



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

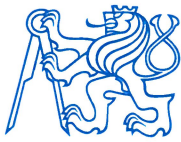
FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Jiří Volf

Prověření účinnosti nízkých protihlukových clon

Diplomová práce

© 2016 ČVUT v Praze



**K612..... Ústav dopravních systémů**

**ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Jiří Volf**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**N 3710 – DS – Dopravní systémy a technika**

Název tématu (česky): **Prověření účinnosti nízkých protihlukových clon**

Název tématu (anglicky): Verification of the Effectiveness of Low Noise Barriers

**Zásady pro vypracování**

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Úvod, charakteristika nízkých protihlukových clon
- Shrnutí výsledků z bakalářské práce
- Měření hluku ze železniční dopravy v kontextu aplikace nízké protihlukové clony
- Modelování v programu CADNA A
- Problematika využití nízkých protihlukových clon u dvoukolejných tratí
- Nízké protihlukové stěny ve vztahu k průjezdnému profilu a bezpečnosti dopravy
- Závěr, shrnutí výsledků, doporučení

Rozsah grafických prací: stanoví vedoucí diplomové práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: SUDOP PRAHA, a. s. Vyhodnocení účinnosti betonové nízké protihlukové clony. Praha, 2013  
62 s. SŽDC. Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah: protihluková opatření. Praha: SŽDC, 2010, 16 s. Č.j. S 501/2010-OKS ze dne 8. 1. 2010  
TP 104. Technické podmínky: Protihlukové clony pozemních komunikací. Praha: MD ČR

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Kristýna Neubergová, Ph.D.**  
**Ing. Libor Ládyš**

Datum zadání diplomové práce: **30. června 2015**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **30. listopadu 2016**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

L. S.

prof. Ing. Pavel Příbyl, CSc.  
vedoucí  
Ústavu dopravních systémů

prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.  
děkan fakulty



Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Jiří Volf  
jméno a podpis studenta

V Praze dne ..... 29. června 2016

## Poděkování

Rád bych poděkoval všem, kteří mi podali pomocnou ruku při vypracování této práce. Zvláště pak děkuji doc. Ing. Kristýně Neubergové, Ph.D. a Ing. Liboru Ládyšovi za odborné vedení, cenné rady a veškerý čas, který mi věnovali.

Dále bych rád poděkoval své rodině za pevné zázemí, které mi během mého studia poskytli.

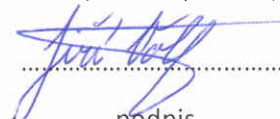
## Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

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 30. listopadu 2016

  
.....  
podpis

**Bc. Jiří Volf: Prověření účinnosti nízkých protihlukových clon**

**České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, 30. listopadu 2016.**

**Klíčová slova:** železnice, průjezdný průřez, valivý hluk, akustická kamera, nízká protihluková clona, modelování hluku v softwaru CadnaA

### **ABSTRAKT [CZ]**

V současnosti se hledají v železniční dopravě nové metody protihlukových opatření. Jedním z nejmodernějších pasivních opatření jsou nízké protihlukové clony, jež eliminují valivý hluk. V říjnu roku 2015 bylo metodickým pokynem toto inovativní protihlukové opatření v České republice schváleno Správcem železniční dopravní cesty.

Diplomová práce navazuje na bakalářskou práci, která zhodnotila efektivitu protihlukových vlastností a přezkoumala technické i bezpečnostní předpisy týkající se tohoto opatření s komerčním označením BRENS® BARRIER.

Cílem této diplomové práce je prověření nízkých protihlukových stěn BRENS® BARRIER doposud instalovaných na území České republiky. Ke zkoumání bylo využito programu CadnaA, který je určen pro výpočet, predikci a prezentaci akustické energie v životním prostředí. Ekvivalentní hladiny akustického tlaku A pro kalibraci výpočtových modelů byly zjišťovány měřením na pěti různých místech u tratí č. 173 a č. 240. Práce se zabývá ověřením účinnosti protihlukových vlastností clony a problematikou využití těchto clon v běžném provozu. Výsledky této práce mohou být užitečné při navrhování alternativního protihlukového opatření podél železničních tratí.

**Bc. Jiří Volf: Verification of the Effectiveness of Low Noise Barriers**

**Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation sciences, November 30<sup>th</sup> 2016.**

**Keywords:** railway, clearance profile, rolling noise, acoustic camera, low noise barrier, simulating of traffic noise in CadnaA software

**ABSTRACT [EN]**

At present new methods of low noise precautions are being searched in railway transportation. One of the most modern passive precautions is a low noise barrier that eliminates rolling noise. The Manager of the Railway Infrastructure authorised this innovative low noise precaution for the Czech Republic in October 2015.

The diploma thesis follows my bachelor thesis that evaluated the efficiency of low noise quality and examined technical and safety regulations considering the precaution with commercial label BRENS® BARRIER.

The aim of the diploma thesis is the verification of low noise barrier BRENS® BARRIER that have been installed in the Czech Republic so far. The CandaA programme was used for the research. The programme is used for calculation, prediction and presentation of acoustic energy in the environment. Equivalent levels of acoustic pressure A for calibration of computational models were found out by measurement at five different spots of railway No. 173 and No. 240. The thesis deals with verification of efficiency of a low noise barrier quality and issues of application of these barriers in common use. The results of this thesis may be useful for design of alternative low noise precautions along the railways.

## OBSAH

Seznam použitých zkratk	8
1 Úvod	9
2 Hluk ze železniční dopravy	10
2.1 Zdroje hluku ze železniční dopravy	10
2.1.1 Valivý hluk	11
2.1.2 Hluk z pohonů hnacích vozidel	12
2.1.3 Aerodynamický hluk	12
2.2 Faktory ovlivňující hluk ze železniční dopravy	12
2.2.1 Vliv konstrukce a kvality železničního svršku	12
2.2.2 Vliv rychlosti jízdy	12
2.2.3 Vliv vzdálenosti od zdroje	14
2.2.4 Vliv směrového vedení tratě	14
2.2.5 Vliv okolního terénu	14
2.2.6 Vliv počtu pojíždějících vlakových souprav	15
2.2.7 Vliv zvukových signálů	15
2.2.8 Vliv klimatických podmínek	16
2.3 Akustická kamera	17
2.3.1 Princip akustické kamery	18
2.3.2 Příklady výstupu z akustické kamery – vizualizace zvuku	19
2.4 Příпустné hodnoty hladiny akustického tlaku A v České republice	22
3 Charakteristika NPC BRENS® BARRIER	24
4 Shrnutí výsledků bakalářské práce	27
4.1 Shrnutí protihlukového opatření BRENS® BARRIER	28
4.2 Bezpečností a technické potíže NPC BRENS® BARRIER	29
4.3 Akustické měření v Hlubočepch	30
4.3.1 Fotodokumentace instalovaných mikrofonů	33

4.3.2	Výstupy měření pro modelování v softwaru CadnaA .....	36
<b>5</b>	<b>Měření akustické situace v kontextu aplikace NPC v Tetčicích .....</b>	<b>37</b>
5.1	Umístění nízké protihlukové stěny v Tetčicích .....	37
5.1.1	Umístění měřicích bodů 1 a 2.....	38
5.2	Měření akustické energie v terénu .....	42
5.2.1	Důležité veličiny.....	42
5.2.2	Použité přístroje .....	44
5.2.3	Akustické prostředí.....	44
5.2.4	Akustické údaje .....	45
5.2.5	Vypočtené ekvivalentní hladiny akustického tlaku A.....	47
5.3	Vyhodnocení a nejistoty měření .....	48
5.3.1	Kontrola hygienických limitů .....	48
<b>6</b>	<b>Modelování v programu CadnaA.....</b>	<b>49</b>
6.1	Popis programu CadnaA.....	49
6.2	Mapové podklady.....	50
6.3	Nastavení modelů .....	51
6.4	Parametry železniční tratě a NPC.....	52
6.4.1	Korekce pro různé druhy objektů.....	53
6.5	Intenzita železniční dopravy.....	56
6.6	Rozmístění imisních bodů a hodnocení fasád .....	57
6.7	Ověření výpočtového modelu.....	58
6.7.1	Přesnost výsledku výpočtu .....	58
6.8	Příčné řezy .....	59
6.9	Mapové výstupy .....	63
<b>7</b>	<b>Problematika využití NPC .....</b>	<b>64</b>
7.1	NPC ve vztahu k průjezdnému profilu a bezpečnosti dopravy.....	64
7.1.1	Bezpečnostní a technické požadavky PHS na tratích SŽDC.....	64



7.1.2	Problematika NPC z hlediska bezpečnosti.....	65
7.2	Problematika využití NPC u dvoukolejných tratí.....	68
7.2.1	Geometrické srovnání účinnosti NPC.....	68
7.2.2	Příčné řezy u dvoukolejné trati z programu CadnaA.....	69
8	Metodický pokyn pro navrhování, výstavbu a údržbu NPC.....	73
8.1	Základní popis NPC a jejího umístění .....	74
8.2	Provozní podmínky.....	78
8.2.1	Údržba tratě a práce strojní mechanizace .....	78
8.2.2	Opatření k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci.....	78
8.2.3	Údržba, kontrola a evidence NPC.....	78
8.2.4	Přípustné odchylky .....	79
9	Závěr .....	80
	Seznam použité literatury a zdrojů informací.....	81
	Seznam tabulek.....	83
	Seznam obrázků .....	84
	Seznam příloh .....	86
	Seznam použitého softwaru.....	87

# SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ČD, a. s. – České dráhy, akciová společnost

EP – evidenční prostor

IZS – integrovaný záchranný systém

KAH – kolejový absorbér hluku

MP KAH – Metodický pokyn pro navrhování, výstavbu a údržbu kolejových absorbérů hluku

MP NPC – Metodický pokyn pro navrhování, výstavbu a údržbu nízkých protihlukových clon

NPC – nízká protihluková clona

OPD – ochranné pásmo dráhy

OŘ – oblastní ředitelství

PHO – protihlukové opatření

PHS – protihluková stěna

PLM – překročená ložná míra

PZZ – přejezdové zabezpečovací zařízení

SHZ – stará hluková zátěž

SPZZ – světelné přejezdové zabezpečovací zařízení

SW – software, programové vybavení

SŽDC, s. o. – Správa železniční dopravní cesty, státní organizace

TK – temeno kolejnice

VSMP – volný schůdný a manipulační prostor

WHO – World Health Organization, Světová zdravotnická organizace

# 1 ÚVOD

Kolejová doprava 21. století představuje pro lidskou společnost, po bezmála 200 letech své novodobé historie, efektivní, ekologicky příznivý a bezpečný způsob přemísťování osob, surovin, materiálů a zboží, přičemž její prokázaný dopad na životní prostředí a jeho udržitelnost je nesporně menší v porovnání s dalšími druhy dopravy. Přestože železniční doprava je dopravou environmentálně šetrnou, z hlediska hluku je třeba přijímat celou řadu různých opatření, která mají hlukovou zátěž v okolí snížit, a proto se objevují čím dál častěji opatření typu protihlukových clon, jež omezují šíření akustické energie.

Pasivní protihluková opatření se v České republice u železničních tratí začala hromadně rozšiřovat v první polovině 90. let 20. století a jejich prvotním cílem bylo maximálně eliminovat hlukovou zátěž. Později se však začal klást větší důraz na estetiku a celkovou výšku protihlukových clon, neboť se začal stávat vzácností výhled na přírodu nedotčenou zásahy člověka. Z tohoto důvodu se od betonových přes průhledné skleněné stěny došlo až k myšlence využití nízkých protihlukových clon, které fungují na principu umístění překážky co nejbližší ke zdroji valivého hluku, jenž převládá na většině železničních tratí. Ačkoli je tato nová metoda veřejností vnímána velmi kladně, z technických a bezpečnostních důvodů se řadí mezi kontroverzní protihlukové opatření. Na území České republiky se první zkušební úsek s NPC BRENS® BARRIER instaloval u trati č. 173 v pražské čtvrti Hlubočepy v červnu roku 2013 a druhý zkušební úsek byl vybudován v říjnu téhož roku podél trati č. 240 v Tetčicích.

Předkládaná diplomová práce navazuje na bakalářskou práci, která zhodnotila efektivitu protihlukových vlastností a přezkoumala technické i bezpečnostní předpisy týkající se opatření s komerčním označením BRENS® BARRIER. Momentálně už je zmiňované opatření v České republice povolené, neboť byl schválen generálním ředitelem SŽDC, s. o. „Metodický pokyn pro navrhování, výstavbu a údržbu nízkých protihlukových clon“ s účinností od 1. 11. 2015.<sup>1</sup>

Cílem diplomové práce bylo věrně vymodelovat akustické situace v lokalitách s již postavenými NPC a vytvořit manuál pro navrhování NPC ve výpočtovém softwaru CadnaA. Návod uvádí, jak se musí zacházet s NPC v programu CadnaA, aby se při navrhování protihlukového opatření mohlo v daném softwaru spolehlivě používat toto ověřené nastavení pro NPC. Dalším z cílů je nasimulování různých alternativ protihlukového opatření, z nichž by bylo patrné, které protihlukové opatření je vhodné k použití v konkrétní situaci. Jeden z dílčích cílů této práce by měl ověřit možnou synergii mezi protihlukovým opatřením na trati (kolejovým absorbérem hluku) a nízkou protihlukovou clonou.

---

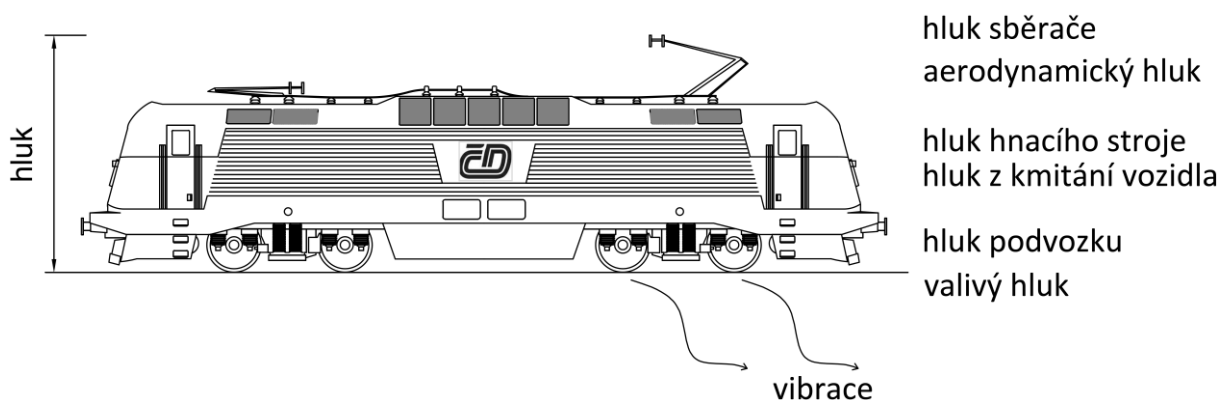
<sup>1</sup> VOLF, Jiří. *Zhodnocení nízké protihlukové stěny podél železniční trati v Hlubočepích*.

## 2 HLUK ZE ŽELEZNIČNÍ DOPRAVY

### 2.1 ZDROJE HLUKU ZE ŽELEZNIČNÍ DOPRAVY

Mezi nejvýznamnější negativní vlivy ze železniční dopravy patří právě hluk a vibrace. V drážní dopravě se vyskytují všechny tři základní zdroje hluku, jak je známe. Nejčastějším zdrojem je liniový, jenž se vyskytuje na širé trati, plošný zdroj představuje železniční nádraží a jako bodový zdroj je možné např. charakterizovat v místech předepsané zvukové signalizace (např. železniční přejezdy). Hnací vozidlo, jakožto jeden z hlavních producentů hluku v železničním provozu, představuje bodový zdroj hluku s výše položeným těžištěm zdroje hluku, zatímco vlaková souprava se chová jako liniový zdroj hluku konečné délky se spojitým spektrem a několika maximy. Charakter emitované akustické energie na železnici je proměnný, protože se mění jeho hladina akustického tlaku  $A$  v daném místě v závislosti na čase o více než 5 dB.

Obecně lze říci, že hluk vlaku pohybujícího se po trati působí na okolí souborem vyzařovaných zdrojů hluku (viz Obr. 2.1).



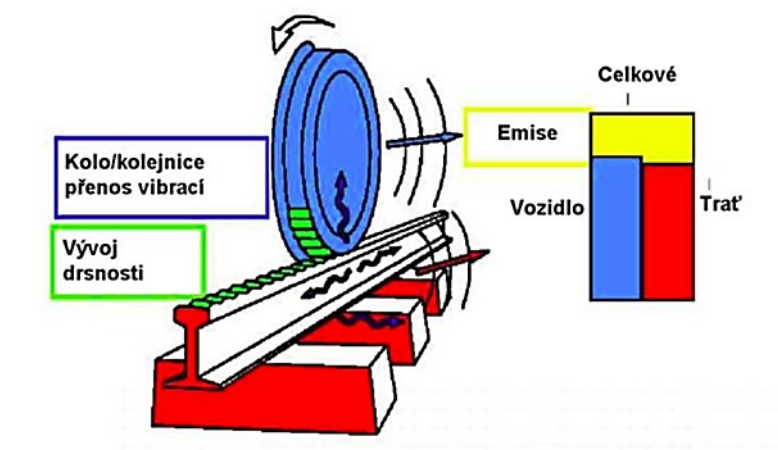
Obr. 2.1: Hluk z kmitání skříně kolejového vozidla<sup>2</sup>

Mezi konkrétní zdroje hluku z železniční dopravy řadíme aerodynamický hluk, hluk pohonu hnacích vozidel, hluk podvozkové části spolu s brzdovým systémem a hluk valivý. Dále pak vzniká ještě lokální dopravní hluk vyvolaný např. místním rozhlasem, zabezpečovacím zařízením apod. Velikost těchto vlivů závisí na celé řadě faktorů, především pak na způsobu vedení trasy, druhu trakce, konstrukci a technickém stavu železničního svršku, technickém stavu vozidel a na intenzitě provozu. Dále je pak šíření hluku závislé na klimatických podmínkách, konfiguraci okolního terénu a druhu povrchu okolního terénu.

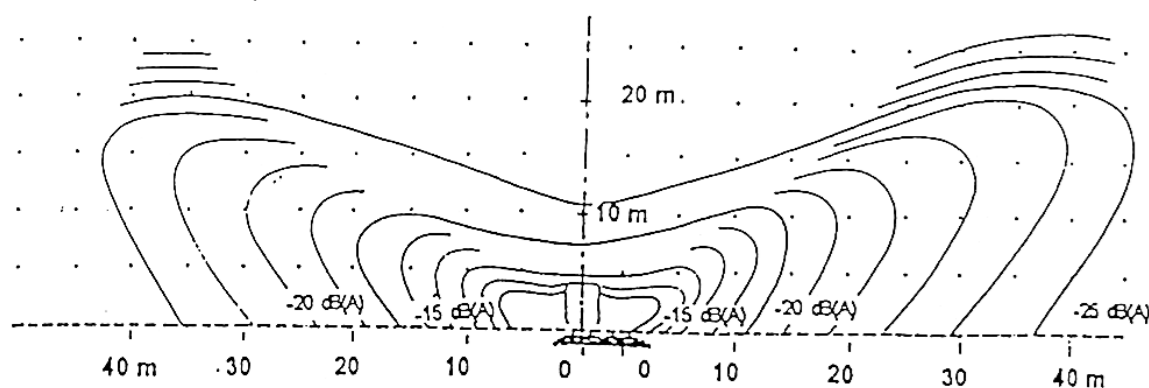
<sup>2</sup> NEUBERGOVÁ, Kristýna. *Ekologické aspekty dopravy*.

### 2.1.1 VALIVÝ HLUK

Tento hluk je vyvolán stykem dotykové plochy kola s kolejnicí, dále pak vzniká ve všech místech v podvozku, kde se vlivem otáčení dvojkolí vyskytuje tření. Projevuje se zejména v rychlostech cca 50 až 250 km.h<sup>-1</sup> (viz Obr. 2.4). V místě styku vznikají vibrace, které se do kolejnice a kola přenášejí jako vyzářený zvuk a šíří se dále do okolí, případně jsou vyzářovány jako hluk šířený vzduchem. Vznik, vývoj a přenos valivého hluku je zobrazen na Obr. 2.2. Zvukové vlny se šíří zpravidla pod úhlem 60° vzhůru a znázornění izofon tohoto hluku zachycuje Obr. 2.3.



Obr. 2.2: Valivý hluk, jeho vývoj, přenos a emise<sup>3</sup>



Obr. 2.3: Izofony valivého hluku<sup>4</sup>

Snížení tohoto hluku lze dosáhnout protihlukovými opatřeními na samotném vozidle a jeho podvozkové části či trati. Mezi základní opatření patří např.: vhodná konstrukce kol železničních vozidel, kapotáž podvozku, broušení kolejnic a budování nízkých protihlukových clon (NPC), jimž se věnuje tato diplomová práce.

<sup>3</sup> HLAVÁČEK, Jan. *Technické specifikace pro interoperabilitu subsystému „Hluk“* [online].

<sup>4</sup> MYNÁŘ, J. a MYNÁŘOVÁ, L. *Protihlukové stěny používané na území ČR.*

### 2.1.2 HLUK Z POHONŮ HNACÍCH VOZIDEL

Hluk hnacího stroje řadíme mezi primární zdroj hluku, jenž může být jak statický, tak i dynamický. Tento hluk je závislý na rychlosti méně než hluk valivý, proto bývá určující právě při rychlostech cca do 50 km.h<sup>-1</sup> (viz Obr. 2.4), kdy je požadován plný výkon a valivý hluk není v těchto rychlostech dominantní.

U motorové trakce je hluk složen ze zvuku hnacích motorů, v případě elektrické je tvořen z hluku převodů a chladicích ventilátorů. Emise hluku vozidel poháněných dieslovým motorem jsou závislé především na okamžitých otáčkách motoru a mnohem méně pak na rychlosti průjezdu. Obecně lze konstatovat, že motorová trakce vyvolá větší hluk než trakce elektrická. Snížení hluku lze tedy dosáhnout použitím elektrické trakce nebo nových či modernějších vozidel, případně modernizací vozidel stávajících.

### 2.1.3 AERODYNAMICKÝ HLUK

Jedná se o hluk vzniklý v důsledku proudění vzduchu a turbulence vzduchu kolem skříní vozů, jejich podvozků a dále okolo sběračů. Jeho hodnota se zvyšuje s rychlostí jízdy, proto u vysokorychlostních vlaků tento typ hluku převyšuje nad ostatními; jedná se o rychlosti nad 250 km.h<sup>-1</sup> (viz Obr. 2.4).

Mezi jeho významné zdroje patří nekapotované podvozky, turbulence způsobené nedostatečně aerodynamickým tvarem skříně vozidla a dále pak také pantograf, přechody mezi vozy klasické stavby. Tento hluk lze částečně eliminovat použitím drážních vozidel s lépe navrženým aerodynamickým tvarem, který má nejmenší součinitel odporu, nebo zakrytím podvozků a mezivozových přechodů.

## 2.2 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ HLUK ZE ŽELEZNIČNÍ DOPRAVY

### 2.2.1 VLIV KONSTRUKCE A KVALITY ŽELEZNIČNÍHO SVRŠKU

Hluk železničního vozidla se šíří nejen vzduchem, ale také přenosem přes kolo a kolejnici do konstrukce železničního svršku. Tento hluk lze kompenzovat vhodnou úpravou konstrukce tratě a její údržbou. Další vliv na tvorbu hluku mají nerovnosti kolejnice. Snížení hlučnosti u vlnkovité koleje nabízí její broušení.

### 2.2.2 VLIV RYCHLOSTI JÍZDY

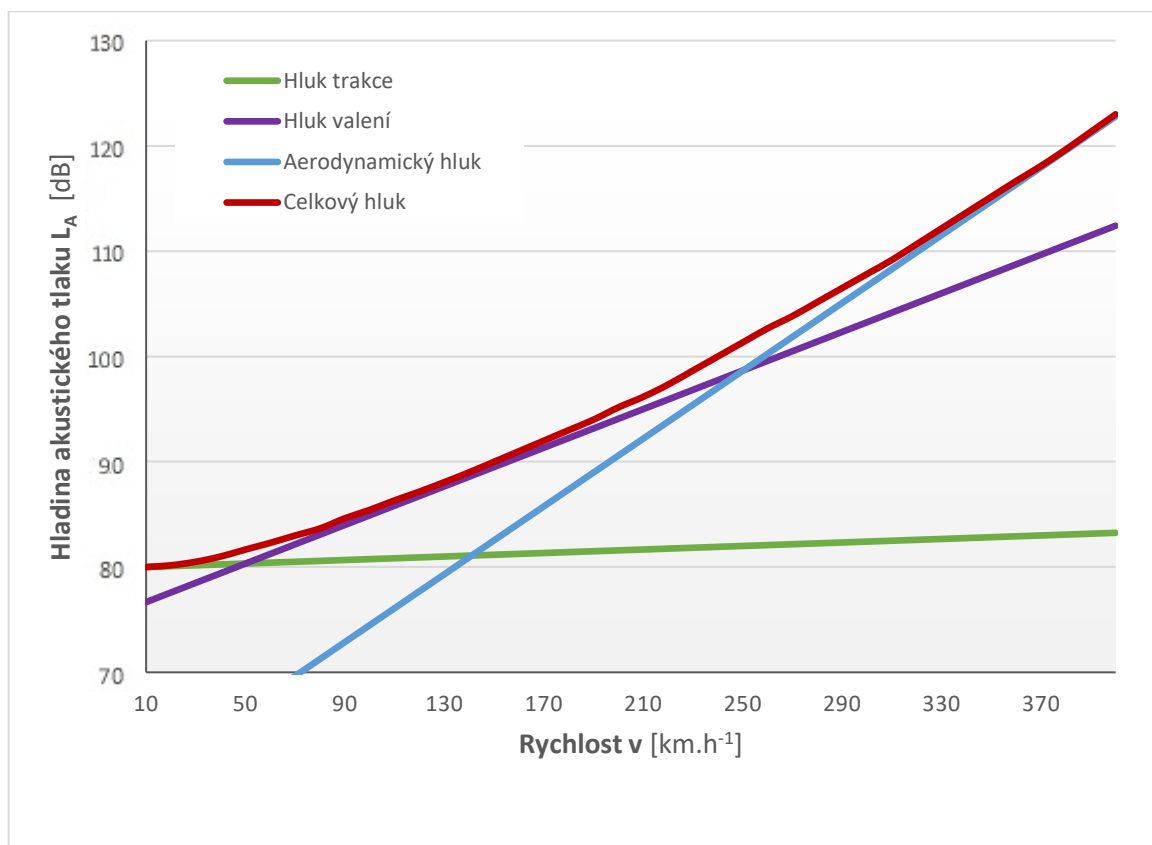
Rychlost jízdy vlakové soupravy ovlivňuje velikost ekvivalentní hladiny akustického tlaku  $L_{Aeq,T}$  a také převládající druh hluku. Při rychlostech nižších než 50 km.h<sup>-1</sup> dominuje hluk hnacího vozidla. Ve středním rychlostním pásmu, pro rychlosti v rozmezí 50–250 km.h<sup>-1</sup>, dominuje hluk valivý, který je závislý na drsnosti povrchu kol i kolejnic. Přesahuje-li rychlost 250 km.h<sup>-1</sup>, začíná být dominantní hluk aerodynamický.

Zatímco hluk hnacího stroje a aerodynamický hluk jsou v určité rychlosti pro daný typ vlaku konstantní, hluk valivý nezávisí jen na vlastnostech vozidla (jízdní ploše kola), ale také na stavu kolejnice. Hodnoty akustického tlaku A těchto druhů hluku rostou v závislosti na rychlosti odlišně a jejich podíl na celkovém hluku zachycuje graf na Obr. 2.4.

Pro vztah mezi hladinou hluku a rychlostí platí:

$$L_{Aeq,T} = L_0 + C_v \cdot \log\left(\frac{v}{v_0}\right) \quad (2.1)$$

- Kde:  $L_{Aeq,T}$  ekvivalentní hladina akustického tlaku A [dB]  
 $L_0$  ekvivalentní hladina hluku při referenční rychlosti  $v_0$  [dB]  
 $v$  rychlost soupravy [km.h<sup>-1</sup>]  
 $v_0$  referenční rychlost [km.h<sup>-1</sup>]  
 $C_v$  koeficient závislý na převládajícím druhu hluku [-]



Obr. 2.4: Graf závislosti zdroje hluku na rychlosti<sup>5</sup>

<sup>5</sup> HLAVÁČEK, Jan. *Technické specifikace pro interoperabilitu subsystému „Hluk“* [online].

