



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Jiří Volf

Zhodnocení nízké protihlukové stěny podél železniční trati
v Hlubočepích

Bakalářská práce

© 2014 ČVUT v Praze



K612..... Ústav dopravních systémů

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Jiří Volf

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – DOS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Zhodnocení nízké protihlukové stěny podél**

železniční trati v Hlubočepích

Název tématu (anglicky): Evaluation of low Noise Walls around Railway Line in
Hlubočepy

Zásady pro vypracování

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

- Nastínění problematiky hluku ze železniční dopravy, jeho hlavní zdroje
- Typy protihlukových opatření v železniční dopravě
- Popis posuzované lokality
- Charakteristika realizované protihlukové stěny
- Měření hluku v terénu
- Vyhodnocení měření
- Závěr a zhodnocení

Rozsah grafických prací: stanoví vedoucí bakalářské práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Nařízení vlády 272/2011 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
Oertli, J. Hubner, P.: Railway noise in Europe : A 2010 report on the state of the art. [online]. first. Paris : UIC, 2010 [cit. 2011-08-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.uic.org/>>. ISBN 9782746178805.

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

Datum zadání bakalářské práce: **28. června 2013**
(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 bakalářské práce: **25. srpna 2014**

- 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


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




prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.



Jiří Volf
jméno a podpis studenta

V Praze dne 28. června 2013

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 bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou 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 25. srpna 2014

.....
podpis

Jiří Volf: Zhodnocení nízké protihlukové stěny podél železniční trati v Hlubočepích

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, 25. srpna 2014.

Klíčová slova: železnice, valivý hluk, nízká protihluková stěna, průjezdný průřez

ABSTRAKT [CZ]

V současnosti se hledají v železniční dopravě nové metody protihlukových opatření. Jedním z nejnovějších pasivních opatření jsou nízké protihlukové stěny, jež eliminují valivý hluk, který převládá na většině tratí. Přestože se v Evropě tyto clony zkoušejí už delší dobu, v České republice se objevily nízké protihlukové stěny BRENS BARRIER až v roce 2013. Momentálně není toto opatření schválené žádným evropským správcem železniční infrastruktury a instalují se clony pouze na zkušební úseky.

Cílem této bakalářské práce je posouzení nízké protihlukové stěny postavené podél železniční trati v Hlubočepích. Práce se zabývá zhodnocením účinnosti protihlukových vlastností clony a kontrolou technických i bezpečnostních předpisů, které musí toto opatření splňovat. Akustická efektivita stěny byla zjišťována nepřímou měřicí metodou na čtyřech ekvivalentních místech u tratí č. 173 a 120.

Jiří Volf: Evaluation of low Noise Walls around Railway Line in Hlubočepy

Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation sciences, August 25th 2014.

Keywords: railway, rolling noise, low noise barrier, clearance profile

ABSTRACT [EN]

Nowadays there is an effort to find new methods of low noise measures. One of the latest passive measures is low noise barriers that eliminate rolling noise, which dominates to the majority of railways. Despite the fact that the barriers are tested for quite a long time in Europe, the low noise barriers BRENS BARRIER appeared in 2013 in the Czech Republic. This measure is not approved by any European administrator of railway transportation at the moment; the barriers are set up just at trial sections.

The aim of this bachelor thesis is appraisal of low noise barrier that is built along the railway in Hlubočepy. The thesis deals with evaluation of the low noise quality efficiency of the barrier and with a control of technical and safety regulation that this measure must comply with. Acoustic efficiency of the barrier was discovered with indirect method of measuring at four equivalent places at railway No. 173 and 120.

OBSAH

Seznam použitých zkratk	7
1 Úvod	8
2 Hluk ze železniční dopravy	9
2.1 Zdroje hluku ze železniční dopravy	9
2.1.1 Valivý hluk	10
2.1.2 Hluk z pohonů hnacích vozidel	10
2.1.3 Aerodynamický hluk	11
2.2 Faktory ovlivňující hluk ze železniční dopravy	11
2.2.1 Vliv konstrukce a kvality železničního svršku	11
2.2.2 Vliv rychlosti jízdy	11
2.2.3 Vliv vzdálenosti od zdroje	12
2.2.4 Vliv směrového vedení tratě	12
2.2.5 Vliv okolního terénu	12
2.2.6 Vliv počtu pojezdějících vlakových souprav	13
2.2.7 Vliv zvukových signálů	13
2.2.8 Vliv klimatických podmínek	14
2.3 Přípustné hodnoty hladiny akustického tlaku A v České republice	14
3 Typy protihlukových opatření v železniční dopravě	16
3.1 Aktivní a pasivní protihluková opatření	16
3.1.1 Aktivní protihluková opatření	16
3.1.2 Pasivní protihluková opatření	17
3.2 Nové metody ke snižování hlukových emisí ze železniční dopravy	22
3.2.1 Kolejnicové absorbéry	22
3.2.2 Akustické broušení kolejnic	23
3.2.3 Nízké protihlukové clony	25
4 Charakteristika realizované NPS	28
4.1 Nízká protihluková stěna od Brens Barrier	28
4.1.1 Životnost NPS	30
4.1.2 Měření efektivity	30
4.1.3 Problematika NPS z hlediska bezpečnosti	31
4.1.4 Shrnutí protihlukového opatření BRENS BARRIER	34
4.2 Regionova	34

5	Popis posuzované lokality	36
5.1	Pražsko-duchcovská dráha	36
5.2	Buštěhradská dráha.....	37
5.3	Praha-Hlubočepy	37
5.3.1	Doprava	37
5.3.2	Využití území	38
5.4	Umístění nízké protihlukové stěny	38
5.4.1	Umístění měřicích bodů 1 a 2.....	39
5.4.2	Porovnávací úsek bez NPS.....	42
5.4.3	Praha-Liboc.....	43
6	Měření hluku v terénu	45
6.1	Důležité veličiny	45
6.2	Přístroje	46
6.3	Akustické prostředí	47
6.4	Nákresy situací	47
6.5	Akustické údaje	49
6.5.1	Vypočtené ekvivalentní hladiny akustického tlaku	51
7	Zhodnocení měření	52
7.1	Nejistoty měření.....	52
7.2	Kontrola hygienických limitů	52
8	Závěr	53
	Seznam použité literatury a zdrojů informací.....	54
	Seznam tabulek.....	56
	Seznam obrázků	57
	Seznam použitého softwaru.....	58

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

BEB – Buschtährader Eisenbahn, Buštähradská dráha

BüG – Besonders überwachtes Gleis, zvláště monitorovaná dráha

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

ČSD – Československá státní dráha

IZS – integrovaný záchranný systém

NPC/NPS – nízká protihluková clona/stěna

PDE – Prag-Duxer Eisenbahn, Pražsko-duchcovská dráha

PHC/PHS – protihluková clona/stěna

PLM – překročená ložná míra

PZZ – přejezdové zabezpečovací zařízení

SFDI – Státní fond dopravní infrastruktury

SHZ – stará hluková zátěž

SMW – SchnallMessWagen, vozidlo měřící drsnost

SPZZ – světelné přejezdové zabezpečovací zařízení

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.

Jak praví staré přísloví: „*Ticho léčí.*“ Hluk na lidi působí velmi negativně. V lepším případě jsou jen nervózní, v nejhorším u nich může dojít k poškození sluchového orgánu či kardiovaskulárního systému. Přestože železniční doprava je dopravou environmentálně šetrnou, z hlediska hluku je třeba přijímat celou řadu různých opatření, majících za cíl hlukovou zátěž v okolí snížit. A proto se objevují čím dál častěji opatření typu protihlukových clon, jež omezují šíření akustické energie.

Tato pasivní protihluková opatření se v České republice začala hromadně rozšiřovat v první polovině 90. let dvacátého století a jejich cílem bylo nejprve maximálně eliminovat hlukovou zátěž. Později se začal klást větší důraz na estetiku protihlukových clon, poněvadž se výhled na přírodu začal stávat vzácností. Z tohoto důvodu jsme se přes průhledné skleněné stěny dostali až k myšlence využití nízkých protihlukových clon, která staví na principu umístění překážky blíže 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 prostředek. Na území České republiky se první zkušební úsek s nízkou protihlukovou stěnou BRENS BARRIER instaloval u trati č. 173 v pražské čtvrti Hlubočepy v červnu roku 2013. Momentálně není toto opatření schválené žádným evropským správcem železniční infrastruktury a staví se clony pouze na zkušební úseky.

Akustická účinnost nízké stěny se po nadějných laboratorních zkouškách očekává, že bude srovnatelná s klasickými protihlukovými clonami a její estetická převaha je nesporná. Stavební náklady budou podle předpokladů také nižší, nicméně problémem se mohou stát provozní výdaje. Dalším sporným bodem je údržba a otázka bezpečnosti zaměstnanců pracujících na kolejišti.

