

# **Studie akustického stínění stavby rodinného domu a šíření hluku ze železniční dopravy v jeho okolí**

Bc. Jan Marada

---

Diplomová práce  
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta logistiky a krizového řízení

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta logistiky a krizového řízení  
Ústav environmentální bezpečnosti

Akademický rok: 2022/2023

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Jan Marada  
Osobní číslo: L21220  
Studijní program: N1032A020002 Bezpečnost společnosti  
Specializace: Environmentální bezpečnost  
Forma studia: Prezenční  
Téma práce: Studie akustického stínění stavby rodinného domu a šíření hluku ze železniční dopravy v jeho okolí

## Zásady pro vypracování

1. Vypracujte rešerši současných poznatků ohledně hluku a jeho dopadu na zdraví a původu hluku z železniční dopravy.
2. Proveďte měření na modelové stavbě rodinného domu v blízkosti železnice a vyhodnoťte zjištěné poznatky.
3. Analyzujte akustické stínění stavby rodinného domu a šíření hluku v jeho okolí při průjezdu vlakových souprav.
4. Navrhněte dispozici domu, pobytové plochy a situační rozmístění pozemku na základě výsledků měření hluku.

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

**Seznam doporučené literatury:**

1. GAŠPARÍK, Jozef a Jiří KOLÁŘ. *Železniční doprava: technologie, řízení, grafikony a dalších 100 zajímavostí*. Praha: Grada Publishing, 2017. ISBN 978-80-271-0058-3.
2. NOVÝ, Richard. *Hluk a chvění*. 4. přepracované vydání. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2019. ISBN 978-80-01-06554-9.
3. PATEL, Raj. *Architectural acoustics: a guide to integrated thinking*. London: RIBA Publishing, 2020. ISBN 978-1-85946-636-0.

Další odborná literatura dle doporučení vedoucího diplomové práce.

Vedoucí diplomové práce: **Mgr. Matyáš Adam, Ph.D.**  
Ústav environmentální bezpečnosti

Datum zadání diplomové práce: **1. prosince 2022**  
Termín odevzdání diplomové práce: **28. dubna 2023**

L.S.

---

**doc. Ing. Zuzana Tučková, Ph.D.**  
děkanka

---

**doc. Ing. Pavel Valášek, CSc. LL.M.**  
ředitel ústavu

V Uherském Hradišti dne 2. prosince 2022

## PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

V Uherském Hradišti, dne: 28.4.2023

Jméno a příjmení studenta: Bc. Jan Marada

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce řeší problematiku akustického stínění stavby rodinného domu a šíření hluku z železniční dopravy v jeho okolí. Teoretická část se věnuje charakteristice základních pojmů jako definici hluku, akustice či hlukovému mapování. Praktická část obsahuje vyhodnocení hlukového měření a ukázkou hlukového modelování s využitím volně dostupného softwaru. Na jejím úvodu je také využita metoda vícekriteriálního hodnocení variant. V práci jsou dále využity metody komparace, analýzy dat a literární rešerše.

V závěru práce obsahuje návrh vhodného situačního rozmístění pozemku, obytných ploch a dispozice domu.

Klíčová slova: železnice, akustika, hluk, rodinný dům, zdraví

## **ABSTRACT**

The diploma thesis deals with the issue of acoustic shielding of the construction of a family house and the spread of noise from railway traffic in its vicinity. The theoretical part is devoted to the characteristics of basic terms such as the definition of noise, acoustics or noise mapping. The practical part includes an evaluation of noise measurement and a demonstration of noise modeling using freely available software. At its introduction, the method of multi-criteria evaluation of the variant is also used. The work also uses methods of comparison, data analysis and literature research.

The conclusion of the work includes a proposal for a suitable situational distribution of the land, residential areas and the layout of the house.

Keywords: railway, acoustics, noise, family house, health

## **Poděkování:**

Mé poděkování patří Panu Ing. Matyáši Adamovi, Ph.D., za odborné vedení, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování diplomové práce věnoval.

Mé další poděkování patří Paní Ing. Lence Vaňkové ze Správy železnic, za její odborné připomínky z praxe, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu psaní diplomové práce věnovala.

Poděkování také patří Panu Ing. Pavlu Sedlákovvi a firmě Enving, s.r.o., bez jejichž pomoci by nebylo možné hlukové měření provést v požadovaném rozsahu.

Neméně důležité poděkování patří také vlastníkům stavby ve Valticích u které bylo hlukové měření provedeno.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

V Uherském Hradišti, dne: 28. 04. 2023

Jan Marada

## OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>CÍL PRÁCE A POUŽITÉ METODY.....</b>	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>12</b>
<b>1 DEFINICE HLUKU.....</b>	<b>13</b>
<b>2 TĚLESNÉ PROJEVY PŘI NADMĚRNÉM PŮSOBNÍ HLUKU .....</b>	<b>15</b>
2.1 PORUCHY SPÁNKU.....	15
2.2 PODRÁŽDĚNOST, PSYCHICKÉ A KOGNITIVNÍ PORUCHY .....	15
2.3 IMUNOLOGICKÉ, CÉVNÍ A KARDIOVASKULÁRNÍ ÚČINKY ZNEČIŠTĚNÍ HLUKEM .....	16
2.4 HLUKOVÉ ZNEČIŠTĚNÍ A SPOLEČNOST .....	16
<b>3 LEGISLATIVA VZTAHUJÍCÍ SE K HLUKOVÉ PROBLEMATICE.....</b>	<b>17</b>
3.1 ZÁKON O OCHRANĚ VEŘEJNÉHO ZDRAVÍ .....	17
3.2 NAŘÍZENÍ VLÁDY O OCHRANĚ ZDRAVÍ PŘED NEPŘÍZNIVÝMI ÚČINKY HLUKU A VIBRACÍ.....	17
3.3 ÚSTŘEDNÍ ORGÁNY STÁTNÍ SPRÁVY A JEJICH ROLE PŘI OCHRANĚ PŘED HLUKEM .....	19
3.3.1 Ministerstvo zdravotnictví .....	19
3.3.2 Ministerstvo životního prostředí .....	20
3.3.3 Ministerstvo pro místní rozvoj .....	20
3.3.4 Ministerstvo dopravy .....	20
3.3.5 Ministerstvo obrany a vnitra .....	21
3.4 LEGISLATIVA A METODIKA TVORBY HLUKOVÝCH MAP (VANDASOVÁ, 2011).....	21
<b>4 MONITORING HLUKU V ČESKÉ REPUBLICE.....</b>	<b>22</b>
4.1 ODBORNÉ ZPRÁVY STÁTNÍHO ZDRAVOTNÍHO ÚSTAVU .....	22
4.2 HLUKOVÉ MAPY .....	23
4.3 KOMPARACE ODBORNÝCH ZPRÁV STÁTNÍHO ZDRAVOTNÍHO ÚSTAVU OD ROKU 2015 .....	24
<b>5 PŮVOD HLUKU Z ŽELEZNIČNÍ DOPRAVY A JEHO ŠÍŘENÍ.....</b>	<b>25</b>
5.1 OPATŘENÍ SPRÁVY ŽELEZNIC PROTI ŠÍŘENÍ HLUKU .....	28
5.1.1 Instalace protihlukových opatření .....	28
5.1.2 Modernizace vozového parku .....	29
5.1.3 Regulace výstavby podél tratí .....	29
5.1.4 Metodika hodnocení a predikce hluku .....	29
<b>6 PRINCIPY AKUSTIKY .....</b>	<b>30</b>
6.1 ŠÍŘENÍ HLUKU Z LINIOVÉHO ZDROJE HLUKU.....	31
6.2 AKUSTICKÉ STÍNĚNÍ .....	32
6.3 ŠÍŘENÍ A OHYB HLUKU .....	35
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>37</b>

<b>7</b>	<b>VÝBĚR VHODNÉ LOKALITY .....</b>	<b>38</b>
7.1	LOKALITA VLKOŠ .....	38
7.2	LOKALITA ROHATEC-SOBOŇKY .....	39
7.3	LOKALITA VALTICE .....	39
7.4	MULTIKRITERIÁLNÍ ROZHODOVÁNÍ.....	40
7.4.1	Kritéria hodnocení.....	41
7.4.2	Metoda hodnocení .....	41
<b>8</b>	<b>HLUKOVÉ MĚŘENÍ.....</b>	<b>45</b>
8.1	VŠEOBECNÉ ÚDAJE.....	45
8.1.1	Cíl měření.....	45
8.1.2	Datum a čas měření .....	45
8.1.3	Postup zkoušky.....	45
8.2	METODIKA MĚŘENÍ .....	46
8.2.1	Strategie a způsob měření .....	46
8.2.2	Doporučení metodického pokynu SŽ.....	47
8.2.3	Přístrojová technika a příslušenství.....	48
8.2.4	Mikroklimatické podmínky.....	48
8.2.5	Stanovení korekce na odraz fasády .....	49
8.3	HODNOCENÝ ZDROJ HLUKU.....	49
8.3.1	Popis zdroje hluku.....	49
8.3.2	Situační schéma lokality .....	50
8.4	VÝSLEDKY MĚŘENÍ .....	52
8.4.1	Intenzita železničního provozu.....	55
8.5	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ .....	56
8.5.1	Nejistota měření .....	56
8.5.2	Výpočet výsledných hladin .....	57
8.5.3	Stávající situace.....	57
8.5.4	Hygienické limity hluku.....	57
8.5.5	Porovnání shody s hygienickým limitem.....	58
<b>9</b>	<b>HLUKOVÉ MODELOVÁNÍ.....</b>	<b>59</b>
9.1	VZOROVÉ HLUKOVÉ MODELY .....	59
9.1.1	Dům s obdélníkovým půdorysem .....	60
9.1.2	Dům s půdorysem ve tvaru písmene L.....	61
9.1.3	Dům s půdorysem ve tvaru písmene U .....	62
9.1.4	Dům se čtvercovým půdorysem typu bungalov.....	63
9.2	SHRnutí VÝSLEDKŮ MODELOVÁNÍ – AKUSTICKÝ STÍN .....	64
9.3	HLUKOVÉ MODELOVÁNÍ S UŽITÍM VEŘEJNOSTI DOSTUPNÝCH FUNKCÍ.....	65
9.3.1	Postup tvorby .....	66
9.3.2	Výstupy .....	68
9.4	KOMPARACE AKUSTICKÝCH STÍNŮ .....	71



<b>10</b>	<b>NÁVRH NA ZLEPŠENÍ STÁVAJÍCÍ SITUACE .....</b>	<b>72</b>
10.1	DISPOZICE DOMU.....	72
10.2	POBYTOVÉ PLOCHY A SITUAČNÍ ROZMÍSTĚNÍ POZEMKU .....	72
10.3	VYLEPŠENÍ BARIÉR.....	73
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>75</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>76</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>82</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>84</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>85</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>86</b>

## ÚVOD

Diplomová práce se bude zabývat studii akustického stínění stavby rodinného domu a šířením hluku z železniční dopravy v jeho okolí. Hluková problematika je v současné době fenoménem, který řeší jak samotná Česká republika, tak všechny státy Evropské unie. Existuje celá řada složitých zákonných norem a dalších předpisů, které limitují expozice hluku v různých prostředích. V současnosti existuje již celá řada studií, které potvrzují přímou souvislost mezi nadlimitními expozicemi hluku a zdravotními obtížemi. Propojení hlukového znečištění a železniční dopravy se nabízí vzhledem k tomu, že Česká republika je v současnosti stále zemí s nejhustší železniční sítí na světě, kterou zdědila z dob Rakousko-Uherské monarchie. Stav současného poznání je tedy v případě České republiky nutné dále rozšiřovat.

Motivací ke zpracování práce je snaha zpopularizovat studovanou problematiku a poukázat tak na dopady hlukového znečištění na celou společnost. Dalším důvodem pro zpracování tématu je vlastní zájem autora o pochopení aplikační praxe ochrany před hlukem. Vzhledem k tomu, že se jedná o práci, která byla zpracována pod záštitou Správy železnic, lze považovat za další motivační faktor také zapojení autora do procesů, které se týkají posuzování hlukového znečištění v okolí staveb a rolí Správy železnic v těchto procesech.

Práce v úvodu seznamuje s podstatou a definicí hluku, dále se zdravotními riziky spojenými s nadměrným působením hluku na lidský organismus. Na část se zdravotními riziky navazuje legislativa. Dále je v práci rozebrán způsob monitoringu hluku v České republice a jeho původ v železniční dopravě. V závěru teoretické části jsou popsány principy akustiky se speciálním zaměřením na akustické stínění. První kapitola praktické části obsahuje výběr vhodné lokality k hlukovému měření. Další kapitola poté obsahuje samostatné hlukové měření a jeho následnou analýzu a vyhodnocení. Hlukové modelování se jako samostatná kapitola věnuje volně dostupnému modelovacímu softwaru a jeho současným možnostem užití. Závěrečná část poté obsahuje návrh dispozice domu, pobytových ploch a situačního rozdělení pozemku.

Mezi hlavní zdroje práce patří v současnosti platná legislativa České republiky vztahující se k řešení hlukové problematiky, dále se jedná o odborné publikace českých i zahraničních autorů. Neméně důležitým zdrojem informací užitých v diplomové práci byly diskuze s odborníky z praxe a jimi poskytnuté materiály.

## CÍL PRÁCE A POUŽITÉ METODY

Cílem diplomové práce bude zpracovat ucelený pohled na řešení hlukové problematiky v České republice a seznámit veřejnost se současnými možnostmi hlukového modelování pomocí volně dostupného softwaru. Základní výzkumnou otázkou je současná aplikační praxe měření hluku v České republice a ukázka schopností volně dostupného softwaru sloužícího k hlukovému modelování. Autor se v práci snaží na základě získaných dat simulovat proces vyhodnocení hlukového měření a dále pak poukázat na současné nedostatky užití volně dostupných softwarů k modelování hluku.

Základní metodou ukotvení teoretické části bude zvolena literární rešerše. Praktická část diplomové práce je rozdělena na čtyři samostatné části. V první části je využita metoda multikriteriálního hodnocení variant k výběru lokality vhodné pro měření. Podpůrnými metodami vyskytujícími se v teoretické i praktické části budou analýza dat, popisná statistika a komparace.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 DEFINICE HLUKU

Podle definice Světové zdravotnické organizace („WHO“) se za hluk považuje jakýkoliv nechtěný zvuk. Tato obecná definice hluku zahrnuje jakýkoliv rušivý, nepříjemný nebo škodlivý zvuk pro člověka. (Jandák, 2007)

Hlukem se obecně rozumí akustický signál, jehož působení člověka ruší, poškozuje či obtěžuje. (Trávníček, 2010)

V obecnosti jsou nepříznivé dopady hluku na lidské zdraví popsány jako změny vzhledu nebo funkce těla, což vede ke zhoršení jeho celkového stavu. Účinky dlouhodobého působení hluku můžeme rozdělit na účinky specifické, projevující se poruchami sluchového analyzátoru a na účinky nespecifické, které ovlivňují funkce různých systémů organismu člověka. (Liberko, 2004)

Hluk má svou právní definici, která zní: *„zvuk, který může být škodlivý pro zdraví a jehož imisní hygienický limit stanoví prováděcí právní předpis“* (Zákon č. 258/2000 Sb.)

Od nabytí účinnosti novely zákona č. 267/2015 Sb., kterým se mění zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, tj. od 1. 12. 2015, je obsažena i negativní definice hluku dle (Zákon č. 267/2015 Sb.), kdy za hluk se nepovažuje:

- hlasový projev lidí a zvířat
- produkce hudby provozované ve venkovním prostoru
- zvuk působený přelivem povrchové vody přes vodní dílo sloužící k nakládání s vodami
- zvuk z akustického výstražného nebo varovného signálu souvisejícího s bezpečnostním opatřením
- zvuk působený v přímé souvislosti s činností související se záchranou lidského života, zdraví nebo majetku, řešením mimořádné události apod.

Z hlediska fyziky je zvuk považován za mechanické vlnění v pružném prostředí, které je slyšitelné lidským uchem. Tento zvuk se šíří prostředím prostřednictvím zvukových vln. Pro popis tohoto akustického vlnění jsou používány základní fyzikální veličiny, jako je akustická rychlost, akustický tlak a kmitočet změn těchto veličin. (Švábová, 2015)

Fyzikálně lze říci, že intenzivnější hluk s vyššími frekvencemi a rytmicky nepravidelným charakterem je více rušivý. Hluk také způsobuje, že se procesy v mozku soustředí na jednu

věc a omezují naši pozornost na ostatní vjemy. Tento jev je užitečný pro jednoduché a rutinní činnosti, ale pro složitější a nové úkoly je to nevýhoda. V okolí 90 dB a výše hrozí nebezpečí trvalého poškození sluchu a vlasových buněk v Cortiho orgánu, což způsobuje nevratné poškození sluchu. (Řiháček, 2002)

## 2 TĚLESNÉ PROJEVY PŘI NADMĚRNÉM PŮSOBENÍ HLUKU

Hluk a jeho nadměrné působení se sebou nese řadu zdravotních dopadů.

Mezi jednu z nejčastějších poruch patří poruchy spánku z důvodu nadměrného hlukového znečištění. Dále k tělesným projevům patří podrážděnost, psychické a kognitivní poruchy. Hlukové znečištění může mít také vliv na společenský status jedince. S poškozením sluchu je totiž spojena horší uplatnitelnost na trhu práce. (Jarolímek, 2014)

Uvedené tělesné projevy jsou v této kapitole blíže rozepsány.

### 2.1 Poruchy spánku

Vystavení silnému okolnímu hluku během nočních hodin způsobuje poruchy spánku, které patří mezi důležité nesluchové zdravotní ohrožení hlukem. Noční buzení kvůli hluku vedou k aktivaci sympatického nervového systému a endoteliální dysfunkce vedou ke zvýšené kardiovaskulární morbiditě. Uvádí se také, že vystavení silnému hluku v nočních hodinách je spojeno s vyššími kardiovaskulárními zdravotními riziky, než expozice hluku ve dne. Časté noční expozice hluku ze silniční, železniční a letecké dopravy snižují kvalitu spánku, což má za následek změny spánkového vzorce. Tyto změny lze charakterizovat zejména jako prodloužení doby lehkého spánku, zkrácení trvání fáze hlubokého spánku a opožděné usínání. Narušení podoby spánku je zase spojeno se zvýšenou denní ospalostí, zhoršenou kognicí a zvýšeným rizikem nehod. (Dubey a Bhatia, 2020)

Hluk má primární účinky na spánek, které mohou vést ke změně jeho hloubky, délky jednotlivých fází (non-REM a REM), nebo dokonce k probuzení s různou mírou vědomí a rozmrzelostí. Reakce na zvuky jsou ovlivněny aktuálním stadiem spánku a s rostoucí intenzitou zvuku se zvyšuje pravděpodobnost narušení spánku. Důsledky jsou patrné následující den a mohou se projevit sníženou pozorností, změnami tělesné funkčnosti nebo dokonce onemocněním. (Havránek et al., 1990)

### 2.2 Podrážděnost, Psychické a Kognitivní poruchy

K obtěžování hlukem dochází v důsledku akutního nebo chronického vystavení hluku, což má za následek frustraci, hněv, podrážděnost, časté bolesti hlavy a nervozitu. Nízkofrekvenční hluk spojený zejména s vibracemi a hlukem s postupně rostoucí intenzitou je spojen s vyššími úrovněmi obtěžování hlukem než vysokofrekvenční šum. Děti, starší lidé a osoby s psychiatrickými poruchami jsou náchylnější k obtěžování způsobenému hlukem.

Chronická expozice hlasitému hluku ovlivňuje kognitivní schopnosti jednotlivců. (Dubey a Bhatia, 2020)

Vysoký hluk pozadí může mít negativní dopad na komunikaci, což se projevuje jako zhoršení schopnosti dorozumět se řečí. Toto zhoršení může mít dalekosáhlé následky na chování a vztahy, jako je například pocit nejistoty, podrážděnosti a snížené pracovní výkonnosti. (Havránek et al., 1990)

### **2.3 Imunologické, cévní a kardiovaskulární účinky znečištění hlukem**

Stres vyvolaný hlukem má za následek zvýšené uvolňování katecholaminů a glukokortikoidů. Vysoké úrovně glukokortikoidů mohou ovlivnit populaci krvinek a změnit imunitní stav jednotlivců. (Dubey a Bhatia, 2020)

Podle stanoviska Světové zdravotnické organizace jsou prokázanými zdravotními dopady vysoké úrovně hluku narušení spánku a výskyt kardiovaskulárních onemocnění, včetně infarktu myokardu, jakož i cévních mozkových příhod a v některých situacích hypertenze. (Hellmuth et al., 2016)

### **2.4 Hlukové znečištění a společnost**

Hlukové znečištění ovlivňuje lidské zdraví, a tím způsobuje nemoci, pracovní neschopnost, ztrátu výdělků a ztrátu produktivity. Nízké výdělků ovlivňují životní úroveň jednotlivce, zatímco nižší produktivita snižuje ekonomické zisky dotčeného podniku, státu a celkové národní ekonomiky. Hluk má tedy velký dopad na kvalitu života jednotlivců a tím pádem i celé společnosti. (Dubey a Bhatia, 2020)

Hluk, který ruší a obtěžuje, má negativní dopad na výkon v práci a snižuje soustředění. Způsobuje kolísání v pracovním výkonu a narušuje procesy učení, což vede k navýšení chybovosti. (Kubínek, Kolářová a Holubová, 2009)



### **3 LEGISLATIVA VZTAHUJÍCÍ SE K HLUKOVÉ PROBLEMATICE**

Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, je považován za nejdůležitější právní úpravu v oblasti hlukové problematiky. Tento zákon upravuje mj. práva a povinnosti fyzických a právnických osob v oblasti ochrany a podpory veřejného zdraví. Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací lze považovat za další právní úpravu, která se týká hluku. Jedná se o prováděcím právní předpis k výše uvedenému zákonu, který stanoví příslušné hygienické limity a způsob měření a hodnocení hluku. (Dudová, 2013)

#### **3.1 Zákon o ochraně veřejného zdraví**

V zákonu o ochraně veřejného zdraví lze najít příslušné paragrafy týkající se přímo hlukové problematiky. Konkrétně se jedná o paragrafy 30 až 34, které stanoví povinnosti vlastníků nebo provozovatelů zdroj hluku. Pro výstavbu rodinných a bytových domů (obecně chráněných objektů) je podstatný §77, který přišel až s novelou zákona účinnou od 1. 12. 2015. Tento paragraf zavádí tzv. prioritu v území - kdo přijde jako druhý, ten si musí ochranu před hlukem zajistit na své náklady, a po tom, kdo začal stavět jako první, nemůže požadovat žádná opatření. Před zmíněnou novelizací byli provozovatelé zdrojů hluku odpovědní za hluk i v případě staveb, které byly postaveny později, než daný zdroj hluku. A toto pro stavby povolené před 1. 12. 2015 platí i nadále, což představuje problém zejména pro provozovatele pozemních komunikací a drah. (Zákon č. 267/2015 Sb.)

Zákon stanoví povinnosti pro provozovatele zařízení nebo strojů, které způsobují hluk. Tito provozovatelé mají povinnost omezit hluk takovým způsobem, aby nepřekročil stanovené hygienické limity. Pokud není možné dodržet stanovené limity při provozu zdroje hluku nebo vibrací, s výjimkou hluku z letového provozu, může být zdroj těchto hluků používán pouze na základě povolení uděleného příslušným orgánem ochrany veřejného zdraví na žádost dotčené osoby. Pouze držitel osvědčení o akreditaci může provádět měření hluku v životním prostředí člověka podle tohoto zákona. (Zákon č. 258/2000 Sb.) Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací

#### **3.2 Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací**

Nařízení vlády zapracovává příslušné předpisy Evropské unie a upravuje dle (Nařízení vlády č. 272/2011 Sb.):

- a) hygienické limity hluku a vibrací na pracovištích, způsob jejich zjišťování a hodnocení a minimální rozsah opatření k ochraně zdraví zaměstnance,
- b) hygienické limity hluku pro chráněný venkovní prostor, chráněné venkovní prostory staveb a chráněné vnitřní prostory staveb,
- c) hygienické limity vibrací pro chráněné vnitřní prostory staveb,
- d) způsob měření a hodnocení hluku a vibrací pro denní a noční dobu.

Nařízení vlády stanoví tzv. základní hygienické limity, k nimž jsou pak přičteny příslušné korekce dle druhu chráněného prostoru, typu zdroje hluku, a denní a noční doby.

Příslušné nařízení lze pro lepší představu vizualizovat pomocí tabulek.

Tabulka 1 Limitní hodnoty hluku v chráněném venkovním prostoru staveb, zdroj: (Pešta a Zwiener, 2019)

Doba	Chráněný prostor	Hygienický limit hluku [dB]			
		1	2	3	4
Denní	Chráněný venkovní prostor staveb lůžkových zdravotnických zařízení včetně lázní	45	50	55	65
	Chráněný venkovní prostor ostatních staveb	50	55	60	70
Noční, železniční doprava	Chráněný venkovní prostor staveb lůžkových zdravotnických zařízení včetně lázní	40	45	50	60
	Chráněný venkovní prostor ostatních staveb	45	50	55	65
Noční, ostatní	Chráněný venkovní prostor staveb lůžkových zdravotnických zařízení včetně lázní	35	40	45	55
	Chráněný venkovní prostor ostatních staveb	40	45	50	60

V prvním sloupci jsou určeny hodnoty, které se použijí pro hluk z provozu stacionárních zdrojů a hluk ze železničních stanic zajišťujících vlakové práce, zejména rozřadování a sestavu nákladních vlaků, prohlídku vlaků a opravy vozů. Je zde užitá jako v ostatních případech zákonná korekce. (Nařízení vlády č. 272/2011 Sb.)

Hodnoty druhého sloupce se použijí pro hluk z dopravy na dráhách, není-li dále uvedeno jinak, na silnicích III. třídy, místních komunikacích III. třídy a účelových komunikacích ve smyslu dalších zákonů. (Nařízení vlády č. 272/2011 Sb.)

Třetí sloupec se pak použije pro hluk z dopravy na dálnicích, silnicích I. a II. třídy a místních komunikacích I. a II. třídy v území, kde hluk z dopravy na těchto komunikacích je převažující nad hlukem z dopravy na ostatních pozemních komunikacích. Použije se pro hluk z dopravy na dráhách v ochranném pásmu dráhy. (Nařízení vlády č. 272/2011 Sb.)

Poslední sloupec se použije pro stanovení hodnoty hygienického limitu staré hlukové zátěže. (Nařízení vlády č. 272/2011 Sb.)

Novelizované nařízení vlády nabývající své účinnosti 1. červencem 2023 upouští od dělení pozemních komunikací do kategorie I. – III. třídy a nově upravuje hygienické limity hluku zvláště pro „staré“ komunikace povolené před 1. lednem 2001 se zvýšeným hygienickým limitem a „nové“ komunikace umístěné a povolené rozhodnutím po 31. prosinci 2000. Obdobně pro dráhy, kde je navíc zrušeno rozlišení hygienického limitu hluku v závislosti na ochranném pásmu dráhy zavedením jednotného hygienického limitu hluku pro železniční dopravu. Takto novela reaguje především na zachování rozvoje veřejné infrastruktury se zásadou dodržování ochrany veřejného zdraví před hlukem a řeší komplikované až bezvýchodné situace, které svou povahou způsobují negativní dopad do projektového plánování dopravních staveb včetně jejich následného rozvoje. (Ministerstvo zdravotnictví ČR, 2023)

### **3.3 Ústřední orgány státní správy a jejich role při ochraně před hlukem**

V České republice existuje řada subjektů na úrovni státní moci, jak na úrovni ústřední, tak na úrovni místní, které se podílejí na ochraně veřejného zdraví před rizikovými faktory hluku. Na ústřední úrovni jsou Ministerstvo zdravotnictví, Ministerstvo životního prostředí, Ministerstvo dopravy, Ministerstvo pro místní rozvoj, Ministerstvo obrany a vnitra zodpovědné za ochranu veřejného zdraví v souladu s kompetenčním zákonem a speciálními právními předpisy. (Bernard a Doucha, 2008)

#### **3.3.1 Ministerstvo zdravotnictví**

Podle kompetenčního zákona je Ministerstvo zdravotnictví ČR hlavním ústředním orgánem státní správy, který se zabývá ochranou veřejného zdraví před hlukem. Spolupracuje s Ministerstvem vnitra a Ministerstvem obrany na usměrňování výkonu státní správy v této oblasti. Ministerstvo zpracovává strategické hlukové mapy s mezními hodnotami a akční plány na základě návrhů krajských úřadů a Ministerstva dopravy, včetně tichých oblastí v aglomeracích a ve volné krajině. Spolupracuje také s orgány sousedních zemí Evropské unie.

Ministerstvo má pravomoc řídit a kontrolovat krajské hygienické stanice a rozhodovat o opravných prostředcích proti jejich rozhodnutím. (Bernard a Doucha, 2008)

Může také stanovit rozsah a četnost kontrol a konkretizovat kontrolní postupy. Ministerstvo zdravotnictví, krajské hygienické stanice a Ministerstva obrany a vnitra tvoří soustavu orgánů ochrany veřejného zdraví v této oblasti. (Dudová, 2013)

### **3.3.2 Ministerstvo životního prostředí**

Ministerstvo životního prostředí ČR má koordinační pravomoc nad ostatními ústředními orgány státní správy v otázkách životního prostředí. Zajišťuje a řídí jednotný informační systém o životním prostředí a také monitorování životního prostředí v celostátním měřítku. (Bělohradová et al., 2011)

V oblasti ochrany proti hluku má pravomoc hodnotit a snižovat dopad hluku na životní prostředí v dlouhodobém horizontu (např. tichá místa v přírodě), zabývá se také prevencí znečištění a hodnocením dopadů činností na životní prostředí včetně mezinárodní spolupráce při posuzování přeshraničních dopadů. (Dudová, 2013)

### **3.3.3 Ministerstvo pro místní rozvoj**

Ministerstvo pro místní rozvoj ČR má hlavní pravomoc v oblasti územního plánování a stavebního řízení podle zákona a také má zodpovědnost za hodnocení a snižování dlouhodobého průměrného hlukového zatížení životního prostředí, včetně stanovení seznamu aglomerací, které jsou vystaveny hlukovému znečištění. (Dudová, 2013)

### **3.3.4 Ministerstvo dopravy**

Ministerstvo dopravy ČR zajišťuje aktualizaci akčních plánů, které jsou založeny na strategických hlukových mapách, pořízených Ministerstvem zdravotnictví, a to v oblasti hodnocení a snižování dlouhodobého průměrného hlukového zatížení životního prostředí. (Bělohradová et al., 2011)

Tento proces se uskutečňuje pro hlavní pozemní komunikace, kde projede více než 3 000 000 vozidel ročně a jsou vlastněny státem, hlavní železniční tratě, kde projede více než 30 000 vlaků ročně a hlavní civilní letiště, kde se uskuteční více než 50 000 vzletů a přistání ročně, s výjimkou lehkých letadel používaných pro cvičné účely. Frekvence aktualizace akčních plánů je jednou za pět let, s výjimkou situací, kdy dochází ke zásadním změnám, které významně ovlivňují stávající hlukovou situaci. (Dudová, 2013)

### 3.3.5 Ministerstvo obrany a vnitra

Podle ustanovení § 83 ZOVZ se úkoly státní správy v ochraně veřejného zdraví včetně státního zdravotního dozoru v ozbrojených silách provádějí Ministerstvo obrany ČR a Vojenský zdravotní ústav. Stejně tak Ministerstvo vnitra a organizační složka státu jím zřízená mají na starosti úkoly státní správy v oblasti ochrany veřejného zdraví včetně státního zdravotního dozoru v bezpečnostních sborech, s výjimkou Vězeňské služby ČR. (Dudová, 2013)

## 3.4 Legislativa a metodika tvorby hlukových map (Vandasová, 2011)

- Směrnice Evropské komise 2015/996 o stanovení společných metod hodnocení hluku
- Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES o hodnocení a řízení hluku ve venkovním prostředí
- Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů
- Vyhláška č. 561/2006 Sb., o stanovení seznamu aglomerací pro účely hodnocení a snižování hluku
- Metodický návod pro zpracování akčních plánů protihlukových opatření podle Směrnice 2002/49/EC o snižování a řízení hluku v životním prostředí
- další legislativa týkající se průřezově hlukové problematiky

Později byla ke zmíněné legislativě stanovena vyhláška dle (Junek et al., 2020):

- Vyhláška č. 315/2018 Sb., o strategickém hlukovém mapování

## 4 MONITORING HLUKU V ČESKÉ REPUBLICCE

V určitých městských lokalitách se provádí sledování hluku v rámci systému monitorování zdraví obyvatelstva v souvislosti se životním prostředím. Hluk je zjišťován průběžným měřením a postupně jsou doplňovány akustické studie. Pro získání údajů o zdravotním stavu a postojích obyvatelstva k hluku jsou prováděna dotazníková šetření (Státní zdravotní ústav, 2016). Dále kapitola monitoringu obsahuje souhrn odborných zpráv od roku 2015 a popis problematiky týkající se hlukového mapování v České republice a Evropské unii.