### 2.2.3 VLIV VZDÁLENOSTI OD ZDROJE

Hladina hluku klesá úměrně se vzdáleností od zdroje hluku. Při zvětšení vzdálenosti od zdroje z  $d_1$  na  $d_2$  se sníží hladina hluku z  $L_1$  na  $L_2$  dle vztahu:

$$L_2 = L_1 - C_d \cdot \log\left(\frac{d_2}{d_1}\right) \quad (2.2)$$

Kde:  $L_i$  ekvivalentní hladina akustického tlaku A [dB]

$d_i$  vzdálenost od zdroje akustické energie [m]

$C_d$  koeficient závislý na zdroji hluku [-]

(pro liniový zdroj  $C_d = 10$ , bodový zdroj  $C_d = 20$  a plošný zdroj  $C_d = 15$ )

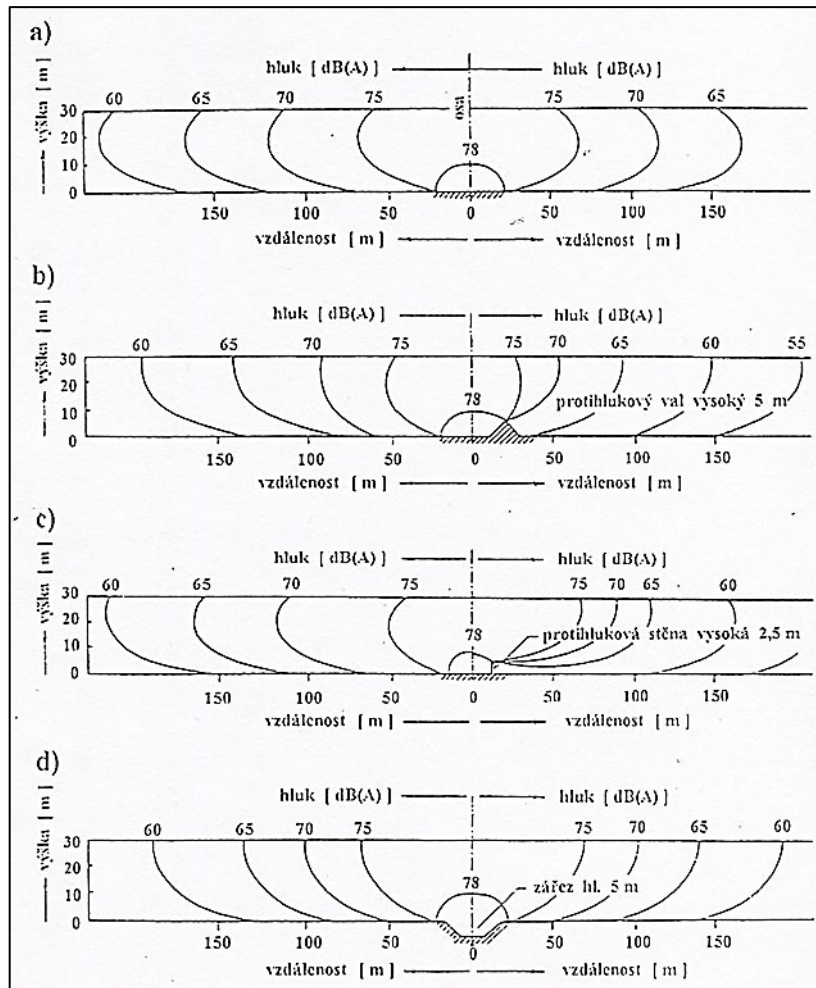
### 2.2.4 VLIV SMĚROVÉHO VEDENÍ TRATĚ

Tento vliv se projevuje zejména ve směrovém oblouku, kde dochází ke zvyšování hladiny akustického tlaku A vlivem většího tření okolku železničních vozidel o hlavu kolejnice. Snížení této hladiny akustického tlaku A lze dosáhnout například konstrukční úpravou podvozku nebo parametrů tratě, a to změnou převýšení v oblouku.

### 2.2.5 VLIV OKOLNÍHO TERÉNU

Vliv okolního terénu a jeho vlastností má podstatný vliv na šíření hluku do okolí. Jeho vliv může být pozitivní, pokud má pohltivé vlastnosti nebo cloní zdroj akustické energie, a negativní v případě nežádoucích odrazů zvukových vln. Nejvýznamněji se na šíření hluku projevují překážky v nejbližším okolí trati. Na Obr. 2.5 jsou znázorněny rozdíly přenosu mechanického vlnění v úrovni okolního terénu, s protihlukovým valem a protihlukovou stěnou a v zářezu.





Obr. 2.5: Významné rozdíly v šíření zvuku v závislosti na vedení železniční trasy<sup>6</sup>

### 2.2.6 VLIV POČTU POJÍŽDĚJÍCÍCH VLAKOVÝCH SOUPRAV

Při stanovení ekvivalentní hladiny  $L_{Aeq,T}$  z hladiny expozice  $L_{AE}$  (viz rovnice 6.3) je počet souprav za dané časové období velmi důležitou proměnnou. Upravením množství spojů v časovém intervalu je možné zlepšit (příp. zhoršit) danou situaci a dodržet tak stanovené hygienické limity (viz Tab. 2.1).

### 2.2.7 VLIV ZVUKOVÝCH SIGNÁLŮ

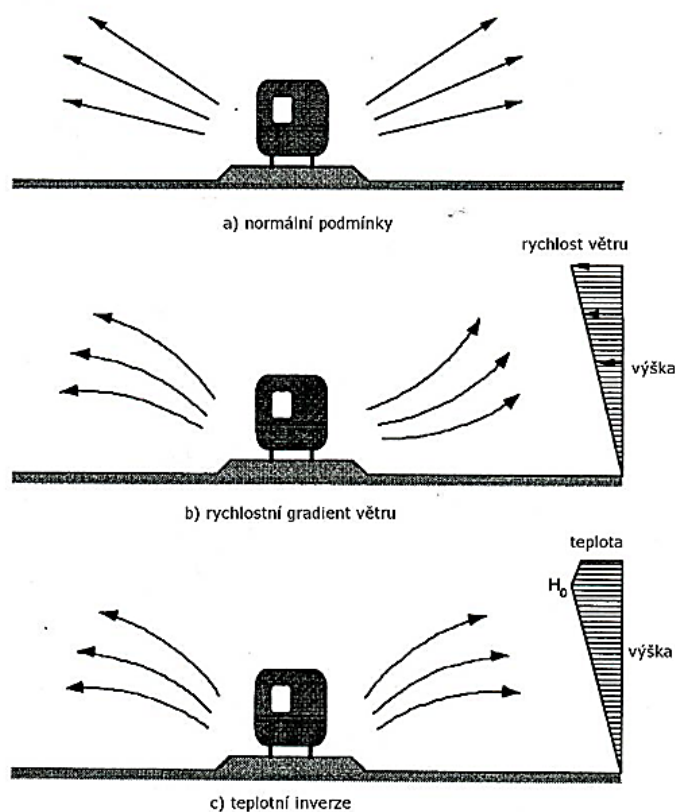
Všeobecně lze říci, že tento druh hluku není pro stanovení celkové ekvivalentní hladiny akustického tlaku  $L_{Aeq,T}$  rozhodující. Zpravidla se jedná sice o hluk s vysokou intenzitou a krátkým trváním. Ve většině případů může jít kupříkladu o lokomotivní píšťalu, jež se do hodnocení celkového hluku z provozu na železnici nebere v úvahu. Případně se jedná o výstražné signály, které se nachází v blízkosti železničního přejezdu (zejména u SPZZ se zvukovou výstrahou) a jedná se o zařízení k odvrácení nebezpečí.

<sup>6</sup> MYNÁŘ, J. a MYNÁŘOVÁ, L. Protihlukové stěny používané na území ČR.

## 2.2.8 VLIV KLIMATICKÝCH PODMÍNEK

Dopad počasí na úroveň akustické hladiny se výrazně projevuje až ve vzdálenostech od cca 70-100 m kdy se již výrazně projevuje absorpce povrchu mezi zdrojem hluku a místem příjmu, klimatické podmínky, jako např. relativní vlhkost vzduchu, teplota, barometrický tlak a především směr a rychlost větru. Může již docházet i odrazům zvukových vln od různých vrstev vzduchu.

Na Obr. 2.6 je znázorněn vliv větru na šíření akustického tlaku a také vliv teploty. Vliv rychlosti větru na šíření zvuku je znázorněn na Obr. 2.6c. Obvykle roste rychlost větru s výškou nad terénem. Šíří-li se zvuk proti směru větru, jsou paprsky lomené nahoru, pokud ve směru větru, jsou naopak lomené dolů. Při přenosu mechanického vlnění může docházet k jeho zeslabení u protivětru nebo nárůstu při šíření zvuku ve směru větru. Rychlost a směr větru tak mohou významně ovlivnit šíření zvuku i jeho očekávané hodnoty.



Obr. 2.6: Vliv klimatických podmínek na šíření akustického tlaku  $A^7$

Vliv na přenos zvuku má také teplotní gradient (viz Obr. 2.6c). Při standardních klimatických podmínkách, kdy teplota s rostoucí výškou klesá, jsou zvukové vlny ohnuté směrem nahoru. Pokud však dojde k inverzi, kdy teplota s rostoucí výškou roste, je směr těchto vln opačný a míří dolů.

<sup>7</sup> NELSON, James. *Wheel/rail noise control manual* [online].

## 2.3 AKUSTICKÁ KAMERA

Jedná se o zařízení, kterým lze detailně identifikovat zdroje akustické emise pomocí speciální mikrofonní soustavy a poté naměřená akustická data graficky prezentovat. Využití akustické kamery je v různých oborech velmi široké, v železniční dopravě lze využít tento přístroj k lokalizaci jednotlivých zdrojů zvuku projíždějící vlakové soupravy, ke kontrole účinnosti PHS, atp. Prostřednictvím tohoto systému je možné zdroje zvuku zjistit rychle, elegantně a přesně.

Soustava akustické kamery se skládá z mikrofonního pole, které je uspořádáno dle potřeby měření např. do kruhu, do sféry nebo do hvězdy, viz Obr. 2.7, případně do dalších konfigurací podle konkrétní úlohy. Mikrofonní pole je soustava mnoha mikrofonů v různém prostorovém uspořádání. Jeho úkolem je zjistit rozložení akustického signálu v prostoru. Podle potřeby frekvenčního rozsahu a přesnosti lokalizace zdrojů zvuku, velikosti a vzdálenosti sledovaných objektů či celků, sledovaného dynamického rozsahu akustické emise a také prostředí, v němž má měření probíhat, vyplývá prostorové uspořádání pole a počet potřebných mikrofonů.



Obr. 2.7: Možnosti uspořádání mikrofonů akustické kamery<sup>8</sup>

Pomocí matematických algoritmů (např. Beamforming) aplikovaných v nezbytném softwarovém prostředí je možné zobrazit jednotlivé zdroje zvuku (stanovit vzájemný podíl těchto zdrojů hluku na celkovém hluku v místě měření) a rovněž, které zdroje zvuku jsou rozhodující, a které je možné zanedbat.<sup>9</sup>

<sup>8</sup> Uplatnenie akustickej kamery v priemysle [online]. Dostupné z: <http://www.engineering.sk/>.

<sup>9</sup> Akustická kamera [online]. Dostupné z: <http://www.ekolagroup.cz/cs/akusticka-kamera/>.

### 2.3.1 PRINCIP AKUSTICKÉ KAMERY

Před měřené zařízení je umístěno mikrofonní pole s kamerou. Během krátkého časového úseku je zaznamenán synchronně obraz i zvuk ze všech mikrofonů do počítače a rovněž důležitá informace o vzdálenosti sledovaného zdroje od mikrofonního pole a teplotě okolí (rychlost šíření zvuku v prostředí je teplotně závislá). Zjednodušeně řečeno, princip lokalizace spočívá ve sledování časových zpoždění jednotlivých signálů od zdroje, zachycených jednotlivými mikrofony v geometrii pole. Software pak podle rozložení těchto zpoždění a známé geometrie mikrofonního pole stanoví hladiny a pozici jednotlivých akustických příspěvků v daném pohledu kamery. V počítači se pak získané náměry organizují do projektů, které seskupují naměřená data a vypočítané hodnoty. Nejpodstatnější činnost v průběhu vyhodnocování spočívá v důkladné analýze časové a frekvenční oblasti signálů. Události ke zpracování je možné vybrat i ve spektrogramu. Součástí analýzy provedených měření je výběr příslušného algoritmu výpočtu. Poté lze zobrazit hladiny akustického tlaku v obraze z videokamery. Z výstupu akustické kamery se dají odečítat hodnoty akustického tlaku v jednotlivých místech obrazu, případně výsledky exportovat nebo je vyobrazit v protokolu.

Kameru je vhodné použít tam, kde potřebujeme přesně zjistit zdroj různých zvuků, například:

- v průmyslovém areálu, kde se nachází mnoho zdrojů hluku,
- pro zařízení, které je hlučné, ale není znám původ hluku,
- stacionární zdroje ustáleného hluku,
- k identifikaci problematických částí soustrojí,
- v dalších případech, kdy je potřeba vizualizovat zdroje zvuku.

Pro následující typy úloh je nasazení akustické kamery nevhodné, v takovém případě je potřebné kombinovat měření akustickou kamerou s měřením zvukoměry:

- v měřeném signálu se vyskytují nízké frekvence (podle rozměrů a provedení mikrofonního pole je akustická kamera schopna lokalizovat frekvenční příspěvky např. v pásmu 100 Hz až 7 kHz, nebo 400 Hz až 20 kHz)<sup>10</sup>,
- měřený signál je těžko odlišitelný od akustického pozadí,
- frekvenčně proměnlivý signál, jako je například hudba.<sup>11</sup>

---

<sup>10</sup> Existují i speciální mikrofonní pole na principu akustické intenzity pro lokalizaci nízkých kmitočtů, např. v pásmu 30 Hz až 2 kHz.

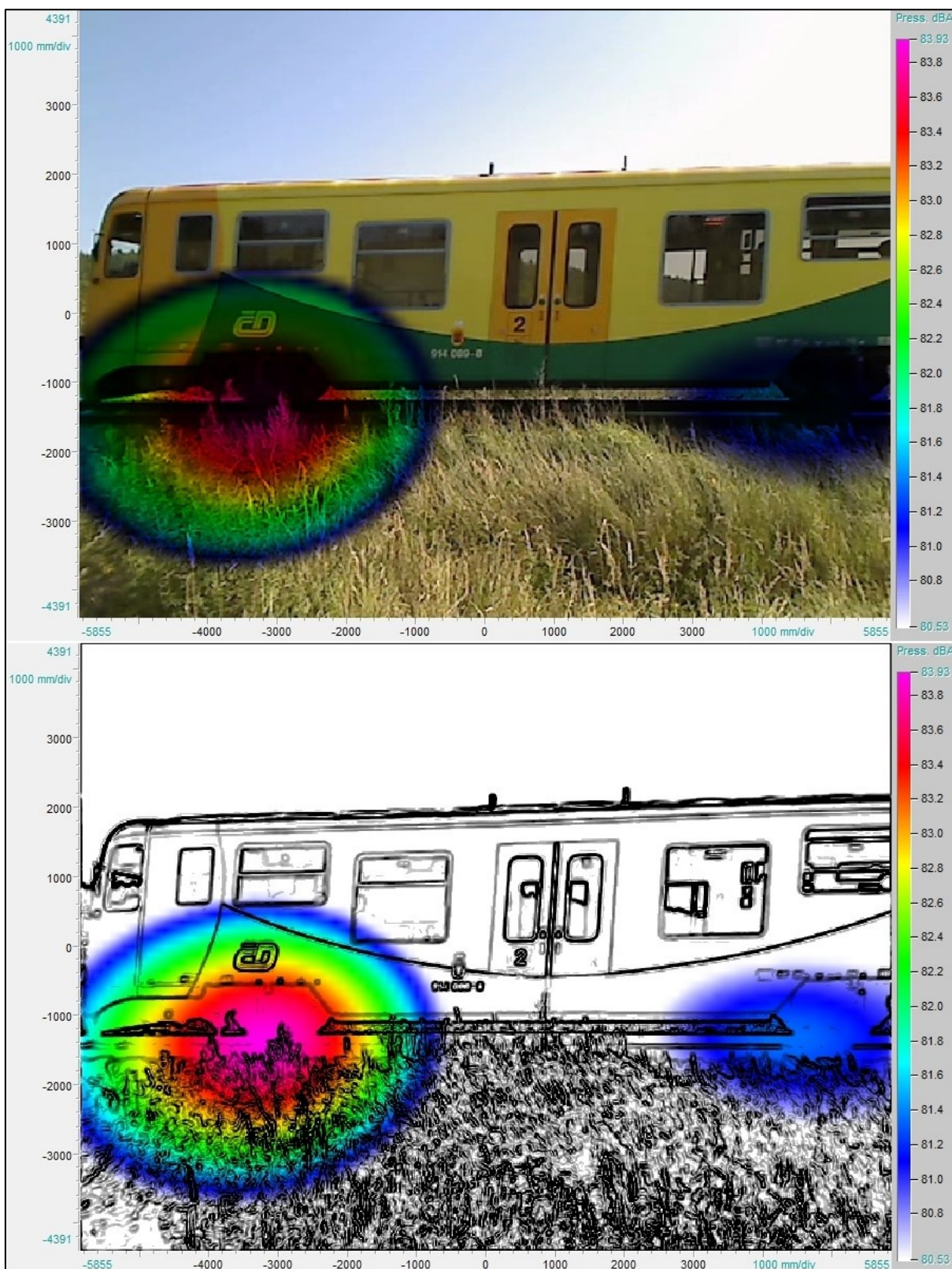
<sup>11</sup> *Akustická kamera* [online]. Dostupné z: <http://www.nrl.cz/>.

### 2.3.2 PŘÍKLADY VÝSTUPU Z AKUSTICKÉ KAMERY – VIZUALIZACE ZVUKU

Na Obr. 2.8 a Obr. 2.9 je zachycená vlaková jednotka řady 814-914 při průjezdu po regionální trati. Při nižších rychlostech, které dosahují vlaky na těchto tratích, se projevuje jako dominantní zdroj zvuku valivý hluk vozidel, viz kap. 2.1.1. Tento teoretický jev dokazuje akustická kamera svými grafickými výstupy na uvedených ilustracích. Na Obr. 2.8 a Obr. 2.9 je detekován a lokalizován jak hluk valivý, tak i hluk z motorového prostoru vozidla. Na druhém voze, zachycen na Obr. 2.9, detekuje akustická kamera nižší emise než u prvního vozidla na Obr. 2.8. Důvod je ten, že vůz řady 914 je tlačěn nebo tažen (řídící vůz), kdežto vůz řady 814 (motorový vůz) je trakčním vozidlem, a tudíž vykonává veškerý výkon.

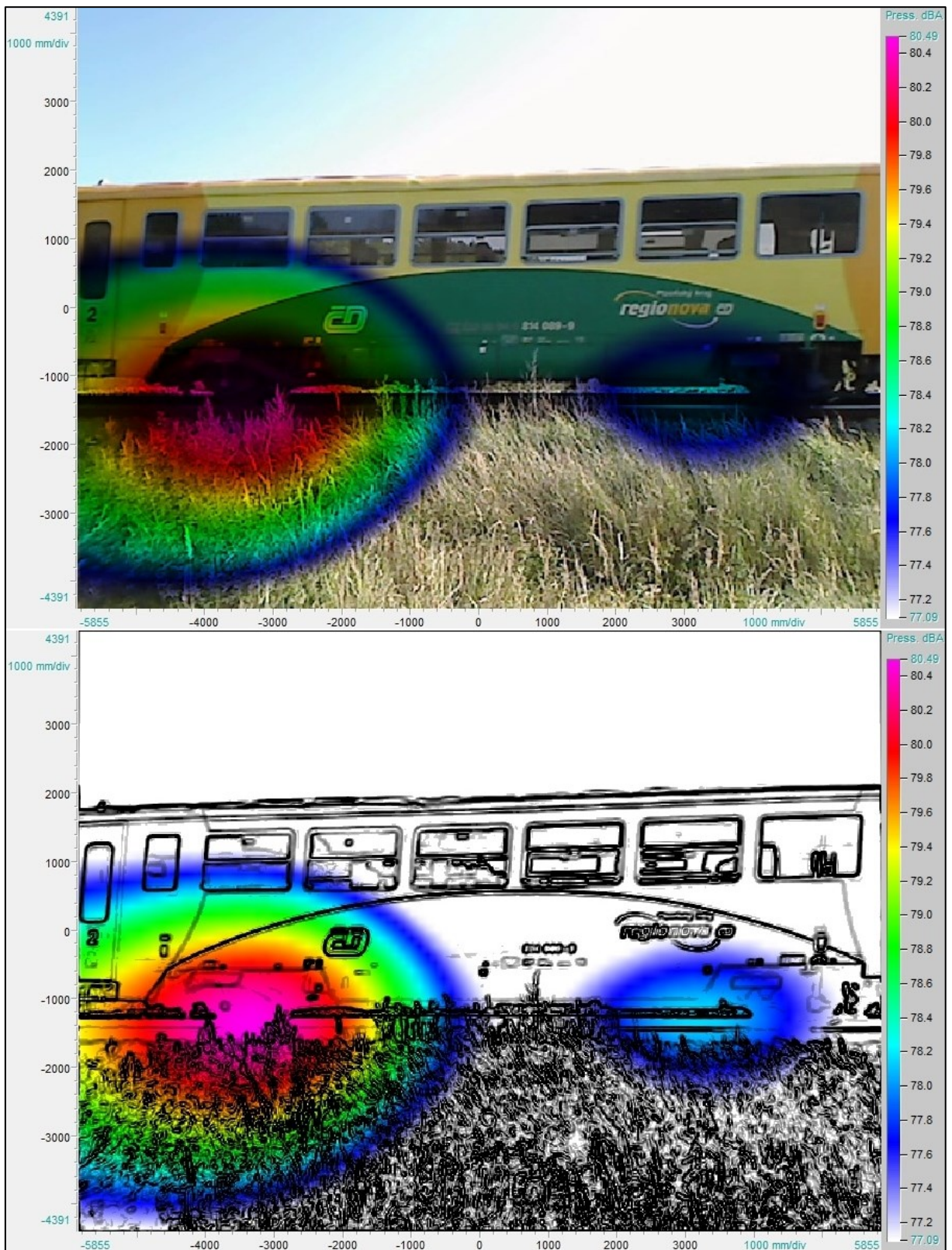
Při vyšších rychlostech byl by na výstupu z akustické kamery prokazován aerodynamický hluk (nad 250 km.h<sup>-1</sup>) a u elektrických jednotek hluk ze sběrače (nad 150 km.h<sup>-1</sup>).

Obr. 2.8 a Obr. 2.9 prezentují valivý zdroj hluku jako hlavní zdroj zvuku při rychlosti 80 km.h<sup>-1</sup>.



Obr. 2.8: Grafický výstup z akustické kamery z předního vozu jednotky řady 814-914<sup>12</sup>

<sup>12</sup> Autor: EKOLA group, spol. s r. o.



Obr. 2.9: Grafický výstup z akustické kamery ze zadního vozu jednotky řady 814-914<sup>13</sup>

<sup>13</sup> Autor: EKOLA group, spol. s r. o.

2.4 PŘÍPUSTNÉ HODNOTY HLADINY AKUSTICKÉHO TLAKU A V ČESKÉ REPUBLICE  
V roce 2000 byl přijat základní právní předpis v oblasti akustiky, zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, který nabyl účinnosti 1. ledna 2001. V návaznosti na tento zákon pak bylo přijato nařízení vlády č. 502/2000 Sb., které bylo několikrát novelizováno, nejprve v letech 2004 (č. 88/2004 Sb.), 2006 (č. 148/2006 Sb.), 2011 (č. 272/2011 Sb.) a naposledy v roce 2016, kdy bylo přijato nařízení vlády č. 217/2016 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Tímto nařízením jsou stanoveny nejvyšší přípustné hygienické limity akustického tlaku A (viz Tab. 2.1) v chráněném vnitřním prostoru staveb, chráněném venkovním prostoru staveb a chráněném venkovním prostoru, jež jsou v souladu s doporučením Světové zdravotnické organizace (WHO).

Zásadním pojmem je SHZ (stará hluková zátěž), jež je definována podle přílohy č. 3 nařízení vlády č. 272/2011 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Jako „*hluk v chráněném venkovním prostoru a chráněných venkovních prostorech staveb působený dopravou na pozemních komunikacích nebo drahách, který existoval již před 1. lednem 2001 a překračoval hodnoty hygienických limitů stanovené k tomuto datu pro chráněný venkovní prostor a chráněný venkovní prostor stavby.*“

K vyjádření účinků hluku na jedince se používá hladina akustického tlaku A v decibelech [dB], korigovaná frekvenčně pomocí pásmového váhového filtru, který je použit z důvodu rozdílné citlivosti lidského ucha na hluk různého kmitočtu. Váhovým filtrem používaným pro hodnocení vlivu hluku na lidský organismus a zdraví a tedy i pro hodnocení hluku z dopravy je filtr s označením A. V reálném prostředí má většinou zvuk proměnný charakter, a proto se k vyhodnocení používá ekvivalentní hladina akustického tlaku  $L_{Aeq,T}$  (viz kap. 5.2.1), která se určuje pro denní dobu 6:00-22:00 h (T = 16 h) a noční dobu 22:00-6:00 h (T = 8 h).



Tab. 2.1: Hygienické limity ekvivalentní hladiny akustického tlaku  $A^{14}$

Hluk z dopravy	$L_{Aeq,T=16\text{ h}}$ [dB]	$L_{Aeq,T=8\text{ h}}$ [dB]
Dálnice, silnice I. a II. třídy, místní komunikace I. a II. třídy	65	55
Silnice III. třídy, komunikace III. třídy a účelové komunikace	60	50
Železniční dráhy v ochranném pásmu drah	65	60
Železniční dráhy mimo ochranném pásmu drah	60	55
SHZ – silniční doprava	70	60
SHZ – železniční doprava	70	65

Hodnoty v Tab. 2.1 jsou pro chráněný venkovní prostor ostatních staveb a chráněný ostatní venkovní prostor, včetně korekcí pro stanovení hygienických limitů, jež jsou uvedeny v příloze č. 3 nař. vl. č. 272/2011 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Pro hluk ze železničních stanic zajišťujících vlakotvorné práce, které byly uvedeny do provozu přede dnem 1. listopadu 2011, se přičítá od novely v roce 2016 pro noční dobu další korekce +5 dB.

Tyto limity však nemusí být z vážných důvodů dodrženy, a to tehdy, prokáže-li původce zvuku, že hluk omezí na rozumně dosažitelnou míru, kdy je poměr mezi náklady na protihluková opatření a jejich přínosy ke snížení akustického tlaku stanovený také s přihlédnutím k počtu fyzických osob, které jsou nadlimitnímu zvuku vystaveny. V takovém případě může hygienická stanice na základě § 31 zákona č. 258/2000 Sb., ve znění pozdějších předpisů, udělit časově omezené povolení překročení hygienických limitů.<sup>15</sup>

<sup>14</sup> Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, ve znění nařízení vlády č. 217/2016 Sb.

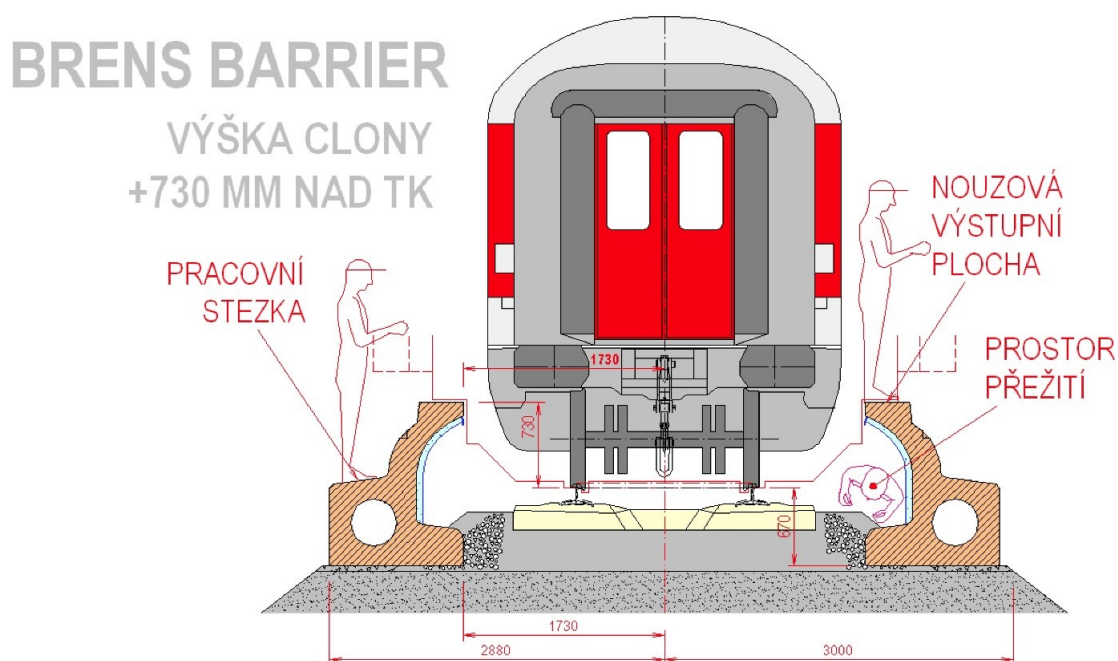
<sup>15</sup> Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů.

### 3 CHARAKTERISTIKA NPC BRENS® BARRIER

Jedná se o první českou NPC s komerčním označením BRENS® BARRIER, která je výrobkem společnosti ŽPSV, a. s. a je zhotovena ve spolupráci s firmou PROKOP RAIL, a. s. Prototyp byl poprvé představen odborné veřejnosti v roce 2011 na konferenci v Čerčanech a v červnu o dva roky později SŽDC schválilo výstavbu zkušebního úseku ve směrovém oblouku v Praze v Hlubočepích a poté také na trati č. 240 v přímé v Tetčicích v říjnu téhož roku.

NPC jsou zvláštní konstrukcí železničního nebo tramvajového svršku ve stavbě kolejové dráhy, zvyšující pohltivost zvuku a vibrací vznikající odvalování kola po koleji. Clony se skládají ze soustavy betonových prefabrikovaných dílců uložených v konstrukci železničního svršku vně koleje nebo kolejí v těsné blízkosti vně průjezdního průřezu dráhy. Tyto stěny BRENS® BARRIER nejsou trvale spojeny základem se zemním tělesem dráhy nebo rostlým terénem, proto soustavy NPC umožňují snadný přístup ke kolejové dráze pro záchranné složky, a to směrovým vytažením jednotlivých dílců ze soustavy clony. Umožňují též po dobu své životnosti několikerou demontáž a montáž umožňující obnovu šterkového lože železničního svršku.

Například v Hlubočepích je z hlediska dosažení multifunkčnosti NPC její optimální výška 730 mm nad TK a vzdálenost od osy koleje 1 730 mm. Takovému příkladné uspořádání protihlukových clon v koleji se šterkovým ložem je patrné na Obr. 3.1.