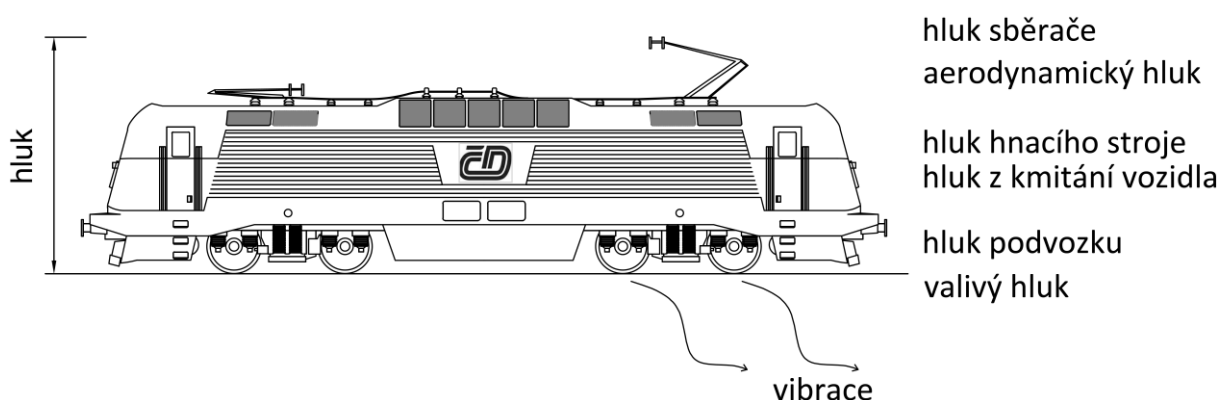
Hlavním cílem této bakalářské práce je zhodnocení akustické efektivity nízké protihlukové stěny postavené podél železniční trati v Hlubočepích. Účinnost clony byla zjišťována zvukoměrem nepřímou měřicí metodou. Nejprve byla naměřena hladina akustického tlaku A u tratě č. 173 s nízkou stěnou nad a pod úrovní temene kolejnice (TK), poté bylo provedeno měření na ekvivalentním místě pod TK bez protihlukového opatření. Z důvodu porovnání akustické efektivity nízké a klasické protihlukové clony došlo ještě k jednomu měření u trati č. 120 v pražské Liboci.

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. Nejčastějším zdrojem je liniový, jenž se vyskytuje na širé trati, plošný zdroj představuje železniční nádraží a bodový zdroj je v místech předepsané zvukové signalizace (např. železniční přejezdy). Lokomotiva, jakožto jeden z hlavních producentů hluku v železničním provozu, představuje bodový zdroj hluku s vysoko položeným těžištěm, zatímco 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 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 hluků vyzařovaných z několika zdrojů (viz Obr. 2.1).



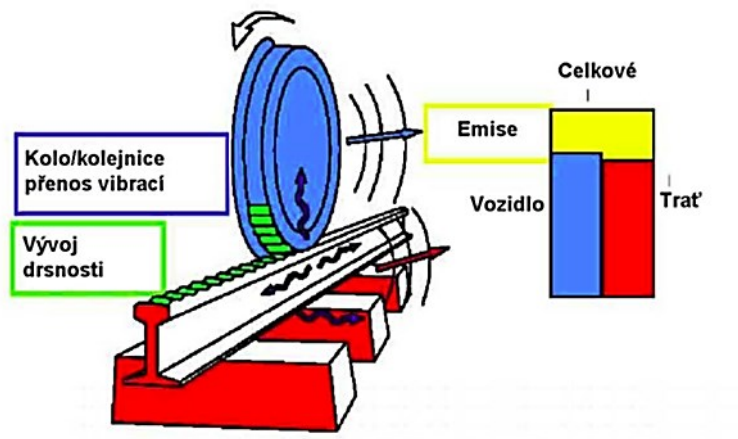
Obr. 2.1: Hluk a vibrace z kolejové dopravy¹

Mezi konkrétní zdroje hluku z železniční dopravy řadíme aerodynamický hluk, hluk pohonu hnacích vozidel a hluk valivý. Dále pak vzniká ještě lokální dopravní hluk vyvolaný hlukem brzd, 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.

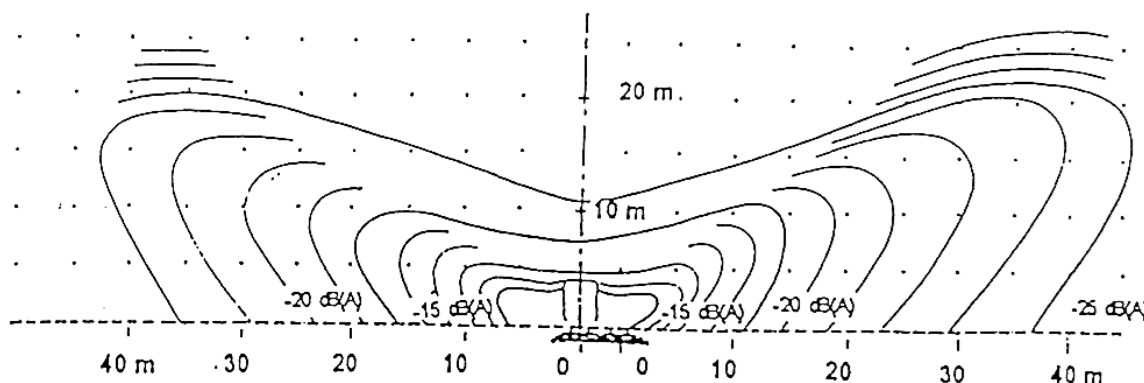
¹ NEUBERGOVÁ, Kristýna. *Ekologické aspekty dopravy*, s. 102.

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⁻¹ (viz Obr. 2.4). V místě styku vznikají vibrace, které se do kolejnice a kola přenášejí jako zvuk a šíří se dále do okolí, případně se vyzařují 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 emise²



Obr. 2.3: Izofony valivého hluku³

Snížení tohoto hluku lze dosáhnout protihlukovými opatřeními na vozidle či trati. Mezi opatření patří: konstrukce kol železničních vozidel, kapotáž podvozku, broušení kolejnic a budování nízkých protihlukových clon (NPC), jimž se věnuje kapitola 4.

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 méně závislý na rychlosti než valivý hluk, proto bývá určující právě při rychlostech cca do 50 km.h⁻¹ (viz Obr. 2.4), kdy je požadován plný výkon a valivý hluk není zatím dominantní.

² HLAVÁČEK, Jan. *Technické specifikace pro interoperabilitu subsystému „Hluk“*, s. 3.

³ MYNÁŘ, J. a MYNÁŘOVÁ, L. *Protihlukové stěny používané na území ČR*.

U motorové trakce je hluk složen ze zvuku hnacích motorů, v případě elektrické je tvořen z hluků 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 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⁻¹ (viz Obr. 2.4).

Mezi jeho významné zdroje patří nekapotované podvozky, turbulence způsobené nedostatečně aerodynamickým tvarem 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, 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 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⁻¹ dominuje hluk hnacího vozidla. Ve středním rychlostním pásmu, pro rychlosti v rozmezí 50–250 km.h⁻¹, dominuje hluk valivý, který je závislý na drsnosti povrchu kol i kolejnic. Přesahuje-li rychlost 250 km.h⁻¹, 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:

