



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Katedra železničních staveb

**Analýza účinnosti městské protihlukové clony v lokalitě
Praha Hloubětín**

**Analysis of the effectiveness of the city noise barrier in
Prague Hloubětín**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

David Pohořalý

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Inženýrství životního prostředí

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

Praha, 2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Pohofalý	Jméno: David	Osobní číslo: 477199
Zadávací katedra: Katedra železničních staveb		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Inženýrství životního prostředí		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Analýza účinnosti městské protihlukové clony v lokalitě Praha Hloubětín	
Název bakalářské práce anglicky: Analysis of the effectiveness of the city noise barrier in Prague Hloubětín	
Pokyny pro vypracování: Cílem práce bude provést analýzu vývoje účinnosti městské protihlukové clony (MPHC) umístěné u tramvajové trati v mezizastávkovém prostoru Vozovna Hloubětín - Nový Hloubětín po 4 letech od její výstavby. Ve stanoveném úseku tramvajové trati budou zjišťovány akustické hladiny přímým měření v terénu ve vybraných bodech. V rámci postprocessingu bude provedena analýza naměřených dat a bude provedeno porovnání s poskytnutými daty z předchozích měření. V rámci teoretické rešeršní části práce bude podrobně popsána metodika měření a hodnocení akustických dat získaných z měření v terénu z provozu kolejové dopravy. Dále bude provedena rešerše na téma: "Nízké protihlukové clony a jejich uplatnění v kolejové dopravě".	
Seznam doporučené literatury: Věstník MZČR - částka 11 - Metodický návod pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí, 2017 ČSN EN ISO 3095 Akustika - Železniční aplikace - Měření hluku vyzařovaného kolejovými vozidly (2014) Nový R.: Hluk a chvění, 4. přepracované vydání, ČVUT nakladatelství, ISBN 978-80-01-06554-9 (2019) Kotzen B.: Environmental Noise Barriers: A Guide To Their Acoustic and Visual Design, 2nd Edition, CRC Press, ISBN 9780367865221 (2009)	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Bc. Lenka Lomoz, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 16.2.2022	Termín odevzdání BP v IS KOS: 15.5.2022 <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

17.2.2022

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

PODROBNÉ ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Bakalář: David Pohořalý

Analýza účinnosti městské protihlukové clony v lokalitě Praha Hloubětín

Upřesňující pokyny pro zpracování bakalářské práce:

Rešeršní (teoretická) část

- Uveďte obecný přehled teorie související s tématem BP (zvuk, hluk, akustické hladiny apod.).
- Provedte rešerši nízkých protihlukových clon – zaměřte se na clony užívané v kolejové dopravě (u železniční a tramvajové infrastruktury) v ČR a zahraničí, na materiálové složení, jejich akustické vlastnosti a jejich vhodnost umístění.
- Popište dvě základní metodiky měření hluku s použitím zvukoměru se zaměřením na pohybující kolejovou dopravou a hodnocení získaných akustických dat. Zdůrazněte rozdíly.

Praktická část

- Na základě místního šetření v terénu popište lokalitu měření a umístění městské protihlukové clony (MPHC).
- Seznamte se s poskytnutými akustickými daty Katedrou železničních staveb získaných přímým měřením v terénu po výstavbě MPHC.
- Na základě toho provedte srovnávací akustická měření ve vybraných měřicích bodech v okolí MPHC.
- Provedte podrobnou analýzu akustických dat poskytnutých Katedrou železničních staveb a osobně naměřených dat v terénu.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Analýza účinnosti městské protihlukové clony v Praze Hloubětín** zpracoval samostatně za použití uvedené literatury a pramenů.

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

V Praze dne 16.5. 2022

David Pohořalý

Poděkování

Děkuji Ing. Lence Lomoz Ph.D. za její odborné vedení a užitečné rady při zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Janu Eisenreichovi, statutárnímu řediteli BRENS EUROPE, za poskytnutá data a informace. Na závěr děkuji pracovníkům Katedry železničních staveb, Fakulty stavební ČVUT v Praze za pomoc při vypracovávání bakalářské práce.

Anotace

Bakalářská práce se věnuje problematice nízkých protihlukových clon včetně uvedení do problematiky hluku z kolejové dopravy. Dále jsou zde probrány metodiky měření hluku pomocí zvukoměru. Praktická část je zaměřena na analýzu účinnosti městské protihlukové clony v lokalitě Praha Hloubětín. Obsahuje také postup vlastního měření včetně výsledků a popisu území.

Klíčová slova:

Ekvivalentní hladina akustického tlaku A , $L_{aeq,T}$, hladina expozice zvuku A , L_{AE} , valivý hluk, nízké protihlukové clony, měření hluku, městská protihluková clona, třetinooktávové frekvenční spektrum.

Summary

The bachelor thesis deals with the issue of low noise barriers, including the introduction of noise from rail transport. Furthermore, the methodologies of noise measurement using a sound level meter are discussed here. The practical part is focused on the analysis of the effectiveness of the municipal noise absorbing screen in the locality of Prague Hloubětín. It also contains the procedure of self - measurement, including results and description of the area.

Key words:

Equivalent A – weighted sound pressure levels $L_{Aeq,T}$, Equivalent A – weighted sound exposure level L_{AE} , rolling noise, low height noise barrier, noise measurement, one – third octave bands.

Obsah

ÚVOD	6
1. TEORETICKÁ CHARAKTERISTIKA HLUKU.....	8
1.1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY HLUKU	8
1.1.1. Akustické vlnění	8
1.1.2. Základní akustické veličiny	9
1.2. VLIV HLUKU NA ČLOVĚKA.....	14
1.2.1. Hluk jako zdroj znečištění	14
1.2.2. Negativní vlivy na člověka	14
2. DOPRAVNÍ HLUK	17
2.1. ZROJE HLUKU Z KOLEJOVÉ DOPRAVY	17
2.2. MOŽNOSTI ELIMINACE HLUKU Z KOLEJOVÉ DOPRAVY	18
2.2.1. Aktivní protihluková opatření	19
2.2.2. Pasivní protihluková opatření	20
3. NÍZKÉ PROTIHLUKOVÉ CLONY	22
3.1. TECHNICKÁ SPECIFIKACE	22
3.2. NÍZKÉ PROTIHLUKOVÉ CLONY V ČR A JEJICH APLIKACE	24
3.2.1. BRENS EUROPE	24
3.2.2. ŽPSV - Silent	25
3.2.3. Sklopná clona Soundim rail	25
3.2.4. BRENS BARRIER	26
3.2.5. Městská protihluková clona	30
3.2.6. Materiálové řešení	31
3.2.7. Technické parametry	32
3.2.8. Aplikace MPHIC - Modřany	33
3.3. NÍZKÉ PROTIHLUKOVÉ CLONY VE SVĚTĚ	34
3.3.1. ZBLOC.....	34
3.3.2. FERRONDO SILENZIO FORTE	35
3.3.3. ART ASAMER	35
3.3.4. NPC ve Francii.....	36
4. MĚŘENÍ HLUKU.....	38
4.1. HYGIENICKÉ MĚŘENÍ HLUKU	38
4.2. METODIKA HYGIENICKÉHO MĚŘENÍ HLUKU	39

4.2.1.	<i>Měřicí systém</i>	39
4.2.2.	<i>Strategie měření</i>	39
4.2.3.	<i>Postup měření</i>	40
4.2.4.	<i>Umístění mikrofonu</i>	40
4.2.5.	<i>Akustické údaje</i>	41
4.2.6.	<i>Neakustické údaje</i>	44
4.2.7.	<i>Nejistoty měření</i>	45
4.3.	TECHNICKÉ MĚŘENÍ HLUKU	47
4.3.1.	METODIKA TECHNICKÉHO MĚŘENÍ HLUKU	48
4.4.	HLAVNÍ ROZDÍLY HYGIENICKÉHO A TECHNICKÉHO MĚŘENÍ	52
5.	ANALÝZA ÚČINNOSTI MĚSTKÉ PROTIHLUKOVÉ CLONY – PRAHA	
	HLOUBĚTÍN	54
5.1.	POPIS ZKUŠEBNÍHO ÚSEKU MPHČ	54
5.1.2.	POPIS TRAMVAJOVÉ TRATI	57
5.2.	POPIS AKUSTICKÉHO MĚŘENÍ	58
5.3.	VÝSLEDKY MĚŘENÍ.....	65
5.4.	POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ	69
6.	ZÁVĚR	74
7.	LITERATURA	75
8.	OBRÁZKY	81
9.	TABULKY	83

ÚVOD

Doprava je v dnešní době nedílnou součástí lidského života. Probíhá nepřetržitě po celém světě a pomáhá nám k přepravě lidí a věcí na libovolnou vzdálenost. I přes neoddiskutovatelný technologický pokrok doprava neustále negativně ovlivňuje životní prostředí. Ať už se jedná o dopravu leteckou, silniční, vodní nebo kolejovou, všechny druhy produkují škodlivé emise. Mezi základní typy emisí se řadí uvolňování výfukových plynů, oxidů uhlíku a síry, popílku a dalších škodlivých látek do ovzduší včetně energetické znečištění. Doprava patří mezi nejvýznamnější zdroje hluku, která ve velké míře negativně ovlivňuje své okolí hlukovou zátěží.

Poslední dobou jsou kladeny, čím dal tím větší nároky na ochranu zdraví a životního prostředí. Hluková zátěž negativně ovlivňuje lidský život, dlouhodobé vystavení nadměrné hlukové zátěži může způsobit zdravotní komplikace, z toho důvodu je snaha se v co největší míře chránit před hlukem.

V roce 2002 byla vydána Směrnice Evropského parlamentu a rady 2002/49/ES [1] o hodnocení a řízení hluku ve venkovním prostředí, která si klade za cíl poskytnout základ pro boj se škodlivými účinky expozice hluku ve venkovním prostředí na území EU. Mimo jiné směrnice stanovuje společné indikátory, podle kterých se měří dlouhodobá expozice lidí hluku během dne a v noci. Dále zavázala členské státy EU vypracovat strategické hlukové mapy pro dopravní trasy s vysokou dopravní intenzitou a pro města s více než 250 000 obyvateli, které sloužily jako základ pro akční plány k snižování hluku. [1]

Výsledky mapování ukazují, že přibližně 40% populace žijící v zemích EU je vystavováno dopravnímu hluku přesahující hodnoty 55 dB, dále 20 % je během denní doby zasaženo hodnotami 65 dB, což je hodnota, která při dlouhodobém působení může způsobit zdravotní potíže. V noční době je více než 30 % vystavováno hodnotám přesahující hranici 55 dB. [2]

V České republice je počet osob, které žijí v hluku přesahující hygienické limity, odhadnut na 400 tisíc až půl milionu. Z mapování je prokázáno, že 95 % hluku přesahující hygienické limity má původ ze silniční dopravy, necelých 5 % je dále tvořeno železniční dopravou. Z toho důvodu dochází ke zkoušení nových

možností protihlukových opatření, zejména opatření aplikovatelná ve městech. [3]

Cílem této práce je analyzovat vývoj účinnosti městské protihlukové clony (dále MPHČ) v lokalitě Praha Hloubětín, umístěné v mezi zastávkovém prostoru Vozovna Hloubětín – Nový Hloubětín. Na daném úseku bylo provedeno měření pracovníky Katedry železničních staveb, Fakulty stavební ČVUT v Praze v roce 2019. V rámci práce bude provedeno další měření a následně budou porovnána naměřená data a vyvozeny výsledky z analýzy vývoje účinnosti MPHČ.

Součástí práce budou popsány metodiky měření a hodnocení akustických dat získaných z měření v terénu z provozu kolejové dopravy na území České republiky dle podrobného zadání. Práce bude obsahovat i rešeršní část na téma: „Nízké protihlukové clony a jejich uplatnění v kolejové dopravě“.

1. TEORETICKÁ CHARAKTERISTIKA HLUKU

Pro pochopení hlukové problematiky je nutné se nejdříve seznámit se zvukem, protože hluk nelze přesně fyzikálně definovat, pouze určit na základě subjektivního pocitu. Pod pojmem hluk se rozumí každý nežádoucí zvuk, který různým způsobem narušuje komfort člověka. Může se jednat o zvuk rušivý, nechtěný nebo moc hlasitý. Každý člověk má odlišné preference a citlivost sluchového orgánu. Někomu může daný zvuk připadat jako rušivý nebo moc hlasitý a může ho považovat za hluk, pro někoho je zase daný zvuk příjemný a nepovažuje ho za hluk. [4] [5]

1.1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY HLUKU

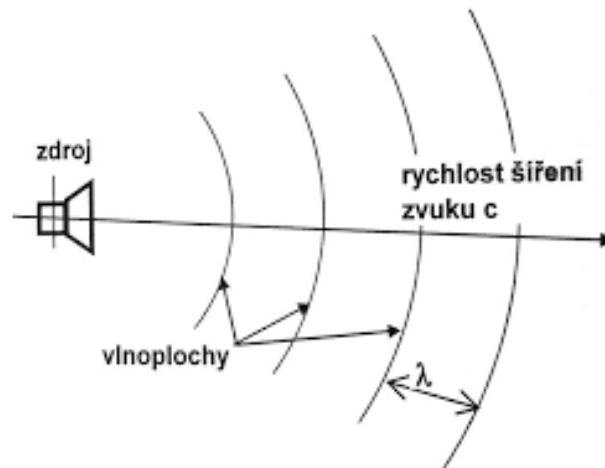
V akustice se zvuk dělí do třech základních pásem: infrazvuk, slyšitelné pásmo a ultrazvuk. Tato pásma se dělí podle frekvenčního rozsahu. Infrazvuk je charakterizován do 16 Hz. Slyšitelné pásmo u zdravého člověka je v rozmezí od 16 do 20 000 Hz a ultra zvuk střední frekvencí nad 20 Hz. Tato práce se budu výhradně zabývat kmitočtovému rozsahu lidského sluchu. [4] [5]

1.1.1. Akustické vlnění

Zvuk lze definovat jako mechanické kmitání a jím tvořené mechanické vlnění, které je spojeno s přenosem energie. Lidský sluchový orgán je schopen přijímat vzniklé vlnění a následně v mozku přeměnit na zvukový vjem.

Na obrázku 1.1 je znázorněno šíření zvuku ve volném prostředí, vlnění postupuje od zdroje ve vlnoplochách. Vlnoplocha je charakteristická tím, že každý bod na konkrétní vlnoploše kmitá ve stejné fázi. Směr postupu vlnění určuje kolmice na vlnoplochu, která vychází ze zdroje a nazývá se akustický paprsek. [4] [5]

Zvuk se může šířit v kapalinách, plynech, ale i v pevných látkách. V kapalinách a plynech se jedná o podélné vlnění z důvodu jejich objemové roztažnosti, naopak v pevných látkách a elastických materiálech může docházet i k příčnému vlnění z důvodu pružnosti ve smyku. *“Důležitou skutečností je, že se částice jednosměrně nepohybují se šířícím se vlněním, nýbrž kmitají pouze kolem svých rovnovážných poloh.”* [4] [6]



Obrázek 1.1: Šíření zvuku od zdroje ve formě vlnoploch [4]

1.1.2. Základní akustické veličiny

Rychlost vlnění

Obecně rychlost šíření akustické vlny je rozdílná v závislosti na daném prostředí, např. rychlost v pevné látce lze považovat za nejvyšší, naopak v plynné látce za nejnižší. Při určení rychlosti šíření v plynech se vychází z předpokladu, že změny okamžitého akustického tlaku jsou velmi rychlé a stavovou změnu lze považovat za adiabatickou. Potom lze rychlost vlnění vyvodit z následujícího vztahu:

$$c = \sqrt{\kappa * \frac{p_b}{\rho}}, \quad (1.10)$$

kde je κ [-] Poissonova konstanta,

p_b [Pa] barometrický tlak,

ρ [kg/m³] hustota.

Dále lze vzorec upravit dosazením ze stavové rovnice za hustotu vzduchu na tvar:

$$c = 331,6 * \sqrt{1 + \frac{t}{273,1}}, \quad (1.11)$$

kde je t [°C] teplota vzduchu.

Z rovnice vyplývá, že rychlost šíření akustické vlny ve vzduchu je závislé pouze na teplotě vzduchu. [4] [5] Pro lepší přehlednost jsou v následující tabulce 1.1 uvedeny rychlosti šíření zvuku v základních materiálech, kromě rychlosti je uvedena i hustota ρ a měrný vlnový odpor prostředí Z .

Tabulka 1.1: Rychlost šíření podélných vln v různých látkách [4]

materiál	ρ [kg/m ³]	c_L [m/s]	Z [Ns/m ³]
Vzduch 20 °C	1,21	344	4,14.10 ²
Voda 13 °C	1000	1440	5,12.10 ²
Přez měkká	900	70	6,3.10 ⁴
Přez tvrdá	1100	1400	1,5.10 ⁶
Korek	250	500	1,3.10 ⁵
Dřevo bukové	650	3900	2,5.10 ⁶
Hliník	2700	4800	1,3.10 ⁷
Ocel	7850	5750	4,5.10 ⁷
Olovo	11400	1410	1,6.10 ⁷
Pórobeton	900	1800	1,6.10 ⁶
Azbestocement	1950	3040	5,9.10 ⁶
Beton	2300	3100	7,1.10 ⁶
Cihly	2000	2800	5,6.10 ⁶
Sádra	1050	2040	2,1.10 ⁶
Sklo	2700	5270	1,4.10 ⁷
Překlička	700	3645	2,6.10 ⁶
Sololit	1000	2170	2,2.10 ⁶
Polystyrén	13	315	4,1.10 ³
Novodur	1450	850	4,8.10 ⁵
Silon	1150	1250	1,44.10 ⁶
Plexisklo	1200	1580	1,9.10 ⁶
Epoxy 2000	1200	1700	2,0.10 ⁶

Frekvence

Frekvence neboli kmitočet f [Hz] je určena počtem kmitů hmotných bodů prostředí za sekundu, kterým zvuková vlna prochází. Doba, za kterou hmotný bod urazí úplný cyklus jednoho kmitu, se nazývá perioda T [s]. [4] [5]

Frekvence je vyjádřena jednoduchým vztahem:

$$f = \frac{1}{T}. \quad (1.12)$$

Frekvence zvuku je člověkem vnímána s rozdílnou citlivostí. Při vnímání dochází ke zkreslení, proto se zavádí váhové filtry A, B a C. Filtry slouží k frekvenční úpravě akustického signálu, aby jeho charakter odpovídal tomu, jak je člověkem vnímán. Při měření hluku z kolejové dopravy je nejčastěji využíván váhový filtr A, který je inverzní ke křivce stejné hlasitosti při hladinách 40 dB. [60] [61]

Vlnová délka

Vlnová délka je délka mezi dvěma nejbližšími body, u kterých je v daný čas stejný akustický tlak. Další definice vlnovou délku charakterizuje jako vzdálenost, kterou vlna urazí za jednu periodu T . [4] [5]

Akustický tlak

Při postupu vlny lze najít místa, kde dochází ke shluku kmitajících bodů, a naopak najít místa, kde je menší hustota bodů. V plynech to má za následek, že se zde nacházejí místa přetlaku a podtlaku. Tato místa mají na svědomí změny celkového statického tlaku vzduchu. [4] [5]

Celkový statický tlak je dán součtem středního barometrického tlaku p_b , který nabývá hodnot okolo 100 000 Pa a tlaku akustického p . Celkový statický tlak je tlakem akustickým ovlivněn pouze nepatrně, protože hodnoty akustického tlaku p jsou daleko menší.

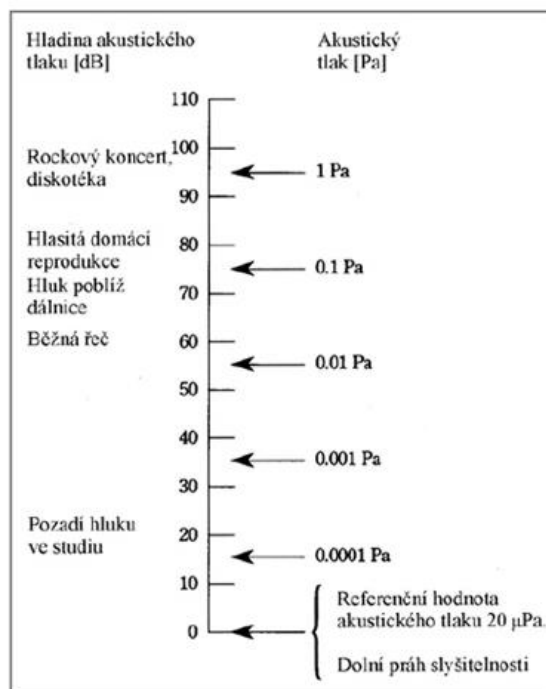
Člověk s neporušeným prahem slyšení dokáže vnímat i tlaky daleko nižší. Konkrétně od hodnot $2 \cdot 10^{-5}$ [Pa], z toho vyplývá, že vyjadřování hodnot akustického tlaku [Pa] by bylo velmi nepřehledné, proto byla definována **hladina akustického tlaku L_p** [dB], která je definována vztahem:

$$L_p = 20 * \log \frac{p}{p_0}, \quad (1.13)$$

kde je p [Pa] sledovaný akustický tlak,

p_0 [Pa] referenční akustický tlak.

Hladina akustického tlaku má referenční hodnotu akustického tlaku $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ [Pa], čemuž odpovídá hodnota 0 dB. Tato hodnota se obvykle v čase mění a je subjektivně vnímána jako změna hlasitosti nebo „síly“ zvuku. Na obrázku 1.2 je zobrazen diagram, který znázorňuje běžné zdroje hluku s vyjádřeným akustickým tlakem p [Pa], resp. hladinu akustického tlaku L_p [dB]. [4]



Obrázek 1.2: Diagram hladiny akustického tlaku [7]

Proměnný hluk je definován jako změna hladiny akustického tlaku o více než 5 dB na daném místě během sledovaného intervalu. Naopak u ustáleného hluku hladina akustického tlaku se v daném místě nemění v závislosti na čase o více než 5 dB.

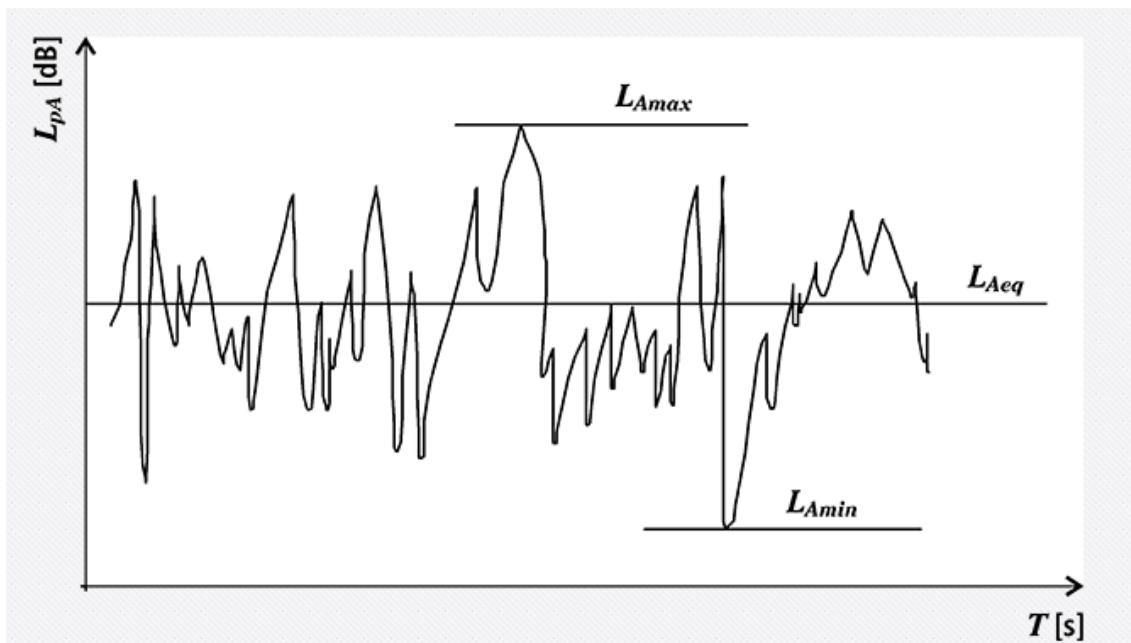
Protože hladina akustické tlaku se mění v čase, tak se při měření proměnného hluku obecně využívá **ekvivalentní hladina akustického tlaku A**, $L_{Aeq,T}$.

