00 – 10:00. Během této doby bylo změřeno 39 průjezdů, ze kterých bylo následně vyřazeno 7 průjezdů z důvodu křížení a poruchy na voze. Záznam průjezdů je vypsán v tabulce 14. Meteorologické podmínky byly pro měření hluku příznivé, obloha byla jasná a bezvětří. Teplota se pohybovala v rozmezí 20–30 °C, relativní vlhkost vzduchu dosahovala hodnoty 50 %. Tlak vzduchu byl 997 hPa. Součástí měření bylo zjištění i LAI indexu, který dosahoval hodnoty 1,9.

Tabulka 14: Záznam průjezdů – Hloubětín 11.8.2023

Průjezd	Směr	Čas průjezdu	Doba průjezdu	Rychlost (km/h)	Označení vozu	M1		M2	
						L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)	L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)
1	Střed	8:15:17	0:00:15	98	Supercity 516–7 vozů	80,1	91,8	82,3	94,0
2	Kolín	8:20:23	0:00:14	100	R 977–7 vozů	81,2	92,6	82,8	94,3
3	Praha	8:20:23	vyřazeno	105	-	-	-	-	-
4	Kolín	8:20:23	vyřazeno	95	-	-	-	-	-
5	Praha	8:23:35	0:00:20	43	Os 5806–6 vozů	60,7	73,7	62,9	75,9
6	Střed	8:24:15	0:00:10	87	LET 1290–5 vozů	62,4	72,4	64,5	74,5
7	Praha	8:27:09	0:00:14	76	R 874–7 vozů	66,3	77,7	68,5	80,0
8	Kolín	8:27:42	0:00:14	87	R 977–7 vozů	73,5	85,0	75,4	86,9
9	Střed	8:31:48	0:00:16	113	IC 520–8 vozů	75,6	87,7	78,1	90,1
10	Kolín	8:34:19	0:00:15	75	EC 141–9 vozů	77,3	89,0	78,8	90,6
11	Praha	8:36:22	0:00:08	75	Os 2521–3 vozy	67,4	76,5	71,4	80,4
12	Kolín	8:37:48	0:00:08	85	Os 8603–3 vozy	71,8	80,9	75,0	84,0
13	Praha	8:38:13	0:00:16	80	IC 576–10 vozů	65,1	77,2	68,5	80,5
14	Praha	8:43:06	vyřazeno	79	-	-	-	-	-
15	Kolín	8:43:06	vyřazeno	-	-	-	-	-	-
16	Střed	8:43:06	0:00:11	98	R 950–6 vozů	79,1	89,5	81,3	91,7
17	Kolín	8:54:49	0:00:13	86	railjet 75–8 vozů	68,1	79,3	70,2	81,3
18	Střed	8:55:27	0:00:12	111	R 990–7 vozů	69,6	80,3	71,7	82,5
19	Kolín	8:58:13	0:00:10	87	Os 5815–6 vozů	72,9	82,9	75,2	85,2
20	Praha	8:58:32	0:00:09	82	Os 8824–3 vozy	69,7	79,2	73,2	82,8
21	Praha	9:03:38	vyřazeno	85	-	-	-	-	-
22	Střed	9:03:38	0:00:14	92	RJ 1002–8 vozů	67,0	78,4	69,4	80,9
23	Praha	9:05:26	0:00:09	59	Os 5808–3 vozy	66,1	75,7	68,6	78,1
24	Kolín	9:07:41	0:00:10	80	Os 9321–3 vozy	69,1	79,1	71,5	81,5
25	Střed	9:09:43	0:00:09	97	LE 1255–5 vozů	64,2	73,7	66,5	76,0
26	Praha	9:16:48	0:00:13	104	R 894–6 vozů	65,6	76,7	68,7	79,8
27	Střed	9:18:43	0:00:13	104	EC 125–10 vozů	76,9	88,1	79,6	90,7
28	Praha	9:20:28	0:00:12	92	R 894–6 vozů	72,6	83,4	76,1	86,9
29	Praha	9:24:50	0:00:10	84	Os 9322–3 vozy	66,7	76,7	70,8	80,8
30	Kolín	9:27:05	0:00:12	93	R 961-6 vozů	68,4	79,2	70,4	81,2
31	Kolín	9:32:57	0:00:12	102	EC 125–8 vozů	70,9	81,7	72,7	83,5
32	Střed	9:34:30	0:00:12	112	R 932–7 vozů	71,1	81,9	73,1	83,9
33	Kolín	9:35:17	0:00:12	94	RJ 1003–8 vozů	67,5	78,3	69,8	80,6
34	Kolín	9:37:15	0:00:11	87	Os 8605–3 vozy	69,7	80,1	71,9	82,3
35	Praha	9:43:53	vyřazeno	78	-	-	-	-	-
36	Praha	9:43:53	vyřazeno	88	-	-	-	-	-
37	Kolín	9:43:53	0:00:12	103	Railjet 574–6 vozů	67,7	78,5	70,1	80,9
38	Střed	9:45:47	0:00:14	101	R 932–7 vozů	79,2	90,7	81,5	92,9
39	Kolín	9:47:21	0:00:14	87	RJ 1033–8 vozů	68,7	80,2	70,0	81,4

Devátá měřicí kampaň

Dne 14.9.2023 bylo provedeno měření v lokalitě Hloubětín. Měření probíhalo od 12:00 a končilo okolo 14:00, během této doby bylo změřeno celkem 30 průjezdů a následně byly 2 průjezdy vyřazeny z důvodu poruchy na voze. Záznamy jednotlivých průjezdů jsou zobrazeny v tabulce 15. Meteorologické podmínky byly pro měření hluku příznivé, obloha byla zatažená a bezvětří. Teplota se pohybovala v rozmezí 20–29 °C, relativní vlhkost vzduchu dosahovala hodnoty 45 %. Tlak vzduchu byl 995 hPa. Součástí měření bylo zjištění i LAI indexu, který dosahoval hodnoty 0,9.

Tabulka 15: Záznam průjezdů – Hloubětín 14.9.2023

Průjezd	Směr	Čas průjezdu	Doba průjezdu	Rychlost (km/h)	Označení vozu	M1		M2	
						L _{Aeq} (dB)	L _{AE} (dB)	L _{Aeq} (dB)	L _{AE} (dB)
1	Střed	12:13:00	0:00:14	86	EC 279–9 vozů	80,7	92,1	84,2	95,7
2	Kolín	12:15:54	0:00:14	85	R 927–6 vozů	78,4	89,8	80,8	92,2
3	Kolín	12:19:01	0:00:12	78	R 869–5 vozů	70,5	81,3	73,0	83,8
4	Praha	12:23:09	0:00:10	81	Os 9328–3 vozy	67,8	77,8	71,7	81,7
5	Střed	12:23:47	0:00:10	93	LE 412–5 vozů	63,9	73,9	66,0	76,0
6	Kolín	12:24:37	0:00:12	80	R 891–7 vozů	70,9	81,7	73,7	84,5
7	Střed	12:28:21	0:00:14	101	R 9586–8 vozů	69,6	81,1	72,4	83,9
8	Praha	12:29:21	vyřazeno	-	-	-	-	-	-
9	Praha	12:32:15	0:00:11	99	RJ 1046–8 vozů	65,4	75,8	69,0	79,4
10	Praha	12:35:46	0:00:19	87	Cargo–16 vozů	71,3	84,1	75,6	88,4
11	Kolín	12:37:33	0:00:11	65	Os 8611–3 vozy	63,9	74,3	65,9	76,4
12	Praha	12:39:10	0:00:14	65	Lokomotiva	65,8	77,3	68,8	80,3
13	Praha	12:44:33	0:00:33	42	Cargo–20 vozů	64,6	79,8	67,8	83,0
14	Kolín	12:52:20	0:00:14	85	railjet 79–8 vozů	67,5	78,9	70,0	81,5
15	Střed	12:53:05	0:00:15	103	EC 220–8 vozů	71,3	83,0	74,1	85,8
16	Praha	12:53:36	0:00:11	62	Os 8606–3 vozy	60,1	70,5	64,7	75,1
17	Praha	12:59:28	0:00:15	92	R 870–5 vozů	69,2	81,0	73,6	85,4
18	Praha	13:01:44	0:00:14	93	railjet 72–8 vozů	63,1	74,6	67,8	79,3
19	Kolín	13:07:27	0:00:14	84	Os 9329–6 vozů	71,8	83,2	74,1	85,6
20	Střed	13:09:39	0:00:10	88	LE 1259–5 vozů	64,1	74,1	66,9	76,9
21	Střed	13:13:25	0:00:12	93	R 947–8 vozů	70,2	81,0	73,5	84,3
22	Kolín	13:18:42	0:00:12	85	R 891–5 vozů	73,2	84,0	75,6	86,3
23	Kolín	13:20:25	0:00:12	86	RJ 1035–8 vozů	68,6	79,4	71,3	82,1
24	Praha	13:23:25	vyřazeno	-	-	-	-	-	-
25	Kolín	13:25:07	0:00:12	82	Os 5825–3 vozy	76,5	87,3	78,8	89,6
26	Praha	13:27:52	0:00:55	58	Cargo–31 vozů	65,5	82,9	68,7	86,1
27	Praha	13:33:19	0:00:17	87	R 890–6 vozů	77,9	90,2	82,5	94,9
28	Praha	13:37:12	0:00:21	73	Cargo –21 vozů	69,3	82,6	71,3	84,6
29	Kolín	13:37:45	0:00:11	55	Os 9331–6 vozů	60,0	70,4	62,3	72,7
30	Střed	13:43:25	0:00:12	103	R 928–8 vozů	66,6	77,4	69,9	80,7

Desátá měřicí kampaň

Dne 22.9.2023 proběhlo v pořadí páté měření v lokalitě Liboc. Měření probíhalo 2 hodiny od 8:45 do 10:45, během této doby bylo změřeno celkem 9 průjezdů na železniční trati 120, které jsou vypsány v tabulce 16. Během měření v této lokalitě nebyly zaznamenány žádné výjimečné události ovlivňující hlukovou situaci v době průjezdu vlaku. Meteorologické podmínky byly pro měření hluku příznivé, obloha byla zatažená a vítr dosahoval rychlosti 2 m/s. Teplota se pohybovala v rozmezí 17–20 °C, relativní vlhkost vzduchu dosahovala hodnoty 70 %. Tlak vzduchu byl 1001 hPa. Součástí měření bylo zjištění i LAI indexu, který dosahoval hodnoty 2,3. Listová plocha tvořila přibližně 68 % daného fotografického snímku.

Tabulka 16: Záznam průjezdů – Liboc 22.9.2023

Průjezd	Směr	Čas průjezdu	Doba průjezdu	Rychlost (km/h)	Označení vozu	M7		M8	
						L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)	L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)
1	Kladno	8:57:16	0:00:08	43	Os 9854–4 vozy	67,4	76,4	70,6	79,6
2	Praha	9:02:00	0:00:09	45	Os 9819–4 vozy	68,6	78,1	70,9	80,4
3	Kladno	9:23:08	0:00:12	50	R 1232–4 vozy	68,0	78,7	69,0	79,8
4	Praha	9:37:14	0:00:13	55	Sp 1569–4 vozy	72,7	83,8	74,9	86,1
5	Kladno	9:55:12	0:00:09	44	Os 9814–2 vozy	64,9	74,4	67,2	76,7
6	Praha	9:58:35	0:00:08	52	Os 9819–2 vozy	64,6	73,6	67,7	76,8
7	Praha	10:01:40	0:00:08	51	Os 9821–2 vozy	65,2	74,2	67,3	76,3
8	Kladno	10:22:14	0:00:13	50	Sp 1568–4 vozy	74,6	85,7	76,1	87,2
9	Praha	10:38:56	0:00:13	50	R 1235–4 vozy	67,4	78,5	68,6	79,8

Jedenáctá měřicí kampaň

Dne 3.10.2023 bylo v časovém rozmezí 11:20–13:15 provedeno měření na lokalitě Roztoky u Prahy. Měřicí místo bez účinku vegetace bylo opět změněno, aby odpovídalo stejné vzdálenosti od osy železniční trati. Toto místo lze najít v kapitole popisu vybraných lokalit pod názvem M6. Meteorologické podmínky byly pro měření hluku příznivé, teplota se pohybovala v rozmezí 28–32 °C, relativní vlhkost vzduchu dosahovala hodnoty 35 %. Většinu času měření byla obloha jasná a bylo bezvětrí. Tlak vzduchu byl 1002 hPa. Zaznamenané průjezdy jsou vypsány v následující tabulce 17. Celkem bylo změřeno 15 vlakových souprav. Během měření v této lokalitě nebyly zaznamenány žádné výjimečné události ovlivňující hlukovou situaci v době průjezdu vlaku. V době měření LAI

index dosahoval hodnoty 2,2, listová plocha tvořila přibližně 76 % fotografického snímku.