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

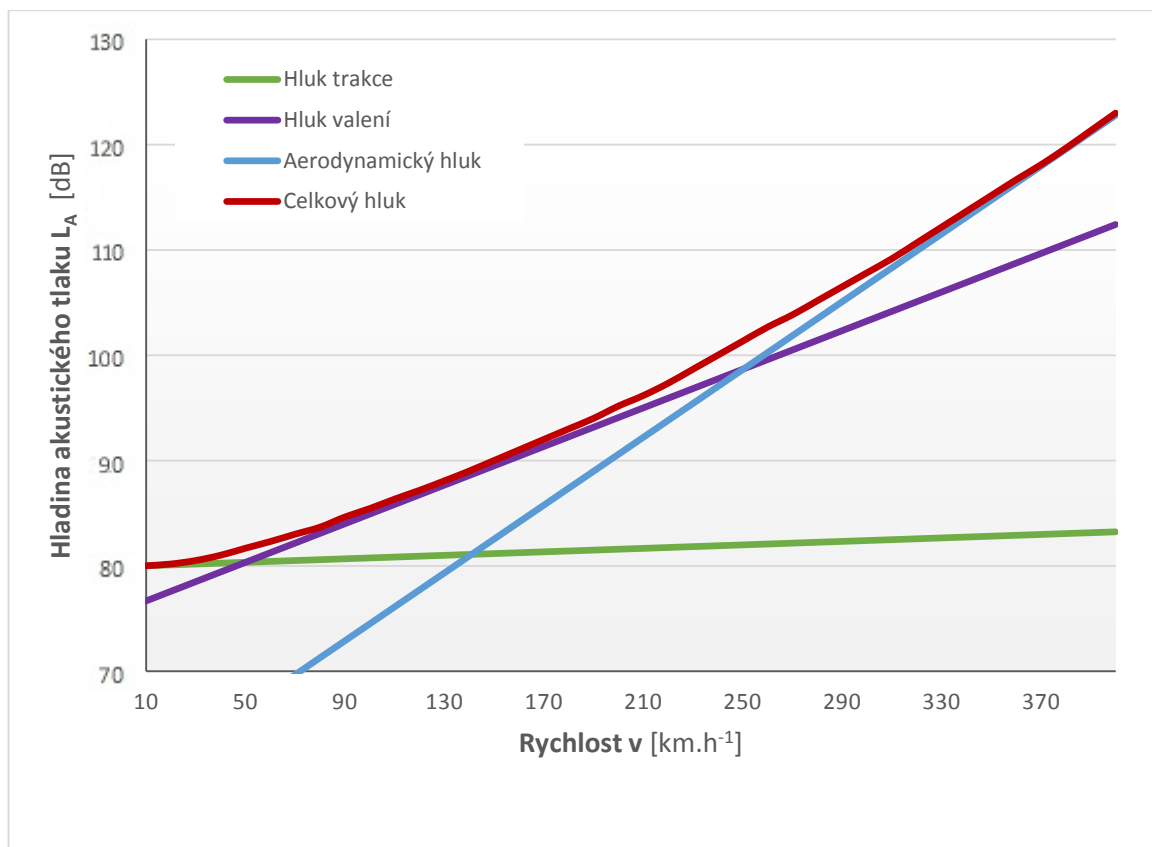
Kde: $L_{Aeq,T}$ ekvivalentní hladina akustického tlaku A [dB]

L_0 ekvivalentní hladina hluku při referenční rychlosti v_0 [dB]

v rychlost soupravy [km.h⁻¹]

v_0 referenční rychlost [km.h⁻¹]

C_v koeficient závislý na převládajícím druhu hluku [-]



Obr. 2.4: Graf závislosti zdroje hluku na rychlosti⁴

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

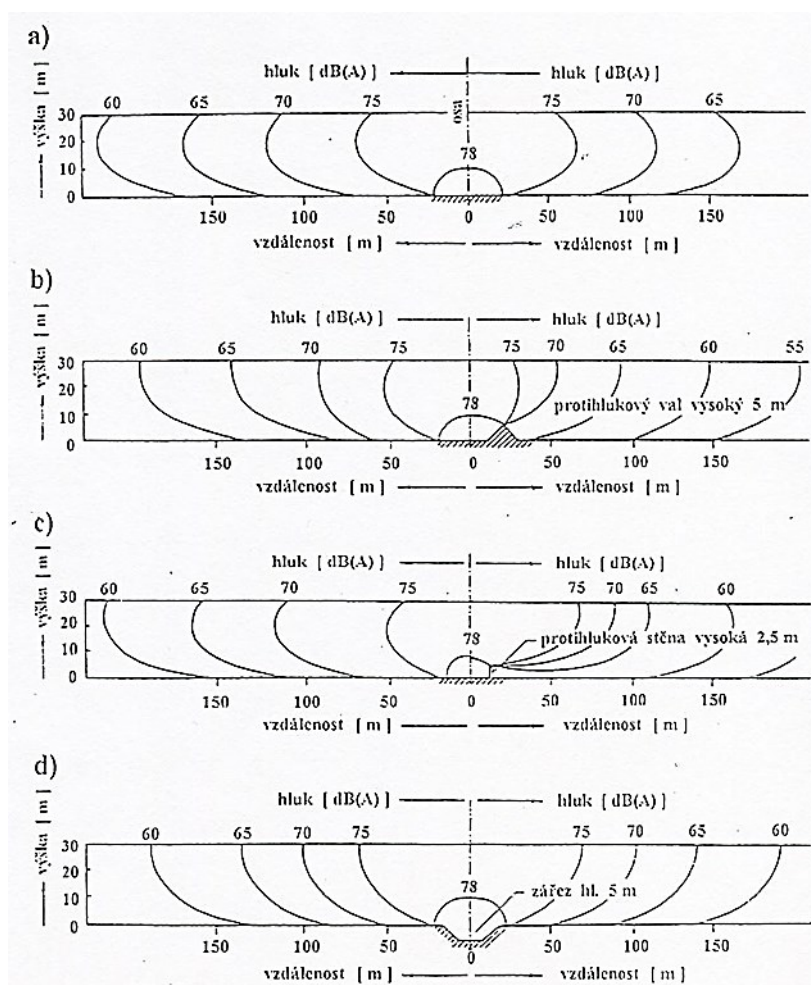
Tento vliv se projevuje zejména ve směrovém oblouku, kde dochází ke zvyšování hladiny hluku vlivem většího tření okolku železničních vozidel o hlavu kolejnice. Snížení této hladiny hluku lze dosáhnout například konstrukční úpravou podvozku nebo parametrů tratě, a to změnou převýšení v oblouku.

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

⁴ HLAVÁČEK, Jan. *Technické specifikace pro interoperabilitu subsystému „Hluk“*, s. 2.

nežádoucích odrazů zvukových vln. Nejvýznamněji se na šíření hluku projevují překážky v nejbližším okolí trati. Rozdíly přenosu mechanického vlnění v úrovni okolního terénu, s protihlukovým valem a protihlukovou stěnou a v zářezu jsou znázorněny na Obr. 2.5.



Obr. 2.5: Významné rozdíly v šíření zvuku v závislosti na vedení železniční trasy⁵

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

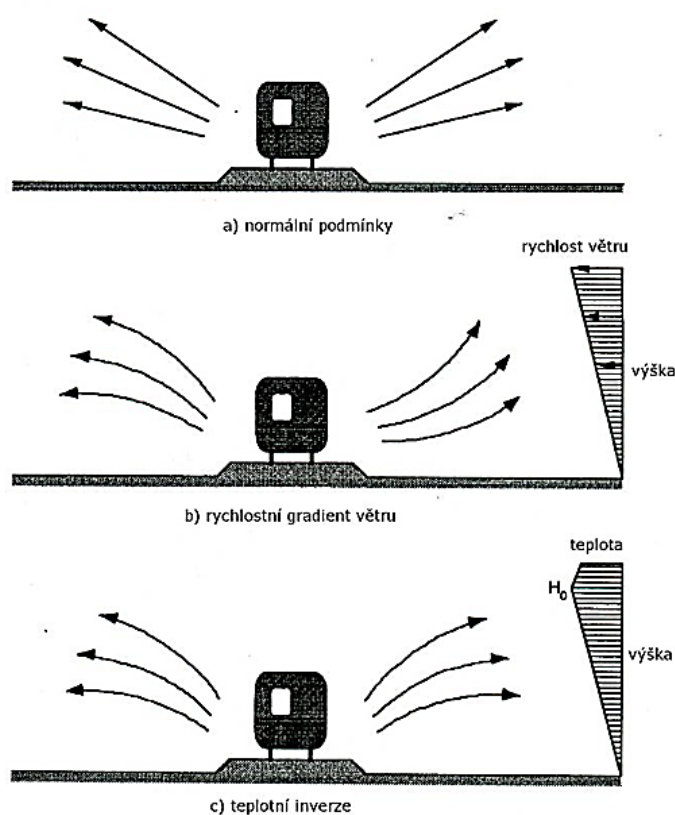
Všeobecně lze říci, že tento druh hluku není pro stanovení ekvivalentní hladiny hluku $L_{Aeq,T}$ rozhodující. Zpravidla se jedná o hluk s vysokou intenzitou, avšak nesmí překročit 140 dB, a krátkým trváním, jenž je možno díky náhodnému výskytu a velmi rozdílné frekvenci jen těžko postihnout. Ve většině případů může jít kupříkladu o lokomotivní píšťalu, jež se z měření vypouští, nebo se umístění měřeného místa nachází v blízkosti železničního přejezdu (zejména u SPZZ se zvukovou výstrahou).

⁵ 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 100 m. Ve vzdálenostech menších než 100 m se mohou projevit např. absorpce sněhem a odrazy zvukových vln od různých vrstev vzduchu. S vlhkostí vzduchu se zvyšuje schopnost přenosu zvuku.

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 rychlost větru roste s výškou nad terénem. Šíří-li se zvuk proti směru větru, jsou paprsky lomené nahoru, pokud po orientaci větru, jsou naopak lomené dolů. Při přenosu mechanického vlnění může docházet k jeho zeslabení u protivětru nebo nárůstu při šíření hluku po 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^6

Vliv na přenos hluku 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.