Ekvivalentní hladina akustického tlaku A je fiktivní ustálená hladina akustického tlaku A, která má stejné účinky na člověka během sledovaného časového úseku T, jako proměnlivá hladina akustického tlaku A za stejný čas. [4] Na obrázku 1.3 je časový průběh hladiny akustického tlaku s vyznačenou ekvivalentní hladinou tlaku A, L_{Aeq} . [4]

Ekvivalentní hladina akustické tlaku A je definovaná následujícím vztahem:

$$L_{Aeq,T} = 10 * \log \left(\frac{1}{T} * \sum_{i=1}^n 10^{0,1 * L_{pAi}} * \tau_i \right), \quad (1.13)$$

- kde je L_{pAi} střední hladina akustického tlaku i-tého intervalu,
 T časový interval,
 τ doba výskytu hladiny akustického tlaku.



Obrázek 1.3: Časový průběh hladiny akustického tlaku [30]

Při posuzování akustické situace, která je tvořena jednotlivými událostmi, např. průjezd vlaků a tramvají, se využívá **hladina expozice zvuku A**, L_{AE} . Tato hladina vyjadřuje celkovou energii jednotlivé akustické události vztažené k 1 s a je určena vztahem 1.14:

$$L_{AE} = 10 * \log \frac{1}{\tau_0} * \int_{\tau_1}^{\tau_2} \frac{p_A^2(\tau)}{p_0^2} * d\tau, \quad (1.14)$$

kde je τ_0 referenční časový interval (1 s),

$\tau_2 - \tau_1$ dostatečně dlouhý časový interval, aby obsáhl akustickou událost.

Při znalosti hladiny expozice zvuku A jednotlivých událostí, lze vypočítat ekvivalentní hladinu akustického tlaku A pomocí vztahu 1.15:

$$L_{Aeq,T} = 10 * \log \left(\frac{1}{T} * \sum_{i=1}^n (10^{L_{AE}/10}) \right). \quad (1.15)$$

Pro výpočet **průměrné (střední) hladiny akustického tlaku** lze použít energetický průměr, nikoli aritmetický. Průměrná hladina akustického tlaku se tedy vypočítá podle následujícího vztahu:

$$L = 10 * \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 * L_i} \right), \quad (1.16)$$

kde je n počet dílčích hodnot,

L_i hladina akustického tlaku i -tého dílčího měření.

1.2. VLIV HLUKU NA ČLOVĚKA

1.2.1. Hluk jako zdroj znečištění

Nadměrný hluk patří mezi největší zdroje, které negativně ovlivňují životní prostředí.“ *V programech ochrany prostředí, které realizují vyspělé státy světa, se řadí hluk zpravidla ihned za znečištění ovzduší a ochrany povrchových vod*“.

[4] Toto tvrzení potvrzují statistiky Světové zdravotní organizace WHO. Jak již bylo uvedeno v úvodu, přibližně 100 milionů, tedy 20 % obyvatel Evropské unie je během denní doby vystavováno hluku, který je vyjádřen v ekvivalentní hladině akustického tlaku A, přesahující hodnot 65 dB. Dlouhodobé působení této hlukové zátěže má za následek poškození sluchu a další negativní vlivy na lidský organismus. Z důvodu dopravního hluku se každý rok pouze v západní Evropě zkrátí život lidí minimálně o 1 - 1,6 milionů zdravých let, 61 000 let je spojeno s ischemickou srdeční chorobou, 45 000 s kognitivní poruchou u dětí, 903 000 s rušením spánku, 22 000 s poškozením sluchového aparátu a 654 000 s obtěžováním hlukem. [8]

Jednou z nejzávažnějších vlastností zvuku, kvůli které je tak nebezpečný, je šíření zvukové vlny. Zvuk se šíří na velké vzdálenosti, až na několik set metrů. Dále se může šířit ve všech skupenstvích, v plynech, v kapalině a v pevné látce. Zvuk se může za určitých podmínek odrazit, lomit nebo ohýbat. To má za následek, že v důsledku těchto jevů se hluk může dostat na místa, kam by se za normálních okolností nedostal. Jako příklad se dá uvést jízda tramvaje skrze město, hlukem z tramvaje není zasažen pouze řidič a cestující, ale v některých případech až tisíce lidí v blízkosti komunikace.

1.2.2. Negativní vlivy na člověka

Sluch je jedním z pěti základních lidských smyslů, který nám dodává důležité informace a zároveň funguje jako poplašné zařízení, které nás varuje před nebezpečím. Lidský organismus, nemá před nepříznivými zvuky, tedy hlukem, účinnou ochranu. Člověk je například schopen zavřít oči a tím se chránit před nepříznivým světelným zářením, u lidského ucha nic takového nefunguje. Aby se ucho mohlo izolovat od hluku, je potřeba se chránit dodatečně. Poškození sluchového ústrojí je navíc v drtivé většině případů nevratný jev. [4]

Většina hlukové zátěže, se kterou se běžně setkáváme, není přímo spojena s bezprostřední bolestí nebo funkční poruchou organismu. Účinky se ale shromažďují a negativní dopady se běžně projevují až za delší dobu. Účinek hluku je individuální, na každou osobu může působit jinak. [4]

„Nepříznivé účinky hluku na lidské zdraví jsou obecně definovány jako morfologické nebo funkční změny organismu, které vedou ke zhoršení nebo poškození jeho funkcí, ke snížení odolnosti organismu vůči stresu nebo zvýšení vnímavosti k jiným nepříznivým vlivům prostředí.“ [9] V následující části kapitoly budou rozebrány konkrétní účinky na člověka.

Obtěžování

Obtěžování hlukem je nejvíce rozšířený jev spojený s vlivem hluku na člověka. Většina lidí se s ním každý den setkává, ať už doma, cestou do práce, v práci či při rekreaci. Podle Světové zdravotní organizace WHO lidské zdraví není pouze spojeno s nemocemi, ale je to stav fyzické, duševní a sociální pohody. Lidé obtěžování hlukem mají různé reakce, ať už se jedná o zlobu, nespokojenost, deprese, úzkost nebo vyčerpání. Tyto reakce mohou být důsledkem dalších negativních vlivů na organismus. Člověk není obtěžován pouze nadměrným hlukem, ale necítí se dobře ani v prostředí s nízkou hladinou akustického tlaku A, menší než 30 dB. [4] [9]

Rušení spánku

Spánek je fáze organismu, při které dochází k regeneraci. Během spánku jsou utlumeny některé lidské funkce, člověk ztratí vědomí, sníží se tělesná teplota a krevní tlak, dýchání se zpomaluje.

Nedostatek nebo nekvalitní spánek má za následek nejen únavu a psychické problémy, ale také endokrinní a metabolické poruchy, které mohou být závažnější u dětí a starších osob. Podle Evropské agentury pro životní prostředí trpí na území Evropské unie přibližně 6,5 milionů lidí narušeným spánkem ve velké míře. [15] [16]

Kardiovaskulární účinky

Nadměrné obtěžování hlukem může, vést k narušení spánku, k emociálnímu vypětí, ale i k zapojení endokrinního a autonomního systému. Tyto negativní jevy mohou způsobit chronický stres, který vede k patofyziologickým změnám. Tyto změny mohou vést přímo nebo nepřímo k negativním změnám na zdraví.

Chronický stres může mít za následek zvýšený krevní tlak, zvýšení množství cukru a cholesterolu v krvi a k srážlivosti krve, což jsou příčiny kardiovaskulárního onemocnění. [10]

S dlouhodobým vystavováním nadměrnému hluku je spojena ischemická choroba srdeční. Studie z roku 2015 „*The relationship between transportation noise exposure and ischemic heart disease*“ [12], zabývající se silničním a leteckým hlukem, zjistila 6% procentní nárůst pravděpodobnosti s nárůstem akustické hladiny tlaku A o 10 dB, začínaje od hodnoty 50 dB. Další studie „*Aircraft, road and railway traffic noise as risk factors for heart failure and hypertensive heart disease: a case - control study based on secondary data*“ [13] popisuje zvýšení rizika srdečního selhání v rozmezí 2 % až 7 %, v závislosti na typu vystavení hluku, z důvodu zvýšení hladiny akustického tlaku o 10 dB. [10] [11] [13]

Hluk ze silniční dopravy je úzce spjatý se znečištěním vzduchu, a to komplikuje určení závislosti hluku s kardiovaskulárním onemocněním, přesto většina studií určila vliv hluku na kardiovaskulární onemocnění bez závislosti na znečištění ovzduší. [10] [14]

Poškození sluchového aparátu

Dlouhodobé vystavování hluku má za následek také nevratné poškození sluchu. Jak již bylo zmíněno, účinky hluku nemusí být okamžité, ale dochází k jejich kumulaci a objeví se až později. Poškození sluchu se nejprve projeví zvýšením prahu slyšení, který člověk v běžném životě nepocítí, porucha se dále vyvíjí a projeví se i v běžném prostředí.

Dnes je nadměrný hluk spojen s běžnými činnostmi, ať se jedná o dopravní hluk, hluk v pracovním prostředí, ale i při volnočasových aktivitách, jako jsou koncerty, motoristické závody nebo i poslech hudby pomocí sluchátek.

Při mimořádných událostech může dojít k okamžitému poškození sluchového ústrojí. Zejména k protržení bubínku, ke kterému dochází při hladinách dosahujících 160 dB a více. Tyto hladiny se mohou objevit v pracovním prostředí, ale zde by člověk měl mít ochranné pomůcky, dále pak v mimopracovní prostředí při aktivitách jako je střelba nebo při použití pyrotechniky. [4] [17]

2. DOPRAVNÍ HLUK

Předešlá kapitola byla zaměřena na popis základní charakteristiky zvuku, resp. hluku a jeho vlivy na lidský organismus, nyní bude popsána doprava jako zdroj hluku. Dopravní hluk patří mezi nejvýznamnější zdroje hluku v komunálním prostředí. Největší vliv na dopravní hluk má silniční doprava. Kolejová doprava má nicméně menší vliv než silniční doprava, ale zvětšující podíl je zejména ve větších městech. Kolejová doprava se využívá v rámci městské hromadné dopravy a je zásadním přispěvatelem hluku. [24]

2.1. ZROJE HLUKU Z KOLEJOVÉ DOPRAVY

Mezi převládající zdroje hluku z železniční dopravy se řadí hluk valivý, hluk pohonných jednotek neboli hluk trakce a aerodynamický hluk. Dalším lokálním zdrojem hluku jsou zabezpečovací zvukové signály, ať už se jedná o hluk varovných signálu na přejezdu nebo od samotného vozidla. [25] [20] [21]

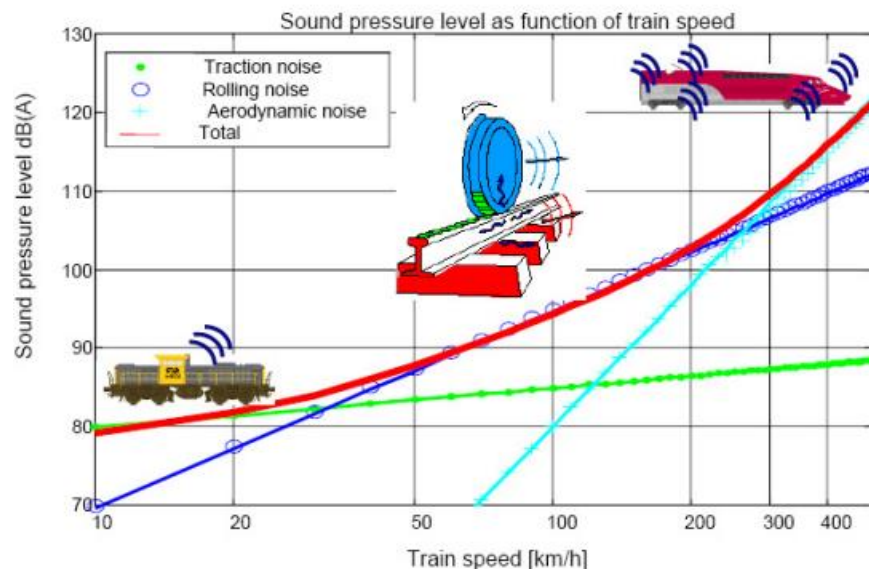
Valivý hluk vzniká na styku kola a kolejnice. Povrch kola ani kolejnice není dokonale hladký, pohyb kola po kolejnici způsobuje vibraci, která vede ke vzniku hluku. Dále pak na podvozku vlivem otáčení dvojkolí se vyskytuje tření, v neposlední řadě vzniká hluk od brzdění. Na rozdíl od hluku pohonných jednotek a aerodynamického hluku není valivý hluk závislý nejen na typu a technickém stavu vozu, ale také na stavu a upevnění kolejnic. [25] [20] [21]

Na obrázku 2.1 je znázorněna závislost zdroje hluku na rychlosti drážního vozidla. Hodnoty uvedené na obrázku jsou orientační, jak bylo uvedeno hluková zátěž je závislá na více faktorech. Při rychlostech přibližně do 50 km/h převládá hluk trakce, v rozmezí rychlostí 50 – 200 km/h dominuje valivý hluk a při rychlostech nad 200 km/h aerodynamický hluk. Z toho plyne, že na území České republiky se zatím nesetkáváme s převládajícím aerodynamickým hlukem, ale pouze s valivým a hlukem trakce. [25] [20] [21]

Jak již bylo uvedeno hluk pohonných jednotek je dominantní při nízkých rychlostech, tedy při pomalé jízdě, rozjezdu nebo při stání ve stanici, kdy motor běží na volnoběh. Mezi hlavní zdroje hluku trakce patří:

- motor,
- lokomotiva,

- ventilátor,
- klimatizace,
- kompresory,
- převodovka,
- výfuky a stání. [33]



Obrázek 2.1: Schéma závislosti rychlosti na zdroji hluku [22]

U vysokorychlostní kolejové dopravy začíná převažovat aerodynamický hluk, který vzniká turbulencí a prouděním vzduchu okolo vozové skříně. Zdrojem tohoto hluku je:

- nekapotovaný podvozek,
- tvar vozu,
- pantografy,
- přechody mezi vozy,
- zařízení umístění na střeše vlaku.

Z obrázku 2.1 je zřejmé že aerodynamický hluk roste s rychlostí jízdy. [33]

2.2. MOŽNOSTI ELIMINACE HLUKU Z KOLEJOVÉ DOPRAVY

Na protihluková opatření jsou s technologickým vývojem kladeny čím dál tím větší nároky. Kromě účinnosti opatření a finanční stránky je kladen velký důraz na bezpečnost, případnou velikost, ale také estetičnost, opatření by neměla ve velké míře narušovat krajinný ráz.

Obecně lze protihluková opatření rozdělit do dvou základních skupin, aktivní a pasivní. Nejvíce efektivní je využití kombinace opatření.

Zatížení hlukem je kromě technického stavu vozidel a železničního svršku závislé na typu trakce, prostorovém vedením trasy, klimatických podmínkách a rychlosti. [25] [20] [21]

Na šíření zvukové vlny má vliv mimo jiné i směr a rychlost větru. Při šíření vlny proti větru jsou paprsky lomené směrem nahoru, po větru jsou lomené opačným směrem, tedy dolů. Šíření ovlivňuje také vlhkost a teplotní gradient vzduchu. Zvukové vlny se ve vlhkém vzduchu dostanou dále než v suchém. [20]

2.2.1. Aktivní protihluková opatření

Aktivní protihluková opatření mají za cíl v maximální míře snížit, popřípadě zabránit vzniku hlukové emise přímo u zdroje hluku. Mezi aktivní protihluková opatření se řadí: urbanistická, dopravně organizační, architektonická a technická opatření. [26] [20]

Urbanistická opatření

Se uplatňují při plánování nových dopravních staveb nebo zástavby v blízkosti významné dopravní stavby. Cílem je, aby stavby, u kterých jsou větší nároky na akustickou ochranu, zdravotnická a školní zařízení, nebyla zasažena velkou hlukovou zátěží. Naopak industriální stavby např. sklad, u kterých nejsou velké akustické nároky, mohou při vhodném umístění fungovat jako protihlukové opatření. [26] [20]

Prostorové vedení trasy ovlivňuje zejména směrovými oblouky, kde jsou emise hluku zvýšeny z důvodu styku hlavy kolejnice a okolku. Okolní terén může vzniklé zvukové vlny pohlcovat, případně odrážet a lomit.[20]

Architektonická opatření

Architektonická opatření se zabývají rozložením objektů a jejich vnitřních prostor vzhledem ke zdroji hluku. Nechráněné vnitřní prostory je vhodné navrhovat na stranu více zasaženým hlukem, naopak chráněné prostory navrhovat na klidnější stranu vzhledem ke zdroji hluku. [26] [20]

Dopravně organizační opatření

Dopravně organizační opatření mění organizaci dopravy pro daný úsek. Je možné omezit za určitých podmínek rychlost vozidel, omezit, případně zakázat provoz hlukově náročnějších typů vozidel např. nákladní a vysokorychlostní vlaky. [26] [20]

Technická opatření

Technická opatření se provádějí na železniční, resp. tramvajové trati, ale i přímo na drážních vozidlech. Od 90. let se postupně na území ČR ve velké míře provádí modernizace a optimalizace železničních tratí. Realizuje se výměna pražců, pružné upevnění kolejnic, antivibrační rohože, odstraňování nedostatků broušením kolejnice a popřípadě se aplikují kolejnicové absorbéry hluku. Účinnost útlumu hluku je u broušení a použitím kolejnicových absorbérů obdobná, v obou případech to jsou hodnoty v rozmezí 1 - 4 dB. [26] [20]

Technická opatření prováděná na vozidlech se týká zejména modernizace tlumičů kol, výměna brzdových špalíků u nákladních vlaků a obnova vozového parku. Společnost ČD v roce 2019 spustila projekt „tichých vozů“ jehož cílem je u nákladních vozů postupně nahradit litinové brzdové špalíky novými kompozitními, čím by se měla regulovat hladiny hluku až o 10 dB. [26] [20] [23]

2.2.2. Pasivní protihluková opatření

Pasivní protihluková opatření, na rozdíl od aktivních, se zabývají již vzniklým hlukem a snaží se v co největší možné míře omezit jeho účinky na člověka. Provádí se ve dvou principech. První princip je pasivní opatření umístit co nejbližší ke zdroji hluku a tím snížit hlukové emise, další princip je využití opatření až na zasaženém objektu. [26] [20]

Prvního principu využívají protihlukové clony. Obecně clony jsou definovány dvěma kategoriemi podle jejich funkce, odrazivé a pohltivé. Odrazivé clony, jak už z názvu vyplývá odráží vzniklý hluk směrem od území, kde je hluk nežádoucí. Pohltivé clony část hlukové zátěže absorbují pomocí svého povrchu. Vhodné je využít kombinaci obou typů. [26] [20]

Mezi základní protihlukové clony patří: protihlukové stěny o různých velikostech a použitým materiálem, gabionové stěny, zemní valy, polovegetační stěna a jejich kombinace.

Přímo na objektech se snížení hlukové zátěže provádí pomocí zvukově izolačních oken a izolačních fasád. [26] [20] Následující část práce bude věnována konkrétnímu typu protihlukového opatření, nízkým protihlukovým clonám.

3. NÍZKÉ PROTIHLUKOVÉ CLONY

S modernizací vozového parku dochází ke přemístění dominantních složek zdroje hluku směrem ke kolejnici, převládající zdroj hluku je tedy valivý. Protihlukové stěny běžně dosahují výšky i 4 m a umisťují se ve vzdálenosti až 4 m od osy koleje. Z důvodu dominantního valivého hluku dochází i k modernizaci protihlukových clon, které se pro lepší efektivnost umisťují co nejbližší zdroji hluku - kolejnici. S výškovým poklesem dominantních složek hluku a umístěním clony blíže ke zdroji, se snižují i nároky na výšku protihlukových stěn. Běžné protihlukové clony nahrazují clony s výškou do 1,5 m, tzv. nízké protihlukové clony (dále NPC), které dosahují přibližně stejné efektivnosti jako klasické protihlukové stěny. [28] [21]

Velkým nedostatkem běžných protihlukových stěn byla jejich velikost a zábor území. Díky své velikosti je obtížné umístit protihlukové stěny do krajiny, ale i do zastavěného území, aby nenarušovali krajinný ráz. Dále vytvářejí bariéru, jak vizuální, tak i překážku při případném zásahu složek IZS. Z těchto důvodů je použití klasických protihlukových stěn v některém zastavěném území velmi omezeno. Většinu těchto nedostatků, NPC eliminují díky své výšce řádově do 1,5 m nad temenem kolejnice a umístění co nejbližší ke zdroji. [28] [21]

3.1. TECHNICKÁ SPECIFIKACE

Již bylo uvedeno, že NPC se umisťují co nejbližší zdroji hluku, vzdálenost je většinou určena průjezdným průřezem vozů. Na vzdálenosti od zdroje je závislá výška, čím je NPC blíže, tím může být clona nižší a naopak. Například při umístění NPC v ČR ve vzdálenosti 1730 mm od osy koleje výška NPC může dosahovat maximálně 730 mm. Aplikace clony je v některých případech ovlivněna konfigurací terénu a je to nutné zahrnout do návrhu. Při návrhu je nutné zohlednit bezpečnost a provozuschopnost dráhy, např. při mimořádné události nesmí omezit evakuaci nebo přístup IZS. Dále by měl být zajištěn průjezd vlaků s nadměrnou ložnou mírou. Návrh NPC vychází z *“Metodický pokyn pro navrhování, výstavbu a údržbu nízkých protihlukových clon”* [62] vydaného Správou železnic. [28] [21]

Mezi hlavní nevýhody NPC patří její použití na vícekolejných tratích, clona má velmi omezený efekt na vzdálené koleje, kvůli své výšce. Je nutné umístit

další clonu do mezi kolejního prostoru, což je nákladné a prostorově náročné. V zimních měsících při dostatku sněhu, může clona způsobit potíže hromaděním sněhu v prostoru dráhy, clona funguje jako bariéra. Další problém vzniká při provádění pracovního úkonu v prostoru kolejiště, kde NPC omezuje únik. Tento problém by se mohl vyřešit vytvořením únikových cest, ale na úkor účinnosti stěny. [28] [21]

Většina vyspělých zemí v Evropě využívá vlastní systémy NPC, které se od sebe liší použitým materiálem, rozměrem a tvarem. Jedním z možných použitých materiálu je beton. Betonové NPC se skládají z jednotlivých prefabrikovaných dílců různých tvarů, které jsou buď kotveny nebo jsou stabilizovány vlastní vahou konstrukce. Dále se využívají lehké materiály jako hliník, gumový granulát, popřípadě recyklovaný plast. Výhodou těchto materiálů je relativně nízká hmotnost, díky které je lepší manipulace. Na druhou stranu je nutné clony kotvit do podloží pomocí vrutů. Na rozdíl od hliníku a ostatních lehkých materiálu, u NPC ze spojeného granulátu není nutné použít pohltivou vrstvu, protože celá konstrukce je tvořena materiálem, který je schopen absorbovat část hlukové zátěže. [28] [25]

3.2. NÍZKÉ PROTIHLUKOVÉ CLONY V ČR A JEJICH APLIKACE

V následujícím přehledu jsou představeny aplikace NPC v České republice.