### 4.1 Odborné zprávy Státního zdravotního ústavu

V minulosti bylo vytvořeno mnoho systémů pro monitorování hluku. Jedním z takových systémů je subsystém III, který je součástí systému monitorování Státního zdravotního stavu obyvatelstva ČR v oblasti životního prostředí od roku 1994. Jeho účelem je především zjistit vztah mezi hlukem a jeho účinky na zdraví a kvalitu života obyvatel. Subsystém III provádí 24-hodinové měření hluku na měřicích místech a sleduje jeho vývoj. Od roku 2009 se v rámci subsystému III postupně vytváří akustické studie v monitorovaných lokalitách, které obsahují hlukové mapy, jež zobrazují prostorové rozložení hluku v lokalitách. Tyto studie umožňují přesné určení expozice hluku na místě bydliště jednotlivých respondentů dotazníkových šetření, což vede ke zpřesnění údajů o vztahu mezi expozicí hluku a jeho účinky na lidské zdraví (Státní zdravotní ústav, 2023). Příkladem může být studie z roku 2015, kdy se hodnocení výsledků monitoringu hluku zaměřilo na problematiku nočního hluku a sledování jeho vývoje. Noc představuje dobu spánku a fyziologické regenerace organismu a proto je tiché prostředí v tomto čase obzvláště důležité pro zdraví obyvatelstva. Spánek je biologická nutnost a narušený spánek je spojen s řadou zdravotních problémů a komplikací. Nespavost je prokazována již od prahové hodnoty  $L_n = 42$  dB a zvýšené užívání léků na spaní je prokazováno od prahové hodnoty  $L_n = 40$  dB. Dlouhodobé narušení spánku hlukem je pokládáno samo o sobě za poruchu zdraví a navíc vede k dalším následkům pro zdraví a životní pohodu, jako je únava, podrážděnost, snížená výkonnost a zvýšená nehodovost. V 10 lokalitách byl vývoj stabilní s náhodným kolísáním hodnot, ve třech lokalitách byl rostoucí a ve dvou lokalitách klesající. (Státní zdravotní ústav, 2016)

Další studie se pak v roce 2016 týkala zejména vývoje hluku ve sledovaných lokalitách měst, kdy zkoumala hlukové ukazatele pro den  $L_d$  a pro večer  $L_v$ . Současně se zpráva snažila o ohraničení monitorovaných lokalit (Státní zdravotní ústav, 2017). Další odborné zprávy byly provedeny až od roku 2019. Odborná zpráva z roku 2019 obsahovala mimo výsledky měření

hluku v monitorovaných lokalitách i hodnocení vývoje hluku v těchto lokalitách. Jednalo se zejména o dopravně vytížené silnice ve velkých městech (Státní zdravotní ústav, 2020). Zpráva z roku 2020 se snažila pomocí dotazníkové šetření zjistit názor společnosti na hluk. Navíc zpráva obsahovala také hodnocení výsledků dotazníkového šetření se zaměřením na ukazatele odezvy na hluk, opatření proti hluku a účinnost těchto opatření (Státní zdravotní ústav, 2021).

Zatím nejaktuálnější odbornou zprávou je zpráva za rok 2021. V této zprávě se výzkumný tým zaměřil zejména na porovnání obtěžování a rušení spánku v monitorovaných lokalitách se vztahy dávka-účinek publikovanými v zahraničí a vliv orientace oken na obtěžování a rušení spánku (Státní zdravotní ústav, 2022). Z výše uvedeného lze usoudit, že hluková problematika je ze strany Státního zdravotního ústavu dobře podchycena.

## 4.2 Hlukové mapy

Hlukové znečištění je v Evropě stále vážným problémem a způsobuje negativní dopady na lidské zdraví, kvalitu života a přírodu. Významným zdrojem hluku jsou doprava a průmysl, a proto se řešení tohoto problému stalo jednou z hlavních priorit Evropské unie. (Křivánek, Marková a Effenberger, 2019)

V rámci snah o omezení hlukového znečištění zpracovávají členské státy strategické hlukové mapy a na jejich základě připravují akční plány s cílem snížit úroveň hluku v obcích a městech. V České republice je za vypracování strategických hlukových map odpovědné Ministerstvo zdravotnictví. Strategické hlukové mapy se zpracovávají v pětiletých cyklech v okolí hlavních zdrojů hluku (viz. kapitola 3.3.4). Strategické hlukové mapy se zpracovávají na základě akustických výpočtových modelů, které jsou výstupem konstrukce modelu ve výpočtových programech s použitím příslušných metodik výpočtu. Měření probíhá pouze pro účely validace sestavených modelů. Akční plány jsou součástí strategických hlukových map a obsahují opatření, jejichž účelem je ochrana před škodlivými a obtěžujícími účinky hluku, včetně jeho snížení. Mezi opatření patří například vytváření tichých oblastí v aglomeracích a ve volné krajině, které chrání území dosud nezatížených hlukem. Opatření navržená v rámci akčních plánů jsou na volném uvážení příslušných orgánů, ale měla by řešit zejména prioritní situace, které jsou zjištěny podle míry překročení mezní hodnoty stanovených hlukových ukazatelů nebo podle dalších kritérií zvolených členskými státy EU. Kritická místa jsou v rámci strategických hlukových map vymezena obydlenému území, kde dochází k překročení příslušné mezní hodnoty hlukových ukazatelů.

V pravidelných termínech jsou strategické hlukové mapy a souhrny akčních plánů reportovány Evropské komisi. Pro tento účel se používá jednotný systém Reportnet, pomocí něhož se tabulková i prostorová data posílají Evropské agentuře životního prostředí. Ta zpracovává přehledy a souhrny za všechny státy EU a vydává zprávy o hodnocení plnění této směrnice. Takto získané údaje jsou podkladem pro tvorbu legislativy omezující hlukové znečištění (hlukové emise automobilů, strojů, železničních vozů, apod.). (Junek et al., 2020)

Strategické hlukové mapy jsou dostupné veřejnosti na Geoportále MZČR (viz. Obr. 5 v kapitole 6.1).

### 4.3 Komparace odborných zpráv Státního zdravotního ústavu od roku 2015

Z komparace jsou patrné trendy v měření hluku SZÚ. Od roku 2015 se snížil počet monitorovaných lokalit, které jsou řešeny v odborných zprávách. Je zde také patrné to, že výzkum se zaměřil v letech 2020-2021 spíše na kvalitativní a různá šetření místo hromadného měření.

Tabulka 2 Komparace odborných zpráv SZÚ 2015-2021, zdroj: (Státní zdravotní ústav, 2023)

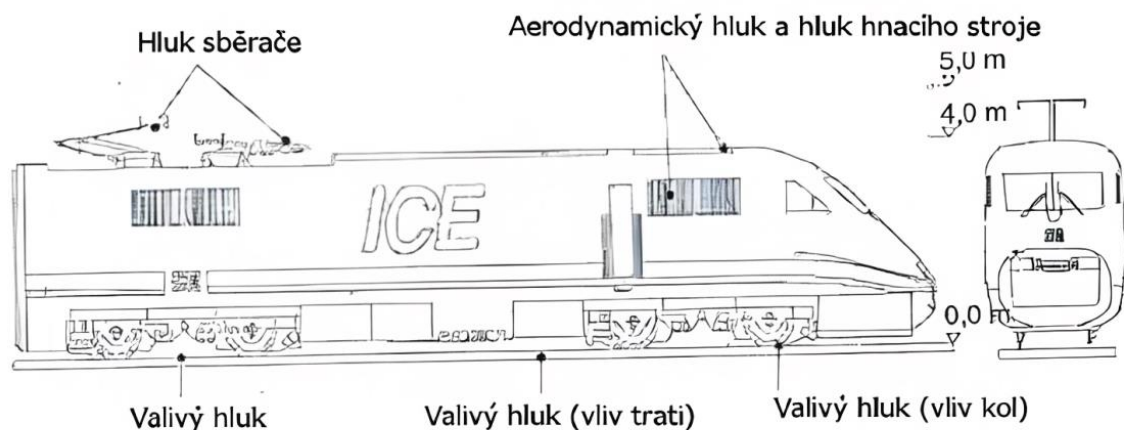
Rok	Měřený ukazatel	Další výzkum	Počet lokalit
2015	Hlukový ukazatel pro noc - $L_n$		9
2016	Hlukový ukazatel pro den $L_d$ a pro večer $L_v$	Ohraničení monitorovaných lokalit	9
2019	Hlukový ukazatel pro den $L_d$ (6:00 - 18:00), pro večer $L_v$ (18:00 - 22:00), pro noc $L_n$ (22:00 - 6:00).  Hlukový ukazatel pro den+večer+noc $L_{dvn}$	Ekvivalentní hladiny akustického tlaku pro celou denní dobu $L_{Aeq, 16h}$ (6:00 – 22:00) a pro celou noční dobu $L_{Aeq, 8h}$ (22:00 – 6:00) a 24h průběh $L_{Aeq, 24h}$	4
2020	-	Dotazníkové šetření – metodika, průběh a hodnocení výsledků.	4
2021	-	Porovnání obtěžování a rušení spánku v monitorovaných lokalitách se vztahy dávka-účinek a vliv orientace oken na studovanou problematiku	3



## 5 PŮVOD HLUKU Z ŽELEZNIČNÍ DOPRAVY A JEHO ŠÍŘENÍ

Hluk z železniční dopravy může mít několik zdrojů. Mezi ty patří hluk sběrače, aerodynamický hluk vznikající při pohybu vlaku v prostoru a také hluk hnacího stroje a hluk valivý, který vzniká při jízdě vlaku po kolejích. Vedle těchto zdrojů se vyskytuje také lokální dopravní hluk, který je způsoben hlukem brzd a může být velmi rušivý. Tyto hluky jsou významným zdrojem hlukového znečištění a jsou často předmětem diskuzí o opatřeních k ochraně životního prostředí. (Neubergová, 2011)

Zvukové projevy místního rozhlasu, zabezpečovacího zařízení apod. nepovažujeme z hlediska zákona za hluk a jejich intenzita je tedy dána příslušnými normami (Zákon č. 258/2000 Sb.). Jednotlivé zdroje hluku z železniční dopravy lze spatřit na obrázku níže.

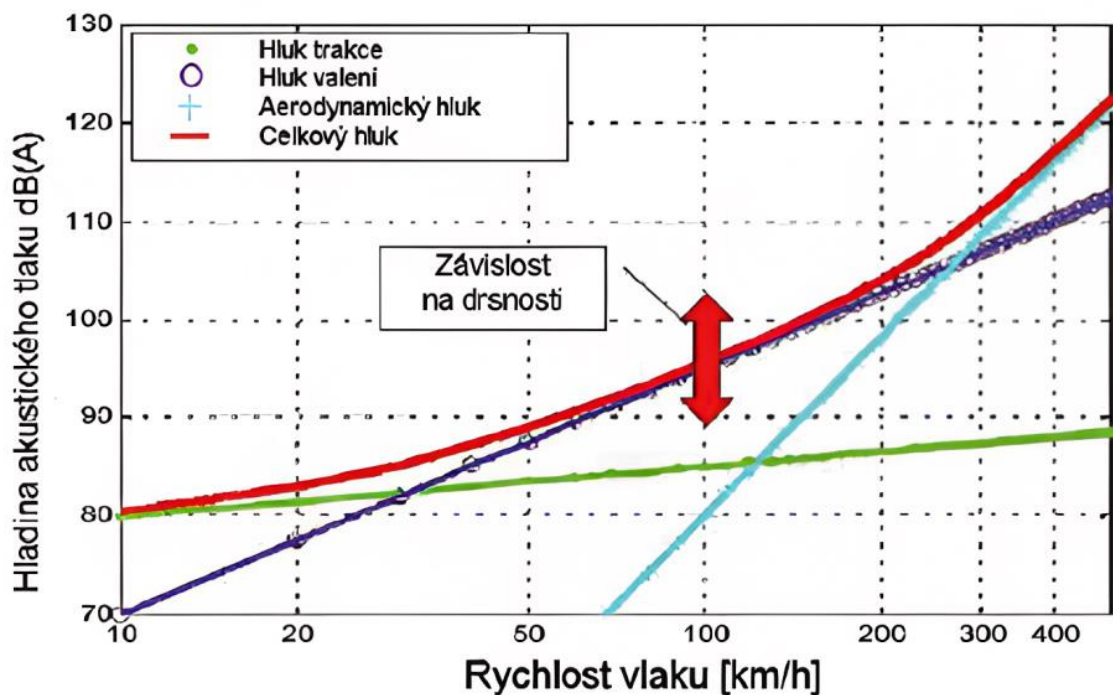


Obrázek 1 Typy hluku z železniční dopravy, zdroj: (Neubergová, 2011)

Hluk z železniční dopravy a vibrace přenášené do země vyvolané rázovým zatížením kol a kolejnic jsou generovány odlišnými nepravidelnostmi povrchu kol a kolejnic nebo lokálními odchylkami v nominální geometrii kontaktu kolo-kolejnice. Na pojízděcí ploše kolejnice může mít její konstrukce vlastní nepravidelnosti, například na křižovatkách nebo izolovaných spojích. Na kole nebo kolejnici může být nepravidelnost také důsledkem poškození povrchu v důsledku praskání materiálu z důvodu opotřebení při valení nebo následkem skluzu kola bez valení. (Nielsen et al., 2021)

Jednotlivé typy hluku se během jízdy vlakové soupravy podílí různou měrou na celkovém hlukovém znečištění. Záleží samozřejmě také na rychlosti, kterou se vlaková souprava pohybuje.

Na obrázku níže lze jasně vidět jakým způsobem tento hluk mění své zdroje. Je patrné, že celkový hluk vlakové soupravy se zvyšuje s rychlostí. Aerodynamický se začíná projevovat až při rychlosti nad 50 km/h, zatímco hluk valení má téměř lineární průběh v závislosti na rychlosti soupravy. Lze si všimnout i toho, že hluk trakce vzrůstá velmi pomalu a na celkovém zvyšování hlučnosti soupravy se tudíž velkou měrou nepodílí.



Obrázek 2 Zdroje hluku a jejich celkový podíl na hlukových emisích, zdroj: (Neubergová, 2011)

Jednotlivé zdroje hluku mají u různých typů souprav rozdílný podíl na celkové hladině hlukových emisí. V tabulce níže jsou jednotlivé složky uvedeny.

Tabulka 3 Hlavní zdroje hluku pro 4 typy souprav, zdroj: (Neubergová, 2011)

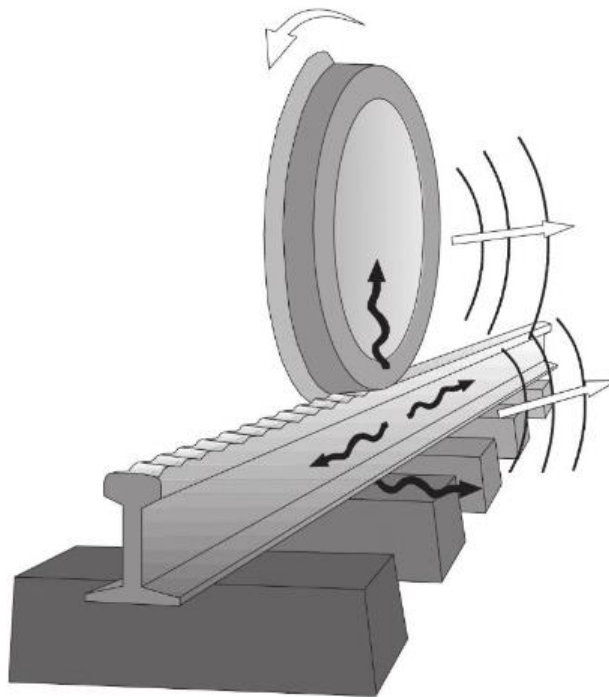
Typ vlaku	Hluk z valivého pohybu (stykem kol s kolejnicemi)	Hnací mechanismus a pomocná zařízení	Hluk vytvářený aerodynamickými vlivy
Nákladní vlaky	velmi podstatný vliv	podstatný vliv	
Vysokorychlostní vlaky	velmi podstatný vliv	podstatný vliv	velmi podstatný vliv
Vlaky Intercity	velmi podstatný vliv	podstatný vliv	
Městské vlaky	velmi podstatný vliv	podstatný vliv	

Na příkladech z tabulky je patrné, že aerodynamický vliv je vlivem podstatným pouze pro vysokorychlostní vlaky. Valivý pohyb je tedy v podmínkách ČR hlavním zdrojem hluku u všech typů souprav.

všech typů souprav.

Hluk z valivého pohybu je u nákladních vlaků zpravidla vyšší, protože nákladní vlaky jsou opatřeny špalíkovými brzdami (na rozdíl od vlaků osobní dopavy, vybavených ve většině případů kotoučovými brzdami). Princip špalíkové brzdy spočívá v přitlaku špalíku na pojížděnou hranu kola a tím tuto hranu nerovnoměrně obrušuje. Takové kolo pak není ideálně hladké. Dříve byly špalíkové brzdy výhradně litinové, tj. tvrdé. Z nařízení Evropské komise se však u nových vozů musí nově používat špalíky nekovové, neboli kompozitní. Jsou dva typy LL a K. Brzdové špalíky jsou měkčí, za určitých podmínek mají i horší brzdné vlastnosti (např. v zimním období), ale neobrušují kolo a nevznikají tak na kole nerovnosti, které potom při odvalování způsobují nadměrný hluk. Hmotnost vlaku tedy sehrává až sekundární roli při tvorbě hluku při pohybu nákladního vlaku. Kotoučové brzdy se u nákladních vozů nepoužívají z praktického hlediska – výměna kotoučové brzdy je nákladná a u nákladních vlaků by musela být prováděná častěji a jednalo by se tedy o neekonomické řešení. Lze ji si sice vidět na soupravách převážejících automobily, nicméně takový náklad je stále na poměry železnice relativně lehký a brzdy nejsou tak namáhané. (Eisenreich et al., 2019)

Na obrázku níže lze vidět mechanismus vzniku a šíření hluku při styku kola s kolejnicí.



Obrázek 3 Mechanismus vzniku a šíření hluku při pohybu vlaku, zdroj: (Thompson, Jones a Gautier, 2009)

Z obrázku je patrné, že se nejedná pouze o hluk ze styku kola a kolejnice, nýbrž i ze styku kolejnice a pražců. Nezanedbatelnou součástí tvorby hluku při jízdě vlakové soupravy jsou také vibrace. (Connolly et al., 2016)

## 5.1 Opatření Správy železnic proti šíření hluku

Správa železnic, státní organizace, (dále jen SŽ) je jako provozovatel dráhy povinna zajistit organizačními, technickými a dalšími opatřeními nepřekračování stanovených hlukových limitů. Přístup SŽ ke snižování hluku ze železniční dopravy se opírá o tyto pilíře (Eisenreich et al., 2019):

- Instalace protihlukových opatření
- Modernizace vozového parku
- Regulace výstavby podél tratí
- Metodika hodnocení a predikce hluku

### 5.1.1 Instalace protihlukových opatření

Nejčastějším a neúčinnějším opatřením pro omezení hluku a jeho šíření v okolí železničních tratí jsou protihlukové stěny, které se umísťují většinou 3,5 metru od osy kolejí a mají obvykle výšku 2 až 4 metry nad temenem kolejnice. Tyto bariéry jsou v České republice instalovány na přibližně 243 kilometrech tratí a ročně se vystaví zhruba 12,5 kilometrů nových bariér. (Eisenreich et al., 2019)

Místo klasických protihlukových stěn se dá použít alternativa v podobě nízkých protihlukových clon, které jsou umístěny v bezprostřední blízkosti koleje. Nicméně z důvodu bezpečnosti se tyto standardně používají pouze u jednokolejných tratí a instalují se pouze z jedné strany, aby byl pracovníkům pohybujícím se v kolejišti umožněn únik před jedoucím vlakem. (Eisenreich et al., 2019)

Kromě protihlukových stěn a nízkých protihlukových clon jsou kolejnicové a kolejové absorbéry dalším opatřením proti hluku z železniční dopravy. Kolejnicové absorbéry se instalují na stojinu kolejnice, kdy svojí hmotností tlumí vibrace. Tento proces výrazně snižuje hluk vznikající ze styku kola s kolejnicí. Kolejové absorbéry zase zvyšují pohlcování hluku terénem. Tyto absorbéry jsou instalovány na pevnou jízdní dráhu, jejíž hladký povrch vytváří odrazy a zvyšuje tak hluk v okolí. (Eisenreich et al., 2019)

Poslední z kategorie protihlukových opatření jsou individuální opatření zaměřená na snížení hluku uvnitř objektů. Tyto opatření se snaží zajistit, aby hladina hluku uvnitř budov byla v souladu s hygienickými limity a současně, aby došlo k eliminaci chráněného venkovního prostoru stavby. V tomto případě je klíčové, aby bylo možné místnost větrat bez nutnosti otevírání oken. Pro dosažení tohoto cíle se většinou používají speciální okna s vysokou izolací zvuku a systémy nuceného větrání. Tento způsob se volí, pokud nelze snížit hladinu hluku v chráněném venkovním prostoru stavby pomocí jiných protihlukových opatření. (Eisenreich et al., 2019)

### **5.1.2 Modernizace vozového parku**

Snížení hladiny hluku z nákladních vlaků se soustředí převážně na úpravu brzdových systémů, kterou lze provést již při modernizaci vozů. K tomu, aby byl nákladní dopravce motivován k modernizaci vozidel a jejich většímu využívání, zavedla SŽ bonusový systém za modernizované vozy. Dalším opatřením pro snížení hluku v okolí železničních tratí je vytvoření "tišších tratí". Evropská komise připravuje nařízení, které stanoví, že na všech tratích s větším provozem než 12 nákladních vlakových souprav v noci, nesmí být povoleno provozování nákladních vlaků, které neodpovídají požadavkům na tiché vozy. Tato opatření by měla být zavedena ke konci roku 2024. (Eisenreich et al., 2019)

### **5.1.3 Regulace výstavby podél tratí**

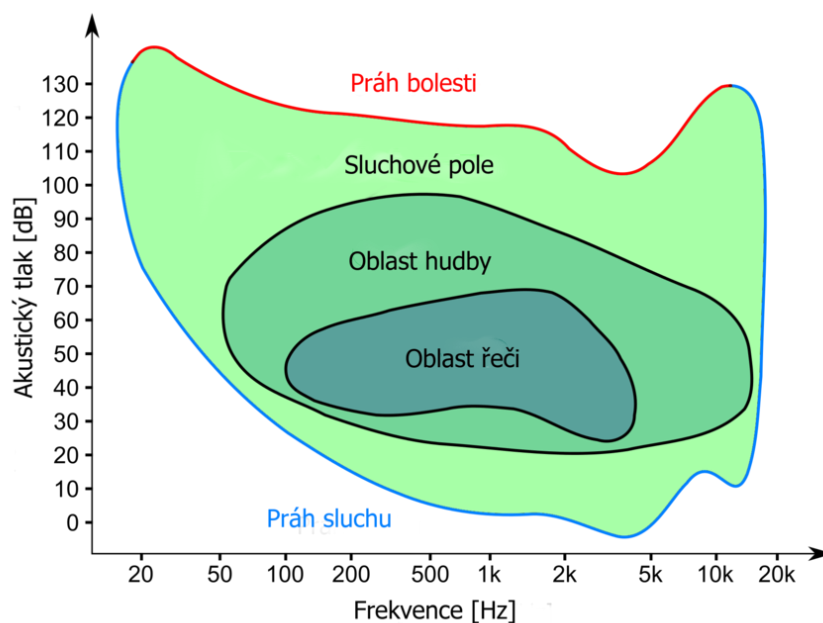
SŽ se snaží zabránit dalšímu navyšování počtu osob zasažených hlukem ze železniční dopravy a proto v rámci stanoviska pro povolení stavby rovněž hodnotí, zda má daný stavební záměr dostatečně řešenu ochranu před hlukem. (Eisenreich et al., 2019)

### **5.1.4 Metodika hodnocení a predikce hluku**

ČR dosud nemá vlastní metodiku pro výpočet hluku. Proto SŽ uplatňuje vlastní manuál pro zpracování hlukových studií, který zohledňuje specifika hluku ze železniční dopravy tak, aby byly vypočtené hodnoty co nejpřesnější. (Eisenreich et al., 2019)

## 6 PRINCIPY AKUSTIKY

Oblast fyzikální akustiky je součástí rychle rozvíjející se vědy termomechaniky spojitého média. Pro zajištění akustického přenosu jsou zapotřebí tři základní prvky: jeden nebo několik emitorů nebo zdrojů zvuku, jeden přijímač a přenosové médium. Princip přenosu je založen na existenci částic, jejichž polohu v rovnovážném stavu lze modifikovat. Obecně se neberou v úvahu všechny výchylky související s jakýmkoli druhem vlnění, kromě těch, které souvisí s přenášenou veličinou. Vlnění mohou být buď příčné nebo podélné (posunutí částice je kolmé nebo rovnoběžné se směrem šíření zvuku). V pevných látkách se akustické vlny vždy skládají z podélné a příčné složky u jakýchkoliv typů vlnění. Tyto jevy závisí na typu vazeb existujících mezi částicemi. V kapalinách oba typy vln vždy koexistují, i když dominantní postavení zaujímají podélné vibrace. V plynech jsou příčné vibrace prakticky zanedbatelné, i když jejich účinky lze stále pozorovat při uvážení viskozity a to zejména u stěn uzavírajících zkoumaný prostor. Pojem frekvence je v akustice zásadní; souvisí s opakováním pohybu, který nemusí být nutně sinusový (i když je sinusová závislost vzhledem k jeho četným charakteristikám velmi důležitá). (Bruneau, 2006) Vztah mezi zvukovým vlněním a frekvencí v hranicích sluchového pole člověka lze vidět na obrázku (viz. Obr. 4).



Obrázek 4 Sluchové pole člověka, zdroj: (Thehappyv, 2013)

Z obrázku je patrné, že sluchové pole člověka je ohraničeno dvěma sluchovými prahy. První z nich se nazývá práh slyšitelnosti. Druhým prahem je práh bolesti.

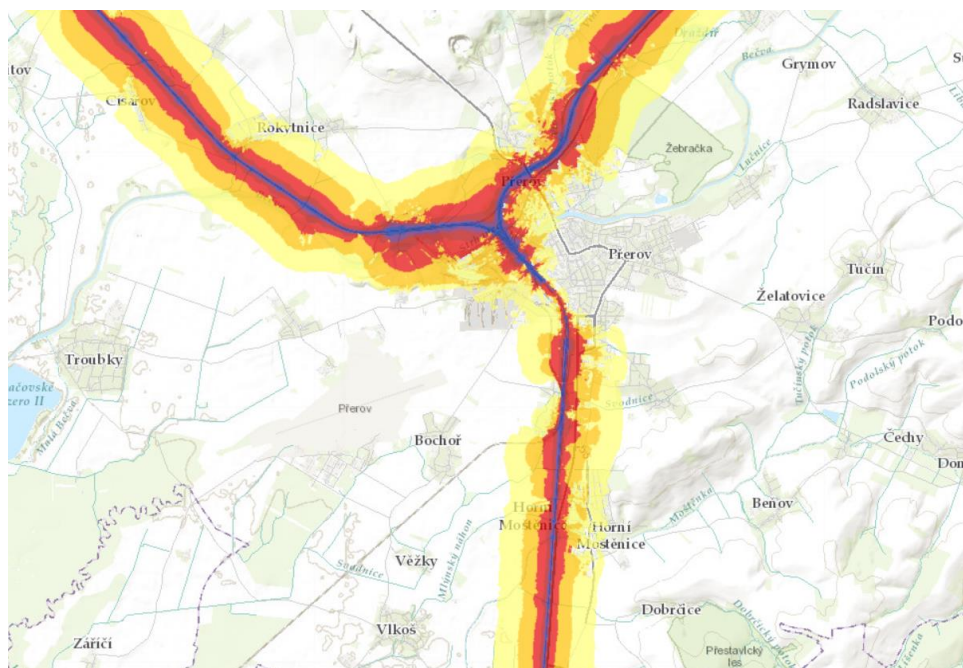
## 6.1 Šíření hluku z liniového zdroje hluku

Šíření hluku lze rozdělit do třech základních skupin dle jejich zdrojů. Dle (Řezáč, 2011) se jedná o:

- Bodový zdroj
- Liniový zdroj
- Plošný zdroj

V případě železniční a silniční dopravy se jedná o liniový zdroj hluku. Takový hluk představuje řadu zdrojů hluku spojených za sebou. Hlavním problémem je jak v případě železniční, tak silniční dopravy to, že hluk klesá se vzdáleností lineárně, nikoli kvadraticky. Jako bodový zdroj hluku si lze představit samostatně jedoucí auto v nočních hodinách (Řezáč, 2011). Za plošný stacionární zdroj hluku lze považovat průmyslové budovy, průmyslové areály, atd. (Potužníková et al., 2014).