2.3 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 roce 2004 (č. 88/2004 Sb.), poté roku 2006 (č. 148/2006 Sb.) a naposledy

⁶ NELSON, James T. *Wheel/rail noise control manual*, s. 17.

v roce 2011, kdy bylo přijato nařízení vlády č. 272/2011 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. jako „stávající stav hlučnosti ve venkovním prostoru působený hlukem z dopravy historicky vzniklým do dne účinnosti tohoto zákona“ tj. před 1. 1. 2001. Režim SHZ nelze přiznat v případech, kdy dojde ke změně směrového nebo výškového vedení komunikace nebo k prokazatelnému navýšení hlučnosti (měřením či výpočtem) ve venkovním prostoru chráněných staveb ve smyslu § 2 a přílohy č. 2 nař. vl. č. 272/2011 Sb.

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. Nejpoužívanějším váhovým filtrem hluku z dopravy je filtr s označením A. V reálném prostředí má většinou mechanické vlnění proměnný charakter, a proto se k vyhodnocení používá ekvivalentní hladina akustického tlaku $L_{Aeq,T}$ (viz kap. 6.1), 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 v ekvivalentní hladině akustického tlaku A [Nařízení vlády č. 272/2011]

Hluk z dopravy	$L_{Aeq,t = 16\text{ h}}$ [dB]	$L_{Aeq,t = 8\text{ h}}$ [dB]
Základní hygienický limit – silniční doprava	50	40
Základní hygienický limit – železniční dráhy	50	45
Silniční doprava – pozemní komunikace, s výjimkou účelových komunikací	55	45
Silniční doprava – hlavní pozemní komunikace	60	50
Železniční doprava	55	50
Ochranné pásmo 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.

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., udělit časově omezené povolení překročení hygienických limitů.

3 TYPY PROTIHLUKOVÝCH OPATŘENÍ V ŽELEZNIČNÍ DOPRAVĚ

Přestože železniční doprava je dopravou environmentálně šetrnou, z hlediska hluku je třeba přijímat celou řadu různých opatření, majících za cíl hlukovou zátěž v okolí snížit. Tato opatření jsou zaměřena na infrastrukturu nebo na vozidla.

3.1 AKTIVNÍ A PASIVNÍ PROTIHLUKOVÁ OPATŘENÍ

Protihluková opatření lze obecně rozdělit na aktivní a pasivní. Zatímco aktivní opatření ovlivňuje hladinu emitovaného hluku a snaží se zabránit vzniku hluku, opatření pasivní pouze brání v šíření hluku, který již vznikl.

Snížování hluku z dopravy je nezbytné. Cest, které ke snížení vedou, je celá řada. V závislosti na umístění ve vztahu zdroj x příjemce lze vymezit tři okruhy:

- opatření na zdroji,
- opatření v poli přenosu,
- opatření u příjemce.

Z hlediska hospodárnosti by měla být upřednostňována opatření u zdroje, tedy u vozidla a dráhy. Proto je zajímavější investice do modernizace vozového parku, jež přináší zlepšení situace na větším území než pasivní protihlukové opatření, které pomáhá pouze lokálně, navíc budování a údržba protihlukových zábran s sebou přinášejí značné zvýšení nákladů na dopravní cestu. Přesto se v Evropě vynakládají nemalé částky na výstavbu PHS (protihlukových stěn), tedy typického představitele opatření v poli přenosu. Poslední skupinu opatření tvoří ta, která jsou realizována přímo u příjemce, např. zvukoizolační okna.

3.1.1 AKTIVNÍ PROTIHLUKOVÁ OPATŘENÍ

Aktivní opatření lze rozdělit do těchto základních skupin:

- architektonická,
- dopravně – organizační,
- urbanistická,
- technická.

V postupné eliminaci emitovaného hluku by nejprve měly být vyčerpány možnosti omezení vlastního vzniku těchto jevů přímo u zdroje uplatněním aktivních opatření v konstrukci a údržbě trati a vozidel.

Architektonická opatření

Spočívají ve vhodném situování budov a jejich vnitřních prostor vzhledem k poloze ke komunikacím. Bohužel tuto možnost nelze v mnoha případech dodržet. Jinde může budova sloužit jako PHC, která brání postupu hluku k dalším budovám. Hluk tak negativně působí pouze na přilehlé straně ke komunikaci, kdežto na opačné lze hlukovou situaci považovat za přijatelnou. Tyto budovy buď na straně ke komunikaci nemají žádná okna, nebo mají zvukoizolační okna.

Dopravně – organizační opatření

U železniční dopravy jsou tato opatření reprezentována mimo jiné redislokací železničních vozidel nebo změnou jejich oběhu tak, aby v určitém kritickém úseku jezdila méně hlučná vozidla, přesunutím určitých dopravních úkonů (např. posun nebo rozpouštění vozů na svážném pahrbku a sestavování souprav nebo výměna hnacího vozidla) na jinou denní dobu nebo do jiné stanice, dočasným příkazem k pomalé jízdě (omezení rychlosti) v některém úseku. Tato opatření však obvykle omezují technologii železničního provozu.

Výzkumy prokázaly, že při snížení rychlosti ze 120 km.h⁻¹ na 60 km.h⁻¹ značně klesne hluchnost, avšak doba trvání hlukového vjemu se prodlouží. Díky této skutečnosti není příliš vhodné aplikovat tato opatření na kolejovou dopravu. Snížíme-li například rychlost projíždějícího nákladního vlaku, a tím prodloužíme čas, po který vlak projíždí z 30 s na 60 s, nebude toto opatření příliš vhodné, na rozdíl od silniční dopravy, kde bude doba průjezdu automobilu změněna z 2 s na 4 s.

Urbanistická opatření

Tento typ opatření spočívá hlavně v optimalizaci přepravních nároků, komplexním řešení obytných zón včetně dopravního systému, optimalizaci dopravní obsluhy, vhodné dislokaci objektů podle jejich účelu, atd.

Bohužel v historii nebyla otázce hluku věnována příliš velká pozornost, proto urbanistická opatření nenacházejí uplatnění ve stávající zástavbě, popřípadě je jejich účinek menší, než by se čekalo. Proto mají tato opatření význam výhradně u novostaveb, kde se uplatní v maximální míře.

Technická opatření

Poslední skupinou aktivních protihlukových opatření jsou opatření technická, která mohou být realizována buď přímo na vozidle (nově vyvinuté materiály a konstrukce, dobrá údržba vozidel, tvar vozidel, zavedení vlakových jednotek místo klasických souprav, apod.) nebo v kolejové infrastruktuře (údržba, vhodná volba konstrukčních prvků do konstrukce železničního svršku, elektrizace, apod.).

U železniční dopravy patří mezi současné aktivní protihluková a protivibrační opatření aplikovaná na vozidlo optimalizace tvaru kola (osová symetrie kola), co nejmenší průměr kola, co nejtlustší disk kola, protihlukové absorbéry na kolech (nejlépe laditelné) nebo stínící kryty na kola, které jsou však málo účinné.

Mezi protihluková opatření aplikovaná na trati patří už samotné užití bezстыkové koleje, pružné upevnění, broušení kolejnic, dále pak například pružné kolejnicové podložky a kolejnicové absorbéry. Jako protivibrační opatření působí také tloušťka šterkového lože, pružnost kolejnicových podložek, kontinuálně podepřené kolejnice, vzdálenost mezi pražci, odpružené kolejnicové podpory, kolejnicové podpory s vnitřním tlumením, rohože pod šterkovým ložem, apod.

3.1.2 PASIVNÍ PROTIHLUKOVÁ OPATŘENÍ

Uplatnění pasivních protihlukových opatření je tam, kde již nemáme jinou možnost, jak hlukovou situaci v dané lokalitě snížit. Jedná se zpravidla o stavby, které jsou umístěny mezi zdrojem a příjemcem, tedy především o výstavbu PHC (protihlukových clon). Nejčastěji požadovaným, ale také nejnákladnějším způsobem pasivního snižování emisí hluku ze železniční dopravy jsou v České republice PHS.

Podle druhu konstrukcí a použitých materiálů se na ochranu proti hluku z dopravy na pozemních komunikacích používá 9 typů PHC dle Technických podmínek TP 104⁷. Stejně členění lze převzít také pro železniční dopravu.

1. Zemní valy

Jedná se o sypané konstrukce ze zemin, jež jsou vybudované na povrchu území podél pozemní komunikace. Tyto valy jsou poté ohumusované, oseté travním semenem a doplněné vegetačním krytem z křovin nebo dřevin.

2. Protihlukové stěny

Jsou stěny jednostranně nebo oboustranně akusticky pohltivé nebo odrazné panely různých materiálůvých a konstrukčních provedení.