3.2.1. BRENS EUROPE

Od roku 2006 začala česká společnost PROKOP RAIL (později BRENS EUROPE) projekt se zaměřením na nová protihluková opatření. V roce 2011 na veletrhu Žel Rail pořádaném na Slovensku společnost představila komplexní projekt snižování hluku *Rychlost s tichostí* včetně NPC BREN BARRIER.

Dále pro veletrh InnoTrans 2016 konaného v Berlíně si společnost připravila NPC ve formě gabionové clony zobrazené na obrázku 3.11. Clona je vyrobena z recyklovaného textilního materiálu s přirozenou vegetační plochou, která vytváří přírodní vzhled s možností retence vody. Pro vegetační plochu byly použity suchomilné rostliny, např. rozchodníky, netřesky a tymián. Plánovaná výška clony byla 0,75 m nad temeno kolejnice. Vzdálenost umístění clony se pohybovala v rozmezí 1,75 – 2 m od osy koleje. Z důvodu slabého zájmu ze strany Správy železnic byl vývoj clony přerušen. [34]



Obrázek 3.11: Gabionová clona z recyklovaného materiálu [34]

3.2.2. ŽPSV - Silent

V současnosti je na zkušebním úseku dlouhém 70 m testována Vysokou školou báňskou – Technickou univerzitou Ostrava šikmá nízká protihluková clona Silent od společnosti ŽPSV. Clonu lze vidět na následujícím obrázku 3.12. Zkušební úsek je zvolen na dvoukolejně tramvajové trati v Ostravě, podél ulice Místecká, blízko tramvajové zastávky Moravská. Skládá se z betonových dílců délky 2 m, kladených na zhutněný podsyp nebo na podkladní beton. Standardní výška dílce je 1,4 m, výška nad temenem kolejnice se může lišit v závislosti na hloubce uložení od 1 – 1,4 m. Styčná spára mezi dílci je utěsněna pryžovým profilem. Protihluková clona je určena pro tramvajovou trať se štěrkovým ložem, ale i pro pevnou jízdní dráhu. Výsledkem měření Vysoké školy báňské je útlum hluku v rozmezí 8 – 10 dB. [27]



Obrázek 3.12: Nízká protihluková clona Silent [27]

3.2.3. Sklopná clona Soundim rail

Na železniční trati nedaleko zastávky Praha - Sedlec je nainstalována první aplikace sklopné protihlukové clony v ČR o délce 153 m. Clona od finské firmy Soundim rail zobrazená na obrázku 3.13, je vyrobena z hliníku s pohlitvou vrstvou na povrchu. Je tvořena dílci o délce 4 m, které jsou kotveny pomocí jedné

ocelové mikropiloty. Clona dosahuje výšky 0,86 m nad temenem kolejnice, ve vzdálenosti 2,09 m od osy koleje. Výhodou je, že při údržbě nebo převozu nadměrného nákladu lze clonu sklopit směrem od trati. V rámci instalace clony bylo Katedrou železničních staveb, Fakulty stavební ČVUT v Praze provedeno technické měření ve výšce 1,2 m nad temenem kolejnice a ve vzdálenosti 7,5 m od osy koleje, v souladu s normou ČSN EN ISO 3095 Akustika – Železniční aplikace – Měření hluku vyzařovaného kolejovými vozidly. [19] [35] [36]



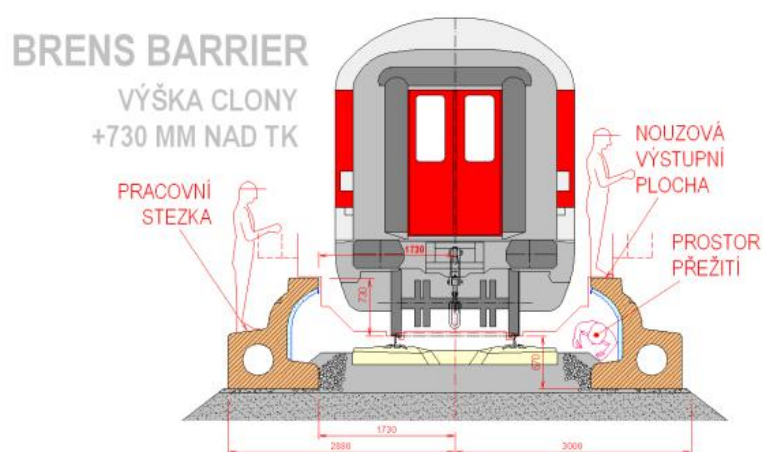
Obrázek 3.13: Sklopná protihluková clona [36]

Výsledkem měření je stanovení účinnosti NPC, která dosahovala hodnot až 7 dB, dle typu vozového parku.

3.2.4. BRENS BARRIER

Protihluková clona BRENS je vhodná k použití jak na konvenční tratí železnice, tak i na tramvajových tratích. Clona je tvořena betonovými prefabrikovanými dílci, které jsou zaobleny směrem do dráhy. Povrch zaoblení je tvořen pryžovou vrstvou, která je schopna absorbovat část hlukové emise. Ve většině případů je možné clonu použít bez nutnosti provedení základové konstrukce. Principem clony je, že část hlukové zátěže absorbuje a část odrazí zpět do kolejíště. Optimální vzdálenosti osazení clony je zobrazena na obrázku 3.14, ve vzdálenosti 1730 mm od osy koleje ve výšce 730 mm nad temenem

kolejnice. Zaoblení kromě odrazu hluku funguje jako případný „prostor přežití“, který slouží jako bezpečné místo úkrytu při průjezdu vozu. [29]

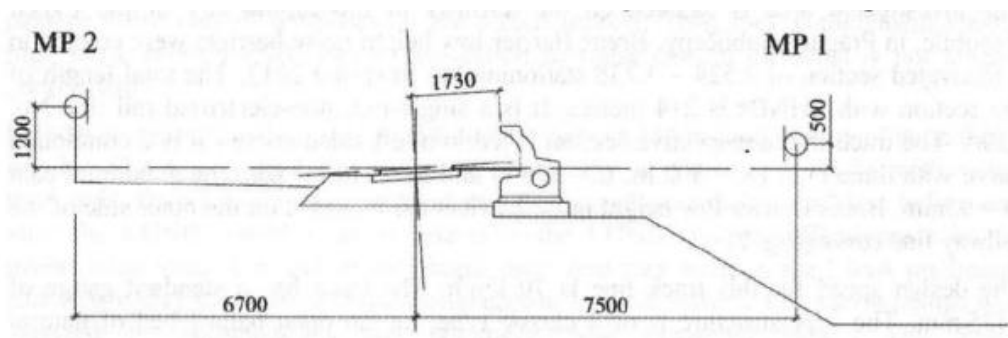


Obrázek 3.14: Schéma uložení protihlukové clony BRENS BARRIER [29]

V roce 2013 byla clona BRENS testována na dvou zkušebních úsecích. První byl realizován na železniční trati v Praze Hlubočepy, druhý v Tetčicích u Brna.

Zkušební úsek v Praze Hlubočepy se nachází ve směrovém oblouku jednokolejné trati. Železniční svršek S49 na betonových pražcích s tuhým upevněním kolejnic je uložen na štěrkovém loži o frakci 32/63 mm. Clona o celkové délce 214 m je uložena v optimální vzdálenosti, tedy 1730 mm od osy koleje ve výšce 730 mm nad temenem kolejnice. [38]

Měření bylo provedeno v souladu s ČSN EN ISO 3095 Akustika – Železniční aplikace – Měření hluku vyzařovaného kolejovými vozidly [19]. Technické měření bylo realizováno na dvou místech MP1 (measure point) a MP2, před a po osazení protihlukové clony. Měřící body jsou schematicky zobrazeny na obrázku 3.15. Měřící bod MP1 byl situován 7,5 m od osy koleje ve výšce 0,5 m nad temenem kolejnice za protihlukovou clonou. Na opačné straně, ve vzdálenosti 6,7 m od osy koleje a ve výšce 1,2 m nad temenem kolejnice byl umístěn měřící bod MP2. [38]



Obrázek 3.15: Schéma měřících bodů na zkušební trati Praha Hlubočepy [38]

V následující tabulce 3.1 jsou uvedeny výsledky měření v podobě ekvivalentní hladiny akustického tlaku A , L_{Aeq} v obou směrech trati. Celkový útlum protihlukové clony BRENS BARRIER je na daném zkušebním úseku roven 6,5 dB. [38]

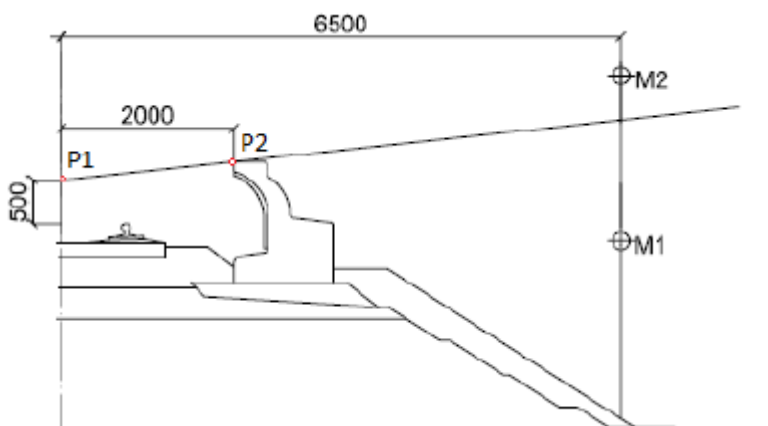
Tabulka 3.1: Výsledky měření BRENS BARRIER, Praha-Hlubočepy [38]

	MP1	MP2
	[dB]	[dB]
Směr Praha - Smíchov bez NPC	79,3	84,3
Směr Praha - Smíchov s NPC	72,5	84,3
Rozdíl hlukové emise	-6,8	0
Směr Rudná bez NPC	79,5	83,5
Směr Rudná s NPC	73,2	84,3
Rozdíl hlukové emise	-6,3	0,8
Oba směry bez NPC	79,4	84
Oba směry bez NPC	72,9	84,3
Rozdíl hlukové emise	-6,5	0,4

Druhý zkušební úsek se nachází na železniční trati č. 240 (v km 6,075 – 6,391) nedaleko obce Tetčice u Brna. V roce 2017 zde bylo provedeno měření, jehož cílem bylo ověření akustické stálosti clony. Ověření se provádělo porovnáním naměřených dat z roku 2013 a 2014 při instalaci clony.

Clona o celkové délce 316 m je umístěna 2 m od osy koleje. Oproti optimálnímu uložení clony 1730 m je vzdálenost větší z důvodu provozu nákladních vlaků s překročenou ložnou mírou. [57]

Měření bylo provedeno pracovníky Katedrou železničních staveb, Fakulty stavební ČVUT v Praze v souladu s ČSN EN ISO 3095 Akustika – Železniční aplikace – Měření hluku vyzařovaného kolejovými vozidly [19] ve dvou měřících místech. Místa M1 a M2 byla vybrána na základě křivky akustické energie zobrazené na obrázku 3.16. Jsou zde uvedeny body M1 a M2, která označují polohu měřících míst. Bod P1 zobrazuje zdroj dominantního hluku a bod P2 horní hranu NPC. Bod M1 byl umístěn 6,5 m od osy koleje ve výšce 0,2 m nad temenem kolejnice. Druhý bod M2 je situován ve vzdálenost 6,5 m od osy koleje ve výšce 1,7 m. Z obrázku 3.15 je zřejmé, že bod M1 je v zákrytu clony a bod M2 není akusticky ovlivněn NPC. [57]



Obrázek 3.16: Poloha měřících bodů [57]

Během měření byla zaznamenávaná ekvivalentní hladina akustického tlaku A , $L_{Aeq,T}$. Následně v rámci post processingu byly v programu B&K Type 7820 Evaluator vygenerovány hodnoty expozice zvuku A , L_{AE} pro jednotlivé průjezdy vlaků. [57]

V následující tabulce 3.2 jsou zaznamenány jednotlivé průjezdy vlaků v daných měřících místech. [57]

Tabulka 3.2: Počet průjezdů pro jednotlivé události [57]

Měřicí místo	Počet průjezdů		
	30.10.2013	01.04.2014	26.09.2017
M1	19	19	18
M2	20	19	20

Expozice zvuku A, L_{AE} pro tři situace měření, které se od sebe liší časem, měřená na stejných místech M1 a M2 jsou zobrazeny v tabulce 3.3. [57]

Tabulka 3.3: Expozice zvuku A, L_{AE} pro jednotlivé situace [57]

Měřicí místo	Expozice zvuku L_{AE} [dB]		
	30.10.2013	01.04.2014	26.09.2017
M1	95,6	88,5	89,5
M2	95,9	92,9	92,9

V následující tabulce 3.4 jsou zaznamenány rozdíly expozičních zvuku A, L_{AE} jednotlivých situací.

Tabulka 3.4: Rozdíly expozičních zvuku A, L_{AE} pro jednotlivé situace [57]

Měřicí místo	Rozdíl L_{AE} bez NPC a s NPC	Rozdíl L_{AE} bez NPC a s NPC po 4 letech	Rozdíl L_{AE} s NPC po výstavbě a NPC po 4 letech
M1	7,1	6,1	-1
M2	3	3	0

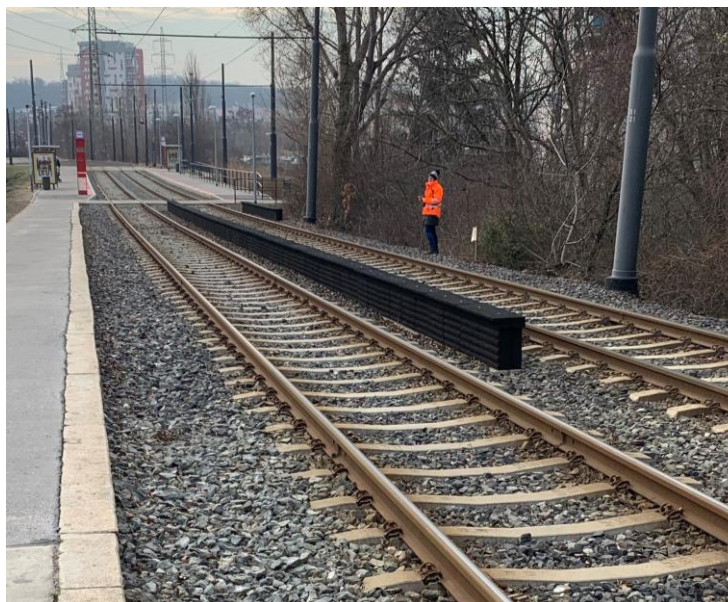
Z výsledků uvedených v předchozí tabulce 3.4 vychází v bodě M1 účinnost clony o 1 dB menší po čtyřech letech od výstavby. Nicméně při zohlednění nejistoty měření ± 2 dB je tento rozdíl zanedbatelný, z toho vyplývá, že lze clonu BRENS BARRIER na daném úseku prohlásit za akusticky stálou. Rozdíl 0 dB v bodě M2 4 roky po výstavbě udává stálost konstrukce železniční trati. [57]

3.2.5. Městská protihluková clona

Největší problém protihlukových clon obecně je jejich začlenění do městského prostředí. Tento problém setrvává i u většiny NPC, proto Katedra

železničních staveb, Fakulty stavební ČVUT v Praze se společností Monstat CZ s.r.o. vyvinula za podpory Dopravního podniku hl.m. Prahy Městskou protihlukovou clonu (dále MPHČ). [41]

Jedná se o protihlukový prvek vyrobený z gumového granulátu a dosahuje výšky jen přibližně 30 cm nad temeno kolejnice. Clona je vhodná k použití ve městském prostředí k útlumu hluku z tramvajové dopravy pro otevřené kolejové svršky, zatravněné úseky a úseky bez provozu silniční dopravy. Největší účinnosti dosahují na přímých úsecích a ve směrovém oblouku o poloměru větším než 200 m. Díky své velikosti a umístění v blízkosti kolejnice nenarušuje rozhled řidiče, výhled cestujících ani nenarušuje architektonický ráz. Clona se umísťuje na kolejové těleso, proto není nutné těleso rozšiřovat. Na obrázku 3.17 je zobrazena MPHČ v blízkosti tramvajové zastávky Vozovna Hloubětín. [41] [42]



Obrázek 3.17: Městská protihluková clona-Vozovna Hloubětín

3.2.6. Materiálové řešení

MPHC díky materiálovému řešení funguje jako akusticky pohltivý prvek, který absorbuje hluk přímo u zdroje, tedy u styku kola a kolejnice. Gumový granulát, ze kterého je clona zhotovena, je nejen akusticky pohltivý, ale i dobře tvárný a relativně lehký.

Při výrobě se využívá gumový granulát získaný z recyklace pneumatik. Následně se granulát smíchá s polyuretanovým pojivem a umístí do tvarovatelné formy, která se v případě potřeby může upravit. [41]

3.2.7. Technické parametry

Výška clony od temene kolejnice i vzdálenost umístění clony lze přizpůsobit požadavkům konkrétní tramvajové dráhy. Jedním z hlavních kritérií je šířka, respektive průjezdný průřez používaných tramvají, které jsou vypsány v ČSN 28 0318. [39] Z výše uvedené normy je šířka průjezdného průřezu stanovena vzdáleností 1300 mm od osy koleje pro přímou část dráhy. Jako referenční vozidlo je uvedena tramvaj typu KT8D5N se šířkou vozu 2,5 m.

Dalším ovlivňujícím prvkem jsou pracovní vozy. S nástupem nízkopodlažních tramvají, které jsou více citlivé na vodu, tedy sníh než vysokopodlažní tramvaje, musí docházet k pečlivějšímu odklizení sněhu. Z toho důvodu Dopravní podnik hl. m. Prahy využívá podvozkový pluh PSP - 01, který je zobrazen na obrázku 3.18. Slouží jako pluh na odhrnování sněhu. Pro lepší odklizení sněhu je pluh navržen větší šířky než běžně používané tramvaje. Pluh je široký 2,6 m, tedy 1,3 m na každou stranu od osy koleje, ale musí se připočítat rezerva.



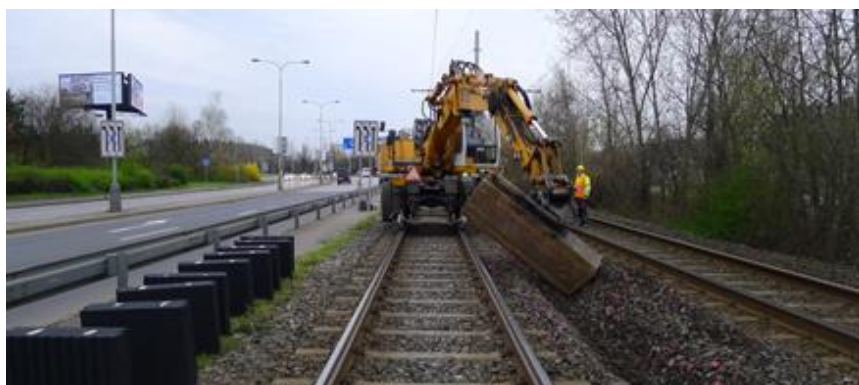
Obrázek 3.18: Podvozkový pluh PSP-01 [40]

V neposlední řadě se uvažovalo o MPHČ jako možné překážce při evakuaci osob z vozidla. V případě evakuace ze starých tramvají clona nepředstavuje překážku, protože u starých tramvají se dveře otevírají směrem dovnitř. Moderní tramvaje mají systém otevírání dveří sice směrem ven, ale zvětší šířku vozu v rádech centimetrů. [41] [42]

3.2.8. Aplikace MPHC - Modřany

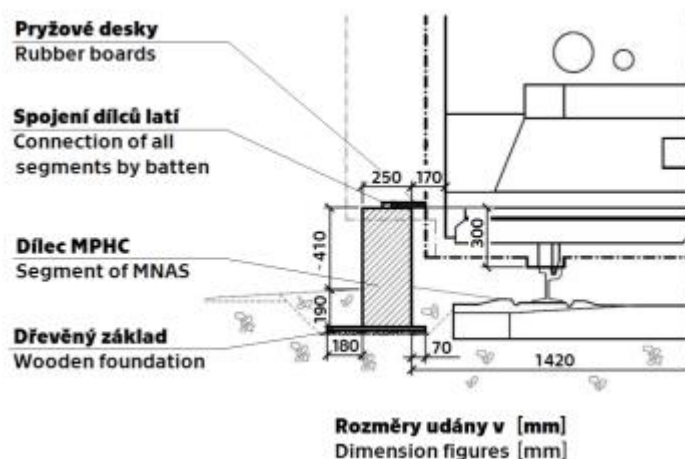
Pro aplikaci první generace MPHC byl v roce 2016 vybrán zkušební úsek v Praze 4. Úsek se nacházel na tramvajové trati mezi stanicemi Pobřežní cesta a Přístaviště směrem do centra města. Tramvajová trať byla zvolena z důvodu vhodného konstrukčního uspořádání. Jednalo se o otevřený kolejový svršek. Dalším důvodem byla možnost umístění měřicí aparatury pro akustické měření.

První generace MPHC nebyla propojena s kolejovým tělesem pomocí základu. Jednotlivé dílce o rozměrech 600x250x750 mm byly ukládány do vyhloubené a zhutněné rýhy v prostoru dráhy. Dílce jsou spojeny pomocí dřevěné latě, umístěné na vrchní straně clony. Osazení MPHC je zobrazeno na obrázku 3.19. [41] [43]



Obrázek 3.19: Osazení MPHC v lokalitě Praha 4 [41]

Na obrázku 3.21 je uveden detail příčného řezu. Výška clony nepřesahovala 300 mm nad temeno kolejnice a clona je vzdálena 1420 mm od osy koleje. Vzdálenost od osy koleje je ovlivněna pouze průjezdovým průřezem vozidel, včetně podvozkové pluhu PSP - 01. [41] [43]



Obrázek 3.21: Detail příčného řezu uložení MPHC na zkušebním místě v Praze 4 [43]

Po první sadě akustického měření byla clona upravena z důvodu zvýšení účinnosti. Na vrchní straně clony byla přidána deska tloušťky 25 mm ze stejného materiálu, která vytvořila přesah o délce 70 mm. Tím se snížila vzdálenost od osy koleje z 1420 mm na 1350 mm. Od této úpravy probíhalo dlouhodobé testování MPHC. Technické měření prokázalo útlum hlukové emise o 3 až 5 dB.

V roce 2019 bylo rozhodnuto o ukončení zkušebního úseku. Rozložení clony proběhlo v rámci cvičení hasičského záchranného sboru, cílem byla záchrana zaklíněné osoby. Výsledek cvičení byl uspokojivý. Hasičskému sboru trvalo přibližně 4 minuty rozebrání clony za použití pouze běžných pomůcek, to je daleko rychlejší než rozebrání betonové NPC, kde je potřeba použití těžké techniky. [41] [43]

Druhá generace MPHC byla použita v lokalitě Praha Hloubětín, která je popsána v rámci vlastního měření.