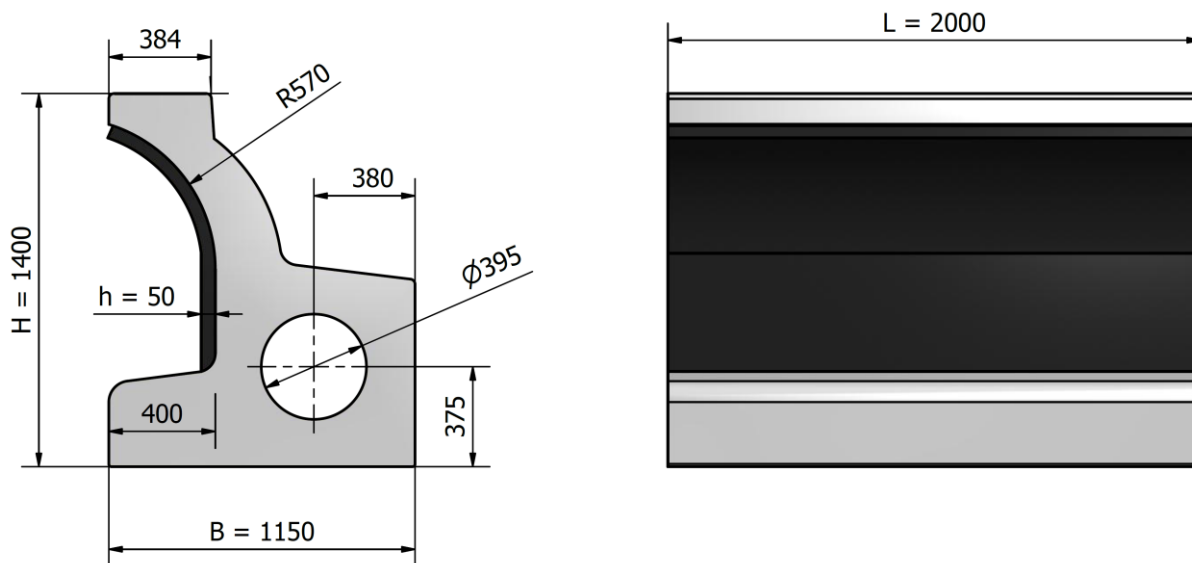
Obr. 3.1: Ilustrační řez kolejí s oboustrannou clonou výšky 730 mm nad TK<sup>16</sup>

<sup>16</sup> EISENREICH, Jan. *Nízké protihlukové clony BRENS BARRIER* [online].

Uspořádání koleje s NPC zajišťuje optimální využití dostupného prostoru a účinnost akusticky pohltivé plochy clony při současném dosažení nezbytných bezpečnostně-užitných funkcí, a to vytvořením:

- prostoru přežití v případě uváznutí osoby v kolejišti,
- výstupní plochy pro evakuaci osob z vozidel mimořádně stojících v místě clon,
- průběžné podélné pracovní stezky pro kontrolní a dohlédací činnost,
- kotevních míst pro návěstidla nebo pro evakuační prostředky (žebříky, schodiště) při zásahu záchranných jednotek,
- uchopovacích míst pro vytažení jednotlivých dílců clony při zpřístupnění tratě pro záchranné složky.

Stěna BRENS® BARRIER je specifická svým parabolickým zakřivením, jímž odráží zvuk zpět do šterkového lože, a zvyšuje tím účinnost útlumu emitovaného akustického tlaku. Její tvar a základní rozměry dvoumetrových prefabrikovaných dílců vystihuje Obr. 3.2.



Obr. 3.2: Dva řezy stěnou BRENS® BARRIER<sup>17</sup>

Přílohou 1.1 je výkres, který obsahuje důležité parametry prefabrikovaného dílce NPC BRENS® BARRIER.

<sup>17</sup> Vlastní obrazový materiál – archiv autora.

Výhodné použití NPC:

- širá trať jednokolejných drah vedených po zemních tělesech nad úrovní přiléhajícího terénu,
- průjezdné koleje železničních stanic, zejména u koridorových nebo vysokorychlostních tratí,
- mostní estakády a vysoké násypy,
- tramvajové a příměstské tratě vedené zastavěným územím,
- příměstské tratě nebo tratě metra s boční napájecí kolejnici.

## 4 SHRNU TÍ VÝSLEDKŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pasivní protihluková opatření se v České republice u železničních tratí začala hromadně rozšiřovat v první polovině 90. let dvacátého století a jejich cílem bylo nejprve maximálně eliminovat hlukovou zátěž. Později se však začal klást větší důraz na estetiku a celkovou výšku protihlukových clon, poněvadž se výhled na přírodu začal stávat vzácností. Z tohoto důvodu se přes průhledné skleněné stěny došlo až k myšlence využití NPC, která využívá principu umístění překážky co nejbližší ke zdroji valivého hluku, jenž převládá na většině železničních tratí.

Ačkoli je tato nová metoda veřejností vnímána velmi kladně, z technických a bezpečnostních důvodů se řadí mezi kontroverzní protihlukové opatření (PHO). Na území České republiky se první zkušební úsek s NPC BRENS® BARRIER instaloval u trati č. 173 v pražské čtvrti Hlubočepy v červnu roku 2013 a druhý zkušební úsek byl vybudován v říjnu téhož roku podél trati č. 240 v Tetčicích.

Cílem bakalářské práce bylo posouzení NPC podél železniční trati v Hlubočepích. Práce se zabývala zhodnocením účinnosti protihlukových vlastností clony a kontrolou technických i bezpečnostních předpisů, které musí toto opatření splňovat. Pro vyhodnocení byly použity interní materiály od SŽDC, s. o. a ŽPSV, a. s.

Z naměřených a prezentovaných výsledků vyplynulo, že NPC snížila v Hlubočepích průměrné zvukové emise o cca 7 dB. I když v porovnání s vysokou PHS byl útlum akustické energie o cca 12 dB nižší, efektivitu tohoto protihlukového opatření můžeme hodnotit jako velmi dobrou. Po vypočtení ekvivalentní hladiny akustického tlaku A pro den a noc z naměřených dat a dopravního zatížení tratě č. 173 a následného porovnání s hygienickými limity bylo patrné, že v Hlubočepích byly podél železniční trati limitní hodnoty pro daný provoz s rezervou splněny.

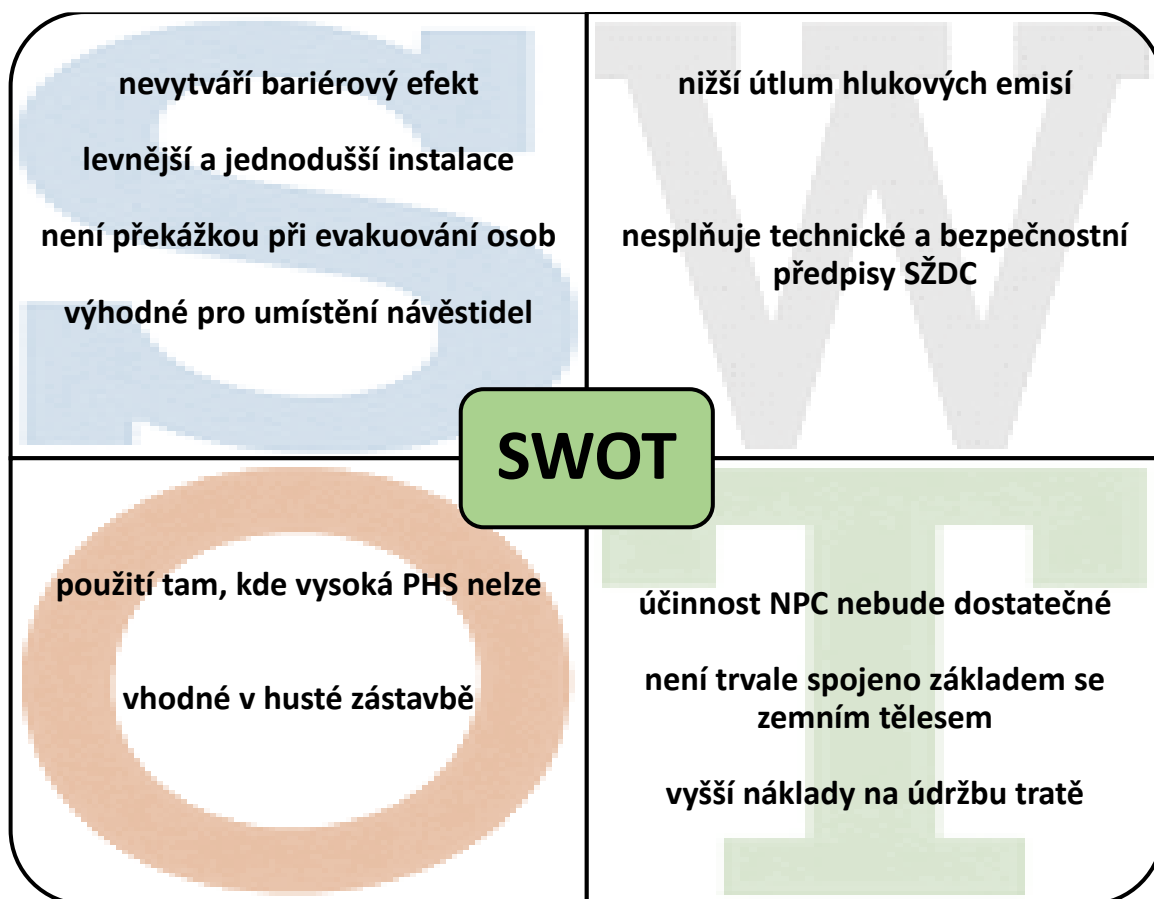
Závěrem bakalářské práce bylo to, že je výhodné použití NPC spíše pro jednokolejné tratě vedené po zemních tělesech nad úroveň přiléhajícího terénu, kde je vlastní morfologie krajiny a tato NPC ve velmi příznivém poměru. Nebo lze přistoupit k jejímu využití tam, kde nelze klasickou PHS instalovat kvůli stísněným poměrům, např. v husté zástavbě. Naopak není vhodné umísťovat tuto clonu oboustranně podél dvoukolejných a vícekolejných tratí.<sup>18</sup>

---

<sup>18</sup> VOLF, Jiří. *Zhodnocení nízké protihlukové stěny podél železniční trati v Hlubočepích.*

#### 4.1 SHRUTÍ PROTIHLUKOVÉHO OPATŘENÍ BRENS® BARRIER

K přehledu (S) silných a (W) slabých stránek, (O) příležitostí a (T) hrozeb byla aplikována SWOT analýza, jež je využívána od 60. let 20. století. Základní identifikace jednotlivých složek rozboru je ilustrována na Obr. 4.1.



Obr. 4.1: SWOT analýza<sup>19</sup>

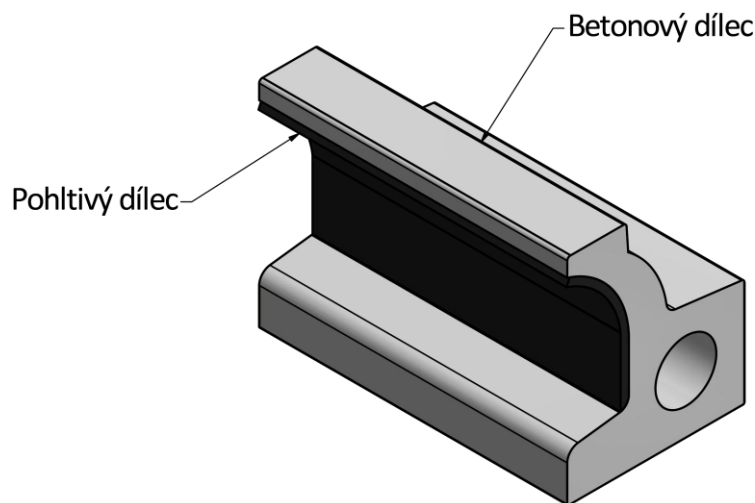
NPC je možné s výhodou využít na tratích vedených v těsném sousedství s jinými pozemními komunikacemi (dálnicemi, silnicemi, místními komunikacemi apod.) nebo v souvisle zastavěném území, zejména městských aglomerací, kde není možné umístit klasické PHS.

Jednou z nesporných výhod NPC je její estetičnost. Dosahuje takové výšky, že tuto clonu cestující ani rezidenti téměř nepostřehnou, tudíž se stává esteticky velmi výhodným řešením. Tyto clony nijak neovlivňují výhled z vlaku, nemají nepříznivý vliv na okolní pozemky a nevytvářejí jejich zastínění, jsou příznivé ke krajinotvorbě, neruší krajinný nebo městský ráz, přičemž tvoří dostatečně silnou psychologickou bezpečnostní bariéru proti nezákonnému přecházení kolejí. Navíc je instalování tohoto protihlukového opatření na rozdíl od klasické PHS levnější a méně časově náročné. Nižší stavební náklady jsou ovlivněny především tím, že NPC není trvale spojena základem se zemním tělesem, což se

<sup>19</sup> Vlastní obrazový materiál – archiv autora.

ale negativně projeví na zvýšení provozních nákladů z důvodů nutnosti pravidelné kontroly průřezného průřezu a zvýšených nároků na údržbu v místě clony.

Jednou z výhod NPC je vnitřní pohltivá část stěny, jak je znázorněno na Obr. 4.2.



Obr. 4.2: 3D vizualizace NPC<sup>20</sup>

#### 4.2 BEZPEČNOSTÍ A TECHNICKÉ POTÍŽE NPC BRENS® BARRIER

Stěna BRENS® BARRIER se svým umístěním a specifickým parabolickým zakřivením, jímž odráží zvuk zpět do šterkového lože, stává velmi účinným protihlukovým opatřením. Na druhou stranu instalací clony blízko ke zdroji hluku dochází k porušení řady dosavadních technických a bezpečnostních předpisů (viz podrobněji v kap. 7.1.2). K nejvýraznějším porušením předpisů patří: zásah NPC do volného schůdného a manipulačního prostoru (VSMP) a prostoru pro práci mechanizačních prostředků. Z technického hlediska je tato clona náročná zejména na údržbu a odvodnění.

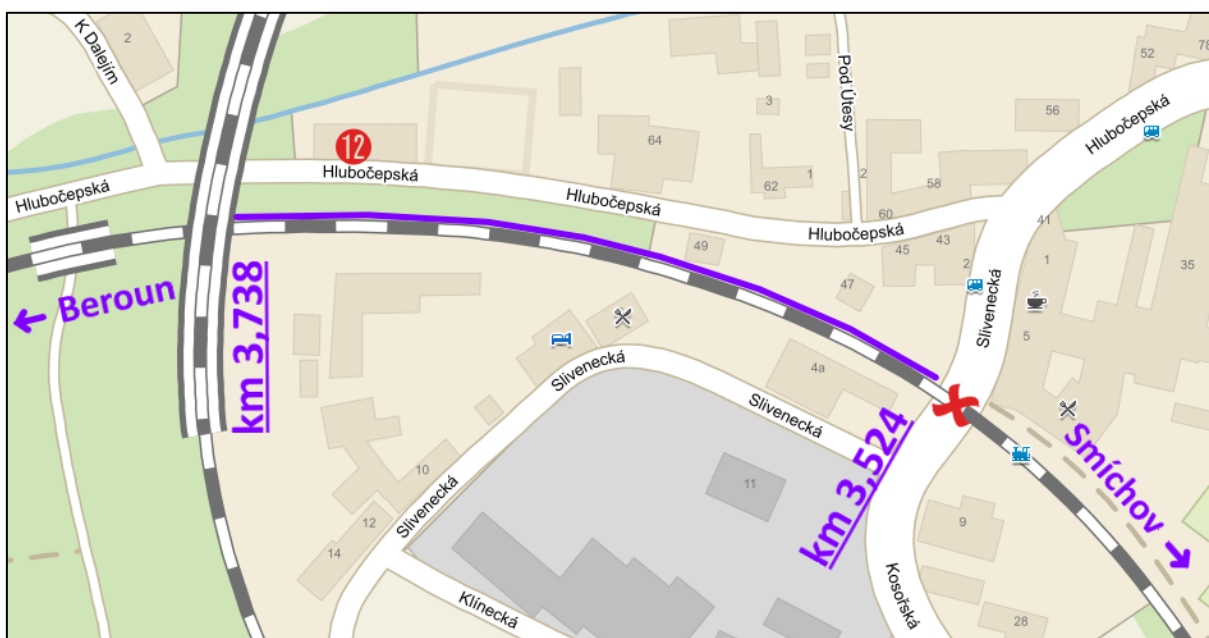
Veškerý schvalovací proces SŽDC trval přes dva roky od zřízení prvního zkušebního úseku v Hlubočepch a dne 15. 10. 2015 byl schválen generálním ředitelem SŽDC, s. o. „Metodický pokyn pro navrhování, výstavbu a údržbu nízkých protihlukových clon“ (MP NPC) s účinností od 1. 11. 2015. MP NPC je podrobněji řešen v kap. 8.

<sup>20</sup> Vlastní obrazový materiál – archiv autora.

### 4.3 AKUSTICKÉ MĚŘENÍ V HLUBOČEPECH

V bakalářské práci bylo provedeno akustické měření pro porovnání účinnosti NPC s běžnými vysokými PHS. Toto měření bylo využito i v této diplomové práci k vypracování výpočtového modelu v programu CadnaA. Výstupy z třech měřicích bodů sloužily k ověření výpočtového modelu, aby odpovídal reálné situaci.

SŽDC vybudovalo 11. června 2013 první NPC v České republice na trati č. 173 v km 3,524–3,738, tj. v délce 214 m (viz Obr. 4.3). Tento úsek Pražsko-duchcovské dráhy se nachází ve složeném levotočivém oblouku s jednou přechodnicí a mezilehlou přechodnicí s klesající křivostí na jedné straně v zářezu a na druhé v násypu. Výška nivelety tratě činí 220 m n. m. a niveleta místní komunikace podél tratě je o cca 4 m níže.



Obr. 4.3: Umístění NPC o délce 214 m<sup>21</sup>

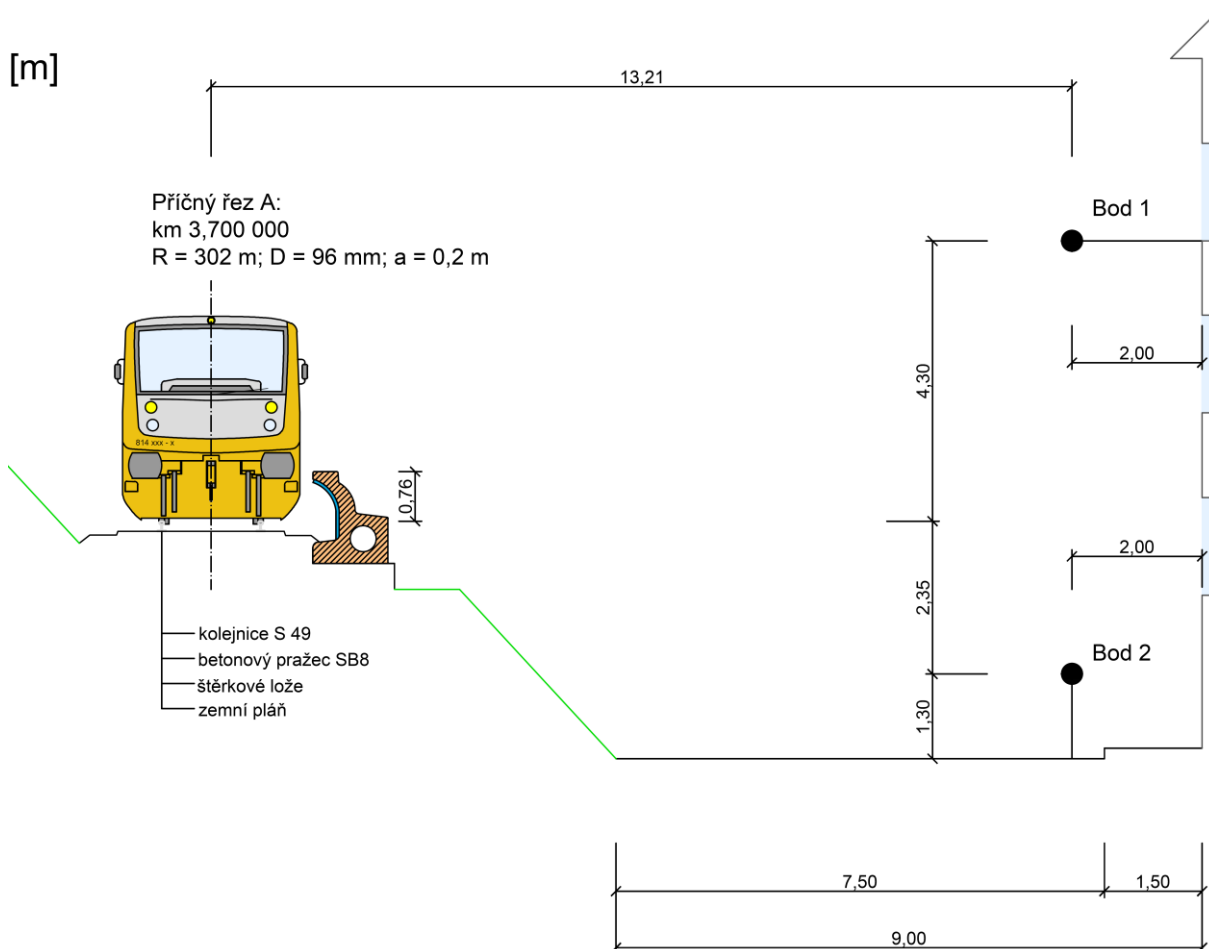
V ulici Hlubočepská č. p. 66 bylo měřeno ve dvou polohách vůči NPC, a to nad a pod úrovní TK 2,0 m od fasády objektu.

Na úrovni bodů 1 a 2 je podélný sklon železniční trati +14,60 ‰ ve směru staničení, tudíž se dá odhadovat, že vozy směřující na Beroun budou muset vyvinout vyšší výkon a také hlučnost, jelikož valivý hluk je eliminován působením NPC. Traťová rychlost v tomto úseku je 70 km.h<sup>-1</sup>. Pro body 1, 2 a 3 je totožný železniční svršek, který zahrnuje kolejnici S49, betonový pražec SB8 a štrkové lože. Je použito tuhé podkladnicové upevnění a kolej je bezстыková.

<sup>21</sup> *Mapy.cz* [online]. Dostupné z: <http://mapy.cz/>.



Na Obr. 4.4 a Obr. 4.6 jsou ilustrována umístění všech měřicích bodů a důležité vzdálenosti všech mikrofonů od významných úrovní (např. zdroje hluku, terénu či fasády domu). Obr. 4.4 zobrazuje úsek s NPC a měřicími body 1 a 2.



Obr. 4.4: Znárodnění vzdálenosti mikrofonů 1 a 2 od osy koleje<sup>22</sup>

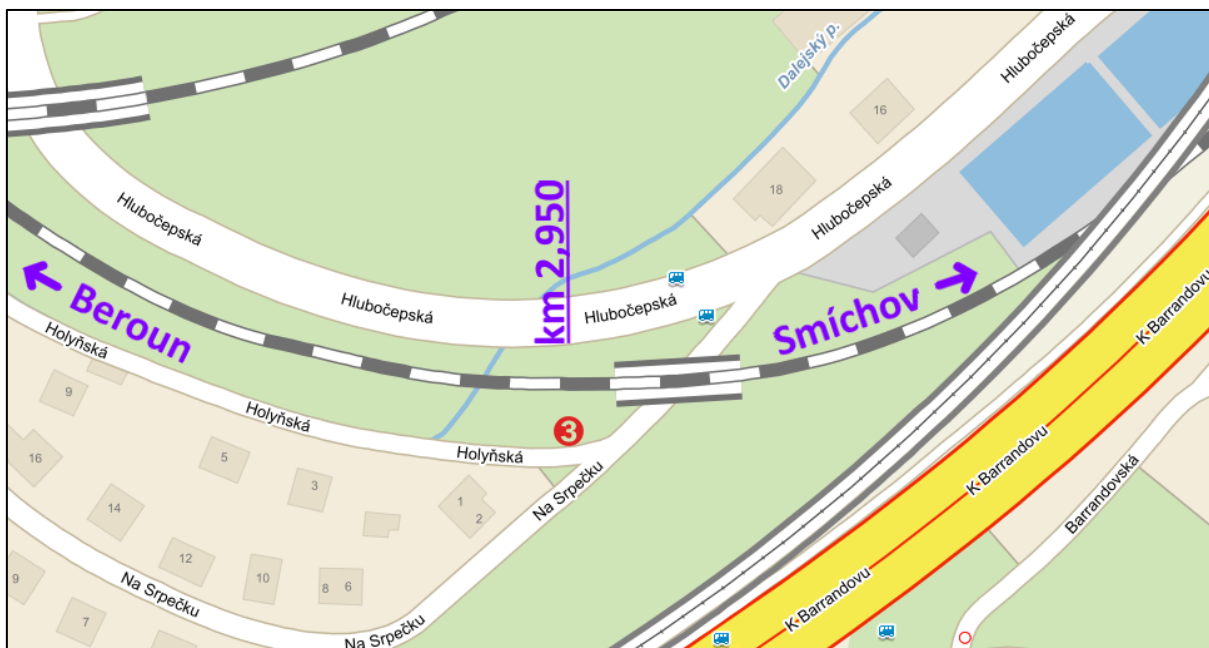
Měřicí bod 1 byl umístěn  $2,0 \text{ m}$  od fasády, ve výšce cca  $4,3 \text{ m}$  nad TK, ve vzdálenosti  $13,2 \text{ m}$  od osy koleje. Druhý bod byl přímo pod prvním bodem, a to ve výšce  $-2,4 \text{ m}$  pod TK, jak lze vyčíst z Obr. 4.4.

NPC se nachází na vnější straně směrového oblouku a porovnávací úsek bez PHS je měřen na totožné straně viz Obr. 4.5.

Tyto dva úseky na trati č. 173 jsou od sebe vzdáleny cca  $750 \text{ m}$ , na rozdíl od prvního úseku jsou zde v přímé blízkosti mostní objekty, které navyšují zvukové emise. Na tento efekt se musí ve výpočtovém modelu softwaru CadnaA použít předdefinovaná korekce určená přímo pro mostní objekty, viz kap. 6.4.1.2.

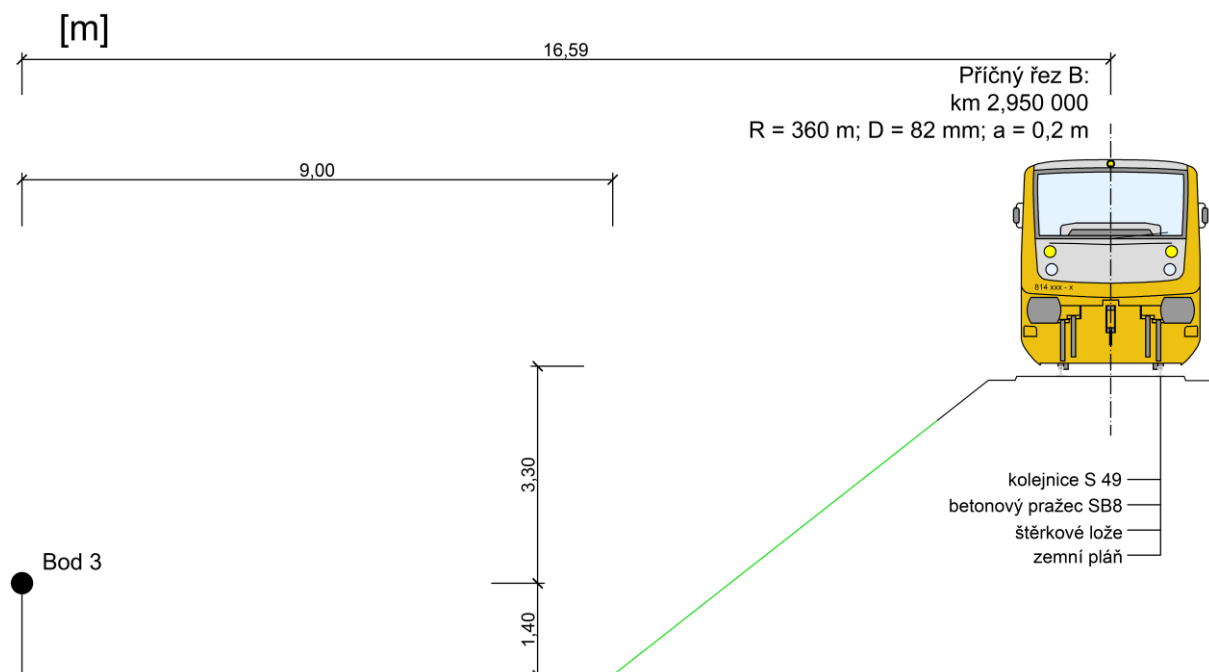
<sup>22</sup> Vlastní obrazový materiál – archiv autora.

Na Obr. 4.5 je zachycen třetí měřicí bod v kontextu s železniční tratí. Měřicí přístroj byl umístěn na souřadnicích 50°2'15.180"N, 14°23'57.693"E.



Obr. 4.5: Třetí bod u trati č. 173<sup>23</sup>

Příčný řez B zachycuje Obr. 4.6. Tato část trati č. 173 je vzdálena 0,75 km od porovnávaného místa s NPC. Oba směrové oblouky vybraných úseků tratě mají velmi podobné poloměry a převýšení koleje.



Obr. 4.6: Poloha 3. měřicího bodu<sup>24</sup>

<sup>23</sup> Mapy.cz [online]. Dostupné z: <http://mapy.cz/>.

<sup>24</sup> Vlastní obrazový materiál – archiv autora.

### 4.3.1 FOTODOKUMENTACE INSTALOVÁNÝCH MIKROFONŮ

V této kapitole jsou detailně dokumentována jednotlivá umístění tří mikrofonů vzhledem k trati č. 173.

#### 4.3.1.1 Umístění 1. měřicího bodu

Mikrofon neměl ani v této výšce vizuální kontakt se stykem kola s kolejnicí (viz Obr. 4.7), a tedy pravděpodobně i do tohoto bodu působil clonící efekt valivého hluku vlivem NPC.



Obr. 4.7: Umístění mikrofonu v 1. bodě<sup>25</sup>

<sup>25</sup> Vlastní obrazový materiál – archiv autora.