3. Protihlukové stěny na mostech a zdech

PHC tvoří odrazné panely ze skel, akrylátu nebo polykarbonátů apod. (výjimečně neprůhledné z materiálů o nízké vlastní tíze) s pevným spojením s kovovými sloupky kotvenými do říms mostů nebo zdi viz Obr. 3.1.

4. Protihlukové stěny kombinované se zelení

Jedná se o PHS, jež jsou doplněné v líci a rubu (případně pouze jednostranně) převážně trvale zelenými nebo kombinovanými křovinami nebo dřevinami. Obdobným typem jsou konstrukce, které jsou vyskládané z prefabrikovaných dílců vyplněných sypaninou a opatřené oboustranně vegetací.

5. Polovegetační stěny

Tyto PHS, jež jsou opatřené v líci konstrukcemi z nekorodující oceli nebo plastů, jsou doplněné vegetačním krytem z popínavých stále zelených rostlin. Tento typ PHC je v této práci vybrán k porovnání s NPC.

6. Zemní valy kombinované se stěnou

Jsou to konstrukce sypané vegetačním porostem travin, křovin a dřevin, na jejichž korunách jsou umístěny pohltivé nebo odrazivé protihlukové stěny.

7. Drátokamenné (gabionové) konstrukce

Gabion je drátokamenný prvek ve tvaru krychle nebo kvádru, vyrobený buď z ocelového pletiva, nebo svařovaných ocelových sítí, který je vyplněný přírodním nebo lomovým kamenem, případně vhodným recyklátem. Tato konstrukce však není při jejím samotném použití příliš účinná pro nesorodost materiálu. Je vhodné ji doplnit buď zemním valem, či betonovou stěnou.

8. Protihlukové úpravy na pozemních objektech ohrožených hlukem z pozemních komunikací

Jedná se především o výměnu oken s deklarovanou vzduchovou neprůzvučností. Toto opatření je běžně aplikováno pro snížení hluku z dopravy železniční při překroční nočního limitu $L_{Aeq,t} = 8$ h.

9. Překrytí

Používá se pouze u výjimečných případů, kde je požadována PHC s architektonickým řešením.

⁷ TP 104. *Technické podmínky: Protihlukové clony pozemních komunikací*, s. 20-27.

3.1.2.1 Historický vývoj PHC

První PHC se budovaly ve Spojených státech amerických už v polovině 20. století, kdy se výrazně rozvíjela automobilová doprava. Úplně první clona byla vybudována v kalifornském San Franciscu. V 90. letech téhož století se začaly používat transparentní materiály, z nichž první se objevily v Dánsku a v dalších evropských zemích.

V USA začaly první PHC vznikat v roce 1969 jako odpověď na zákon o ochraně přírody NEPA, kdy státní i federální vláda podporovala jejich vybudování, jež mělo za cíl snižovat dopravní hluk v rezidenčních čtvrtích. V letech šedesátých pak vznikly první matematické metody pro návrh a hodnocení protihlukových clon. Roku 1974 přijalo Ministerstvo dopravy v Kalifornii program ke snížení dopravního hluku a podpory budování PHC.

V České republice se podél pozemních komunikací a železničních tratí začaly PHC budovat v první polovině 90. let dvacátého století. Druhým mezníkem byl rok 2006, kdy bylo přijato nařízení vlády č. 148/2006 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, kterým byly stanoveny nejvyšší přípustné hygienické limity hluku v chráněném vnitřním prostoru staveb, chráněném venkovním prostoru staveb a chráněném venkovním prostoru. Po nástupu ekonomické krize v roce 2008 skončila éra velkoryse budovaných protihlukových opatření a při jejich plánování je nadále kromě ekologičnosti kladen velký důraz také na ekonomičnost a jejich optimalizaci.

3.1.2.2 Životnost PHC

*„Všechny konstrukční prvky PHC musí být navrhovány tak, aby za určených podmínek byla jejich životnost stanovena na dobu **30 let**, avšak může být doba stanovena kratší nebo delší (viz čl. 4.2 ČSN EN 14389-2). Akustické prvky, tmely a těsnění, u kterých je předpoklad možné výměny, musí být navrhovány tak, aby jejich životnost byla **min. 15 let**. ČSN EN 14389-2 stanovuje požadavky doby životnosti a má pomoci dodavatelům v jejím určování. Určení životnosti zařízení pro snížení hluku je možné pouze tam, kde jsou PHC vyrobeny z materiálů, pro něž existují normy umožňující určení doby životnosti. Viz příloha C těchto TP. Výjimku tvoří materiály, které nezhoršují neakustické vlastnosti zařízení, požadované v ČSN EN 1794-1 a 2.“⁸*

3.1.2.3 Bezpečnostní a technické požadavky PHS na železničních tratích SŽDC

PHS nesmí zasahovat do volného schůdného a manipulačního prostoru (dále jen 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.⁹

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

⁸ TP 104. *Technické podmínky: Protihlukové clony pozemních komunikací*, s. 11.

⁹ SŽDC (ČD) D2. *Předpis pro organizování a provozování drážní dopravy*, s. 35.

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 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.^{10, 11}

3.1.2.4 Estetika ztvárnění PHC

Při návrhu PHC je kladen důraz na účinnost, technické řešení, estetické ztvárnění a integraci do okolního prostředí. Mezi základní návrhové prvky patří linie, forma a měřítko. Linie clony ovlivňuje její estetické ztvárnění, zatímco horizontální linie přímé nebo zvlněné evokují klid, linie vertikální či hranaté zase pohyb a napětí. Formy PHC charakterizují délka, výška a hloubka, tyto tři vlastnosti by měly být v rovnováze. Měřítko je velmi relativní a lze jej upravit buď samotným návrhem clony, nebo také ztvárněním clony, kdy horizontální orientace clonu opticky snižuje, zatímco orientace vertikální způsobuje, že se clona zdá vyšší.

Estetické působení clon lze ovlivnit také jejich konfigurací, kdy clony mohou být rovné, vlnovité či zubovité. Dalším významným faktorem je materiál, z kterého jsou PHC vybudovány. Mezi ty nejvyužívanější patří beton, jenž nabízí široké možnosti ztvárnění clon, ať už z hlediska jejich formy, barvy nebo textury, dále pak kov, dřevo, cihly, akrylátové sklo. Stále širší využití nalézají také recykláty.¹²

Při budování zejména dlouhých PHS je třeba klást důraz na jejich oživení a členění, a to nejen z estetických důvodů, nýbrž i z důvodu vlivu monotónnosti PHS na účastníky dopravy. Proto se stěny o délce několika kilometrů nesmí budovat z jednoho druhu materiálu a musí být členěny pomocí různých architektonických prvků.

Kvůli ochraně zvířectva na skleněných stěnách často používají prvky pro zviditelnění průhledných překážek. Silueta dravců na protihlukových stěnách se projeví jako neúčinná a pravidelně snižuje počet ptačí populace. Úspěšné řešení viz Obr. 3.1 nabízí pruhování průhledných hladkých zdí.

¹⁰ ČD. *Metodický pokyn: protihlukové stěny a valy*, s. 18-27.

¹¹ SŽDC. *Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah: protihluková opatření*, s. 5-13.

¹² NEUBERGOVÁ, Kristýna. Protihlukové clony: jejich ztvárnění a estetické působení.



Obr. 3.1: Příklad siluety dravců a pruhování hladkých stěn¹³

3.1.2.5 Působení PHC na psychiku obyvatel

Zatímco protihlukové clony doprovázející dopravní cesty působí v extravilánu především na řidiče a další cestující, v intravilánu pak ovlivňují především rezidenty žijící v dané oblasti. Je tedy velmi důležité, jak bude začlenění PHC působit na psychiku lidí.

Psychika je ovlivněna rovnováhou clony, její symetrií či asymetrií. Symetrie vytváří dojem formálnosti, kdežto asymetrie vytváří dojem uvolnění. Také struktura clony hraje významnou roli z hlediska našeho vnímání. Pravidelně se opakující stejné strukturní plochy přinášejí pocit domáckosti a pohody, zatímco nepravidelné opakování struktury navozuje pocit progresu, růstu a změn. Rytmus a sekvenci je možné vyvolat změnou struktury clony, barevností apod. PHC mají svou „přední“ a „zadní“ část, jako „přední“ bývá označována strana vnímaná účastníky dopravního provozu, strana „zadní“ je orientována do zastavěné části a vnímána rezidenty.