3.3. NÍZKÉ PROTIHLUKOVÉ CLONY VE SVĚTĚ

3.3.1. ZBLOC

Ve Švédsku jsou od roku 1996 vyráběny NPC společností ZBLOC. Clony jsou vyrobeny z vláknobetonu. Absorpční vrstva je tvořena granulovanou pryží se vzduchovými mezerami. Clony jsou instalovány ve vzdálenosti 1,7 m od osy koleje, výška dosahuje 0,73 m nad temeno kolejnice. Clona se pokládá na předem připravený základ, díky své hmotnosti není potřeba kotvení. Bezpečnost při pohybu v kolejišti je zajištěna nouzovými východy nebo je možné na clonu připevnit schody pro únik, schody jsou zobrazeny na obrázku 3.22. [25] [31]



Obrázek 3.22: NPC Zbloc s únikovými schody [25]

Od roku 2005 do roku 2008 byla prováděna akustická měření nedaleko Stockholmu. Výsledky prokázaly závislost účinnosti na typu vlaku, u vlaků X60 a X12 byla redukce hlukových emisí 7, resp. 9 dB, u nákladního vlaku IC a osobního vlaku X40 byla redukce v rozmezí 4 dB až 6 dB. [25]

3.3.2. FERRONDO SILENZIO FORTE

Clona FERRONDO silenzio forte je tvořena gabiony, které jsou vyplněny kameny. Gabiony jsou umístěny 1,75 m od osy koleje ve výšce 54 cm, resp. 74 cm nad temenem kolejnice. Na obrázku 3.23 je clona doplněna únikovými schody v případě nutnosti evakuace. Clona FERRONDO silenzio forte byla testována pouze v Německu. Měření bylo provedeno ve vzdálenosti 25 m od osy koleje ve výšce 3,5 m nad temenem kolejnice. Clona ve výšce 74 cm dosahuje účinnosti až 7 dB a 3 dB clona ve výšce 54 cm. Výhodou clony je snazší začlenění do krajiny, díky kamenné konstrukci. [25] [32]



Obrázek 3.23: Gabionová clona FERRONDO silenzio forte [32]

3.3.3. ART ASAMER

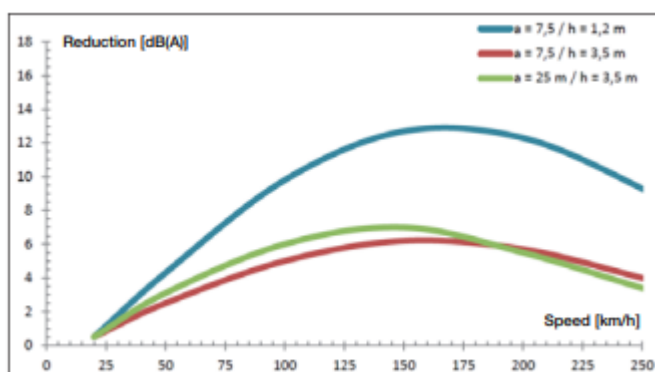
Rakouský národní dopravce ÖBB na železniční trati v Melku nainstaloval protihlukovou clonu ART vyrobenou společností Asamer. Clona byla tvořena vlastním betonovým základem a hliníkovým prvkem absorbující hluk. Výhodou clony byl vlastní základ, díky kterému nebylo potřeba dostatečné kotvení. Měření prokázala účinnost stěny 5 - 6,7 dB ve vzdálenosti 25 m od osy koleje ve výškách 1, 2, 3, 4 a 5 m. Rakouská společnost Forster převzala tuto clonu a nyní ji lze najít pod názvem NOISE BREAKER. Clona NOISE BREAKER je založena na

stejném principu jako ART Asamer. Na betonový základ je umístěn vysoce absorbující hliníkový prvek. Na obrázku 3.24 je zobrazena clona po instalaci. [25] [37]



Obrázek 3.24: Nízká protihluková clona NOISE BREAKER [37]

Na následujícím obrázku 3.25 je zobrazena účinnost clony. Účinnost je vyobrazena grafem v závislosti na rychlosti jízdy a vzdálenosti měřících bodů. [37]



Obrázek 3.25: Účinnost protihlukové clony NOISE BREAKER [37]

3.3.4. NPC ve Francii

V roce 2011 byl ve francouzském Lyonu vybrán zkušební úsek pro polovegetační NPC. Clona o celkové délce 14 m byla postavena podél pozemní komunikace na promenádě v centru Lyonu. Cílem 1 m vysoké a 40 cm široké clony je snížit hlukovou emisi z přilehlé silniční dopravy. [58]

Na obrázku 3.26 lze vidět clonu, vytvořenou z kovového rámu plněným substrátem. V substrátu je zasezeno až 40 rostlin na jeden m². [58]



Obrázek 3.26: Polovegetační clona v Lyonu [59]

Měření probíhalo na dvou místech zároveň ve výšce 1,2 m, která simuluje sedící osobu, vzdálené 3,5 m od silnice. První měřící místo bylo umístěno přímo za clonou a druhé bylo vzdáleno 20 m od clony. Výsledkem měření je pokles hodnoty akustického tlaku A, $L_{Aeq,T}$ z hodnoty 67 dB na 62 dB, tím pádem útlum hlukové zátěže v důsledku účinnosti polovegetační clony je 5 dB. [58]

Součástí měření byl dotazník pro kolemjdoucí osoby. Cílem bylo vyplnění poloviny dotazníku za clonou a druhé poloviny mimo clonu. Dotazník se týkal hlukové problematiky včetně lokální akustické změny vyvolané danou NPC. Celkově se zapojilo 349 respondentů, většina se shodla výsledku, že clona zlepšila lokální akustickou situaci, ale akustická situace stále není dostačující. [58]

4. MĚŘENÍ HLUKU

V této kapitole budou popsány možnosti měření pomocí zvukoměru.

V České republice se pro měření a hodnocení akustických dat v mimopracovním prostředí získaných z provozu kolejové dopravy využívají dvě metodiky měření, hygienická a technická, které vychází z české legislativy. Metody se hlavně liší v umístění měřící aparatury a ve vyhodnocení akustických dat, které budou popsány dále.

4.1. HYGIENICKÉ MĚŘENÍ HLUKU

Hygienické měření slouží k analýze hlukové zátěže zejména na přilehlé objekty. Hluková zátěž se porovnává s hygienickými limity a popřípadě se na základě měření navrhuje protihluková opatření. Metodika hygienického měření je popsána ve *Věstníku č. 11 z roku 2017: Metodický návod pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí* [18], vydán ministerstvem zdravotnictví České republiky. Metodický návod vychází ze Zákona č. 258/2000 Sb. [44] a Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. [45], se zaměřením na chráněné prostory.

Zákon č. 258/2000 Sb. [44] definuje tři základní chráněné prostory. Chráněný venkovní prostor je určen jako nezastavěný pozemek, který je užíván k rekreaci, lázeňské léčebné rehabilitační péči a výuce, s výjimkou pracovišť, lesních a zemědělských pozemků. Chráněným venkovním prostorem staveb se rozumí prostor do vzdálenosti 2 m od obvodového pláště, významným pro pronikání hluku do chráněného vnitřního prostoru bytových domů, rodinných domů, staveb pro předškolní a školní výchovu a vzdělání, staveb pro zdravotní a sociální účely. Chráněným vnitřním prostorem staveb jsou pobytové místnosti ve stavbách pro předškolní a školní výchovu a vzdělání, pro zdravotní a sociální účely a obytné místnosti ve všech stavbách. [44]

Podle Zákona č. 258/2000 Sb. (díl 6, paragraf 32) [44] hygienické měření může provádět pouze držitel osvědčení o akreditaci nebo držitel autorizace. Výsledkem je akreditovaný protokol.

Stanovení hygienických limitů včetně hodnotícího deskriptoru je popsáno v Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. (část třetí paragraf 11 a 12) [45]. Základním hodnotícím deskriptorem je ekvivalentní hladina akustického tlaku A , $L_{Aeq,T}$.

Pro měření hluku z kolejové dopravy se ekvivalentní hladina akustického tlaku A, stanovuje pro celou denní a celou noční dobu ve všech typech chráněných prostor. Denní doba $L_{Aeq,16h}$ je určena v rozmezí 6:00 - 22:00. Noční doba $L_{Aeq,8h}$ je definována jako zbylý čas, tedy mezi 22:00 - 6:00.

4.2. METODIKA HYGIENICKÉHO MĚŘENÍ HLUKU

V této části jsou popsány náležitosti hygienického měření vyzařovaného hluku z kolejové dopravy, měřeného pomocí zvukoměru.

4.2.1. Měřicí systém

Měřicí přístroje použité k měření hluku jsou zařazeny ve vyhlášce č. 345/2002 Sb. [46], které podle zákona č. 505/1990 Sb. [47] musí být vybaveny platným ověřovacím listem. K měření hluku v komunálním prostředí se používají zvukoměry třídy 1, které splňují požadavky ČSN EN 61672 - 1 [48], pásmové filtry třídy 1 podle ČSN EN 61260 - 1 [49]. Jedná se o stanovená měřidla. Tato stanovená měřidla musí mít platné ověřovací listy, které se obnovují každé dva roky. Justace se provádí před a po skončení měření, pokud se hodnota po ukončení měření liší o více než 0,5 dB je měření neplatné. Kalibrátory nejsou stanovenými měřidly, ale musí mít platný kalibrační list. Při měření se dále používají pomocná měřidla, může se jednat o přístroje k měření meteorologických podmínek, délková měřidla, přístroje k měření rychlosti. Tato pomocná měřidla musí být taktéž opatřena platným kalibračním listem. Při měření ve venkovním prostoru je nutné aplikovat kryt proti povětrnostním vlivům. [18]

4.2.2. Strategie měření

Strategie měření udává systém a přístup k měření, zaměřený k dosažení cíle. Měření musí zajistit získání přesných, reprezentativních a reprodukovatelných hodnot ukazatelů hluku stanovených právní předpisy pro účely ochrany veřejného zdraví před hlukem v mimopracovním prostředí. Strategie se volí po přezkoumání podstatných podkladů a na základě terénního průzkumu.

Strategie měření se zvláště zabývá identifikací zdroje hluku. Vzájemnou situací chráněných prostor a zdroje hluku, vlivy, které by mohli omezit měření (např. roční doba a meteorologické podmínky. [18]

4.2.3. Postup měření

Při měření se využívá buď mikrofon společně s měřicím přístrojem upevněným na stativu nebo je na stativu upevněn pouze mikrofon, který je propojený s měřicím zařízením. Při měření mikrofonem s měřicím přístrojem umístěným na stativu musí obsluha stát minimálně 0,5 m za mikrofonem.

Dnešní přístroje průběžně kontinuálně zaznamenávají akustické signály. Během měření je zaznamenáván záznam zvuku, podle kterého se následně v post processingu vyloučí rušivé akustické události. Akustické události musí být zapisovány obsluhou měření pro snazší práci v rámci post processingu. [18]

4.2.4. Umístění mikrofonu

Umístění mikrofonu se liší podle toho, v jakém typu chráněného prostoru se měření provádí.

V chráněném venkovním prostoru staveb se mikrofon umísťuje ve vzdálenosti 0,5 m–2 m od chráněné fasády, přednostně ve vzdálenosti 2 m, a ve výšce $1,5 \pm 0,1$ m nad úrovní podlahy daného podlaží. Pokud prostorová situace dovolí, mikrofon je umístěn před střed zavřeného okna nebo dveří. ČSN ISO 1996 - 2 [50] nedoporučuje umístění mikrofonu přímo na fasádu, pouze ve výjimečných případech. V těchto případech je nutné použít korekci na odraz podle ČSN ISO 1996 - 2 [50]. Osa mikrofonu je směřována na zdroj hluku. [18]

Při měření v chráněném venkovní prostoru (ve volném poli) měření probíhá na místech nejdelšího zdržení a zároveň největšího počtu lidí, na strategických místech pro další šíření hluku, popřípadě na místech nejvíce exponovaných hlukem. Mikrofon ve volném poli je postaven nejméně 3,5 m před plochu odrážející hluk. V chráněném venkovním prostoru, kde se posuzuje vliv hluku na osoby, se mikrofon umísťuje ve výšce $1,5 \pm 0,1$ m (stojící osoby) nebo $1,2 \pm 0,1$ m (sedící osoby) nad terénem, naopak při obecném hlukovém mapování je měřeno ve výšce $4,0 \pm 0,5$ m. Osa mikrofonu opět směřuje na zdroj hluku. [18]

V chráněném vnitřním prostoru staveb je zpravidla měřeno ve výšce $1,5 \pm 0,1$ m (stojící osoby) nebo $1,2 \pm 0,1$ m (sedící osoby) nad podlahou v místech, kde osoby tráví nejvíce času. Osa mikrofonu je směřována buď ke zdroji, je-li známý směr šíření hluku, se zvukoměrem nastaveným na čelní úhel dopadu, nebo svisle vzhůru, není-li známý směr šíření hluku. Zvukoměr je nastaven na náhodný úhel

dopadu. V obytných místnostech měření probíhá nejméně na třech místech, která jsou rovnoměrně rozptýlena v prostoru, kde osoby tráví nejvíce času, zpravidla nejméně 1,5 m od okna a 1,0 m od stěn. Při podezření na dominantní nízkofrekvenční hluk se jeden mikrofon umísťuje do rohu, 0,5 m od ostatních hraničních povrchů a bez otvorů blíže než 0,5m. Dále nesmí být mikrofony umístěny blíže než 0,5 m od stropů, stěn nebo podlah, nejméně 1,0 m od významných prvků přenosu zvuku, např. okna a otvory pro větrání a 0,7 m od ostatních mikrofonů. Pro místnosti o objemu > 300 m³ je vhodné použít více mikrofonů, v případě podezření na nízkofrekvenční hluk, je jedna třetina přidaných poloh v rozích. Výsledná hodnota se stanoví logaritickým průměrem hodnot z jednotlivých mikrofonů. [18]

Souběžné měření je definováno jako měření např. ve venkovní chráněném prostoru dané stavby a vnitřním chráněném prostoru dané stavby. Měření se může provádět zároveň nebo bezprostředně po sobě, jsou-li zvukové podmínky totožné. V případě, že souběžné měření nelze uskutečnit, lze hladinu akustického tlaku odhadnout na základě naměřených hodnot z venkovního prostoru a stupně vzduchové neprůzvučnosti fasády podle českých technických norem. [18]

4.2.5. Akustické údaje

Hladiny akustického tlaku jsou měřeny v decibelech a další veličiny dle ČSN ISO 1996 - 1 [51], ČSN ISO 1996 - 2 [50]. Prezentované hodnoty musí zahrnovat nejistotu měření. Ukazatelé hluku jsou vyjadřovány jako hladina akustického tlaku při použití váhového filtru A. [18]

Pro proměnný z kolejové dopravy se použijí určující ukazatelé hluku:

- ekvivalentní hladina akustického tlaku $A L_{Aeq,T}$,
- maximální hladina akustického tlaku $A L_{Amax}$,
- hladina expozice zvuku L_{AE} .

Hladina akustického tlaku se měří s použitím třetinooktávových filtrů se středními frekvencemi pásma od 20 Hz do 20 kHz.

Stanovení ekvivalentní hladiny akustického tlaku A, $L_{Aeq,T}$

V případě hluku ze železniční dopravy, kde je malý počet hlukových událostí, je měřena expozice zvuku jednotlivých průjezdů vozidel L_{AE} , nebo je následně určeno v rámci post processingu. Z expozice zvuku je následně odvozena ekvivalentní hladina akustického tlaku A, $L_{Aeq,T}$ pro celou denní a celou noční dobu. Měření jednotlivé události musí být dostatečně dlouhé, aby zaznamenalo všechny příspěvky hluku, hladina akustického tlaku A musí klesnout nejméně o 10 dB pod maximální hladinu. [18]

Konkrétně u kolejové dopravy se zaznamená skladba, intenzita a rychlost dopravy. Rozlišují se tři základní kategorie vlaků – osobní, nákladní a rychlíkové. Měření musí obsahovat nejméně 10 vlaků pro oba směry a všechny základní kategorie, následně kategorie, která přispívá k celkové hladině akustického tlaku se musí skládat nejméně ze tří průjezdů. Při situaci, kdy v jednotlivé kategorii je rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší hladinou u L_{AE} nebo $L_{Aeq,T}$ větší než 3dB, je nutné provést další měření nebo kategorii rozdělit na další kategorie. Z měření jsou vyloučeny záznamy průjezdu se slyšitelnými defekty. Doporučuje se pro výpočet $L_{Aeq,T}$ využít energetický průměr expozic zvuku L_{AE} pro jednotlivé kategorie s využitím průměrné celoroční intenzity a skladby železniční dopravy podle SŽ. [18]

Následující vztah představuje možnost určení ekvivalentní hladinu akustického tlaku při znalosti počtu hlukových událostí N za časový interval T. [18]

$$L_{Aeq,T} = \overline{L_{AE}(1)} + 10 * \lg\left(\frac{N}{N_0}\right) - 10 * \lg\left(\frac{T}{T_0}\right), \quad (4.1)$$

kde je $\overline{L_{AE}(1)}$ průměrná hladina expozice zvuku připadající na jednu hlukovou událost,

N_0 referenční počet událostí rovný 1,

T doba v sekundách, ke které se vztahuje hodnocení hluku,

T_0 referenční časový interval 1 s. [18]

Pokud jsou známy počty průjezdů určitých kategorií vlaků nebo tramvají, lze postupovat podle vztahu:

$$L_{Aeq,T} = 10 * \lg \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^N (n_i * 10^{0,1 * L_{AEi}}) \right), \quad (4.2)$$

kde je L_{AEi} charakteristická expozice zvuku každého typu události,
 T doba v sekundách, ke které se vztahuje hodnocení hluku (denní nebo noční doba),
 n_i počet hlukových událostí i-té kategorie,
 N počet typů sledovaných událostí. [18]

Stanovení maximální hladiny akustického tlaku A, L_{Amax}

Maximální hladina akustického tlaku A, L_{Amax} se z pravidla určuje v rámci post processingu, při vyhodnocování dat z paměti zvukoměru pro chráněný vnitřní prostor staveb. Odečty se dělají pravidelně v intervalech, když chceme maximální hladinu ustáleného hluku anebo při výskytu hlukových událostí, když určíme maximální hladinu jednotlivých událostí. [18]

Měření se plánuje tak, aby obsahovalo reprezentativní část posuzované situace nebo množství hlukových událostí. Minimální počet jednotlivých událostí je stanoven na 10 průjezdů vlaků a je nutné je zaznamenat do protokolu měření.

Dále na základě sluchové kontroly při vyhodnocování dat z měření je nutné vyřadit hodnoty, které nesouvisí s předmětem měření. [18]

Hluk pozadí a zbytkový hluk

Hluk pozadí je definován jako všechen zvuk, který nepochází z měřeného zdroje hluku. Zbytkový hluk je všechen zvuk, který zbývá po vyloučení zvuku specifických zdrojů hluku pozadí. [52]

Při měření se až na výjimečné případy musí hluk pozadí vždy popsat, musí se charakterizovat zdroje hluku pozadí, které zvuky byly vyloučeny, a které zůstávají součástí. V následujících případech není nutné hluk pozadí a zbytkový hluk popisovat:

- výsledná hladina akustického tlaku včetně hluku pozadí nepřekračuje hygienické limity
- specifické zdroje hluku pozadí (např. proudění vody) a/nebo zdroj nelze potlačit

Zbytkový hluk je měřen před, po, ale i v průběhu měření na stejných místech, ve stejných veličinách. Zbytkový hluk lze vyhodnotit i v rámci post processingu z časového záznamu. [18]

Korekce na zbytkový hluk pro váženou hladinu i hladinu kmitočtového pásma je stanovena podle rovnice:

$$K = -10 * \lg (1 - 10^{-0,1\Delta L}), \quad (4.3)$$

kde je ΔL rozdíl mezi hladinou akustického tlaku měřeného zdroje hluku a hladinou akustického tlaku zbytkového hluku.

Při určení hodnoty ΔL se nejistota neuvažuje ve dvou případech:

- pokud je $\Delta L > 10$ dB,
- když $\Delta L < 3$ dB, zbytkový hluk nelze jednoznačně odlišit od měřeného hluku. [18]

V následující tabulce 4.1 jsou uvedeny hodnoty korekce K ve vztahu k ΔL .

Tabulka 4.1: Tabulka hodnot korekce K [18]

ΔL [dB]	10	9,5	9	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3
K [dB]	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,9	1,0	1,1	1,3	1,4	1,7	1,9	2,2	2,6	3

V případě, kdy má měřený hluk i zbytkový hluk obdobný průběh frekvenčního spektra, lze širokopásmovou korekci aplikovat. Naopak, když je průběh frekvenčního spektra rozdílný, je nutné korekci použít v individuálních frekvenčních pásmech. [18]

4.2.6. Neakustické údaje

Během měření hluku se kromě samotného hluku měří, popř. zjišťují a zaznamenávají do protokolu měření i neakustické údaje. Mezi základní neakustické údaje patří: meteorologické podmínky, topografie místa měření, možnosti šíření zvuku od zdroje do místa měření, charakteristika zdroje hluku a další okolnosti, které by mohli ovlivnit vlastní měření. [18]

Následující vztah 3.4 uvádí, zda meteorologické podmínky ovlivňují ve velké míře měření, pokud je rovnost splněna, meteorologické podmínky neovlivňují ve značné míře měření. [18]

$$\frac{h_s+h_r}{r} \geq 0,1, \quad (4.4)$$

kde je h_s výška zdroje,
 h_r výška umístění mikrofonu,
 r vzdálenost mezi zdrojem a mikrofonem.

Meteorologické podmínky musí být během měření zaznamenány do protokolu, popisují se následujícími veličinami a parametry:

- teplota vzduchu,
- rychlost a směr větru,
- relativní vlhkost vzduchu,
- atmosférický tlak,
- výskyt srážek,
- oblačnost,
- stav povrchu terénu (suchý, mokrý, namrzlý apod.).

Povrch kolejí musí být suchý a okolní terén nesmí být pokryt sněhem nebo ledem, popřípadě nasáklý vodou. [18]

V případě krátkodobého měření je nutné měření provádět za příznivých podmínek šíření zvuku. Za příznivé podmínky se považuje, když je poloměr zakřivení dráhy zvukového paprsku od zdroje k mikrofonu R [km] kladný. Výsledky měření za příznivých podmínek šíření zvuku představuje horní odhad zatížení hlukem. Měření se neprovádí, dosahuje-li vítr rychlosti větší než 5 m/s. [18]

Doba a délka měření

Délka a doba měření se volí tak, aby byla pro danou lokalitu reprezentativní, a aby zachytila všechny typické hlukové situace. Přednostně se měří v období březen až červen a září až říjen v pracovní dny úterý až čtvrtek. Se souhlasem krajské hygienické stanice lze stanovit i jiný termín měření. [18]

4.2.7. Nejistoty měření

Při měření hluku v chráněných prostorech se uvádí nejistota měření. Nejistota měření u se vyjadřuje jako rozšířená kombinovaná nejistota, určená z kombinované standardní nejistoty u_c součinem koeficientem rozšíření k .

$$u = k * u_c; \text{ kde } k = 2 \quad (4.5)$$

$$\text{kde } u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}, \quad (4.6)$$

u_A je složka ze statistického výběru opakovaně naměřených hodnot za stejných podmínek měření (např. měření tlaku, teploty a vlhkosti,

u_B nejistota způsobená známými nebo odhadnutými příčinami (např. nedokonalost zvukoměru, vlivem operátora, vlivem metod měření).