Tabulka 17: Seznam průjezdů – Roztoky u Prahy 3.10.2023

Průjezd	Směr	Čas průjezdu	Doba průjezdu	Rychlost (km/h)	Označení vozu	M3		M6	
						L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)	L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)
1	Roztoky	11:56:24	0:00:10	65	Os 6912–3 vozy	63,6	73,6	65,4	75,4
2	Roztoky	11:59:07	0:00:27	32	Cargo–20 vozů	63,2	77,6	64,0	78,3
3	Praha	12:02:33	0:00:09	53	Os 9627–3 vozy	65,1	74,6	67,2	76,8
4	Praha	12:18:04	0:00:12	62	R 609–7 vozů	62,0	72,8	65,5	76,3
5	Roztoky	12:25:48	0:00:10	58	Os 9630–3 vozy	62,6	72,6	64,5	74,5
6	Roztoky	12:34:04	0:00:27	49	Os 6914–3 vozy	72,6	86,9	74,9	89,2
7	Praha	12:35:28	0:00:12	69	Os 6911–3 vozy	67,6	78,4	69,5	80,3
8	Praha	12:37:39	0:00:38	42	Os 9629–3 vozy	67,4	83,2	67,1	82,8
9	Praha	12:44:33	0:00:10	64	Os 28125–2 vozy	63,0	73,0	63,8	73,8
10	Roztoky	12:47:47	0:00:08	44	Os 28126–2 vozy	60,7	69,8	60,7	69,7
11	Roztoky	12:53:21	0:00:18	72	EC 378–10 vozů	60,9	73,5	63,7	76,3
12	Praha	12:55:10	0:00:16	84	R 683–7 vozů	75,2	87,2	76,8	88,9
13	Roztoky	12:58:05	0:00:10	41	Os 6914–3 vozy	61,8	71,8	63,7	73,7
14	Roztoky	13:04:15	0:00:16	82	R 688–7 vozů	72,7	84,7	75,4	87,4
15	Praha	13:05:45	0:00:12	68	Os 9631–3 vozy	67,0	77,8	69,3	80,0

Dvanáctá měřicí kampaň

Poslední měření proběhla dne 7.12.2023 ve všech třech lokalitách. Je nutné zmínit, že během všech měření byl povrch zapadán mokřým sněhem o tloušťce přibližně 5 cm. V tomto období bylo deštivé a nevyzpytatelné počasí, proto bylo nutné provést měření v těchto nepříznivých podmínkách.

První měření dne proběhlo v lokalitě Roztoky u Prahy od 9:00 do 10:15, kdy bylo změřeno celkem 11 průjezdů vlaků, které jsou vypsány v tabulce 18. Tři průjezdy byly následně vyřazeny z důvodu leteckého provozu ovlivňující hlukovou situaci. Jako měřicí místo bez účinku vegetace bylo vybráno původní místo M4. Meteorologické podmínky byly pro měření hluku dostačující, teplota se pohybovala okolo 1 °C, relativní vlhkost vzduchu dosahovala hodnoty 80 %. Většinu času měření byla obloha jasná a bylo bezvětrí. Tlak vzduchu byl 999 hPa. Během měření nebyly přítomny žádné listy na dané vegetaci, proto nebyl měřen LAI index, ani nebylo určováno procentuální zastoupení listové plochy na snímku.

Tabulka 18: Seznám průjezdů – Roztoky u Prahy 7.12.2023

Průjezd	Směr	Čas průjezdu	Doba průjezdu	Rychlost (km/h)	Označení vozu	M3		M4	
						L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)	L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)
1	Praha	10:14:18	0:00:09	58	Os 28122–2 vozy	66,3	75,9	69,5	79,1
2	Roztoky	10:26:56	vyřazeno	50	-	-	-	-	-
3	Roztoky	10:26:56	0:00:10	72	Os 9624–3 vozy	63,8	73,8	65,8	75,8
4	Praha	10:37:51	0:00:09	70	Os 9632–3 vozy	67,3	76,8	68,6	78,1
5	Roztoky	10:41:08	0:00:12	58	R 690–7 vozů	64,7	75,5	66,4	77,2
6	Praha	10:44:40	0:00:09	52	Os 28121–2 vozy	65,1	74,6	66,4	75,9
7	Roztoky	10:48:33	0:00:11	61	Os 28122–2 vozy	61,6	72,0	64,0	74,4
8	Roztoky	10:48:33	vyřazeno	60	-	-	-	-	-
9	Roztoky	10:48:33	vyřazeno	69	-	-	-	-	-
10	Praha	11:00:01	0:00:12	68	R 681–7 vozů	74,6	85,4	78,5	89,3
11	Praha	11:08:21	0:00:10	52	Os 9625–3 vozy	66,1	76,1	68,4	78,4

Druhé měření probíhalo od 10:50 do 12:00 na lokalitě Liboc. Meteorologické podmínky byly pro měření hluku dostačující, teplota se pohybovala v rozmezí 1–3 °C, relativní vlhkost vzduchu dosahovala hodnoty 75 %. Většinu času měření byla obloha jasná a bylo bezvětří. Tlak vzduchu byl 1002 hPa. Během měření nebyly přítomny žádné listy na dané vegetaci, proto nebyl měřen LAI index, ani nebylo určováno procentuální zastoupení listové plochy na snímku. V tabulce 19 je vypsán záznam průjezdů vlaků, celkem bylo změřeno 5 průjezdů. Nedošlo k výraznému ovlivnění hlukové situace během jednotlivých průjezdů, tudíž nebyl žádný průjezd vyřazen.

Tabulka 19: Seznam průjezdů – Liboc 7.12.2023

Průjezd	Směr	Čas průjezdu	Doba průjezdu	Rychlost (km/h)	Označení vozu	M7		M8	
						L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)	L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)
1	Praha	11:58:47	0:00:07	48	Os 9823–2 vozy	58,9	67,4	63,0	71,4
2	Kladno	12:22:54	0:00:08	42	Os 9816–2 vozy	60,6	69,7	63,4	72,5
3	Praha	12:35:24	0:00:11	53	Sp 1573–4 vozy	67,1	77,5	70,2	80,6
4	Kladno	12:54:39	0:00:07	48	Os 9818–2 vozy	60,5	68,9	63,5	72,0
5	Praha	12:58:34	0:00:08	51	Os 9863–2 vozy	59,7	68,8	63,5	72,5

Poslední měření této práce proběhlo na lokalitě Hloubětín, kdy bylo během 30 minut změřeno 10 průjezdů. Tyto průjezdy jsou vypsány v tabulce 20. Nedošlo k výraznému ovlivnění hlukové situace během jednotlivých průjezdů, tudíž nebyl žádný průjezd vyřazen. Meteorologické podmínky byly pro měření hluku dostačující, teplota se pohybovala okolo 2 °C, relativní vlhkost vzduchu

dosahovala hodnoty 75 %. Většinu času měření byla obloha jasná a bylo bezvětrí. Tlak vzduchu byl 1000 hPa. Během měření nebyly přítomny žádné listy na dané vegetaci, proto nebyl měřen LAI index, ani nebylo určováno procentuální zastoupení listové plochy na snímku.

Tabulka 20: Seznam průjezdů – Hloubětín 7.12.2023

Průjezd	Směr	Čas průjezdu	Doba průjezdu	Rychlost (km/h)	Označení vozu	M1		M2	
						L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)	L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)
1	Praha	13:47:19	0:00:10	103	railjet 72–6 vozů	68,6	78,6	78,3	88,3
2	Praha	13:51:27	0:00:12	96	R 928–8 vozů	69,7	80,5	79,0	89,8
3	Kolín	13:53:20	0:00:12	104	railjet 79–8 vozů	68,8	79,5	76,6	87,4
4	Praha	13:55:33	0:00:47	74	Cargo–42 vozů	70,2	86,9	75,7	92,4
5	Kolín	13:56:44	0:00:32	69	Cargo–30 vozů	67,9	83,0	74,5	89,6
6	Praha	14:02:27	0:00:09	79	Os 8608–3 vozy	62,8	72,3	71,2	80,7
7	Kolín	14:03:33	0:00:25	62	Cargo–11 vozů	67,5	81,4	73,0	87,0
8	Kolín	14:09:27	0:00:11	87	Os 8840–3 vozy	69,8	80,2	76,2	86,6
9	Kolín	14:12:39	0:00:10	61	LE 1259–5 vozů	58,5	68,5	65,1	75,1
10	Praha	14:12:56	0:00:12	94	R 894–8 vozů	70,7	81,5	80,4	91,2

5. VÝSLEDKY

V této kapitole budou prezentovány výsledky z měření pomocí číselných hodnot rozdílu akustických hladin (L_{Aeq} a L_{AE}), dále budou ukázány rozdíly ekvivalentních hladin akustického tlaku A , L_{Aeq} v grafech třetinooktávového frekvenčního spektra zaznamenaných během jednotlivých měřicích kampaní provedených během roku 2023. Výsledky jsou získány porovnáním naměřených hodnot bez účinku a s účinkem vegetace. Měřicí body jsou voleny tak, aby se nacházely na prakticky totožném úseku trati s konstantní rychlostí jízdy a obdobným reliéfem přilehlého území. Tím pádem lze usoudit, že rozdíl těchto dvou hodnot je dán vlivem zeleně a přízemního efektu.

5.1. Liboc

Jako první budou prezentovány výsledky z lokality Liboc. Pro měření byl vybrán úsek nacházející se podél železniční trati 120 – Praha – Kladno – Rakovník mezi stanicemi Praha-Veleslavín a Praha-Ruzyně. Měřicí body M7 a M8 byly umístěny ve vzdálenosti 15,5 m od osy koleje ve výšce 2,3 m nad temenem kolejnice, 1,3 m nad terénem a ve vzdálenosti 15 m od sebe. Vegetační pás o celkové šířce přibližně 8 m je zde tvořen vzrostlými jasanů ztepilými, javorů mléč, které jsou doplněny o bez černý. V této lokalitě v období 4.4.2023 – 7.12.2023 bylo provedeno celkem 6 měření. Výsledky jsou prezentovány ve formě jednoduchých tabulek 21-27 pro každou měřicí kampaň, konkrétně se jedná o průměrné rozdíly **ekvivalentní hladiny akustického tlaku A , L_{Aeq} a hladiny expozice zvuku L_{AE}** , které jsou určeny pro všechny průjezdy a rozděleny dle směru jízdy. Od vyšší hodnoty, tedy z měřicího bodu mimo vegetaci je odečtena naměřená hodnota s účinkem vegetace, kladný rozdíl značí naměřené nižší hodnoty za vegetací. Dále jsou tabulky doplněny o LAI hodnoty a o procentuální zastoupení listové plochy na snímku.