Účastníci dopravy si zpravidla všímají formy, barvy a povrchové textury clon. Vnímání clony řidičem také závisí na rychlosti, která ovlivňuje jeho periferní vidění, jelikož se vzrůstající rychlostí je oblast periferního vidění užší. Tudíž je pochopitelné, že vzhledem k nižší rychlosti je důraz na estetiku clon vyžadován převážně v intravilánu. Z hlediska vnímání PHC ze strany rezidentů proběhla celá řada průzkumů. Kupříkladu dánské výzkumy ukázaly, že lidé za protihlukovou clonou rychle zapomínají na vysokou úroveň hluku, jež je obtěžovala, a stěžují si na zhoršení výhledu působením clony.

V zásadě je ale možné konstatovat, že lidé preferují ticho před výhledem. Přesto by clona neměla procházet těsně kolem domů – optimální je, je-li vedena ve vzdálenosti od rezidenční čtvrti rovnající se čtyřnásobku její výšky. Clona by také měla co nejvíce reflektovat prostředí, kterým prochází.¹⁴

¹³ Mrtví ptáci. Ptáci.

¹⁴ NEUBERGOVÁ, Kristýna. *Protihlukové clony: jejich ztvárnění a estetické působení*.

3.2 NOVÉ METODY KE SNIŽOVÁNÍ HLUKOVÝCH EMISÍ ZE ŽELEZNIČNÍ DOPRAVY

Existuje mnoho možností, které jsou využitelné na železnicích, jak zmírnit hluk. Některé z nich, jako jsou protihlukové stěny, mají známý účinek a jsou široce využívány. Ostatní, kupříkladu kolejnicové absorbéry, akustické broušení kolejnic nebo NPC, jsou stále z různých důvodů kontroverzní.¹⁵

3.2.1 KOLEJNICOVÉ ABSORBÉRY

Tyto prvky patří mezi aktivní protihluková opatření na trati, jsou upevněny na stranách kolejnice, a některé typy mají část také pod kolejnicí. Princip kolejnicových absorbérů je následující. Jejich cílem je snížit oscilaci vibrující kolejnice jejím připojením k hmotě pomocí tlumeného odpružení. Energie vibrující kolejnice bude protékat do absorbéru a obratem bude tato energie rozptýlena tlumicími vlastnostmi pryže. Účinek absorbéru na kolejnici je obdobný jako zvyšování tlumicího faktoru kolejnice, který je následkem zvýšení míry útlumu kolejnice.

Mezi nejaktivnější země v testování kolejnicových absorbérů patří Německo, Francie, Nizozemsko a Švýcarsko. V současné době se nejčastěji používají absorbéry těchto společností: Schey & Veith, TATA Steel, Vossloh a STRAIL (viz Obr. 3.2).

V Německu uvádějí včetně ekologické účinnosti i finanční náročnost tohoto řešení. Průměrné stavební náklady na instalaci absorbérů činily 226 000 EUR.km⁻¹ (cca 6,2 mil. CZK.km⁻¹), přitom životnost těchto prvků je 13 let a náklady na jejich roční provoz se rovnají 10 000 EUR.km⁻¹ (cca 300 tis. CZK.km⁻¹). Účinky průměrné redukce hluku pro tři typy absorbérů činily 2 dB. Případné používání kolejnicových absorbérů v Německu bude schváleno, pouze pokud akustickou účinnost bude možné navýšit na 3 dB.



Schey & Veith



TATA Steel



Vossloh



STRAIL

Obr. 3.2: Čtyři nejpoužívanější kolejnicové absorbéry¹⁶

¹⁵ SCOSSA-ROMANO, E. a J. OERTLI. *Rail Dampers, Acoustic Rail Grinding, Low Height Noise Barriers*, s. 3-5.

¹⁶ Totéž, s. 13.

Ve Francii se, po obdobném testování, celková redukce hladiny hluku pohybovala mezi 2-4 dB. Navíc byla tato technologie použita i na ocelovém mostě (Gavignot) bez kamenitého lože s kolejnicemi upevněnými na dřevěných prážkách přímo připevněnými k ocelové mostovce. Na základě simulací se očekávala celková redukce hladiny hluku 5-6 dB, měření hluku ovšem prokázala redukcí hladiny hluku pouze 4-5 dB, na druhé straně dle očekávání vzrostla míra útlumu kolejnice. V těchto případech by se měly ve Francii kolejnicové absorbéry stát standardním řešením pro snížení akustické energie. Dokonce, i když toto řešení není tak účinné jako PHC, je levnější a snižuje mechanické vlnění ve všech směrech.

Nizozemské dráhy jsou velmi aktivní na poli snižování úrovně hladiny hluku. V roce 2001 zahájily Inovační hlukový program, který zahrnuje řadu pokusů a vývoj modelů této technologie. Hlavním výsledkem programu je skutečnost, že prokázaná účinnost absorbérů TATA Steel a Schey & Veith dosáhla hodnoty 3 dB. Následkem toho lze absorbéry používat na většině tratí coby opatření vedoucí ke snížení hladiny hluku.

Ve Švýcarsku v Kerzers byly provedeny zkoušky u čtyř různých typů absorbérů, a to v roce 2009. Došlo k instalaci jednoho typu absorbérů, provedlo se měření úrovně hluku, po čemž byly absorbéry odstraněny, a došlo k instalaci dalšího typu. Referenční měření hluku byla provedena před zahájením pokusů. U lepších typů absorbérů byl dosažen pokles akustického tlaku 2-3 dB. Problém v tomto pokusu spočíval ve skutečnosti, že rozdíly v hladinách okolního hluku závisely na použitém referenčním měření; například k hlukovému efektu dojde pouze tehdy, když se referenční úsek na straně úseku instalace používá, ale ne jestli se používá prvotní měření. Je také nutno poznamenat, že se jednotlivé pokusy rovněž lišily co do povětrnostních podmínek.

V České republice se od roku 2008 také zkoušejí absorbéry Vossloh a TATA Steel a nejvyšší účinnost byla zaznamenána u vozů vybavených kotoučovou brzdou a nejnižší účinnost byla naměřena u nákladních vlaků. Pro další období se předpokládá použití absorbérů v dobře opodstatněných případech pouze tam, kde by preventivní protihlukové stěny nemohly být nainstalovány.

Problém s kolejnicovými absorbéry spočívá v kvantifikaci jejich účinnosti. Rozličné pokusy prokázaly značné rozdíly v účincích, které se pohybovaly od 0 dB do 3 dB, s řídce se vyskytujícími nejvyššími hodnotami 7 dB. Především vliv konstrukce ovšem ještě nebyl uspokojivě vyčíslen. Nejzásadnějšími body jsou: velké rozdíly účinnosti, správné vyhodnocení je obtížné a drahé, teoretické modely jsou taktéž problematické a stále jsou nejasné účinky na infrastrukturu (např. účinek absorbérů na nárůst drsnosti kolejnic).¹⁷

3.2.2 AKUSTICKÉ BROUŠENÍ KOLEJNIC

Pouze ve dvou zemích (v Německu a Nizozemsku) implementovali rozsáhleji akustické broušení kolejnic. V současné době neexistují podrobné analýzy ekonomické efektivnosti pro celou síť, která by porovnávala akustické broušení s ostatními protihlukovými opatřeními.

Vznik mechanického vlnění na železnici závisí do značné míry na součtu drsnosti kolejnic a kol. Proto je důležitým prvkem při snižování hluku na železnici hladká kolejnice. V ideálním případě by měla být drsnost regulována tak, že bude v první řadě bráněno jejímu vzniku. Podle současných znalostí je broušení kolejnic hlavní metodou vedoucí k hladké kolejnici.

¹⁷ SCOSSA-ROMANO, E. a J. OERTLI. *Rail Dampers, Acoustic Rail Grinding, Low Height Noise Barriers*, s. 10-24.

Pravidelné broušení se provádí za účelem odstranění polygonizaci (vlnkovitosti) a k obnovení příčného profilu kolejnice. Pokud je potřeba odstranit rovněž akustickou drsnost, je potřeba obvykle provést speciální postup, který se nazývá akustické broušení, odděleně od broušení pravidelného. Je důležité poznamenat, že drsnost je časově proměnná vlastnost kolejnice a roste spolu s časem. Vhodný postup pro akustické broušení bude tak sestávat ze dvou fází. Sledování drsnosti a samotného broušení, jež je potřeba opakovat, jakmile drsnost dosáhne kritické hodnoty.

Pro akustické broušení se používají dvě metody:

- frézování, po kterém následuje obroušení pomocí oscilujících kamenů,
- obroušení pomocí kotoučů a poté s pásovou bruskou.

Rychlost těchto dvou metod se pohybuje shodně okolo $1,2 \text{ km.h}^{-1}$. Hlukový účinek broušení je maximální po procesu broušení (obvykle mezi dvěma až čtyřmi týdny). Obecně velmi drsná trať bude mít větší potenciál ke snížení hluku pomocí akustického broušení. Po nějaké době budou znovu dosaženy prvotní hodnoty a celá procedura se zopakuje. Dosud nemáme dostatek znalostí o nárůstu drsnosti.