Nejistotu lze vyjádřit použitím konvenční hodnoty z následující tabulky 4.2, pro měření hluku v životním prostředí člověka pro účely zákona č. 258/2000 Sb. [44] [18] [53]

Tabulka 4.2: Konvenční hodnoty nejistoty měření u [18]

Druh hluku	u [dB]	
	Interiér	Exteriér
Hluk s odstupem více než 10 dB od zbytkového hluku	1,7	1,7
Hluk s odstupem 3 – 10 dB od zbytkového hluku	2	1,8

4.2.8. Zpracování výsledků měření

Výsledná hodnota se stanoví ze vztahu pro celou denní a celou noční dobu:

$$L_{Aeq,T} = 10 * \log \left(\frac{1}{T} \sum_i^N \left(n_i * 10^{0,1 * \bar{L}_{AEi}} \right) \right), \quad (4.7)$$

kde je \bar{L}_{AEi} průměrná hladina expozice zvuku připadající na jeden průjezd i -té kategorie,

n_i počet vozidel i -té kategorie přepočtený na RPDI pro dobu T ,

T doba v sekundách, ke které se vztahuje hodnocení hluku (celá denní nebo noční doba). [18]

Pokud je výsledkem akreditovaného měření vyslovení výroku o shodě, je nutné tuto výslednou hodnotu $L_{Aeq,16}$ a $L_{Aeq,8}$ korigovat o hodnotu na odrazivost stěn a nejistotu měření. Tato opravená hodnota se porovnává s hygienickými limity stanovenými v Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. [45] Na základě toho je

stanoven výrok o shodě, tj. jestli došlo k překročení hygienického limitu, nebo je dodržen.

Akreditovaný protokol

Výsledkem hygienického měření je vypracování akreditovaného protokolu. Akreditovaný protokol musí být uvedeny všechny relativní údaje, které jsou předmětem metodiky a níže vypsány informace:

- datum, čas a místo měření, identifikace laboratoře,
- seznam přístrojů včetně způsobu kalibrace,
- časové intervaly měření,
- popis místa měření, umístění mikrofonu a zdroje hluku,
- popis provozních podmínek, včetně počtu vozidel,
- popis meteorologických podmínek,
- měřené hladiny akustického tlaku vážené funkcí A,
- informace o hladinách akustického tlaku zbytkového hluku,
- odhad rozšířené nejistoty měření,
- metoda použitá k extrapolaci měřených hodnot vzhledem k dalším podmínkám,
- výrok o shodě.

4.3. TECHNICKÉ MĚŘENÍ HLUKU

Technické měření hluku se prvotně nezabývá enviromentálními dopady, zkoumá šíření hluku, zdroj hluku, velikost energie a přenosové cesty. Technické měření se např. zabývá vlivem drsnosti povrchu kolejnice na hlukovou zátěž nebo jako v mém případě analýzou účinnosti protihlukové clony. Postupy technického měření vychází ve ČSN EN ISO 3095 Akustika – Železniční aplikace – Měření hluku vyzařovaného kolejovými vozidly. [19] Jedná se o normu, která slouží přednostně k charakterizaci emisí hluku z kolejových vozidel s minimálním příspěvkem trati. V rámci normy jsou popsány různé typy měření jako je: zkouška typu posuzovaných jednotek, stacionární zkouška, zkouška rozjezdu z klidového stavu, zkouška zabrzdění do zastavení a zkouška při konstantní rychlosti jízdy. Na rozdíl od hygienického měření, technické měření může provádět i osoba bez akreditace.

4.3.1. Metodika technického měření hluku

Tato část práce je věnována metodice použité při běžném měření pomocí zvukoměru. Vychází se ze zkoušky při konstantní rychlosti jízdy.

Norma popisuje metody měření a upřesňuje možnosti a podmínky pro získání hladin emisí hluku u všech druhů drážních vozidel. Tuto normu nelze uplatnit pro hodnocení dopadů na životní prostředí a hodnocení hlukových imisí. Následující podmínky jsou platné pro všechny typy měřících metod popsanych v ČSN EN ISO 3095 [19]. Normou stanovené podmínky se při praktickém využití při technickém měření přizpůsobují dané situaci. Nejdůležitější je poloha měřících míst.

Přístrojové vybavení

Stejně jako u hygienického měření musí být použity měřící přístroje první třídy podle ČSN EN 61672 - 1 [48], v případě měření v kvalitě provozní třídy, lze použít přístroje druhé třídy. Shoda měřících přístrojů s požadavky ČSN EN 61672 - 1 [48] musí být ověřena alespoň jednou za dva roky. Mikrofony musí být opatřeny krytem proti větru a frekvenční charakteristiky nastavena na volné pole.

Požadavky na kalibrátory jsou uvedeny v ČSN EN IEC 60942 ed. 2 [54], kontrola se provádí minimálně jednou za dva roky. Justace se provádí před a po skončení měření, pokud se hodnota po ukončení měření liší o více než 0,5 dB je měření neplatné. Filtry pro kmitočtovou analýzu musí splňovat požadavky ČSN EN 61260-1. [49] [19]

Akustické prostředí

Norma stanovuje dodržení podmínek volného pole v trojúhelníkové ploše mezi tratí a mikrofonem do dvojnásobku vzdálenosti na obě strany. Volné pole je zvukové pole v neohrazeném prostředí, v němž jsou zanedbatelné odrazy od překážek.

Pro dodržení podmínek volného pole musí být splněny následující dílčí okolnosti:

- terén v rozmezí nejlépe 0 – 2 m od temene kolejnice,
- pozorovatel ani jiná osoba nesmí ovlivňovat svou přítomností měření,
- další trať nebo kolej může být přítomna za předpokladu, že výška šterkového lože nepřevyšuje výšku kolejnice zkoumané trati,

- mezi mikrofonem a zdrojem hluku nesmí být žádný zvuk pohlcující materiál, v oblasti měření nesmí být sněžná pokrývka a vysoký porost, mohli by fungovat jako zvuk pohlcující materiál. Dále nesmí být zde reflexní materiál jako je voda, led, asfalt a beton.
- v oblasti o poloměru trojnásobku měřící vzdálenosti nesmí být velké odrazivé předměty jako překážky, kopce, skály, mosty, budovy či vozidla. [19]

Meteorologické podmínky

Při měření je nutné změřit a zaznamenat následující meteorologické parametry: teplota vzduchu, relativní vlhkost, barometrický tlak, rychlost a směr větru a případně zaznamenat srážky. Povrch kolejí musí být suchý a okolní terén nesmí být pokryt sněhem nebo ledem, popřípadě nasáklý vodou. Měření se neprovádí při větru přesahující hodnoty 5 m/s. [19]

Hluk pozadí

Hluk pozadí nesmí ovlivňovat vlastní měření, musí být minimálně o 10 dB nižší než výsledná průměrná hladina hluku. Při určování frekvenční analýzy musí být rozdíl 10 dB v každém kmitočtovém pásmu. [19]

Doba a délka měření

Délka a doba měření se volí tak, aby byla pro danou lokalitu reprezentativní a aby zachytila všechny typické hlukové situace. Nicméně není přesněji definována.

Nejistota měření

Součástí výsledku měření musí být nejistota měření. Stanovení je stejné jako v kapitole 4.2.7.

Nejistota měření u se vyjadřuje jako rozšířená kombinovaná nejistota, určená z kombinované standardní nejistoty u_c součinem koeficientem rozšíření k .

$$u = k * u_c; \text{ kde } k = 2 \quad (4.5)$$

$$\text{kde } u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}, \quad (4.6)$$

u_A je složka ze statistického výběru opakovaně naměřených hodnot za stejných podmínek měření (např. měření tlaku, teploty a vlhkosti),

u_B nejistota způsobená známými nebo odhadnutými příčinami (např. nedokonalost zvukoměru, vlivem operátora, vlivem metod měření).

Trat'ové podmínky

Při běžných rychlostech dosahujících na železničních tratích v ČR je nejvýznamnější složkou hluku valivý hluk, který vzniká na styku kolo - kolejnice. Proto by se hodnoty emisí hluku měly v ideálním případě porovnávat jen mezi místy, kde se monitoruje technický stav trati. [19]

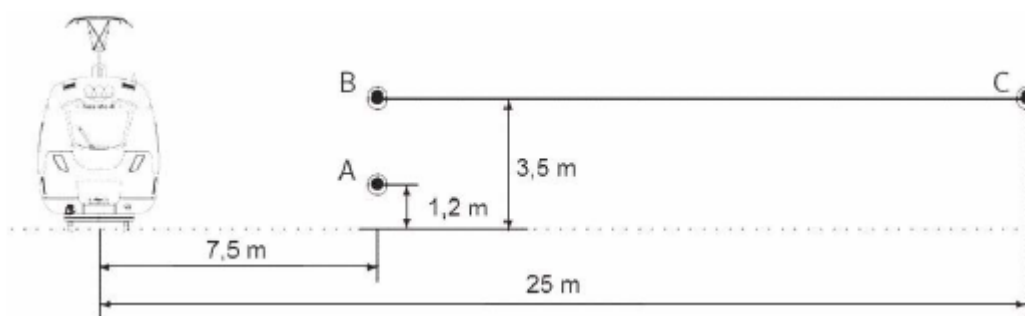
Uvažovaná kolej musí mít v minimální délce dvou vzdáleností mikrofonu na obě strany konzistentní svršek. Konzistentní svršek se vztahuje na geometrii a kvalitu trati, na akustickou drsnost kolejnice a na stupně dynamického útlumu. [19]

Trat'ový svršek nesmí být pokryt sněhem nebo nečistotami a spojen ledem nebo lepidlem. [19]

V měřeném úseku musí být trať bez viditelných vad a bez kolejnicových styků. Mezi viditelné vady se řadí vlnkovitost, poškození povrchu kolejnice cizím materiálem a vybroušená místa prokluzem kol. [19]

Měřicí místa

Standartní měřicí místo (viz obrázek 4.1), je vzdáleno 7,5 m od osy koleje ve výšce 1,2 m nad temenem kolejnice. Jsou-li obě strany akusticky identické lze měření provést pouze na jedné straně. U zkoušek, kde zkušební jednotky dosahují rychlosti 200 km/h, lze měřicí místo posunout na vzdálenost 25 m od osy koleje, do výšky 3,5 m. Měrnou síť lze rozšířit o druhou sadu měrných bodů ve výšce 3,5 m, v případě, že v horní části jednotky se nachází významný zdroj hluku. [19]

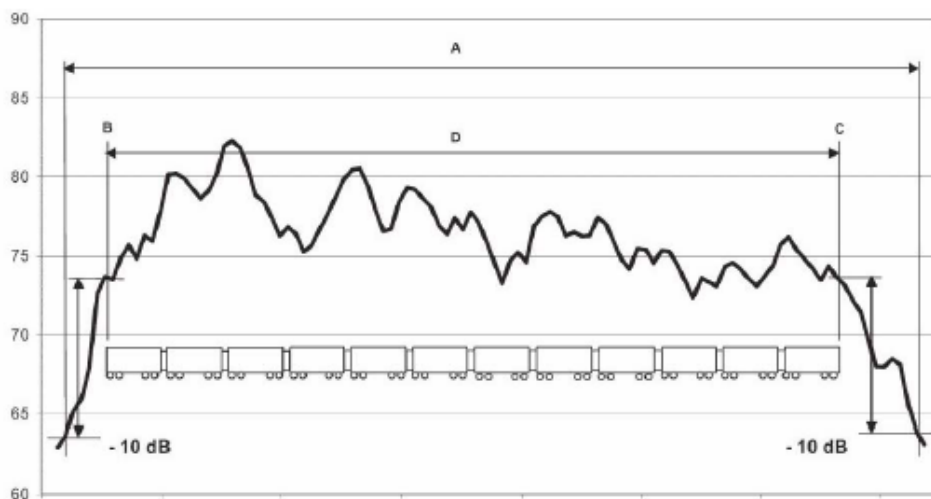


Obrázek 4.1: Schéma měřících bodů [19]

Postup zkoušky

Na obrázku 4.2 je zobrazen časový interval záznamu, ten bez ohledu na typ vozidla začíná, jakmile hladina akustického tlaku je minimálně o 10 dB menší než ve chvíli, kdy přední část vozidla míjí měřicí místo. Záznam může být ukončen

až hladina akustického tlaku je o 10 dB nižší než ve chvíli, kdy zadní část vozidla mívá měřící místo. [19]



Obrázek 4.2: Časový interval záznamu [19]

Zpracování dat

Hodnota ekvivalentní hladiny akustického tlaku A , $L_{Aeq,T}$ se spočítá pro každé měřící místo, případně kategorii vozového parku pomocí energetického průměru viz vzorec 1.16. Výsledkem je průměr hodnot jednotlivých sad měření. V případě měření na obou stranách dráhy a rozdílných hladin akustického tlaku na každé straně bude výsledkem měření s vyšší hodnotou. Při technickém měření se dále dle požadavků zkoumá i akustické spektrum daných událostí a jeho jednotlivé složky. Součástí vyhodnocení je protokol.

Protokol o zkoušce

Součástí měření musí být protokol nebo zpráva o zkoušce, který obsahuje následující údaje:

- a) druh zkoušek, datum, místo, jméno organizace, která provedla měření;
- b) popis místa zkoušky:
 - a. umístění,
 - b. podmínky prostředí:
 - i. akustické prostředí,

- ii. meteorologické podmínky,
 - iii. hladina akustického tlaku,
 - c. traťové podmínky:
 - i. geometrická poloha koleje (příčný profil a poloha na trati),
 - ii. železniční svršek,
 - c) prohlášení, že přístrojové vybavení splňuje dané požadavky,
 - d) popis zdroje zvuku,
 - e) polohy mikrofonů,
 - f) měřené veličiny včetně nejistoty,
 - g) výskyt impulzního nebo tónového zvuku je-li požadováno,
- další doplňující informace. [19]

4.4. HLAVNÍ ROZDÍLY HYGIENICKÉHO A TECHNICKÉHO MĚŘENÍ

Mezi hlavní rozdíly hygienického a technického měření patří: podmínka o způsobilosti měřiče, přístrojovém vybavení, vyhodnocování akustických dat, poloha měřících míst a doba měření.

Způsobilost měřiče

Na rozdíl od technického měření, hygienické měření může provádět dle Zákona č. 258/2000 Sb. (díl 6, paragraf 32) [44] pouze držitel osvědčení o akreditaci nebo držitel autorizace. Výsledkem je akreditovaný protokol. Technické měření může provádět erudovaný člověk bez osvědčení o akreditaci.

Přístrojové vybavení

Pro technické měření v kvalitě provozní třídy, lze použít i přístroje druhé třídy. Pro hygienické měření lze použít pouze přístroje první třídy, které splňují požadavky ČSN EN 61672 - 1 [48] a mají platné ověřovací, resp. kalibrační listy.

Vyhodnocování akustických dat

Výsledkem hygienického měření jsou hodnoty ekvivalentního akustického tlaku A, $L_{Aeq,16}$ a $L_{Aeq,8}$ pro celou denní a noční dobu, které se porovnávají s hygienickými limity. Výsledkem technického měření je hodnota ekvivalentního akustického tlaku A, $L_{Aeq,T}$, získaná v rámci post processingu z jednotlivých průjezdů vlakových kategorií.

Poloha měřících míst

Pro technické měření se výhradně používají měřící místa ve vzdálenosti 7,5 m od osy koleje ve výšce 1,2 nad temenem kolejnice. Ve specifických případech lze měřící místo posunout na vzdálenost 25 m od osy koleje, do výšky 3,5 m. Měrnou síť lze rozšířit o druhou sadu měrných bodů ve výšce 3,5 m, v případě, že v horní části jednotky se nachází významný zdroj hluku.

Hygienické měření v chráněném venkovním prostoru staveb se mikrofon umisťuje přednostně ve vzdálenosti 2 m od chráněné fasády, a ve výšce $1,5 \pm 0,1$ m nad úrovní podlahy daného podlaží. Měřící místa v chráněném venkovním prostoru a chráněném vnitřním prostoru staveb jsou popsány v kapitole 4.1.

Doba měření

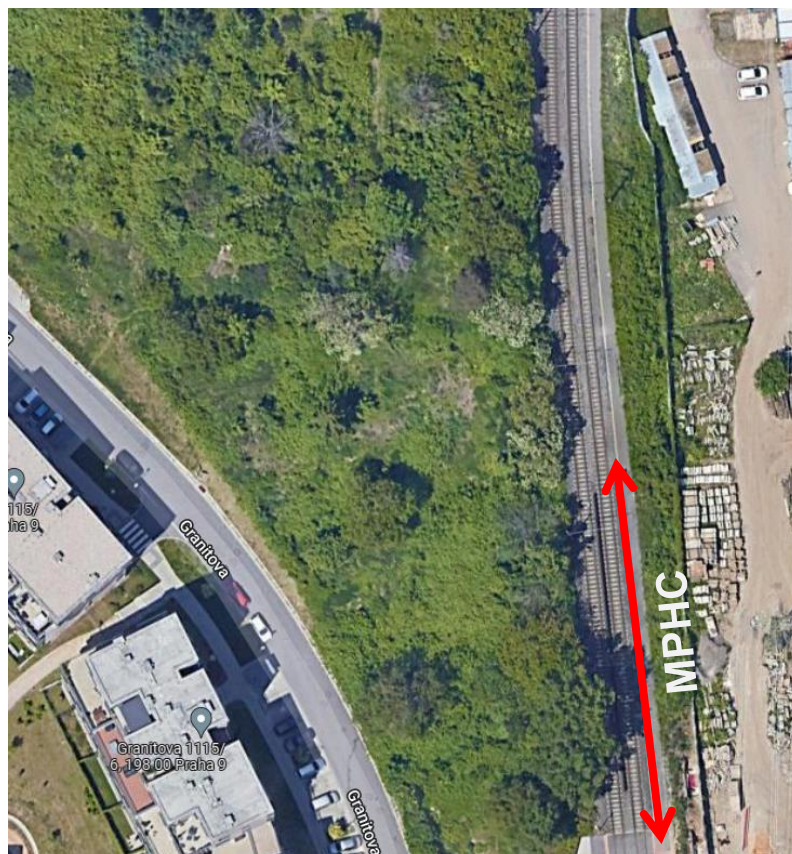
Hygienická měření mají pevně stanovenou dobu měření v rámci ročního období viz. kapitola 4.2.6. Oproti tomu technická měření lze provádět nezávisle na roční době, jsou omezena pouze klimatickými podmínkami.

5. ANALÝZA ÚČINNOSTI MĚSTKÉ PROTIHLUKOVÉ CLONY – PRAHA HLOUBĚTÍN

Praktická část této bakalářské práce bude zaměřena na analýzu účinnosti MPHC v Praze Hloubětín.

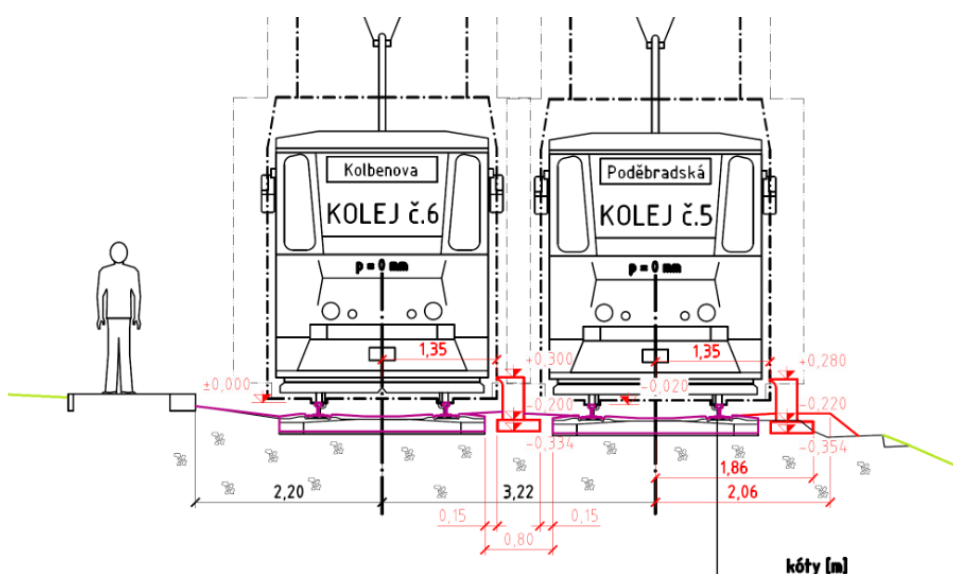
5.1. POPIS ZKUŠEBNÍHO ÚSEKU MPHC

Pro umístění druhého zkušebního úseku MPHC byla vybrána lokalita na tramvajové trati v Praze 9. Konkrétně se jedná o úsek v mezi zastávkovém prostoru Vozovna Hloubětín a Nový Hloubětín. Pro lepší představivost je tato část trati zobrazena na obrázku 5.11 pomocí leteckého snímku. Tento úsek byl vybrán z důvodu otevřeného kolejového lože, pro který je clona velmi účinná. Výhodná je lokalita, úsek není akusticky ovlivněn silniční dopravou a je zde dostačující prostor pro provedení akustického měření. Dalším důvodem je výstavba nové bytové zástavby, kterou clona chrání před hlukovou zátěží z tramvajové dopravy. Clona byla instalována v první polovině roku 2018 v rámci odstávky, z důvodu rekonstrukce trati. [41]



Obrázek 5.11: Zobrazení úseku pomocí leteckého snímku [56]

MPHC aplikovaná v této lokalitě je charakteristická změnami v konstrukci clony, které zlepšují účinnost oproti prvnímu zkušebnímu úseku v Modřanech. Kromě konstrukčních změn byl zlepšen systém výroby, zaměřený na design clony. Byl použit stejný materiál jako u prvního zkušebního úseku clony, tedy recyklovaná granulovaná guma. Clona je tvořena dílci o rozměrech 500x250x750 mm. Na charakteristickém řezu pro daný úsek, který je vyobrazen na obrázku 5.12, je znázorněna vzdálenost clony od osy koleje a výškové uložení. Clona je vzdálena 1,35 m od osy koleje a clona dosahuje výšky 0,3 m nad temeno kolejnice. [41]



Obrázek 5.12: Charakteristický řez [41]

Uložení druhé generace clony je zobrazeno na obrázku 5.13.



Obrázek 5.13: Uložení MPHC pomocí základu [41]

Spojení clony s konstrukcí tramvajové trati je zajištěno pomocí betonového základu se zabudovanými trubkami, pomocí kterých je clona spojena se základem. Výhodou je snadná instalace a případné rozebrání clony. Na výztuž základu není použita ocelová výztuž, nýbrž speciální kompozitní mříž, která je zobrazena na obrázku 5.14.