Na obrázku níže (viz. Obr. 5) lze vidět šíření hluku z železniční dopravy v okolí města Přerov. Na obrázku jsou patrná místa, kde dochází k akustickému stínění. Lze také vidět snižující se akustický tlak, kdy v nejbližším okolí železnice je akustický tlak nejvyšší (modrá a červená). Snižuje se vzdáleností od trati (odstíny žluté).



Obrázek 5 Příklad liniového zdroje hluk – železniční doprava v okolí města Přerov, zdroj: (Geoportál MZČR, 2017)

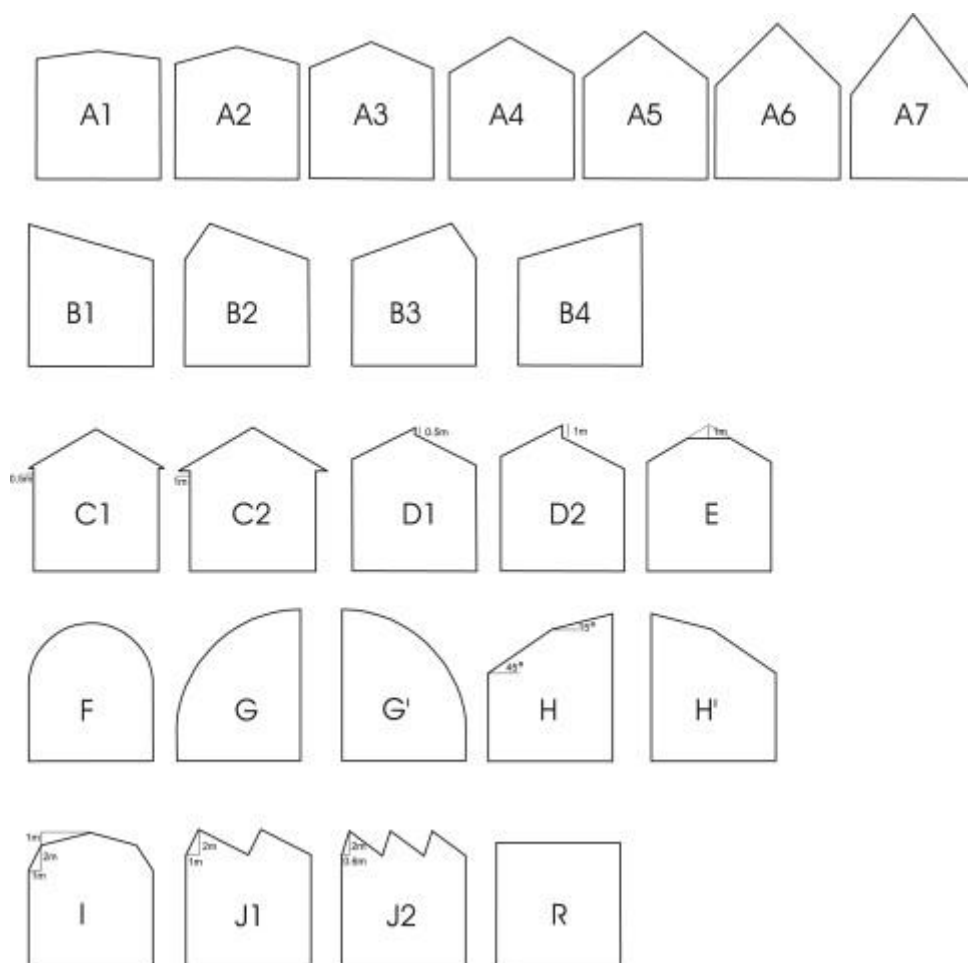


## 6.2 Akustické stínění

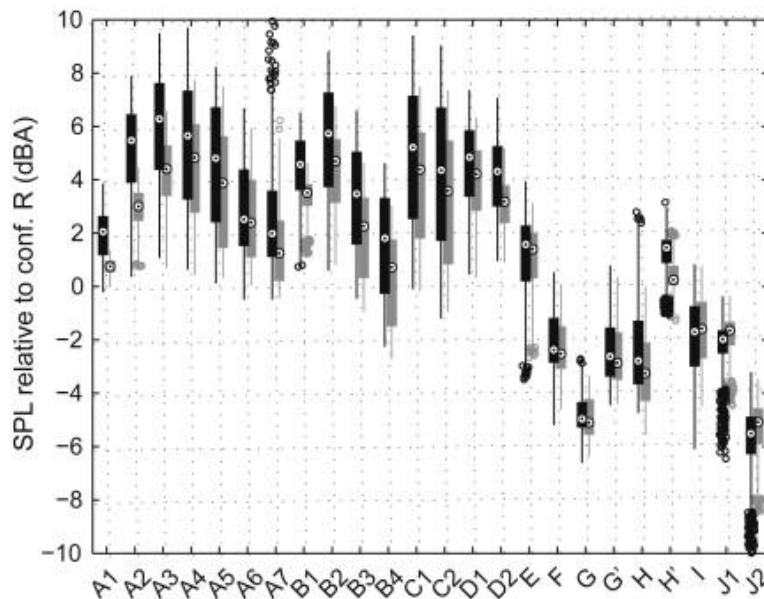
Cílem studie fasád jako integrovaného systému je navržení jejich vlastností a tvarů (přesahy, výstupky, vybrání, typ parapetu, nátěrové hmoty atd.), kdy je možné zlepšit jak akustickou ochranu před venkovním hlukem, tak venkovní akustické klima. Tato strategie se podstatně liší od té současné, která spočívá v nahrazení fasádních prvků výkonnějšími systémy. Pro tento účel je důležité zdůraznit, že obecně i malé úpravy designu fasády mohou poskytnout lepší akustickou ochranu, aniž by byly ohroženy jiné konstrukční požadavky, které se často střetávají s těmi akustickými (například větrání versus akustická ochrana). Fasáda bez přesahů nebo výstupků bude zcela vystavena hluku, zatímco fasáda s vyčnívajícími nebo zapuštěnými prvky vytvoří oblasti stínů, které rostou s výškou budovy (Busa, Secchi a Baldini, 2010). Výška budovy, profil budovy, materiál fasády, šířka ulice, profil ulice a materiál dlažby v ulicích jsou faktory, které přímo ovlivňují městské akustické prostředí. Čím nižší je výška budovy a čím širší ulice, tím menší je hluk z liniového zdroje hluku (silnice, železnice) na ulici. Čím více je absorbujících materiálů, tím větší je vložný útlum. Nejde však pouze o fasády a jejich obvodové pláště, ale také o urbanistické faktory. Proto je pro městské akustické prostředí vyžadován integrovaný design. Vegetace na plášti budovy vykazuje různé funkce pro městské akustické prostředí. Vegetaci lze považovat za typ materiálu, který poskytuje texturovaný povrch a pohlcuje zvuk. Vegetace může být aplikována na střechu, fasádu nebo balkonovou podlahu obvodového pláště budovy. Typ vegetace, typ/hloubka substrátu a vlhkost substrátu jsou faktory, které ovlivňují akustické vlastnosti. Kromě toho poskytuje estetický význam vnímanému prostředí, jako jsou vizuální estetika a vůně. Vegetace na plášti budovy by měla být integrována v mnoha aspektech vnímání životního prostředí a také funkční výkonnosti (Yang a Jeon, 2020). Je možné vytvořit akustické klima, které je přívětivé k obyvatelstvu přidělením vhodné funkce každé části území. Uspořádání obytné oblasti daleko od zdrojů hluku a vhodný návrh nárazníkových zón ke snížení jeho šíření je zvláště důležité v blízkosti liniových zdrojů hluku. Toto uspořádání by mělo účinně snížit přenos hluku v blízkosti hlavních dopravních tahů. Klasické protihlukové stěny, silniční vegetační pásy a využití rozvoje služeb k ochraně obytných oblastí by měly společně dále snížit efekty hlukového znečištění. Dobře koncipované plánovací aktivity můžou splňovat požadavky prostorového uspořádání, a zároveň minimalizovat dopad zatěžujících faktorů na životní prostředí a domácnosti (Zubala a Sadurska, 2016). Dle studie souvislosti tvarů střech a akustického stínění bylo zjištěno, že tvar střechy má významný vliv na šíření hluku ze silniční dopravy z obestavěné ulice do



blízké, nepřímo exponované, fasády. Při pohledu na konkrétní výšky podél takové fasády dosahují rozdíly až 20 dB u lehkých vozidel a až 15 dB u těžkých vozidel při změně tvaru střechy. V průměru na celé fasádě může tvar střechy být zodpovědný za rozdíly přesahující 10 dB. Tvar střechy lze proto považovat za důležitý prostředek k omezení hladin akustického tlaku na hluku odvrácené straně. S rostoucí rychlostí vozidel nabývá volba tvaru střechy na důležitosti. Tento efekt je výraznější u lehčích vozidel. Kvalitativní analýza zvukových paprsků ukázala, že důležitý je také tvar střechy v místě expozice. Hodnocení optimálního tvaru střechy je pouze slabě závislé na typu vozidla, rychlosti vozidla a uvažované zóně podél stíněné fasády (Van Renterghem a Botteldooren 2010).

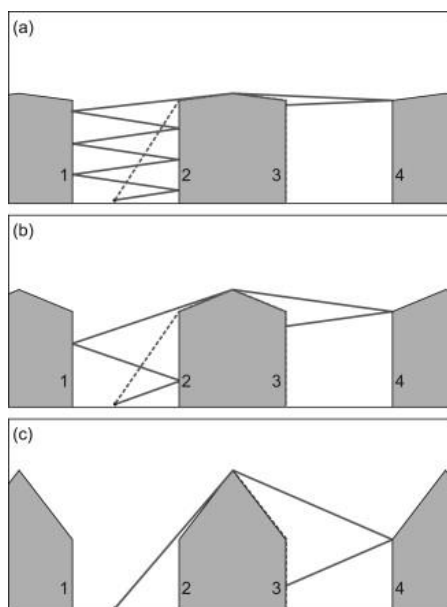


Obrázek 6 Tvar střech, zdroj: (Van Renterghem, Botteldooren 2010)



Obrázek 7 Akustický tlak podél zastíněné fasády ku celkovému akustickému tlaku u zdroje ve výškách od 0 do 7,5 metru; šedá – těžká vozidla, černá – lehká vozidla, zdroj: (Van Renterghem, Botteldooren 2010)

Z výsledků studie plyne, že konfigurace střech F, G, G', I, J1 a J2 nejvíce odhlučňují odvrácenou stranu fasády. V případě konfigurace střech G a J1 se ve všech modelovaných případech celkový hluk na odvrácené fasádě snížil (všechny naměřené hodnoty se nachází pod nulou). Další zmíněné konfigurace se nacházely většinou pod nulou a dostaly se nad ni pouze v ojedinělých případech, což lze považovat za účinnou stínící schopnost.



Obrázek 8 Analýza zvukových paprsků v konfiguracích A1 (a), A3 (b) a A7 (c). Je zobrazena nejkratší jednohranná difrakční dráha (plné čáry) spolu s čistou difrakční dráhou (přerušovaná čára, bez odrazů na fasádě), zdroj: (Van Renterghem, Botteldooren 2010)

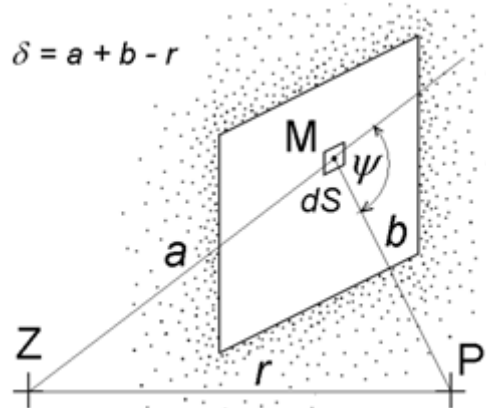
Ačkoliv zmíněná studie byla zaměřena na hluk ze silniční dopravy, je možné využít její závěry také k potřebám této práce, vzhledem k podobné povaze hluku šířeného z liniového zdroje, v tomto případě, železnice.

### 6.3 Šíření a ohyb hluku

Zvuk se šíří prostřednictvím vlnoploch od zdroje, které mohou mít různé tvary, jako kulovité nebo rovinné, v závislosti na prostředí. I rovinná vlnoplocha může být považována za kulovitou vlnu, pokud se zdroj zvuku nachází ve vzdálenosti takové, kde zakřivení vlny nehraje významnou roli. Akustické pole je definováno jako prostor, ve kterém se zvuk šíří a může být rozlišeno jako pole rovinné, kulové nebo difuzní, v závislosti na tvaru zvukových vln. V reálném prostředí s překážkami dochází k mnoha jevům, kdy se část zvuku mění na jiné formy energie, jako tepelnou, odrazu, propojení přes překážky, ohnutí kolem překážky a další, v závislosti na velikosti a tvaru překážek, vlnové délce zvukové vlny a dalších faktorech. (Vágnerová, 2013)

Když se zvuková vlna setká s překážkou, vzniká za ní zvukový stín, což je oblast s nižší intenzitou zvuku než v oblasti bez překážky. Útlum intenzity zvuku závisí na mnoha faktorech, jako je poloha zdroje zvuku, poloha překážky, poloha pozorovatele a vlnová délka zvuku. Vznik a vlastnosti zvukového stínu lze vysvětlit pomocí ohybu vlnění. Tento princip se vztahuje na jakékoliv vlnění, včetně elektromagnetického vlnění a světla. Huygensův princip tvrdí, že každý bod vlnoplochy je elementárním zdrojem vlnění, což vysvětluje tvar vlnoplochy, nikoliv však intenzitu. Fresnel rozvinul Huygensův princip, přičemž zdůvodnil vlnovou teorii světla a vysvětlil jeho ohyb. Zákonitosti platí i pro zvuk. Podmínkou pro zvýšení intenzity vlnění v bodě P je, aby vzdálenost mezi bodem P a elementárním zdrojem byla sudým násobkem půlvlny, jinak bude vlnění přicházející z elementárního zdroje v opačné fázi a intenzitu bude snižovat. Zvukové vlny se šíří ze zdroje do bodu příjmu, kde se všechny elementární zdroje musí projevit stejně jako původní zdroj. Namísto souboru elementárních zdrojů na kulové vlnoploše lze uvažovat soubor elementárních zdrojů na libovolné ploše mezi zdrojem Z a místem příjmu P, pokud tato plocha umožňuje šíření vln z Z do P. Rovina  $\sigma$ , která stíní překážku, může být použita jako tato plocha. Vlny se šíří ze zdroje Z do každého bodu roviny  $\sigma$  s různým fázovým zpožděním. Každý bod roviny  $\sigma$  je také elementárním zdrojem vlnění pro příjemce P. Soubor všech elementárních zdrojů v rovině  $\sigma$  musí mít v místě příjmu P stejný efekt jako původní zdroj. Při interferenci vln z různých elementárních zdrojů v rovině  $\sigma$  dochází k navzájem rušivým účinkům, což

způsobuje zesílení nebo zeslabení signálu. Pokud se do cesty vln postaví překážka, část elementárních zdrojů roviny  $\sigma$ , včetně přímé cesty zvuku, je vyřazena z provozu a zvuk je tedy ovlivněn ohybem a útlumem (viz. Obr. 9) (Kaňka, 2023)



Obrázek 9 Ohyb zvuku, zdroj: (Kaňka, 2023)

Použití výpočtu ohybu zvuku je užitečné při navrhování protihlukových opatření jako jsou stěny, clony, bariéry a valy, které mají chránit před hlukem z intenzivní dopravy, jako jsou silnice, tramvaje nebo železnice. Tyto opatření se používají méně často pro ochranu před hlukem stacionárních zdrojů, protože je obvykle efektivnější umístit hluk vznikající zdroje do vnitřních místností budov a poté použít absorpční tlumiče zvuku a větrací systémy k eliminaci hluku. Nicméně, některá zařízení (jako například kondenzační jednotky chlazení) nelze pro technologické důvody umístit do vnitřních místností a v těchto případech jsou protihlukové clony jediným možným způsobem ochrany. Clony mohou být použity i v uzavřených prostorech, jako jsou výrobní haly, ale jejich účinnost je snížena odrazem zvuku od stropu a stěn. Proto je nutné doplnit instalaci clon o zvuk pohlcující obložení ploch, které uzavřený prostor ohraničují. Výpočet útlumu zvuku ohybem využívá matematický aparát Fresnelových integrálů. Jedná se o velmi složitý matematický aparát závislý na mnoha proměnných. (Kaňka, 2010)

Využití tohoto aparátu v praxi se jeví jako velmi zdoluhavé, proto je lepší využít pro účely diplomové práce stávající modelovací software.

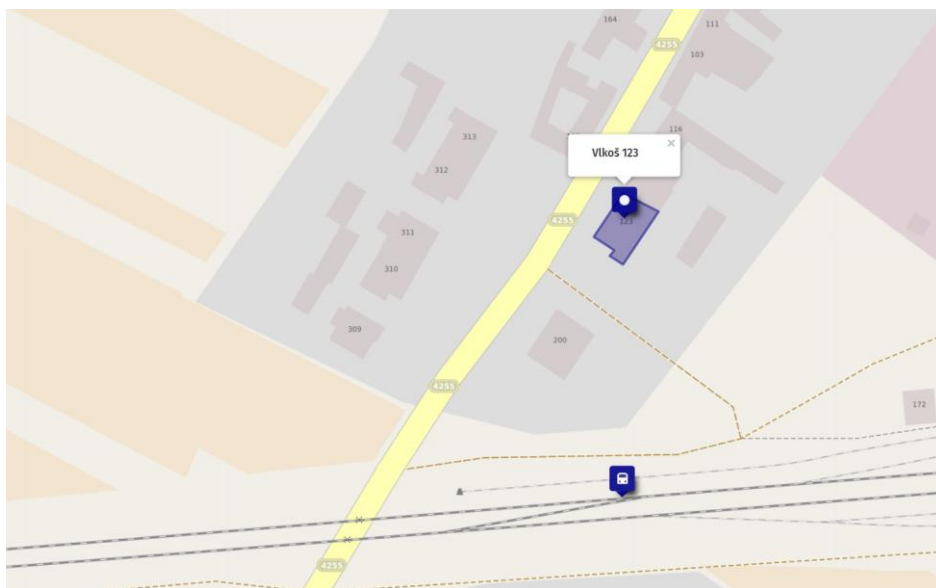
## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 7 VÝBĚR VHODNÉ LOKALITY

K provedení praktické části bylo nutné vybrat vhodnou lokalitu na které by bylo možno provést hlukové měření. Správa železnic nedisponuje žádným modelovým domem, na kterém by se dalo měření provést. Bylo tedy nutné nalézt vhodný rodinný dům pomocí sociálních sítí. Tato metoda, vyhledání vhodného objektu pomocí sociálních sítí, má mnoho výhod oproti klasickému osobnímu obcházení předem vytipovaných lokalit. Největší výhodou je fakt, že touto metodou je možné cílit na specifickou skupinu lidí, kteří mají zájem o daný výzkum a jsou ochotni akceptovat podmínky měření. Díky tomu se snižuje pravděpodobnost, že se náhodně obchází nevhodné lokality, které by zbytečně zvyšovaly časovou náročnost celého procesu. Na sociální síti Facebook byl vytvořen příspěvek s žádostí o kontakt na osoby, které žijí v blízkosti železniční trati v Jihomoravském a Zlínském kraji do 200 metrů od železnice. Na výzvu reagovali ostatní uživatelé sdílením. Po ukončení veřejného průzkumu bylo objeveno několik lokalit, kde by šlo hlukové měření provést. K provedení výběru vhodné lokality byla použita metoda multikriteriálního rozhodování.

### 7.1 Lokalita Vlkoš

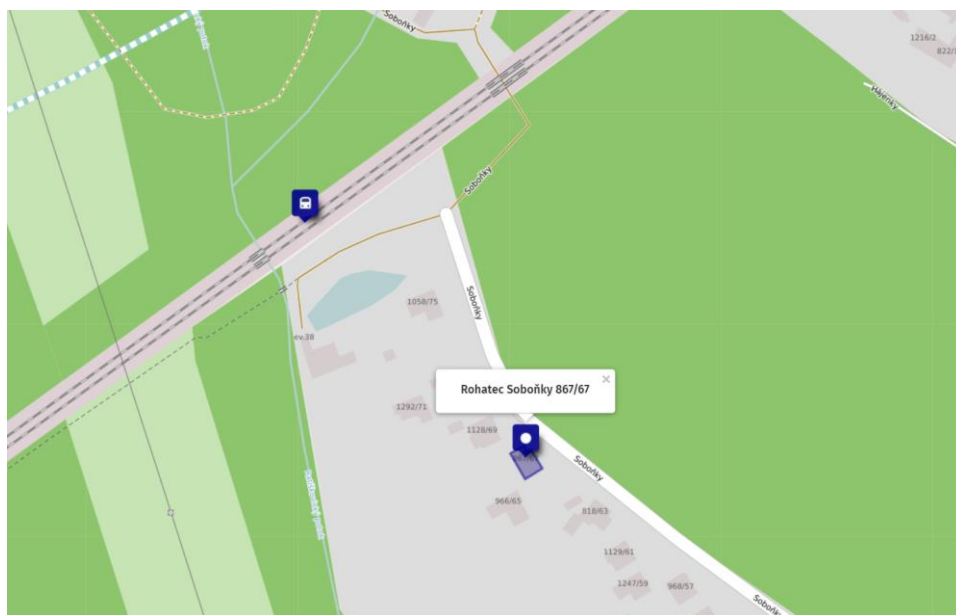
Rodinný dům, který se nacházel v této lokalitě stojí v blízkosti železniční trati Kyjov-Veselí nad Moravou. Dům se nacházel ve vzdálenosti 60 – 70 metrů od železniční trati. Vedle domu vedla silnice a zároveň se nejednalo o první dům na který zvuk při průjezdu narazí. Na obrázku níže (viz. Obr. 10) lze vidět situační rozmístění.



Obrázek 10 Rodinný dům ve Vlkoši, zdroj: (OpenStreetMap, 2022)

## 7.2 Lokalita Rohatec-Soboňky

Rodinný domek v Rohatci-Soboňkách se nacházel v blízkosti železniční trati Hodonín-Moravský Písek. Tato trať patří k těm po nichž projede více než 30 000 vlaků ročně. Je pro ni tedy zpracován akční plán a figuruje také ve strategickém hlukovém mapování. Tento dům se nacházel ve vzdálenosti 150 – 160 metrů od trati a v jeho okolí se nacházelo velké množství vegetace. Dále se tento dům nacházel v zastavěné oblasti a případný hluk stínily okolní rodinné domy, které stály blíže této trati. Situační rozmístění lze vidět na přiloženém obrázku níže (viz. Obr. 11).



Obrázek 11 Rodinný dům v Rohatci-Soboňkách, zdroj: (OpenStreetMap, 2022)

## 7.3 Lokalita Valtice

Posledním rodinným domem, který bylo možné využít k měření hluku byl dům ve Valticích P. Bezručě 375. V tomto případě se jednalo o bývalý drážní domek, který se nacházel v bezprostřední blízkosti trati Břeclav-Znojmo. V tomto případě se jedná o regionální trať. Dům se nacházel v ochranném pásmu dráhy, jelikož stál pouze 15 – 20 metrů od trati. Dům stál daleko od silnic i ostatních domů v klidně lokalitě. Situační rozmístění lze vidět na obrázku níže (viz. Obr. 12).



Obrázek 12 Rodinný dům ve Valticích, zdroj: (OpenStreetMap, 2022)

#### 7.4 Multikriteriální rozhodování

Multikriteriální rozhodování je dle Fialy, 1994 nástroj matematické teorie sloužící k vyhodnocení různých situací, které není možno jednoduše rozhodnout. Každé multikriteriální rozhodování musí obsahovat dle Fialy, 1994:

- Informace o variantách
- Kritéria hodnocení
- Metodu hodnocení

Matematicky je možné úlohu multikriteriálního rozhodování dle Fialy, 1994 definovat následovně:

$p$  variant  $X_1, X_2, \dots, X_p$  je hodnoceno podle  $k$  kritérií  $A_1, A_2, \dots, A_k$ .

Tato hodnocení tvoří tzv. kritériální matici  $Y = (y_{ij})$ , kde prvek  $y_{ij}$  značí ohodnocení varianty  $X_i$  podle kritéria  $A_j$ ,  $i = 1, 2, \dots, p, j = 1, 2, \dots, k$ . Je třeba získat normalizovanou kritériální matici  $R = (r_{ij})$ . Z této matice bude možno dále vycházet. Kritéria jsou maximalizační nebo minimalizační. Minimalizační kritéria se převádí na maximalizační vyjádřením úspor vůči nejhorší variantě, tj.

$$y'_{ij} = \max_i(y_{ij}) - y_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, p, \quad j = 1, 2, \dots, k.$$



V kritériální matici jsou již všechna kritéria maximalizační – čím vyšší hodnota v daném sloupci, tím lepší varianta dle daného kritéria je. Stále jsou ale hodnoty v různých jednotkách (v metrech, litrech, atd.) a tudíž neporovnatelné. Proto se zavádí tzv. normalizovaná kritériální matice  $R$  s prvky:

$$r_{ij} = \frac{y_{ij} - d_j}{h_j - d_j}, i = 1, 2, \dots, p, j = 1, 2, \dots, k, \text{ kde}$$

$$d_j = \min_i(y_{ij}) \quad \text{a} \quad h_j = \max_i(y_{ij})$$

Matice  $R = (r_{ij})$  má všechny prvky bezrozměrná čísla z intervalu  $(0, 1)$ . Po této úpravě jsou již hodnoty z různých sloupců (ohodnocení dle různých kritérií) navzájem porovnatelné.

#### 7.4.1 Kritéria hodnocení

Z dostupných informací o variantách (viz. výše) lze určit hodnotící kritéria k jednotlivým lokalitám, ke kterým bude dále stanoven vektor vah kritérií. Základní parametry byly stanoveny takto:

- Vzdálenost od trati v metrech
- Zastavěnost okolí domu reprezentována počtem domů mezi tratí a domem, kde mělo být provedeno měření
- Vzdálenost od jiných zdrojů hluku v metrech
- Přítomnost vegetace mezi tratí a domem reprezentována čísly 0 nebo 1, pokud se zde vegetace nacházela, pak bylo zvoleno číslo 1, pokud nenacházela, tak číslo 0.

K těmto parametrům poté bylo přiřazeno rozdělení na maximalizační a minimalizační kritéria. (viz. Tab. 4).

#### 7.4.2 Metoda hodnocení

Pro účely diplomové práce byla vybrána metoda hodnocení variant pomocí váženého součtu. Tato metoda vychází z normalizované kritériální matice  $R$ . U metody váženého součtu je

možné vyjádřit relativní důležitost jednotlivých kritérií pomocí vektoru vah kritérií. (Fiala, Jablonský a Mañas, 1994)

$$\vec{v} = (v_1, v_2, \dots, v_k), \text{ kde } v_j \geq 0,$$

$$\sum_{j=1}^k v_j = 1.$$

Metoda váženého součtu využívá znalosti vah kritérií. Jako kompromisní varianta je vybrána ta, která maximalizuje součet součinů vah kritérií a odpovídajících hodnot z normalizované kritériální matice. (Fiala, Jablonský a Mañas, 1994)

$$\sum_{j=1}^k v_j r_{ij} \rightarrow \max$$

Tabulka 4 - Kritériální matice, zdroj: vlastní

Hodnotící parametry	Vzdálenost od trati	Zastavěnost okolí domu	Vzdálenost od jiného zdroje hluku	Přítomnost vegetace mezi tratí a domem
<b>Lokalita</b>				
Vlkoš 123	60 m	1	12 m	0
Rohatec-Soboňky 867	150 m	5	480 m	1
Valtice 375	15 m	0	370 m	0
<b>Váhy</b>	0,25	0,25	0,25	0,25
<b>Kritérium</b>	MIN	MIN	MAX	MIN

Váhy byly vybrány stejně vzhledem k tomu, že každý z uvedených parametrů by mohl mít na hlukové měření podobný dopad.

Při hodnocení zastavěnosti okolí byly brány v potaz domy, které byly mezi tratí a domem u kterého mělo být měření provedeno. Kritérium je minimalizační vzhledem k tomu, že by bariéry v podobě rodinných domů způsobovaly vyšší odrazivost hluku a měly by tak vysoký podíl na zkreslení měření.

Vzdálenost od jiného zdroje hluku byla měřena na mapě v prostředí uMap dostupné na odkaze <https://umap.openstreetmap.fr/cs-cz/>. V případě domu ve Vlkoši byla silnice nejbližším zdrojem hluku. Vedle rodinného domu v Rohatci sice vedla silnice také, avšak nejednalo se o vytíženou komunikaci. Nejbližší položeným zdrojem hluku byla firma Bohemia Beverage Industry Group s.r.o. v jejímž areále se nacházelo kolejiště. Rodinný dům ve Valticích byl sice blíže zdroji hluku než tomu bylo v případě Rohatce, riziko rušení však bylo mitigováno tím, že se mezi tamní silnicí a domem nacházelo velké množství vegetace. Kritérium je minimalizační, jelikož jiný blízký zdroj hluku by mohl způsobovat rušení měření a zkreslovat výsledky při průjezdech vlaků.

V případě přítomnosti vegetace mezi tratí a domem bylo bráno v potaz pouze to, zda je vegetace přítomná či nikoliv. Proto se v tabulce vyskytují pouze hodnoty 0 a 1 (nepravda/pravda).

Tabulka 5 Kriteriaální matice s převedenými kritérii, zdroj: vlastní

Hodnotící parametry	Vzdálenost od trati	Zastavěnost okolí domu	Vzdálenost od jiného zdroje hluku	Přítomnost vegetace mezi tratí a domem
<b>Lokalita</b>				
Vlkoš 123	90	4	12	1
Rohatec-Soboňky 867	0	0	480	0
Valtice 375	135	5	370	1
<b>Váhy</b>	0,25	0,25	0,25	0,25
<b>Kritérium</b>	MAX	MAX	MAX	MAX

Převedená kritéria vyjadřují hodnotu úspor vůči nejhorší variantě.

Tabulka 6 Normalizovaná kritériální matice, zdroj: vlastní

Hodnotící parametry	Vzdálenost od trati	Zastavěnost okolí domu	Vzdálenost od jiného zdroje hluku	Přítomnost vegetace mezi tratí a domem
<b>Lokalita</b>				
Vlkoš 123	0,67	0,80	0	1
Rohatec-Soboňky 867	0	0	1	0
Valtice 375	1	1	0,76	1
<b>Váhy</b>	0,25	0,25	0,25	0,25
<b>Kritérium</b>	MAX	MAX	MAX	MAX

Normalizovaná kritériální matice obsahuje již bezrozměrné jednotky, které slouží k výpočtu váženého součtu.