Od roku 1998 aplikovaly německé dráhy proceduru akustického broušení, jež se nazývá *Besonders überwachtetes Gleis* (BüG, tj. zvláště monitorovaná dráha). Při této proceduře se nepřímou metodou sleduje asi 1 000 km sítě pomocí speciálního *SchnallMessWagen* (SMW, tj. vozidla měřícího drsnost), jež je vybaveno vozy pro měření hluku. Tyto vozy jsou vybaveny mikrofonom ve středu zvláštního podvozku bez brzd a velmi hladkými koly. Trať se monitoruje jednou za půl roku pomocí SMW, když naměřená hodnota překročí hodnotu specifickou pro danou trať o 3 dB, musí být trať obroušena, a jestliže hodnota překročí o 2 dB, musí se provést obroušení během 10 měsíců.

Problém s BüG spočívá ve skutečnosti, že předpokládaná redukce hladiny hluku 3 dB není ve skutečnosti obvykle dosahována. Může být zapříčiněno hodnotami specifickými pro danou trať, které jsou definovány na příliš nízké úrovni, že nárůst drsnosti se liší od předpokládaného časového lineárního přírůstku, popř. kvůli tomu, že broušení není dostatečně přesné.

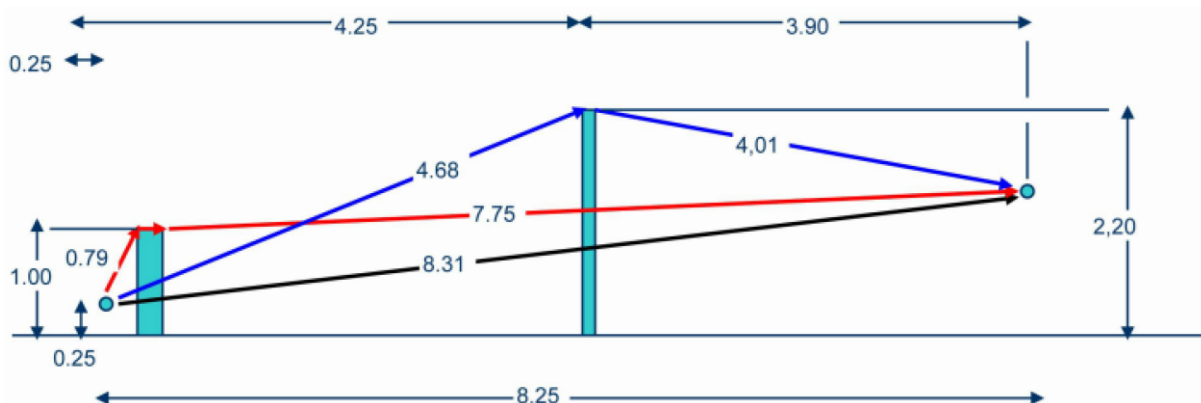
V Nizozemsku jsou požadované výsledky broušení s ohledem na redukcí hladiny hluku specifikovány. Např. broušení musí dosahovat průměrné redukce hladiny hluku 2 dB u vozů s kotoučovými brzdami při rychlosti 120 km.h^{-1} . Podle zkušeností v Nizozemí je akustické broušení kolejnic obvykle nezbytné každé dva roky. Drsnost kolejnic se také sleduje nepřímo pomocí železničních vozů ARROW. I když je nastavení měření odlišné od SMW, srovnání obou systémů prokázala, že jsou stejně vhodná pro nepřímé sledování kolejové drsnosti.

Od 1. července 2012 jsou přidány do nizozemského výpočtového schématu také spektra drsnosti pro konvenční a vysokorychlostní tratě. Tento vývoj umožňuje počítat s obecnými hodnotami pro redukcí zvuku při akustickém broušení kolejnic. Jelikož platí horní meze pro hladinu hluku, očekává se, že akustické broušení kolejnic se stane vážným opatřením. Jedná se o první krok. Implementace akustického broušení kolejnic při údržbě je dalším krokem.¹⁸

¹⁸ SCOSSA-ROMANO, E. a J. OERTLI. *Rail Dampers, Acoustic Rail Grinding, Low Height Noise Barriers*, s. 25-29.

3.2.3 NÍZKÉ PROTIHLUKOVÉ CLONY

Z těchto tří nových metod je tato metoda bezpochyby nejkontroverznější. NPC patří mezi pasivní protihlukové opatření, jež se umísťují blíže k železnici a mají nižší hmotnost než běžné PHC. Vysoké PHC 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. 3.3 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 stejné redukce hluku.



Obr. 3.3: Geometrické srovnání účinnosti NPS a vysoké PHS¹⁹

Z akustického hlediska je myšlenka nízkých clon blíže ke zdroji valivého hluku smysluplná. V jistých situacích se může dokonce navýšit redukce 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 i rezidenty.

Kontroverze ovšem 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, jelikož může narůst doba potřebná pro evakuaci. NPC zvyšují riziko pro zaměstnance pracující na kolejích, jelikož jsou obtížnou překážkou, již by překonávali v případě, že by projížděl vlak. Náklady mohou být podobné jako u PHC běžné velikosti, pokud je potřeba osadit NPC mezi koleje.

¹⁹ SCOSSA-ROMANO, E. a J. OERTLI. *Rail Dampers, Acoustic Rail Grinding, Low Height Noise Barriers*, s. 29.

Nejpoužívanějšími typy NPC jsou ART, Soundim a Zbloc. Nejnovější stěna BRENS BARRIER české výroby je jedinečná svým parabolickým zakřivením, jímž odráží zvuk zpět do šterkového lože a zvyšuje tím účinnost útlumu emitovaného zvuku. Všechny uvedené technologie jsou vyobrazeny na Obr. 3.4.



ART



Soundim



Zbloc



BRENS BARRIER

Obr. 3.4: Používané typy NPS v Evropě²⁰

²⁰ SCOSSA-ROMANO, E. a J. OERTLI. *Rail Dampers, Acoustic Rail Grinding, Low Height Noise Barriers*, s. 30-33.

Popularitu tohoto opatření odráží i počet evropských zemí, které se zapojily do testování a vývoje NPC. Pro přehlednost byla zde vypracovaná Tab. 3.1, jež shrnuje dosud získané zkušenosti evropských zemí s NPC. Některé údaje prozatím nejsou známy, tudíž jsou vynechány.

Tab. 3.1: Shrnutí dosavadních zkušeností²¹

Země	Používaná technologie/ teoretické studie	Délka použití NPC [km]	Akustický účinek [dB]
Rakousko	ART	-	5-7
Česká republika	laboratorní zkoušky BRENS BARRIER	-	14
Německo	FERRONDO	4,5	7-2
Finsko	Soundim	-	10
Francie	projektové studie	-	-
Nizozemsko	prvotní zkoušky	-	-
Norsko	vlastní vývoj	6,3	7-11
Švédsko	Zbloc	8,3	4-9
Švýcarsko	zpráva o realizovatelnosti	-	-

Nemáme doposud mnoho dostupných informací o NPC a pokusy nejsou většinou dostatečně přesné na to, aby bylo možno dojít k závěru v této problematice. Základní argumenty jsou pořád stejné. Z akustického hlediska jsou nízké clony obdobné s běžnými PHC a mají výhodu v lepším zapadnutí do krajiny. Na druhé straně ještě nemáme dostatek zkušeností na to, abychom uspokojivě vyřešili otázky údržby a bezpečnosti. Některé země (kupř. Norsko) neuvádějí problémy, jiné země (např. Švýcarsko) nepokračují v dané problematice kvůli těmto obavám.²²

²¹ SCOSSA-ROMANO, E. a J. OERTLI. *Rail Dampers, Acoustic Rail Grinding, Low Height Noise Barriers*, s. 37.

²² Tamtéž, s. 29-38.