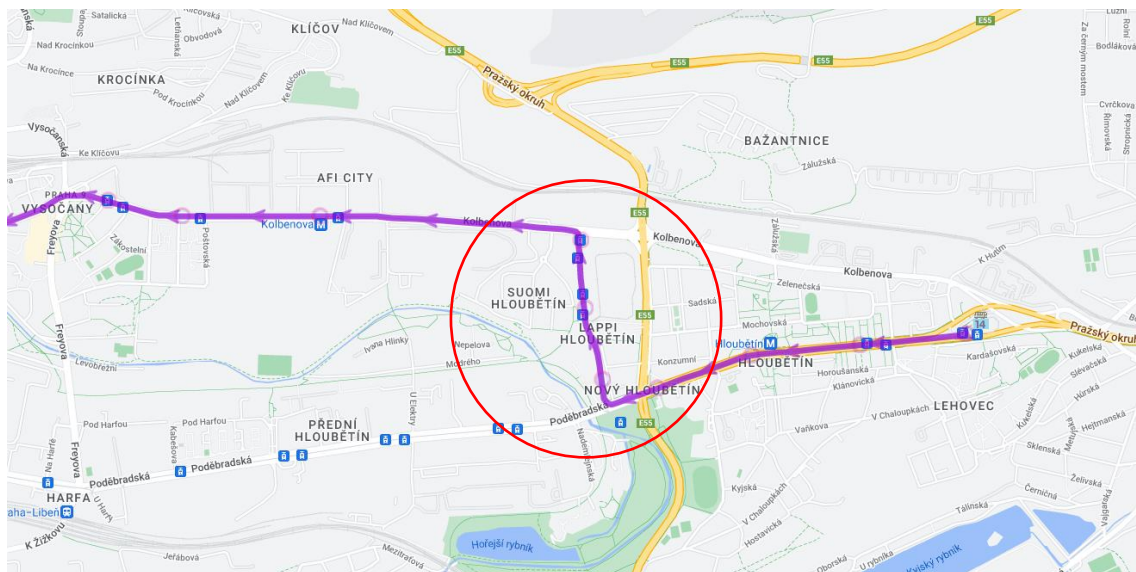
Kompozitní mříž byla použita z důvodu eliminace tzv. bludných proudů. „Bludnými proudy nazýváme proudy, které se dostanou do půdy vlivem nedostatečně od země izolovaného vodiče nebo zařízení, které užívá zem jako zpětný vodič. Tyto proudy vytvářejí zemní proudová pole, která jsou z hlediska vzniku elektrochemické koroze úložných zařízení nejnebezpečnější. [55]



Obrázek 5.14: Kompozitní mříž použitá jako výztuž základu [41]

5.1.1. Širší dopravní vztahy

Vybraný úsek se nachází mezi dvěma hojně využívanými ulicemi, Poděbradská a Kolbenova. Tramvaj jedoucí ze zastávky Nový Hloubětín přes zastávku Vozovna Hloubětín se napojuje na ulici Poděbradská a míří do oblasti Lehovec, kde končí svoji trasu. Tramvaj jedoucí opačnou trasou se napojuje na ulici Kolbenova, ze které směřuje do městské čtvrti Vysočany. Celá situace je znázorněna na obrázku 5.15.



Obrázek 5.15: Mapa širších vztahů [63]

5.1.2. Popis tramvajové trati

Jak již bylo zmíněno úsek se nachází na tramvajové trati v Praze 9, mezi zastávkami Nový Hloubětín a Vozovna Hloubětín. MPHC je umístěna ve dvou pozicích. Stěžejní část je umístěna v ose kolejí o celkové délce 50 m, tím pádem clona tlumí hlukové emise jen tramvaje jedoucí směrem na ulici Kolbenova. Doplňující část MPHC je umístěna po pravé straně trati ve směru jízdy, směřující tramvaj na ulici Poděbradská. Délka doplňující části clony je přibližně dlouhá 5 m. Pozice clony lze vidět na obrázku 5.16.

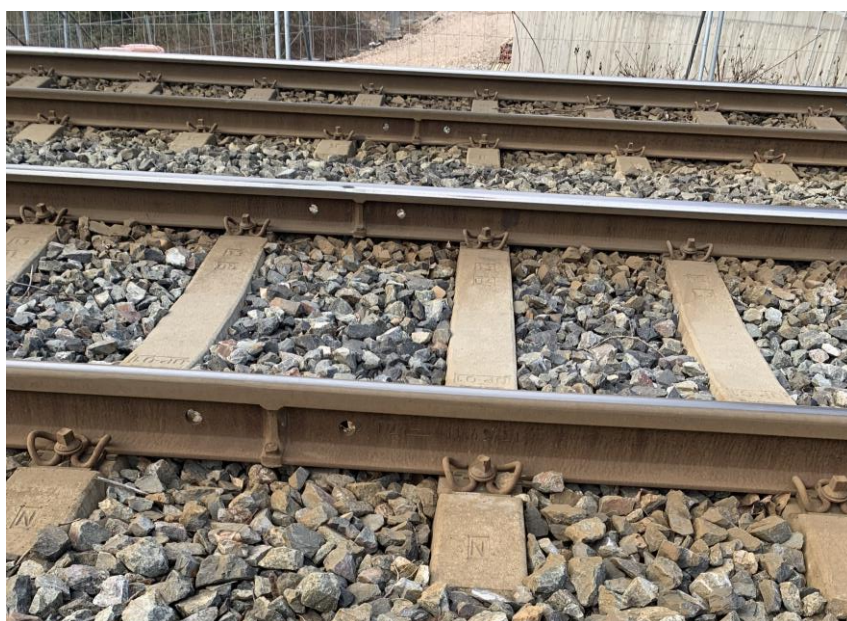


Obrázek 5.16: Pozice MPHC

Trať je v mírném náspu, přibližně 2 m oproti přilehlé bytové zástavbě. V blízkosti trati, konkrétně mezi tratí a bytovou zástavbou je hustá zeleň. Ke dni měření, tedy 3.3.2022 bylo již značná část zeleně vykácena a je zde postaven nový bytový dům.

Popis konstrukce trati

Svršek tramvajové trati je tvořen otevřeným kolejovým ložem s normálním rozchodem koleje 1435 mm. Konstrukce trati lze vidět na obrázku 5.17. Tramvajový svršek je tvořen širokopatní kolejnicí 49E1, která je kotvena na betonový pražec B 03-DP 01. Upevnění je zajištěno pomocí bezpodkladnicového pružného systému německé firmy Vossloh W 14. Kolejové lože je tvořeno štěrkem z drceného kameniva frakce 32/63, respektive 31,5/63. Technický stav trati se jeví jako dobrý, bez zjevných vad.



Obrázek 5.17: Železniční svršek

5.2. POPIS AKUSTICKÉHO MĚŘENÍ

Cílem měření bylo zaznamenání hlukové zátěže vyzařované tramvajovou dopravou ve dvou měřicích místech M1 a M2, kde bod M1 je ovlivněn účinností MPHC. Na základě těchto hodnot se následně určila účinnost clony.

Technické měření bylo realizováno ve dvou měřicích kampaních v souladu s ČSN EN ISO 3095 Akustika – Železniční aplikace – Měření hluku vyzařovaného

kolejovými vozidly. [19] První měření bylo provedeno 3.3.2022 a druhé 12.4.2022.

Podmínky měření

První měření proběhlo 3.3.2022 v časovém rozmezí 9:30 – 12:30. Klimatické podmínky byly vyhovující požadavkům ČSN ISO 1996-2 [50] Teplota vzduchu během měření se pohybovala v rozmezí od 0,2 do 10,9 °C. Obloha byla většinou zatažená. Relativní vlhkost vzduchu byla mezi 28,0 % ÷ 58 %. Atmosférický tlak se pohyboval okolo hodnoty 990 hPa. Vítr byl proměnlivý, dosahoval nárazové rychlosti až 3,0 m/s.

Druhé měření z 12.4.2022 probíhalo od 8:30 do 10:30. Klimatické podmínky byly vyhovující požadavkům ČSN ISO 1996 - 2 [50]. Teplota vzduchu během měření se pohybovala v rozmezí od 6,2 do 12,6 °C. Obloha byla jasná. Relativní vlhkost vzduchu byla mezi 38,0 % ÷ 70 %. Atmosférický tlak se pohyboval okolo hodnoty 990 hPa. Vítr byl mírný, dosahoval nárazové rychlosti maximálně 1,0 m/s.

Zdroj hluku

Měřeným zdrojem hluku byla pouze tramvajová doprava probíhající na předmětné trati s MPHC. Měření nebylo ovlivněno dopravou na okolní pozemní komunikaci z důvodu své lokality.

Vozový park použitý na dané tramvajové dráze se skládá z několika typů tramvají. Vůz Tatra T3R.P je čtyřnápravová tramvaj o délce 14 m. Vznikla modernizací mateřské tramvaje T3. Modernizace se nejvíce projevuje na skříni vozu a trakční výzbroji. Další použitý vůz je KT8D5.RN2P o délce 30 m. Tato tramvaj je rekonstrukcí starších článkových tramvají typu KT8D5, rekonstrukce spočívá v kompletní opravě kostry skříně. Skladba tramvaje T3R.P i KT8D5.RN2P jezdila ve dvou vozech. Ve vozovém parku nechybí ani nejnovější vozy Škoda 15T a Škoda 14T. Tramvaj 15T je modulární tříčlánkové nízkopodlažní vozidlo s otočnými podvozky o délce 30 m. Na rozdíl od 15T tramvaj 14T je pětičlánkové nízkopodlažní vozidlo se třemi neotočnými podvozky. Délka vozu je rovna 30 m. [64] [65]

Intenzita Dopravy

Během obou měření byl zaznamenávám počet projíždějících tramvají na dané trati včetně měření jejich rychlosti. Doprava byla sčítána pro oba směry, ale

předmětem měření a hodnocení jsou pouze tramvaje směřující do Kolbenovy ulice. V následujících tabulkách 5.11 a 5.12 je zobrazena intenzita tramvajové dopravy pro jednotlivé měřicí kampaně. Intenzita je rozdělena podle typu tramvajového vozidla.

Tabulka 5.11: Intenzita tramvajové dopravy dne 3.3.2022 v době měření

	Typy tramvají			
	KT8D5N.RN2P	T3R.P	15T	14T
Doba měření 9:30 - 12:30	15	0	0	0

Tabulka 5.12: Intenzita tramvajové dopravy dne 12.4.2022 v době měření

	Typy tramvají			
	KT8D5N.RN2P	T3R.P	15T	14T
Doba měření 8:30 - 10:30	0	5	6	1

Tramvaj typu 14T byla zaznamenána pouze jedna. Z důvodu malého množství vzorku nelze pro ten typ tramvaje dělat závěry, výsledky jsou jen pro ukázkou.

Zkušební metoda

Postup technického měření vycházel z ČSN EN ISO 3095 Akustika - Železniční aplikace – Měření hluku vyzařovaného kolejovými vozidly. Konkrétně se vycházelo ze zkoušky při konstantní rychlosti vozidla [19], ČSN ISO 1996 - 2 [50] a dle ČSN ISO 1996 - 1 [51].

Postup měření

Během měření byl zaznamenáván kontinuálně časový rozvoj ekvivalentních hladin akustického tlaku A , L_{Aeq} s časovou konstantou F (Fast) a vážený filtrem A s krokem záznamu 1 s. Měření probíhalo 3.3.2022 a 12.4.2022 po dobu 4 h, resp. 2 h. Před zahájením a po ukončení měření bylo provedeno ověření mikrofونů pomocí akustického kalibrátoru. Rozdíl mezi odečty byl menší než 0,1 dB. Postup pro obě měření byl totožný. Ověření mikrofону pomocí akustického kalibrátoru po ukončení měření je zachyceno na obrázku 5.18.



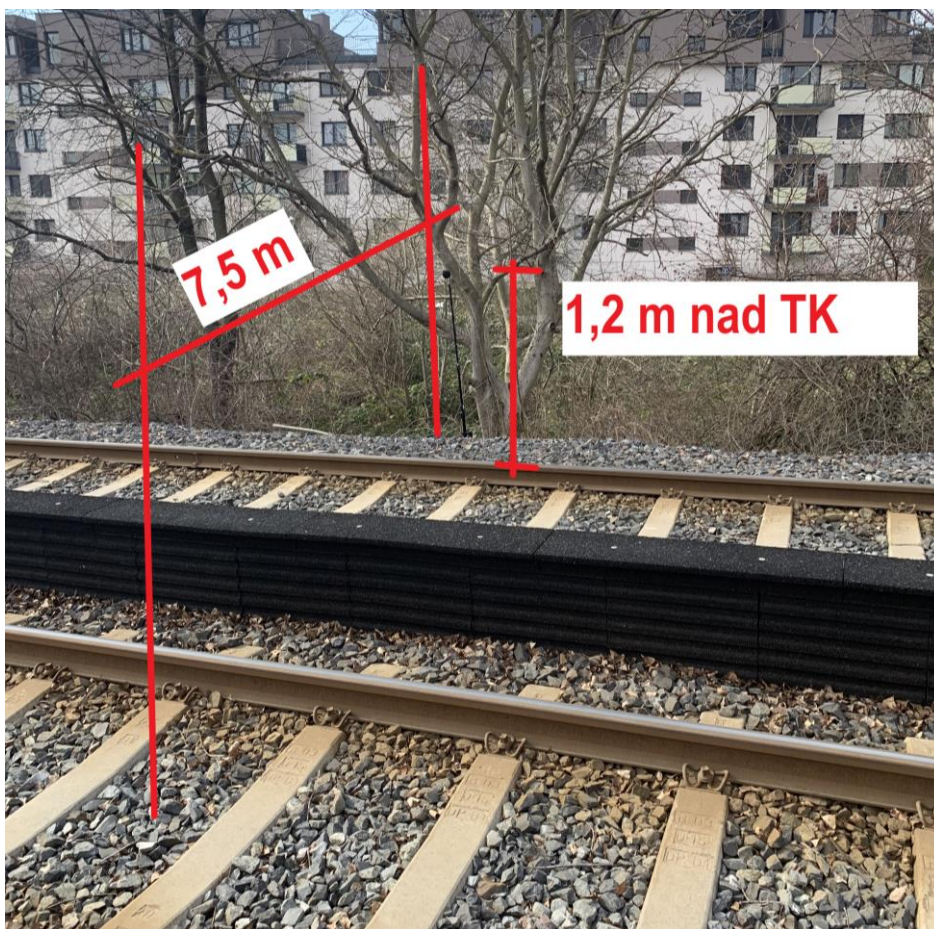
Obrázek 5.18: Ověření mikrofonu pomocí akustického kalibrátoru

Měření se provádělo na dvou místech zároveň, které jsou zobrazeny na obrázku 5.19. První místo M1 zaznamenávalo hlukovou zátěž od tramvajové dopravy s účinkem MPHČ. Druhé místo bylo umístěno mimo clonu a byla měřena pouze hluková emise od tramvaje bez účinku MPHČ. Poloha míst korespondovala s měřicí kampaní, která byla realizována již v roce 2019 Katedrou železničních staveb, fakulty stavební ČVUT v Praze.

Obě místa pro měření byla vybrána v souladu s normou ČSN EN ISO 3095 [19], vycházející ze zkoušky při konstantní rychlosti, tedy ve vzdálenosti 7,5 m od osy koleje ve výšce 1,2 m nad temenem kolejnice. Na obrázku 5.21 je zobrazeno měřící místo M1 se schematicky zakreslenými vzdálenostmi.



Obrázek 5.19: Schéma polohy měřicích míst [56]



Obrázek 5.21: Měřicí místo M1

Mikrofony byly upevněny na stativu a propojeny se zvukoměry mikrofonními kabelem. Osa citlivosti mikrofону byla nasměrována kolmo k ose tramvajové trati. Na mikrofону byl použit kryt proti povětrnostním vlivům. Během měření nebyl v blízkosti mikrofónů nikdo přítomen, tudíž nedošlo k ovlivnění výsledků z důvodu přítomnosti osob.

Během měření nedošlo k žádným problémům na měřicí technice a klimatické podmínky plně odpovídaly požadavkům metodických pokynů ČSN ISO 1996 - 2 [50].

Celková rozšířená nejistota měření je stanovena $u = \pm 2,0\text{dB}$. Tato hodnota je součinem standartní nejistoty měření a koeficientu rozšíření $k = 2$.

Použité přístroje

Pro měření byla použita následující měřicí aparatura:

- přesný integrující ruční zvukoměr Brüel & Kjaer 2250 L vč. 2654639 s měřicím mikrofónem Brüel & Kjaer 4950 vč. 2879842,
- přesný integrující ruční zvukoměr Brüel & Kjaer 2270 vč. 3000925 s měřicím mikrofónem Brüel & Kjaer 4189 vč. 2785058,
- akustický kalibrátor Brüel & Kjaer 4230 vč. 1026612,
- temperature humidity logger, Typ: S3121,
- anemometr 5000, Typ: AN1 V14,
- barometr GTD 1100,
- bushnell Velocity Speed Gun,
- laserový dálkoměr HILTI,
- ochranný kryt proti větru Brüel & Kjaer UA 0459,
- stativ kovový 2x,

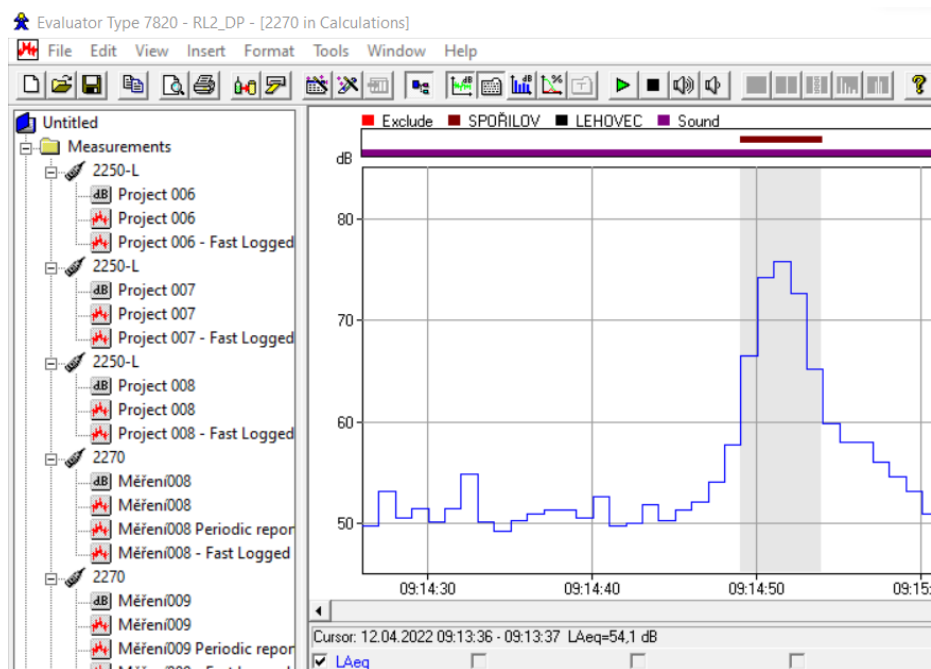
Na obrázku 5.22 je zobrazen integrující ruční zvukoměr Brüel & Kjaer 2270.



Obrázek 5.22: Ruční zvukoměr Brüel & Kjaer 2270

5.2.1. Postup hodnocení

Vyhodnocení se provádělo v programu Brüel & Kjaer Type 7820 Evaluator. V Evaluatoru se pracovalo se záznamy ekvivalentních hladin akustického tlaku A , $L_{Aeq,T}$. Do záznamu se za pomoci poznámek vytvořených při měření a zvukového záznamu vyznačili jednotlivé průjezdy vozidel. Vyznačený průjezd lze vidět na obrázku 5.23. Průjezd se volil tak, aby hodnota $L_{Aeq,T}$ na konci a na začátku průjezdu klesla přibližně o 10 dB pod maximální hladinu. Celková doba projetí vozu se pohybovala v rozmezí 4 – 6 s. Délka hodnocení průjezdu tramvaje byla v obou místech M1 a M2 vždy stejná. Pro takto zvolený průjezd byla za pomoci již zmíněného programu vygenerována hladina expozice zvuku A , L_{AE} , které znázorňuje celkovou akustickou energii daného projetí vozu.



Obrázek 5.23: Vyznačený průjezd v programu Brüel & Kjær Type 7820 Evaluator

5.3. VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Výsledkem měření je hladina expozice zvuku A, L_{AE} a hladina akustického tlaku A, $L_{Aeq,T}$ pro zvolený průjezd. Dále bylo podrobena zkoumání třetinooktávové frekvenční spektrum v rozsahu 20 Hz – 16 kHz pro daný typ tramvaje.

V následující tabulce 5.13 jsou zobrazeny jednotlivé průjezdy tramvajů s naměřenou rychlostí ze dne 3.3.2022. Průjezdy jsou uvedeny včetně vygenerované hodnoty $L_{Aeq,T}$, L_{AE} , rychlosti a typu tramvaje. Obdobně tomu je v tabulce 5.14, která znázorňuje měření ze dne 12.4.2022. Hodnoty hladiny L_{Aeq} , resp. L_{AE} dosahovaly v měřicím bodě M1 menších hodnot než v měřicím bodě M2. Důvodem je, že v poloze bodu M1 byly zaznamenávány hodnoty s účinkem MPHIC, měřicí bod M2 byl zvolen mimo účinek MPHIC.

Tabulka 5.13: Jednotlivé průjezdy ze dne 3.3.2022

M1							M2				
Směr	Čas	Délka [s]	Rychlost [m/s]	Typ tramvaje	L_{Aeq} [dB]	L_{AE} [dB]	Čas	Délka [s]	Typ tramvaje	L_{Aeq} [dB]	L_{AE} [dB]
KOLBENOVA	9:50	5	40	KT8D5N.RN2P	68	75	9:50	5	KT8D5N.RN2P	73,2	80,2
KOLBENOVA	10:00	5	37	KT8D5N.RN2P	64,7	71,7	10:00	5	KT8D5N.RN2P	71,4	78,3
KOLBENOVA	10:10	5	32	KT8D5N.RN2P	63,4	70,4	10:10	5	KT8D5N.RN2P	68,9	75,9
KOLBENOVA	10:20	5	40	KT8D5N.RN2P	67,4	74,4	10:20	5	KT8D5N.RN2P	73,7	80,7
KOLBENOVA	10:31	6	30	KT8D5N.RN2P	62,7	70,5	10:31	6	KT8D5N.RN2P	66,7	74,5
KOLBENOVA	10:40	4	38	KT8D5N.RN2P	65,5	71,5	10:40	4	KT8D5N.RN2P	72,3	78,3
KOLBENOVA	10:50	5	42	KT8D5N.RN2P	69,1	76,1	10:50	5	KT8D5N.RN2P	72,3	79,3
KOLBENOVA	11:01	6	29	KT8D5N.RN2P	61,5	69,2	11:01	6	KT8D5N.RN2P	67	74,7
KOLBENOVA	11:10	5	35	KT8D5N.RN2P	63,1	70,1	11:10	5	KT8D5N.RN2P	69,7	76,7
KOLBENOVA	11:21	6	32	KT8D5N.RN2P	62,8	70,6	11:21	6	KT8D5N.RN2P	67,5	75,3
KOLBENOVA	11:31	5	38	KT8D5N.RN2P	67,2	74,2	11:31	5	KT8D5N.RN2P	72,8	79,8
KOLBENOVA	11:40	5	40	KT8D5N.RN2P	67	74	11:40	5	KT8D5N.RN2P	72,2	79,2
KOLBENOVA	11:51	5	42	KT8D5N.RN2P	66,6	73,6	11:51	5	KT8D5N.RN2P	72	79
KOLBENOVA	12:01	6	36	KT8D5N.RN2P	66,1	73,9	12:01	6	KT8D5N.RN2P	69,4	77,2
KOLBENOVA	12:10	6	42	KT8D5N.RN2P	66,5	74,3	12:10	6	KT8D5N.RN2P	71,3	79,1

Tabulka 5.14: Jednotlivé průjezdy ze dne 12.4.2022

M1							M2				
Směr	Čas	Délka [s]	Rychlost [m/s]	Typ tramvaje	L_{Aeq} [dB]	L_{AE} [dB]	Čas	Délka [s]	Typ tramvaje	L_{Aeq} [dB]	L_{AE} [dB]
KOLBENOVA	7:44	4	30	T3R.P	67,7	73,8	7:44	4	T3R.P	72,5	78,5
KOLBENOVA	7:55	4	35	T3R.P	69,8	75,8	7:55	4	T3R.P	72,4	78,4
KOLBENOVA	8:04	5	25	15T	61,7	68,7	8:04	5	15T	66,2	73,2
KOLBENOVA	8:07	5	33	T3R.P	66,2	73,2	8:07	5	T3R.P	71,1	78,1
KOLBENOVA	8:14	5	41	15T	65,6	72,6	8:14	5	15T	71,1	78,1
KOLBENOVA	8:24	4	40	T3R.P	68,5	74,6	8:24	4	T3R.P	73,1	79,1
KOLBENOVA	8:34	5	38	15T	65,4	72,4	8:34	5	15T	70,4	77,4
KOLBENOVA	8:44	5	40	15T	68	75	8:44	5	15T	74,7	81,7
KOLBENOVA	8:47	5	38	T3R.P	67	74	8:47	5	T3R.P	72,2	79,2
KOLBENOVA	8:54	6	39	15T	65,1	72,9	8:54	6	15T	70,8	78,6
KOLBENOVA	9:04	5	38	15T	65	72	9:05	5	15T	69,7	76,7
KOLBENOVA	9:14	5	40	14T	65,9	72,8	9:14	5	14T	72,5	79,5

Následně byly pomocí vztahu 1.16 vypočteny průměrné hladiny ekvivalentní hladiny akustického tlaku A , $L_{Aeq,T}$ a expozice zvuku A , L_{AE} . Průměrné hladiny v rámci zvolených kategorií byly vypočteny pro jednotlivé typy tramvají, měřicí dny a celkově pro daný úsek. Tyto hodnoty jsou zaznamenány v následujících tabulkách 5.15 – 5.21.