Tabulka 7 Vážený součet a pořadí, zdroj: vlastní

$X_i$		Pořadí
Vlkoš 123	0,62	2.
Rohatec-Soboňky 867	0,25	3.
Valtice 375	0,94	1.

Z výpočtu plyne, že nejvhodnějším rodinným domem u kterého by mělo být provedeno hlukové měření je dům ve Valticích.

## 8 HLUKOVÉ MĚŘENÍ

Kapitola se skládá zejména z protokolu hlukového měření, který byl vytvořen ve spolupráci s firmou Enving s. r. o. Zmíněná firma také poskytla veškerou potřebnou měřicí techniku, která byla třeba k provedení hlukového měření.

Podklady k výpočtu intenzity železniční dopravy v měřeném úseku byly poskytnuty Správou železnic.

### 8.1 Všeobecné údaje

Podkapitola se skládá zejména z cíle měření, norem, legislativy a veličin použitých v protokolu měření.

#### 8.1.1 Cíl měření

Stanovení ekvivalentní hladiny akustického tlaku A v prostoru odpovídajícího chráněnému venkovnímu prostoru stavby od předmětného zdroje hluku. Měření hluku bylo provedeno z důvodu zmapování hlukové situace v okolí rodinného domu nebo typově podobné stavby. Měření posloužilo k vizuální modelaci a výpočtu odrazivosti hluku dané budovy. Dále z naměřených hodnot bylo možné zkoumat celkové akustické stínění stavby.

#### 8.1.2 Datum a čas měření

Hlukové měření bylo provedeno dne 9. prosince 2022 od cca. 11:00 do 14:30.

#### 8.1.3 Postup zkoušky

Kapitola zmiňuje základní normy a legislativu, včetně metodického pokynu, dle které by mělo být hlukové měření provedeno.

##### 8.1.3.1 Technické normy

- ČSN ISO 1996-1 Akustika. Popis, měření a hodnocení hluku prostředí Část 1: Základní veličiny a postupy pro hodnocení.
- ČSN ISO 1996-2 Akustika. Popis, měření a posuzování hluku prostředí. Část 2: Určování hladin hluku prostředí.

### 8.1.3.2 Použitá legislativa

- Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů.
- Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, ve znění pozdějších předpisů.
- Metodický návod pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí (Věstník Ministerstva zdravotnictví, částka 11/2017)

### 8.1.3.3 Použité veličiny

Tabulka 8 Veličiny, zdroj: vlastní

Značka	Jednotka	Veličina
$L_{Aeq}$	dB	ekvivalentní hladina akustického tlaku A za dobu trvání $t$
$L_{AE}$	dB	hladina expozice hluku vyjadřující celkovou energii akustické události
$t$	°C	teplota vzduchu
$Rh$	%	relativní vlhkost vzduchu
$p$	hPa	atmosférický tlak
$L_{Aeq,T}$	dB	celková ekvivalentní hladina akustického tlaku za sledovanou časovou periodu

## 8.2 Metodika měření

Podkapitola popisuje dle jaké metodiky bylo měření provedeno. Obsahuje zvolenou strategii a způsob měření, metodický pokyn Správy železnic a její doporučení, použitou měřicí techniku s parametry a další podmínky.

### 8.2.1 Strategie a způsob měření

Cílem měření bylo zjistit, zda nedochází k překračování hygienických limitů hluku, stanovených v nařízení vlády ČR č. 272/2011 Sb. Z toho důvodu byla zaznamenána typická hluková situace při provozu sledovaného zdroje. Součástí měření je stanovení ekvivalentních hladin akustického tlaku A, který proniká do chráněného venkovního prostoru stavby dotčeného rodinného domu. Měření zdroje hluku bylo provedeno formou kontinuálního záznamu s frekvencí jedné sekundy.

### 8.2.2 Doporučení metodického pokynu SŽ

Celý postup měření by měl být podřízen snaze stanovit ve sledovaném chráněném venkovním prostoru (staveb) celoročně průměrný účinek (imisi) hluku výhradně z železniční dopravy. Preferovanou metodou je stanovení celkové ekvivalentní hladiny akustického tlaku za sledovanou časovou periodu  $L_{Aeq,T}$  [dB] dopočtem z charakteristických (energeticky průměrných) hladin expozic zvuku  $L_{AE}$  [dB] odpovídajícím jednotlivým kategoriím vlaků nebo jejich provozním režimům s pomocí ročního průměrného denního počtu těchto vlaků. V tomto případě se však nejedná o grafikon železniční dopravy, ale o provozní údaje statistického charakteru o skutečných průjezdech vlaků za určité období shromažďované provozovatelem dráhy vyskytujících se na hodnoceném traťovém úseku. (Ministerstvo zdravotnictví ČR, 2017)

Dále je o použití provozních údajů pojednáno v podkapitole 8.4.1 Intenzita železniční dopravy.

Měření by mělo dle normy ČSN ISO 1996-2 zahrnovat hluk průjezdů nejméně dvaceti vlaků na trať jako celek. Každá kategorie vlaku, která potenciálně významně přispěje k celkové ekvivalentní hladině akustického tlaku za určitou časovou periodu, musí být zastoupena měřením nejméně pěti průjezdů. Při malé průjezdnosti trati postačují pouze tři průjezdy, při splnění podmínky rozdílu mezi nejvyšší a nejnižší hladinou  $L_{AE}$  nebo  $L_{Aeq,T}$  jednotlivého průjezdu  $< 3$  dB. Doporučenými kategoriemi vlaků jsou rychlíky (R), osobní vlaky (Os), nákladní vlaky (N) a další. Pokud se jednalo o trať s bezstykovou kolejí, do komentářů by mělo být uvedeno, zda trať nevykazovala defekty způsobující při průjezdech vlaků rázy (norma ČSN ISO 1996-2, 2018). Vzhledem k tomu, že se v hodnoceném úseku trati v čase hlukového měření vyskytovala pouze jediná kategorie vlaků, bylo naměřeno pouze 6 průjezdů vlaků této kategorie. Konkrétně se jednalo o 6 průjezdů osobních vlaků (Os) oběma směry.

### 8.2.3 Přístrojová technika a příslušenství

Tabulka 9 Přístrojová technika a příslušenství, zdroj: vlastní (viz. Příloha P VI)

Typ/model	Výrobní číslo	Třída přesnosti	Ověření (další kalibrace)	Kalibrace před měřením [dB]	Kalibrace po měření [dB]
Zvukoměr 2250	3027637	1	6035-OL-Z0019-21 (10. 2. 2023)	-0,08	0,01
Mikrofon 4189	3180895	-	6035-OL-M0014-21 (7. 2. 2023)		
Kryt proti dešti	-	-	-		
Zvukoměr 2270	2623010	1	6035-OL Z0070-21 (22. 7. 2023)	-0,10	0,02
Mikrofon 4189	2616333	-	6035-OL-M0054-21 (19. 7. 2023)		
Kryt proti dešti	-	-	-		
Zvukoměr XL2	A2A-08128-E0	1	6035-OL-Z0016-22 (1. 3. 2024)	-0,7	-0,1
Mikrofon MC230	7757	-	6035-OL-M0010-22 (27. 2. 2024)		
Kryt proti dešti	-	-	-		
Zvukoměr XL3	A2A-15706-E0	1	6035-OL-Z0060-22 (4. 9. 2024)	0,0	0,1
Mikrofon MC230	A18650	-	6035-OL-M0050-22 (29. 8. 2024)		
Kryt proti dešti	-	-	-		
Stojany s nastavitelnými tyčemi	-	-	-	-	-
Laserové měřidlo BOSCH - GLM 150 Professional	-	-	-	-	-

### 8.2.4 Mikroklimatické podmínky

Tabulka 10 Mikroklimatické podmínky, zdroj: vlastní

Teplota [°C]	Rel. vlhkost [%]	At. tlak [hPa]	Oblačnost
3,5°C	82,5	981,7	Zataženo



### 8.2.5 Stanovení korekce na odraz fasády

Vzhledem k nesplnění požadavku normy ČSN ISO 1996-2 dle přílohy B kapitole B.5 normy ČSN ISO 1996-2 na zorný úhel dopadu hlukové vlny, korekce na odraz od fasády není přičtená k výsledné celkové hladině akustického tlaku. (norma ČSN ISO 1996-2, 2018)

## 8.3 Hodnocení zdroj hluku

Tato podkapitola si klade za cíl seznámit čtenáře s popisem zdroje hluku a situačním schématem dané lokality. Důležitou součástí této podkapitoly je také rozmístění mikrofónů.

### 8.3.1 Popis zdroje hluku

Trať vedoucí v těsné blízkosti domu je trať s označením č. 246 (dle knižního jízdního řádu) z Břeclavi do Znojma. Jedná se o jednokolejnou neelektrifikovanou trať. Trasa trati kopíruje na své části Rakouskou hranici. Celková délka trati je 68,8 kilometru, maximální povolená rychlost na trati je 120 km/h. Trať v minulosti (období socialismu) vymezovala hraniční pásmo v úseku Boří les – Hrušovany nad Jevišovkou jako tzv. území signálky s ostnatými dráty. V současné době je trať v systému IDS JMK vedena jako S8. Trať byla v roce 2018 modernizována a revitalizována v úseku Břeclav – Mikulov, kdy mohlo díky zmíněným úpravám dojít ke zvýšení rychlosti z 80 na 120 km/h (Pohledzvlaku.cz, 2023).

Železniční trať se v předmětném místě nachází na náspu o výšce cca. 5 metrů, díky čemuž je cca. ve stejné výšce jako okolní terén. Kolejnice jsou uchyceny pomocí pružného bezpodkladnicového systému na betonových pražcích. V daném úseku je maximální povolená rychlost 120 km/h, nicméně ze směru Boří Les se v blízkosti domu nachází oblouk.

Na trati je provozována pravidelná osobní doprava zajišťovaná především motorovými vozy řady 854 s jedním přípojným vozem, a v menší míře nepravidelná nákladní doprava, kdy vlakovou soupravu tvoří průměrně 16 čtyřnápravových vozů.



Obrázek 13 Pohled na trať, zdroj: vlastní

### 8.3.2 Situační schéma lokality

Hodnocený dům se nachází v katastrálním území Valtice na pozemku s parcelním číslem 3446. Dle dostupných informací z katastru nemovitostí je oficiálně objekt uzpůsoben jako stavba pro dopravu. Není zde v současné době veden záznam o tom, že by se jednalo o rodinný dům. Objekt tak nemá chrněný venkovní prostor stavby a porovnání s hygienickými limity je zde pouze simulováno pro účely zpracování této práce. Stavba leží východně od města Valtice vedle trati Břeclav-Znojmo. Z dat dostupných skrze veřejný dálkový přístup ČÚZK bylo možné změřit rozměry domu:

- Délka delších stran domu – 13,25 m
- Délka kratších stran domu – 5,25 m
- Rozměr předsíně kratší – 2,5 m
- Rozměr předsíně delší – 3,5 m
- Rozměr sklepa kratší – 1,5 m
- Rozměr sklepa delší – 3,75 m

Výška budovy byla změřena na místě. Vzhledem k tomu, že se jednalo o sedlovou střechu, výška se pohybovala v rozmezí 5-6 metrů směrem od nejnižší části střechy po vrchol střechy. Sklon střechy bylo možné určit odhadem. Pohyboval se v rozmezí 35° - 45°.

Mezi rodinným domem a tratí se nacházela dřevěná protihluková bariéra s přilehlým dřevníkem.



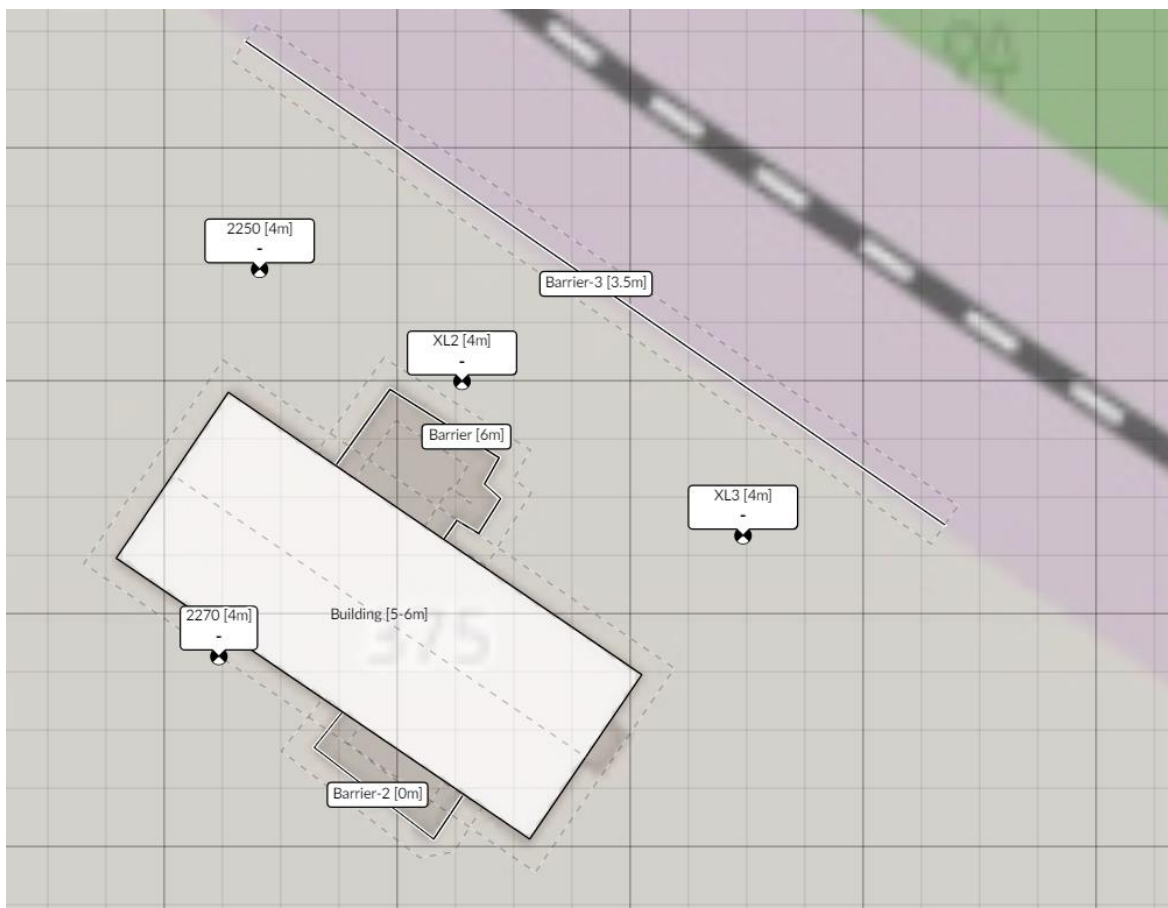
Obrázek 14 Dřevěná bariéra a dřevník, zdroj: vlastní

Za domem se nacházel menší objekt, sloužící jako dílna a sklad (viz. Obr. 12). Tyto bariéry měly dopad na rozmístění mikrofonů a určení výšky do jaké budou mikrofony instalovány. Bližší detaily budou obsaženy v následující kapitole.

### **8.3.2.1 Rozmístění mikrofonů**

Mikrofony byly umístěny na stojany ve výšce 4 metrů na povrchem. Tato výška byla zvolena vzhledem k tomu, že se mezi rodinným domem a tratí nacházela improvizovaná

protihluková bariéra, která by mohla zkreslovat naměřené hodnoty jednotlivých průjezdů. Tři mikrofony byly umístěny před domem (viz. Obr. 15) označeny: 2250 (viz. Příloha P II), XL2 (viz. Příloha P IV) a XL3 (viz. Příloha P V). Jeden mikrofon byl umístěn za domem, označen: 2270 (viz. Příloha P III). Mikrofony před domem byly umístěny do jedné linie. Mikrofon za domem byl umístěn co nejblíže fasádě tak, aby se nacházel v chráněném venkovním prostoru stavby.



Obrázek 15 Rozmístění mikrofonů, zdroj: (dBmap.net Noise Mapping Tool, 2023)

## 8.4 Výsledky měření

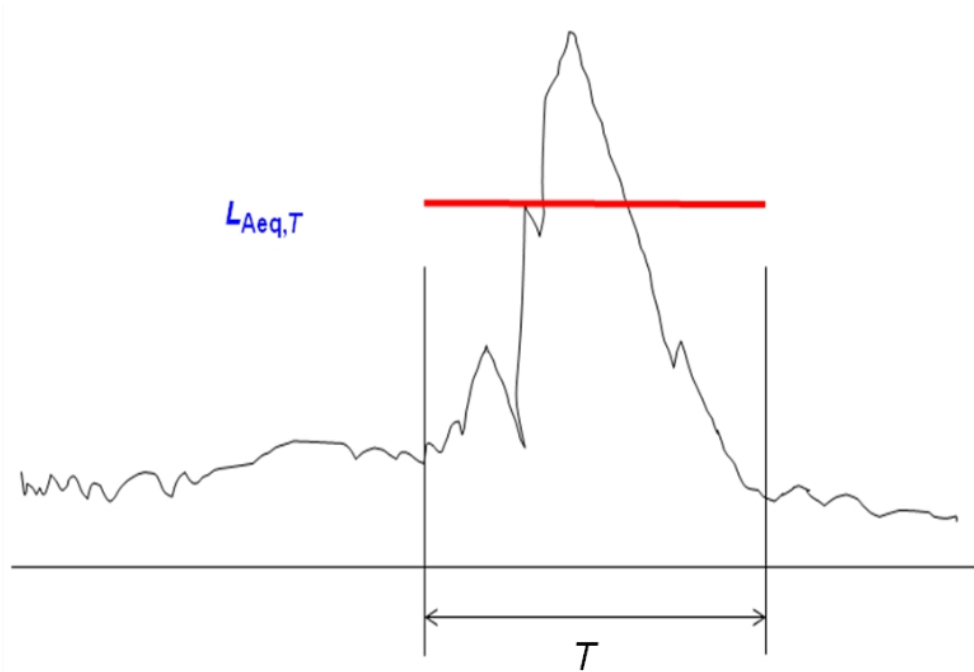
Během měření hluku byly zaznamenány hlučnosti průjezdů jednotlivých vlakových souprav spolu s konkrétními typy těchto souprav. Rychlost byla vypočtena z kamerových záznamů pořízených v době průjezdů jednotlivých vlaků. Každá tabulka obsahuje hodnoty pro konkrétní mikrofon.

Vztah mezi  $L_{Aeq,T}$  a  $L_{AE}$  je popsán níže pro lepší pochopení zkoumané problematiky.

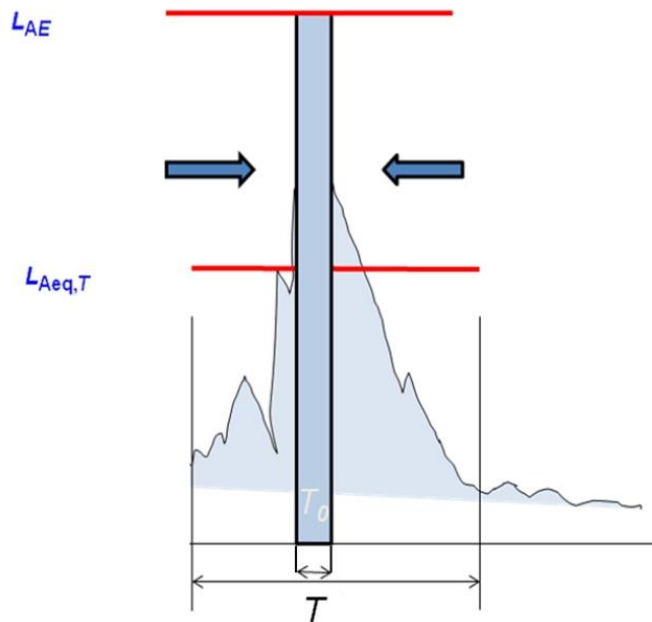
Ekvivalentní hladina akustického tlaku A,  $L_{Aeq,T}$  je vždy vztažena k délce trvání akustického signálu a vyjadřuje energetický průměr. (Kurs 2 - Hluk v komunálním prostředí, 2023)

Hladina expozice hluku  $L_{AE}$  vyjadřuje oproti  $L_{Aeq,T}$  celkovou energii akustické události. (Kurs 2 - Hluk v komunálním prostředí, 2023)

Jejich vztah je možno pochopit dle obrázků níže:



Obrázek 16 Akustická událost a její  $L_{Aeq,T}$ , zdroj: (Kurs 2 - Hluk v komunálním prostředí, 2023)



Obrázek 17 Akustická událost a její  $L_{AE}$ , zdroj: (Kurs 2 - Hluk v komunálním prostředí, 2023)

Tabulka 11 Výsledky měření - mikrofon 2250, zdroj: vlastní

2250 - P. Bezruč 375, Valtice							
Charakter měřeného hluku				Proměnné			
čas	druh vlaku	počet vozů	směr	$L_{Aeq,T}$ [dB]	$t$ [s]	$L_{AE}$ [dB]	rychlost [km/h]
11:46:40	Os	1+1	Valtice	72,7	40	88,7	90
12:03:17	Os	1+1	Boří Les	74,2	34	89,5	92
12:46:53	Os	1+1	Valtice	70,9	46	87,5	91
13:05:45	Os	1+1	Boří Les	71	38	86,8	94
13:45:05	Os	1+1	Valtice	68,9	48	85,7	93
14:08:34	Os	1+1	Boří Les	71,4	33	86,6	89

Tabulka 12 Výsledky měření - mikrofon 2270, zdroj: vlastní

2270 - P. Bezruč 375, Valtice							
Charakter měřeného hluku				Proměnné			
čas	druh vlaku	počet vozů	směr	$L_{Aeq}$ [dB]	$t$ [s]	$L_{AE}$ [dB]	rychlost [km/h]
11:47:38	Os	1+1	Valtice	55,2	46	71,8	90
12:04:14	Os	1+1	Boří Les	57,5	36	73	92
12:47:54	Os	1+1	Valtice	54,7	44	71,1	91
13:06:45	Os	1+1	Boří Les	56,2	37	71,9	94
13:46:04	Os	1+1	Valtice	52,9	49	69,8	93
14:09:30	Os	1+1	Boří Les	55,3	45	71,8	89

Tabulka 13 Výsledky měření - mikrofon XL2, zdroj: vlastní

XL2 - P. Bezruč 375, Valtice							
Charakter měřeného hluku				Proměnné			
čas	druh vlaku	počet vozů	směr	$L_{Aeq}$ [dB]	$t$ [s]	$L_{AE}$ [dB]	rychlost [km/h]
11:47:39	Os	1+1	Valtice	76,1	41	92,2	90
12:04:16	Os	1+1	Boří Les	77,4	34	92,7	92
12:47:53	Os	1+1	Valtice	74,5	46	91,2	91
13:06:45	Os	1+1	Boří Les	75,2	32	90,2	94
13:46:08	Os	1+1	Valtice	73,3	36	88,8	93
14:09:37	Os	1+1	Boří Les	75,6	33	90,8	89



Tabulka 14 Výsledky měření - mikrofon XL3, zdroj: vlastní

XL3 - P. Bezruč 375, Valtice							
Charakter měřeného hluku				Proměnné			
čas	druh vlaku	počet vozů	směr	L <sub>Aeq</sub> [dB]	t [s]	L <sub>AE</sub> [dB]	rychlost [km/h]
11:47:35	Os	1+1	Valtice	75,3	40	91,3	90
12:04:10	Os	1+1	Boří Les	76,5	37	92,1	92
12:47:45	Os	1+1	Valtice	73,2	55	90,6	91
13:06:45	Os	1+1	Boří Les	73,6	40	89,7	94
13:46:00	Os	1+1	Valtice	71,6	47	88,3	93
14:09:34	Os	1+1	Boří Les	75,3	28	89,7	89

Tabulka 15 Průměrné hodnoty, zdroj: vlastní

Průměrné hodnoty	L <sub>AE</sub> průměr [dB]	L <sub>Aeq</sub> průměr [dB]
Zvukoměr 2250 - osobní vlak	87,66	71,83
Zvukoměr 2270 - osobní vlak	71,67	55,52
Zvukoměr XL2 - osobní vlak	91,17	75,54
Zvukoměr XL3 - osobní vlak	90,45	74,54

Průměry naměřených hodnot u jednotlivých zvukoměrů byly průměrovány logaritmičticky.

#### 8.4.1 Intenzita železničního provozu

Informace, které bylo možno použít pro vyhodnocení intenzity dopravy v měřené lokalitě byly poskytnuty Správou železnic, s.o. a dále byly vzaty s jízdního řádu platného v době provedení měření tzn. od data 12.12.2021 do 10.12.2022.

Tabulka 16 Intenzita dopravy pro rok 2022, zdroj: vlastní

Druh vlaku	Počet vlaků za den		Max. rychlost [km/h]
	Pracovní dny	Dny prac. klidu	
Osobní	34	9	120
Nákladní	5	5	90

Počet vlaků osobní přepravy byl vypočten součtem všech průjezdů vlaků po trati z obou směrů. Tedy: Valtice-město → Břeclav a Břeclav → Valtice-město pro pracovní dny.

Pro dny pracovního klidu byly použity průjezdy vlaků přes zastávku Boří Les, která se nachází mezi zmíněnými stanicemi, jelikož z dostupných údajů nebylo zjevné zda vlak jede

i ve dny pracovního klidu pro výše zmíněné průjezdy. Záznam pro zastávku Boří Les tento údaj obsahoval.

Počet nákladních vlaků byl vypočten z údajů získaných od Správy železnic, s.o. Údaje obsahovaly informaci o průjezdech všech nákladních vlaků po dané trati v období od 1. 9. 2022 do 23. 11. 2022. Z těchto údajů byl vypočten průměr, medián a modus v programu Microsoft Excel.

- Průměr = 4,74 nákladních vlaků/den
- Medián = 5 nákladních vlaků/den
- Modus = 6 nákladních vlaků/den

Vzhledem k tomu, že se v průjezdech nákladních vlaků vyskytovaly velké odchylky, kdy v některé dny jelo pouze velmi málo vlaků nebo žádné a nebylo možné vysledovat v získaných datech pravidelnost, byla vybrána hodnota 5. Tato hodnota byla použita v případech pracovních dnů i dnů pracovního klidu vzhledem k již zmíněné nepravidelnosti a nepředvídatelnosti pohybu nákladních vlaků po dané trati. Tato nepravidelnost je způsobena tím, že princip dopravy na železnici je takový, že chce-li mít dopravce trasu jistou, tak ji musí objednat do prosince předcházejícího roku – má ji „rezervovanou“, ale nemá povinnost ji využít. V průběhu roku jezdí tzv. ad-hoc vlaky, dopravce je v tomto případě může nahlásit s půlročním předstihem nebo také s předstihem půlhodinovým. Z tohoto důvodu je pohyb nákladních vlaků po trati jen těžko předvídatelný.

## 8.5 Vyhodnocení výsledků měření

Podmínky měření nebyly ideální zejména kvůli povětrnostním podmínkám, časové dostupnosti poskytnuté měřicí techniky a kategorizaci domu v katastru nemovitostí, tudíž vyhodnocení výsledků má sloužit pouze jako simulace principu vyhodnocení hlukové zátěže. Předcházet těmto faktorům by bylo možné pomocí dlouhodobého plánování. Do výsledku byla započtena také nejistota měření a bylo provedeno porovnání shody s hygienickými limity.

### 8.5.1 Nejistota měření

Nejistota měření při měření ekvivalentní hladiny akustického tlaku je stanovena dle Metodického návodu pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí, ze dne 20. 10. 2017 (netýká se impulsního hluku)



Tabulka 17 Nejistota měření, zdroj: (Ministerstvo zdravotnictví ČR, 2017)

	u [dB]	
	Interiér	Exteriér
Hluk s odstupem více než 10dB od zbytkového hluku	1,7 *)	1,7
Hluk s odstupem 3-10 dB od zbytkového hluku	2,0	1,8

\*) jestliže naměřený rozdíl mezi hladinami v interiéru je větší nebo roven 5 dB, se konvenční nejistota zvyšuje o 0,5 dB

$$u = 1,7 \text{ dB}$$

Je to parametr, který rozšiřuje naměřenou hodnotu na oblast, v níž se nachází s 95% pravděpodobností správná hodnota.

### 8.5.2 Výpočet výsledných hladin

Hodnocená hladina po odečtení nejistoty  $L_{Req}$  byla vypočtena za použití hodnot hladiny expozice zvuku  $L_{AE}$ , kterou se rozpočítalo 6 průjezdů mezi šestnáctihodinový časový interval.

### 8.5.3 Stávající situace

Tabulka níže obsahuje shrnutí naměřených hodnot.

Tabulka 18 Výsledné hladiny, zdroj: vlastní

Zvukoměr	Průměrná hodnota $L_{AE}$ [dB]	Rozšířená oblast $L_{aeq}$ [dB]
2250	87,66	71,83 ± 1,7
2270	71,67	55,52 ± 1,7
XL2	91,17	75,54 ± 1,7
XL3	90,45	74,54 ± 1,7

### 8.5.4 Hygienické limity hluku

Dle Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací je možno stanovit hygienické limity hluku pro chráněný venkovní prostor ostatních staveb a chráněný ostatní venkovní prostor. Z tabulky dostupné v kapitole 2.2 je možno určit hygienický limit v denní době na 60 dB. (Nařízení vlády č. 272/2011 Sb.)

Na dané trati by bylo možné posoudit rovněž starou hlukovou zátěž, neboť trať existovala před 1. 1 2001, ale jedná se o poměrně složitý postup, ke kterému nebyla dostupná potřebná data. Nicméně nutno zmínit, že novela nařízení vlády, účinná od 1. 7. 2023, stanoví pro tuto trať hygienický limit hluku 68 dB v denní době a 63 dB v době noční.

Dle zákona č. 266/1994 Sb., o dráhách, v platném znění, odstavce 8, ochranné pásmo dráhy tvoří prostor po obou stranách dráhy, jehož hranice jsou vymezeny svislou plochou vedenou u dráhy celostátní a u dráhy regionální 60 metrů od osy krajní koleje, nejméně však ve vzdálenosti 30 metrů od hranic obvodu dráhy. Rodinný dům se nachází dle uvedené legislativy v ochranném pásmu dráhy, proto je užití stanoveného hygienického limitu oprávněné. (Zákon č. 266/1994 Sb.)

Měření bylo provedeno pouze v denní době, tudíž hygienické limity hluku pro noční dobu nebudou použity. Nařízení také stanovuje přesné časové intervaly pro denní a noční dobu. Vzhledem k nedostatečným časovým a finančním zdrojům firmy Enving s.r.o. nebylo možné provést měření v těchto časových intervalech. Konkrétní interval pro denní dobu je stanoven na 16 hodin. (Nařízení vlády č. 272/2011 Sb.)