Tabulka 21: Naměřené hodnoty – Liboc 4.4.2023

Liboc	04.04.2023		
LAI	0	Rozdíl	
Snímek	0 %	L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)
Celkem		2,9	2,9
Kladno		3,0	3,0
Praha		2,9	2,9

Tabulka 22: Naměřené hodnoty – Liboc 27.4.2023

Liboc	27.04.2023		
LAI	1,4	Rozdíl	
Snímek	36 %	L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)
Celkem		2,1	2,1
Kladno		1,9	1,9
Praha		2,1	2,2

Tabulka 23: Naměřené hodnoty – Liboc 31.5.2023

Liboc	31.05.2023		
LAI	3,4	Rozdíl	
Snímek	76 %	L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)
Celkem		1,3	1,3
Kladno		0,9	0,9
Praha		1,7	1,7

Tabulka 24: Naměřené hodnoty – Liboc 10.8.2023

Liboc	10.08.2023		
LAI	3,4	Rozdíl	
Snímek	75 %	L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)
Celkem		1,7	1,7
Kladno		1,3	1,3
Praha		2,1	2,1

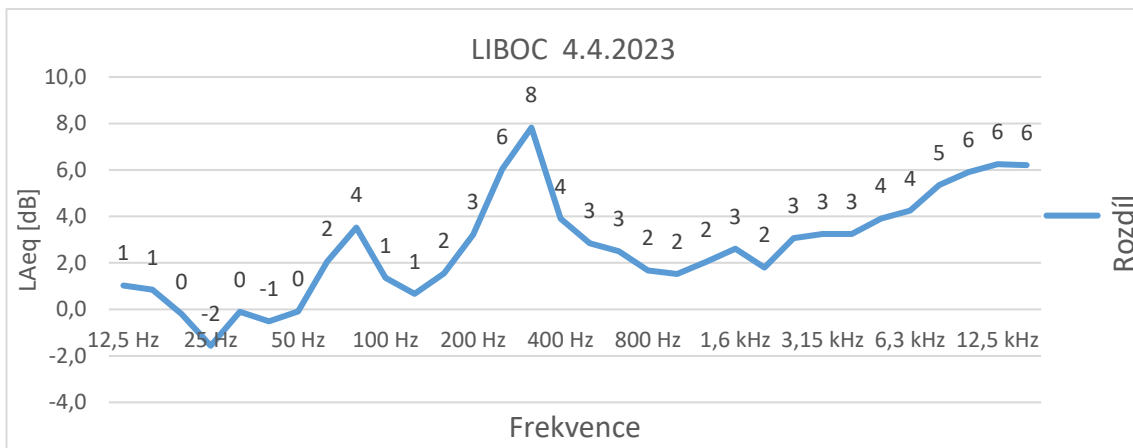
Tabulka 25: Naměřené hodnoty – Liboc 22.9.2023

Liboc	22.09.2023	Rozdíl	
LAI	2,3		
Snímek	68 %	L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)
Celkem		2,1	2,1
Kladno		2,0	2,0
Praha		2,2	2,2

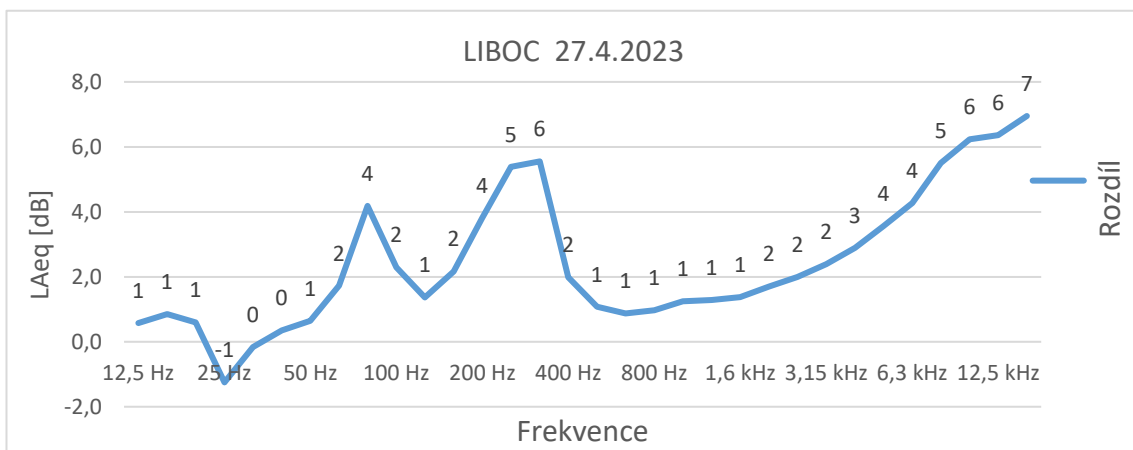
Tabulka 26: Naměřené hodnoty – Liboc 7.12.2023

Liboc	07.12.2023	Rozdíl	
LAI	0		
Snímek	0 %	L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)
Celkem		3,4	3,3
Kladno		2,9	2,9
Praha		3,7	3,6

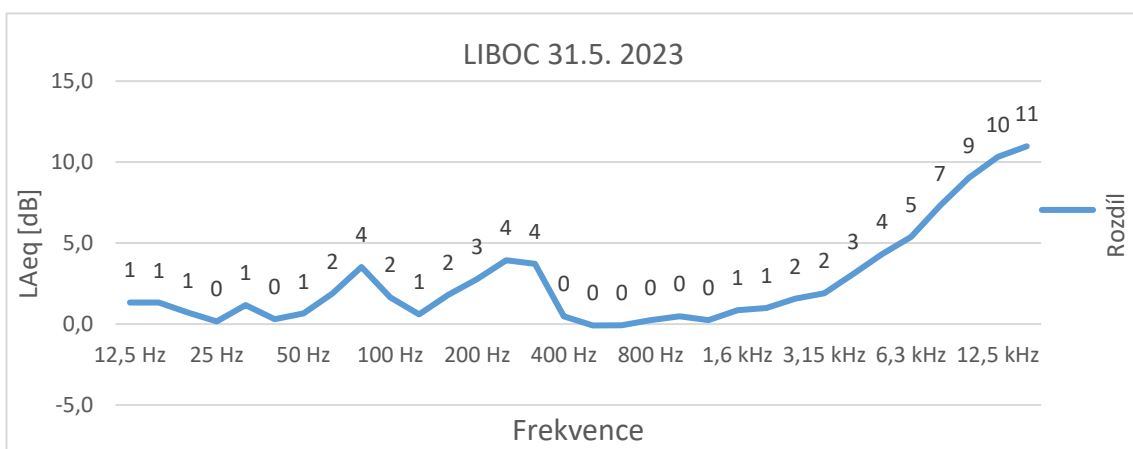
Výše uvedené číselné hodnoty bez důkladné doplňující interpretace mohou být zavádějící. Při zanedbání hodnot ze dne 7.12.2023, kdy bylo měření ovlivněno sněhovou pokrývkou, tak k největšímu zlepšení hlukové situace nastává dne 4.4.2023. Rozdíl hodnot v tento den dosahoval hodnoty 3 dB, ale v tomto období byla vegetace zcela bez listů. Naopak rozdíl hodnot byl nižší ve vegetační době, během které dochází k růstu zeleně. Z toho důvodu je nutné se podívat na hodnoty ve frekvenčním spektru a prozkoumat mechanismy, které ovlivňují šíření hluku. V následujících grafech jsou uvedeny rozdíly **ekvivalentní hladiny akustického tlaku A**, L_{Aeq} pro jednotlivé frekvence třetinooktávového spektra.



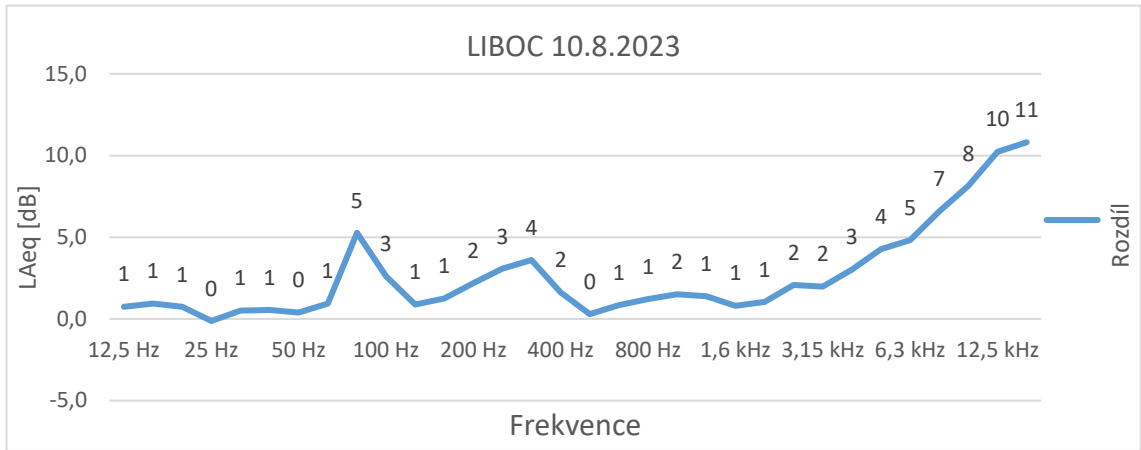
Graf 1: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Liboc 4.4.2023



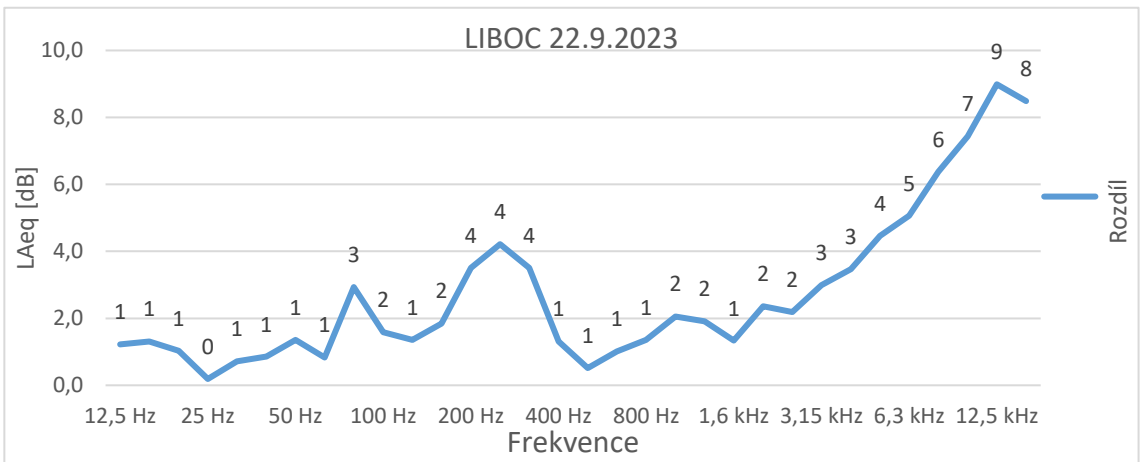
Graf 2: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Liboc 27.4.2023



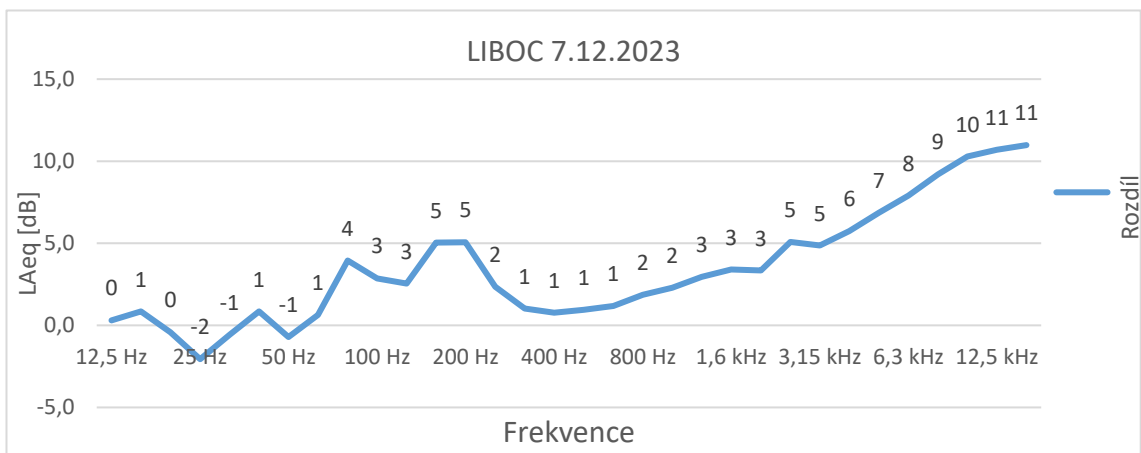
Graf 3: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Liboc 31.5.2023