#### 4.3.1.2 Umístění 2. měřicího bodu

Mikrofon byl umístěn pod násypem s NPC (viz Obr. 4.8), a tedy lze očekávat v tomto místě i vyšší účinnost stěny.



Obr. 4.8: Stanoviště 2. měřicího bodu<sup>26</sup>

<sup>26</sup> Vlastní obrazový materiál – archiv autora.

#### 4.3.1.3 Umístění 3. měřicího bodu bez PHS

Měřicí bod č. 3 je zdokumentován na Obr. 4.9. Niveleta TK je 205 m nad mořem a zvukoměr byl umístěn -3,3 m pod TK a 16,6 m od osy koleje. Trať (v km 2,950) je v pravotočivém oblouku s dvěma přechodnicemi a bez mezilehlých přechodnic o poloměru 360 m a s převýšením koleje 82 mm. Podélný sklon v tomto úseku činí +1,62 ‰ ve směru staničení a traťová rychlost je 60 km.h<sup>-1</sup>, proto se nepředpokládají veliké rozdíly v jednotlivých směrech.



Obr. 4.9: Poloha 3. měřicího bodu<sup>27</sup>

<sup>27</sup> Vlastní obrazový materiál – archiv autora.

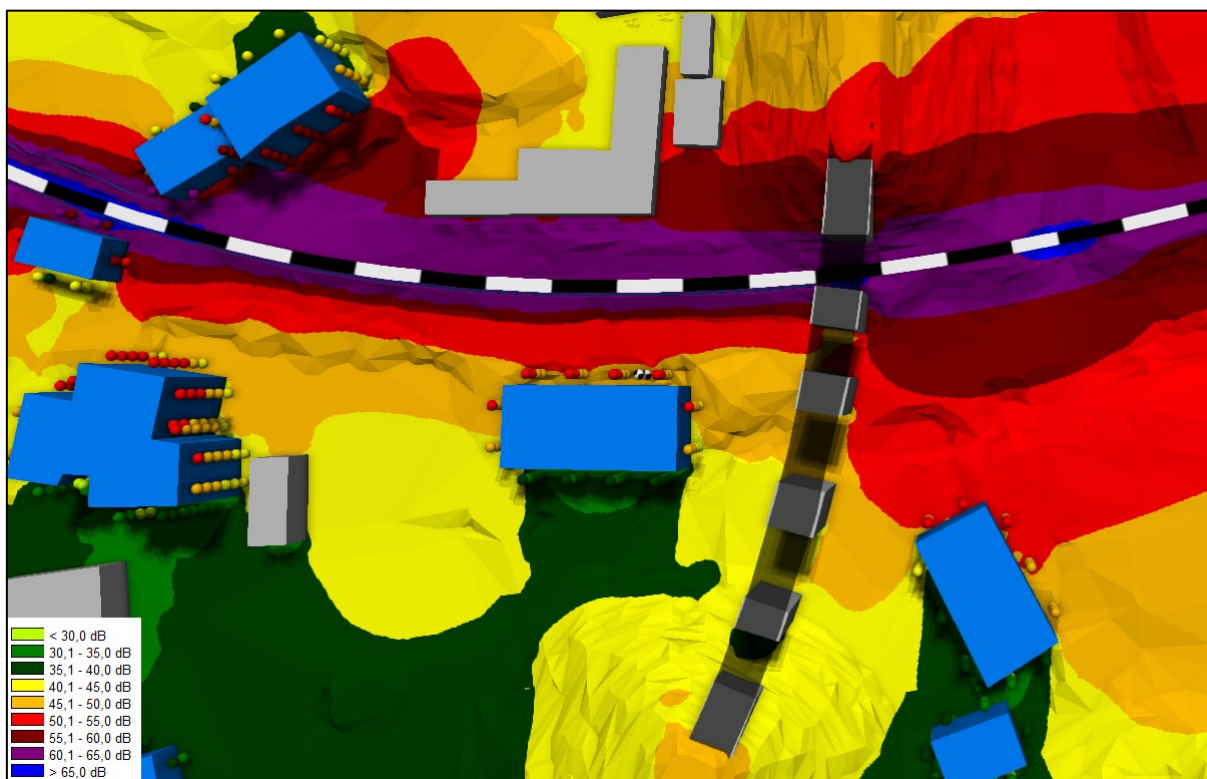
### 4.3.2 VÝSTUPY MĚŘENÍ PRO MODELOVÁNÍ V SOFTWARE CADNA

Akustické měření z bakalářské práce bude využito k ověření výpočtového modelu v programu CadnaA v kap. 6.7. Výsledné hodnoty ekvivalentních hladin akustického tlaku A vyjadřuje Tab. 4.1

Tab. 4.1: Výsledné hodnoty ekvivalentních hladin akustického tlaku A

Lokalita	Číslo tratě	Bod měření	Ekvivalentní hladina akustického tlaku A $L_{Aeq,T}$ [dB]	
			Naměřené hodnoty	
			T = 16 h	T = 8 h
Praha, Hlubočepy	173	1	50,2	42,8
		2	48,2	41,8
		3	55,2	48,0

Na Obr. 4.10 je znázorněn ptáčích pohled na viadukt Buštěhradské dráhy v pražských Hlubočepích v prostředí softwaru CadnaA.



Obr. 4.10: Ukázka 3D výstupu programu CadnaA<sup>28</sup>

<sup>28</sup> Vlastní obrazový materiál – archiv autora.

## 5 MĚŘENÍ AKUSTICKÉ SITUACE V KONTEXTU APLIKACE NPC V TETČICÍCH

### 5.1 UMÍSTĚNÍ NÍZKÉ PROTIHLUKOVÉ STĚNY V TETČICÍCH

SŽDC vybuodovalo druhou NPC v České republice v úseku od železničního přejezdu po konec obytné zástavby v ulici Sušilova směrem na Brno. Byla postavena pomocí prefabrikátů BRENS® BARRIER. V říjnu roku 2013 bylo instalováno 158 dvoumetrových dílců na trati č. 240 v km 6,075–6,391, tj. v celkové délce 316 m (viz Obr. 5.1), protože NPC je stěna jednostranná a přesahuje délku 300 m, bylo nutné zřídit únikový otvor, který byl využit zároveň k umístění světelného návěstidla.



Obr. 5.1: Umístění NPC o délce 316 m<sup>29</sup>

Tento úsek železniční tratě Brno – Jihlava se nachází v přímém úseku v násypu. Výška nivelety tratě činí 312 m n. m. a niveleta místní komunikace podél tratě je o cca 2 m níže.

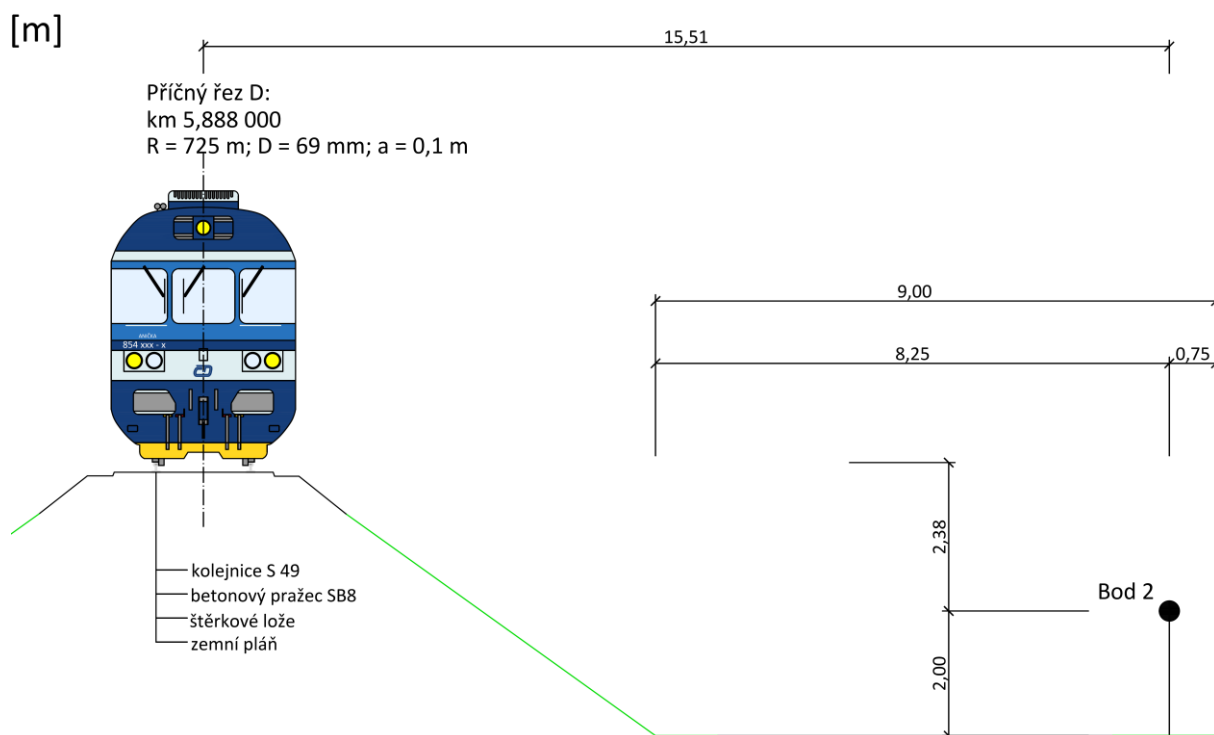
<sup>29</sup> *Mapy.cz* [online]. Dostupné z: <http://mapy.cz/>.

### 5.1.1 UMÍSTĚNÍ MĚŘICÍCH BODŮ 1 A 2

V km 6,226 a v km 5,888 jsou umístěny měřicí body 1 a 2, jejich přesné umístění je znázorněno na Obr. 5.1 až Obr. 5.5. Na této části trati č. 240 je traťová rychlost 80 km.h<sup>-1</sup>.

Na křížení této trati s místní komunikací (ulicí Nádražní) se nachází železniční přejezd (viz Obr. 5.1), jenž je vybaven světelným PZZ se závorami, tudíž se po krátkém akustickém signálu spustí závory. Měření samotného průjezdu výstražné akustické signály již neovlivňovaly.

Na úrovni 1. bodu je podélný sklon železniční trati +9,00 ‰ ve směru staničení, na úrovni 2. bodu je sklon roven +6,40 ‰ ve směru staničení. Traťová rychlost v tomto úseku je 80 km.h<sup>-1</sup>. Pro body 1 a 2 je totožný železniční svršek, který zahrnuje kolejnici S49, betonový pražec SB8 a štěrkové lože. Je použito tuhé podkladnicové upevnění a kolej je bezстыková.



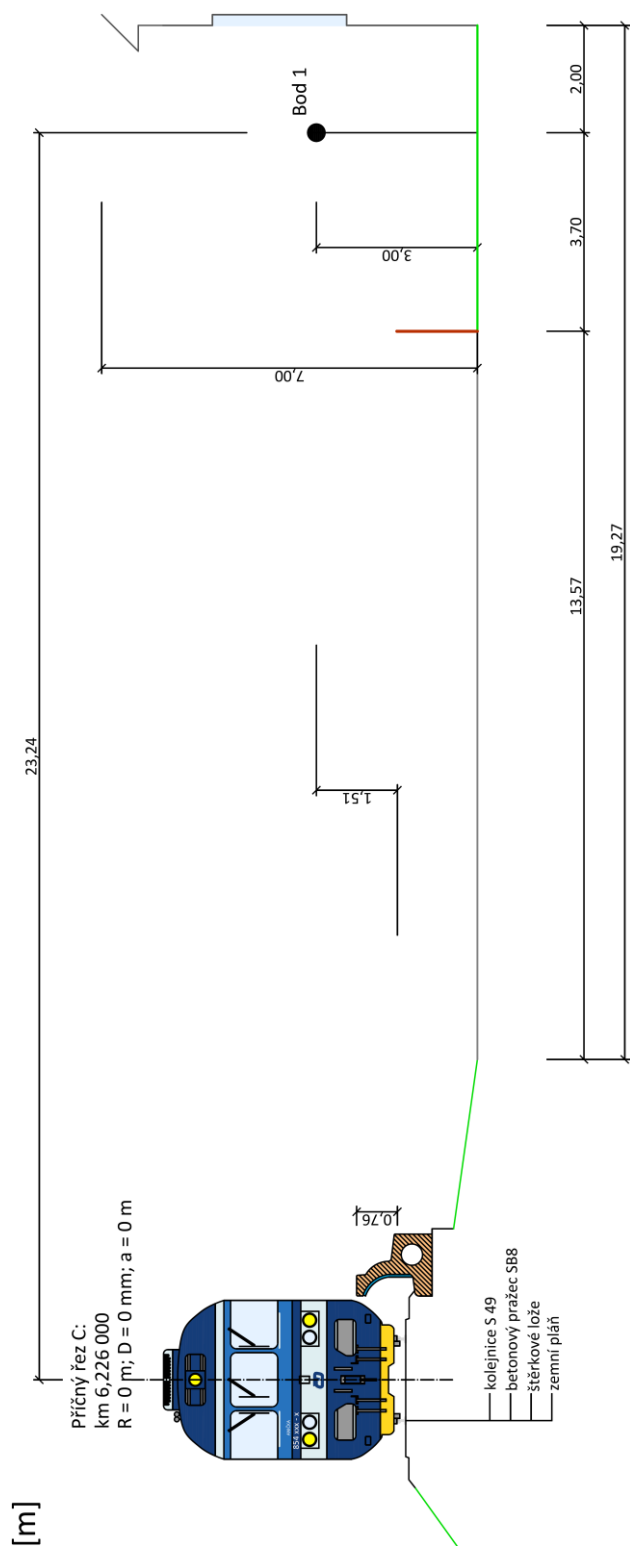
Obr. 5.2: Schéma umístění 2. měřicího bodu<sup>30</sup>

V železniční stanici v Tetčicích zastavuje během celého dne 49 osobních vlaků, oproti tomu 14 rychlíků a dva nákladní vlaky nádražím pouze projíždějí. Proto jednotlivé vlaky projíždějí úsekem s NPC rozdílnou rychlostí. Dále např. osobní vlaky směřující do Jihlavy musejí vykonávat proces brždění a naopak směrem do Brna se rozjíždějí.

<sup>30</sup> Vlastní obrazový materiál – archiv autora.



Obr. 5.3 zachycuje umístění 1. měřicího bodu v kontextu s instalovanou NPC.



Obr. 5.3: Schéma umístění 1. měřicího bodu<sup>31</sup>

<sup>31</sup> Vlastní obrazový materiál – archiv autora.

#### 5.1.1.1 Umístění 1. měřicího bodu

Na ulici Sušilova č. p. 282 v 1. patře objektu, u fasády ve směru k železniční trati, byl mikrofon umístěn 2,0 m od fasády, ve výšce cca +1,5 m nad TK, ve vzdálenosti 23,2 m od osy koleje. Mikrofon neměl v této výšce vizuální kontakt se stykem kola s kolejnicí (viz Obr. 5.4), proto do tohoto bodu působil clonící efekt valivého hluku vlivem NPC.



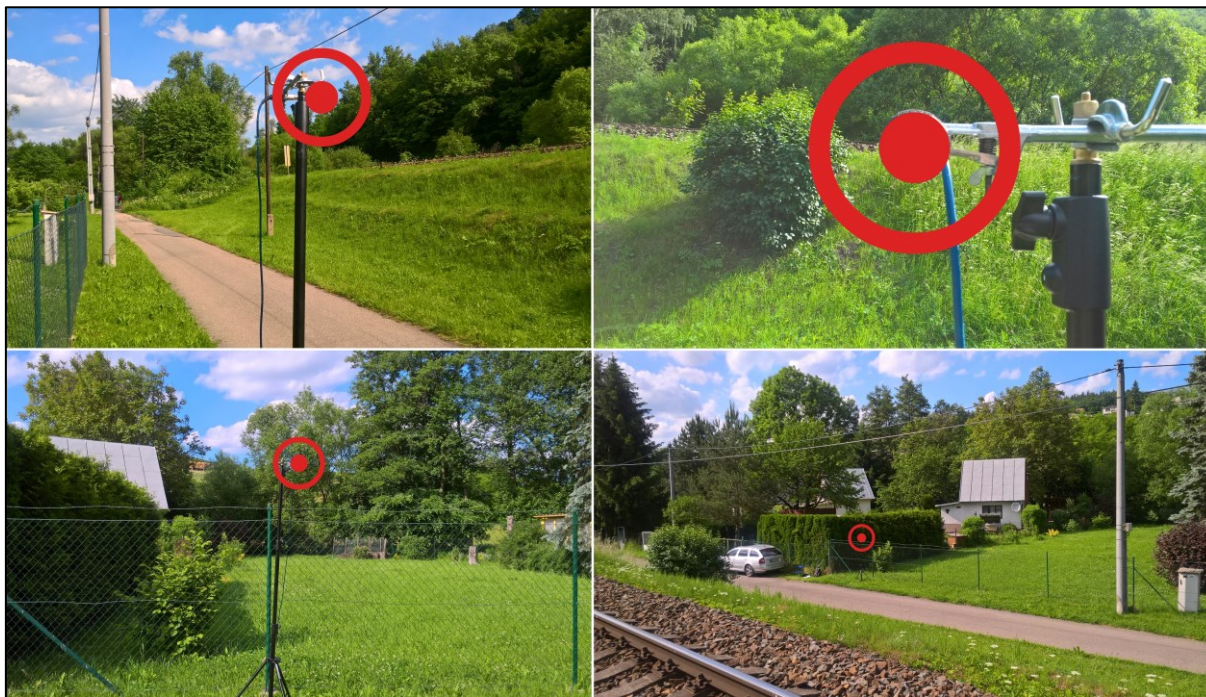
*Obr. 5.4: Umístění mikrofonu v 1. bodě<sup>32</sup>*

Trať (v km 6,226) je v přímém úseku, podélný sklon v tomto úseku činí +9,00 % ve směru staničení a traťová rychlost je 80 km.h<sup>-1</sup>.

<sup>32</sup> Vlastní obrazový materiál – archiv autora.

### 5.1.1.2 Umístění 2. měřicího bodu

Druhé stanoviště bylo situováno před parcelou v ulici Sušilova par. č. 512/3, a to ve výšce -2,4 m pod TK, ve vzdálenosti 15,5 m od osy koleje a 0,75 m před plotem vymežujícím pozemek. Mikrofon byl umístěn pod násypem bez NPC (viz Obr. 5.5), a proto lze očekávat v tomto místě vyšší hodnoty hluku.



Obr. 5.5: Stanoviště 2. měřicího bodu<sup>33</sup>

Trať (v km 5,888) je v levotočivém složeném oblouku s dvěma přechodnicemi a bez mezilehlých přechodnic o poloměru 725 m a s převýšením koleje 69 mm. Podélný sklon v tomto úseku činí +6,40 ‰ ve směru staničení a traťová rychlost je 80 km.h<sup>-1</sup>

<sup>33</sup> Vlastní obrazový materiál – archiv autora.

## 5.2 MĚŘENÍ AKUSTICKÉ ENERGIE V TERÉNU

Metodika měření a vyhodnocení měření byla analogická k normě ČSN ISO 10847. Umístění měřicích přístrojů již byla popsána v kap. 5.1.

### 5.2.1 DŮLEŽITÉ VELIČINY

Legislativně zavedeným deskriptorem pro hodnocení hluku v životním prostředí je právě ekvivalentní hladina akustického tlaku  $L_{Aeq,T}$ , která se vždy vztahuje k určitému časovému intervalu. Tato veličina je definována jako hladina akustického tlaku A spojitého stálého zvuku, která má ve specifikovaném časovém intervalu  $T$  tutéž hodnotu druhé mocniny akustického tlaku jako posuzovaný zvuk, jehož hladina se v čase mění. Tudíž nahradí proměnnou energii ustálenou energií, viz rovnice 4.1.

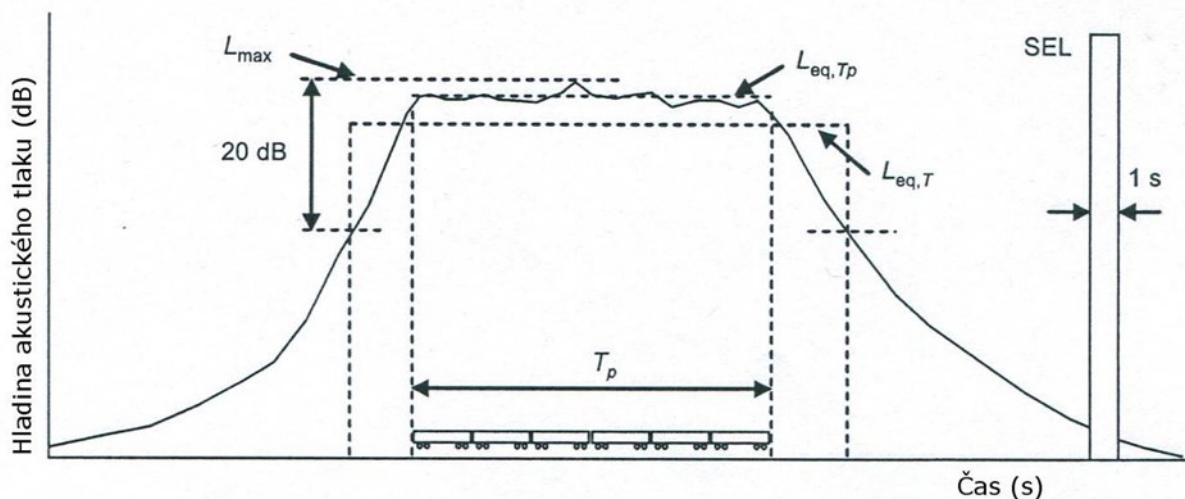
$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log \left( \frac{1}{(t_2 - t_1)} \cdot \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right) \quad (4.1)$$

Kde:  $p_A(t)$  okamžitý akustický tlak A zvukového signálu [dB]

$p_0$  referenční hodnota akustického tlaku [ $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} Pa$ ]

$T = t_2 - t_1$  časový interval [s]

Dalším deskriptorem, který je používán především tam, kde je hluk prostředí výsledkem řady identifikovatelných akustických událostí (diskrétní zvukové události, např. jednotlivé průjezdy vozidel daným úsekem, přelety letadel), je deskriptor nazvaný hladina expozice zvuku  $L_{AE}$ . Jedná se o tzv. sekundovou hladinu  $SEL = L_{AE}$  (sound exposure level), jejíž grafické znázornění zachycuje Obr. 5.6.



Obr. 5.6: Grafické znázornění hladiny expozice<sup>34</sup>

V tomto případě je naměřený akustický tlak hodnocený v libovolně dlouhém časovém intervalu vztažen na normovanou dobu  $t_0 = 1$  s. To umožňuje porovnávat jednotlivé události mezi sebou. Pokud známe hodnoty hladiny expozice zvuku jednotlivých událostí a jejich četnost, můžeme na základě definovaného vztahu určit ekvivalentní hladinu akustického tlaku A v daném místě za zvolené časové období.

Rovnicí 4.2 je matematicky vyjádřen tento deskriptor.

$$L_{AE} = SEL = 10 \cdot \log \left( \frac{1}{t_0} \cdot \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right) \quad (4.2)$$

Kde:  $L_{AE}$  hladina expozice zvuku za časovou periodu  $T_p$  [dB]

$t_0$  referenční časový interval [1 s]

$T_p = t_2 - t_1$  časový interval [s], stanovený tak, aby obsáhl veškerý podstatný zvuk posuzované oblasti

<sup>34</sup> NELSON, James. *Wheel/rail noise control manual* [online].

Převod z hladiny zvukové expozice  $L_{AE}$  na ekvivalentní hladinu akustického tlaku  $A L_{Aeq,T}$  za jednotlivá časová období je formulován rovnicí 4.3.

$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log(T^{-1} \cdot \sum_{i=1}^N n_i \cdot 10^{0,1 \cdot L_{AEi}}) \quad (4.3)$$

Kde:  $L_{Aeq,T}$  ekvivalentní hladina akustického tlaku A pro časové období T [dB]

$T$  časový interval pro dané období [s]

**den**  $T = 16 h = 57\,600 s$

**noc**  $T = 8 h = 28\,800 s$

$n_i$  počet spojů (událostí) i-tého typu vlaku za vztažené období [-]

$L_{AEi}$  expozice zvuku i-té události série n událostí za časovou periodu T [dB]

## 5.2.2 POUŽITÉ PŘÍSTROJE

Zvukoměr použitý pro měření splňoval podmínky ČSN EN 61672-1(2) a obsahoval váhový filtr A. K měření akustického tlaku A byl použit měřicí přístroj od společnosti Norsonic, Sound Analyser Nor140. Jedná se o zvukoměr, který má k dispozici záznam signálu po 1 s. Výstupem zvukoměru je nejen ekvivalentní hladina akustického tlaku A za měřený časový úsek, ale také hladina expozice zvuku, nejvyšší a nejnižší hodnota akustického tlaku v daném intervalu či procentní distribuční hladiny akustického tlaku. Při měřeních byl na mikrofonu použit kryt proti větru doporučený výrobcem. Před i po každém měření byl měřicí přístroj kalibrován použitím akustického kalibrátoru, který splňuje požadavky normy IEC 942.

## 5.2.3 AKUSTICKÉ PROSTŘEDÍ

Meteorologické podmínky a data k jednotlivým měřením jsou uvedeny v Tab. 5.1. Pro měření byl uvažován normální atmosférický tlak vzduchu (tj. 1 013,25 hPa), jelikož nebyl k dispozici barometr.

Tab. 5.1: Meteorologické podmínky

Bod měření	Datum [d. m. r]	Teplota [°C]	Relativní vlhkost vzduchu [%]	Rychlost větru [m.s <sup>-1</sup> ]	Směr větru "z"	Atm. tlak [hPa]	Třída oblačnosti
1	6. 6. 2016	+ (19 – 23)	41 – 60	do 5	JZ	-	jasno
2	6. 6. 2016	+ 23	44	do 5	SZ	-	jasno

## 5.2.4 AKUSTICKÉ ÚDAJE

Tab. 5.2 shrnuje všechna podstatná naměřená data ze zvukoměru umístěného v bodě 1. Z hodnot  $L_{AE}$  je patrné, že podle předpokladu měly osobní vlaky směřující na Jihlavu vyšší hladinu expozice. U rychlíků jsou tyto hodnoty relativně shodné v obou směrech. Průjezd nákladního vlaku nebyl zaznamenán, jelikož v den měření neprojel žádný nákladní vlak, což umožňuje grafikon vlakové dopravy.

Tab. 5.2: Výsledky měření z 1. polohy měřicího přístroje

Číslo měření	Začátek měření [hh:mm:ss]	Doba měření [s]	$L_{AE}$ [dB]	Druh vlaku	Řada hnacího vozidla	Počet vozů [-]	Směr jízdy
1	8:49:00	20	84,6	Os	842	3	Brno
2	9:04:00	17	89,0	Os	854	3	Jihlava
3	9:38:00	23	93,8	R	750.7	5	Jihlava
4	9:49:00	15	86,1	Os	854	3	Brno
5	10:04:00	18	89,7	Os	854	3	Jihlava
6	10:18:00	22	91,1	R	750.7	6	Brno
7	10:49:00	25	88,8	Os	854	3	Brno
8	11:04:00	27	88,7	Os	842	2	Jihlava
9	11:38:00	35	91,6	R	750.7	5	Jihlava
10	11:49:00	32	86,1	Os	854	3	Brno
11	12:04:00	24	90,3	Os	854	3	Jihlava
12	12:18:00	33	92,2	R	750.7	6	Brno
13	12:49:00	29	84,8	Os	842	2	Brno
14	13:04:00	36	86,4	Os	842	2	Jihlava
15	13:38:00	31	93,2	R	750.7	6	Jihlava
16	13:49:00	29	86,5	Os	842	2	Brno
17	14:04:00	24	89,2	Os	854, 842	4	Jihlava
18	14:18:00	27	91,8	R	750.7	7	Brno
19	14:31:00	30	87,7	Os	854	3	Jihlava
20	14:49:00	20	85,2	Os	842	2	Brno
21	15:04:23	20	86,2	Os	754	4	Jihlava
22	15:27:07	37	88,4	Os	842	2	Jihlava
23	15:39:36	22	92,6	R	750.7	6	Jihlava
24	15:53:29	23	87,4	Os	854	3	Brno
25	16:07:00	31	88,0	Os	750.7	5	Jihlava
26	16:09:42	29	82,9	Os	842	2	Brno

Hodnoty hladiny expozice z druhého stanoviště bez PHS jsou uvedeny v Tab. 5.3.

Tab. 5.3: Hodnoty hladiny expozice z 2. polohy zvukoměru

Číslo měření	Začátek měření [hh:mm:ss]	Doba měření [s]	$L_{AE}$ [dB]	Druh vlaku	Řada hnacího vozidla	Počet vozů [-]	Směr jízdy
1	16:22:39	15	97,6	R	750.7	6	Brno
2	16:34:34	32	95,1	Os	842	2	Jihlava
3	16:58:05	21	98,7	Os	854	3	Brno
4	17:14:13	15	97,1	Os	854	3	Jihlava
5	17:34:45	13	94,1	Os	842	2	Jihlava

Na obou stanovištích bylo naměřeno několik průjezdů vlaků s různými druhy hnacích vozidel. Ke každému z výsledků byl přiřazen také směr jízdy, jelikož se průměrují jednotlivé směry zvláště z důvodu lepší shody naměřených a vypočítaných hodnot a tedy i vyšší výpočtové přesnosti.

Na druhém stanovišti nebyla četnost měření průjezdů srovnatelná z důvodu časové náročnosti a velké vzdálenosti Tetčic od Prahy. Z těchto důvodů nejsou vypočtené hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku A v Tab. 5.4 pro druhý měřicí bod v totožné přesnosti jako hodnoty z prvního stanoviště.