### 8.5.5 Porovnání shody s hygienickým limitem

*„Při měření hluku v chráněných venkovních prostorech staveb, chráněném venkovním prostoru a v chráněných vnitřních prostorech staveb se uvádějí nejistoty odpovídající metodě měření. Nejistoty musí být uplatněny při hodnocení naměřených hodnot. Výsledná hodnota hladiny akustického tlaku  $A$  prokazatelně nepřekračuje hygienický limit, jestliže výsledná ekvivalentní hladina akustického tlaku  $A$  po odečtení hodnoty kombinované rozšířené nejistoty je rovna nebo je nižší než hygienický limit nebo výsledná hladina maximálního akustického tlaku je rovna nebo je nižší než hygienický limit.“* (Nařízení vlády č. 272/2011 Sb.)

Tabulka 19 Porovnání shody s hygienickým limitem, zdroj: vlastní

Zvukoměr	Chráněný venkovní prostor staveb	Hodnocená hladina po odečtení nejistoty 1,7 dB $L_{Req,16h}$ [dB]	Limitní hodnota $L_{Aeq,16h}$ [dB]	Limitní hodnota $L_{Aeq,16h}$ [dB]	Porovnání s hygienickým limitem dle Nařízení vlády 272/2011 Sb.
2250	p. č. 3446; K. ú. Valtice	56,83	60	70	Limit je dodržen
2270	p. č. 3446; K. ú. Valtice	39,3	60	70	Limit je dodržen
XL2	p. č. 3446; K. ú. Valtice	58,8	60	70	Limit je dodržen
XL3	p. č. 3446; K. ú. Valtice	58,1	60	70	Limit je dodržen

V tabulce byly využity dvě limitní hodnoty. Užití limitní hodnoty 60 dB již bylo komentováno výše. Limitní hodnota 70 dB byla použita pro případ, kdy by byla hluková zátěž vyhodnocena jako stará. Korekce užitá pro staré hlukové zátěže je o 10 dB vyšší. (Nařízení vlády č. 272/2011 Sb.) Závěrem lze konstatovat, že hygienický limit byl po vyhodnocení dodržen. Je však patrné, že při zvýšení intenzity dopravy v daném úseku by mohlo dojít v budoucnu k jeho porušení.

## 9 HLUKOVÉ MODELOVÁNÍ

Kapitola se věnuje hlukovému modelování v prostředí dBmap.net. Tento volně dostupný modelovací software využívá matematických modelů a algoritmů pro výpočet akustických vlastností prostředí.

Software je v souladu s normami (viz. Příloha P I):

- ISO 9613-1:1993 - Oslabení zvuku při šíření ve venkovním prostředí - Část 1: Výpočet absorpce zvuku atmosférou.
- ISO 9613-2:1996 - Oslabení zvuku při šíření ve venkovním prostředí - Část 2: Obecná metoda výpočtu.
- ISO/TR 17534-3:2015 - Akustika - Software pro výpočet zvuku ve venkovním prostředí - Část 3: Doporučení pro kvalitně zajištěnou implementaci ISO 9613-2 v softwaru podle ISO 17534-1.
- BS 5228-1:2009 A1:2014 - Kodex pro kontrolu hluku a vibrací na staveništích a otevřených prostranstvích.

### 9.1 Vzorové hlukové modely

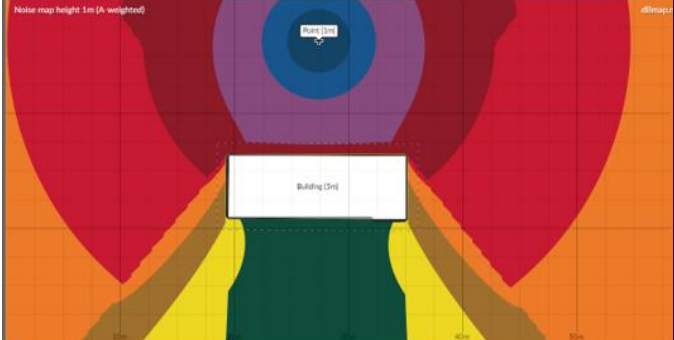



K vizualizaci standardních půdorysů a rozměrů domů byly vytvořeny mapy hlukových modelů, ze kterých je patrný efekt hlukového stínění. V potaz byly vzaty jak domy se čtvercovým půdorysem, tak domy s půdorysem obdélníkovým. Při tvorbě modelů byly vzaty v potaz různé typy střech a výšek. Zvláštním případem byl dům typu bungalov. Při modelování byly použity následující parametry:

- Vzdálenost zdroje hluku od fasády: 10 m
- Akustický tlak zdroje hluku: 100 dB
- Frekvence zdroje hluku: 500 Hz
- Typ zdroje hluku: bodový
- Vzdálenost zdroje hluku od země: 1 m
- Spektrum: Single
- Vážený akustický tlak: 96,8 dB (A)
- Environmentální a ostatní aspekty: Default

### 9.1.1 Dům s obdélníkovým půdorysem

Rozměry domu s obdélníkovým půdorysem byly: 16,6 metru pro stranu delší a 4 metry pro stranu kratší.

Tabulka 20 Dům s obdélníkovým půdorysem v různých konfiguracích, zdroj: (dBmap.net Noise Mapping Tool, 2023)

	Dům s obdélníkovým půdorysem
Rovná střecha 5 s výškou metrů	
Rovná střecha s výškou 10 metrů	
Sedlová střecha s výškou 5-7 metrů	
Sedlová střecha s výškou 10-15 metrů	

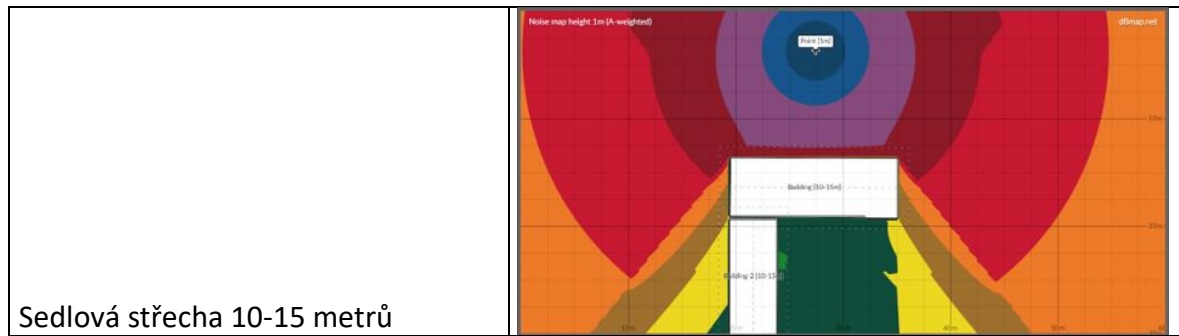
Z modelovaných scénářů lze odhadem určit rozmezí akustického tlaku, které se pohybuje v pásmu 40 – 45 dB. Na bočních stranách domů jsou tato pásma vyšší, což může mít dopad na umístění oken.

### 9.1.2 Dům s půdorysem ve tvaru písmene L

Rozměry domu s půdorysem tvaru L byly: v případě domu bližšího ke zdroji hluku stejné jako u domu s obdélníkovým půdorysem, v případě boční části domu měla strana delší rozměr 12 metrů a strana kratší 2 metry.

Tabulka 21 Dům s půdorysem tvaru L v různých konfiguracích, zdroj: (dBmap.net Noise Mapping Tool, 2023)

	Dům s půdorysem ve tvaru písmene L
Rovná střecha 5 metrů	
Rovná střecha 10 metrů	
Sedlová střecha 5-7 metrů	



Sedlová střecha 10-15 metrů

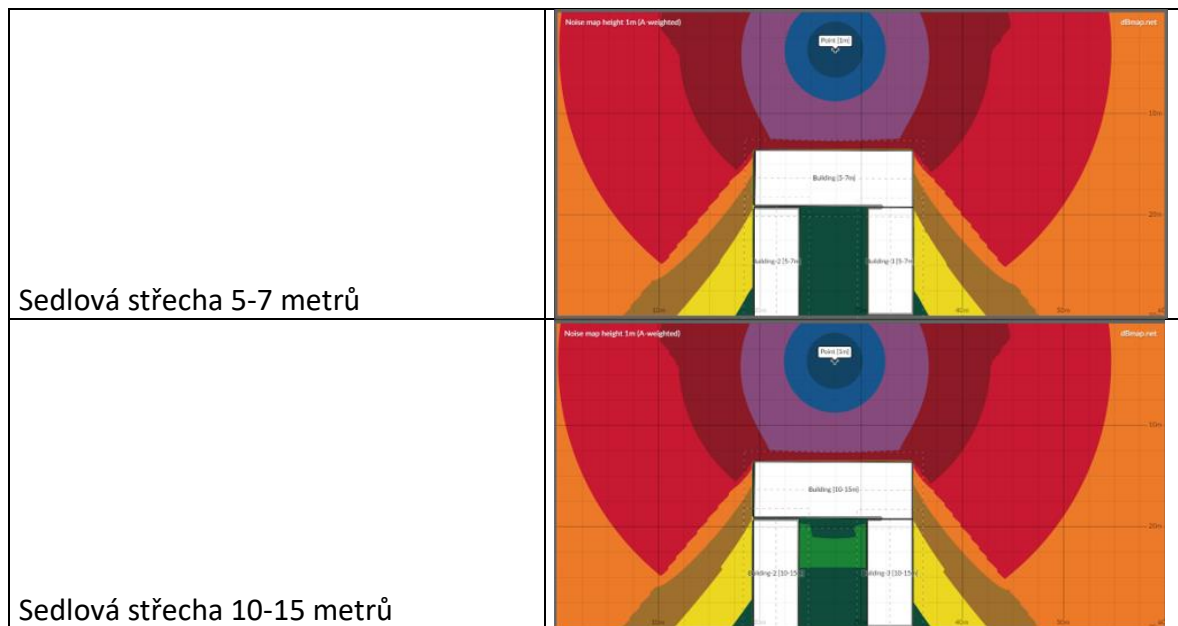
Modelované scénáře ukázaly, že v případě kdy má dům půdorysu L dostatečnou výšku, dokáže odstínit takové množství hluku, že se hladina akustického tlaku za domem pohybuje v rozmezí 35 – 40 dB pouze výjimečně kolem 45 dB.

### 9.1.3 Dům s půdorysem ve tvaru písmene U

Dům s půdorysem ve tvaru písmene U měl rozměry shodné s předchozími modelovanými scénáři. Druhá boční část tedy měla stejné rozměry jako boční část domu s půdorysem tvaru L.

Tabulka 22 Dům s půdorysem tvaru U v různých konfiguracích, zdroj: (dBmap.net Noise Mapping Tool, 2023)

Dům s půdorysem ve tvaru písmene U	
<p>Rovná střecha 5 metrů</p>	
<p>Rovná střecha 10 metrů</p>	

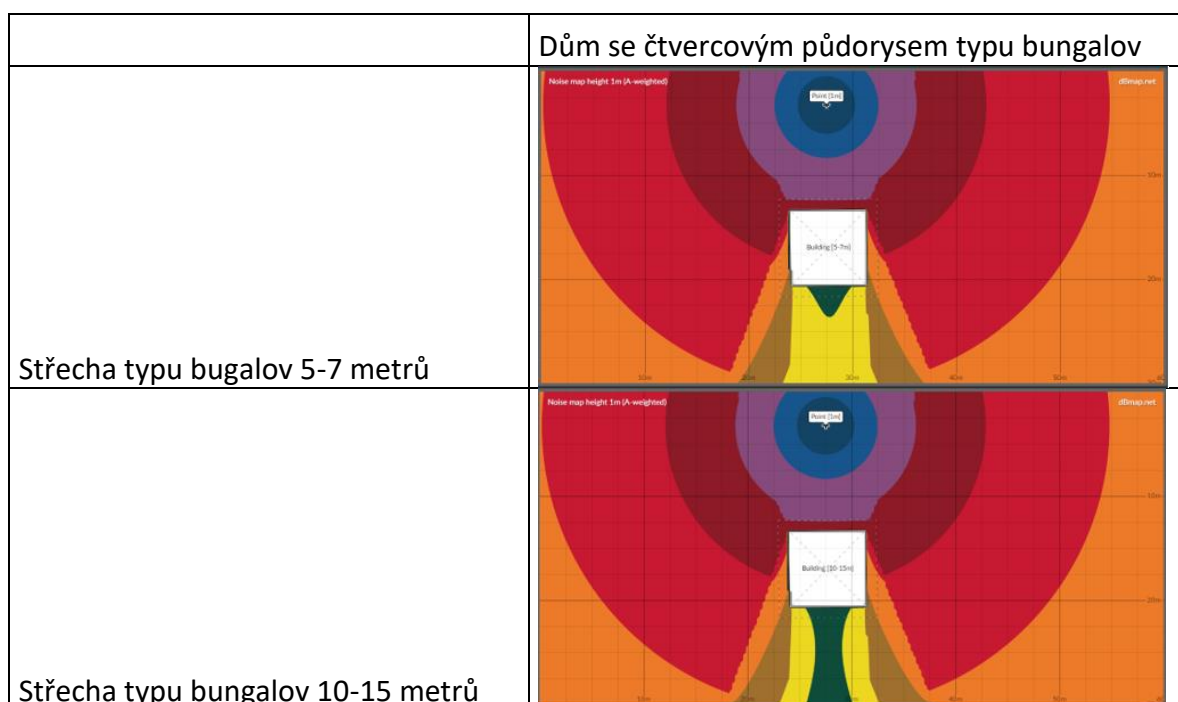


Nejlépe stínící stavbou je dle modelovaných scénářů dům s půdorysem tvaru U s výškou aspoň 10 metrů.

### 9.1.4 Dům se čtvercovým půdorysem typu bungalov

Modelovaný případ domu se čtvercovým půdorysem měl rozměr 7,5 x 7,5 metru.

Tabulka 23 Dům se čtvercovým půdorysem typu bungalov v různých konfiguracích, zdroj: (dBmap.net Noise Mapping Tool, 2023)



Dle posledního modelovaného scénáře má nejhorší stínící efekt dům se čtvercovým půdorysem.

## 9.2 Shrnutí výsledků modelování – akustický stín

V následující tabulce jsou shrnuty jednotlivé typy modelových situací. Zvláštní důraz je zde kladen na akustické stínění. Stínění je vyjádřeno procentuálním poměrem mezi hlukem dopadajícím na fasádu a hlukem slyšitelným za fasádou objektu. Hodnoty jsou odvozeny z vizualizace akustického tlaku v okolí jednotlivých domů.

Tabulka 24 Výsledky modelování, zdroj: (dBmap.net Noise Mapping Tool, 2023)

	Hodnota ak. tlaku na přivrácené fasádě	Hodnota ak. tlaku odstíněná	Stínění
Obdélníkový půdorys – rovná střecha 5 metrů	65 dB	40 – 45 dB	20-25 dB
Obdélníkový půdorys – rovná střecha 10 metrů	65 dB	40 – 45 dB	20-25 dB
Obdélníkový půdorys – sedlová střecha 5 - 7 metrů	65 dB	40 – 45 dB	20-25 dB
Obdélníkový půdorys – sedlová střecha 10 - 15 metrů	65 dB	40 – 45 dB	20-25 dB
Půdorys tvaru L – rovná střecha 5 metrů	65 dB	40 – 45 dB	20-25 dB
Půdorys tvaru L – rovná střecha 10 metrů	65 dB	35 – 45 dB	20-30 dB
Půdorys tvaru L – sedlová střecha 5 - 7 metrů	65 dB	40 – 45 dB	20-25 dB
Půdorys tvaru L – sedlová střecha 10 - 15 metrů	65 dB	40 – 45 dB	20-25 dB
Půdorys tvaru U – rovná střecha 5 metrů	65 dB	40 dB	25 dB



Půdorys tvaru U – rovná střecha 10 metrů	65 dB	35 – 40 dB	25-30 dB
Půdorys tvaru U – sedlová střecha 5 - 7 metrů	65 dB	40 dB	25 dB
Půdorys tvaru U – sedlová střecha 10 - 15 metrů	65 dB	35 – 40 dB	25-30 dB
Čtvercový půdorys – bungalov 5 – 7 metrů	65 dB	40 – 45 dB	20-25 dB
Čtvercový půdorys – bungalov 10 – 15 metrů	65 dB	40 – 45 dB	20-25 dB

Z modelovaných dat plyne, že objekt dokáže zdroj hluku ve vzdálenosti 10 metrů a akustickým tlakem cca. 100 dB většinou odstínit zhruba o 20-25 dB. V určitých případech však dokáže stínit i více.

Objekt s půdorysem tvaru L s rovnou střechou vysokou 10 metrů dokáže odstínit v určitých místech skoro 30 dB hluku dopadajícího na přivrácenou fasádu.

Obecně nejlepší ochranou proti účinkům hluku je dle namodelovaných scénářů objekt s půdorysem tvaru U. Objekty s výškou nad 10 metrů dokáží odstínit hluk v rozmezí 25 až 30 decibelů. Jen o trochu hůře na tom jsou objekty nižší, ty odstíní cca. 25 dB hluku dopadajícího na přední fasádu.

Na vizuálních modelech lze pozorovat, že nejhůře stíní hluk objekt se čtvercovým půdorysem typu bungalov. Nižší objekty tohoto typu neodstíní ani 20 dB hluku dopadajícího na přivrácenou fasádu. Za objektem je možno pozorovat vyšší hladiny akustického tlaku oproti ostatním modelovaným případům.

### 9.3 Hlukové modelování s užitím veřejnosti dostupných funkcí

Z naměřených hodnot akustického tlaku, které byly použity jako podklad a slouží pouze pro ilustraci, získaných během hlukového měření bylo možno vytvořit hlukový model. Hlukový model byl vytvořen v prostředí dBmap.net. Podkladová mapa byla exportována z prostředí OpenStreetMap.

### 9.3.1 Postup tvorby

1. V prostředí dBmap.net bylo kliknuto na tlačítko se symbolem „+“, neboli funkce „ADD OBJECTS“, po rozbalení nabídky byla zvolena možnost „IMAGE/MAP“. Po kliknutí do prostoru se zobrazilo vyskakovací okno s možnostmi vložení. Je možné vkládat soubory z prostředí Google Maps, online zdrojů i lokálních dat dostupných na PC. V modelovaném případě byla mapa exportována z prostředí OpenStreetMap do PC. Byla tedy zvolena možnost „Local File“ a příslušná cesta souboru.
2. Pomocí funkce „GLOBAL SETTINGS“ byly nastaveny environmentální faktory. Teplota byla nastavena na 4°C, vlhkost na 83 % a půdní faktor na hodnotu 1.
3. Po vložení podkladové mapy a nastavení environmentálních faktorů bylo třeba namodelovat budovy. K této činnosti posloužila opět funkce „ADD OBJECTS“. Po rozbalení nabídky byla vybrána možnost „BUILDING“. Budova byla namodelována na základě podkladové mapy. Vzhledem k tomu, že modelovací prostředí neumožňovalo vkládat složité geometrické obrazce, bylo opět nutné použít pro samotnou předsíň domu a sklep funkci „ADD OBJECTS“. Nyní však dle návodu, který dBmap.net poskytuje bylo třeba použít funkci „BARRIER“, která sloužila k modelování volných tvarů a složitých geometrických obrazců. Za pomoci této funkce byla modelována i dřevěná improvizovaná hluková bariéra, která se nacházela mezi tratí a domem. Pro vyšší přesnost modelu byly zvoleny i koeficienty odrazivosti pro jednotlivé objekty. Pro předsíň byla zvolena hodnota 1, jelikož se zde nenacházela žádná okna ani jiné otvory. Pro budovy byla zvolena hodnota 0,8. Důvodem bylo to, že se jednalo o budovy s okny. Zvolená hodnota odrazivosti u sklepa byla 0, jelikož se nacházel pod zemí. Nakonec, pro dřevěnou bariéru byla zvolena také hodnota 1. Rozměry domu byly nastaveny dle kapitoly 8.3.2 Situační schéma lokality.
4. Na mapu s již namodelovanými budovami poté byly umístěny mikrofony. Rozestavení mikrofونů muselo být co nejbližší realitě. Z tohoto důvodu byly při umístění mikrofونů vzaty v potaz hodnoty naměřené v terénu. Tyto hodnoty byly naměřeny laserovým měřidlem BOSCH. Mikrofon 2250 byl umístěn 4 metry od přední strany domu (nikoli od předsíně) a jeho vzdálenost od boční strany domu byla cca. 2,7 metru. Dále mikrofon XL2 se nacházel 2 metry od středu předsíně. Mikrofon s označením XL3 se stejně jako mikrofon 2250 nacházel 4 metry od přední strany domu (nikoli předsíně) a cca. 0,65 metru od pravé boční strany domu. Poslední

mikrofon 2270 se nacházel 1 metr od zadní strany domu. Jeho vzdálenost od nejbližší boční strany domu (levé) byla cca. 5 metrů. Pro namodelování těchto mikrofونů bylo opět třeba použít funkci „ADD OBJECTS“ tentokrát však bylo třeba zvolit možnost „RECEIVER“. Měření vzdáleností bylo možno díky funkci „SELECT“, která umožňovala po stisknutí levého tlačítka myši změřit vzdálenosti dvou bodů. Mikrofony byly postaveny tak, aby stály v jedné linii.

5. Posledním krokem bylo modelování zdroje hluku. V tomto případě se jednalo o vlak. Vzhledem k tomu, že byly známy pouze naměřené hodnoty jednotlivých mikrofونů, musela být hodnota akustického tlaku projíždějícího vlaku odvozena z těchto hodnot. Nejprve však musely být přidány body do mapy, opět pomocí funkce „ADD OBJECTS“. Následně byla vybrána možnost „POINT“ a body byly umístěny na podkladovou mapu v místě dráhy. Pro hodnotu akustického tlaku zdroje hluku byl použit následující postup:

- a. Byly zvoleny mezní hranice ekvivalentní hladiny akustického tlaku  $L_{aeq}$  naměřené u jednotlivých mikrofونů mezi kterými se nacházela s 95% pravděpodobností správná hodnota (viz. Tab. 18).

Mezní hodnoty byly zvoleny následovně:

Tabulka 25 Mezní hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku, zdroj: vlastní

Zvukoměr	Dolní hladina ak. tlaku [dB]	Horní hladina ak. tlaku [dB]
2250	70,13	73,53
2270	53,82	57,22
XL2	73,84	77,24
XL3	72,84	76,24

- b. Zdroj hluku byl poté umístován na různá místa na trati a bylo zkoumáno, zda v místě nejvyšší expozice nedojde k překročení horní hladiny akustického

tlaku. Dolní hladina akustického tlaku byla zkoumána až při dostatečném přiblížení zdroje hluku.

- c. Hodnota akustického tlaku byla zvolena na úrovni 114 dB, přičemž vážená hladina akustického tlaku byla 110,8 dB. Výška zdroje byla určena na 1 metr (zároveň s mapou) a frekvence byla nastavena dle příslušných norem na 500 Hz. Spektrum bylo nastaveno jako single. Mezi dvěma nejbližšími body bylo 49 metrů, což představuje teoretickou délku vlaku.

### 9.3.2 Výstupy

Modelované výstupy byly exportovány. Vzhledem k tomu, že pro modelování nebylo možné užití liniového zdroje hluku, musel být vybrán zdroj bodový, z toho důvodu není možné považovat hlukové modelování za přesný odraz reality, ale spíše jako ukázkou možného využití softwaru. Softwary, které lze použít k hlukovému modelování jednotlivcem a zároveň mají volnou licenci je velmi málo. Často se lze setkat pouze s demoverzemi těchto softwarů do kterých není možné vkládat vlastní měřená data, čímž je značně omezena schopnost tvorby vlastních výstupů. V případě softwaru dBmap.net v rámci práce nebylo možné využít ve verzi pro veřejnost všech funkcí včetně modelování liniového zdroje hluku, který by se pro potřeby práce hodil mnohem více. Bodové zdroje hluku a liniové zdroje hluku jsou rozdílné a jejich lom je tedy odlišný. Z tohoto důvodu není možné chápat výstup hlukového modelování jako věrný odraz reality. Placený software nebylo možné využít vzhledem k vysokým pořizovacím nákladům. Jako příklad lze uvést software Hluk+, jehož pořízení by nového uživatele vyšlo na necelých 100 000 korun. Správa železnic s.o. potřebným softwarem nedisponovala.

Z dostupných informací bylo dále zjištěno řazení vlaků. Jednalo se o dva typy vlakových souprav:

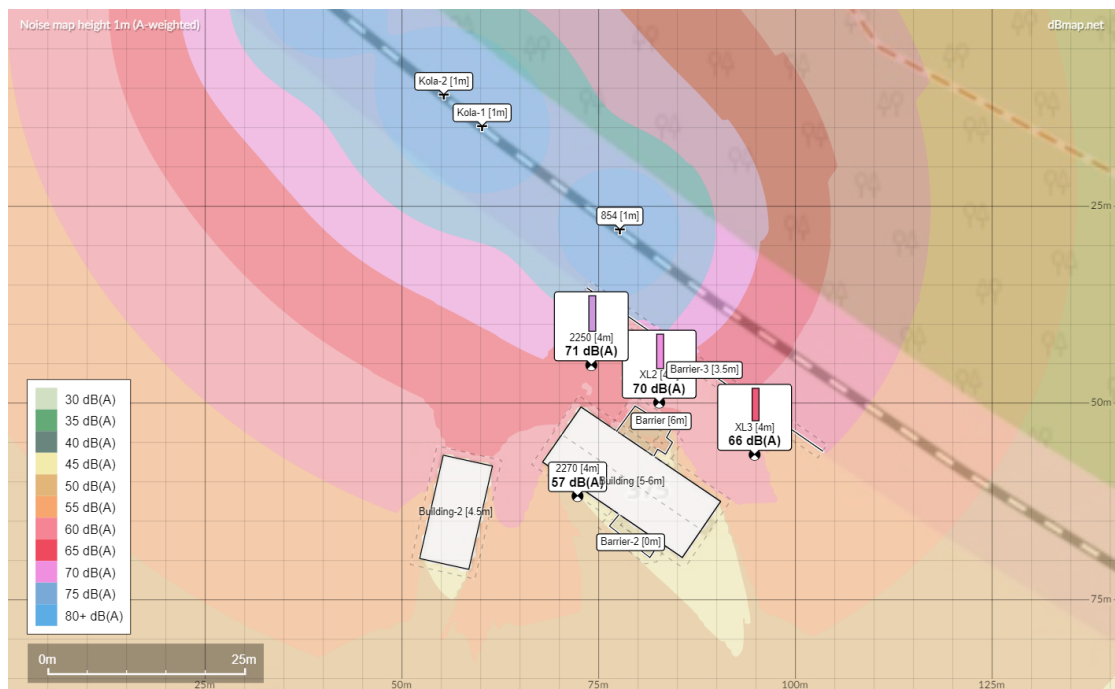
- 854 + Bdtn<sup>757</sup> (viz. Obr. 18)
- Bfrdtn<sup>754</sup> + 842 (viz. Obr. 19)



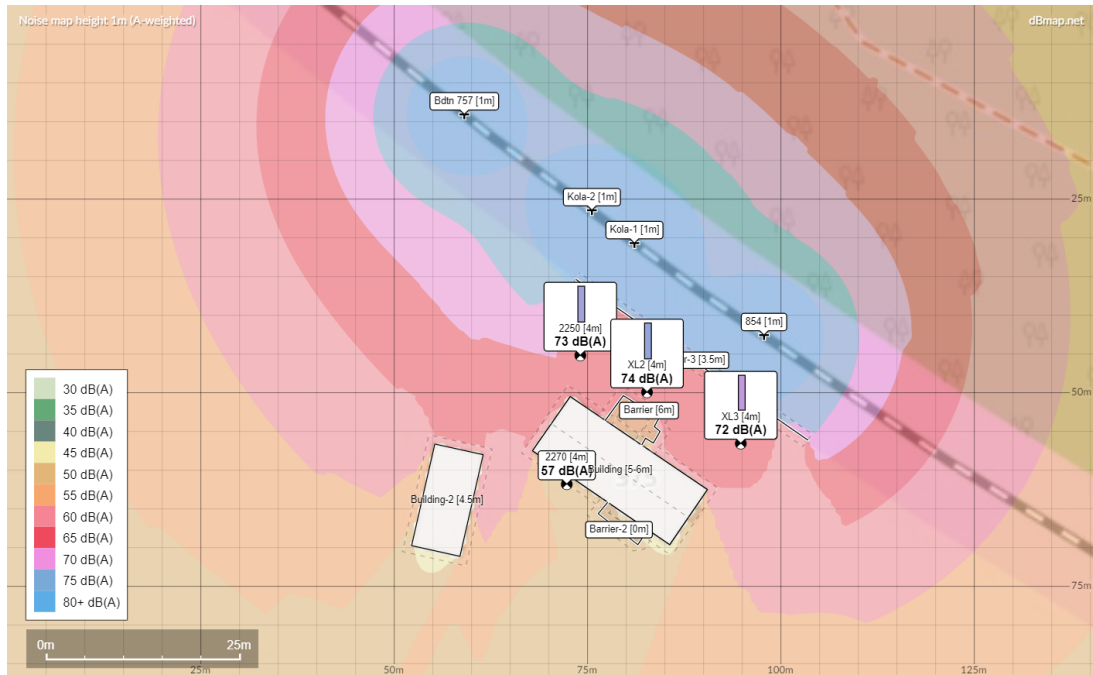
Obrázek 18 854 + Bdtn<sup>757</sup>, zdroj: (Novotný, 2022)

Obrázek 19 Bf rdtn<sup>754</sup> + 842, zdroj: (Novotný, 2022)

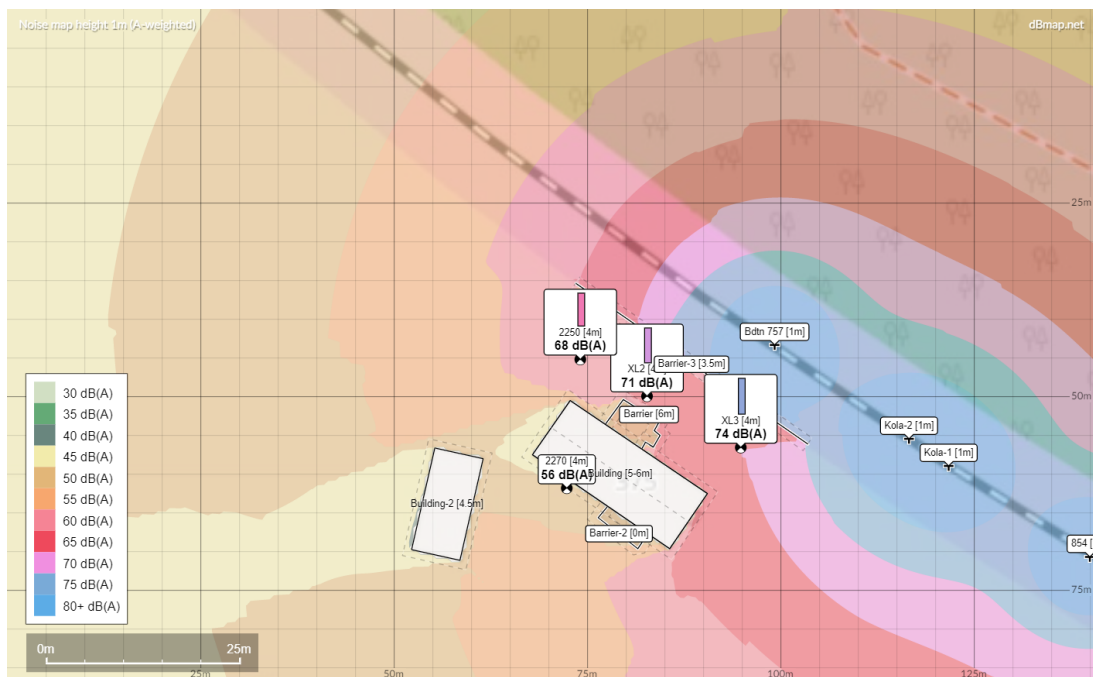
Finální modelovaný výstup představuje mapu na které jsou zobrazeny hluková pásma. Jednotlivé barevné složky jsou od sebe vzdáleny 5 dB, jak je možno pozorovat v legendě.