Graf 4: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Liboc 10.8.2023



Graf 5: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Liboc 22.9.2023



Graf 6: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Liboc 7.12.2023

Při každé měřicí kampani je trend rozložení rozdílů hodnot ve třetinooktávovém frekvenčním spektru obdobný. První vrchol se nachází ve střední hodnotě třetinooktávového pásma 25 Hz, kde se nachází záporný peak, další dva viditelné vrcholy se nachází v rozsahu středních hodnot 50 Hz – 100 Hz, resp. 200 Hz – 400 Hz. Dále pak dochází ke zlepšení hlukové situace od střední hodnoty 2 kHz. Publikace *The influence of vegetation on acoustic properties of soils* [43] a *Environmental Methods for Transport Noise Reduction* [35] se zabývají mimo jiné vlivem půdy na šíření zvuku. Obě publikace se shodují na faktu, že nízké frekvence zvuku do 2 kHz jsou ovlivňovány půdou a tzv. ground efektem, kdy dochází k absorpci vlivem půdy a zároveň dochází k odrazu od půdy a k zhoršení hlukové situace. Tato problematika je nastíněna v kapitole 3.2. To má za následek střídání kladných (útlum) a záporných peaků (nárůst hlukové situace). Za předpokladu obdobných a blízkých měřicích míst by se měli tyto vrcholy vynulovat vlivem rozdílů naměřených hodnot, s kterými se pracuje. Ground effect je závislý na vlastnostech půdy, přítomnost vegetace má vliv na akustické vlastnosti půdy, půda je akusticky měkčí vlivem rostlinné podestýlky a kořenového systému oproti například travnaté ploše. To má za následek posun ground effectu směrem k nižším frekvencím. Z těchto důvodů jsou v grafech kladné i záporné vrcholy, přestože došlo k odečtení hodnot. Jak již bylo dříve zmíněno, na ground effect má vliv pórovitost, vlhkost půdy, ale také porost ve formě rostlin. Proto dochází ke změně hodnot ve frekvenčním spektru během jednotlivých měření. V práci bohužel nebyl prostor ani kapacita pro sledování těchto veličin pro podrobnější analýzu. [35]

V teorii překážka začíná reagovat s akustickou vlnou, když vlnová délka se rovná nejmenšímu rozměru prvku. Velikost vlnové délky klesá s rostoucí frekvencí, proto přibližně od frekvence 2 kHz začíná mít vliv i samotná vegetace. Vlnová délka se začíná rovnat velikosti kmenů, větví, listů a dochází k absorpci, odrazu, difrakci nebo rozptylu vlivem těchto prvků. Tyto mechanismy útlumu jsou popsány v kapitole 3.2. Na grafech rozdílů hodnot **ekvivalentní hladiny akustického tlaku A , L_{Aeq}** ve třetinooktávovém frekvenčním spektru lze najít spojitost zlepšení akustické situace s nárůstem listové plochy. Při měření dne 4.4.2023 nebyly přítomné žádné listy, a rozdíl pro hodnoty od střední frekvence 2kHz je nejmenší. Naopak při měření ve dnech 31.5.2023 a 10.8.2023 byl index

listové plochy nejvyšší, a dochází k největšímu zlepšení hlukové situace pro střední frekvence třetinooktávových pásem od 2kHz. Číselně se jedná až o 5 dB pro určité frekvence. Dne 7.12.2023 už nebyly na stromech žádné listy, ale nacházel se zde sníh, který má dobré izolační vlastnosti.

5.2. Roztoky u Prahy

Vybraný úsek se nachází mezi stanicemi Praha-Sedlec a Roztoky u Prahy podél železniční trati 090 Praha – Děčín. Měřicí bod M3 byl stanoven těsně za pás vegetace ve vzdálenosti 40 m od osy železniční trati. Mikrofon je připevněný na stativ ve výšce 3 m od terénu z důvodu mírného náspu trati, tato výška mikrofonu zhruba odpovídá 1,2 m nad temenem kolejnice. Vegetační pás zobrazený na obrázku 43 je tvořen ze dvou řad vzrostlých stromů, konkrétně se jedná o střemchu obecnou, javor babyka a habr obecný. Výše uvedené druhy jsou doplněny bylinným a keřovým patrem, dominující rostliny jsou ostružiník lesní a kopřiva dvoudomá. Pro měření hlukové situace bez účinku vegetace byl vybrán měřicí bod M4, resp. M6, který byl umístěn ve stejné vzdálenosti od osy koleje jako bod M3, tedy cca 40 m. Zvukoměr byl umístěn ve výšce 1,5 m nad terénem a zhruba 1,2 m nad temenem kolejnice. V období 4.4.2023 – 7.12.2023 bylo provedeno celkem 5 hodnocených měření (měření ze dne 10.8.2023 je vyloučeno z důvodu volby chybného místa).

Výsledky budou prezentovány stejně jako u předešlé lokality ve formě tabulek 27–32 s průměrnými rozdíly **ekvivalentní hladiny akustického tlaku A , L_{Aeq} a hladiny expozice zvuku L_{AE}** . Tabulky jsou doplněny o průměrné hodnoty, které jsou rozděleny dle druhu vlaku, o LAI hodnoty a o procentuální zastoupení listové plochy na snímku.

Tabulka 27: Naměřené hodnoty – Roztoky u Prahy 4.4.2023

Roztoky		04.04.2023	
LAI	0	Rozdíl	
Snímek	0 %	L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)
Celkem		1,8	1,8
Roztoky		2,0	2,0
Praha		1,5	1,5
Os		1,1	1,0
R		2,9	3,0
Cargo		2,3	2,3

Tabulka 28: Naměřené hodnoty – Roztoky u Prahy 4.5.2023

Rotoky		04.05.2023	
LAI	1,8	Rozdíl	
Snímek	74 %	L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)
Celkem		2,4	2,3
Roztoky		2,7	2,7
Praha		2,1	2,1
Os		1,8	1,8
R		2,9	2,9
Cargo		3,4	3,5

Tabulka 29: Naměřené hodnoty – Roztoky u Prahy 31.5.2023

Roztoky		31.05.2023	
LAI	2,4	Rozdíl	
Snímek	79 %	L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)
Celkem		2,4	2,4
Roztoky		2,6	2,6
Praha		1,6	1,7
Os		2,5	2,6
R		2,5	2,5
Cargo		0,8	0,7

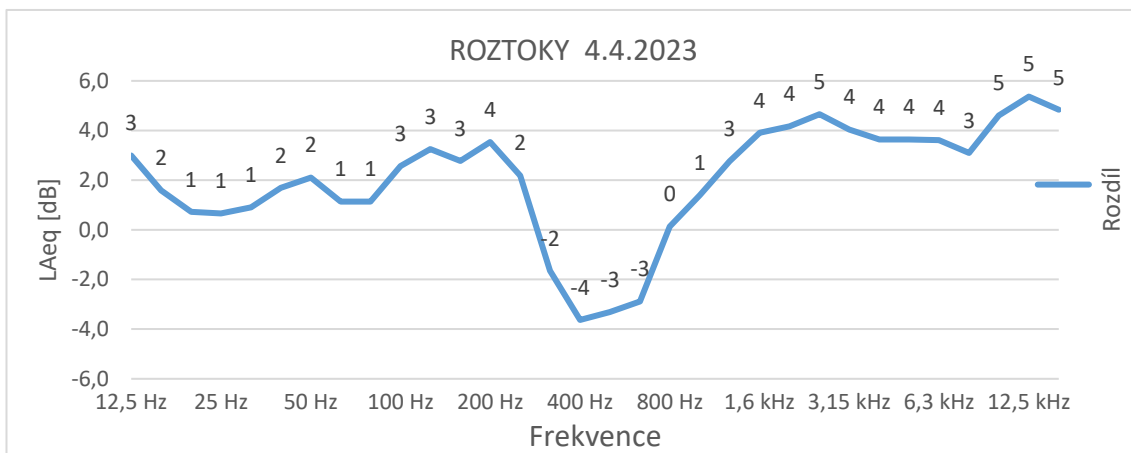
Tabulka 30: Naměřené hodnoty – Roztoky u Prahy 3.10.2023

Roztoky 03.10.2023		Rozdíl	
LAI	2,3	L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)
Snímek	76 %		
Celkem		1,7	1,7
Roztoky		1,8	1,8
Praha		1,7	1,7
Os		1,6	1,6
R		2,6	2,7
Cargo		0,9	0,9

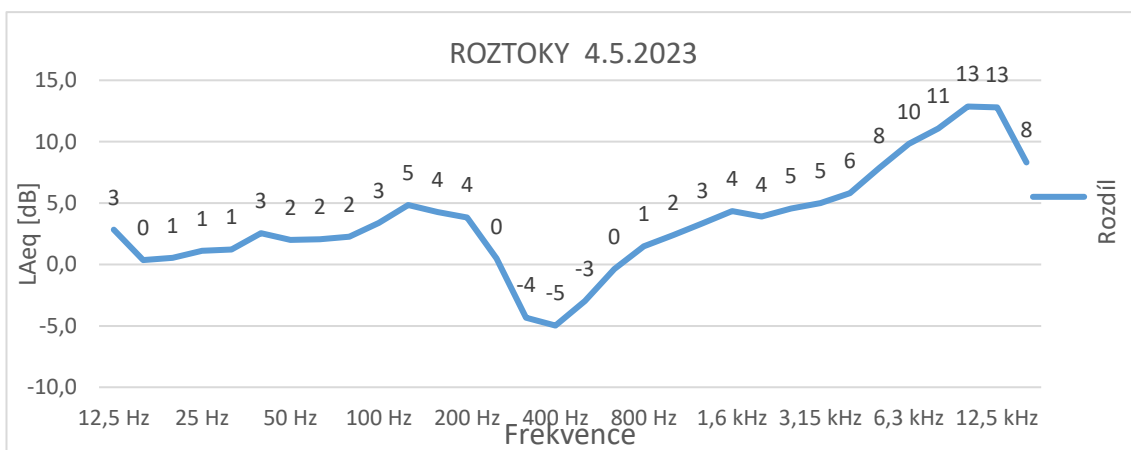
Tabulka 31: Naměřené hodnoty – Roztoky u Prahy 7.12.2023

Roztoky 07.12.2023		Rozdíl	
LAI	0	L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)
Snímek	0 %		
Celkem		2,3	2,3
Roztoky		2,0	2,0
Praha		2,4	2,4
Os		2,1	2,1
R		2,8	2,8

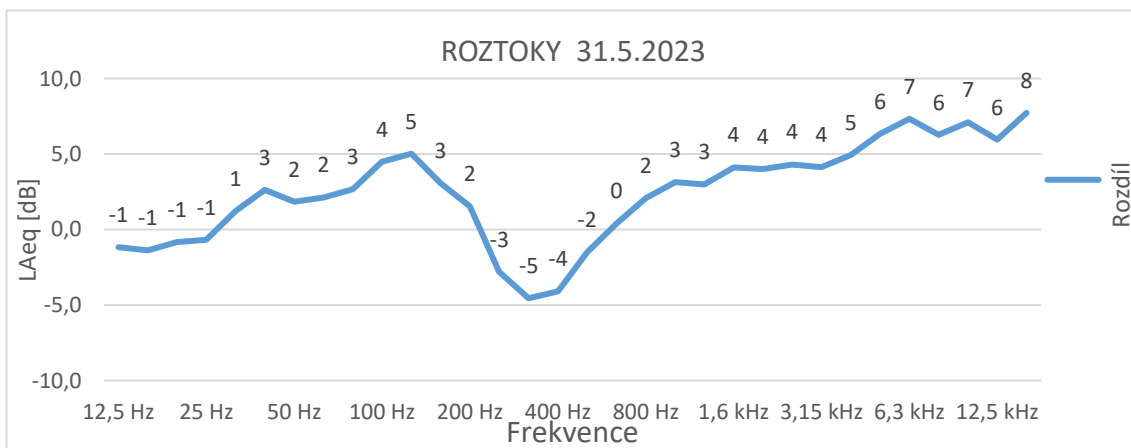
Stejně jako u předešlé lokality u rozdílů naměřených hodnot nedochází k významnému nárůstu výsledných hodnot během vegetační doby, výsledné hodnoty se pohybují okolo 2 dB. Pro podrobnější prozkoumání šíření akustického vlnění jsou zobrazeny grafy 7–11 rozdílu **ekvivalentních hladin akustického tlaku A, L_{Aeq}** pro střední frekvence třetinooktávových pásem.