### 5.2.5 VYPOČTENÉ EKVIVALENTNÍ HLADINY AKUSTICKÉHO TLAKU A

V Tab. 5.4 jsou shrnuty všechny proměnné veličiny podstatné pro výpočet  $L_{Aeq,T}$  dle rovnice 4.3, z níž byly vypočtené hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku A pro den a noc. Logaritmický průměr  $L_{AE}$  byl vytvořen z naměřených dat. Dopravní zatížení trati č. 240 bylo vyčteno z grafikonu vlakové dopravy.

Tab. 5.4: Vypočtené veličiny

Bod měření	Logaritmický průměr $L_{AE}$ [dB]	Konečná hodnota $L_{AE}$ [dB]	Druh vlaku	Řada hnacího vozidla	Směr jízdy	Počet spojů T = 16 h [-]	Počet spojů T = 8 h [-]	$L_{Aeq,T}$ T = 16 h [dB]	$L_{Aeq,T}$ T = 8 h [dB]
1	86,2	86	Os	754	Jihlava	1	0	58,8	47,7
	84,2	84			Brno	1	0		
	88,0	88	Os	842	Jihlava	7	3		
	84,1	84			Brno	9	2		
	88,3	88	Os	854	Jihlava	13	0		
	87,1	87			Brno	11	2		
	92,4	92	R	750.7	Oba směry	14	0		
2	92,6	93	Os	754	Jihlava	1	0	66,8	57,0
	90,6	91			Brno	1	0		
	94,6	95	Os	842	Jihlava	7	3		
	91,6	92			Brno	9	2		
	97,1	97	Os	854	Jihlava	13	0		
	98,7	99			Brno	11	2		
	97,6	98	R	750.7	Oba směry	14	0		

### 5.3 VYHODNOCENÍ A NEJISTOTY MĚŘENÍ

Souhrny stanovených celkových hodnot z předešlé kap. 5.2.5 jsou zde po korekční úpravě porovnány s hygienickými limity. Pro použitý zvukoměr a metodu měření byla použita standardní rozšířená nejistota  $\pm 2$  dB. Formát výsledných hodnot s nejistotou vyjadřuje Tab. 5.5.

Tab. 5.5: Výsledné hodnoty ekvivalentních hladin akustického tlaku A

Bod měření	Standardní nejistota [dB]	$L_{Aeq,T}$ T = 16 h [dB]	$L_{Aeq,T}$ T = 8 h [dB]
1	$\pm 2,0$	58,8 $\pm$ 2,0	47,7 $\pm$ 2,0

#### 5.3.1 KONTROLA HYGIENICKÝCH LIMITŮ

Jelikož nebyly získány informace o akustické situaci nebo alespoň o intenzitě železniční dopravy z roku 2000, není možné použít hygienický limit pro SHZ, protože nelze určit, zda se akustická situace nezhoršila. Z těchto důvodů se použije hygienický limit ochranného pásma dráhy (OPD), do něhož patří obytná budova v Tetčicích v ulici Sušilova č. p. 282, u které byl umístěn měřicí bod 1.

K porovnání s legislativními limity je použita vypočtená ekvivalentní hladina akustického tlaku A, od níž byla odečtena standardní nejistota, a jelikož byl mikrofon (tj. bod 1) umístěn před odrazivou fasádou domu do 2 m, byla navíc odečtena korekce na odraženou akustickou energii 2 dB. V Tab. 5.6 jsou s hygienickými limity porovnány upravené výsledné hodnoty měřeného bodu 1, nacházející se v chráněném venkovním prostoru staveb.

Tab. 5.6: Porovnání s hygienickým limitem

Lokalita	Číslo tratě	Bod měření	Ekvivalentní hladina akustického tlaku A $L_{Aeq,T}$ [dB]			
			Naměřené hodnoty		Hygienický limit OPD	
			T = 16 h	T = 8 h	T = 16 h	T = 8 h
Tetčice	240	1	55	44	65	60

Z Tab. 5.6 je patrné, že výsledné hodnoty nepřesahují hygienický limit OPD. Toto ovšem nelze brát jako důkaz, že jsou hygienické limity splněny. Při výpočtu  $L_{Aeq,T}$  nebyly uvažovány nákladní vlaky, které se nepodařilo změřit, tudíž se musí brát vypočtená ekvivalentní hladina akustického tlaku A pouze jako orientační hodnota.

## 6 MODELOVÁNÍ V PROGRAMU CADNAA

V této kapitole jsou shrnuty postupy a výstupy modelování NPC v Hlubočepích a v Tetčicích. K jejich vytvoření byl použit software (SW) CadnaA od společnosti DataKustik, protože nejlépe splňoval podmínky k reálnému ztvárnění akustické situace a z důvodu velmi názorných grafických výstupů. Daný program je k dispozici pro studijní potřeby na ČVUT v Praze pouze pro Fakultu dopravní. Výhradním zástupcem firmy DataKustik je pro Českou republiku společnost EKOLA group, spol. s r. o.

### 6.1 POPIS PROGRAMU CADNAA

Německá společnost DataKustik byla založena v roce 1991 a v současnosti patří mezi přední evropské firmy, která vyvíjejí a produkují programové nástroje pro ochranu životního prostředí především v oblasti ochrany před hlukem a plynnými imisemi.

Konkrétní program CadnaA je určen pro výpočet, predikci a prezentaci hluku v životním prostředí. Tento produkt využívá GIS nástroje a jeho výstupem mohou být velmi názorné a komplexní 3D animace.

Tato práce využívá SW CadnaA k modelování akustických emisí ze železniční dopravy v kontextu s NPC BRENS® BARRIER. Ke kalibraci pro dosažení reálné akustické situace modelu je zde využito akustického měření z kap. 4.3.2 a 5.2.5.

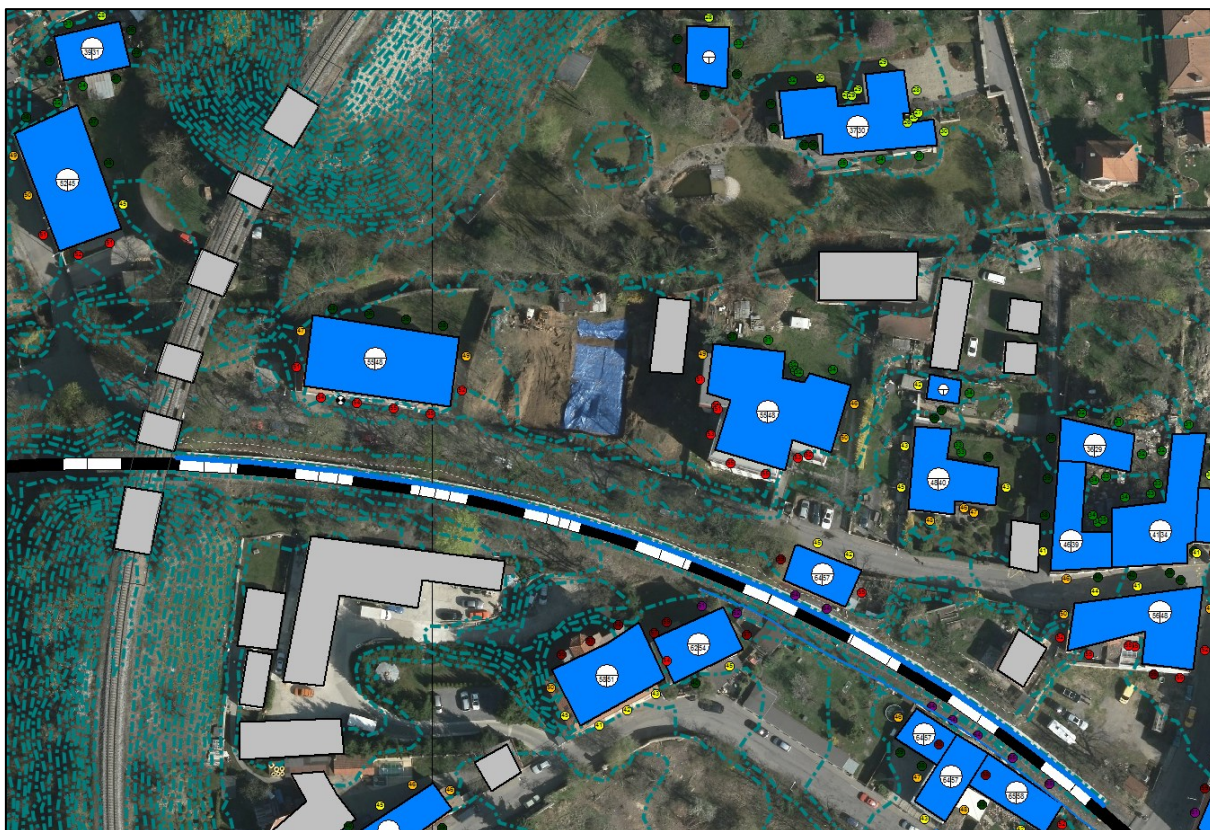
Cílem diplomové práce bylo věrně vymodelovat akustické situace v lokalitách s již postavenými NPC a vytvořit něco jako manuál. Návod uvádí, jak se musí zacházet s NPC v programu CadnaA, aby se při navrhování PHO mohlo v daném softwaru spolehlivě používat toto ověřené nastavení pro NPC. CadnaA nabízí uživatelům celou řadu možností, jak lze daný model nakonfigurovat, proto je důležité brát zřetel na jednotlivé možnosti nastavení.

## 6.2 MAPOVÉ PODKLADY

Jako zdroj mapových podkladů sloužily digitální mapy z geoportálu hl. m. Prahy a mapy zapůjčené Českým zeměměřickým a katastrálním úřadem (ČZÚK). V modelu byly použity tyto mapové podklady:

- mimizegetační ortofoto mapy Prahy,
- ortofoto mapy České republiky,
- výškopisy – DMR 5G – digitální modely reliéfu 5. generace,
- vygenerované polohopisné znázornění budov v programu ArcGIS na základě ortofoto map.

Spojením těchto podkladů byl vymodelován zemský terén (viz Obr. 6.1) s umístěnými budovami v okolí železničních tratí s NPC BRENS® BARRIER, jenž se blíží realitě. Na Obr. 6.1 lze vidět rozlišení jednotlivých budov v Hlubočepch, obytné budovy jsou modře a neobytné šedě zbarvené. Absorpční koeficient  $\alpha$  budov byl určen deterministicky  $\alpha = 0,21$ .



Obr. 6.1: Spojení jednotlivých mapových podkladů v prostředí softwaru CadnaA<sup>35</sup>

<sup>35</sup> Vlastní obrazový materiál – archiv autora.

### 6.3 NASTAVENÍ MODELŮ

Akustické parametry provozu železniční dopravy byly generovány v souladu s německou metodikou Shall 03 (2014). Referenční čas byl určen v souladu s českou legislativou, tudíž časový úsek pro den je přiřazen od 6:00 do 22:00, pro noc od 22:00 do 6:00. Maximální chyba modelů byla nastavena na 0,1 dB. Byla zapnuta extrapolace rastru „pod“ budovami.

V Tetčicích se vyskytly obtíže s ověřením výpočtového modelu na základě měření  $L_{Aeq,T}$ , z těchto důvodů byl mimořádně aplikován železniční bonus o hodnotě 0,7 dB. Problém s kalibrací modelu byl především v imisním bodu M1 umístěným za NPC, jelikož se bod M1 nachází blíže k železniční stanici. Je pravděpodobné, že důvodem jsou rozdílné rychlosti jednotlivých osobních vlaků, které zastavují v železniční stanici. V závislosti na směru jízdy se v tomto úseku vlakové soupravy buď rozjíždějí, nebo vykonávají proces brzdění. Ani jeden z těchto jevů metodika Shall 03 (2014) neumožňuje nasimulovat, proto byl využit železniční bonus, jenž nabízí SW CadnaA ve svém nastavení pro zmíněnou metodiku.

U obou modelů byla nastavena základní nadmořská výška, v pražských Hlubočepích 185,00 m a v Tetčicích 274,00 m. Model terénu byl vyhotoven pomocí triangulace a hodnota implicitního útlumu povrchu terénu byla použita ze základního nastavení SW, tj. 0,30.

Ve výpočtech jsou uvažované dva odrazy od veškerých překážek. Pro ověření výpočtových modelů a výpočty rastrů byla nastavena minimální vzdálenost mezi zdrojem a imisním bodem 0,5 m. Pro výpočty hodnocení budov byla poté tatáž hodnota přenastavena na 2,5 m.

## 6.4 PARAMETRY ŽELEZNIČNÍ TRATĚ A NPC

Podkladem pro výpočet 3D modelu byla DMR 5G. Vrstevnice a násyp železničního tělesa bylo nutné upravit, aby odpovídaly reálnému stavu, který byl zjištěn při terénním průzkumu. Dalším podkladem pro doplnění modelu o určení trajektorie železniční tratě, pozemní objekty, či jiné chybějící prvky v situaci byla ortofotomapa, jež zlepšovala orientaci v modelu.

Vzájemná poloha PHO a železniční tratě byla nastavena použitím funkce paralelního objektu v souladu s kap. 3. Jako podklad pro modelaci NPC a násypu sloužily výkresy podélných a příčných řezů společností Viamont DSP, a. s. a SUDOP Brno, spol. s r. o. V modelu byla NPC nadefinována o výšce 730 mm nad TK ve vzdálenosti 1 730 mm od osy koleje. V prostředí CadnaA nelze vymodelovat NPC ve tvaru parabolického oblouku, jímž je NPC BRENS® BARRIER specifická. Aby byly zachovány maximálně podobné vlastnosti clony, byla vytvořena clona s převislým koncem ve tvaru stříšky ve směru k trati (viz Obr. 6.2), v SW byl převislý konec definován horizontální a vertikální vzdáleností 0,38 m. Pro vnější betonovou stranu NPC byl určen absorpční koeficient  $\alpha$  hodnotou  $\alpha = 0,21$  a pro vnitřní pohltivé části z recyklovaného pryžového materiálu byly definovány hodnotou  $\alpha = 0,60$ .



Obr. 6.2: Tvar NPC v 3D prostředí programu CadnaA<sup>36</sup>

<sup>36</sup> Vlastní obrazový materiál – archiv autora.

### 6.4.1 KOREKCE PRO RŮZNÉ DRUHY OBJEKTŮ

V obou zkoumaných situacích se vyskytují fyzické objekty či parametry tratě, jejichž přítomnost ovlivňuje zásadním způsobem šíření akustické energie. K těmto objektům se musí v modelech přiřadit specifické korekce, pomocí nichž je docílena přesnost modelu. Tato kapitola rozebírá použité a umožňované korekce metodikou Shall 03 (2014) v jednotlivých modelech.

#### 6.4.1.1 Korekce pro směrové oblouky

Tato korekce ovlivňuje výpočet velmi výrazně, proto byly tyto hodnoty přesně určeny na základě dokumentace od SŽDC, s. o.

V Hlubočepch se na trati č. 173 v km 3,524–3,738 (tj. v délce 214 m) nachází úsek s NPC ve složeném levotočivém oblouku s jednou přechodnicí a mezilehlou přechodnicí s klesající křivostí. Poloměr směrového oblouku se pohybuje v intervalu 300–500 m. V Tetčicích se úsek s NPC vyskytuje v přímém úseku trati, proto zde nebyla korekce použita.

Ve zbylých úsecích tratí č. 173 a č. 240 byly uplatněny korekce pro směrové oblouky v souladu s nákrešným přehledem železničního svršku, který byl poskytnut správcem trati.

#### 6.4.1.2 Korekce pro mostní objekty

Metodika Shall 03 (2014) nabízí korekce pro více typů železničních mostních objektů v závislosti na jejich konstrukci (ocelové, betonové) a na druhu železničního svršku (přímé upevnění kolejí k ocelové konstrukci, štěrkové lože, pevná jízdní dráha). Použité korekce byly aplikovány na jednotlivé mosty na základě místního šetření. Další možností uvedené metodiky je použití PHO přímo na trati (resp. v objektu železnice), např.: kolejové absorbéry hluku (KAH) a prosívání pro zlepšení pohltivosti štěrkového lože. Tímto je umožněno nasimulovat synergii PHO, jako je kupříkladu použití NPC s KAH, viz Obr. 6.9 a Obr. 7.7.<sup>37</sup>

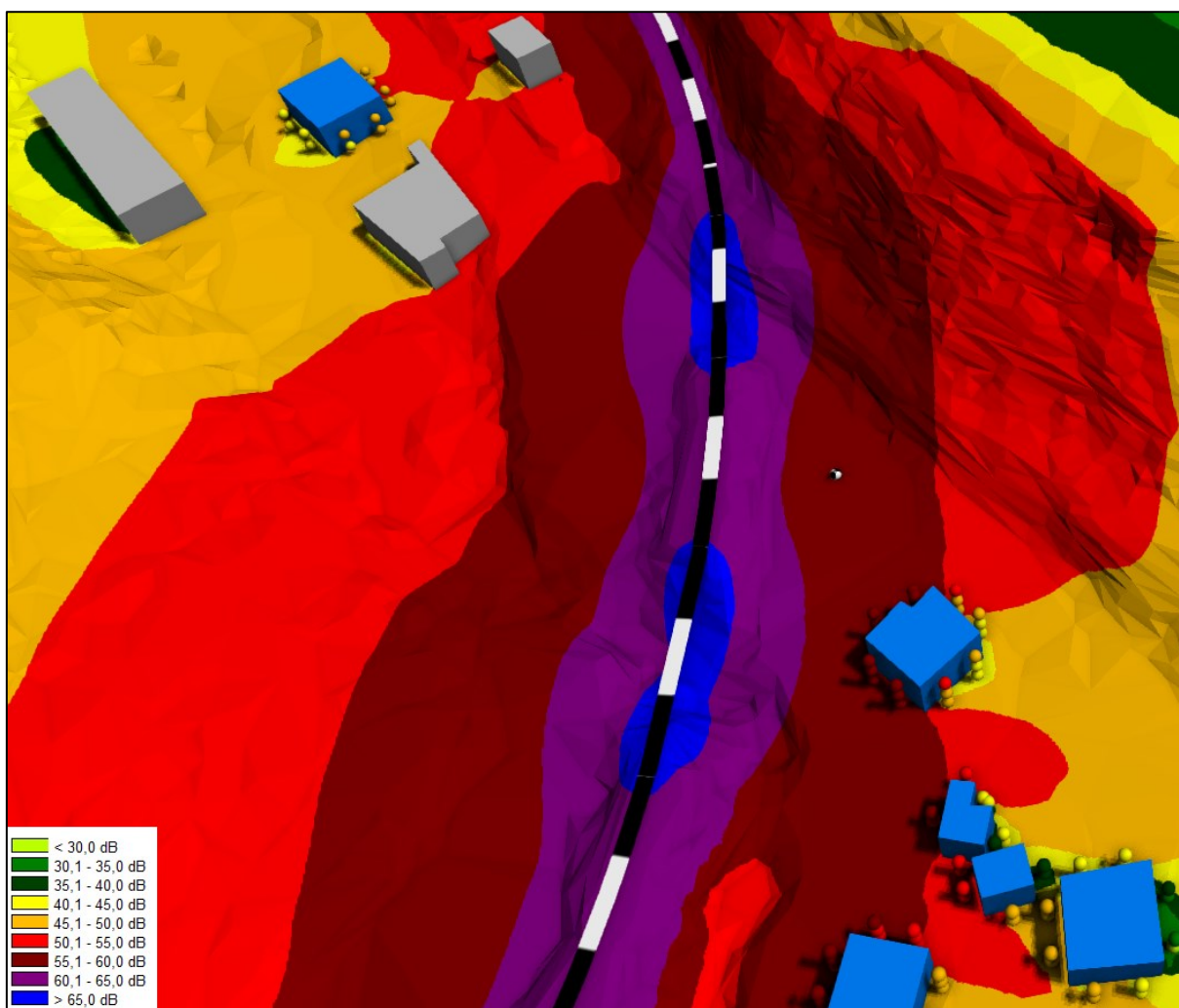
V rámci této kapitoly je nutno zmínit, že jednu konkrétní možnost SW CadnaA nenabízí, a to modelaci pilířů mostních objektů. Z tohoto důvodu byl vymodelován viadukt Buštěhradské dráhy v Hlubočepch pomocí bloků budov (znázorněno na Obr. 6.5). Viadukt má sloužit ke zpřesnění akustického modelu, ať už samotným stíněním zvuku, či jeho odrazům a rezonanci v portálu.

---

<sup>37</sup> *Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege (Schall 03)* [online].

Výsledek korekce pro mostní objekty lze vidět na grafickém výstupu Obr. 6.3, na kterém se vyskytují dva podobné mostní objekty, které mají mostovku z betonové konstrukce a jejich železniční svršek tvoří štěrpkové lože.

Důvodem zvýšeného hluku z mostů oproti zbytku tratě je, že mostní ložisko zajišťuje přenášení svislých sil jak z nosné konstrukce mostu do podpěr, tak přímo do základu při zajištění průběhu deformací, jako je vodorovný posun nebo pootočení.



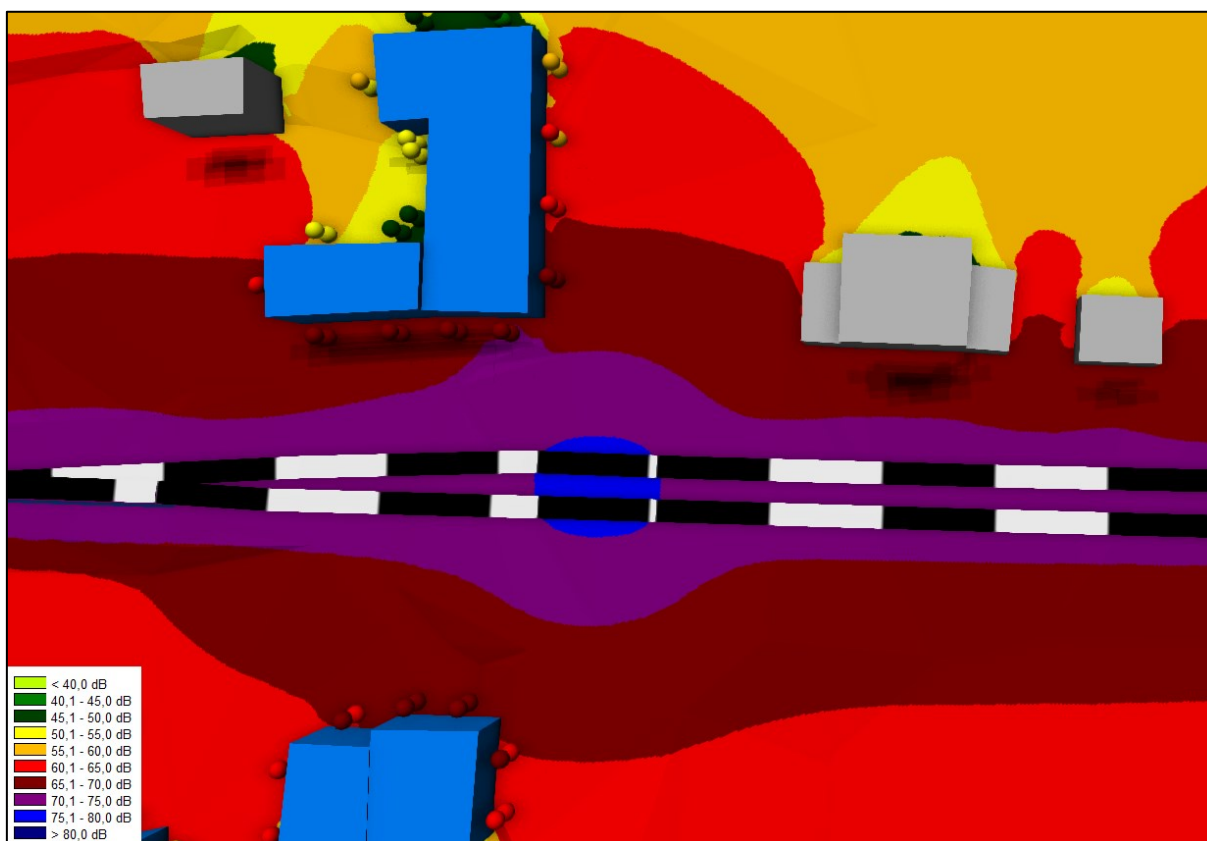
Obr. 6.3: Severovýchodní pohled na trať č. 173 ve směru Praha, Smíchovské nádraží<sup>38</sup>

<sup>38</sup> Vlastní obrazový materiál – archiv autora.



### 6.4.1.3 Korekce pro železniční přejezdy

Další významnou úpravou je korekce pro železniční přejezdy. V obou modelech se vyskytuje po jednom přejezdu a pokaždé nedaleko NPC. V těchto případech byla v nastavení typu dráhy nakonfigurována možnost železniční přejezd, ve zbývajících případech byla určena možnost šterku s pražci. Na zmíněných úsecích tratí je nepřímé upevnění betonových pražců SB8 tuhé podkladnicové s kolejnicí S 49. Znázornění důležitosti této korekce je demonstrováno na Obr. 6.4.



Obr. 6.4: Akustická situace v místě železničního přejezdu v Tetčích<sup>39</sup>

Zvýšení hlučnosti je vyvoláno změnou povrchu v tomto úseku trati z důvodu umožnění poježdění automobilové dopravy. Povrch je odrazivý a blíže podvozku vozů než šterk s pražci.

<sup>39</sup> Vlastní obrazový materiál – archiv autora.

## 6.5 INTENZITA ŽELEZNIČNÍ DOPRAVY

Vstupní údaje z Tab. 6.1 k nastavení intenzity a skladby dopravního proudu v programu CadnaA byly získány z grafikonu vlakové dopravy. Četnosti spojů použité na trati č. 173 pocházejí z roku 2014, na trati č. 240 jsou z roku 2016.

Jednotlivé soupravy vlaků byly sestaveny v nabídce třídy vlaků. Zde byly nastaveny údaje jako např.: délka vlaku, počet náprav, druh brzd (kotoučové či špalíkové), podíl kotoučových brzd jednotlivých vozidel atd.

Tab. 6.1: Četnosti spojů na tratích č. 173 a č. 240

Lokalita	Číslo tratě	Druh vlaku	Řada hnacího vozidla	Druh pohonu	Počet spojů T = 16 h [-]	Počet spojů T = 8 h [-]	Maximální rychlost vozidla [km.h <sup>-1</sup> ]	Maximální traťová rychlost [km.h <sup>-1</sup> ]
Praha, Hlubočepy	173	Os	814-914	motorový vůz	53	5	80	70
Tetčice	240	Os	754		2	0	100	80
		Os	842		16	5	100	
		Os	854		24	2	120	
		R	750.7		14	0	100	

Maximální rychlost na traťových úsecích byla nastavena v souladu s kap. 4.3 a 5.1.1, tudíž je v Praze v Hlubočepích maximální povolená rychlost 70 km.h<sup>-1</sup> a v Tetčicích 80 km.h<sup>-1</sup>.

Možnosti nastavení modelu umožňují jednotlivým vlakovým soupravám určit maximální rychlost, tímto způsobem bylo v Tetčicích docíleno nižších rychlostí (konkrétně 60 km.h<sup>-1</sup>) průjezdů osobních vlaků, které se ve sledovaném úseku rozjíždějí či zastavují. Tetčicemi projíždí 14 rychlíků, které v obci nezastavují, tudíž mohou naplno využít maximální povolenou rychlost v tomto traťovém úseku. Rychlost osobních vlaků byla určena na 60 km.h<sup>-1</sup> na základě výsledků z měření rychlostí vlaků v Tetčicích v roce 2013 společností Výzkumný Ústav Železniční, a. s.

## 6.6 ROZMÍSTĚNÍ IMISNÍCH BODŮ A HODNOCENÍ FASÁD

Obytné budovy jsou rozlišené modrou barvou (viz Obr. 6.5) a zároveň se u všech obytných budov posuzuje hodnocení fasád. Vzdálenosti imisních bodů od jednotlivých fasád jsou 2 m. Výška podlaží je určena na 3 m. Obr. 6.5 zachycuje 3D pohled na dva imisní body určené k ověření výpočtového modelu, navíc je zde znázorněn viadukt Buštěhradské dráhy, který byl vymodelován pomocí bloků budov. Viadukt má sloužit ke zpřesnění akustického modelu, ať už samotným stíněním zvuku, či jeho odrazům a rezonanci v portálu.

Imisní body sloužící ke kalibraci výpočtového modelu byly umístěny v souladu s provedeným akustickým měřením, které bylo shrnuto v kap. 4.3.1 a 5.1.1. Ověření výpočtového modelu je detailněji vysvětleno v následující kap. 6.7 a Tab. 6.2.



Obr. 6.5: 3D vizualizace modelu v Hlubočepích<sup>40</sup>

Výpočty hodnocení fasád byly provedeny bez uvažování odrazů akustické energie od struktur fasád za výpočtovými body.

<sup>40</sup> Vlastní obrazový materiál – archiv autora.

## 6.7 OVĚŘENÍ VÝPOČTOVÉHO MODELU

Ověření výpočtového modelu bylo provedeno na základě naměřených hodnot v kap. 4.3.2 a 5.2.5. V následující Tab. 6.2 je uvedeno porovnání hodnot  $L_{Aeq,T}$  získaných pomocí hladin zvukové expozice  $L_{AE}$  z průjezdů vlaků v jednotlivých místech měření a vypočtených hodnot ekvivalentních hladin akustického tlaku A ve 3D výpočtovém modelu.

Ověření nastavení výpočtových modelů bylo z důvodu porovnání s objektivně a reálně zjištěnými hodnotami měření provedeno s uvažováním odrazů akustické energie od struktur fasád za výpočtovými body.