Obrázek 20 Model průjezdu 1, zdroj: (dBmap.net Noise Mapping Tool, 2023)



Obrázek 21 Model průjezdu 2, zdroj: (dBmap.net Noise Mapping Tool, 2023)



Obrázek 22 Model průjezdu 3, zdroj: (dBmap.net Noise Mapping Tool, 2023)

Je nutné poznamenat, že modelování jako takové je vždy zjednodušenou formou zachycení reality a obsahuje tedy nepřesnosti. Některé hodnoty musely být při zadávání zaokrouhleny. Modelování také nezahrnuje změnu povětrnostních podmínek, která během hlukového měření nastala.

## 9.4 Komparace akustických stínů

Data získaná z hlukového měření a hlukového modelování bylo možné komparovat a zjistit tak odchylku. Následně bylo možné komparovat hlukové stínění. Nejprve byly vzaty hodnoty naměřené, poté hodnoty modelované. Dále byla vypočtena průměrná hodnota akustického stínění.

Tabulka 26 Výpočet stínění – naměřené hodnoty, zdroj: vlastní

Hodnocená hladina za domem po odečtení nejistoty 1,7 dB $L_{Req, 16h}$ [dB]	Hodnocená hladina před domem po odečtení nejistoty 1,7 dB $L_{Req, 16h}$ [dB]	Stínění [dB]	Stínění-průměr [dB]
39,3	56,83	17,5	18,6
	58,8	19,5	
	58,1	18,8	

Z naměřených hodnot po odečtení nejistoty plyne, že rodinný dům ve Valticích by odstínil při průjezdech vlaků průměrně 18,6 dB hluku dopadajícího na přední fasádu.

Tabulka 27 Výpočet stínění – namodelované hodnoty, zdroj: vlastní

Modelovaná hodnocená hladina za domem – průměr při průjezdu [dB]	Modelovaná hodnocená hladina před domem – průměr při průjezdu [dB]	Stínění [dB]	Stínění-průměr [dB]
56,66	70,66	14	14,6
	72,66	16	
	70,66	14	

Modelované hladiny akustického tlaku byly vypočteny jako průměry hodnot naměřené na modelovaných mikrofonech během průjezdu. Hodnoty je možno nalézt na modelech průjezdů (Obr. 20, 21, 22).

Z výpočtů plyne, že modelované akustické stínění bylo odchýleno od skutečných hodnot o 4 dB. Lze tedy konstatovat, že hlukové modelování akustického stínění v prostředí softwaru dBmap.net vykazovalo očekávanou odchylku na které lze demonstrovat rozdíl v lomu hluku dle jeho zdroje (bodový versus liniový) i když se jednalo pouze o jednoduchou ukázkou funkcí daného softwaru.

## 10 NÁVRH NA ZLEPŠENÍ STÁVAJÍCÍ SITUACE

Kapitola se zabývá zejména návrhy na zlepšení stávající hlukové situace u měřeného rodinného domu.

### 10.1 Dispozice domu

Vzhledem k tomu, že se dům nacházel v těsné blízkosti trati, je vylepšování dispozice velmi obtížné. Zóna pro odpočinek by se měla z logických důvodů nacházet na straně odvrácené od trati. Dále by na odvrácené straně měly být umístěny místnosti ve kterých se majitelé vyskytují nejčastěji. Tato opatření by měla dokázat snížit celkovou hlukovou zátěž domácnosti a omezit dopad hlukového znečištění na zdraví jejích obyvatel.

### 10.2 Pobytové plochy a situační rozmístění pozemku

Obecně lze doporučit výsadbu stromů v okolí domu díky čemuž by mohlo dojít k lepší pohltivosti hlukových vln. Tento krok by také podpořil životní prostředí. Dále by bylo možné zvolit situační rozmístění tak, aby byl odpočinek možný na co nejvíce odstíněném místě. Ideální pobytové plochy jsou zaznačeny na obrázku níže (viz. Obr. 23) a vycházejí z hlukového modelování.



Obrázek 23 Pobytové plochy, zdroj: vlastní

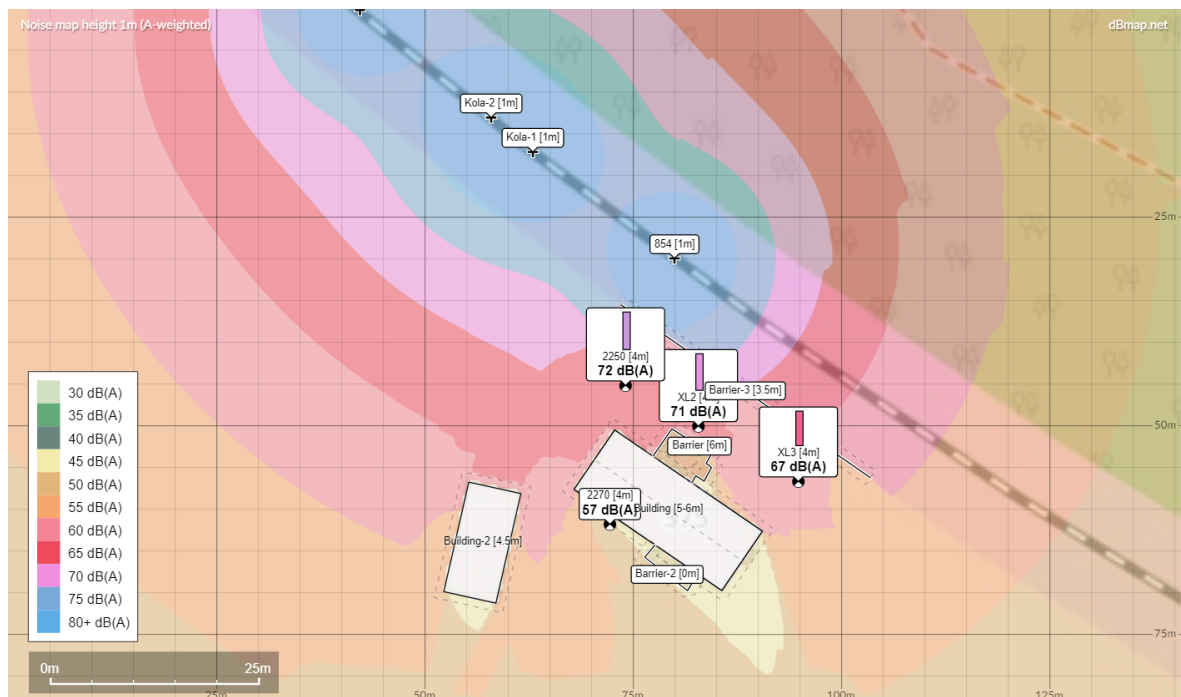


Žlutě je vyznačena bližší, méně odstíněná plocha. Zeleně je pak označena plocha, která je při průjezdu vlaku odstíněna nejvíce, zároveň se však nachází až za dílnou.

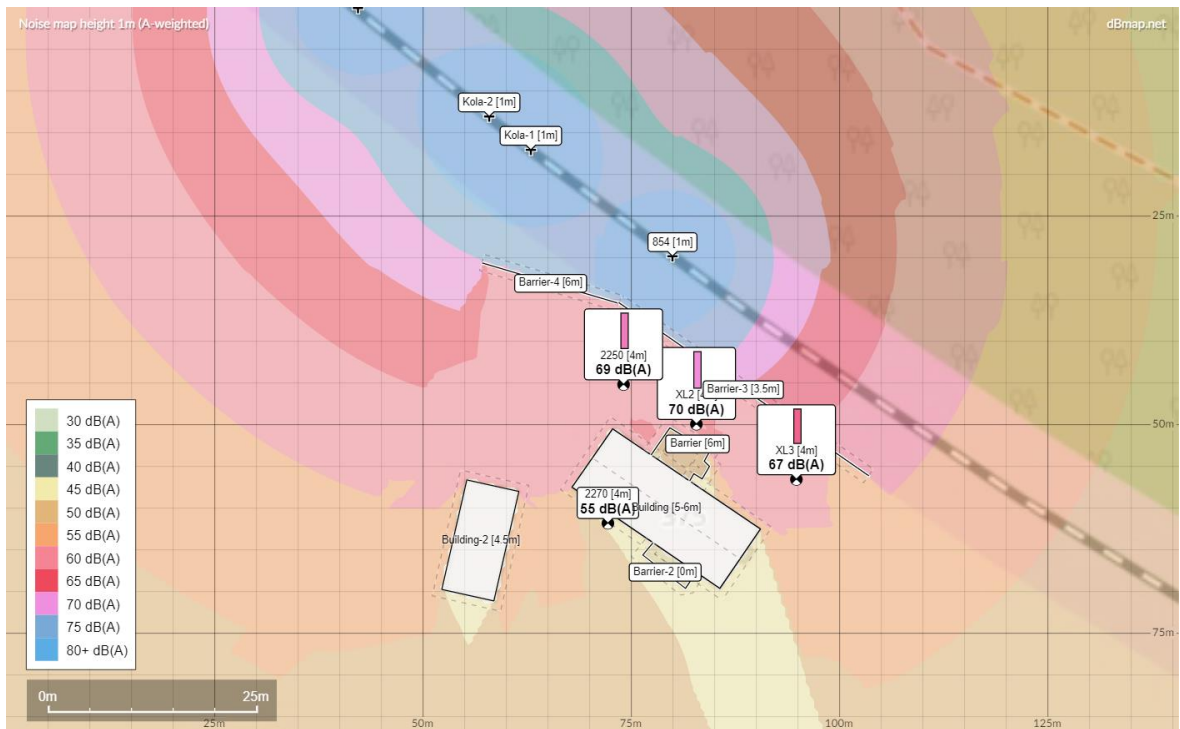
### 10.3 Vylepšení bariér

Z hlukového modelování vyplynulo, že hlukové vlny ze šíří za okolí domu nejvíce v situaci, kdy vlak přijíždí k domu ze směru Valtice a poté když od něj odjíždí ve směru Boří Les (viz. Obr. 24). Tato situace nastává i když je směr jízdy vlaku obrácený. Proto je možné spolu s výsadbou dřevin v okolí domu také doplnit další bariéry.

Při modelování tohoto vylepšení však bylo zjištěno, že pokud by bariéra byla stejně vysoká jako dům, dokázala by odstínit oproti stávající situaci pouze o 2 dB více (viz. Obr. 25). Svou roli zde opět sehrává mnoho faktorů. V uvažované modelaci se jednalo pouze o improvizovanou dřevěnou bariéru. Při použití protihlukové stěny je pravděpodobné, že by byl stínící efekt účinnější.



Obrázek 24 Stávající hluková situace při průjezdu, zdroj: (dBmap.net Noise Mapping Tool, 2023)



Obrázek 25 Vylepšená hluková bariéra, zdroj: (dBmap.net Noise Mapping Tool, 2023)

Na modelované situaci je možné sledovat snížení hluku i na straně domu, která je k dráze přivrácená.

## ZÁVĚR

Česká republika jako stát s nejhustší železniční sítí na světě se musí stejně jako ostatní státy Evropské unie věnovat hlukovému znečištění, které se šíří v jejím okolí. Správa železnic, která jako jediná v zemi tuto železniční síť spravuje vynakládá dostatečné úsilí na to, aby tuto negativní externalitu minimalizovala. Pokud budou hlukové znečištění a další negativní externality z železniční dopravy v budoucnu odstraněny, stane se tento typ dopravy skutečně ekologicky šetrným a environmentálně udržitelným způsobem přepravy.

Přiložená diplomová práce poskytla ucelený teoretický komplex zkoumané problematiky k jejímu bližšímu pochopení. Jako hlavní nedostatek nynějšího stavu poznání lze chápat, z hlediska teoretického, zejména nejednotnou metodiku hodnocení dopadů hluku, kdy existuje celá řada vyhlášek, zákonů, metodických pokynů, studií a dalších dokumentů, které jsou často velmi nepřehledné a složité. Z praktického hlediska práce objevila celou řadu problémů, které lze v budoucnu řešit. Mělo by jít zejména o aktualizaci záznamů v katastru nemovitostí, kdy domy v současné době používané jako rodinné, nejsou takto vedeny a nejsou pro ně tedy platné žádné hygienické limity. Dále je nutné poznamenat, že budoucí výzkum je závislý na dostatečném časovém horizontu měření a dostatečném množství měřicí techniky, která je velmi nákladnou položkou. Výběr softwarů, které lze použít k hlukovému modelování jednotlivcem a zároveň mají volnou licenci je velmi málo. Často se lze setkat pouze s demoverzemi těchto softwarů do kterých není možné vkládat vlastní měřená data. V případě softwaru užitého k hlukovému modelování v rámci práci zase nebylo možné využít ve verzi pro veřejnost všech funkcí včetně modelování liniového zdroje hluku, který by se pro potřeby práce hodil. Závěr diplomové práce se poté věnuje návrhu dispozice domu, pobytových ploch a situačního rozmístění pozemku. Navrhovaná opatření by měla sloužit ke zlepšení hlukové situace.

Budoucím výzkumným záměrem může být detailnější hlukové měření uvnitř staveb a řešení výzkumných otázek na téma akustického stínění uvnitř budov, zejména pak u oken. Dále se nabízí tvorba metodiky na posuzování hlukového znečištění u méně významných tratí. Neméně podstatným budoucím záměrem může být také statistické vyčíslení domů, které v katastru nemovitostí nejsou vedeny jako obytné a u kterých tedy nejsou stanoveny žádné hygienické hlukové limity.

Na základě výše uvedených skutečností lze konstatovat, že cíle uvedené v zadání diplomové práce byly naplněny.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

BERNARD, Michal; DOUCHA, Pavel, 2008. *Právní ochrana před hlukem*. Linde.

BĚLOHRADOVÁ, Jitka, et al., 2011. Participace veřejnosti v rámci povolování provozu nadlimitního zdroje hluku. *Časopis pro právní vědu a praxi*, 19.2: 144-148.

BRUNEAU, Michel, 2006. *Fundamentals of acoustics*. London ; Newport Beach, CA: ISTE Ltd. ISBN 978-1-905209-25-5. QC225.15 .B78 2006

BUSA, Lucia, SECCHI, Simone a BALDINI, Stefano, 2010. Effect of Façade Shape for the Acoustic Protection of Buildings. *Building Acoustics*. prosinec 2010. Vol. 17, no. 4, pp. 317–338. DOI 10.1260/1351-010X.17.4.317.

CONNOLLY, David P., MARECKI, Grzegorz P., KOUROUSSIS, Georges, THALASSINAKIS, Ioannis a WOODWARD, Peter K., 2016. The growth of railway ground vibration problems — A review. *Science of The Total Environment*. říjen 2016. Vol. 568, pp. 1276–1282. DOI 10.1016/j.scitotenv.2015.09.101.

ČESKO. Zákon č. 258 ze dne 14. července 2000 o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2000, částka 74, s. 3622 3664. ISSN 1211-1244. Dostupný také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-258>

ČESKO. Zákon č. 266 ze dne 30. prosince 1994 o dráhách (zákon o dráhách). In: *Sbírka zákonů České republiky*. 1994, částka 79. Dostupný také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1994-266>

ČESKO. Zákon č. 567 ze dne 14. října 2015 Zákon, kterým se mění zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a další související zákony. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2015, částka 108, Dostupný také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-267>

ČESKO. Vláda. Nařízení vlády ze dne 24. srpna 2011 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2011, částka 97, s 3338. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-272>

ČSN ISO 1996-2. Akustika - Popis, měření a hodnocení hluku prostředí - Část 2: Určování hladin akustického tlaku. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018. Třídící znak 01 1621

dBmap.net Noise Mapping Tool, 2023. Mapová data zdarma k použití bez záruky. Dostupné z: <https://noisetools.net/dbmap/>

DUDOVÁ, Jana, 2013. *Právní aspekty ochrany veřejného zdraví před environmentálním hlukem*. Brno: Masaryk University. ISBN 978-80-210-6522-2.

EISENREICH, Jan, 2019. *Rychlost s tichostí: veřejný prostor 21. století: odborná konference: 2. května 2019, Plzeň: sborník příspěvků*. 1. vydání. Praha: Powerprint. ISBN 978-80-7568-152-2.

FIALA, Petr, JABLONSKÝ, Josef a MAŇAS, Miroslav, 1994. *Vícekritériální rozhodování: Určeno pro stud. všech fakult VŠE Praha*. 1. vyd. Praha: Vysoká škola ekonomická. ISBN 978-80-7079-748-8.

GEOPORTÁL MZČR, 2017. Hlukové mapy 2017. In: Geoportál MZČR [online]. [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://geoportal.mzcr.cz/SHM2017/>

HELLMUTH, Tomáš, POTUŽNÍKOVÁ, Dana, JUNEK, Pavel a FIALA, Zdeněk, 2016. Noise Annoyance: a Health Problem or Acoustic Comfort? *Hygiena*. 1 březen 2016. Vol. 61, no. 1, pp. 33–35. DOI 10.21101/hygiena.a1439.

JANDÁK, Zdeněk, 2007. 1. Hluk v pracovním prostředí. *Vybrané kapitoly z pracovního lékařství*, 11

JAROLÍMEK, Jan, 2014. Hluk jako spojující článek mezi lékaři a geografy. *Informace ČGS*, 33.2: 13-22.

JUNEK, Pavel, HELLMUTH, Tomáš, JIRÁSKA, Aleš a MICHAL, Jiří, 2020. Strategic noise maps at the crossroads. *Hygiena*. 31 květen 2020. Vol. 65, no. 2, pp. 63–70. DOI 10.21101/hygiena.a1750.

KAŇKA, Jan, 2023. Útlum zvuku ohybem přes překážku [online]. In: . Praha: Stavební fakulta ČVUT Praha [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/226-utlum-zvuku-ohybem-pres-prekazku>

KAŇKA, Jan, 2010. O výpočtech útlumu zvuku ohybem [online]. In: . Praha: Stavební fakulta ČVUT Praha [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/226-utlum-zvuku-ohybem-pres-prekazku>

KAŇKA, Jan, 2023. Útlum zvuku ohybem přes překážku [online]. In: . Praha: Stavební fakulta ČVUT Praha [cit. 2023-03-31]. Obrázek ve formátu PNG. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/docu/texty/0002/000226o2.png>

KŘIVÁNEK, Vítězslav, MARKOVÁ, Petra a EFFENBERGER, Karel, 2019. Long-term change in the noise level of road pavements and their assessment. *Hygiena*. 28 únor 2019. Vol. 64, no. 1, pp. 5–9. DOI 10.21101/hygiena.a1612.

KUBÍNEK, Roman, KOLÁŘOVÁ, Hana a HOLUBOVÁ, Renata, 2009. *Fyzika pro každého, aneb, Rychlokurz fyziky*. Olomouc: Rubico. ISBN 978-80-7346-095-2.

Kurs 2 - Hluk v komunálním prostředí: Kapitola 1.7 - Ekvivalentní hladina akustického tlaku, 2023. Khshk.cz [online]. [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: [http://www.khshk.cz/e-learning/kurs2a/kapitola\\_17\\_\\_ekvivalentn\\_hladina\\_akustickho\\_tlaku.html](http://www.khshk.cz/e-learning/kurs2a/kapitola_17__ekvivalentn_hladina_akustickho_tlaku.html)

Kurs 2 - Hluk v komunálním prostředí: Kapitola 1.8 - Hladina expozice zvuku, 2023. Khshk.cz [online]. [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: [http://www.khshk.cz/e-learning/kurs2a/kapitola\\_18\\_\\_hladina\\_expozice\\_zvuku.html](http://www.khshk.cz/e-learning/kurs2a/kapitola_18__hladina_expozice_zvuku.html)

Kurs 2 - Hluk v komunálním prostředí: Kapitola 1.8 - Hladina expozice zvuku, 2023. Khshk.cz [online]. [cit. 2023-04-15]. Obrázek ve formátu PNG. Dostupné z: [http://www.khshk.cz/e-learning/kurs2a/kapitola\\_18\\_\\_hladina\\_expozice\\_zvuku.html](http://www.khshk.cz/e-learning/kurs2a/kapitola_18__hladina_expozice_zvuku.html)

Kurs 2 - Hluk v komunálním prostředí: Kapitola 1.8 - Hladina expozice zvuku, 2023. Khshk.cz [online]. [cit. 2023-04-15]. Obrázek ve formátu PNG. Dostupné z: [http://www.khshk.cz/e-learning/kurs2a/kapitola\\_18\\_\\_hladina\\_expozice\\_zvuku.html](http://www.khshk.cz/e-learning/kurs2a/kapitola_18__hladina_expozice_zvuku.html)

LIBERKO, Miloš., 2004. *Hluk v prostředí: problematika a řešení*. Praha: Ministerstvo životního prostředí. ISBN 978-80-7212-271-4.

MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ ČR, 2023. *Novela nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací nabyde účinnosti 1. července letošního roku*. MZČR [online]. Praha [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://www.mzcr.cz/novela-narizeni-vlady-o-ochrane-zdravi-pred-nepriznivymi-ucinky-hluku-a-vibraci/>

MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ ČR, 2017. Věstník MZČR 11-2017: METODICKÝ NÁVOD pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí. In: MZČR [online]. Praha: MZČR [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://www.mzcr.cz/wp-content/uploads/wepub/14382/36099/V%C4%9Bstn%C3%ADk%20MZ%20%C4%8CR%2011-2017.pdf>

NEUBERGOVÁ, Kristýna, 2011. Problematika hluku ze železniční dopravy. In: *Časopis stavebnictví*. [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: [https://www.vlaky.net/upload/images/reports/006734/Stavebnictvi-problematika\\_hluku.pdf](https://www.vlaky.net/upload/images/reports/006734/Stavebnictvi-problematika_hluku.pdf)

NEUBERGOVÁ, Kristýna, 2011. Problematika hluku ze železniční dopravy. In: *Časopis stavebnictví*. [cit. 2023-03-31]. Výstřížek obrázku z archivu autorky ve formátu JPG. Dostupné z: [https://www.vlaky.net/upload/images/reports/006734/Stavebnictvi-problematika\\_hluku.pdf](https://www.vlaky.net/upload/images/reports/006734/Stavebnictvi-problematika_hluku.pdf)

NEUBERGOVÁ, Kristýna, 2011. Problematika hluku ze železniční dopravy. In: *Časopis stavebnictví*. [cit. 2023-03-31]. Výstřížek tabulky z archivu autorky ve formátu JPG. Dostupné z: [https://www.vlaky.net/upload/images/reports/006734/Stavebnictvi-problematika\\_hluku.pdf](https://www.vlaky.net/upload/images/reports/006734/Stavebnictvi-problematika_hluku.pdf)

NIELSEN, Jens C. O., PIERINGER, Astrid, THOMPSON, David J. a TORSTENSSON, Peter T., 2021. Wheel–Rail Impact Loads, Noise and Vibration: A Review of Excitation Mechanisms, Prediction Methods and Mitigation Measures. In: DEGRANDE, Geert, LOMBAERT, Geert, ANDERSON, David, DE VOS, Paul, GAUTIER, Pierre-Etienne, IIDA, Masanobu, NELSON, James Tuman, NIELSEN, Jens C. O., THOMPSON, David J., TIELKES, Thorsten a TOWERS, David A. (ed.), *Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems*. online. Cham: Springer International Publishing. pp. 3–40. Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design. [cit. 2022-10-10]. ISBN 978-3-030-70288-5.

NOVOTNÝ, Filip, 2022. Os 4513. In: ŽelPage: Řazení vlaků [online]. ŽelPage [cit. 2023-03-31]. Obrázek ve formátu GIF. Dostupné z: <https://www.zelpage.cz/razeni/22/vlaky/cd-4513/?zobrazeni=grafika>

OpenStreetMap, 2022. Mapová data chráněná autorským právem přispěvatelů OpenStreetMap a dostupná z: <https://www.openstreetmap.org>.

PEŠTA, Jan a Viktor ZWIENER, 2019. Hlukové limity a měření hluk – stav po 1. lednu 2019. In: Atelier DEK [online]. [cit. 2023-03-31]. Výstřižek tabulky ve formátu JPG. Dostupné z: <https://atelier-dek.cz/hlukov%C3%A9-limity-m%C4%9B%C5%99en%C3%AD-hluk-%E2%80%93-stav-po-1-lednu-2019-894>

Pohledzvlaku.cz: Břeclav – Znojmo [online], 2023. *Svět v bezpečí* [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://pohledzvlaku.cz/?trat=breclav-znojmo>

POTUŽNÍKOVÁ, Dana, HELLMUTH, Tomáš, JUNEK, Pavel a FIALA, Zdeněk, 2014. Options for Use of Strategic Noise Mapping in Public Health. *Hygiena*. 1 červen 2014. Vol. 59, no. 2, pp. 74–78. DOI 10.21101/hygiena.a1268.

ŘEZÁČ, Miloslav, 2011. *Kapacita pozemních komunikací z hlediska přípustné zátěže životního prostředí*

ŘIHÁČEK, Tomáš, 2002. Lze si zvyknout na hluk? online. 2002. Získáno z: [https://www.researchgate.net/profile/Tomas-Rihacek-2/publication/258994645\\_Lze\\_si\\_zvyknout\\_na\\_hluk/links/02e7e5298f498bd9b400000/Lze-si-zvyknout-na-hluk.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Tomas-Rihacek-2/publication/258994645_Lze_si_zvyknout_na_hluk/links/02e7e5298f498bd9b400000/Lze-si-zvyknout-na-hluk.pdf)

TRÁVNÍČEK, Bohumír, 2010. *Možnosti řešení hlukové zátěže z pozice provozovatele dráhy v kontextu stávající právní úpravy*.

STÁTNÍ ZDRAVOTNÍ ÚSTAV, 2016. Systém monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ve vztahu k životnímu prostředí: Subsystem III Zdravotní důsledky a rušivé účinky hluku Odborná zpráva za rok 2015 [online]. Praha: Státní zdravotní ústav [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: [https://szu.cz/wp-content/uploads/2023/01/hluk\\_15web.pdf](https://szu.cz/wp-content/uploads/2023/01/hluk_15web.pdf)

STÁTNÍ ZDRAVOTNÍ ÚSTAV, 2017. Systém monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ve vztahu k životnímu prostředí: Subsystem III Zdravotní důsledky a rušivé účinky hluku Odborná zpráva za rok 2016 [online]. Praha: Státní zdravotní ústav [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: [https://szu.cz/wp-content/uploads/2023/01/hluk\\_16web.pdf](https://szu.cz/wp-content/uploads/2023/01/hluk_16web.pdf)

STÁTNÍ ZDRAVOTNÍ ÚSTAV, 2020. Systém monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ve vztahu k životnímu prostředí: Subsystem III Zdravotní důsledky a rušivé účinky hluku Odborná zpráva za rok 2019 [online]. Praha: Státní zdravotní ústav [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: [https://szu.cz/wp-content/uploads/2023/01/hluk\\_19web.pdf](https://szu.cz/wp-content/uploads/2023/01/hluk_19web.pdf)

STÁTNÍ ZDRAVOTNÍ ÚSTAV, 2021. Systém monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ve vztahu k životnímu prostředí: Subsystem III Zdravotní důsledky a rušivé

účinky hluku Odborná zpráva za rok 2020 [online]. Praha: Státní zdravotní ústav [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: [https://szu.cz/wp-content/uploads/2023/01/hluk\\_20web.pdf](https://szu.cz/wp-content/uploads/2023/01/hluk_20web.pdf)

STÁTNÍ ZDRAVOTNÍ ÚSTAV, 2022. Systém monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ve vztahu k životnímu prostředí: Subsystém III Zdravotní důsledky a rušivé účinky hluku Odborná zpráva za rok 2021 [online]. Praha: Státní zdravotní ústav [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: [https://szu.cz/wp-content/uploads/2023/01/hluk\\_21web.pdf](https://szu.cz/wp-content/uploads/2023/01/hluk_21web.pdf)

STÁTNÍ ZDRAVOTNÍ ÚSTAV, 2023. Odborné zprávy Systému monitorování: VÝSLEDKY SYSTÉMU MONITOROVÁNÍ ZDRAVOTNÍHO STAVU OBYVATELSTVA ČR VE VZTAHU K ŽIVOTNÍMU PROSTŘEDÍ ZA ROK. In: Státní zdravotní ústav: Monitoring zdraví a životního prostředí [online]. Praha: Státní zdravotní ústav [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://atelier-dek.cz/hlukov%C3%A9-limity-m%C4%9B%C5%99en%C3%AD-hluk-%E2%80%93-stav-po-1-lednu-2019-894>

ŠVÁBOVÁ, Květa, 2015. *Vybrané kapitoly z pracovního lékařství. Díl 3, Fyzikální faktory v pracovním prostředí, návykové látky*. První vydání. Praha: Institut postgraduálního vzdělávání ve zdravotnictví. ISBN 978-80-87023-34-1.

THEHAPPYV, 2013. Sluchové pole člověka. In: *Wikiskripta: Akustika* [online]. [cit. 2023-03-31]. Obrázek ve formátu PNG. Dostupné z: [https://www.wikiskripta.eu/w/Akustika#/media/Soubor:Sluchov%C3%A9\\_pole\\_-\\_Graf.png](https://www.wikiskripta.eu/w/Akustika#/media/Soubor:Sluchov%C3%A9_pole_-_Graf.png)

THOMPSON, D. J., JONES, Chris a GAUTIER, Pierre-Etienne, 2009. *Railway noise and vibration: mechanisms, modelling and means of control*. 1st ed. Amsterdam ; Boston: Elsevier. ISBN 978-0-08-045147-3. TD893.6.R3 T46 2009. Výstřižek obrázku ve formátu PNG. Dostupné z: [https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=zciPgBeYafsC&oi=fnd&pg=PP1&dq=railway+noise&ots=1Z2ZsehynA&sig=XZTAEuI14Qny7MxmXDSAPBJZ08&redir\\_esc=y#v=onepage&q=vibration&f=false](https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=zciPgBeYafsC&oi=fnd&pg=PP1&dq=railway+noise&ots=1Z2ZsehynA&sig=XZTAEuI14Qny7MxmXDSAPBJZ08&redir_esc=y#v=onepage&q=vibration&f=false)

VANDASOVÁ, Zdeňka, 2011. Měření hluku v rámci systému monitorování v kontextu s požadavky legislativy [online]. Praha: Státní zdravotní ústav [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/8838082-Mereni-hluku-v-ramci-systemu-monitorovani-v-kontextu-s-pozadavky-legislativy.html>

VÁGNEROVÁ, Monika, 2013. Příručka pro začátečníky - Základy akustiky. Praha. Dostupné také z: <https://docplayer.cz/4511121-Prirucka-pro-zacatecniky-zaklady-akustiky.html>

VAN RENTERGHEM, T. a BOTTELDOOREN, D., 2010. The importance of roof shape for road traffic noise shielding in the urban environment. *Journal of Sound and Vibration*. duben 2010. Vol. 329, no. 9, pp. 1422–1434. DOI 10.1016/j.jsv.2009.11.011.