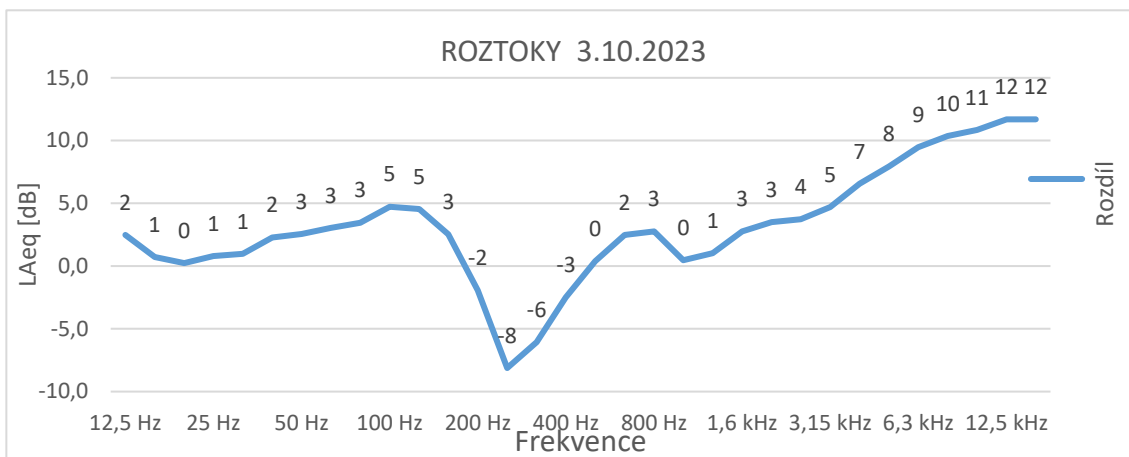
Graf 7: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Roztoky u Prahy 4.4.2023



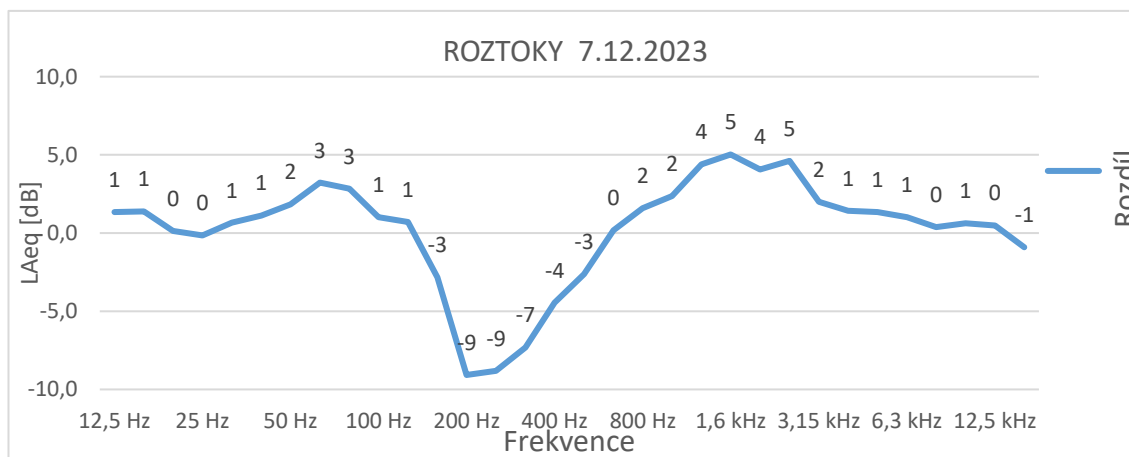
Graf 8: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Roztoky u Prahy 4.5.2023



Graf 9: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Roztoky u Prahy 31.5.2023



Graf 10: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Roztoky u Prahy 3.10.2023



Graf 11: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Roztoky u Prahy 7.12.2023

Tendence rozdělení naměřených hodnot ve třetinooktávovém frekvenčním spektru je pro všechna měření obdobná. První záporný propad hodnot nastává okolo střední hodnoty třetinooktávového pásma 25 Hz, poté dochází k mírnému zlepšení akustické situace až do střední frekvence 200 Hz, kde dochází rapidně ke zhoršení situace. Dále od střední hodnoty 800 Hz dochází k dalšímu nárůstu hodnot. Vlivy těchto peaků jsou stejné jako u lokality Liboc, nízké frekvence do 2k Hz jsou ovlivněny přízemním efektem, kde dochází k frekvenčnímu posunu ground effectu z důvodu změny akustických vlastností půdy přítomností vegetace. Při porovnání průběhu grafů mezi lokalitami Liboc a Roztoky u Prahy je zřejmý frekvenční posun a velikost záporného peaku. Tento rozdíl kromě místních podmínek je způsoben odlišnou výškou mikrofону nad terénem a

vzdáleností od zdroje hluku. Vliv výšky nad terénem a horizontální vzdálenosti je popsán v publikaci *The influence of vegetation on acoustic properties of soils* [43]. S rostoucí vzdáleností přijímače od zdroje dochází k nárůstu hodnot záporného propadu a zároveň dochází k frekvenčnímu posunu směrem do vyšších frekvencí. Výška mikrofону na terénem ovlivňuje frekvenční rozložení vrcholů a propadů vlivem ground effectu. Při zvětšení výšky umístění mikrofону nad terénem dochází ke zmenšení frekvenčního rozsahu, při kterém dochází k ovlivnění vlivem přízemního efektu.

S rostoucí frekvencí dochází k absorpci, odrazu, difrakci nebo rozptylu vlivem kmenů, větví a listů. Opět dochází ke zvýšení rozdílu naměřených hodnot pro vyšší frekvence s růstem vegetace. Na příklad při porovnání grafu ze dne 4.4.2023, kdy nebyly na stromech žádné listy s grafem ze dne 5.4.2023, je zřejmý nárůst rozdílu až o 8 dB. Útlum vlivem listů je závislý na mnoha parametrech. Publikace *Environmental Methods for Transport Noise Reduction* [35] se zabývá závislostí tloušťky, váhy, plochou, počtem, hustotou a úhlem natočení listu na útlumu hluku. Opět pro určování těchto parametrů nebyl prostor v této práci. Naopak zajímavé hodnoty ukazuje graf ze dne 7.12.2023, kdy pro vyšší frekvence je rozdíl hodnot prakticky nulový z důvodu absence listů a přítomnosti sněhu.

5.3. Hloubětín

Poslední lokalita se nachází podél železniční trati 001 mezi stanicemi Praha-Libeň a Praha-Kyje. Vegetační pás je zde tvořen 15 m hustým porostem složeným z trnky a ojedinělou jabloní lesní. Měřicí bod M1 zaznamenává zvuk z kolejové dopravy s minimálním účinkem vegetace a zvukoměr na bodu M2 snímá zvuk s účinkem vegetačního pásu. Oba body M1 i M2 jsou ve vzdálenosti přibližně 25 m od osy železniční trati ve výšce 1,3 m nad terénem, tedy 2,3 m nad temenem kolejnice. Měření v této lokalitě začalo 11.5.2023 a poslední měření bylo provedeno 7.12.2023, během tohoto období proběhlo celkem 5 měřicích kampaní.

Číselné výsledky rozdílu naměřených hodnot jsou uvedeny v tabulkách 32–36. Opět se jedná o průměrné rozdíly **ekvivalentní hladiny akustického tlaku A , L_{Aeq} a hladiny expozice zvuku L_{AE}** , které jsou rozděleny dle směru a druhu

vlakové soupravy. Směr “střed“ symbolizuje nultou kolej železniční trati. Dále jsou tabulky doplněny o LAI hodnoty.

Tabulka 32: Naměřené hodnoty – Hloubětín 11.5.2023

Hloubětín 11.05.2023			
LAI	1,3	Rozdíl	
		L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)
Celkem		3,1	3,1
Kolín		2,6	2,6
Praha		3,7	3,7
Střed		3,0	3,0
Os		3,4	3,4
R		2,9	2,9
Cargo		3,7	3,6

Tabulka 33: Naměřené hodnoty – Hloubětín 29.6.2023

Hloubětín 29.06.2023			
LAI	2,0	Rozdíl	
		L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)
Celkem		2,4	2,4
Kolín		1,7	1,7
Praha		3,4	3,4
Střed		1,9	1,9
Os		3,2	3,2
R		2,1	2,1
Cargo		2,0	2,1

Tabulka 34: Naměřené hodnoty – Hloubětín 11.8.2023

Hloubětín		11.08.2023	
LAI	1,9	Rozdíl	
		L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)
Celkem		2,4	2,4
Kolín		2,1	2,1
Praha		3,2	3,2
Střed		2,3	2,3
Os		2,9	2,9
R		2,3	2,3

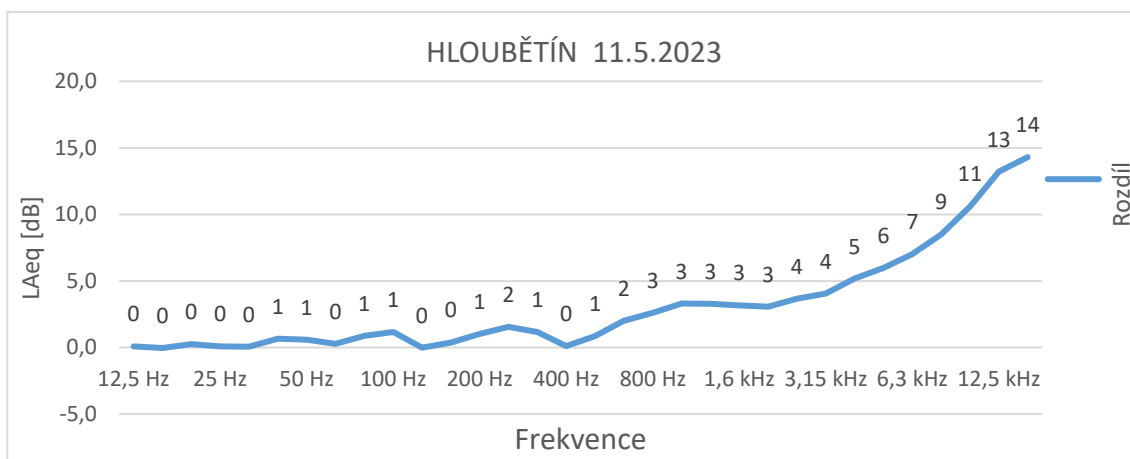
Tabulka 35: Naměřené hodnoty – Hloubětín 14.9.2023

Hloubětín		14.09.2023	
LAI	0,8	Rozdíl	
		L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)
Celkem		3,1	3,1
Kolín		2,4	2,4
Praha		3,8	3,8
Střed		2,9	3,0
Os		2,9	2,9
R		3,1	3,1
Cargo		3,1	3,1

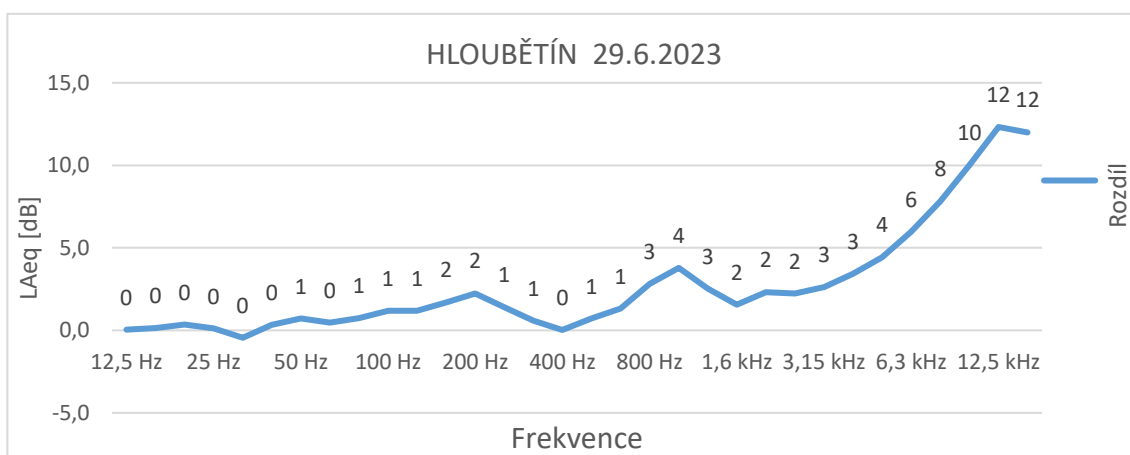
Tabulka 36: Naměřené hodnoty – Hloubětín 7.12.2023