Tab. 6.2: Ověření výpočtového modelu v posuzovaných územích

Lokalita	Číslo tratě	Místo měření (Imisní bod)	Ekvivalentní hladiny akustického tlaku A $L_{Aeq,T}$ [dB]					
			Naměřené hodnoty		Vypočtené hodnoty		Rozdíl	
			T = 16 h	T = 8 h	T = 16 h	T = 8 h	T = 16 h	T = 8 h
Praha, Hlubočepy	173	M1	50,2	42,8	52,0	44,8	+1,8	+2,0
		M2	48,2	41,8	47,5	40,3	-0,7	-1,5
		M3	55,2	48,0	54,9	47,7	-0,3	-0,3
Tetčice	240	M1	58,8	47,7	56,8	49,7	-2,0	+2,0
		M2	66,8	57,0	65,9	58,1	-0,9	+1,1

V Tab. 6.2 jsou porovnávány pouze hodnoty objektivně a reálně zjištěné měřením, tzn. nejsou započítávány žádné korekce na odraz akustické energie od fasády za místem měření. Uvedené hodnoty  $L_{Aeq,T}$  pro ověření výpočtového modelu jsou včetně odrazu akustické energie od struktur fasád nacházejících se za výpočtovými body, resp. místy měření, a nemohou dle platné legislativy sloužit pro vyhodnocení a porovnání s hygienickými limity, neboť nejsou korigovány pro účely hodnocení a stanovení výsledné hodnocené ekvivalentní hladiny akustického tlaku A.

### 6.7.1 PŘESNOST VÝSLEDKU VÝPOČTU

Vypočtené hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku A jsou uváděny s přesností výsledku výpočtu  $\pm 3,0$  dB.

Mezi faktory ovlivňující přesnost výsledku výpočtu patří především vstupní údaje, přesnost mapových podkladů, neurčitost výpočtu – zaokrouhlování výpočtu apod.

## 6.8 PŘÍČNÉ ŘEZY

V této kapitole byly nasimulovány čtyři možné situace protihlukového opatření v Tetčicích, výsledky viz Tab. 6.3, vertikální řezy byly vykresleny v místě imisního bodu M1 z předešlých kap. 5.1.1.1 a 6.7.

Vypočtené hodnoty z Tab. 6.3 pro jednokolejnou trať doplňují příčné řezy, které ilustrují Obr. 6.6 až Obr. 6.10. Vertikální řezy dvoukolejné trati s různým protihlukovým opatřením jsou v kap. 7.2.2, anebo v příloze 3 jsou veškeré vykreslené příčné řezy k jednokolejné i dvoukolejné variantě.

Tab. 6.3: Přehled vypočteného vložného útlumu hluku jednotlivých PHO

Imisní bod	Počet kolejí	Použité PHO	Ekvivalentní hladina akustického tlaku A $L_{Aeq,T}$ [dB]			
			Vypočtené hodnoty		Rozdíly	
			T = 16 h	T = 8 h	T = 16 h	T = 8 h
M1	1	bez PHO	64,9	57,0	64,9	57,0
		KAH	62,7	54,9	-2,2	-2,1
		NPC	56,8	49,7	-8,1	-7,3
		NPC + KAH	55,4	48,6	-9,5	-8,4
		PHS	53,6	47,1	-11,3	-9,9
	2	bez PHO	63,7	56,4	63,7	56,4
		KAH	61,6	54,3	-2,1	-2,1
		NPC	56,7	50,1	-7,0	-6,3
		NPC + KAH	55,4	49,0	-8,3	-7,4
		PHS	53,4	47,3	-10,3	-9,1

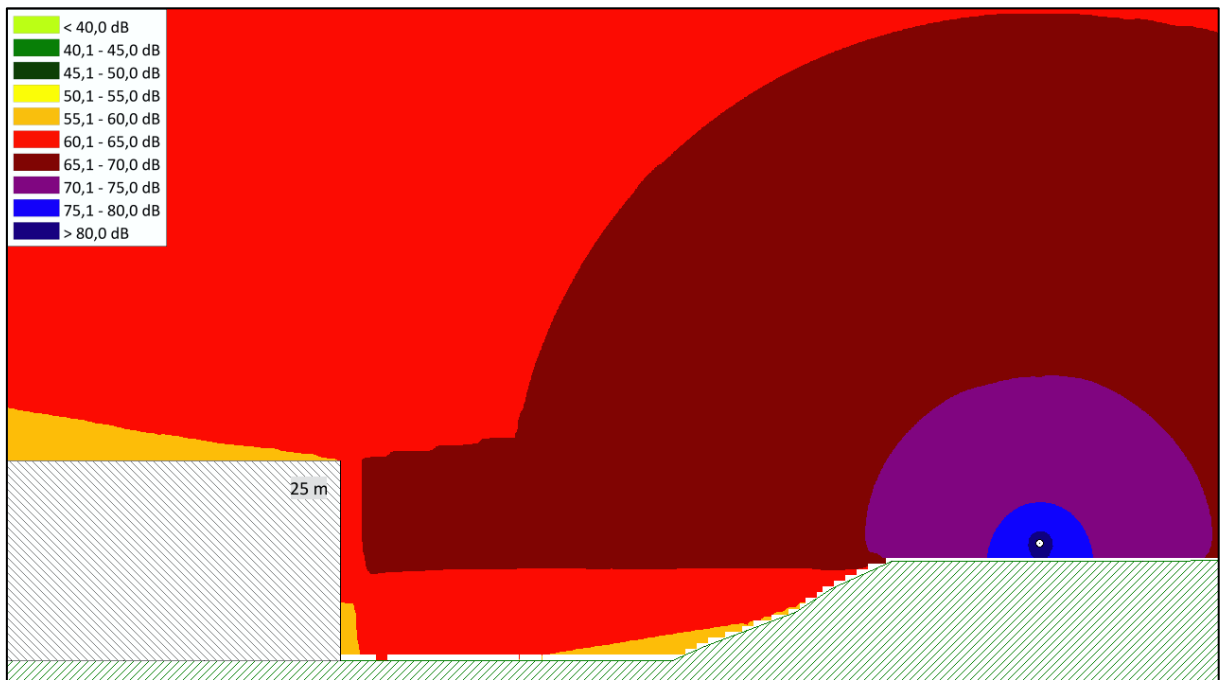
Z výsledků je patrné, že nejvyšší vložný útlum měla standardní PHS, naopak nejnižší účinnost mělo samotné použití kolejového absorbéru hluku.

Výsledné hodnoty vyvrátily vyvolání synergického efektu použitím kombinace NPC a KAH, jelikož součet jejich samostatně posuzovaných vložných útlumů byl vyšší než společné použití těchto opatření. Proto daný výpočet nesplnil základní kritéria synergie, jež se symbolicky zapisují vztahem „1+1>2“.

Toto zjištění není vědeckým důkazem toho, že nelze dojít v této kombinaci PHO k synergii, protože v určitých případech by tomu tak mohlo být, nicméně bylo prokázáno, že se nedá říci exaktně, že dochází při kombinaci těchto PHO k synergii, jelikož nám hned první pokus o tuto kooperaci nevyšel.

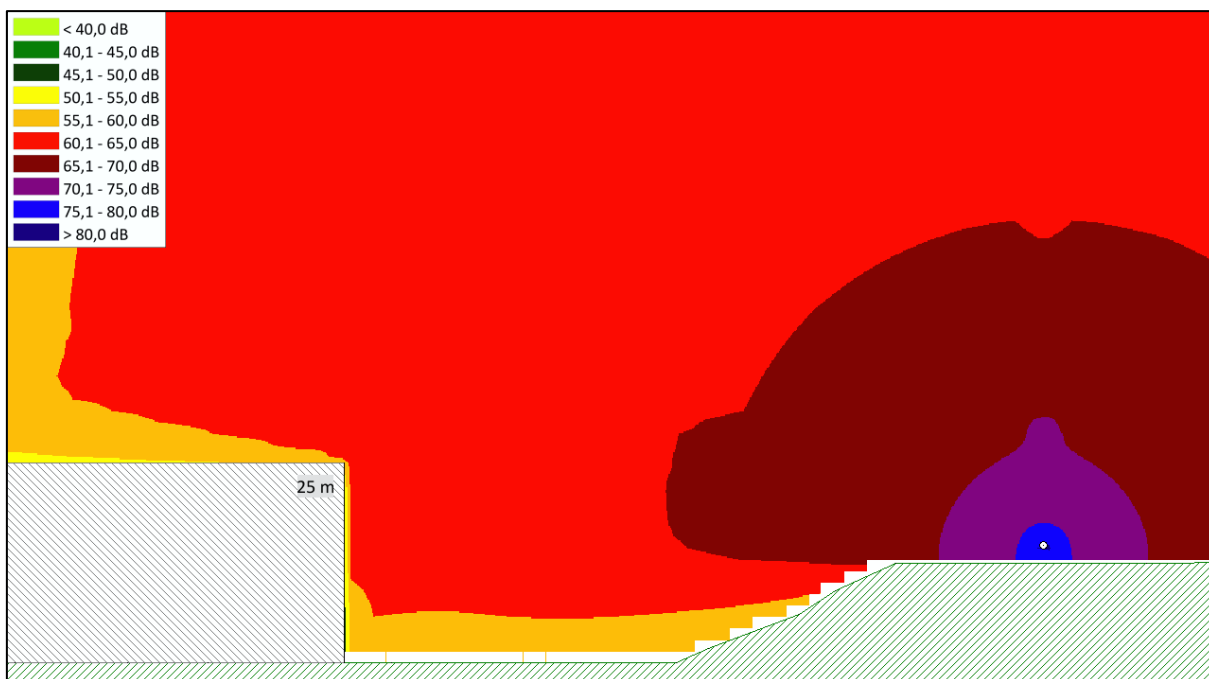
Nicméně i přesto, lze konstatovat, že společné použití těchto prvků je výhodné a v některých případech může konkurovat klasickým PHS z pohledu vložného útlumu hluku. Je však nutné podotknout, že výpočty příčných řezů v této kapitole byly posuzovány při trati na násypu, kde vlastní morfologie terénu a tato NPC jsou ve velmi příznivém poměru.

Rastr, který vykresluje jednotlivé příčné řezy, byl vypočten 3,0 m nad terénem podle umístění M1, jenž byl umístěn právě ve výšce 3,0 m nad zemí. V modelu byla nově nadefinována klasická PHS o výšce 2 000 mm nad TK ve vzdálenosti 3 500 mm od osy koleje. Obr. 6.6 zobrazuje akustickou situaci podél jednokolejné trati bez jakéhokoliv protihlukového opatření.



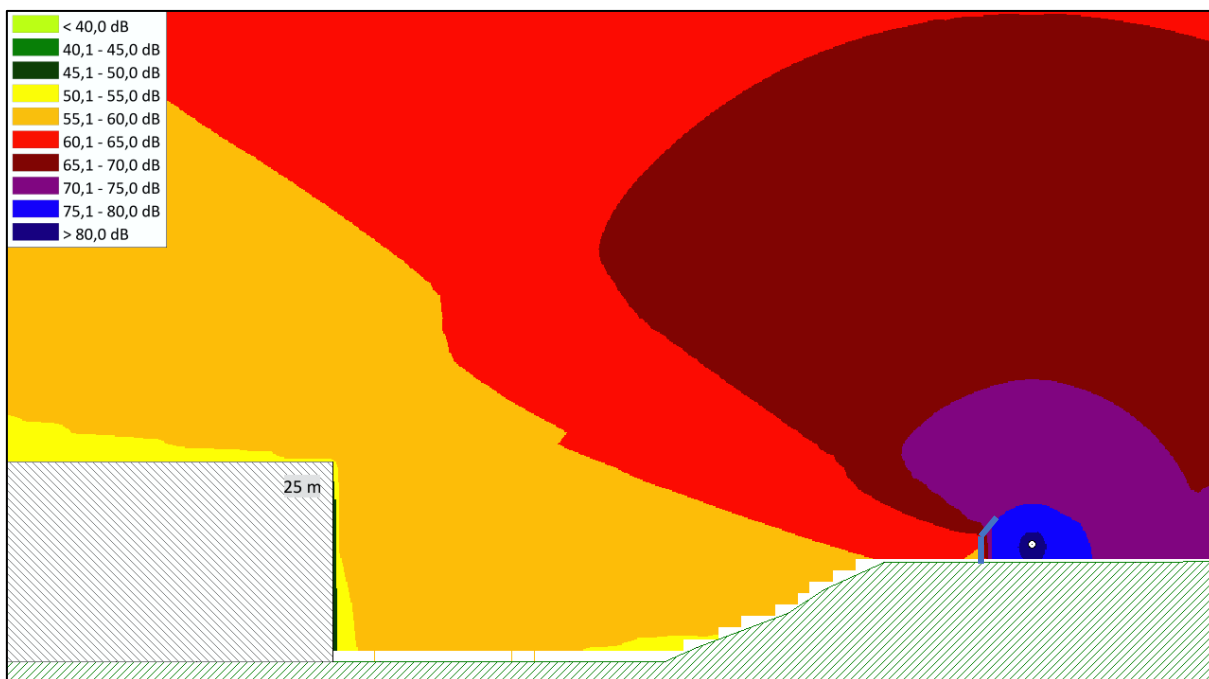
Obr. 6.6: Příčný řez jednokolejné trati bez PHO<sup>41</sup>

<sup>41</sup> Vlastní obrazový materiál – archiv autora.



Obr. 6.7: Příčný řez jednokolejné trati s KAH<sup>42</sup>

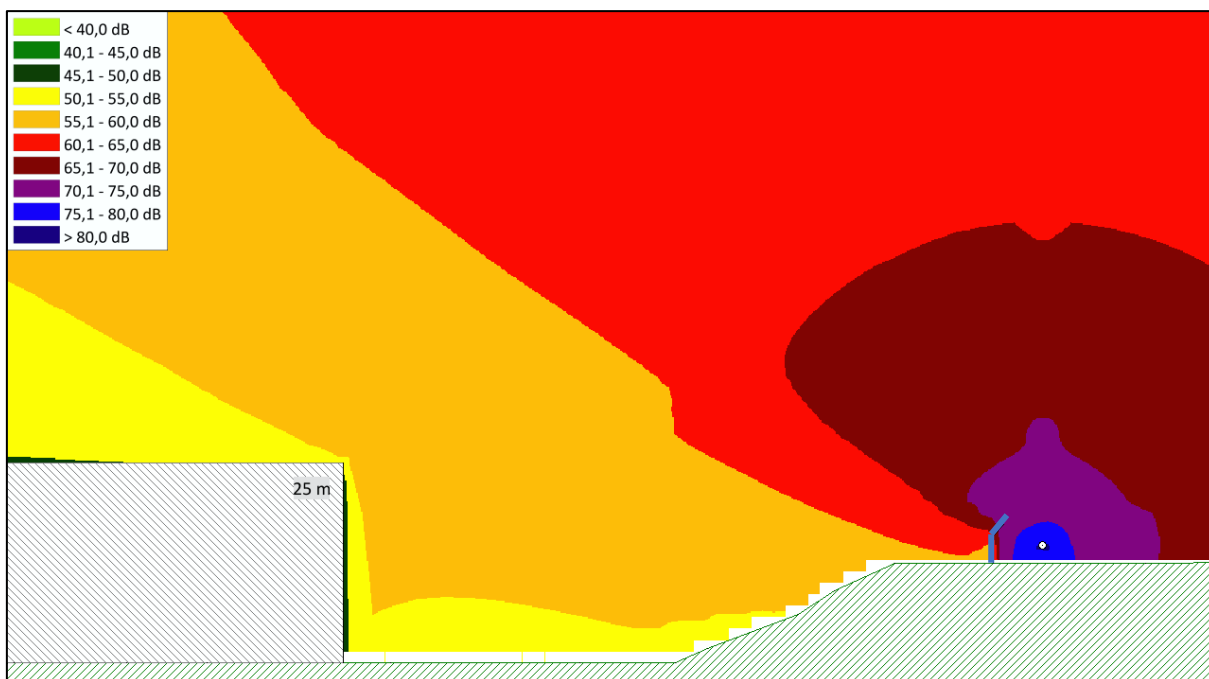
Obr. 6.7 a Obr. 6.8 znázorňují šíření akustické energie prostředím při samostatném použití KAH a NPC.



Obr. 6.8: Příčný řez jednokolejné trati s NPC<sup>43</sup>

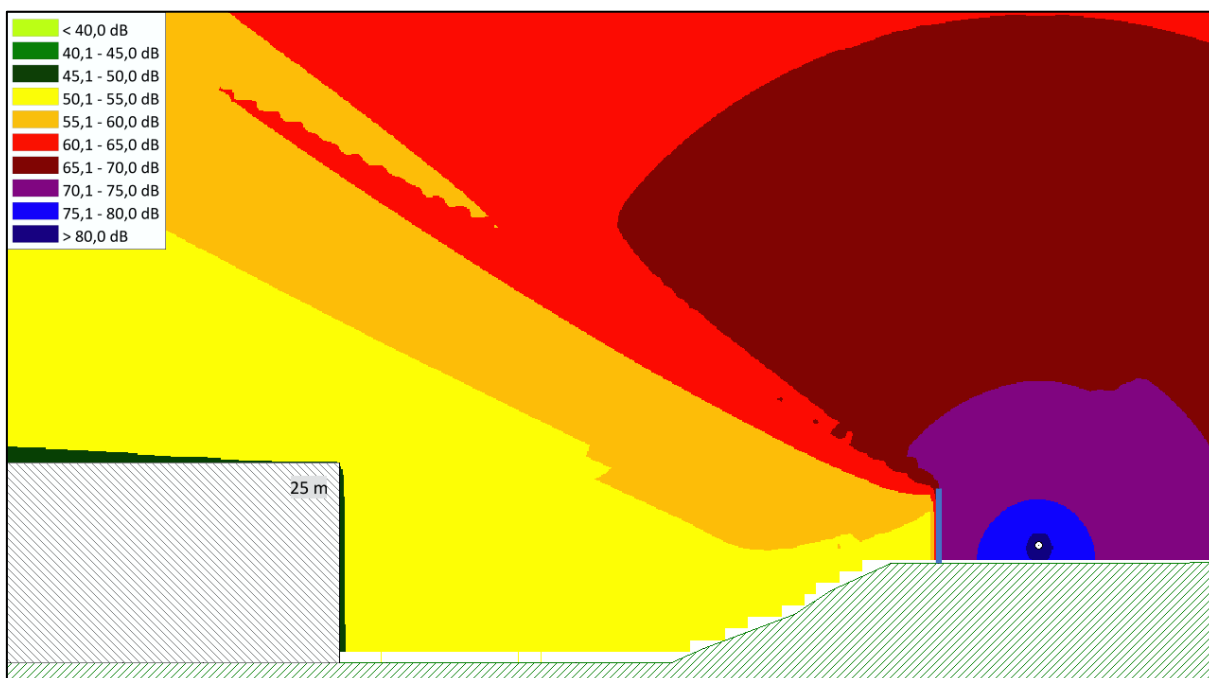
<sup>42</sup> Vlastní obrazový materiál – archiv autora.

<sup>43</sup> Totéž.



Obr. 6.9: Příčný řez jednokolejné trati s kombinací NPC a KAH<sup>44</sup>

Obr. 6.9 a Obr. 6.10 zachycuje šíření akustického tlaku prostředím při použití kombinace KAH a NPC a samostatné klasické PHS.



Obr. 6.10: Příčný řez jednokolejné trati se standardní PHS – 2 m nad TK<sup>45</sup>

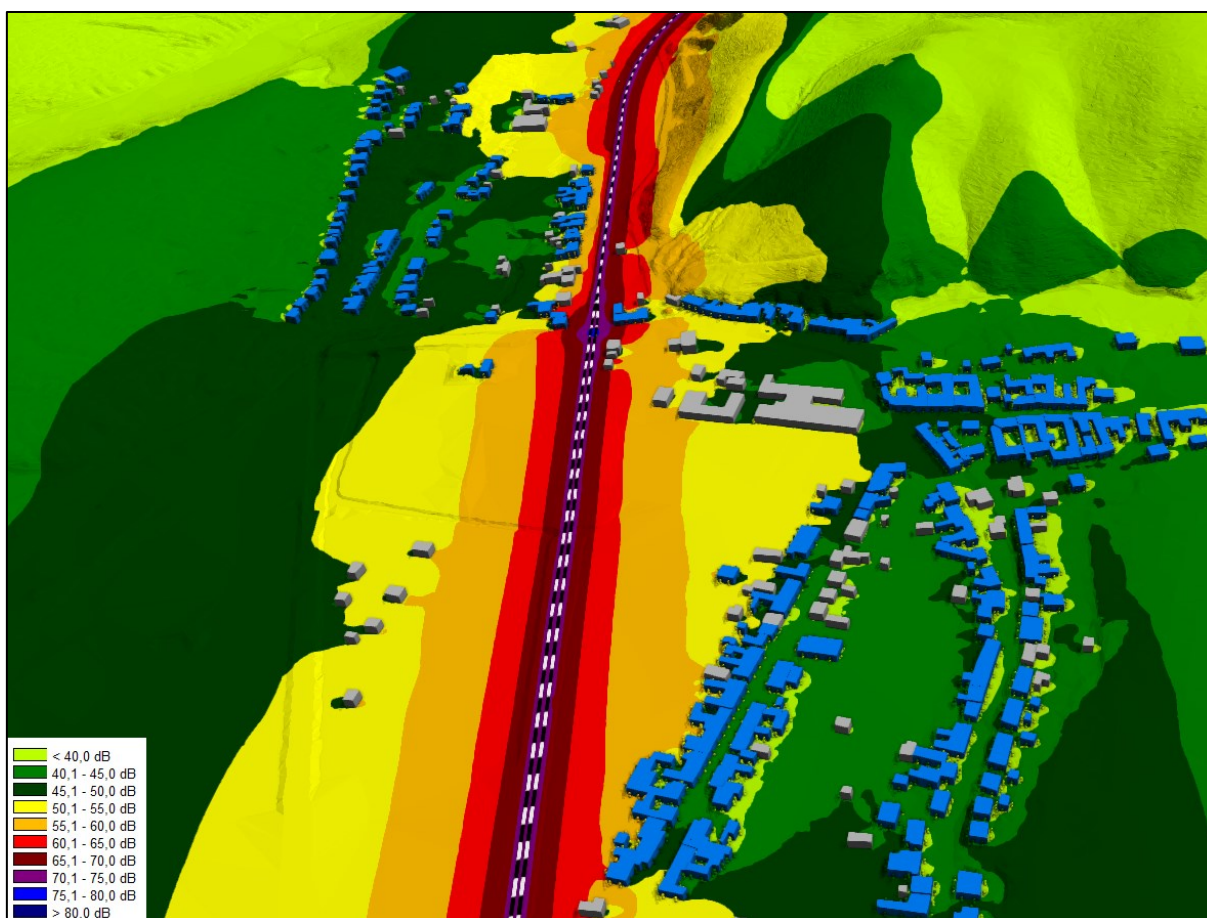
<sup>44</sup> Vlastní obrazový materiál – archiv autora.

<sup>45</sup> Totéž.



## 6.9 MAPOVÉ VÝSTUPY

Výstupy jednotlivých modelů jsou hlukové mapy sloužící k přehlednému zobrazení naměřených a vypočítaných akustických veličin. Hlukové mapy se obvykle udávají pouze ve 4 m nad terémem, vzhledem k výšce obytné zástavby a z důvodu specifičnosti NPC se vypočítal rastr i ve 2 m nad terémem. Obě varianty byly znázorněny pro denní (od 6:00 do 22:00) a noční (od 22:00 do 6:00) dobu. Tyto výstupy z programu CadnaA se použily jako mapový podklad k výkresům v příloze 2. Pro vylepšení celkového dojmu byly tiráže výkresů vyhotoveny s dopomocí programů AutoCAD a Zoner Photo Studio. 3D pohled na Obr. 6.11 zobrazuje rastrový podklad, který byl využit při tvorbě mapových výkresů.



Obr. 6.11: Pohled z ptačí perspektivy na traťový úsek s NPC v kontextu s obcí Tetčice<sup>46</sup>

Samotný výpočet rastru, jenž je znázorněn na Obr. 6.11, je velmi náročný na výpočetní výkon, a proto byly použity ryze výpočtové počítače určené pouze k výpočtu časově náročných úloh, i přesto každá jednotlivá úloha trvala cca 5 hodin.

Výpočty jednotlivých rastrů byly z důvodu porovnání s objektivně a reálně zjištěnými hodnotami měření provedeny s uvažováním odrazů akustické energie od struktur fasád za výpočtovými body.

<sup>46</sup> Vlastní obrazový materiál – archiv autora.

## 7 PROBLEMATIKA VYUŽITÍ NPC

NPC nejsou pouze zajímavou alternativou protihlukového opatření, ale přinášejí s sebou i určité hrozby a rizika. Kontroverze využití NPC plyne z údržby a konstrukčního hlediska. Dokonce i při malém založení může nastat problém s odvodněním a určitými stavebními prvky, které se nacházejí poblíž tratě. Údržba může být obtížnější a časově náročnější. Problémy se mohou objevit v případě nehod, neboť může narůst doba potřebná pro evakuaci. NPC zvyšují riziko pro pracovníky vykonávající dohledací a pochůzkovou činnost v místech s NPC, jelikož jsou obtížnou překážkou, kterou by překonávali v případě, že by projížděl vlak.

### 7.1 NPC VE VZTAHU K PRŮJEZDNÉMU PROFILU A BEZPEČNOSTI DOPRAVY

V této kapitole jsou shrnuty nejpodstatnější bezpečnostní a technické požadavky, které je nutno splnit k výstavbě PHS v České republice.

#### 7.1.1 BEZPEČNOSTNÍ A TECHNICKÉ POŽADAVKY PHS NA TRATÍCH SŽDC

PHS nesmí zasahovat do VSMP, jenž je vymezen vzdáleností 3 000 mm od osy koleje a výškou 3 500 mm nad TK. Na širé trati, kde se nepředpokládá pravidelný posun, je přípustná vzdálenost VSMP 2 500 mm od osy koleje.<sup>47</sup>

Z bezpečnostních důvodů musí být v protihlukové stěně umístěny únikové otvory o minimální šířce 2,5 m, aby bylo možno opustit kolejiště i s nosítky. Únikový otvor musí mít akustické vlastnosti okolní PHS, zabezpečující zachování její celkové účinnosti, tudíž musí být tento otvor cloněn rovnoběžnou stěnou vzdálenou min. 1,0 m. Únikové dveře mohou nahradit únikový otvor za těchto předpokladů: budou opatřeny samouzavíracím mechanismem a těsněním, otevírání bude možné pouze na stranu ven od kolejiště, světlá šířka bude min. 1,0 m a výška min. 2,1 m. Místa nouzových úniků musí být jasně označena předepsaným značením, jež má být umístěno ve výšce 1,5 m nad terénem.

Je-li PHS jednostranná, musí být úniková místa od sebe vzdálena max. 300 m. Pro oboustrannou stěnu platí vzdálenost max. 150 m. A pokud vede jednostranná PHS podél hlavní koleje a jsou-li vedle sebe více než čtyři koleje, musí být úniková místa od sebe vzdálena jako u oboustranné stěny, tudíž max. 150 m.

Všechny objekty pro obsluhu trati SŽDC a traťové značení jsou prioritní a vedení PHS je jim podřízeno. V těchto případech se uvolnění místa docílí odsunutím PHS, vytvořením výklenku ve stěně nebo snížením její výšky. Důležitý je také výběr materiálu vzhledem k možnému odrazu světla, aby nebyla ohrožena bezpečnost dopravy oslněním strojvedoucího. Rozhledové poměry na přejezdech

---

<sup>47</sup> SŽDC (ČD) D2. *Předpis pro organizování a provozování drážní dopravy.*

a přechodech nesmí být protihlukovou stěnou dotčeny. Pokud rozhledové poměry nelze splnit, je nutné provést změnu zabezpečení přejezdu.

PHS musí být dostatečně odvodněna do odvodňovacího zařízení tak, aby nezpůsobila zadržování vody za PHS, a tím podmáčení tělesa železničního spodku.

Při volbě materiálů protihlukového opatření je třeba mít na zřeteli dostupnost a proveditelnost možného zásahu složek integrovaného záchranného systému (IZS) z hlediska požární ochrany. Technické provedení těchto opatření musí umožnit efektivní zásah složek IZS a bezpečnou evakuaci osob.<sup>48, 49</sup>

### 7.1.2 PROBLEMATIKA NPC Z HLEDISKA BEZPEČNOSTI

Stěna BRENS® BARRIER zasahuje do **VSMP** dle platného předpisu SŽDC D2 (viz kap. 7.1.1), jelikož je vzdálená 1 730 mm od osy koleje. Zásadní problematikou při použití NPC je bezpečnost pohybu drážních zaměstnanců. Pohyb a činnost pracovníků provozovatele dráhy podél NPC jsou výrazně omezeny. Nízké clony jsou pro zaměstnance pracující na kolejích obtížnou překážkou, kterou by museli překonat v případě projíždějícího vlaku. Dle předpisu SŽDC S3, díl X, odst. 17 také není dodržen prostor pro práci mechanizačních prostředků. Použití této stěny bude umožněno jen za předpokladu, že bude definována vlastníkem infrastruktury v příslušných technických dokumentech.

Podél PHS je podle předpisu SŽDC S3, díl X, odst. 11 nutné zachovat drážní stezku minimální šířky 400 mm. Tzv. pracovní stezka na prefabrikátu (viz Obr. 3.1) ve výšce více než 0,5 m nad okolním terénem ji dle Přílohy k nařízení vlády č. 101/2005 Sb. (o podrobných požadavcích na pracoviště a pracovní prostředí) v žádném případě nemůže nahradit – viz odst. 3.3.4 a 3.3.5.

NPC jsou smontovány ze soustavy betonových prefabrikovaných dílců uložených v konstrukci železničního svršku vně koleje nebo kolejí v těsné blízkosti vně průjezdného průřezu dráhy. NPC **nejsou trvale spojeny základem se zemním tělesem** dráhy i kvůli snadnému přístupu složek IZS. Prefabrikát je tedy volně položen a není dostatečně zabezpečen proti posunutí nebo natočení.

Z hlediska odvodnění není poloha NPC výhodná. Odvodňovací zařízení je nutné umístit na stranu opačnou, nežli je umístěna NPC tak, aby nebyly jednotlivé prvky odvodnění a clon v kolizi. Pokud by NPC měla být umístěna na obou stranách koleje (např. u dvukolejné trati), je nutné odvodňovací zařízení odsunout až za NPC. Podklad NPC pak bude bránit přirozenému odtoku vody z kolejiště. Také zde bude problém s umístěním kabelů vedoucích podél trati.