VAN RENTERGHEM, T. a BOTTELDOOREN, D., 2010. The importance of roof shape for road traffic noise shielding in the urban environment. *Journal of Sound and Vibration*. duben 2010. Vol. 329, no. 9, pp. 1422–1434. DOI 10.1016/j.jsv.2009.11.011. Obrázek ve formátu JPG. Dostupné z: <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0022460X09009237-gr2.jpg>



VAN RENTERGHEM, T. a BOTTELDOOREN, D., 2010. The importance of roof shape for road traffic noise shielding in the urban environment. *Journal of Sound and Vibration*. duben 2010. Vol. 329, no. 9, pp. 1422–1434. DOI 10.1016/j.jsv.2009.11.011. Obrázek ve formátu JPG. Dostupné z: <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0022460X09009237-gr5.jpg>

VAN RENTERGHEM, T. a BOTTELDOOREN, D., 2010. The importance of roof shape for road traffic noise shielding in the urban environment. *Journal of Sound and Vibration*. duben 2010. Vol. 329, no. 9, pp. 1422–1434. DOI 10.1016/j.jsv.2009.11.011. Obrázek ve formátu JPG. Dostupné z: <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0022460X09009237-gr9.jpg>

YANG, Wonyoung a JEON, Jin Yong, 2020. Design strategies and elements of building envelope for urban acoustic environment. *Building and Environment*. září 2020. Vol. 182, pp. 107121. DOI 10.1016/j.buildenv.2020.107121.

ZUBALA, Tomasz a SADURSKA, Urszula, 2016. THE USE OF NOISE MAPS AND PLANNING TOOLS IN THE MANAGEMENT OF AN ACOUSTIC CLIMATE IN AN URBAN AREA. *Journal of Ecological Engineering*. 2016. Vol. 17, no. 4, pp. 209–217. DOI 10.12911/22998993/64550.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

°C	stupeň Celsia
BS	Britské národní normy
cca.	asi
č.	číslo
ČR	Česká republika
ČSN	česká technická norma
dB	decibel
EC	Evropská komise
ES	Evropské společenství
EU	Evropská unie
Hz	Hertz
IDS JMK	Integrovaný dopravní systém Jihomoravského kraje
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
Km/h	kilometr za hodinu
L <sub>d</sub>	Hodnota akustického tlaku denní
L <sub>n</sub>	Hodnota akustického tlaku noční
L <sub>v</sub>	Hodnota akustického tlaku večerní
m	metr
MZČR	Ministerstvo zdravotnictví České republiky
N	Nákladní vlak
non-REM	Spánek bez rychlých pohybů očí (hluboký spánek)
Obr.	Obrázek
Os	Osobní vlak
P. Bezruč	Petra Bezruč
R	Rychlík

---

REM	Spánek s rychlými pohyby očí (mělký spánek)
s.o.	státní organizace
s.r.o.	s ručením omezeným
Sb.	sbírky zákonů ČR
SZÚ	Státní zdravotní ústav
SŽ	Správa železnic, s.o.
Tab.	Tabulka
viz.	viděno
WHO	Světová zdravotnická organizace
ZOVZ	Zákon o ochraně veřejného zdraví

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Typy hluku z železniční dopravy, zdroj: (Neubergová, 2011).....	25
Obrázek 2 Zdroje hluku a jejich celkový podíl na hlukových emisích, zdroj: (Neubergová, 2011) .....	26
Obrázek 3 Mechanismus vzniku a šíření hluku při pohybu vlaku, zdroj: (Thompson, Jones a Gautier, 2009) .....	27
Obrázek 4 Sluchové pole člověka, zdroj: (Thehappyv, 2013).....	30
Obrázek 5 Příklad liniového zdroje hluk – železniční doprava v okolí města Přerov, zdroj: (Geoportál MZČR, 2017) .....	31
Obrázek 6 Tvar střech, zdroj: (Van Renterghem, Botteldooren 2010).....	33
Obrázek 7 Akustický tlak podél zastíněné fasády ku celkovému akustickému tlaku u zdroje ve výškách od 0 do 7,5 metru; šedá – těžká vozidla, černá – lehká vozidla, zdroj: (Van Renterghem, Botteldooren 2010).....	34
Obrázek 8 Analýza zvukových paprsků v konfiguracích A1 (a), A3 (b) a A7 (c). Je zobrazena nejkratší jednohranná difrakční dráha (plné čáry) spolu s čistou difrakční dráhou (přerušovaná čára, bez odrazů na fasádě), zdroj: (Van Renterghem, Botteldooren 2010) ..	34
Obrázek 9 Ohyb zvuku, zdroj: (Kaňka, 2023).....	36
Obrázek 10 Rodinný dům ve Vlkoši, zdroj: (OpenStreetMap, 2022) .....	38
Obrázek 11 Rodinný dům v Rohatci-Soboňkách, zdroj: (OpenStreetMap, 2022) .....	39
Obrázek 12 Rodinný dům ve Valticích, zdroj: (OpenStreetMap, 2022) .....	40
Obrázek 13 Pohled na trať, zdroj: vlastní .....	50
Obrázek 14 Dřevěná bariéra a dřevník, zdroj: vlastní .....	51
Obrázek 15 Rozmístění mikrofónů, zdroj: (dBmap.net Noise Mapping Tool, 2023) .....	52
Obrázek 16 Akustická událost a její $L_{Aeq,T}$ , zdroj: (Kurs 2 - Hluk v komunálním prostředí, 2023) .....	53
Obrázek 17 Akustická událost a její $L_{AE}$ , zdroj: (Kurs 2 - Hluk v komunálním prostředí, 2023) .....	53
Obrázek 18 $854 + B_{dtn}^{757}$ , zdroj: (Novotný, 2022).....	68
Obrázek 19 $B_{frdtn}^{754} + 842$ , zdroj: (Novotný, 2022) .....	69
Obrázek 20 Model průjezdu 1, zdroj: (dBmap.net Noise Mapping Tool, 2023).....	69
Obrázek 21 Model průjezdu 2, zdroj: (dBmap.net Noise Mapping Tool, 2023).....	70
Obrázek 22 Model průjezdu 3, zdroj: (dBmap.net Noise Mapping Tool, 2023).....	70
Obrázek 23 Pobytové plochy, zdroj: vlastní .....	72
Obrázek 24 Stávající hluková situace při průjezdu, zdroj: (dBmap.net Noise Mapping Tool, 2023) .....	73
Obrázek 25 Vylepšená hluková bariéra, zdroj: (dBmap.net Noise Mapping Tool, 2023) ..	74

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 Limitní hodnoty hluku v chráněném venkovním prostoru staveb, zdroj: (Pešta a Zwiener, 2019).....	18
Tabulka 2 Komparace odborných zpráv SZÚ 2015-2021, zdroj: (Státní zdravotní ústav, 2023).....	24
Tabulka 3 Hlavní zdroje hluku pro 4 typy souprav, zdroj: (Neubergová, 2011).....	26
Tabulka 4 - Kriteriační matice, zdroj: vlastní.....	42
Tabulka 5 Kriteriační matice s převedenými kritérii, zdroj: vlastní.....	43
Tabulka 6 Normalizovaná kriteriační matice, zdroj: vlastní.....	44
Tabulka 7 Vážený součet a pořadí, zdroj: vlastní.....	44
Tabulka 8 Veličiny, zdroj: vlastní.....	46
Tabulka 9 Přístrojová technika a příslušenství, zdroj: vlastní (viz. Příloha P VI).....	48
Tabulka 10 Mikroklimatické podmínky, zdroj: vlastní.....	48
Tabulka 11 Výsledky měření - mikrofon 2250, zdroj: vlastní.....	54
Tabulka 12 Výsledky měření - mikrofon 2270, zdroj: vlastní.....	54
Tabulka 13 Výsledky měření - mikrofon XL2, zdroj: vlastní.....	54
Tabulka 14 Výsledky měření - mikrofon XL3, zdroj: vlastní.....	55
Tabulka 15 Průměrné hodnoty, zdroj: vlastní.....	55
Tabulka 16 Intenzita dopravy pro rok 2022, zdroj: vlastní.....	55
Tabulka 17 Nejistota měření, zdroj: (Ministerstvo zdravotnictví ČR, 2017).....	57
Tabulka 18 Výsledné hladiny, zdroj: vlastní.....	57
Tabulka 19 Porovnání shody s hygienickým limitem, zdroj: vlastní.....	58
Tabulka 20 Dům s obdélníkovým půdorysem v různých konfiguracích, zdroj: (dBmap.net Noise Mapping Tool, 2023).....	60
Tabulka 21 Dům s půdorysem tvaru L v různých konfiguracích, zdroj: (dBmap.net Noise Mapping Tool, 2023).....	61
Tabulka 22 Dům s půdorysem tvaru U v různých konfiguracích, zdroj: (dBmap.net Noise Mapping Tool, 2023).....	62
Tabulka 23 Dům se čtvercovým půdorysem typu bungalov v různých konfiguracích, zdroj: (dBmap.net Noise Mapping Tool, 2023).....	63
Tabulka 24 Výsledky modelování, zdroj: (dBmap.net Noise Mapping Tool, 2023).....	64
Tabulka 25 Mezní hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku, zdroj: vlastní.....	67
Tabulka 26 Výpočet stínění – naměřené hodnoty, zdroj: vlastní.....	71
Tabulka 27 Výpočet stínění – namodelované hodnoty, zdroj: vlastní.....	71

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: QA FORM DBMAP.NET (dBmap.net Noise Mapping Tool, 2023)

Příloha P II: MIKROFON 2250 (vlastní)

Příloha P III: MIKROFON 2270 (vlastní)

Příloha P IV: MIKROFON XL2 (vlastní)

Příloha P V: MIKROFON XL3 (vlastní)

Příloha P VI: MĚŘICÍ TECHNIKA (vlastní)

Příloha P VII: BOŘÍ LES – PŘÍJEZDY A ODJEZDY VLAKŮ 2022 (ŽelPage, 2023)

Příloha P VIII: VALTICE MĚSTO – PŘÍJEZDY A ODJEZDY VLAKŮ 2022 (ŽelPage, 2023)

Příloha P IX: MATICE MODELOVÁNÍ DOMŮ V RŮZNÝCH KONFIGURACÍCH (dBmap.net Noise Mapping Tool, 2023)

**PŘÍLOHA P I: QA FORM DBMAP.NET (DBMAP.NET NOISE MAPPING TOOL, 2023)**

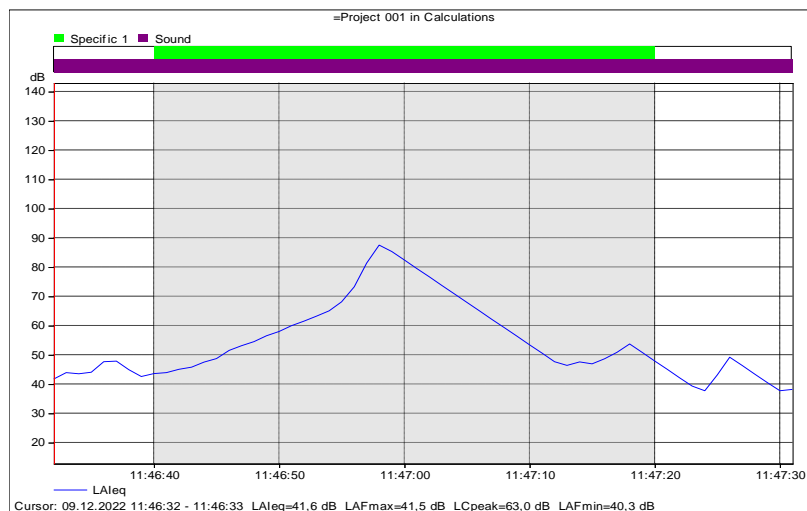
ISO/TR 17534-3:2015(E)

**Table 71 — QA-form on ISO 9613-2:1996 including ISO/TR 17534-3 5.2 to 5.9**

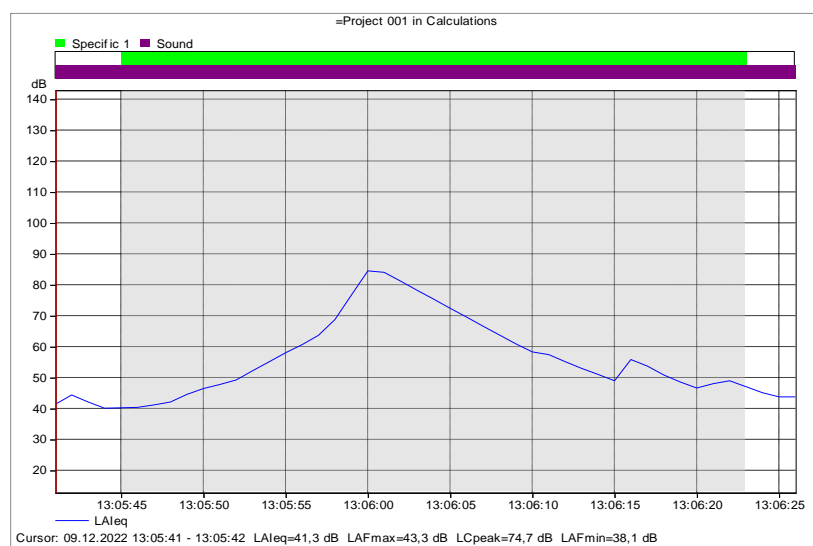
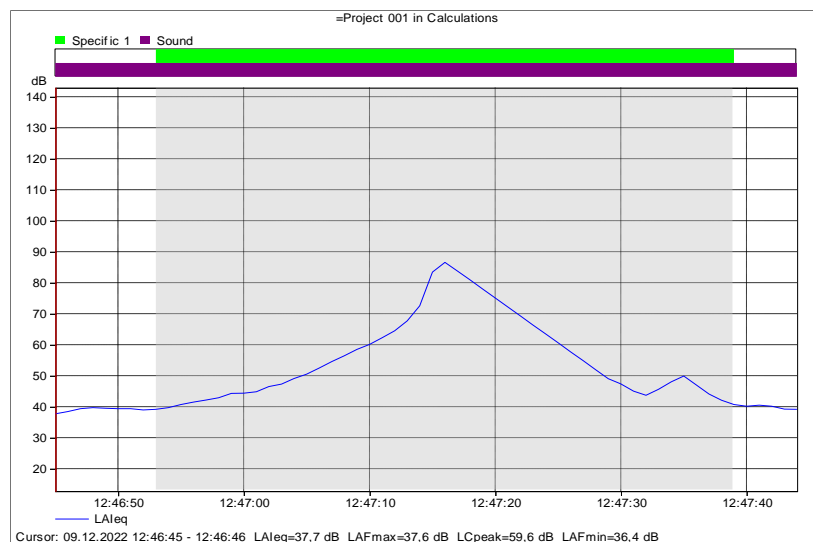
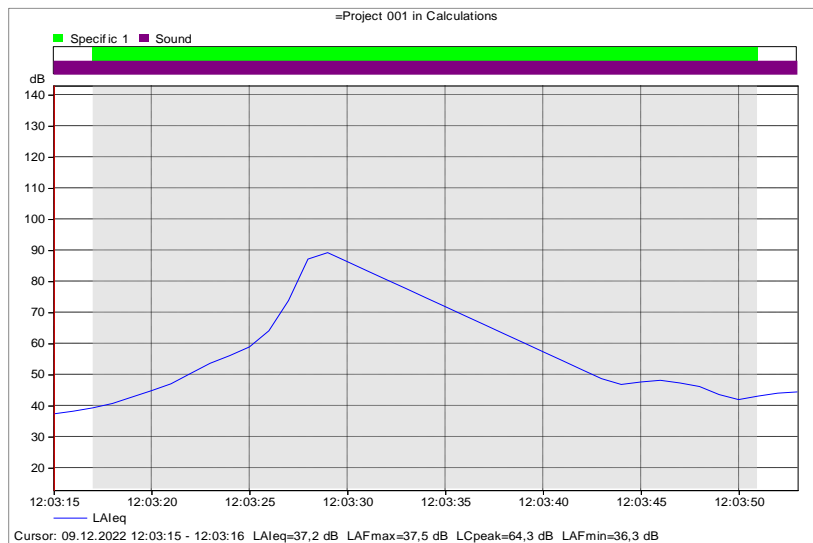
In the reference setting for application of the program, it is possible to calculate	Yes <sup>a</sup>	To a limited degree <sup>a</sup>	No <sup>a</sup>
with			
A-weighted sound pressure levels (reference 500 Hz)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sound pressure levels in octave-bands of 63 Hz to 8 kHz;	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
with			
point sources,	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
line sources,	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
area sources,	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
with automatic subdivision of line and/or area sources under consideration of			
the distance to the receiver,	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
with image sources describing the reflection of sound at walls and other vertical surfaces			
that can be designed pursuant to Figure 8, and	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
that occur at surfaces with dimensions and orientations pursuant to Formula (19),	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
of first order,	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
acc. to 5.9 of ISO/TR 17534-3:2015 with higher order, complete until $n = \dots$ ;	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
with directivity factor for point sources			
depending on an angle,	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
depending on two angles,	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
with selectable reference direction for each source;	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
acc. to Formula (4) for moderate downwind conditions with			
attenuation due to geometrical divergence according to Formula (7),	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
attenuation due to air absorption acc. to Formula (8) and Table 2,	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
attenuation due to air absorption for other conditions acc. to ISO 9613-1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
attenuation due to ground effects in octave-bands according to Formula (9) and Table 3,	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
attenuation due to ground effects for A-weighted sound pressure levels acc. to Formula (10) under consideration of a directivity due to ground reflection according to Formula (11),	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
attenuation caused by screening			
acc. to 5.2 ISO/TR 17534-3:2015	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
acc. to Formula (12) with diffraction over the upper edge of the screen,	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
acc. to 5.5 ISO/TR 17534-3:2015	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
acc. to Formula (13) with diffraction around the vertical edges,	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
with consideration of the special case for application of Formula (13) for large-area industrial premises for determination of the long-term average level in accordance with Note 15,	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

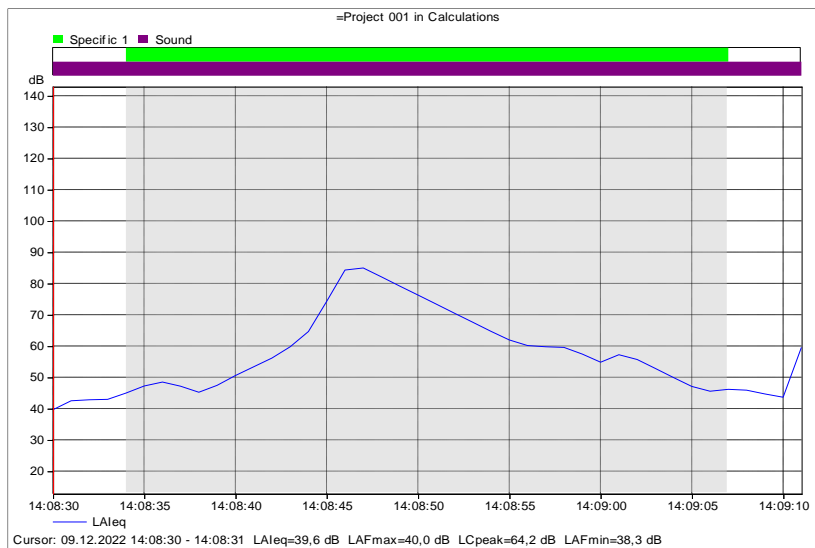
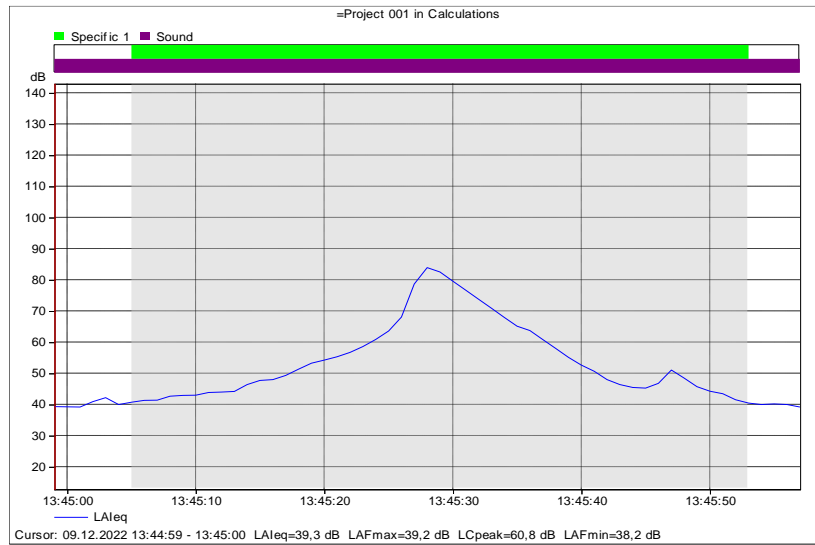
<sup>a</sup> Check as applicable; if necessary mark with an index number and explain on an extra page.

## PŘÍLOHA P II: MIKROFON 2250 (VLASTNÍ)

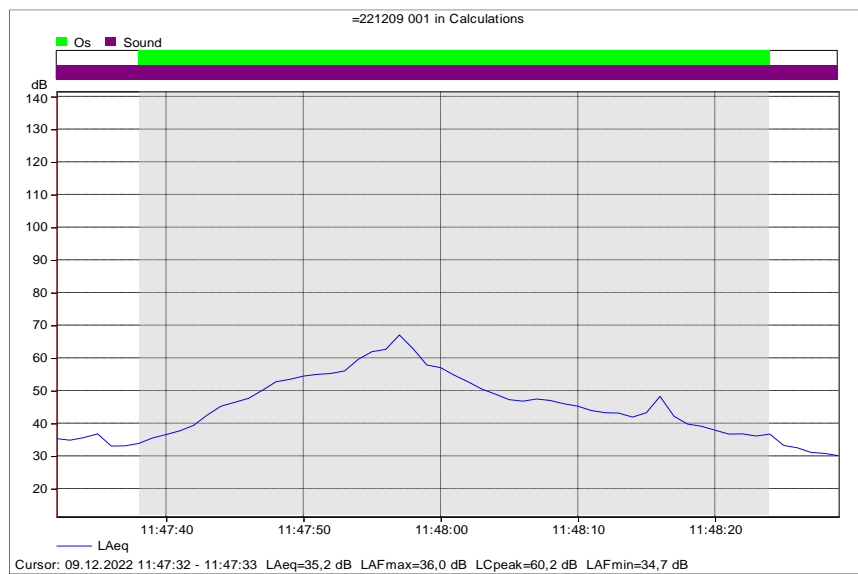


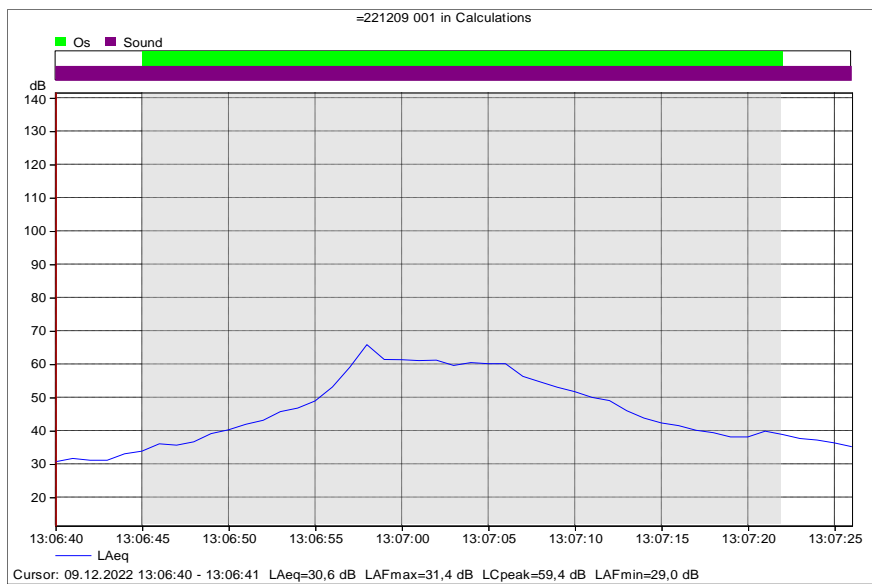
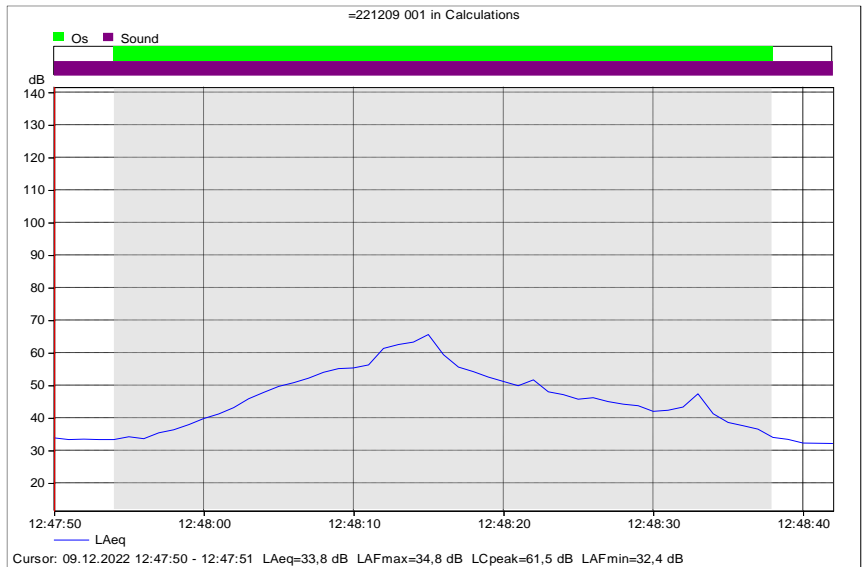
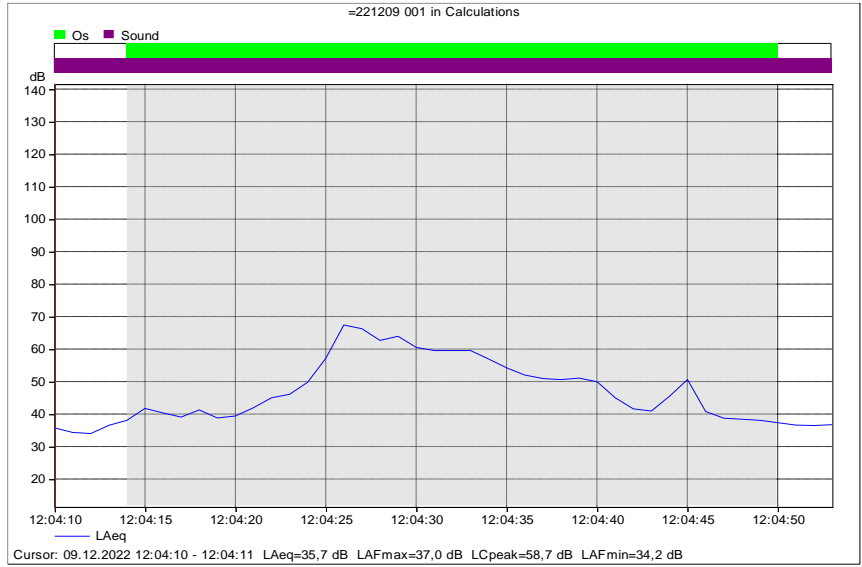


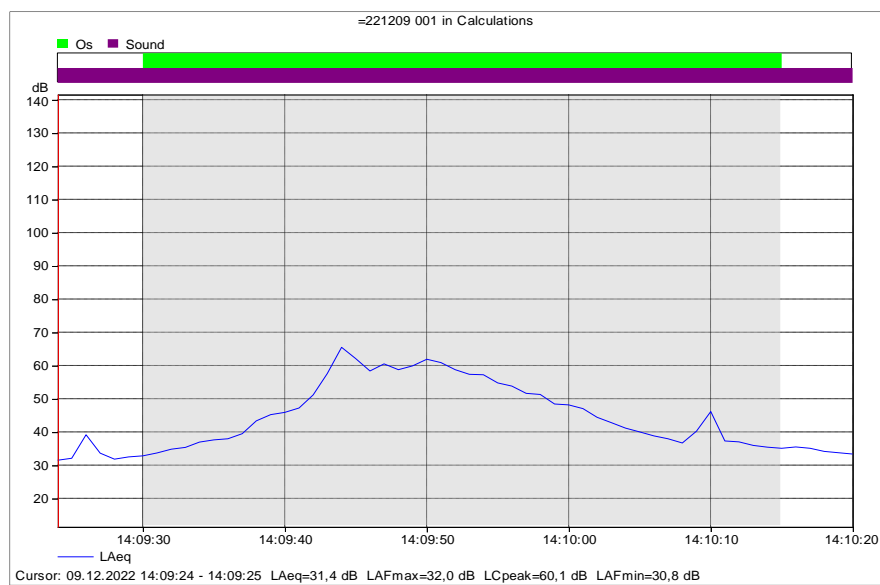
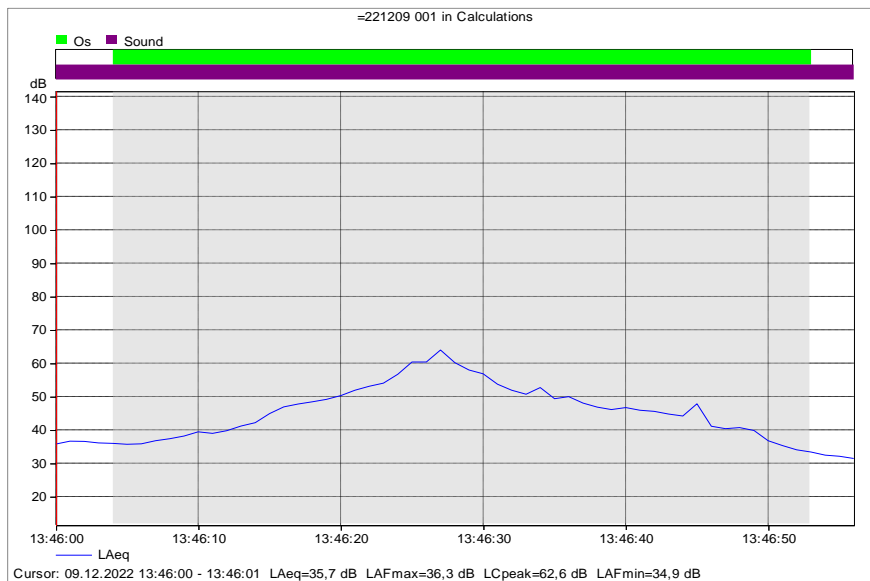