Hloubětín		07.12.2023	
LAI	0	Rozdíl	
		L_{Aeq} (dB)	L_{AE} (dB)
Celkem		7,5	7,6
Kolín		6,6	6,6
Praha		8,5	8,5
Střed		7,4	7,4
Os		8,6	8,6
R		5,9	5,9

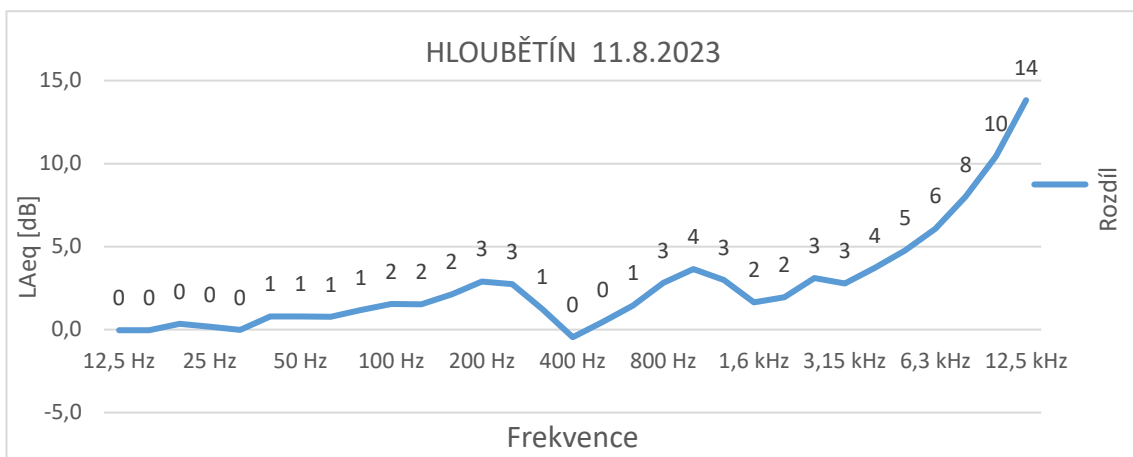
Celkové rozdíly **ekvivalentní hladiny akustického tlaku A, L_{Aeq}** a **hladiny expozice zvuku L_{AE}** se pohybují v rozmezí 2,4 – 3,1 dB, výjimkou je měření ze dne 7.12.2023, kdy do husté vegetace napadl sníh. V tento den byly hodnoty přibližně o 5 dB větší z důvodu kombinace nepropustného hustého pásu vegetace s velkým množstvím dřevní hmoty a sněhu. Podrobnější hodnoty jsou zobrazeny v grafech 12-16 rozdílu **ekvivalentních hladin akustického tlaku A, L_{Aeq}** pro jednotlivé frekvence třetinooktávového spektra.



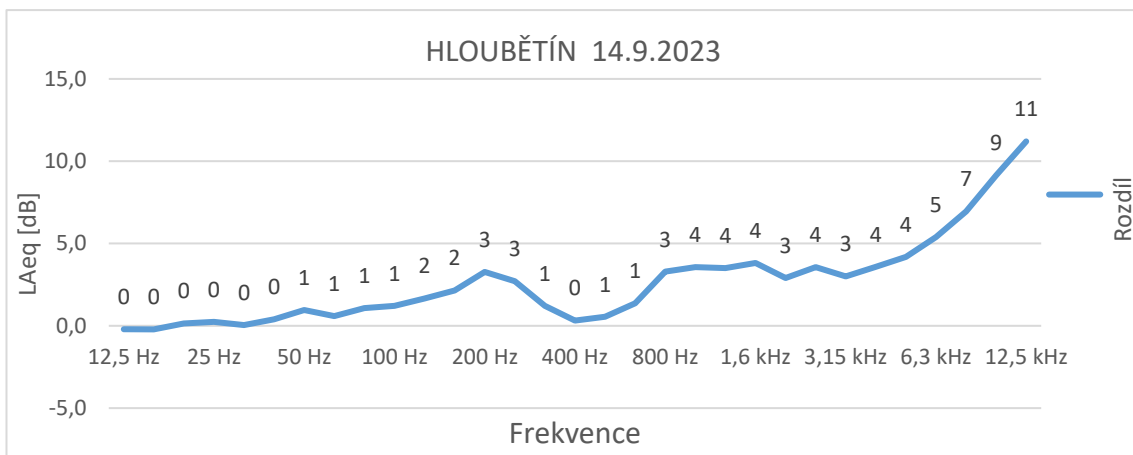
Graf 12: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Hloubětín 11.5.2023



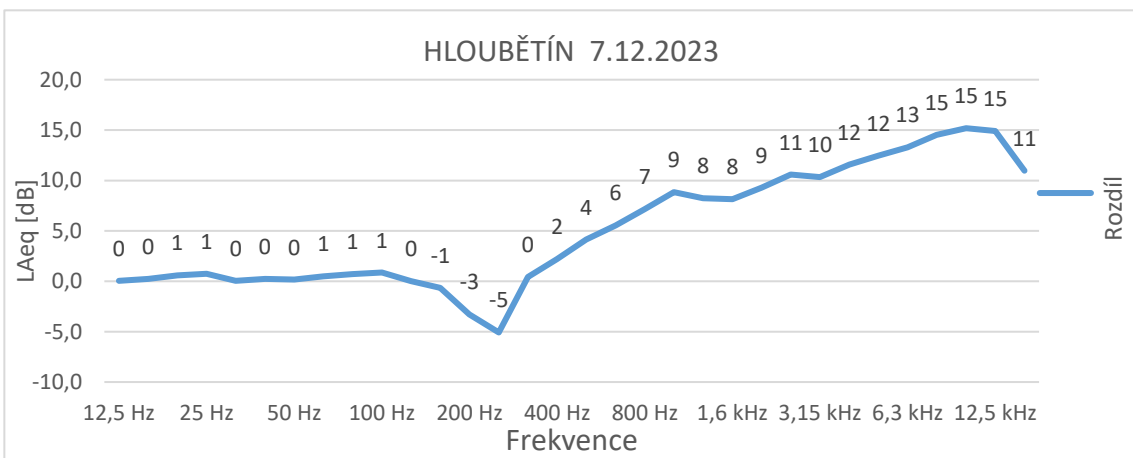
Graf 13: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Hloubětín 29.6.2023



Graf 14: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Hloubětín 11.8.2023



Graf 15: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Hloubětín 14.9.2023



Graf 16: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Hloubětín 7.12.2023

Stejně jako u předešlých lokalit, i zde je zřejmý trend rozložení rozdílů **ekvivalentní hladiny akustického tlaku A , L_{Aeq}** ve třetinooktvávovém spektru pro všechna měření. Vrcholy a propady naměřených hodnot vlivem přízemního efektu se nacházejí ve stejných středních frekvencích. Porovnáním hodnot v nízkých frekvencích s ostatními lokalitami jsou zřejmé nižší hodnoty propadů a vrcholů. To může být způsobeno horizontální vzdáleností zdroje a přijímače, ale také vlastnostmi půdy nebo druhovou skladbou vegetace. Z grafů je zřejmé, že k největšímu rozdílu naměřených hodnot nastává od střední hodnoty 3,15 kHz. Oproti ostatním lokalitám je nárůst rozdílu naměřených hodnot od vyšší frekvence, to je způsobeno druhovým složením vegetačního pásu, který tvoří kmeny a větve o menším průměru. Jedná se o velmi hustý a nepropustný porost, kde dochází k absorpci, odrazu, difrakci nebo rozptylu vlivem zejména kmenů, větví a listů. Bohužel měření se nestihlo v období, kdy byl tento vegetační pás zcela bez listů, dne 7.12.2023 byl porost pokryt sněhem. Z důvodu již zmíněného hustého porostu s velkým obsahem dřevní hmoty, lze předpokládat znatelný útlum ve vyšších frekvencích i s absencí listů.

6. ZÁVĚR

Zapojení vegetace do protihlukových opatření je v dnešní době otevřeným a diskutovatelným tématem s rozdílnými názory. Jedna skupina lidí vidí budoucnost ve vegetaci jako formě protihlukového opatření a druhá ne. Rešeršní práce se zabývá mechanismy vegetace, které vedou ke zlepšení hlukové situace. Dále jsou zde uvedeny studie s výslednými hodnotami, zabývající se využitím vegetačního pásu nebo kombinace zeleně s klasickými protihlukovými stěnami jako opatření protihlukové problematiky. Závěry z těchto prací jsou rozdílné, v některých je výsledný útlum roven až 9 dB a v další je útlum vlivem vegetace prakticky nulový.

V praktické části je uveden postup výběru vhodných lokalit pro řešení problematiky této práce. Jednotlivé lokality spolu s měřicími místy jsou podrobně popsány a doplněny o fotodokumentaci z terénního průzkumu. Dále je uveden postup výběru tří nejvhodnějších lokalit na základě zvolených kritérií. Součástí je popis metodiky měření jak akustického měření, tak i metodika určení vývoje listové plochy. Následuje kapitola s popisem zpracování naměřených dat, pracovalo se s 329 průjezdy vlaků ze 17 měření. Měření probíhalo na dvou zvukoměrech zároveň, tudíž se pracovalo s dvojnásobným počtem dat. Záznamové archy s průjezdy jsou uvedeny v tabulkách spolu s popisem jednotlivých měřicích kampaní obsahující meteorologické podmínky a mimořádné události během měření.

Poslední část diplomové práce je věnována výsledkům měření. Výsledky jsou uvedeny ve formě rozdílů **ekvivalentních hladin akustického tlaku L_{Aeq}** a **hladin expozice zvuku L_{AE}** . Od hodnot naměřených bez účinku vegetace jsou odečteny hodnoty s účinkem vegetace, tedy při kladných hodnotách rozdílu dochází ke zlepšení hlukové situace. Z těchto číselných hodnot není zřejmý vývoj hodnot během vegetační doby, pro lepší popis vývoje jsou výsledky dále prezentovány pomocí grafů, kde jsou zaznamenány rozdíly naměřených hodnot s účinkem a bez účinku vegetace pro jednotlivá třetinooktávová pásma daného spektra. Ve všech lokalitách byl určitý trend rozdělení hodnot do třetinooktávových pásem na základě popsanych mechanismů. Nižší třetinooktávová pásma se střední frekvencí do 2 kHz jsou ovlivněny zejména tzv.

ground effectem, při kterém dochází ke střídání vrcholů a propadů rozdílů hodnot. Vyšší frekvence od střední hodnoty 2 kHz jsou pak ovlivněny samotnou zelení, dochází k absorpci, odrazu, difrakci nebo rozptylu vlivem kmenu, větví a listů. Pro tyto hodnoty je zřejmý nárůst hodnot rozdílu s růstem vegetace. V lokalitě Liboc se rozdíly **ekvivalentních hladin akustického tlaku L_{Aeq} a hladin expozice zvuku L_{AE}** pohybovaly v rozmezí 1,3 dB – 3,4 dB, nejvyšší hodnoty byly určeny dne 7.12.2023, kdy napadla sněhová pokrývka o výšce 5 cm. V Roztokách u Prahy se hodnoty pohybovaly od 1,7 dB do 2,4 dB. Nejvyšší hodnoty rozdílu **ekvivalentních hladin akustického tlaku L_{Aeq} a hladin expozice zvuku L_{AE}** byly určeny na lokalitě Hloubětín. Rozdíl vlivem hustého vegetačního pásu o šířce 15 m byl v rozmezí 2,4 – 7,5 dB, největší hodnoty byly opět ze dne 7.12.2023, kdy bylo měření ovlivněno sněhem. Bez sněhu byl největší rozdíl naměřen dne 11.5.2023, resp. 14.9.2023 v lokalitě Hloubětín, rozdíl vlivem vegetačního pásu o šířce 15 m byl roven 3,1 dB.

Z výsledků uvedených studií v teoretické části, ale i výsledků práce vyplývá, že využití zeleně v protihlukových opatřeních je komplexní problém závislý na mnoha parametrech různých vědeckých oborů.