Z tabulek rozdílů průměrných hladin měřených v bodech M1 a M2 je vidět útlum v důsledku účinnosti clony v rozmezí 4,3 dB – 6,7 dB. Rozdíly vycházejí z technického řešení jednotlivých tramvají. Nejmenší útlum byl zjištěn u tramvaje T3R.P, naopak největší u tramvaje 14T. Tato hodnota je ale zkreslena z důvodu malého vzorku dat.

Tabulka 5.15: Rozdíly průměrné hladiny pro měřicí den 3.3.2022 a zároveň pro typ KT8D5N.RN2P

KT8D5N.RN2P - 03.03.2022		
	L_{Aeq} [dB]	L_{AE} [dB]
M2 - MIMO MPHC	71,2	78,3
M1 - MPHC	66,0	73,1
rozdíl	5,2	5,2

Tabulka 5.16: Rozdíly průměrné hladiny pro typ T3R.P ze dne 12.4.2022

T3R.P-12.4.2022		
	L_{Aeq} [dB]	L_{AE} [dB]
M2 - MIMO MPHC	72,3	78,7
M1 - MPHC	68,0	74,4
rozdíl	4,3	4,3

Tabulka 5.17: Rozdíly průměrné hladiny pro typ 15T ze dne 12.4.2022

15T-12.4.2022		
	L_{Aeq} [dB]	L_{AE} [dB]
M2 - MIMO MPHC	71,2	78,3
M1 - MPHC	65,5	72,6
rozdíl	5,7	5,7

Tabulka 5.18: Rozdíly průměrné hladiny pro typ 14T ze dne 12.4.2022

14T-12.4.2022		
	L_{Aeq} [dB]	L_{AE} [dB]
M2 - MIMO MPHC	72,5	79,5
M1 - MPHC	65,9	72,8
rozdíl	6,6	6,7

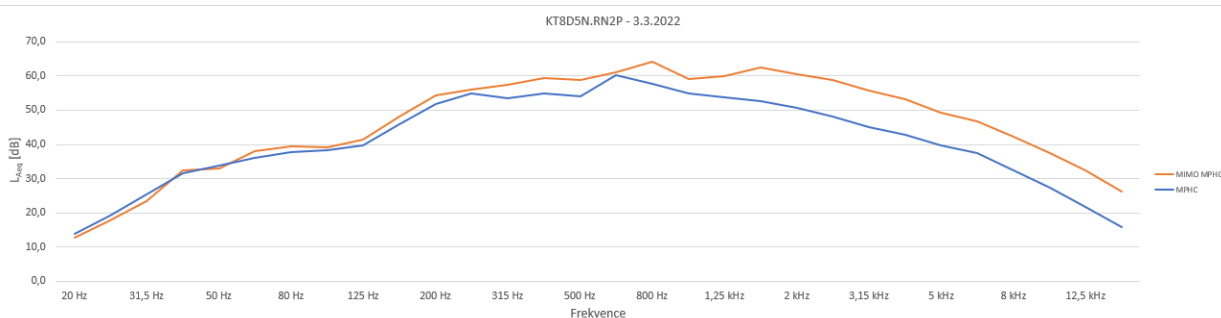
Tabulka 5.19: Rozdíly průměrné hladiny pro měřicí den 12.4.2022

12.04.2022		
	L_{Aeq} [dB]	L_{AE} [dB]
M2 - MIMO MPHC	71,8	78,6
M1 - MPHC	66,8	73,5
rozdíl	5,0	5,1

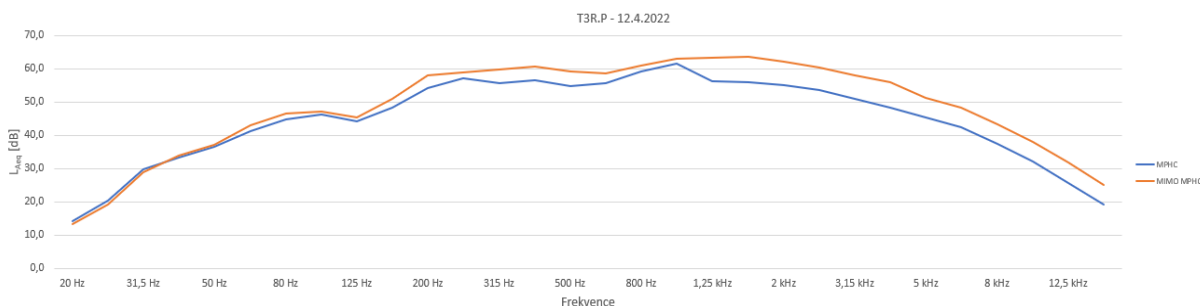
Tabulka 5.21: Rozdíly průměrné hladiny prodaný úsek, vypočtené z měřících dnů 3.3.2022 a 12.4.2022

celkem		
	L_{Aeq} [dB]	L_{AE} [dB]
M2 - MIMO MPHC	71,5	78,4
M1 - MPHC	66,4	73,3
rozdíl	5,1	5,2

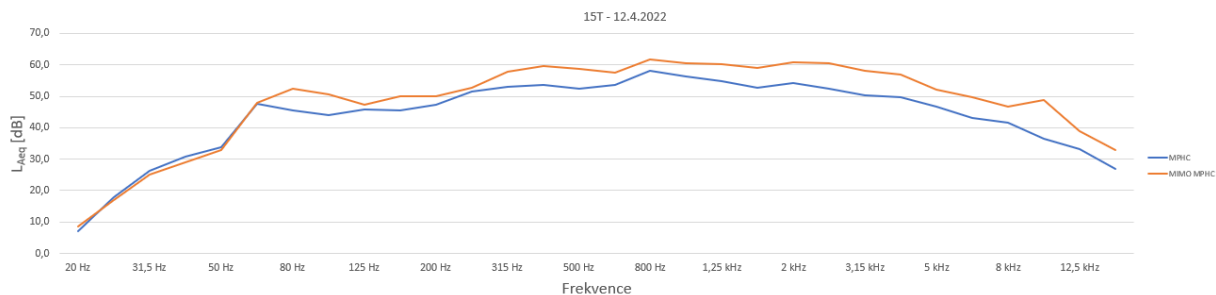
V následujících obrázcích 5.24 – 5.27 jsou zobrazena třetinooktávová frekvenční spektra pro jednotlivé typy tramvají. Účinnost je pro všechny typy tramvají obdobná. Přibližně do střední frekvence 1 kHz je útlum malý několik dB, od této frekvence útlum narůstá do hodnot v rozsahu 4 dB – 11 dB v závislosti na typu tramvaje. Výjimku tvoří tramvaj 15T, u které je rozdíl patrný už od střední frekvence 315 Hz. Největší útlum nastává po vyloučení tramvaje 14T u tramvaje 15T. Nejnižší útlum je opět u tramvaje T3R.P. Rozdíly opět vychází z technického řešení jednotlivých tramvají.



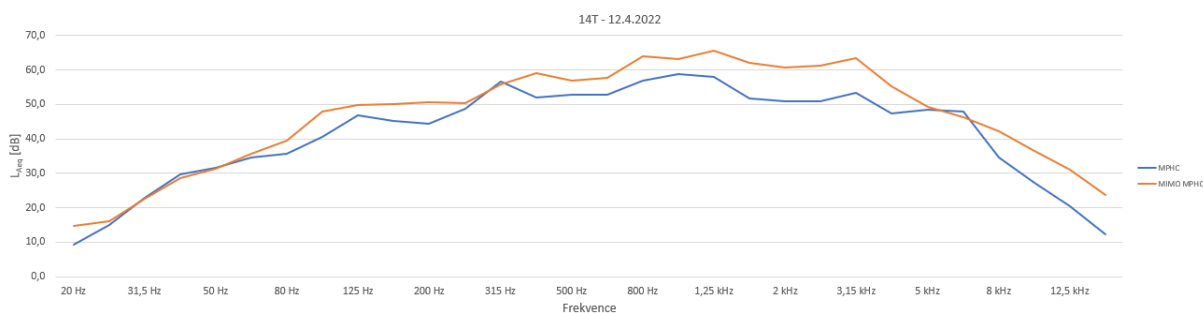
Obrázek 5.24: Frekvenční spektrum pro tramvaj KT8D5N.RN2P ze dne 3.3.2022



Obrázek 5.25: Frekvenční spektrum pro tramvaj T3R.P ze dne 12.4.2022



Obrázek 5.26: Frekvenční spektrum pro tramvaj 15T ze dne 12.4.2022



Obrázek 5.27: Frekvenční spektrum pro tramvaj typu 14T ze dne 12.4.2022

5.4. POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ

Pro určení akustické stálosti MPHC je nutné naměřená data porovnat se staršími daty. Pro tento účel byla použita data z měření pracovníky Katedry železničních staveb, Fakulty stavební ČVUT v Praze, které proběhlo 30.3.2019.

Měření proběhlo na identických místech za stejného postupu.

Během měření nedošlo k žádným problémům na měřicí technice a klimatické podmínky plně odpovídaly požadavkům ČSN ISO 1996 - 2 [50].

Data byla poskytnuta ve formě záznamu jednotlivých průjezdů, které jsou zobrazeny v následující tabulce 5.22. Hodnoty hladiny L_{Aeq} , resp. L_{AE} opět dosahovaly v měřicím bodě M1 menších hodnot než v měřicím bodě M2. Důvodem je, že v poloze bodu M1 byly zaznamenávány hodnoty s účinkem MPHC, měřicí bod M2 byl zvolen mimo účinek MPHC.

Tabulka 5.22: Jednotlivé průjezdy ze dne 30.3.2019

Směr	M1						M2				
	Čas	Délka [s]	Rychlost [m/s]	Typ tramvaje	L_{Aeq} [dB]	L_{AE} [dB]	Čas	Délka [s]	Typ tramvaje	L_{Aeq} [dB]	L_{AE} [dB]
KOLBENOVA	7:48	4	34	KT8D5N.RN2P	73,3	79,3	7:48	4	KT8D5N.RN2P	67,8	73,9
KOLBENOVA	8:03	5	32	KT8D5N.RN2P	70,2	77,2	8:03	5	KT8D5N.RN2P	63,6	70,5
KOLBENOVA	8:08	5	36	T3SU	74,9	81,9	8:08	5	T3SU	72,1	79,1
KOLBENOVA	8:11	4	50	T3SU	71,8	77,8	8:11	4	T3SU	68,8	74,8
KOLBENOVA	8:14	4	54	T3SU	72,4	78,4	8:14	4	T3SU	68,9	74,9
KOLBENOVA	8:14	4	51	T3SU	71,5	77,5	8:14	4	T3SU	67,9	73,9
KOLBENOVA	8:18	6	38	KT8D5N.RN2P	74,1	81,9	8:18	6	KT8D5N.RN2P	69,1	76,9
KOLBENOVA	8:22	6	41	T3SU	73	80,8	8:22	6	T3SU	69,9	77,7
KOLBENOVA	8:23	4	52	T3SU	72,4	78,4	8:23	4	T3SU	68,7	74,8
KOLBENOVA	8:23	5	46	T3SU	69,3	76,3	8:23	5	T3SU	67,3	74,3
KOLBENOVA	8:24	4	52	T3SU	72,8	78,8	8:24	4	T3SU	68,5	74,5
KOLBENOVA	8:25	4	43	T3SU	71,1	77,1	8:25	4	T3SU	67,6	73,6
KOLBENOVA	8:26	4	54	T3SU	72,3	78,3	8:26	4	T3SU	68,5	74,5
KOLBENOVA	8:28	4	54	T3SU	72,4	78,4	8:28	4	T3SU	68,6	74,6
KOLBENOVA	8:29	5	35	T3SU	67,4	74,4	8:29	5	T3SU	66,6	73,5
KOLBENOVA	8:34	5	33	KT8D5N.RN2P	73,3	80,3	8:34	5	KT8D5N.RN2P	69,7	76,7
KOLBENOVA	8:35	4	51	T3SU	70,3	76,3	8:35	4	T3SU	67,8	73,9
KOLBENOVA	8:36	4		T3SU	71,1	77,1	8:36	4	T3SU	66,7	72,7
KOLBENOVA	8:37	4	51	T3SU	69,8	75,8	8:37	4	T3SU	67,1	73,1
KOLBENOVA	8:38	5	32	T3SU	68,5	75,5	8:38	5	T3SU	66,4	73,4
KOLBENOVA	8:39	4	48	T3SU	71,5	77,5	8:39	4	T3SU	67,9	73,9
KOLBENOVA	8:39	4	49	T3SU	71,3	77,3	8:39	4	T3SU	69,2	75,2
KOLBENOVA	8:40	4	49	T3SU	71,4	77,4	8:40	4	T3SU	67,7	73,8
KOLBENOVA	8:41	5		T3SU	67,5	74,5	8:41	5	T3SU	63,3	70,3
KOLBENOVA	8:42	4	49	T3SU	71,7	77,7	8:42	4	T3SU	68,3	74,3
KOLBENOVA	8:43	5	32	T3SU	69,7	76,7	8:43	5	T3SU	64,2	71,2
KOLBENOVA	8:43	4	50	T3SU	71,6	77,6	8:43	4	T3SU	67,7	73,7
KOLBENOVA	8:44	6	30	T3SU	66,5	74,3	8:44	6	T3SU	63,7	71,5
KOLBENOVA	8:49	5	31	KT8D5N.RN2P	75	82	8:49	5	KT8D5N.RN2P	69	76
KOLBENOVA	8:50	4	48	T3SU	71,6	77,6	8:50	4	T3SU	69,3	75,3

Během měření bylo zaznamenáno celkem 30 průjezdů, z toho 25x se jednalo o tramvaj T3SU a 5x o KT8D5N.RN2P. Tramvaj T3SU byla referenční, měřeným úsekem jezdila rychlostí 50 ± 4 km/h, doplněna byla tramvaj KT8D5N.RN2P, která jezdila v rámci linky.

Pro tabulku 5.20 byly následně pomocí vzorce 1.16 vypočítány průměrné hodnoty pro daný typ tramvaje. Průměrné hodnoty jsou určeny pro tramvaj KT8D5N.RN2P, tramvaj T3SU a pro celou měřicí kampaň bez ohledu na typ tramvaje. Tyto hodnoty jsou vypsány v tabulkách 5.23 – 5.25. Útlum z důvodu účinnosti clony je pro tramvaj T3SU roven 3,3 dB. Pro tramvaj KT8D5N.RN2P je rozdíl hladin o poznání větší, 5,2 dB. Hodnoty pro celou měřicí kampaň jsou stejné jako pro tramvaj T3SU z důvodu výrazně většího počtu tramvaj T3SU.

Tabulka 5.23: Rozdíl průměrné hladiny pro typ T3SU ze dne 30.3.2019

T3SU - 30.3.2019		
	L_{Aeq} [dB]	L_{AE} [dB]
M2 - MIMO MPHC	71,3	77,7
M1 - MPHC	68,1	74,5
rozdíl	3,3	3,2

Tabulka 5.24: Rozdíl průměrné hladiny pro typ KT8D5N.RN2P ze dne 30.3.2019

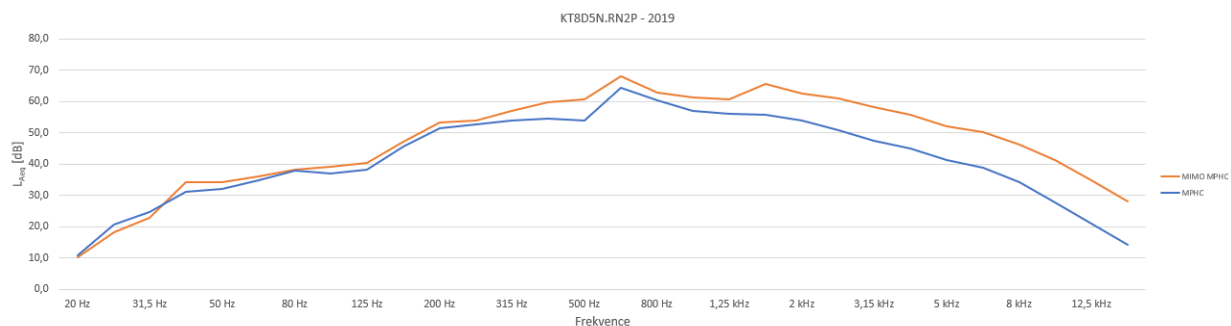
KT8D5N.RN2P - 30.3.2019		
	L_{Aeq} [dB]	L_{AE} [dB]
M2 - MIMO MPHC	73,4	80,5
M1 - MPHC	68,3	75,3
rozdíl	5,2	5,1

Tabulka 5.25: Rozdíl průměrné hladiny pro měřicí kampaň 30.3.2019

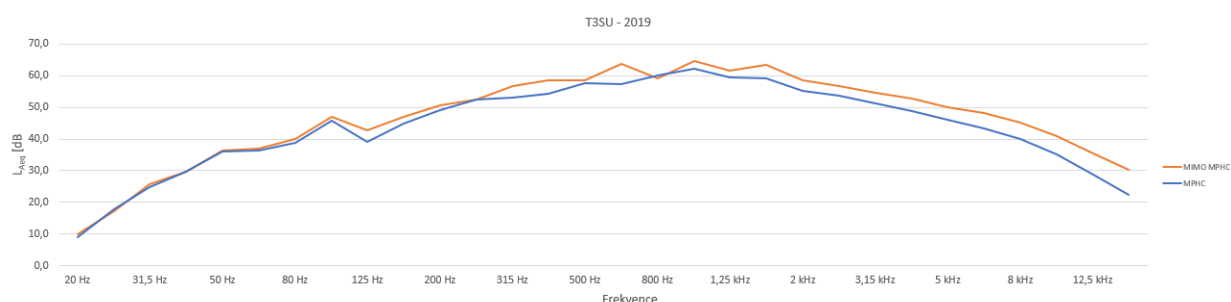
30.03.2019		
	L_{Aeq} [dB]	L_{AE} [dB]
M2 - MIMO MPHC	71,8	78,3
M1 - MPHC	68,5	75,1
rozdíl	3,3	3,2

Součástí vyhodnocení bylo i porovnání třetinooktávového frekvenčního spektra tramvají KT8D5N.RN2P a T3SU, které je zobrazeno na obrázku 5.28 a 5.29.

Na obrázku 5.28 je vidět, že v rozsahu největší citlivosti lidského ucha, tedy 1 kHz - 5 kHz je útlum přibližně v rozmezí 5 dB – 10 dB. Naopak na obrázku 5.29 je útlum hluku daleko nižší, dosahuje hodnot maximálně 5 dB. Nižší útlum je dán konstrukcí vozové skříně u tramvaje T3SU. Šířka vozové skříně se směrem dolů od podlahy zmenšuje.



Obrázek 5.28: Frekvenční spektrum pro tramvaj KT8D5N.RN2P ze dne 30.3.2019



Obrázek 5.29: Frekvenční spektrum pro tramvaj typu T3SU ze dne 30.3.2019

Vzhledem k tomu, že v roce 2019 byla použita referenční tramvaj T3SU, která byla doplněna pouze o tramvaj KT8D5N.RN2P. Porovnání dat lze provést pouze pro tramvaj KT8D5N.RN2P ze dne 30.3.2019 a 3.3.2022. Tramvaj T3SU a novější typ T3R.P nejsou vzájemně porovnány z důvodů odlišností zejména u pohonných jednotek. Pro porovnání ostatních typů tramvají není dostatek dat. V tabulce 5.26 je znázorněn rozdíl hladin mezi měřícími místy M1 a M2 pro danou tramvaj.

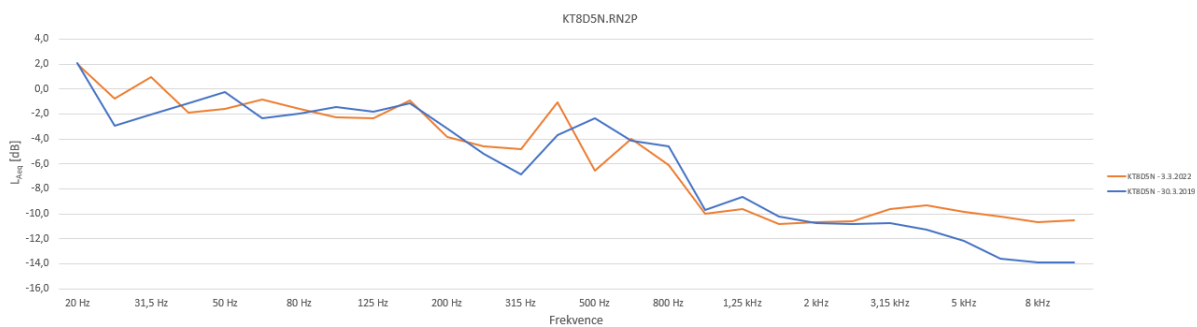
Tabulka 5.26: Rozdíl hladin pro tramvaj KT8D5N.RN2P

KT8D5N.RN2P	30.03.2019	03.03.2022
rozdíl L_{AE} [dB]	5,1	5,2
rozdíl L_{Aeq} [dB]	5,2	5,2

Z tabulky 5.26 je zřejmé, že útlum clony po třech letech je totožný. Rozdíl 0,1 dB u hladiny expozice zvuku A, L_{AE} je při nejistotě měření ± 2 dB zcela zanedbatelný. Tudíž lze clonu po čtyřech letech působení prohlásit za akusticky stálou.

Pro lepší představivost byl vypracován obrázek 5.31, na kterém jsou zobrazeny rozdíly útlumu účinkem clony pro jednotlivá pásma frekvence.

Účinnost obou měření je až do přibližně střední frekvence třetinooktávového pásma 4 kHz obdobná, největší rozdíl nastává od střední frekvence 4 kHz. Od této střední frekvence se rozdíl účinnosti clony přibližuje hodnotě 4 dB.



Obrázek 5.3 1: Vyjádření rozdílu účinnosti MPHC pro jednotlivé frekvence

6. ZÁVĚR

Rešeršní práce na téma nízké protihlukové clony poukazuje na snahu o rychlý vývoj různých řešení NPC. Tato řešení se od sebe liší materiálovým, ale i konstrukčním řešením. To má za následek odlišné účinnosti útlumu hluku a s tím spojené různé výhody a nevýhody daných typů clon.