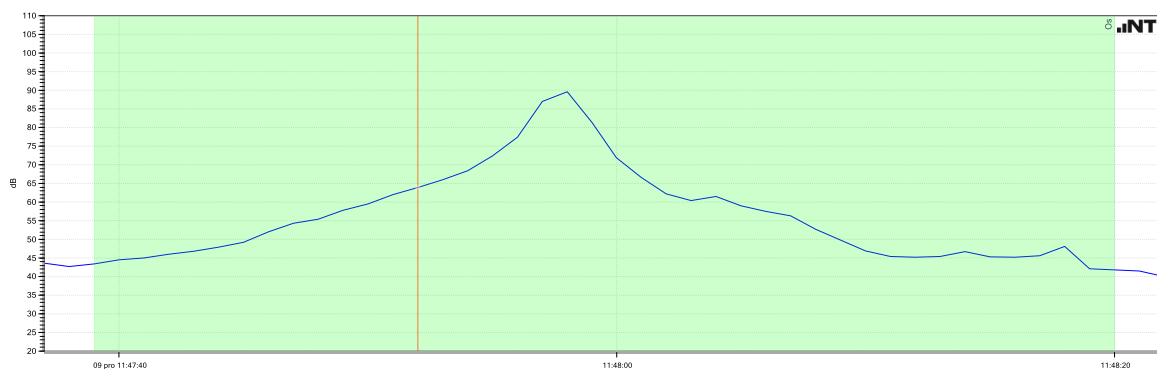
## PŘÍLOHA P III: MIKROFON 2270 (VLASTNÍ)

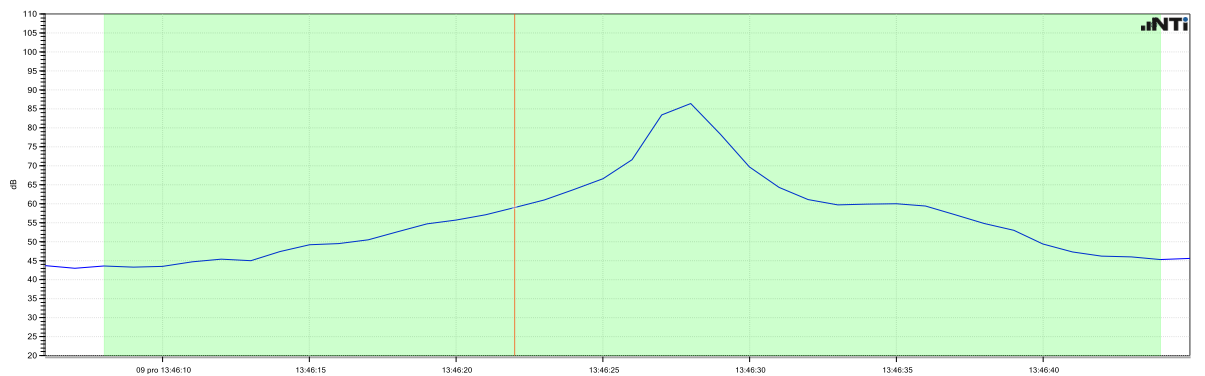
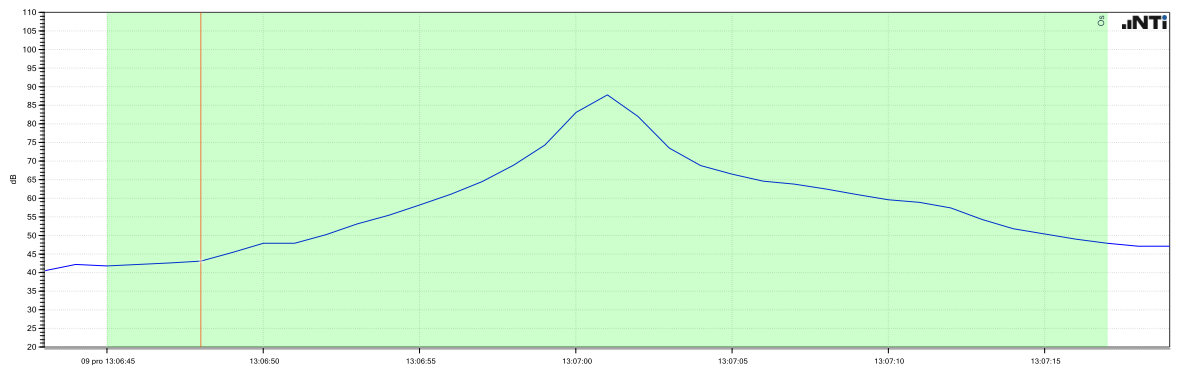
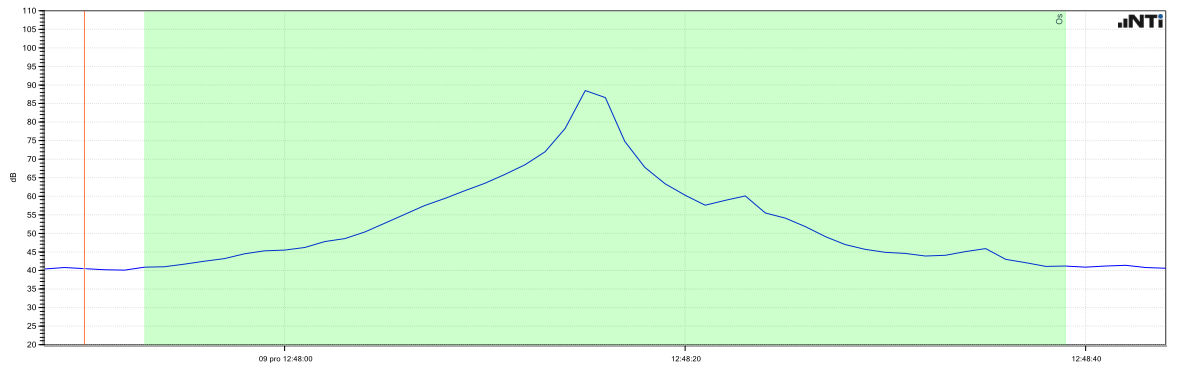
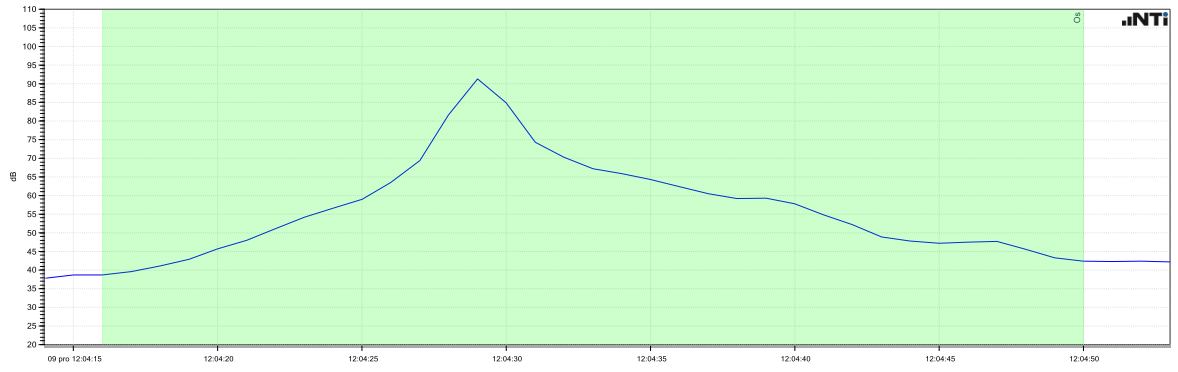


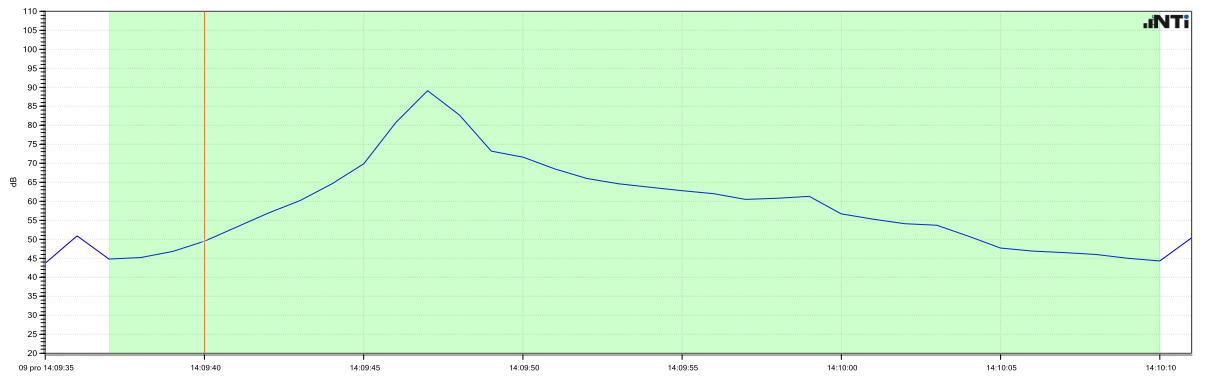




## PŘÍLOHA P IV: MIKROFON XL2 (VLASTNÍ)

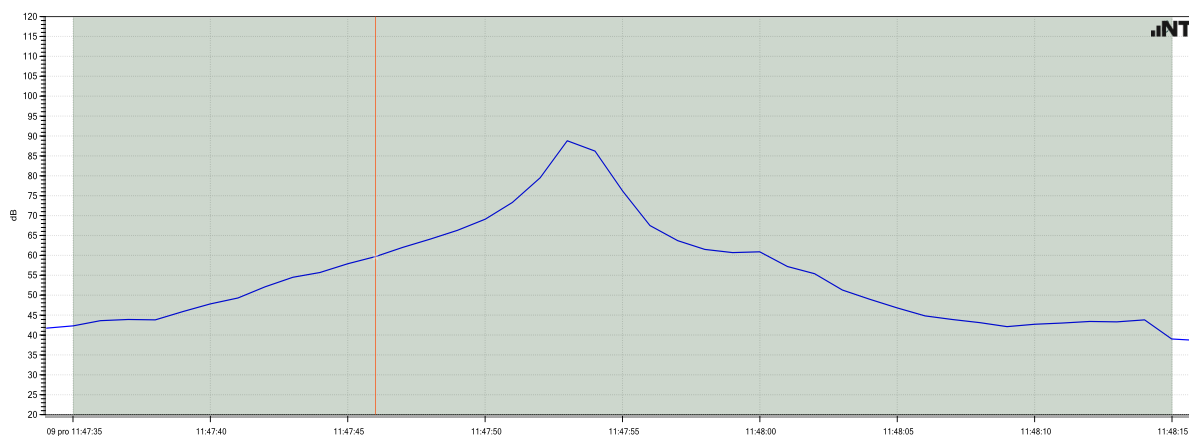


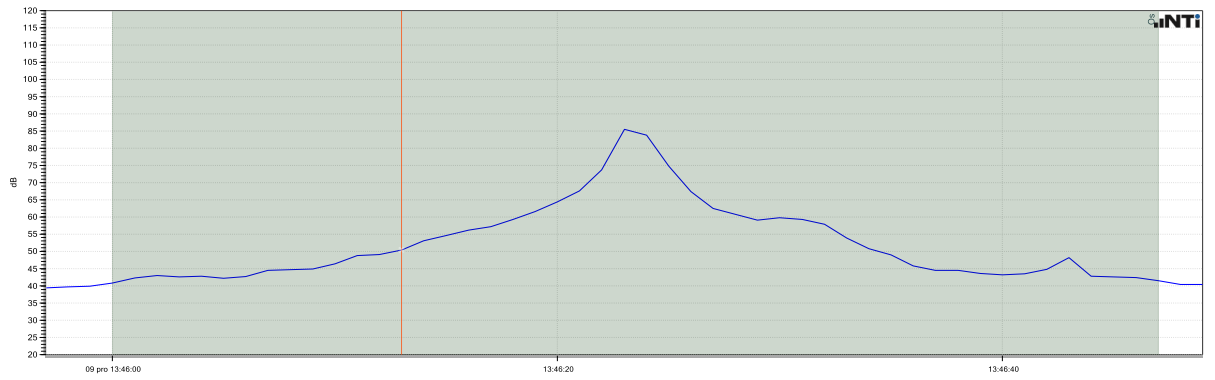
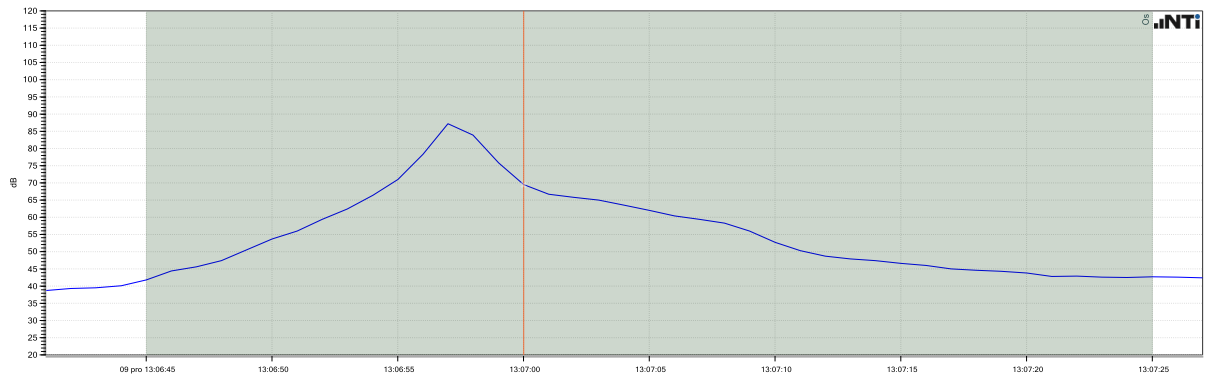
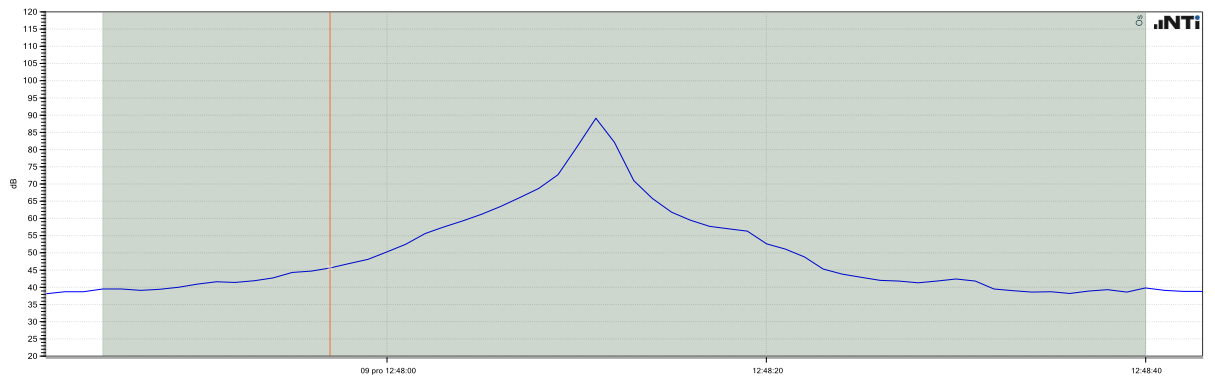
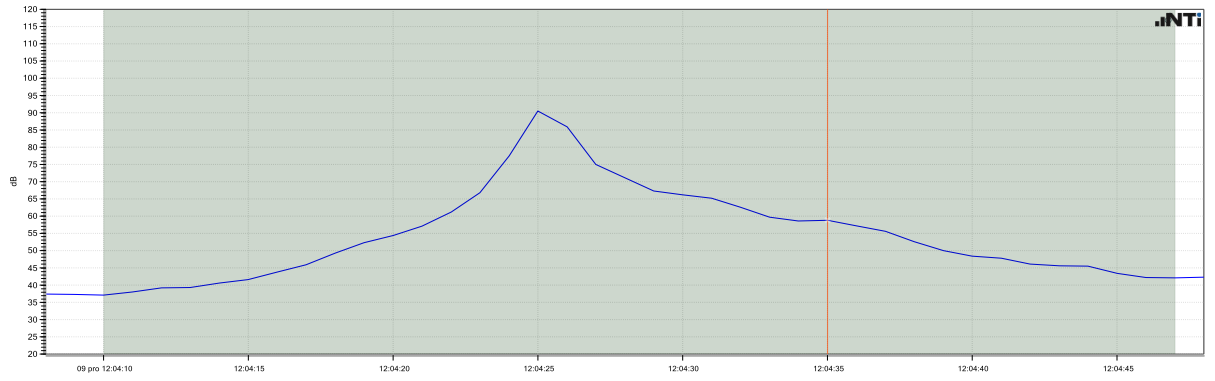


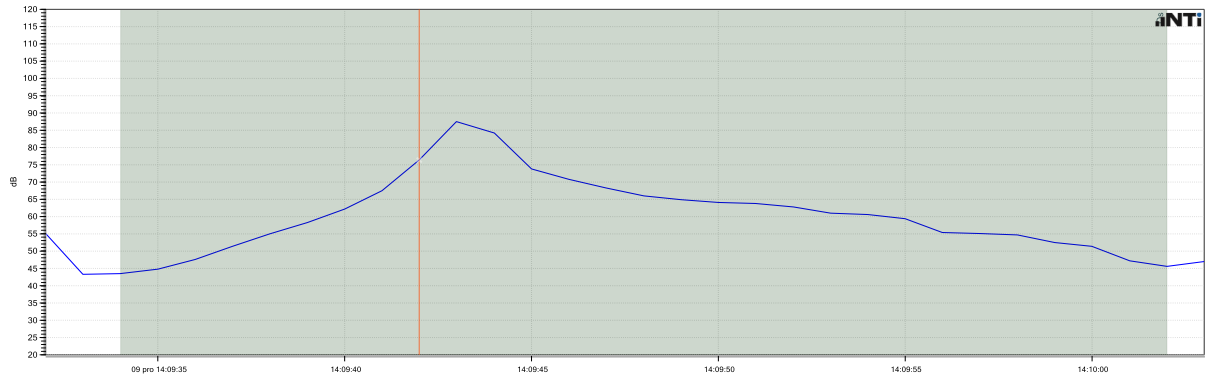




## PŘÍLOHA P V: MIKROFON XL3 (VLASTNÍ)









## PŘÍLOHA P VI: MĚŘICÍ TECHNIKA (VLASTNÍ)





## PŘÍLOHA P VII: BOŘÍ LES – PŘÍJEZDY A ODJEZDY VLAKŮ 2022 (ŽELPAGE, 2023)

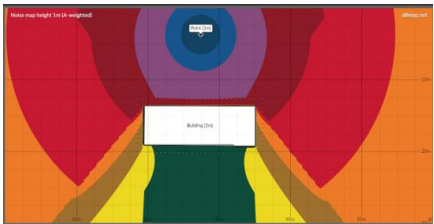
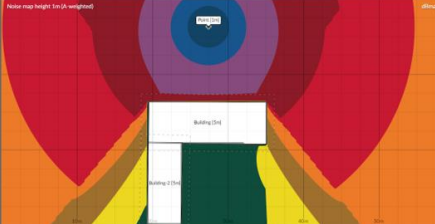
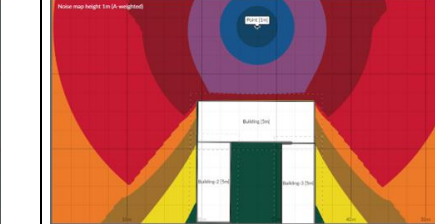
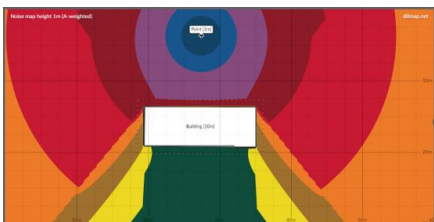
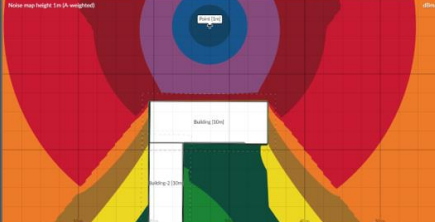
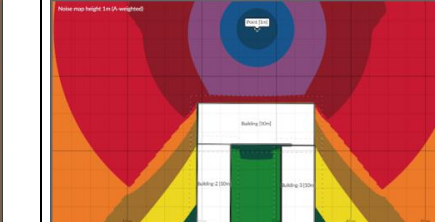

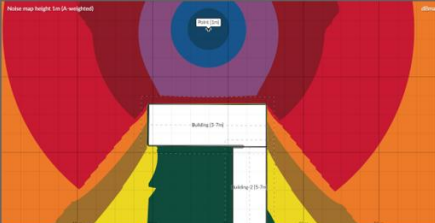
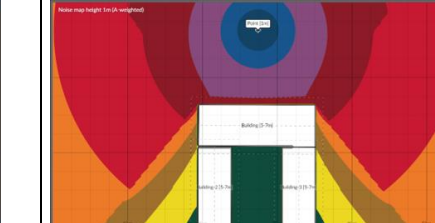

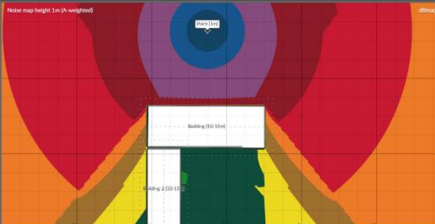
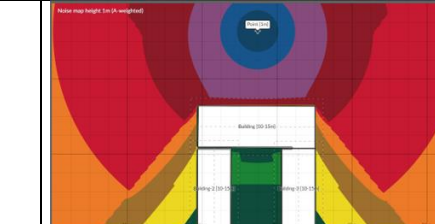
Přij.	Odj.	Linka	Vlak	Z => Do	Nást./Kol.	Poznámky
5.18	5.18	S8	4501	Znojmo (4.08)	Břeclav (5.22)	3 nejede 25.XII.
5.59	6.00	S8	4502	Břeclav (5.56)	Znojmo (7.20)	1 jede v ☒, ⑤ a † 24.XII., 15.IV., 5.VII., 28.IX., 28.X., 17.XI., nejede 25.XII., 1.I., 16.IV., 29.X.
6.20	6.21	S8	4503	Znojmo (4.58)	Břeclav (6.24)	3 jede v ☒, nejede 27. – 31.XII., 4.VII.
6.43	6.44	S8	4504	Břeclav (6.40)	Znojmo (7.56)	1 jede v ☒, nejede 27. – 31.XII., 1.VII. – 31.VIII.
7.43	7.44	S8	4506	Břeclav (7.40)	Znojmo (8.54)	1
8.10	8.11	S8	4507	Znojmo (6.56)	Břeclav (8.14)	1
9.27	9.30		24520	Břeclav (9.23)	Lednice (9.50)	1 jede v ⑤ a † od 30.IV. do 10.IX.
10.40	10.43		24521	Lednice (10.20)	Břeclav (10.47)	1 jede v ⑤ a † od 30.IV. do 10.IX.
11.27	11.30		24522	Břeclav (11.23)	Lednice (11.50)	1 jede v ⑤ a † od 30.IV. do 10.IX.
11.41	11.42	S8	4510	Břeclav (11.38)	Znojmo (12.54)	1
12.08	12.09	S8	4513	Znojmo (10.56)	Břeclav (12.12)	1
12.40	12.43		24523	Lednice (12.20)	Břeclav (12.47)	1 jede v ⑤ a † od 30.IV. do 10.IX.
13.15	13.18		24524	Břeclav (13.11)	Lednice (13.38)	1 jede v ⑤ a † od 30.IV. do 10.IX.
13.39	13.40	S8	4514	Břeclav (13.36)	Znojmo (14.54)	1
14.09	14.10	S8	4517	Znojmo (12.56)	Břeclav (14.13)	1
14.30	14.33		24525	Lednice (14.10)	Břeclav (14.37)	1 jede v ⑤ a † od 30.IV. do 10.IX.
15.15	15.18		24526	Břeclav (15.11)	Lednice (15.38)	1 jede v ⑤ a † od 30.IV. do 10.IX.
15.40	15.40	S8	4518	Břeclav (15.37)	Znojmo (16.54)	1
16.10	16.11	S8	4521	Znojmo (14.56)	Břeclav (16.14)	1
16.30	16.33		24527	Lednice (16.10)	Břeclav (16.38)	1 jede v ⑤ a † od 30.IV. do 10.IX.
17.40	17.40	S8	4522	Břeclav (17.37)	Znojmo (18.54)	1 nejede 24.XII.
18.09	18.10	S8	4525	Znojmo (16.56)	Břeclav (18.13)	1 nejede 24.XII.
19.40	19.40	S8	4526	Břeclav (19.37)	Znojmo (20.54)	1 nejede 24.XII.
20.08	20.08	S8	4529	Znojmo (18.56)	Břeclav (20.12)	3 nejede 24., 25., 31.XII.
21.40	21.40	S8	4528	Břeclav (21.37)	Znojmo (22.54)	1 nejede 24., 25., 31.XII.



## PŘÍLOHA P VIII: VALTICE MĚSTO – PŘÍJEZDY A ODJEZDY VLAKŮ 2022 (ŽELPAGE, 2023)

Přij.	Odj.	Linka	Vlak	Z => Do	Poznámky
0.10	0.10		1726 Znojmo (23.05)		Brno hl.n. (1.24)
5.04	5.05	S8	4500 Břeclav (4.56)		Znojmo (6.22)
5.10	5.11	S8	4501 Znojmo (4.08)		Břeclav (5.22)
6.08	6.08	S8	4502 Břeclav (5.56)		Znojmo (7.20)
6.13	6.13	S8	4503 Znojmo (4.58)		Břeclav (6.24)
6.51	6.52	S8	4504 Břeclav (6.40)		Znojmo (7.56)
7.04	7.05	S8	4505 Znojmo (5.58)		Břeclav (7.14)
7.51	7.51	S8	4506 Břeclav (7.40)		Znojmo (8.54)
8.04	8.04	S8	4507 Znojmo (6.56)		Břeclav (8.14)
8.57	8.58		1749 Brno-Královo Pole (7.37)		Šatov (10.09)
8.58	8.59	S8	4509 Znojmo (7.57)		Břeclav (9.08)
9.47	9.48	S8	4508 Břeclav (9.38)		Znojmo (10.54)
10.01	10.02	S8	4511 Znojmo (8.56)		Břeclav (10.10)
10.59	10.59		1727 Brno hl.n. (9.52)		Znojmo (11.55)
11.49	11.50	S8	4510 Břeclav (11.38)		Znojmo (12.54)
12.00	12.01	S8	4513 Znojmo (10.56)		Břeclav (12.12)
12.48	12.49	S8	4512 Břeclav (12.40)		Znojmo (13.54)
13.00	13.01	S8	4515 Znojmo (11.56)		Břeclav (13.10)
13.47	13.48	S8	4514 Břeclav (13.36)		Znojmo (14.54)
14.02	14.03	S8	4517 Znojmo (12.56)		Břeclav (14.13)
14.48	14.49	S8	4516 Břeclav (14.40)		Znojmo (15.54)
15.00	15.01	S8	4519 Znojmo (13.56)		Břeclav (15.10)
15.47	15.48	S8	4518 Břeclav (15.37)		Znojmo (16.54)
16.03	16.04	S8	4521 Znojmo (14.56)		Břeclav (16.14)
16.39	16.39	S8	4552 Břeclav (16.30)		Mikulov na Moravě (16.50)
16.50	16.51	S8	4520 Břeclav (16.42)		Znojmo (17.54)
17.01	17.02	S8	4523 Znojmo (15.56)		Břeclav (17.11)
17.15	17.15	S8	4553 Mikulov na Moravě (17.05)		Břeclav (17.25)
17.47	17.48	S8	4522 Břeclav (17.37)		Znojmo (18.54)
18.02	18.03	S8	4525 Znojmo (16.56)		Břeclav (18.13)
18.48	18.49	S8	4524 Břeclav (18.40)		Znojmo (19.54)
18.54	18.55		1750 Šatov (17.40)		Brno-Královo Pole (20.20)
19.00	19.01	S8	4527 Znojmo (17.56)		Břeclav (19.10)
19.47	19.48	S8	4526 Břeclav (19.37)		Znojmo (20.54)
20.00	20.01	S8	4529 Znojmo (18.56)		Břeclav (20.12)
20.50	20.51	S8	4554 Břeclav (20.40)		Mikulov na Moravě (21.04)
21.47	21.48	S8	4528 Břeclav (21.37)		Znojmo (22.54)
22.02	22.02	S8	4555 Mikulov na Moravě (21.49)		Břeclav (22.13)

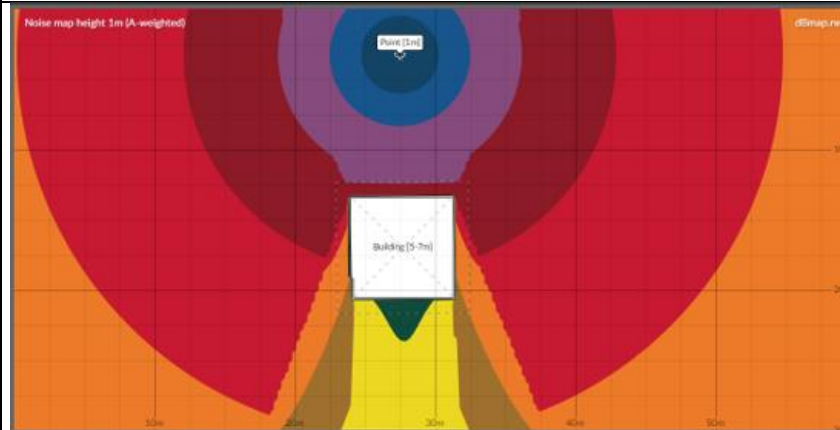
# PŘÍLOHA P IX: MATICE MODELOVÁNÍ DOMŮ V RŮZNÝCH KONFIGURACÍCH (DBMAP.NET NOISE MAPPING TOOL, 2023)

	Dům s obdélníkovým půdorysem	Dům s půdorysem ve tvaru písmene L	Dům s půdorysem ve tvaru písmene U
Rovná střecha 5 metrů			
Rovná střecha 10 metrů			
Sedlová střecha 5-7 metrů			
Sedlová střecha 10-15 metrů			



Dům se čtvercovým půdorysem typu bungalov

Střecha typu bugalov 5-7 metrů



Střecha typu bungalov 10-15 metrů