7. LITERATURA

- [1] Přehled stavu vozového parku [online]. SDA [cit. 15.5.2023]. Dostupné z: <https://portal.sda-cia.cz/stat.php?v#rok=2023&mesic=3&kat=stav&vyb=&upr=&obd=m&jine=false&lang=CZ&str=vpp>
- [2] Doprava [online]. Ministerstvo životního prostředí [cit. 15.5.2023]. Dostupné z: <https://www.mzp.cz/cz/doprava>
- [3] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES ze dne 25. června 2002 o hodnocení a řízení hluku ve venkovním prostředí. [cit. 15.5.2023].
- [4] Janeček, M. a kol.: Ochrana zemědělské půdy před erozí [online]. [cit. 15.5.2023]. Dostupné z: Microsoft Word - Metodika_PEO_Domca.doc (cvut.cz)
- [5] Vacek, O., Kunt, M., Čechová, K. Městský tepelný ostrov. Nika [online]. Červen 2018, 39, pp 18-21. [cit.15.5.2023]. Dostupné z: <https://www.nika-casopis.cz/archiv/cerven-2018.aspx>
- [6] Pondělíček, M.: Zeleň měst a její úloha ve světle klimatické změny [online]. [cit. 15.5.2023]. Dostupné z: 06_Zelen_mest_a_jeji_uloha_F (regionalnirozvoj.eu)
- [7] Metodika pro kvantifikaci efektu výsadeb vegetačních bariér na snížení koncentrací suspendovaných částic [online]. Ministerstvo životního prostředí [cit. 15.5.2023]. Dostupné z: untitled (mzp.cz)
- [8] Baldauf, R. a kol.: Impact of noise barriers on near road air quality [online]. [cit. 15.5. 2023]. Dostupné z: Impacts of noise barriers on near-road air quality - ScienceDirect
- [9] Garg, N., Mají, S.: A critical review of principal traffic noise models: Strategies and implications [online]. [cit. 15.5.2023]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0195925514000195>
- [10] Sound propagation [online]. SFU [cit. 15.5.2023] Dostupné z: https://www.sfu.ca/sonic-studio-webdav/handbook/Sound_Propagation.html#section_3

- [11] Attenborough, K.: Review of ground effects on outdoor sound propagation from continuous broadband Source [online]. [cit. 15.5.2023]. Dostupné z: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/0003682X88900862?token=394D37816125B4B7BA61896E8B5E0E263A3DFF208648FCA7538E24F3D0DA532CD7DAD3CCE337A8B7851E64BFBC4BF773&originRegion=eu-west-1&originCreation=20230515163306>
- [12] Martens, M.J.M. a kol.: Acoustic reflection characteristics of deciduous plant leaves [online]. [cit. 17.5.2023]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0098847285900139>
- [13] Yang, F. a kol.: An assessment of psychological noise reduction by landscape plants [online]. [cit. 15.5.2023]. Dostupné z: An Assessment of Psychological Noise Reduction by Landscape Plants (nih.gov)
- [14] Aylor, E. D.: Some physical and psychological aspects of noise attenuation by vegetation [online]. [cit. 17.5.2023]. Dostupné z: [gtr_ne25_229.pdf](http://www.nrc.gov/docs/9901/nrc990101.pdf) (usda.gov)
- [15] Yang, F. a kol.: The investigation of noise attenuation by plants and the corresponding noise-reducing spectrum [online]. [cit. 17.5.2023]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/43344334_The_Investigation_of_Noise_Attenuation_by_Plants_and_the_Corresponding_Noise-Reducing_Spectrum
- [16] Kragh, J.: Pilot study on railway noise attenuation by belts of trees [online]. [cit. 17.5.2023]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022460X79908599>
- [17] Polič, D.: Vliv doprovodné zeleně na hlukovou situaci podél PK [online]. [cit. 17.5.2023]. Dostupné z: http://www.udrzitelnavystavba.cz/WP4_papers/24_Polic.pdf
- [18] Bendtsen, H.: Noise barrier design: Danish and some european examples [online]. [cit. 15.5.2023] Dostupné z: Noise Barrier Design: Danish and Some European Examples (escholarship.org)
- [19] Nízké protihlukové clony. BRENS EUROPE [online]. [Cit.: 31.3.2022]. Dostupné z: <https://www.brens.cz/produktove-listy-nizke-protihlukove-clony/>

- [20] M. Radsten-Ekman, B. Vincent: Case-study evaluation of a low and vegetated noise barrier in an urban public space. Internoise 2011, Japan Osaka. [Cit.: 2.5.2022]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/265144375_Case-study_evaluation_of_a_low_and_vegetated_noise_barrier_in_an_urban_public_space
- [21] Lacasta, A. M. a kol.: Acoustic evaluation of modular greenery noise barriers [online]. [cit. 17.5.2023]. Dostupné z: Acoustic evaluation of modular greenery noise barriers | Elsevier Enhanced Reader
- [22] Klánovický les [online]. Hlavní město Praha, 2013. [cit. 10.9.2023]. Dostupné z: <http://www.praha-priroda.cz/lesy/klanovicky-les/>
- [23] Co je to hluk [online]. Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2015. [cit. 10.9.2023]. Dostupné z: <https://www.mzcr.cz/co-je-to-hluk/>
- [24] Nový, R.: Hluk a chvění. Praha: ČVUT v Praze, 2019. ISBN: 978-80-01-06554-9 [cit. 10.9.2023].
- [25] Králová, M.: Kmitání [online]. [cit. 12.9.2023]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/akustika/kmitani>
- [26] Mišun, V.: Vibrace a hluk. Vysoké učení technické v Brně Fakulta strojní, 1998. ISBN: 80-214-1262-3. [cit. 12.9.2023].
- [27] L. Lomoz: Problematika hluku v kolejové dopravě [přednáška]. Praha: ČVUT v Praze, 2022. [Cit.: 17.9.2023].
- [28] M. Kučera: Hodnocení hluku v bytové zástavbě. Topenářství instalace 5/2014 [online]. [Cit.: 12.9.2023]. Dostupné z: <https://www.topin.cz/clanky/hodnoceni-hluku-v-bytove-zastavbe-detail-5330>
- [29] Vašina, M.: Decibelové veličiny v akustice, kmitočtová pásma. Ústav fyziky a materiálového inženýrství [online]. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. [cit. 12.9.2023] Dostupné z: https://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_03.pdf
- [30] Kaňka, J.: Zdroje zvuku v životním a pracovním prostředí – veličiny akustické emise. Tzbinfo [online]. [cit. 16.9.2023]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/221-zdroje-zvuku-v-zivotnim-a-pracovnim-prostredi-veliciny-akusticke-emise>
- [31] Vašina, M.: Pohlcování zvuku, šíření hluku ve volném a uzavřeném prostoru. Ústav fyziky a materiálového inženýrství [online]. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. [cit. 16.9.2023] Dostupné z: https://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_04.pdf
- [32] Hoffmannová, T.: Fotosyntéza – co je to a proč je tak důležitá?. Herbalus [online]. [cit. 19.9.2023] Dostupné z: <https://www.herbalus.cz/blog/9187303-fotosynteza-co-je-to-a-proc-je-tak-dulezita>
- [33] Dostál, T.: Klasifikace eroze [přednáška]. Katedra Hydromeliorací a krajinného inženýrství, ČVUT v Praze – Fakulta stavební. [cit. 19.9.2023]

- Dostupné z:
https://storm.fsv.cvut.cz/data/files/p%C5%99edm%C4%9Bty/YPEO/eroze%2002_klasifikace.pdf
- [34] Vodní eroze půdy [online]. Ministerstvo zemědělství České republiky. [cit. 19.9.2023]. Dostupné z: <https://eagri.cz/public/portal/mze/puda/ochrana-pudy-a-krajiny/degradace-pud/vodni-eroze-pudy>
- [35] Nilsson, M., Bengtsson, J., Klæboe, R.: Environmental Methods for Transport Noise Reduction. Taylor & Francis Group, LLC, 2015. ISBN: 978-0-415-67523-9. [cit. 4.10.2023]
- [36] Mapy.cz. Seznam.cz [online] Dostupné z: <https://mapy.cz/>
- [37] Mapy Google. Google [online]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps>
- [38] Campbell, G.: The researcher's complete guide to Leaf Area Index (LAI). Meter group [online]. [cit. 4.11.2023]. Dostupné z: <https://www.metergroup.com/en/meter-environment/education-guides/researchers-complete-guide-leaf-area-index-lai>
- [39] LaiPen Manual. Pohoton szstems instruments [online]. [cit. 4.11.2023]. Dostupné z: <https://handheld.psi.cz/products/laipen/#download>
- [40] ESRI. ArcGIS Pro [software]. Prosinec 2021. Dostupné z: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview>
- [41] Vyhláška č. 345/2002 Sb. Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu, kterou se stanoví měřidla k povinnému ověřování a měřidla podléhající schválení typu. Aktuální znění 01.06.2015 (verze 9)
- [42] ČSN EN ISO 3095 Akustika – Železniční aplikace – Měření hluku vyzařovaného kolejovými vozidly. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [43] L., A., M., van der Heijden: The influence of vegetation on acoustic properties of soils [online]. [cit. 29.12.2023]. Dostupné z: https://repository.ubn.ru.nl/bitstream/handle/2066/148349/mmubn000001_027597490.pdf;jsessionid=91A572F2CA1856918578068FC82CBB7D?sequence=1&fbclid=IwAR1nwWSEPQyOJs2SuQRNY9TLO2TjK8Wy16kmOXGKLWXLcQBArmd4j93eaQg

8. OBRÁZKY

Obrázek 1: Akustické vlnění. [26]	9
Obrázek 2: Korekce váhovými filtry. [26]	10
Obrázek 3: Průběh akustického tlaku. [26]	11
Obrázek 4: Hladiny akustického tlaku. [26].....	12
Obrázek 5: Časový průběh hladiny akustické tlaku A. [28].....	13
Obrázek 6: Útlum zvuku vlivem atmosférické absorpce. [24]	15
Obrázek 7: Útlum zvuku vlivem gradientu větru. [30]	16
Obrázek 8: Útlum vlivem teplotního gradientu. [24]	16
Obrázek 9:Graf koncentrace PM 20 (75) nm v závislosti na vzdálenosti. [8]	21
Obrázek 10: Schéma ground effectu. [10]	22
Obrázek 11: Útlum vlivem vegetace. [36].....	22
Obrázek 12: Vybraná měřicí místa [13]	24
Obrázek 13: Schéma výzkumu psychologického útlumu. [13].....	25
Obrázek 14: Schéma frekvenční analýzy rostlinných druhů. [15]	26
Obrázek 15: Schéma kladení jednotlivých rostlin. [15]	26
Obrázek 16: Schéma měřicího místa 1. [16].....	28
Obrázek 17: Schéma měřicího místa druhé sady měření. [16].....	28
Obrázek 18: Situační schéma měřicího místa. [17]	29
Obrázek 19: Graf přehledu měřených lokalit. [17]	31
Obrázek 20: Porostlá protihluková stěna. [18].....	32
Obrázek 21: Trvale zelená vegetace před PHS. [18].....	32
Obrázek 22: Prototyp gabionové clony s přirozenou vegetací. [19].....	33
Obrázek 23: Polovegetační clona v Lyonu. [20]	34
Obrázek 24: Prototyp betonové clony s možností osazení vegetace. [21] .	35
Obrázek 25: Situace měření. [21]	35
Obrázek 26: Naměřené hladiny akustického tlaku odražené zvukové vlny. [21]	36
Obrázek 27: Vytipovaná měřicí místa. [36].....	38
Obrázek 28: Situace prvního místa. [36].....	39
Obrázek 29: Záběr na první místo.	39