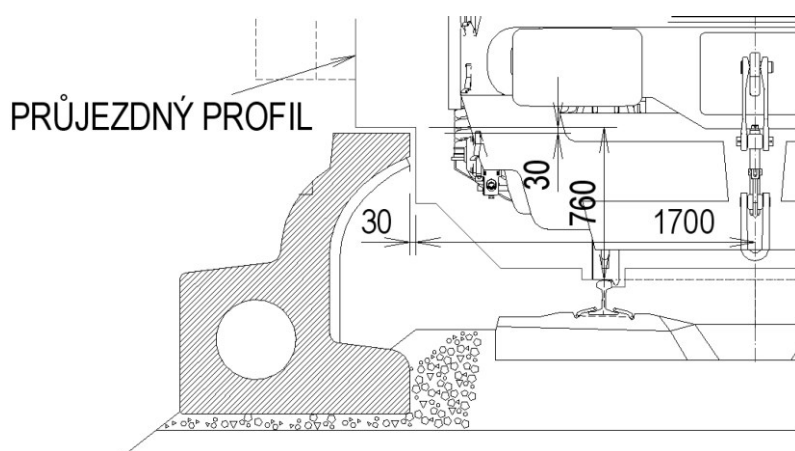
---

<sup>48</sup> ČD. *Metodický pokyn: protihlukové stěny a valy.*

<sup>49</sup> SŽDC. *Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah: protihluková opatření.*

V případě umístění NPC v oblasti zhlaví železniční stanice mohou být prvky NPC překážkou pro přestavník výhybek. U starých výhybek s ručním přestavňákem i výhybek s elektromotorickým přestavňákem upevněným pomocí připevňovací soupravy se vnější hrana přestavňáku pohybuje kolem 2,3 m. Stejný problém nastane i při umístění přestavňáku do žlábkového pražce.

Údržbu tratě lze vykonávat pouze v době výluky, po ukončení prací je nutné překontrolovat polohu NPC s ohledem na zachování průjezdného průřezu viz Obr. 7.1. Do nákladů na údržbu tratí je nutné přičíst i např. náklady na pravidelnou kontrolu zachování průjezdného průřezu, demontáž a zpětnou montáž v případě oprav souvislého charakteru včetně opravy znehodnocených podkladních vrstev, údržbu stezky ručně a údržbu samotné NPC.



Obr. 7.1: Průjezdný profil trati v kontextu s NPC<sup>50</sup>

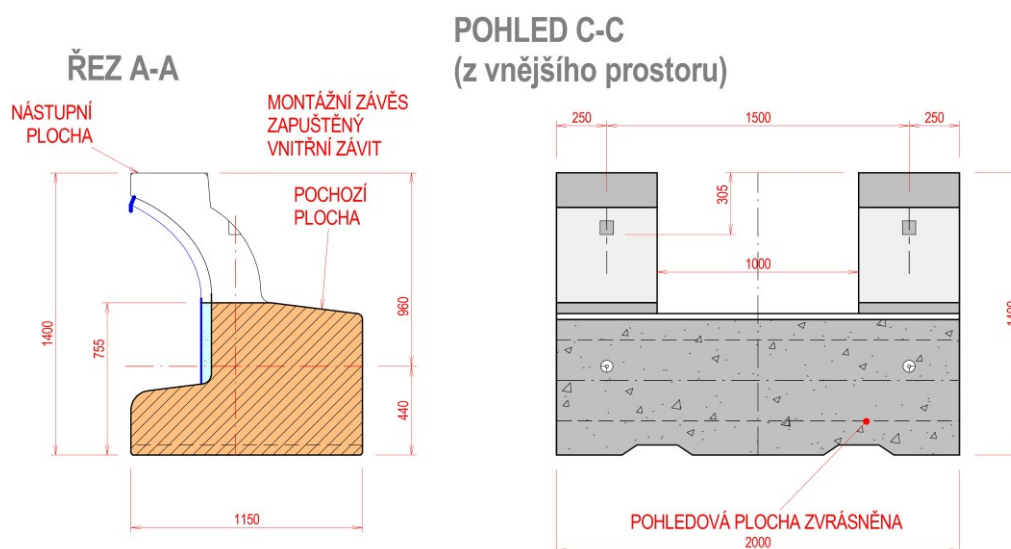
V místě, kde budou osazeny NPC, je nutné počítat s vytvářením závějí a sněhových jazyků ve zvýšené míře. K odklizení sněhu je možné využít mechanizace k tomu určené, jako je kolejová sněhová fréza nebo kolejový sněhový pluh odklízovací soupravy, obě variace mohou být využité pouze omezeně. Vzhledem k tomu, že prefabrikát NPC není dostatečně zabezpečen proti posunutí nebo natočení, bude nutné po každém projetí mechanizace pro odklizení sněhu překontrolovat zachování průjezdného průřezu, což opět zvýší náklady na zimní údržbu.

Vzhledem k široké základně NPC je pravděpodobnost podlezení clony drobnými živočichy prakticky nemožná, u klasických PHS jsou často pod soklovými panely mezery, které alespoň částečně migraci drobných živočichů umožňují. Proto je vhodné v prostoru NPC umístit propustek pod tratí. Oproti klasickým stěnám mají NPC velkou výhodu v tom, že prakticky nezasahují do krajinného rázu svojí výškou. Obdobně jejich nízká výška také nemůže způsobit zastínění objektů a jejich pozemků.

<sup>50</sup> EISENREICH, J. a M. NEJEZCHLEB. *Kolejový absorbér hluku s protihlukovou clonou.*

Přeprava zásilek s překročenou ložnou mírou (PLM) se považuje za mimořádnou a vyžaduje zvláštní technické a provozní opatření, které nesplňuje NPC, jelikož zasahuje do zavedených obrysů evidenčního prostoru. Proto je nutné tyto stěny vždy zanést do aktuální databáze překážek prostorové průchodnosti tratě. V posledních letech je registrován zvýšený počet požadavků na přepravu zvláště nadměrných zásilek, a to převážně transformátorů, které svými rozměry v některých případech zasahují i mimo vymezené evidenční prostory. Z důvodů přeprav s PLM je možnost instalace NPC omezená pouze na úseky tratí, kde není poptávka po této dopravě.

Při určitých konstelacích popisovaných v kap. 7.1.1, je nutné zřízení únikových otvorů v PHS. NPC nesplňuje minimální šířku otvoru 2,5 m, tudíž nelze opustit bezpečně kolejiště i s nosítky. Šířka navrženého únikového místa je pouze 1 m, jak znázorňuje Obr. 7.2. Z hlediska zachování účinnosti stěny v některých situacích jako při umístění clony na vysokém násypu, nelze rovnoběžně postavit stěnu, jež by clonila únikový otvor. Proto není vhodné navrhovat dlouhé úseky NPC, které by vyžadovaly toto opatření.



Obr. 7.2: Dva pohledy na prefabrikátový dílec s únikovým otvorem<sup>51</sup>

Využití „prostoru pro přežití“ (viz Obr. 3.1) je téměř vyloučeno, poněvadž je důsledek pokusu o záchranu tímto způsobem považován správcem infrastruktury za extrémně škodlivý. Navíc bude v zimním období po údržbě úseku železniční dopravní cesty s NPC mechanizací pro odklízení sněhu tento prostor ucpán sněhovou masou.<sup>52</sup>

<sup>51</sup> EISENREICH, J. a M. NEJEZCHLEB. *Kolejový absorbér hluku s protihlukovou clonou.*

<sup>52</sup> *Vyhodnocení účinnosti betonové nízké protihlukové clony.*

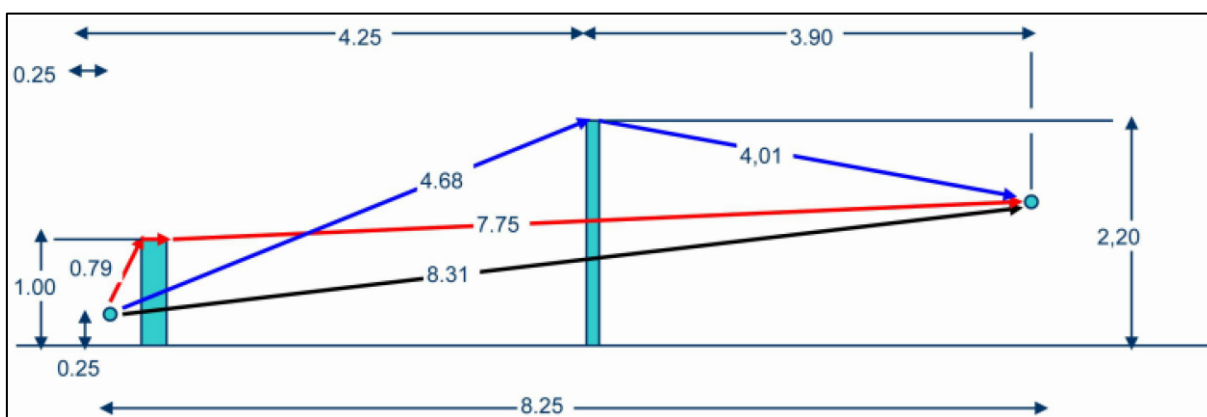
## 7.2 PROBLEMATIKA VYUŽITÍ NPC U DVOUKOLEJNÝCH TRATÍ

Použití NPC u dvoukolejných tratí z hlediska akustického řešení, záleží především na umístění železniční trati v okolní krajině. Vlastní morfologie terénu může být s použitím NPC nedostatečná (např. u trati v rovině okolního terénu), nebo naopak výhodná, proto je nutné podotknout, že byly výpočty příčných řezů v následující kapitole posuzovány při trati na násypu, kde je vlastní morfologie terénu a tato NPC ve velmi příznivém poměru.

Největším bezpečnostním rizikem by bylo umístění oboustranné NPC podél dvoukolejné trati, popř. osazení NPC mezi kolejemi, proto tento případ zavrhuje MP NPC, viz 8.1.

### 7.2.1 GEOMETRICKÉ SROVNÁNÍ ÚČINNOSTI NPC

NPC patří mezi pasivní protihlukové opatření, jež se umísťují blíže k železnici a mají nižší hmotnost než běžné PHS. Vysoké PHS se obvykle staví ve vzdálenosti přibližně 4 m od osy koleje a jejich výška dosahuje hodnot mezi 1,5-4,0 m nad TK. NPC se instalují ve vzdálenosti 1,73 m od osy nejbližší koleje a 500-900 mm nad TK. Na Obr. 7.3 je znázorněna typická situace se dvěma možnými clonami rozdílných výšek a v různých pozicích. Na náčrtu jsou zdrojový bod a bod měření označeny kroužky, délky červených a modrých linek se srovnávají s délkou černé linie – v této konkrétní situaci se dosahuje stejného vloženého útlumu hluku. Tuto teorii ovšem nelze uplatnit u dvoukolejné trati za předpokladu použití jednostranné NPC, protože se u ní vyskytují dva zdroje zvuku.



Obr. 7.3: Geometrické srovnání účinnosti NPC a vysoké PHS<sup>53</sup>

Z akustického hlediska je myšlenka nízkých clon blíže ke zdroji valivého hluku smysluplná. V jistých situacích se může dokonce navýšit vložený útlum hluku, zejména tehdy, když lze NPC umístit mezi tratě. Další výhoda spočívá v tom, že se ve výhledu nestává velikou překážkou pro účastníky železniční dopravy ani rezidenty.

<sup>53</sup> SCOSSA-ROMANO, E. a J. OERTLI. *Rail Dampers, Acoustic Rail Grinding, Low Height Noise Barriers* [online].

## 7.2.2 PŘÍČNÉ ŘEZY U DVOUKOLEJNÉ TRATI Z PROGRAMU CADNAA

Tab. 7.1 prezentuje výsledky výpočtového modelu s jednotlivými protihlukovými opatřeními, vypočtené hodnoty dvoukolejnou trať doplňují příčné řezy, které ilustrují na Obr. 7.4 až Obr. 7.8 akustickou situaci v kontextu s různými druhy PHO u dvoukolejné trati umístěné v násypu. Všechny uvedené příčné řezy jsou zároveň v příloze 3.2.

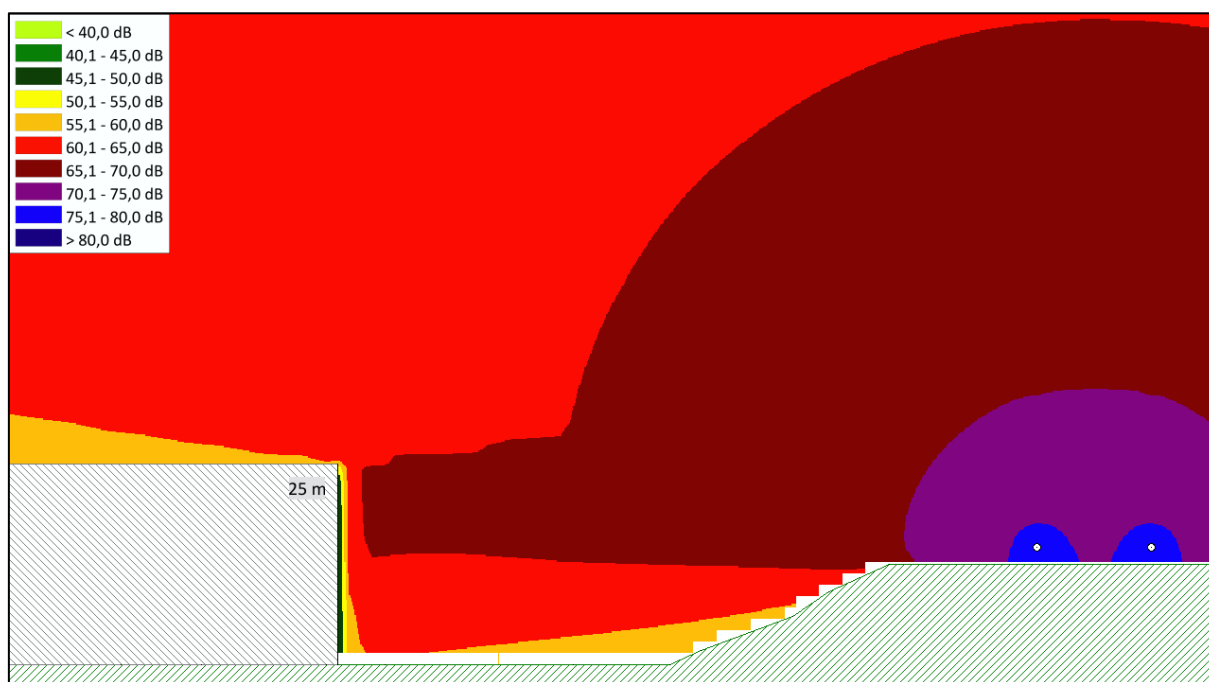
Tab. 7.1: Přehled vypočteného vložného útlumu hluku jednotlivých PHO u dvojkolejné trati

Imisní bod	Počet kolejí	Použité PHO	Ekvivalentní hladina akustického tlaku A $L_{Aeq,T}$ [dB]			
			Vypočtené hodnoty		Rozdíly	
			T = 16 h	T = 8 h	T = 16 h	T = 8 h
M1	2	bez PHO	63,7	56,4	63,7	56,4
		KAH	61,6	54,3	-2,1	-2,1
		NPC	56,7	50,1	-7,0	-6,3
		NPC + KAH	55,4	49,0	-8,3	-7,4
		PHS	53,4	47,3	-10,3	-9,1

Umístění NPC a klasické PHS zůstává totožné jako u kap. 6.8. Pro potřeby dvoukolejné trati byl rozšířen násyp, aby byla dodržena osová vzdálenost kolejí 4 000 mm v přímém úseku tratě. Intenzita železniční dopravy byla zachována z kap. 6.5, proto byla doprava rovnoměrně rozdělena do obou kolejí, abychom mohli porovnávat hodnoty s ověřeným výpočtovým modelem na základě akustického měření. V reálném provozu by totiž intenzita železniční dopravy byla spíše dvojnásobná, dokonce by teoreticky mohla být i vyšší, jelikož u zdvoukolejení trati platí synergie.

Cílem těchto výpočtů nebylo porovnání vložného útlumu NPC na jednokolejné a dvoukolejné trati, k tomu by muselo dojít po opětovném měření u dvoukolejné trati a ověření výpočtového modelu, tudíž (si) nelze Tab. 6.3 z předchozí kap. 6.8 takto vykládat.

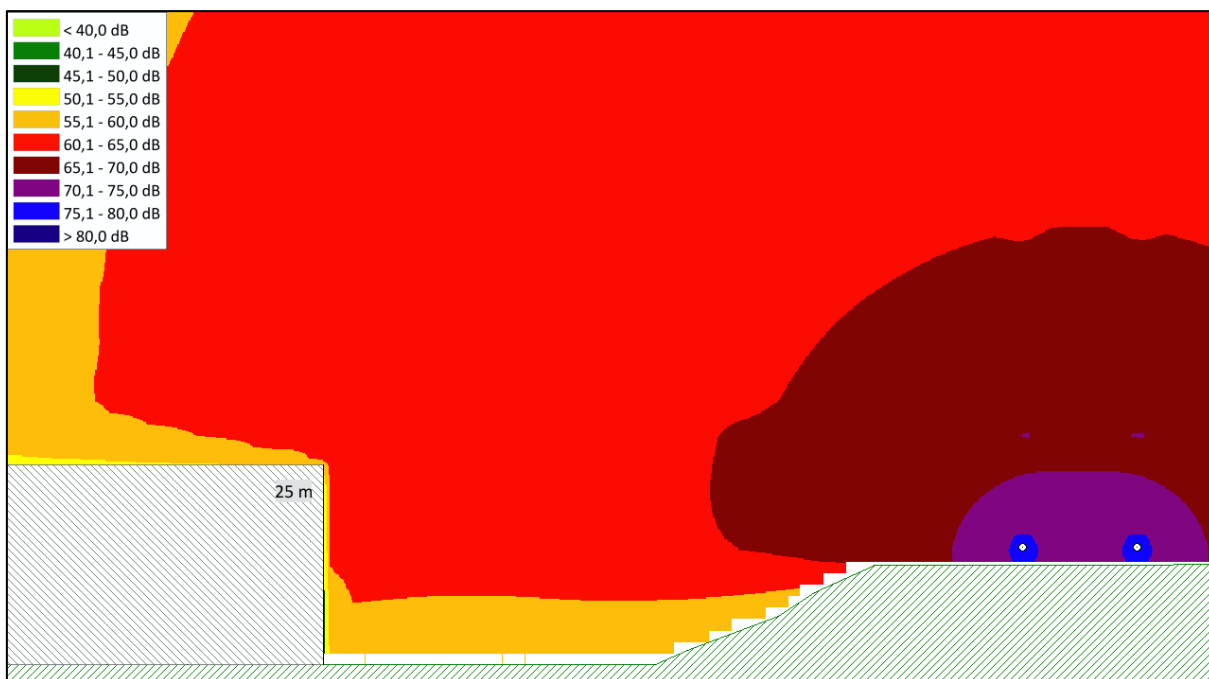
Obr. 7.4 zobrazuje akustickou situaci podél dvoukolejné trati bez jakéhokoliv protihlukového opatření.



Obr. 7.4: Příčný řez dvoukolejné trati bez PHO<sup>54</sup>

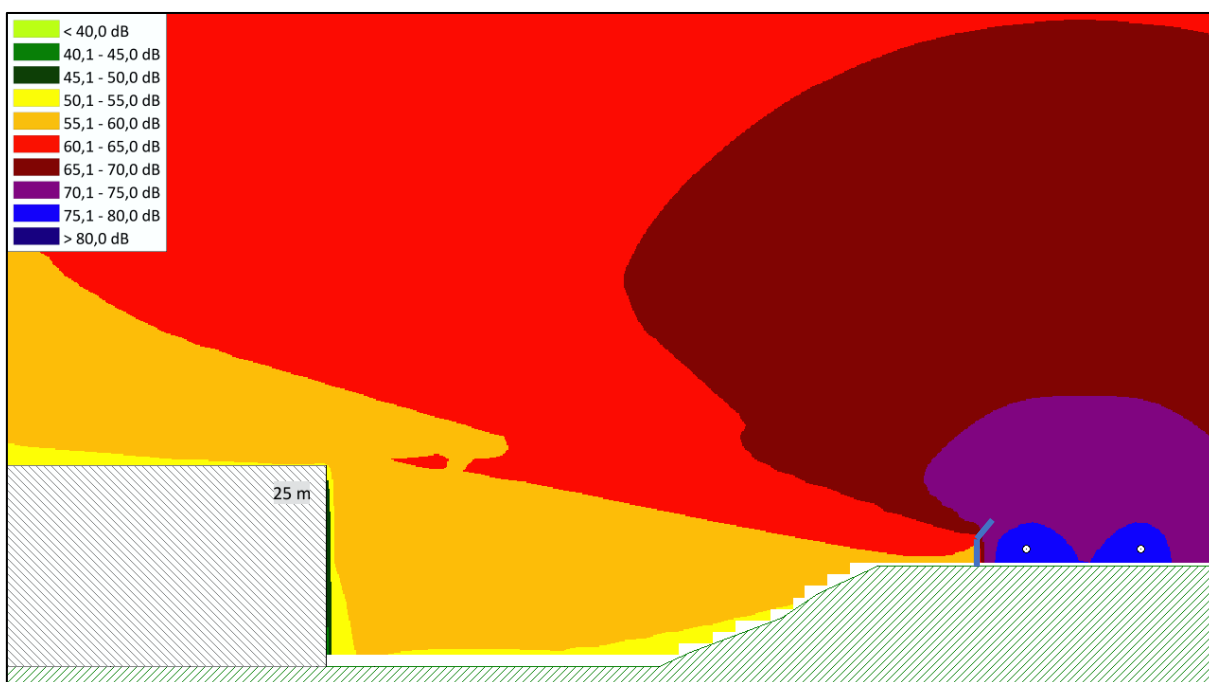
<sup>54</sup> Vlastní obrazový materiál – archiv autora.





Obr. 7.5: Příčný řez dvoukolejné trati s KAH<sup>55</sup>

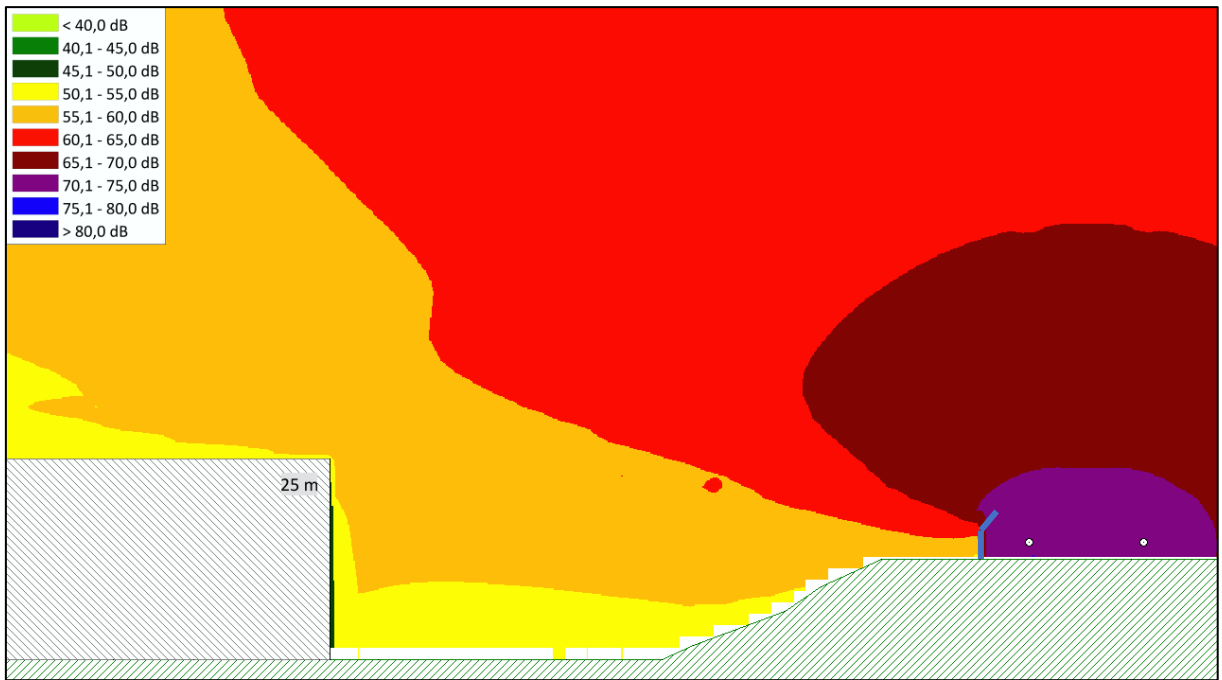
Obr. 7.5 a Obr. 7.6 znázorňují šíření akustické energie prostředím při samostatném použití KAH a NPC.



Obr. 7.6: Příčný řez dvoukolejné trati s NPC<sup>56</sup>

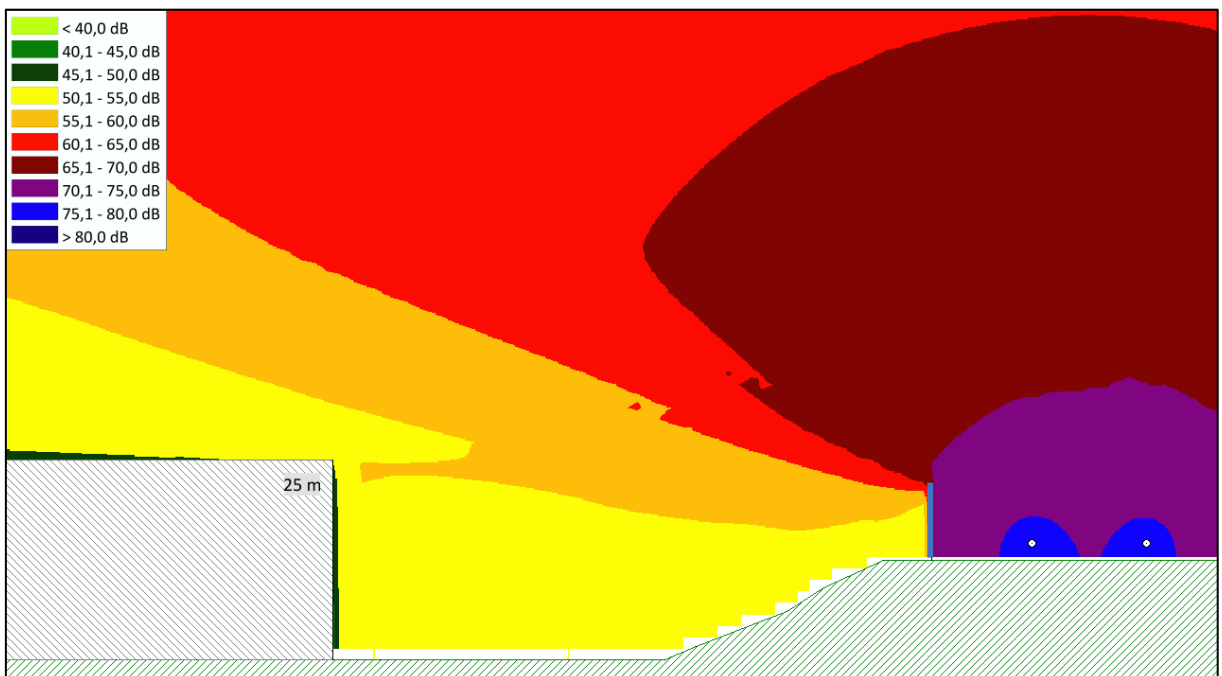
<sup>55</sup> Vlastní obrazový materiál – archiv autora.

<sup>56</sup> Totéž.



Obr. 7.7: Příčný řez dvoukolejné trati s kombinací NPC a KAH<sup>57</sup>

Obr. 7.7 a Obr. 7.8 zachycuje šíření akustického tlaku prostředím při použití kombinace KAH a NPC a samostatné klasické PHS.



Obr. 7.8: Příčný řez dvoukolejné trati se standardní PHS – 2 m nad TK<sup>58</sup>

<sup>57</sup> Vlastní obrazový materiál – archiv autora.

<sup>58</sup> Totéž.

## 8 METODICKÝ POKYN PRO NAVRHOVÁNÍ, VÝSTAVBU A ÚDRŽBU NPC

Dne 15. 10. 2015 byl schválen generálním ředitelem SŽDC, s. o. „Metodický pokyn pro navrhování, výstavbu a údržbu nízkých protihlukových clon“ (MP NPC) s účinností od 1. 11. 2015. Proces schvalování NPC v České republice nebyl jednoduchou a rychlou záležitostí, přesto byl schvalovací dokument vydán. Tento metodický pokyn demonstruje problematiku NPC, jelikož detailně specifikuje eventuální varianty, které jsou přípustné a především možnosti, v nichž se nesmí navrhovat NPC.

SŽDC, s. o. si je vědoma, že inovativní nízké PHS nelze použít na všech místech a tato skutečnost je chráněna právě tímto MP NPC. Ve výjimečných případech lze individuálně posoudit místní použití NPC, přestože nesplňují místní podmínky některá kritéria pro použití, a to následujícím schvalovacím procesem podle čl. 13 v MP NPC.

Zmiňovaný metodický pokyn také stanovuje, že musí být provozně ověřen každý nový typ NPC, který dosud nebyl schválen pro použití na stavbách SŽDC. Doposud byla úspěšně otestována pouze NPC s komerčním označením BRENS® BARRIER od společnosti ŽPSV, a. s.