Zdaleka ne všechna řešení NPC se v dnešní době využívá, stále jsou upřednostňovány klasické vysoké PHS. Na příklad společnost BRENS EUROPE po úspěšném odzkoušení prefabrikátů NPC BRENS BARRIER v Praze-Hlubočepy a v Tetčicích u Brna, nedostala potřebný zájem pro použití clony ze strany SŽ. Pro nezájem byl tento projekt NPC ze strany výrobce zastaven a nyní se soustředí pouze na kolejové absorbéry.

Praktická část se zaměřuje na analýzu účinnosti městské protihlukové clony v lokalitě Praha Hloubětín. Celkově byla uskutečněna dvě měření, výsledky se porovnávají s daty z předchozího měření z roku 2019. Měření bylo provedeno pracovníky Katedry železničních staveb, Fakulty stavební ČVUT v Praze v roce 2019.

Na základě porovnání výsledků provedených měření včetně nejistoty měření lze MPHC po necelých 4 letech užívání prohlásit za akusticky stálou. Účinnost clony se pohybuje v rozmezí 3,2 dB – 5,7 dB v závislosti na složení kolejové dopravy. Při měření nebyly zaznamenány žádné povrchové vady na cloně, tím pádem lze clonu prohlásit i za konstrukčně stálou. Vyhodnocení dat pro jednotlivé typy tramvají přineslo výrazné odchylky v účinnosti clony. Nejnižší útlum v důsledku účinnosti MPHC byl zaznamenán u tramvaje typu T3SU 3,2 dB. Naopak nejvyšší u tramvaje typu 15T 5,7 dB, po zanedbání tramvaje typu 14T z důvodu malého vzorku dat. Tento rozdíl v účinnostech clon pro zmíněné typy tramvají je dán konstrukcí vozu. Tramvaj typu T3 a její modernizace mají v dolní část podvozku zakulacení, šířka skříně je od podlahy vozu směrem dolů menší. Tím pádem je větší mezera mezi clonou a tramvají typu T3 než u ostatních typů tramvají a je víc místa pro únik hluku.

Účinnost clony je tedy pro moderní typy tramvají účinnější než pro starší, po vyřazení starších typů tramvají by se tedy měla akustická situace při použití MPHC zlepšit.

7. LITERATURA

- [1] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES ze dne 25. června 2002 o hodnocení a řízení hluku ve venkovním prostředí
- [2] Data and statistics. *WHO Regional Office for Europe* [online]. [Cit.: 15.3.2022]. Dostupné z: <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/data-and-statistics>
- [3] Analýza výsledků strategických hlukových map [online]. *JUDr. Michal Bernard, Ekologický právní servis*. [Cit.: 15.3.2022]. Dostupné z: https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Faa.ecn.cz%2Fimg_upload%2Fa6ff2d4939ff74268dd80e1c2102b42%2Fanaliza.doc&wdOrigin=BROWSELINK
- [4] Nový, R.: Hluk a chvění. Praha: ČVUT v Praze, 2019. ISBN: 978-80-01-06554-9
- [5] István, L. Vér, Leo L. Beranek: Noise and Vibration Control Engineering: Principles and Applications, Second edition. ISBN: 9780470172568. Dostupné z: http://health.sbmu.ac.ir/uploads/22_1949_1448281115536_1.pdf
- [6] Mechanické kmitání [přednáška]. Praha: ČVUT v Praze. [Cit.: 17.3.2022]. Dostupné z: http://webfyzika.fsv.cvut.cz/PDF/prednasky/vlneni_mechanika.pdf
- [7] Piškula, J.: Decibely, Watty a jiné zapeklité pojmy [online]. [Cit.: 17.3.2022]. Dostupné z: <https://www.tvfreak.cz/decibely-watty-a-jine-zapeklite-pojmy/3855-2>
- [8] Environmental noise guidelines for the European Region. *WHO Regional Office for Europe*. ISBN: 978 92 890 5356 3. [Cit.: 25.3.2022]. Dostupné z: https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0008/383921/noise-guidelines-eng.pdf
- [9] Nepříznivé účinky hluku na člověka. Ministerstvo zdravotnictví České republiky [online]. [Cit.: 25.3.2022]. Dostupné z: <https://www.mzcr.cz/nepriznive-ucinky-hluku-na-cloveka/>
- [10] Thomas Münzel, Frank P. Schmidt, Sebastian Steven, Johannes Herzog, Andreas Daiber, Mette Sørensen,,: Environmental Noise and the Cardiovascular System. *Journal of the American College of Cardiology*, 2018. ISSN: 0735-1097. [Cit.: 25.3.2022]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0735109717419309#bib4>
- [11] Babisch W, Ising H, Gallacher J.E.J.: Health status as a potential effect modifier of the relation between noise annoyance and incidence of ischaemic heart disease. *Occupational and Environmental Medicine* 2003. [Cit.: 25.3.2022]. Dostupné z: <https://oem.bmj.com/content/60/10/739>
- [12] D. Vienneau, C. Schindler, L. Perez, N. Probst-Hensch, M. Roosli: The relationship between transportation noise exposure and ischemic heart disease: A meta-analysis, *Environmental Research*, 2015, ISSN 0013-9351.

- [Cit.: 25.3.2022]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935115000572>
- [13] A. Seidler, M. Wagner, M. Schubert, *et al.*: Aircraft, road and railway traffic noise as risk factors for heart failure and hypertensive heart disease: a case-control study based on secondary data, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2016. ISSN 1438-4639. [Cit.: 25.3.2022]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1438463916301924>
- [14] S.A. Stansfeld: Noise effects on health in the context of air pollution exposure, 2015. [Cit.: 25.3.2022]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4626997/>
- [15] Health risks caused by environmental noise in Europe. *European Environment Agency* [online]. [Cit.: 25.3.2022]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/publications/health-risks-caused-by-environmental>
- [16] D. Halperin: Environmental noise and sleep disturbances: A threat to health? 2014. [Cit.: 25.3.2022]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/272392107_Environmental_noise_and_sleep_disturbances_A_threat_to_health
- [17] Zdravotní účinky hluku. Národní zdravotnický informační portál [online]. Praha: Ministerstvo zdravotnictví ČR a Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR, 2022. [Cit.: 25.3.2022]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/clanek/1045-zdravotni-ucinky-hluku>
- [18] Metodický návod pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí. Věstník Ministerstva zdravotnictví ČR, částka 11, 2017. Dostupný z: <http://hluk.nrl.cz/Content/files/Metodicke-navody/Metodicky-navod-nrl.pdf>
- [19] ČSN EN ISO 3095 Akustika – Železniční aplikace – Měření hluku vyzařovaného kolejovými vozidly. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [20] Neubergová, K.: Problematika hluku ze železniční dopravy. Časopis stavebnictví číslo 10/2011. [Cit.: 28.3.2022]. Dostupné z: https://www.vlaky.net/upload/images/reports/006734/Stavebnictvi-problematika_hluku.pdf
- [21] Smutný, J., Tomandl, V., Pazdera, L., Vukušič, I., Krautová, E.: Posouzení účinnosti nízké protihlukové clony BRENS BARRIER. Vědeckotechnický sborník ČD č. 38/24. [Cit.: 28.3.2022]. Dostupné z: <https://vts.cd.cz/documents/168518/195444/3809.pdf/2b893044-b223-4a4c-844b-31d5838fe025>
- [22] J. Luis Bento Coelho, D. Alarcao: On railway noise modelling – an approach to the European interim method. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2008. [Cit.: 28.3.2022]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/5326115_On_railway_noise_modelling_-_an_approach_to_the_european_interim_method

- [23] Proces výměny brzdových špalíků byl zahájen. ČD Cargo a.s. [online]. [Cit.: 28.3.2022]. Dostupné z: https://www.cdcargo.cz/cs_CZ/home/-/asset_publisher/9UCZA9soM9d6/content/proces-vymeny-brzdovych-spaliku-byl-zahajen?inheritRedirect=false&redirect=https%3A%2F%2Fwww.cdcargo.cz%2Fcs_CZ%2Fhome%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_9UCZA9soM9d6%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-3%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D2%26_101_INSTANCE_9UCZA9soM9d6_advancedSearch%3Dfalse%26_101_INSTANCE_9UCZA9soM9d6_keywords%3D%26_101_INSTANCE_9UCZA9soM9d6_delta%3D5%26p_r_p_564233524_resetCur%3Dfalse%26_101_INSTANCE_9UCZA9soM9d6_cur%3D17%26_101_INSTANCE_9UCZA9soM9d6_andOperator%3Dtrue
- [24] S. Grubeša, M. Suhanek: Traffic Noise. Noise Pollution, 2020. [Cit.: 31.3.2022]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/342379310_Traffic_Noise
- [25] SCOSSA-ROMANO, E., OERTLI, J.: Kolejnicové absorbéry, akustické broušení kolejnic a nízké protihlukové clony, Zpráva o technickém stavu. Schweizerische Bundesbahnen SBB, Bern, 2012. [Cit.: 31.3.2022]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/6485084-Kolejnicove-absorbery-akusticke-brouseni-kolejnic-a-nizke-protihlukove-clony-zprava-o-technickem-stavu.html>
- [26] SOFIS GRANT: Akční plán opatření na hlavních železničních tratích České republiky (II. fáze), Závěrečná zpráva po veřejném projednání. V Praze: 2016. [Cit.: 28.3.2022]. Dostupné z: https://www.mdcr.cz/MDCR/media/MDCR/APHluk_CR.pdf
- [27] I. Románek: Protihluková opatření firmy ŽPSV výrazně omezují emise hluku z provozu dopravních staveb. Stavební investorské noviny [online]. [Cit.: 31.3.2022]. Dostupné z: <https://tvstav.cz/clanek/6173-protihlukova-opatreni-firmy-zpsv-vyrazne-omezuji-emise-hluku-z-provozu-dopravnich-staveb>
- [28] P. Andršt: Aplikace nízkých protihlukových stěn u SŽDC. 18. konference železniční dopravní cesta. V Českých Budějovicích 2014. [Cit.: 28.3.2022]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznic.cz/documents/50004227/50157106/c06-andrst-szdc-sb.pdf>
- [29] J. Eisenreich: Nízké protihlukové clony BRENS BARRIER – alternativní řešení hluku z kolejové dopravy v zastavěných aglomeracích. Vědeckotechnický sborník ČD č. 33/2012. V Praze: 2012. [Cit.: 28.3.2022]. Dostupné z: <https://vts.cd.cz/documents/168518/195465/3302.pdf/573a8396-3818-4e52-9daa-9fb208eedcaa>

- [30] M. Kučera: Hodnocení hluku v bytové zástavbě. Topenářství instalace 5/2014 [online]. [Cit.: 13.4.2022]. Dostupné z: <https://www.topin.cz/clanky/hodnoceni-hluku-v-bytove-zastavbe-detail-5330>
- [31] Zbloc Generation 3a. Zbloc [online]. [Cit.: 31.3.2022]. Dostupné z: <http://www.zblocinternational.com/z-bloc.php>
- [32] Innovative Maßnahmen zum Lärm – und Erschütterungsschutz am Fahrweg, Schlussbericht. DB Netz AG. Ve Frankfurtu 2012. [Cit.: 31.3.2022]
- [33] L. Lomoz: Problematika hluku v kolejové dopravě [přednáška]. Praha: ČVUT v Praze, 2022. [Cit.: 13.4.2022].
- [34] Historie. BRENS EUROPE [online]. [Cit.: 31.3.2022]. Dostupné z: <https://www.brens.cz/o-nas/>
- [35] L. Lomoz, M. Lidmila, O. Bret, K. Šnajdr, P. Váňová: Měření účinnosti protihlukových opatření v úseku s nízkou sklopnou protihlukovou clonou Praha – Sedlec. Silnice-železnice [online]. 2021. [Cit.: 1.4.2022]. Dostupné z: <https://silnice-zeleznice.cz/zeleznicni-infrastruktura/mereni-ucinnosti-protihlukovych-opatreni-v-useku-s-nizkou-sklopnou-protihlukovou-clonou-praha-sedlec-449>
- [36] První sklopná protihluková konstrukce v ČR. Skanska [online]. 2019. [Cit.: 1.4.2022]. Dostupné z: <https://www.skanska.cz/kdo-jsme/media/archiv-tiskovych-zprav/230287/Prvni-sklopná-protihluková-konstrukce-v-CR>
- [37] Innovative solutions for efficient noise control. Forster 2013. [Cit.: 31.3.2022]. Dostupné z: https://www.fonocon.se/fileadmin/root_forster_fonocon/Downloads/Noise_Breaker_FORSTER_e.pdf
- [38] P. Čížková, L. Lomoz: The effectiveness of a low height noise barrier. Praha: ČVUT v Praze, 2014. [Cit.: 29.3.2022]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/297275356_Comparison_of_efficiency_of_low_and_high_acoustic_screens
- [39] ČSN 28 0318. Průjezdné průřezy tramvajových tratí a obrysy pro vozidla provozovaná na tramvajových dráhách. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [40] Podvozkový pluh PSP 01, přípojný tramvajový podvozek. Pražské tramvaje [online]. [Cit.: 20.4.2022]. Dostupné z: <https://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cislocclanku=2014030201>
- [41] Městská protihluková clona [online]. [Cit.: 20.4.2022]. Dostupné z: <https://mphc.cz/index>
- [42] O. Bret, P. Čížková: Development of the municipal noise-absorbing screen and test section construction technology. Praha: ČVUT v Praze, 2017. [Cit.: 20.4.2022]. Dostupné z: <https://ojs.cvut.cz/ojs/index.php/APP/article/view/4439/4317>
- [43] O. Bret: Experimentální zkouška odolnosti Městské protihlukové clony a možnosti její destrukce při zásahu IZS. Praha: ČVUT v Praze, 2019. [Cit.: 20.4.2022]. Dostupné z:

<https://mphc.cz/download/Sborn%C3%ADk%20EVM%202019-verze%20web.pdf>

[44] Zákon č. 258/2000 Sb. Zákon o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. Aktuální znění 01.02.2022 – 31.12.2022 (verze 61).

[45] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Aktuální znění 09.11.2018 (verze 3).

[46] Vyhláška č. 345/2002 Sb. Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu, kterou se stanoví měřidla k povinnému ověřování a měřidla podléhající schválení typu. Aktuální znění 01.06.2015 (verze 9)

[47] Zákon č. 505/1990 Sb. Zákon o metrologii. Aktuální znění 13.06.2021 (verze 17).

[48] ČSN EN 61672-1. Elektroakustika – Zvukoměry – Část 1: Technické požadavky. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.

[49] ČSN EN 61260-1. Elektroakustika – Oktávové a zlomkooktávové pásmové filtry – Část 1: Technické požadavky Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.

[50] ČSN ISO 1996-2. Akustika – Popis, měření a hodnocení hluku prostředí – Část 2: Určování hladin akustického tlaku 2018.

[51] ČSN ISO 1996-1. Akustika – Popis, měření a hodnocení hluku prostředí – Část 1: Základní veličiny a postupy pro hodnocení 2017.

[52] Odborné doporučení pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí. Národní referenční laboratoř pro komunální hluk 2018. [Cit.: 1.4.2022]. Dostupné z: <http://hluk.nrl.cz/Content/files/Metodicke-navody/odkom-nrl2018-v1-0.pdf>

[53] L. Lomoz: Měření, výpočet, predikce [přednáška]. Ekologické aspekty dopravy YEAD. Praha: ČVUT v Praze. [Cit.: 13.4.2022].

[54] ČSN EN IEC 60942 ed. 2. Elektroakustika – Akustické kalibrátory. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.

[55] C. Koudelka: Bludné proudy. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. V Ostravě 2003. [Cit.: 20.4.2022]. Dostupné z: https://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/TZB/bludne_proudy.pdf

[56] Mapy Google. Google [online]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/search/google+maps/@50.1086004,14.5270277,358m/data=!3m1!1e3>

[57] P. Váňová: Ověření akustické stálosti nízké protihlukové clony po 4 letech od výstavby. Praha: ČVUT v Praze. [Cit.: 2.5.2022].

[58] M. Radsten-Ekman, B. Vincent: Case-study evaluation of a low and vegetated noise barrier in an urban public space. Internoise 2011, Japan Osaka. [Cit.: 2.5.2022]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/265144375_Case-study_evaluation_of_a_low_and_vegetated_noise_barrier_in_an_urban_public_space

- [59] J. Roberts, E. Boorman: Acces to parks and trees prolongs life. Horizon The EU Research and Innovation Magazine [online]. [Cit.: 2.5.2022]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/horizon-magazine/access-parks-and-trees-prolongs-life>
- [60] Váhové filtry pro měření zvuku. Ekosoftware [online]. [Cit.: 3.5.2022]. Dostupné z: <https://www.ekosoftware.cz/vahove-filtry-pro-mereni-zvuku>
- [61] Decibelové veličiny v akustice, kmitočtová pásma. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. [Cit.: 3.5.2022]. Dostupné z: https://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_03.pdf
- [62] Metodický pokny pro navrhování, výstavbu a údržbu nízkých protihlukových clon. Správa železnic, 2015. [Cit.: 4.5.2022].
- [63] Aktuální poloha pražských tramvají [online]. Dostupné z: <https://tram.mobilnitable.cz/>
- [64] O. Bret, P. Váňová: Pomůcka pro měření (nejen) hluku z tramvajové dopravy. Praha: ČVUT v Praze, 2019. ISBN: 978-80-01-06537-2.
- [65] Osobní tramvajové vozy. Pražské tramvaje [online]. [Cit.: 7.5.2022]. Dostupné z: <https://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=2006040804>

8. OBRÁZKY

Obrázek 1.1: Šíření zvuku od zdroje ve formě vlnoploch [4]	9
Obrázek 1.2: Diagram hladiny akustického tlaku [7]	12
Obrázek 1.3: Časový průběh hladiny akustického tlaku [30].....	13
Obrázek 2.1: Schéma závislosti rychlosti na zdroji hluku [22].....	18
Obrázek 3.11: Gabionová clona z recyklovaného materiálu [34]	24
Obrázek 3.12: Nízká protihluková clona Silent [27].....	25
Obrázek 3.13: Sklopná protihluková clona [36].....	26
Obrázek 3.14: Schéma uložení protihlukové clony BRENS BARRIER [29]	27
Obrázek 3.15: Schéma měřících bodů na trati Praha Hlubočepy [38]	28
Obrázek 3.16: Poloha měřících bodů [57].....	29
Obrázek 3.17: Městská protihluková clona - Vozovna Hloubětín	31
Obrázek 3.18: Podvozkový pluh PSP- 01 [40]	32
Obrázek 3.19: Osazení MPHC v lokalitě Praha 4.[41]	33
Obrázek 3.21: Detail příčného řezu uložení MPHC v Praze 4.[43]	33
Obrázek 3.22: NPC Zbloc s únikovými schody [25]	34
Obrázek 3.23: Gabionová clona FERRONDO silenzio forte [32]	35
Obrázek 3.24: Nízká protihluková clona NOISE BREAKER [37]	36
Obrázek 3.25: Účinnost protihlukové clony NOISE BREAKER [37].....	36
Obrázek 3.26: Polovegetační clona v Lyonu [59].....	37
Obrázek 4.1: Schéma měřících bodů [19].....	50
Obrázek 4.2: Časový interval záznamu [19]	51
Obrázek 5.11: Zobrazení úseku pomocí leteckého snímku [56]	54
Obrázek 5.12: Charakteristický řez [41].....	55
Obrázek 5.13: Uložení MPHC pomocí základu [41].....	55
Obrázek 5.14: Kompozitní mříž použitá jako výztuž základu [41].....	56
Obrázek 5.15: Mapa širších vztahů [67].....	57

Obrázek 5.16: Pozice MPHC [Zdroj: Autor]	57
Obrázek 5.17: Železniční svršek [Zdroj: Autor]	58
Obrázek 5.18: Ověření mikrofonu pomocí akustického kalibrátoru [Zdroj: Autor]	61
Obrázek 5.19: Schéma polohy měřících míst [56]	62
Obrázek 5.21: Měřící místo M1 [Zdroj: Autor].....	64
Obrázek 5.22: Ruční zvukoměr Brüel & Kjaer 2270 [Zdroj: Autor]	64
Obrázek 5.23: Vyznačený průjezd v programu Brüel & Kjaer Type 7820 Evaluator [Zdroj: Autor]	65
Obrázek 5.24: Frekvenční spektrum pro tramvaj KT8D5N.RN2P ze dne 3.3.2022	68
Obrázek 5.25: Frekvenční spektrum pro tramvaj T3R.P ze dne 12.4.2022	68
Obrázek 5.26: Frekvenční spektrum pro tramvaj 15T ze dne 12.4.2022	69
Obrázek 5.27: Frekvenční spektrum pro tramvaj typu 14T ze dne 12.4.2022...	69
Obrázek 5.28: Frekvenční spektrum pro tramvaj KT8D5N.RN2P ze dne 30.3.2019.....	72
Obrázek 5.29: Frekvenční spektrum pro tramvaj typu T3SU ze dne 30.3.2019	72
Obrázek 5.31: Vyjádření rozdílu účinnosti MPHC pro jednotlivé frekvence	73

9. TABULKY

Tabulka 1.1: Rychlost šíření podélných vln v různých látkách [4]	10
Tabulka 3.1: Výsledky měření BRENS BARRIER, Praha-Hlubočepy [38]	28
Tabulka 3.2: Počet průjezdů pro jednotlivé události [57]	30
Tabulka 3.3: Expozice zvuku A, L_{AE} pro jednotlivé situace [57]	30
Tabulka 3.4: Rozdíly expozice zvuku A, L_{AE} pro jednotlivé situace [57]	30
Tabulka 4.1: Tabulka hodnot korekce K [18]	44
Tabulka 4.2: Konvenční hodnoty nejistoty měření u [18]	46
Tabulka 5.11: Intenzita tramvajové dopravy dne 3.3.2022 v době měření	60
Tabulka 5.12: Intenzita tramvajové dopravy dne 12.4.2022 v době měření	60
Tabulka 5.13: Jednotlivé průjezdy ze dne 3.3.2022	66
Tabulka 5.14: Jednotlivé průjezdy ze dne 12.4.2022	66
Tabulka 5.15: Rozdíly průměrné hladiny pro měřicí den 3.3.2022 a zároveň pro typ KT8D5N.RN2P	67
Tabulka 5.16: Rozdíly průměrné hladiny pro typ T3R.P ze dne 12.4.2022	67
Tabulka 5.17: Rozdíly průměrné hladiny pro typ 15T ze dne 12.4.2022	67
Tabulka 5.18: Rozdíly průměrné hladiny pro typ 14T ze dne 12.4.2022	67
Tabulka 5.19: Rozdíly průměrné hladiny pro měřicí den 12.4.2022	68
Tabulka 5.21: Rozdíly průměrné hladiny prodaný úsek, vypočtené z měřících dnů 3.3.2022 a 12.4.2022	68
Tabulka 5.22: Jednotlivé průjezdy ze dne 30.3.2019	70
Tabulka 5.23: Rozdíl průměrné hladiny pro typ T3SU ze dne 30.3.2019	71
Tabulka 5.24: Rozdíl průměrné hladiny pro typ KT8D5N.RN2P ze dne 30.3.2019	71
Tabulka 5.25: Rozdíl průměrné hladiny pro měřicí kampaň 30.3.2019	71
Tabulka 5.26: Rozdíl hladin pro tramvaj KT8D5N.RN2P	72