Obrázek 30: Letecký snímek oblasti 2. [36].....	40
Obrázek 31: Záběr na druhé místo.....	40
Obrázek 32: Letecký snímek zachycující třetí měřicí místo. [37].....	41
Obrázek 33: Fotografie z průzkumu třetího místa.....	41
Obrázek 34: Letecký snímek Klánovického lesa. [36]	42
Obrázek 35: Fotografie z průzkumu Klánovického lesa.....	42
Obrázek 36: Fotografie z průzkumu Klánovického lesa.....	43
Obrázek 37: Letecký snímek s vyznačeným měřicím místem 6 [37]	43
Obrázek 38: Letecký snímek vybraného území 6. [36].....	44
Obrázek 39: Fotografie z průzkumu měřicího místa č. 6.	44
Obrázek 40: Letecký snímek měřicího místa č. 7. [37]	45
Obrázek 41: Vegetace – měřicího místa č. 7 Hloubětín.	45
Obrázek 42: Letecká snímek měřicího místa č. 8. [36].....	46
Obrázek 43: Vegetace – lokalita Roztoky u Prahy.....	46
Obrázek 44: Situace deváté lokality. [36]	47
Obrázek 45: Fotodokumentace lokality 5.....	50
Obrázek 46: Měřicí místa – lokalita Hloubětín. [37]	52
Obrázek 47: Měřicí bod M1.	53
Obrázek 48: Měřicí bod M2.	53
Obrázek 49: Železniční svršek – lokalita Hloubětín.....	53
Obrázek 50: Měřicí body – lokalita Roztoky u Prahy. [36]	54
Obrázek 51: Měřicí bod M3.	54
Obrázek 52: Měřicí bod M4.	55
Obrázek 53: Nárůst vegetace – Roztoky u Prahy.....	55
Obrázek 54: Měřicí bod M5.	56
Obrázek 55: Detail železniční trati 90.	56
Obrázek 56: Vybrané území – lokalita Liboc. [36]	57
Obrázek 57: Měřicí bod M7.	57
Obrázek 58: Měřicí bod M8.	58
Obrázek 59: Detail železniční trati 120.	58
Obrázek 60: Index listové plochy. [38].....	62
Obrázek 61: LaiPen LP 100. [39].....	63
Obrázek 62: Porovnání snímku s vrstvou polygonu.	65

Obrázek 63: Porovnání snímku s vrstvou polygonu.	65
---	----

9. TABULKY

Tabulka 1: Výsledky měření s popisem lokalit [17]	30
Tabulka 2: Vícekriteriální hodnocení	49
Tabulka 3: Seznam měřicích kampaní	67
Tabulka 4: Seznam průjezdů – Liboc 4.4.2023.....	68
Tabulka 5: Seznam průjezdů – Roztoky u Prahy 4.4.2023	69
Tabulka 6: Seznam průjezdů – Liboc 27.4.2023.....	70
Tabulka 7: Seznam průjezdů – Roztoky u Prahy 4.5.2023	71
Tabulka 8: Záznam průjezdů – Hloubětín 11.5.2023	72
Tabulka 9: Záznam průjezdů – Liboc 31.5.2023	73
Tabulka 10: Záznam průjezdů – Roztoky u Prahy 31.5.2023	74
Tabulka 11: Záznam průjezdů – Hloubětín 29.6.2023	75
Tabulka 12: Záznam průjezdů – Roztoky u Prahy 10.8.2023.....	76
Tabulka 13: Záznam průjezdů – Liboc 10.8.2023	77
Tabulka 14: Záznam průjezdů – Hloubětín 11.8.2023	78
Tabulka 15: Záznam průjezdů – Hloubětín 14.9.2023	79
Tabulka 16: Záznam průjezdů – Liboc 22.9.2023.....	80
Tabulka 17: Seznam průjezdů – Roztoky u Prahy 3.10.2023.....	81
Tabulka 18: Seznám průjezdů – Roztoky u Prahy 7.12.2023	82
Tabulka 19: Seznam průjezdů – Liboc 7.12.2023.....	82
Tabulka 20: Seznam průjezdů – Hloubětín 7.12.2023	83
Tabulka 21: Naměřené hodnoty – Liboc 4.4.2023	85
Tabulka 22: Naměřené hodnoty – Liboc 27.4.2023	85
Tabulka 23: Naměřené hodnoty – Liboc 31.5.2023	85
Tabulka 24: Naměřené hodnoty – Liboc 10.8.2023	85
Tabulka 25: Naměřené hodnoty – Liboc 22.9.2023	86
Tabulka 26: Naměřené hodnoty – Liboc 7.12.2023	86
Tabulka 27: Naměřené hodnoty – Roztoky u Prahy 4.4.2023	91
Tabulka 28: Naměřené hodnoty – Roztoky u Prahy 4.5.2023	91

Tabulka 29: Naměřené hodnoty – Roztoky u Prahy 31.5.2023	91
Tabulka 30: Naměřené hodnoty – Roztoky u Prahy 3.10.2023	92
Tabulka 31: Naměřené hodnoty – Roztoky u Prahy 7.12.2023	92
Tabulka 32: Naměřené hodnoty – Hloubětín 11.5.2023	96
Tabulka 33: Naměřené hodnoty – Hloubětín 29.6.2023	96
Tabulka 34: Naměřené hodnoty – Hloubětín 11.8.2023	97
Tabulka 35: Naměřené hodnoty – Hloubětín 14.9.2023	97
Tabulka 36: Naměřené hodnoty – Hloubětín 7.12.2023	97

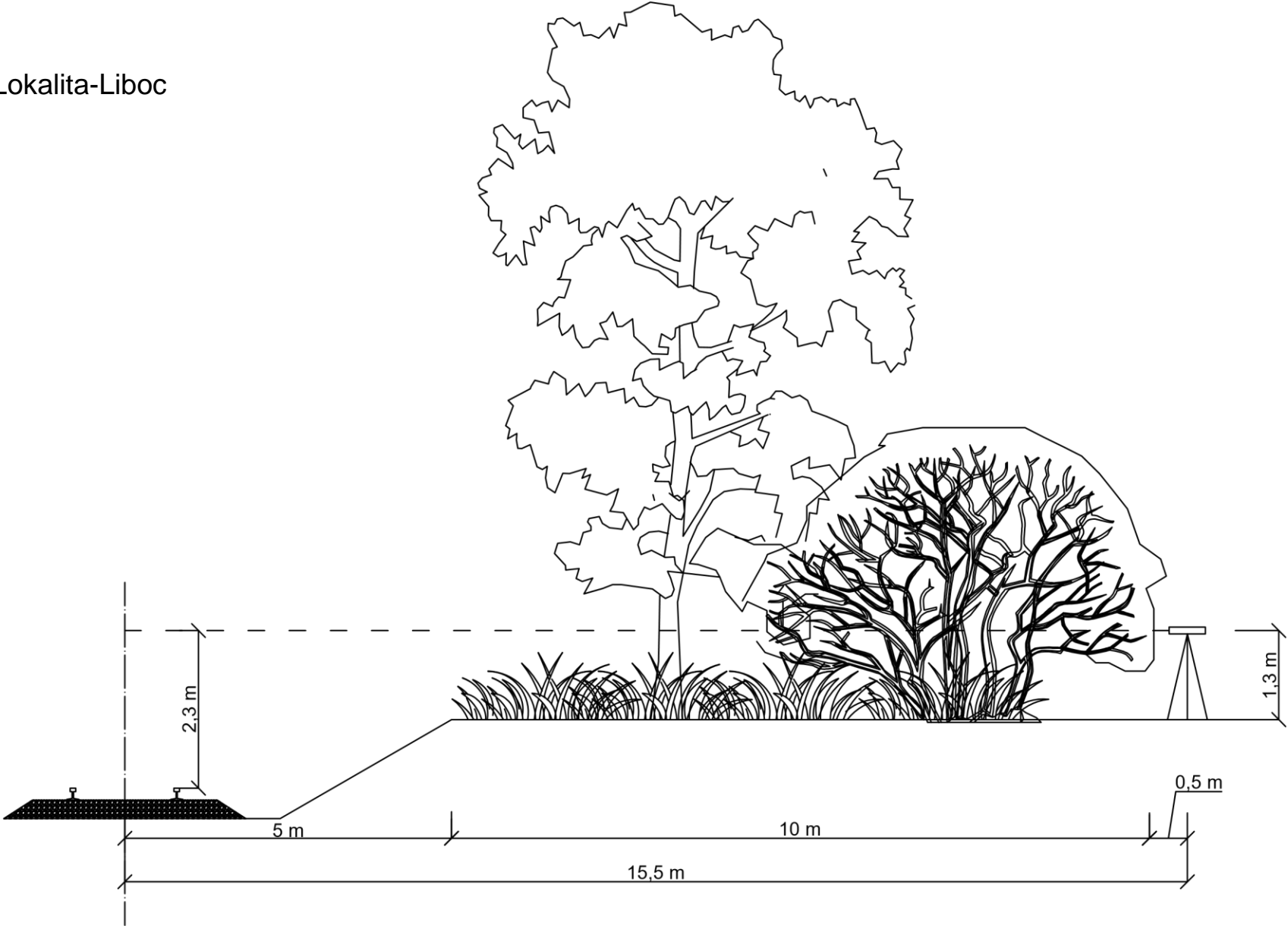
10. GRAFY

Graf 1: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Liboc 4.4.2023	87
Graf 2: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Liboc 27.4.2023	87
Graf 3: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Liboc 31.5.2023	87
Graf 4: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Liboc 10.8.2023	88
Graf 5: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Liboc 22.9.2023	88
Graf 6: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Liboc 7.12.2023	88
Graf 7: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Roztoky u Prahy 4.4.2023	93
Graf 8: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Roztoky u Prahy 4.5.2023	93
Graf 9: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Roztoky u Prahy 31.5.2023	93
Graf 10: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Roztoky u Prahy 3.10.2023	94
Graf 11: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Roztoky u Prahy 7.12.2023	94
Graf 12: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Hloubětín 11.5.2023	98
Graf 13: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Hloubětín 29.6.2023	98
Graf 14: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Hloubětín 11.8.2023	99
Graf 15: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Hloubětín 14.9.2023	99
Graf 16: Rozdíl hodnot ve frekvenčním spektru – Hloubětín 7.12.2023	99

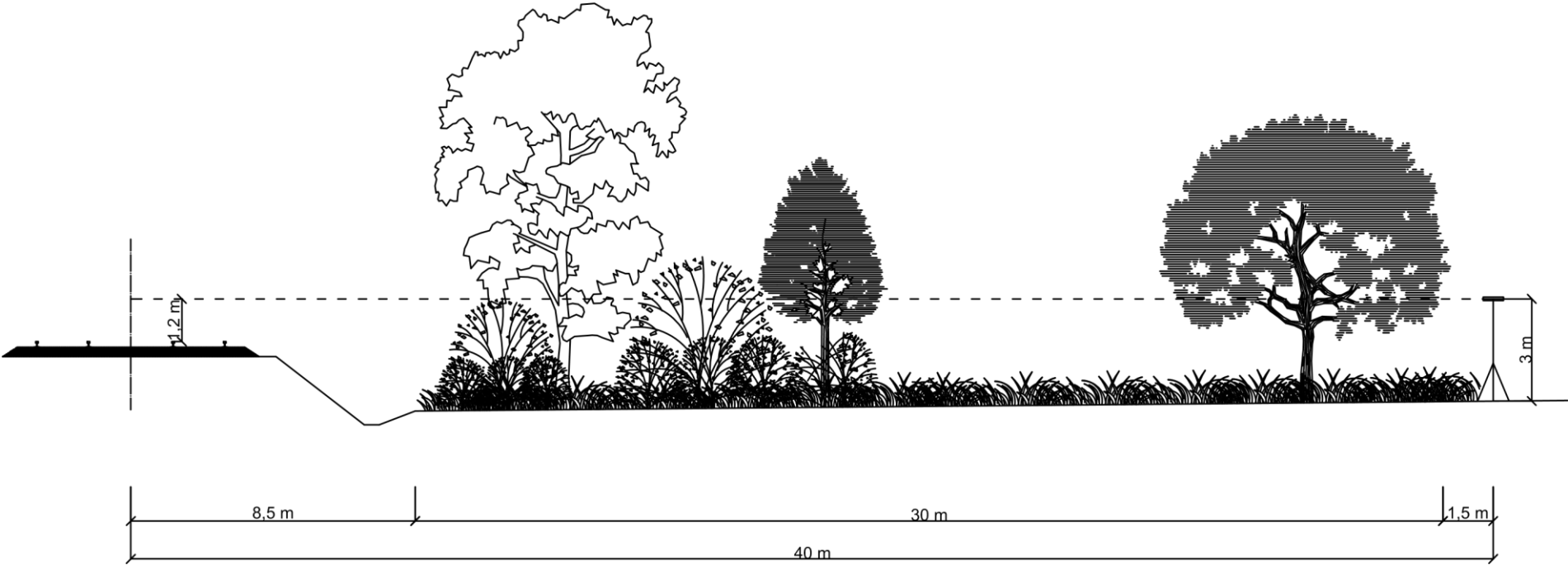
11. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A – Schéma měřicích míst

Lokalita-Liboc



Lokalita-Roztoky u Prahy



Lokalita-Hloubětín