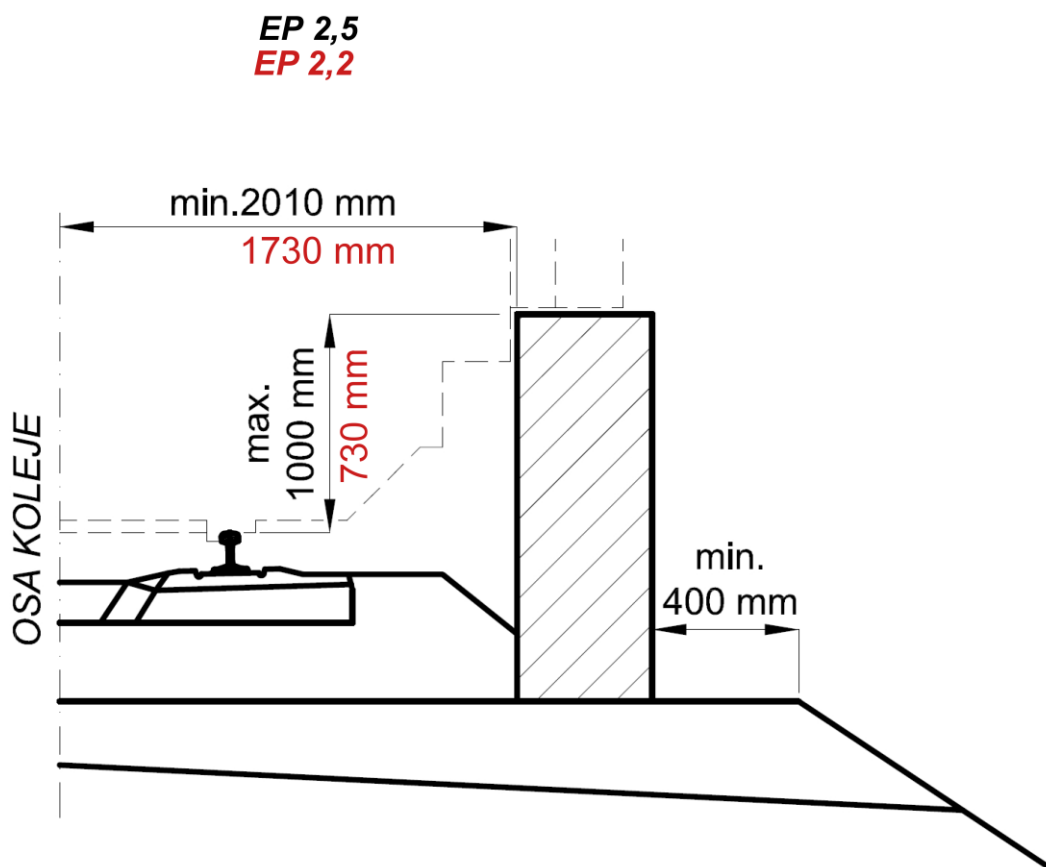
V této kapitole jsou představeny nejpodstatnější podmínky pro navrhování, výstavbu a údržbu NPC. Dále byl dne 22. 12. 2015 schválen generálním ředitelem SŽDC, s. o. „Metodický pokyn pro navrhování, výstavbu a údržbu kolejových absorbérů hluku“ (MP KAH) s účinností od 1. 1. 2016. Vzhledem k těmto pokynům lze již navrhovat NPC současně s KAH a ještě navýšit účinnost akustického útlumu kombinací těchto protihlukových opatření.

## 8.1 ZÁKLADNÍ POPIS NPC A JEJÍHO UMÍSTĚNÍ

NPC se navrhují a osazují tak, aby nezasahovaly do základního průjezdného průřezu. Přitom musí být splněny požadavky na minimální vzdálenost nejbližší hrany NPC přilehlé ke koleji od osy přilehlé koleje a maximální výšku NPC, které se stanoví podle typu obrysu evidenčního prostoru (EP).

V kolejích s poloměrem oblouku pod 250 m se základní průjezdný průřez rozšiřuje podle zásad uvedených v předpisu SŽDC S3. V kolejích s převýšením se uplatňuje vliv naklonění průjezdného průřezu podle velikosti hodnoty převýšení. Podle typu obrysu EP, ve smyslu předpisu SŽDC (ČD) S65, se určuje minimální vzdálenost nejbližší hrany NPC přilehlé ke koleji od osy přilehlé koleje a maximální výška NPC.

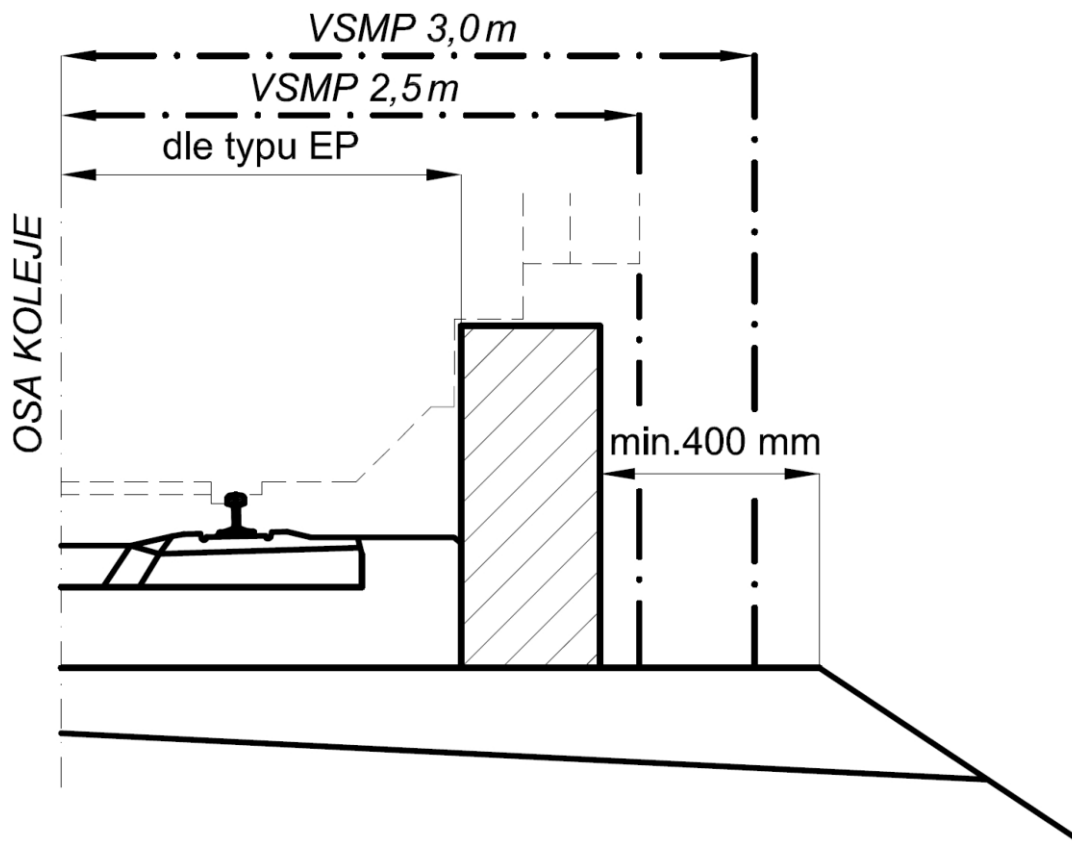
U tratí s obrysem EP 2,5 je minimální vodorovná vzdálenost nejbližší hrany NPC přilehlé ke koleji od osy přilehlé koleje 2 010 mm a maximální výška NPC nad spojnici TK 1 000 mm. U tratí s obrysem EP 2,2 je minimální vodorovná vzdálenost nejbližší hrany NPC přilehlé ke koleji od osy přilehlé koleje 1 730 mm a maximální výška 730 mm. Obě varianty jsou schematicky znázorněny na Obr. 8.1.



Obr. 8.1: Pozice NPC vzhledem k EP<sup>59</sup>

<sup>59</sup> Metodický pokyn pro navrhování, výstavbu a údržbu nízkých protihlukových clon.

Nízká protihluková clona smí být z hlediska své funkce umístěna ve VSMP ve smyslu čl. 11.2 normy ČSN 73 6320 + Z1. Vztah NPC a VSMP je schematicky znázorněn na Obr. 8.2. NPC zasahující do VSMP musí být označeny podle příslušných právních předpisů, technických norem a vnitřních předpisů SŽDC v platném znění.



Obr. 8.2: Pozice NPC vzhledem k VSMP<sup>60</sup>

Na jednokolejně trati musí být zachovány na obou stranách koleje plně funkční drážní stezky min. šířky 0,40 m. Stezka za NPC musí být každých 50 m přístupná únikovými otvory šířky min. 1,20 m s výškou stupně max. 0,25 m nad povrchem stezky. Aby nedocházelo ke snížení účinnosti útlumu zvuku NPC, je nutno únikové otvory překrýt dalším dílem NPC nebo jiným vhodným technickým řešením zamezit snížení útlumu hluku.

Při obcházení překážek v trase NPC (sloupů trakčního vedení, návěstidel) musí NPC tyto překážky obejít výklenky ve vzdálenostech jako u klasických PHS – viz Metodický pokyn: Protihlukové stěny a valy. V případě návrhu jiného řešení si projektant musí vyžádat souhlas příslušného odboru Generálního ředitelství a oblastního ředitelství (OŘ), do jejichž působnosti obcházená překážka patří.

<sup>60</sup> Metodický pokyn pro navrhování, výstavbu a údržbu nízkých protihlukových clon.

Dle MP **není NPC přípustná** v těchto variantách:

- oboustranné umístění NPC na jednokolejně trati,
- umístění NPC mezi kolejemi na více Kolejních tratích,
- umístění NPC na souběhu tratí do osové vzdálenosti kolejí menší než 5,60 m.

Po výstavbě NPC musí být dodrženy viditelnosti všech proměnných i neproměnných návěstidel. Únikové otvory musí být zřetelně označeny v souladu s nařízením vlády č. 11/2002 Sb., o stanovení bezpečnostních značek a zavedení signálů. Začátek a konec NPC musí být opatřen žluto-černým bezpečnostním nátěrem.



*Obr. 8.3: Žluto-černý bezpečnostní nátěr NPC<sup>61</sup>*

NPC lze navrhovat pouze jako jednostranné na jednokolejných tratích s podmínkou, že na druhé straně je dodržena VSMP. NPC je možno umístit na mostních objektech a opěrných zdech, u kterých bude dodržena volná mostní průřez dle ČSN 73 6201.

NPC nesmí být v kolizi s odvodňovacím zařízením a nesmí tvořit překážku v odtoku srážkové vody z tělesa železničního spodku. NPC navržená v blízkosti železničního přejezdu nesmí zasahovat do rozhledových poměrů na přejezdech dle ČSN 73 6380 v platném znění.<sup>62</sup>

<sup>61</sup> Vlastní obrazový materiál – archiv autora.

<sup>62</sup> Metodický pokyn pro navrhování, výstavbu a údržbu nízkých protihlukových clon.

Bude-li na druhé straně koleje oproti NPC nástupiště výšky 550 mm nad spojnici TK nebo jiná překážka ve VSMP délky větší než 3 000 mm, lze v těchto místech navrhnout NPC výjimečně za splnění podmínek uvedených v MP NPC v čl. 13 (tj. detailně rozepsaný postup schvalovacího procesu mezi odbory SŽDC). Tytéž podmínky je nutné splnit při jednostranném a oboustranném umístění NPC na vícekolejných tratích nebo při souběhu tratí s osovou vzdáleností menší než 5,60 m, v jiném případě nelze navrhnout NPC

NPC se vždy ukládá na srovnané, únosné a řádně zhutněné podloží. Podloží pod NPC musí být stabilní a nesmí připustit naklonění NPC směrem ke koleji. Únosnost povrchu podloží musí mít min. 15 MPa a je nutné zhutnění na min.  $I_D = 0,80$ . Dále musí podloží umožnit odvádění povrchových vod. V případě, že bude podloží tvořeno zeminami soudržnými, namrzavými nebo nepropustnými, bude nutné zeminu podloží nahradit zeminou nesoudržnou, nenamrzavou a propustnou. Stabilita NPC musí být pokaždé posouzena na tlak větru dle ČSN EN 1794-1 a aerodynamické zatížení od projíždějících vozidel dle ČSN EN 1991-2.<sup>63</sup>

---

<sup>63</sup> *Metodický pokyn pro navrhování, výstavbu a údržbu nízkých protihlukových clon.*

## 8.2 PROVOZNÍ PODMÍNKY

### 8.2.1 ÚDRŽBA TRATĚ A PRÁCE STROJNÍ MECHANIZACE

Pro užití NPC je nutno posoudit místní podmínky zejména ve vztahu k běžné údržbě a údržbě v zimním období. Při práci mechanických strojů na odstraňování sněhu a ledu nesmí být směrem k NPC vyhrnován sníh.

Dále NPC nesmí bránit:

- přístupu,
- údržbě venkovních částí zabezpečovacího zařízení,
- montáži a demontáži.

### 8.2.2 OPATŘENÍ K ZAJIŠTĚNÍ BEZPEČNOSTI A OCHRANY ZDRAVÍ PŘI PRÁCI

Pro každý úsek s NPC je povinné příslušné OŘ vypracovat „místně provozní bezpečnostní předpis“, jenž musí obsahovat:

- přesné umístění NPC,
- polohu pracovní stezky,
- podmínky pro práci v provozované koleji,
- chování pracovníků dopravce při mimořádném zastavení vlaku v místě NPC,
- způsob případné evakuace cestujících,
- bezpečnostní nátěry NPC,
- v případě sklopných NPC provozní pravidla sklápění NPC.

### 8.2.3 ÚDRŽBA, KONTROLA A EVIDENCE NPC

Příslušný správce NPC odpovídá za:

- neporušenost NPC, zvláště jejich akustických prvků a prvků zajišťujících jejich stabilitu,
- údržbu NPC,
- pravidelnou prohlídku NPC v rámci komplexní prohlídky trati v souladu s předpisem SŽDC S2/3,
- prostorovou polohu NPC ve vztahu k průjezdnému průřezu.

Správce NPC je povinen udržovat NPC v řádném stavu tak, aby po celou dobu životnosti neztratily své akustické, statické a vzhledové vlastnosti. Konstrukční vady, vady vzniklé na vzhledu a vady mající vliv na funkci NPC vyplývající z výrobních a konstrukčních vad, opravuje příslušný správce až po záruční době, do té doby za tyto opravy zodpovídá zhotovitel.



Objekty NPC se evidují v pasportní evidenci zdí. Navíc se NPC evidují v tabulkách traťových poměrů v tabulce č. 5 (taková místa na širé trati a ve stanicích, kde není dodržen volný postranní prostor průjezdného průřezu) jako informace pro zaměstnance jednotlivých dopravců, přestože tyto objekty nezasahují do volného postranního prostoru.

#### 8.2.4 PŘÍPUSTNÉ ODCHYLKY

*Vzdálenost hrany NPC od osy koleje musí být v souladu s projektovou dokumentací s tolerancí při přejímce prací (-10/+30) mm, za provozu pak (-20/+50) mm. Vzájemná výšková vzdálenost spojnice temen kolejnicových pasů a horní plochy NPC musí být při přejímce prací v koleji dodržena v hodnotách (-30/+10) mm, za provozu pak (-50/+20) mm. Splnění výše uvedených tolerancí musí být mimo práce na NPC ověřeno i vždy při provádění prací v koleji ovlivňující polohu osy koleje. Měření za provozu se provádí ve smyslu předpisu SŽDC S2/3.<sup>64</sup>*

---

<sup>64</sup> Metodický pokyn pro navrhování, výstavbu a údržbu nízkých protihlukových clon.

## 9 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo věrně vymodelovat akustické situace v lokalitách s již postavenými NPC a vytvořit manuál pro navrhování NPC ve výpočtovém softwaru CadnaA. K ověření výpočtových modelů pro dosažení reálných akustických situací využila práce akustické měření z Tetčic a z Hlubočep, kde proběhlo měření již zpracované v bakalářské práci.

Největším bezpečnostním rizikem by bylo umístění oboustranné NPC podél dvoukolejné trati, popř. osazení NPC mezi kolejemi, proto tento případ zavrhuje MP NPC. Metodický pokyn demonstruje problematiku NPC a detailně specifikuje eventuální varianty, které jsou přípustné, a především možnosti, v nichž se nesmí navrhovat NPC. Problémy se mohou objevit v případě nehod, neboť může narůst doba potřebná pro evakuaci. NPC zvyšují riziko pro pracovníky vykonávající dohledací a pochůzkovou činnost v místech s NPC, jelikož jsou obtížnou překážkou, kterou by překonávali v případě, že by projížděl vlak.

Navzdory určitým problémům, zejména s neexistujícími prvky programu, se podařilo vymodelovat NPC v prostředí softwaru CadnaA. Byly vytvořeny výpočtové modely, které byly následně zdárně ověřeny s akustickým měřením. Program CadnaA posloužil k názorné demonstraci účinnosti tohoto protihlukového opatření. Zároveň byly ve výpočtovém modelu nasimulovány čtyři možné situace protihlukového opatření v Tetčicích, a to použití kolejového absorbéru hluku, nízké protihlukové clony, kombinace kolejového absorbéru hluku s nízkou protihlukovou clonou a klasické PHS.

Výsledky výpočtových modelů prokázaly, že za určitých konstelací, může být výhodné použití nízké protihlukové clony i podél dvoukolejné železniční trati. Dobře také dopadla kombinace nízké protihlukové clony a kolejového absorbéru hluku. Sice se neprokázala možná synergie, i přesto byl v daném výpočtovém bodě vložný útlum hluku velmi dobrý, a dokonce se blížil vložnému útlumu standardní protihlukové stěny o výšce 2,0 m nad temenem kolejnice.

Výpočtovým modelem v softwaru CadnaA bylo prokázáno, že je výhodné použití NPC pro jednokolejné tratě vedené po zemních tělesech nad úrovní přiléhajícího terénu, kde je vlastní morfologie krajiny a tato NPC ve velmi příznivém poměru. Nebo je možné přistoupit k jejímu využití tam, kde klasickou PHS instalovat nelze kvůli stísněným poměrům, např. v husté zástavbě. Naopak není vhodné umísťovat tuto clonu oboustranně a podél dvoukolejných a vícekolejných tratí, především na tratích položených v rovině okolního terénu.

# SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ INFORMACÍ

- ČD. *Metodický pokyn: protihlukové stěny a valy*. Praha: ČD, 2000, 33 s. Č.j. 58 604/00-O13 dne 4. 8. 2000.
- ČSN ISO 10847 OPRAVA 1. *Akustika – Určení vložného útlumu in situ venkovních protihlukových clon všech typů*. Praha: Český normalizační institut, 2000, 2 s.
- ČSN ISO 10847. *Akustika – Určení vložného útlumu in situ venkovních protihlukových clon všech typů*. Praha: Český normalizační institut, 1999, 16 s.
- ČSN 73 6320. *Průjezdné průřezy na drahách celostátních, regionálních a vlečkách normálního rozchodu*. Praha: Český normalizační institut, 1997, 28 s.
- EISENREICH, J. a M. NEJEZCHLEB. *Kolejový absorbér hluku s protihlukovou clonou*. Uherský Ostroh: ŽPSV, 2011, 62 s.
- MYNÁŘ, J. a MYNÁŘOVÁ, L. *Protihlukové stěny používané na území ČR*. Praha: ČVUT, 2002. 187 s.
- *Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, ve znění nařízení vlády č. 217/2016 Sb.* In: Česká republika, 2016. ISSN 1211-1244.
- NEUBERGOVÁ, Kristýna. *Ekologické aspekty dopravy*. Praha: ČVUT, 2005, 161 s. ISBN 80-01-003131-4.
- S 41 608/2015-SŽDC-O13. *Metodický pokyn pro navrhování, výstavbu a údržbu nízkých protihlukových clon*. Praha: SŽDC, s. o., 2015.
- SUDOP PRAHA, a. s. *Vyhodnocení účinnosti betonové nízké protihlukové clony*. Praha, 2013, 62 s.
- SŽDC (ČD) D2. *Předpis pro organizování a provozování drážní dopravy*. Praha: SŽDC, 2010, 356 s. Č.j. 55079/97-O11 dne 13. 3. 1997.
- SŽDC. *Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah: protihluková opatření*. Praha: SŽDC, 2010, 16 s. Č.j. S 501/2010-OKS ze dne 8. 1. 2010.
- TP 104. *Technické podmínky: Protihlukové clony pozemních komunikací*. Praha: MD ČR, 2008, 162 s.
- VOLF, Jiří. *Zhodnocení nízké protihlukové stěny podél železniční trati v Hlubočepěch*. Praha, 2014, 58 s. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ing. Libor Ládyš.
- *Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů*. In: Česká republika, 2015. ISSN 1211-1244.

## Internetové zdroje:

- Akustická kamera. *EKOLA group, spol. s r. o.* [online]. Praha, ©2016 [cit. 2016-10-12]. Dostupné z: <http://www.ekolagroup.cz/cs/akusticka-kamera/>
- Akustická kamera. Národní referenční laboratoř pro komunální hluk [online]. Ostrava, ©2016 [cit. 2016-10-12]. Dostupné z: [http://www.nrl.cz/Content/files/zajimavosti/Akusticka\\_kamera/Akusticka\\_kamera.pdf](http://www.nrl.cz/Content/files/zajimavosti/Akusticka_kamera/Akusticka_kamera.pdf)
- Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege (Schall 03) [online]. In: Berlin: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2015, s. 43 [cit. 2016-09-05]. Dostupné z: [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Schiene/verkehrs\\_l\\_aermschutzvo-schall-03-erlaeterungen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Schiene/verkehrs_l_aermschutzvo-schall-03-erlaeterungen.pdf?__blob=publicationFile)
- EISENREICH, Jan. *Nízké protihlukové clony BRENS BARRIER: alternativní řešení hluku z kolejové dopravy v zastavěných aglomeracích* [online]. Praha: Vědeckotechnický sborník ČD, 2012, 11 s. [cit. 2014-08-12]. 33. ISSN 1214-9047. Dostupné z: <http://vtsb.cd.cz/VTS/CLANKY/vts33/3302.pdf>
- HLAVÁČEK, Jan. *Technické specifikace pro interoperabilitu subsystému „Hluk“* [online]. Praha: Vědeckotechnický sborník Českých drah, 2004, 19 s. [cit. 2014-07-30]. 18. ISSN 1214-9047. Dostupné z: <http://vtsb.cd.cz/VTS/CLANKY/vts18/18cl09.pdf>
- *Mapy.cz* [online]. Seznam.cz, a.s., © 1996-2016 [cit. 2016-09-23]. Dostupné z: <http://mapy.cz/>
- NELSON, James T. *Wheel/rail noise control manual* [online]. Washington, DC: National Academy Press, 1997, 212 s. [cit. 2014-07-30]. Report (Transit Cooperative Research Program), 23. ISBN 03-090-6060-5. Dostupné z: [http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/tcrp/tcrp\\_rpt\\_23.pdf](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/tcrp/tcrp_rpt_23.pdf)
- SCOSSA-ROMANO, E. a J. OERTLI. *Rail Dampers, Acoustic Rail Grinding, Low Height Noise Barriers: A report on the state of the art* [online]. Bern: UIC - SBB, 2012, 38 s. [cit. 2014-08-02]. Dostupné z: [http://www.uic.org/IMG/pdf/dampers\\_grinding\\_lowbarriers.pdf](http://www.uic.org/IMG/pdf/dampers_grinding_lowbarriers.pdf)
- Uplatnenie akustickej kamery v priemysle. *Prvý strojársky server - Strojárstvo / Strojírrenství* [online]. 2012 [cit. 2016-10-05]. Dostupné z: <http://www.engineering.sk/images/stories/2012/december/badida/obr5v.jpg>

## SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1: Hygienické limity ekvivalentní hladiny akustického tlaku A.....	23
Tab. 4.1: Výsledné hodnoty ekvivalentních hladin akustického tlaku A.....	36
Tab. 5.1: Meteorologické podmínky .....	44
Tab. 5.2: Výsledky měření z 1. polohy měřicího přístroje .....	45
Tab. 5.3: Hodnoty hladiny expozice z 2. polohy zvukoměru.....	46
Tab. 5.4: Vypočtené veličiny .....	47
Tab. 5.5: Výsledné hodnoty ekvivalentních hladin akustického tlaku A.....	48
Tab. 5.6: Porovnání s hygienickým limitem.....	48
Tab. 6.1: Četnosti spojů na tratích č. 173 a č. 240 .....	56
Tab. 6.2: Ověření výpočtového modelu v posuzovaných územích .....	58
Tab. 6.3: Přehled vypočteného vložného útlumu hluku jednotlivých PHO.....	59
Tab. 7.1: Přehled vypočteného vložného útlumu hluku jednotlivých PHO u dvojkolejné trati .....	69

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1: Hluk z kmitání skříně kolejového vozidla .....	10
Obr. 2.2: Valivý hluk, jeho vývoj, přenos a emise .....	11
Obr. 2.3: Izofony valivého hluku .....	11
Obr. 2.4: Graf závislosti zdroje hluku na rychlosti.....	13
Obr. 2.5: Významné rozdíly v šíření zvuku v závislosti na vedení železniční trasy .....	15
Obr. 2.6: Vliv klimatických podmínek na šíření akustického tlaku A.....	16
Obr. 2.7: Možnosti uspořádání mikrofونů akustické kamery.....	17
Obr. 2.8: Grafický výstup z akustické kamery z předního vozu jednotky řady 814-914 .....	20
Obr. 2.9: Grafický výstup z akustické kamery ze zadního vozu jednotky řady 814-914 .....	21
Obr. 3.1: Ilustrační řez kolejí s oboustrannou clonou výšky 730 mm nad TK .....	24
Obr. 3.2: Dva řezy stěnou BRENS® BARRIER .....	25
Obr. 4.1: SWOT analýza.....	28
Obr. 4.2: 3D vizualizace NPC .....	29
Obr. 4.3: Umístění NPC o délce 214 m.....	30
Obr. 4.4: Znázornění vzdálenosti mikrofонů 1 a 2 od osy koleje.....	31
Obr. 4.5: Třetí bod u trati č. 173.....	32
Obr. 4.6: Poloha 3. měřicího bodu .....	32
Obr. 4.7: Umístění mikrofону v 1. bodě .....	33
Obr. 4.8: Stanoviště 2. měřicího bodu .....	34
Obr. 4.9: Poloha 3. měřicího bodu .....	35
Obr. 4.10: Ukázka 3D výstupu programu CadnaA.....	36
Obr. 5.1: Umístění NPC o délce 316 m.....	37
Obr. 5.2: Schéma umístění 2. měřicího bodu.....	38
Obr. 5.3: Schéma umístění 1. měřicího bodu.....	39
Obr. 5.4: Umístění mikrofону v 1. bodě .....	40
Obr. 5.5: Stanoviště 2. měřicího bodu .....	41
Obr. 5.6: Grafické znázornění hladiny expozice.....	43
Obr. 6.1: Spojení jednotlivých mapových podkladů v prostředí softwaru CadnaA .....	50
Obr. 6.2: Tvar NPC v 3D prostředí programu CadnaA.....	52
Obr. 6.3: Severovýchodní pohled na trať č. 173 ve směru Praha, Smíchovské nádraží.....	54
Obr. 6.4: Akustická situace v místě železničního přejezdu v Tetčicích.....	55
Obr. 6.5: 3D vizualizace modelu v Hlubočepch.....	57
Obr. 6.6: Příčný řez jednokolejné trati bez PHO .....	60

Obr. 6.7: Příčný řez jednokolejné trati s KAH.....	61
Obr. 6.8: Příčný řez jednokolejné trati s NPC.....	61
Obr. 6.9: Příčný řez jednokolejné trati s kombinací NPC a KAH.....	62
Obr. 6.10: Příčný řez jednokolejné trati se standardní PHS – 2 m nad TK .....	62
Obr. 6.11: Pohled z ptačí perspektivy na traťový úsek s NPC v kontextu s obcí Tetčice.....	63
Obr. 7.1: Průřezný profil trati v kontextu s NPC.....	66
Obr. 7.2: Dva pohledy na prefabrikátový dílec s únikovým otvorem .....	67
Obr. 7.3: Geometrické srovnání účinnosti NPC a vysoké PHS.....	68
Obr. 7.4: Příčný řez dvoukolejné trati bez PHO.....	70
Obr. 7.5: Příčný řez dvoukolejné trati s KAH .....	71
Obr. 7.6: Příčný řez dvoukolejné trati s NPC .....	71
Obr. 7.7: Příčný řez dvoukolejné trati s kombinací NPC a KAH.....	72
Obr. 7.8: Příčný řez dvoukolejné trati se standardní PHS – 2 m nad TK .....	72
Obr. 8.1: Pozice NPC vzhledem k EP.....	74
Obr. 8.2: Pozice NPC vzhledem k VSMP .....	75
Obr. 8.3: Žluto-černý bezpečnostní nátěr NPC .....	76

# SEZNAM PŘÍLOH

1. Výkres vypracován v softwaru Autodesk Inventor Professional 2017
  - 1.1. NPC BRENS® BARRIER
  
2. Mapové výkresy vytvořené v programu CadnaA v4.6.156
  - 2.1. Hluková mapa v Hlubočepech, 4 m nad terénem – denní doba
  - 2.2. Hluková mapa v Hlubočepech, 4 m nad terénem – noční doba
  - 2.3. Hluková mapa v Hlubočepech, 2 m nad terénem – denní doba
  - 2.4. Hluková mapa v Hlubočepech, 2 m nad terénem – noční doba
  - 2.5. Hluková mapa v Tetčicích, 4 m nad terénem – denní doba
  - 2.6. Hluková mapa v Tetčicích, 4 m nad terénem – noční doba
  - 2.7. Hluková mapa v Tetčicích, 2 m nad terénem – denní doba
  - 2.8. Hluková mapa v Tetčicích, 2 m nad terénem – noční doba
  
3. Příčné řezy vytvořené v programech CadnaA v4.6.156 a AutoCAD Civil 3D 2017
  - 3.1. Příčné řezy jednokolejné trati s různým PHO
  - 3.2. Příčné řezy dvoukolejné trati s různým PHO



# SEZNAM POUŽITÉHO SOFTWARE

- ArcGIS 10.4.1
- AutoCAD Civil 3D 2017
- Autodesk Inventor Professional 2017
- CadnaA v4.6.156
- Google Earth 7.1.5.1557
- Microsoft Excel 2016
- Microsoft Word 2016
- Zoner Photo Studio 18 Professional