4 CHARAKTERISTIKA REALIZOVANÉ NPS

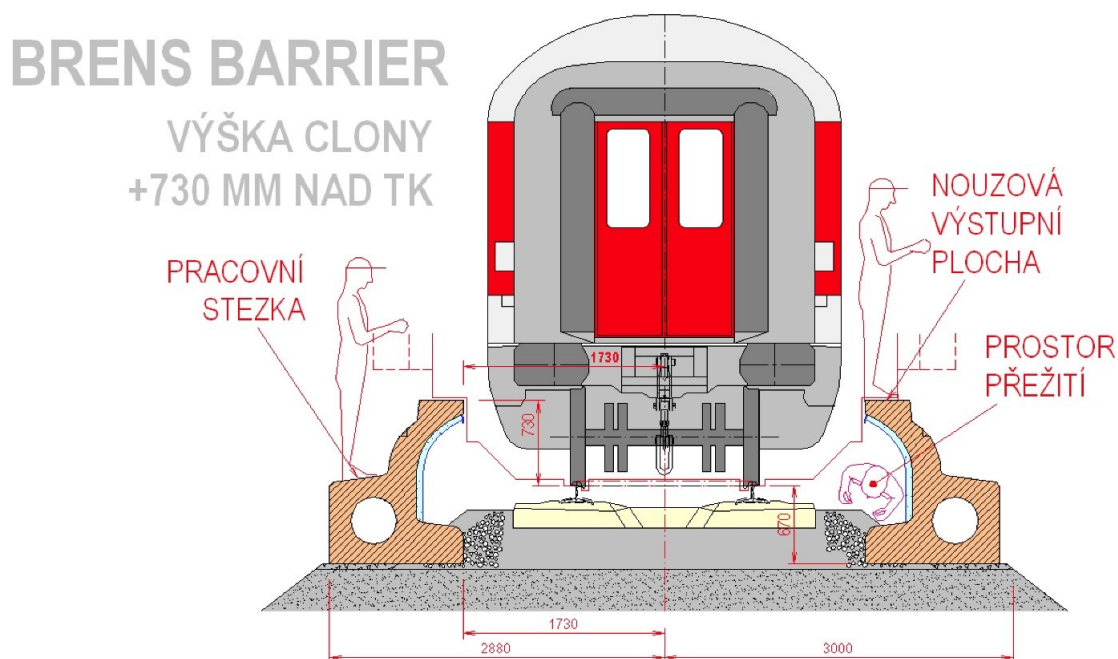
Jak už bylo zmíněno v předešlé kapitole, NPC patří k nejmodernějším zbraním v boji s hlukovými emisemi. Zatím jsou v takové fázi, že se ve všech zemích Evropy staví pouze zkušební úseky těchto clon a jejich případné schválení od správců železničních dopravních cest je v nedohlednu. Jak se v této kapitole dozvíme, tyto NPC mají mnoho zřejmých výhod a také spoustu, často opomíjených ale velmi podstatných, nevýhod.

První česká PHS s komerčním označením BRENS BARRIER je výrobkem společnosti ŽPSV, a. s., 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 téhož roku v říjnu.

4.1 NÍZKÁ PROTIHLUKOVÁ STĚNA OD BRENS BARRIER

NPC jsou zvláštní konstrukcí železničního nebo tramvajového svršku, zvyšující pohltivost zvuku a vibrací koleje ve stavbě kolejové dráhy. 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 NPS 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.

V Hlubočepích je z hlediska dosažení multifunkčnosti NPS její optimální výška 730 mm nad TK a vzdálenost od osy koleje 1 730 mm. Takovéto příkladné uspořádání protihlukových clon v koleji se šterkovým ložem je obsažené na Obr. 4.1.



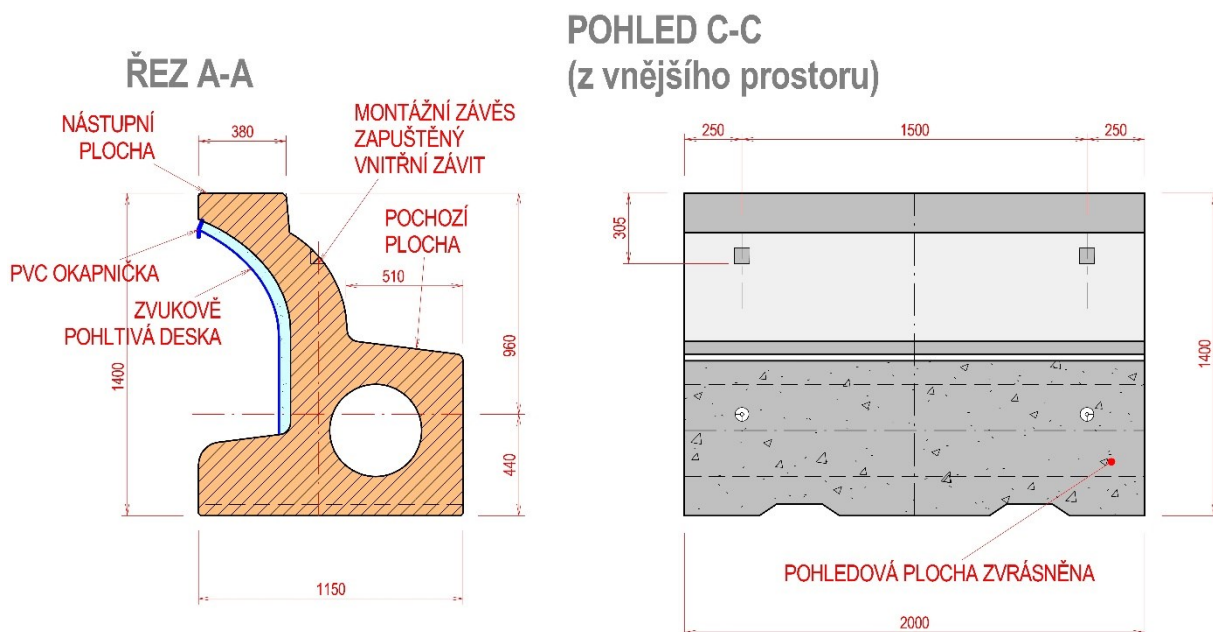
Obr. 4.1: Ilustrační řez kolejí s oboustrannou clonou výšky 730 mm nad TK²³

²³ EISENREICH, Jan. *Nízké protihlukové clony BRENS BARRIER*, s. 4.

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 uvážnutí 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 jedinečná 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. 4.2.



Obr. 4.2: Dva řezy stěnou BRENS BARRIER²⁴

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.

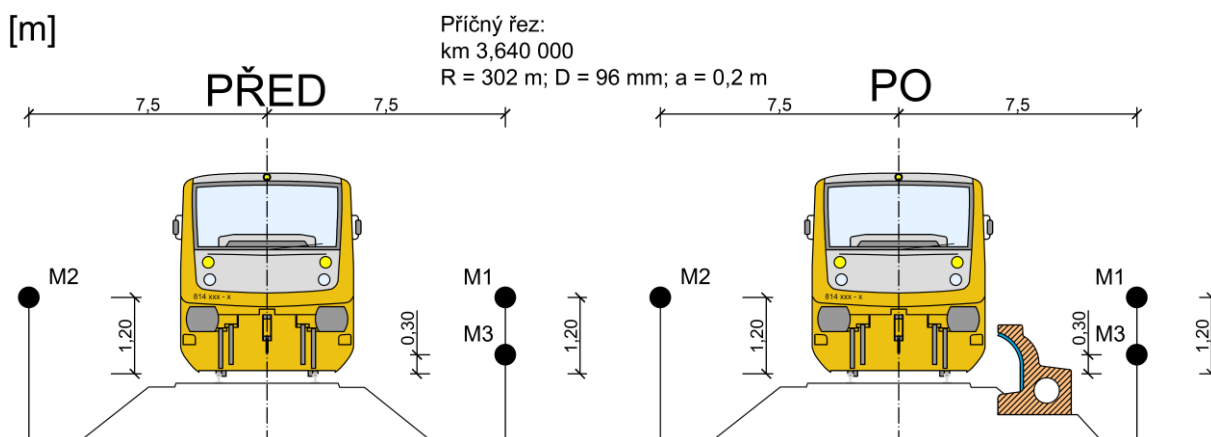
²⁴ EISENREICH, J. a M. NEJEZCHLEB. *Kolejový absorbér hluku s protihlukovou clonou*, s. 59.

4.1.1 ŽIVOTNOST NPS

Toto pasivní protihlukové opatření splňuje podmínky délky životnosti dle TP 104 (viz kap. 3.1.2.2).

4.1.2 MĚŘENÍ EFEKTIVITY

Na základě objednávky firmy ŽPSV vypracovala společnost Výzkumný Ústav Železniční přímou měřicí metodou (tj. před a po instalaci NPS), tzv. měření efektivity. Měření proběhlo v dubnu a červenci roku 2013. Cílem realizace všech měřicích kampaní bylo vyhodnotit efektivitu provedeného protihlukového opatření a kvantifikovat útlum celkových akustických emisí. V souladu s metodikou ČSN EN ISO 3095 a na základě požadavku zákazníka byla měřena tři měřicí místa, jejich rozmístění znázorňuje Obr. 4.3.



Obr. 4.3: Schéma umístění měřicích mikrofónů²⁵

Vypočtené, zprůměrované a na jednotnou rychlost 60 km.h⁻¹ přepočtené výsledky všech měření pro jednotlivá měřicí místa a konečné hodnoty útlumu zvukových emisí pro jednotlivá měřicí místa přehledně vyobrazuje následující Tab. 4.1.

Tab. 4.1: Naměřené hodnoty²⁶

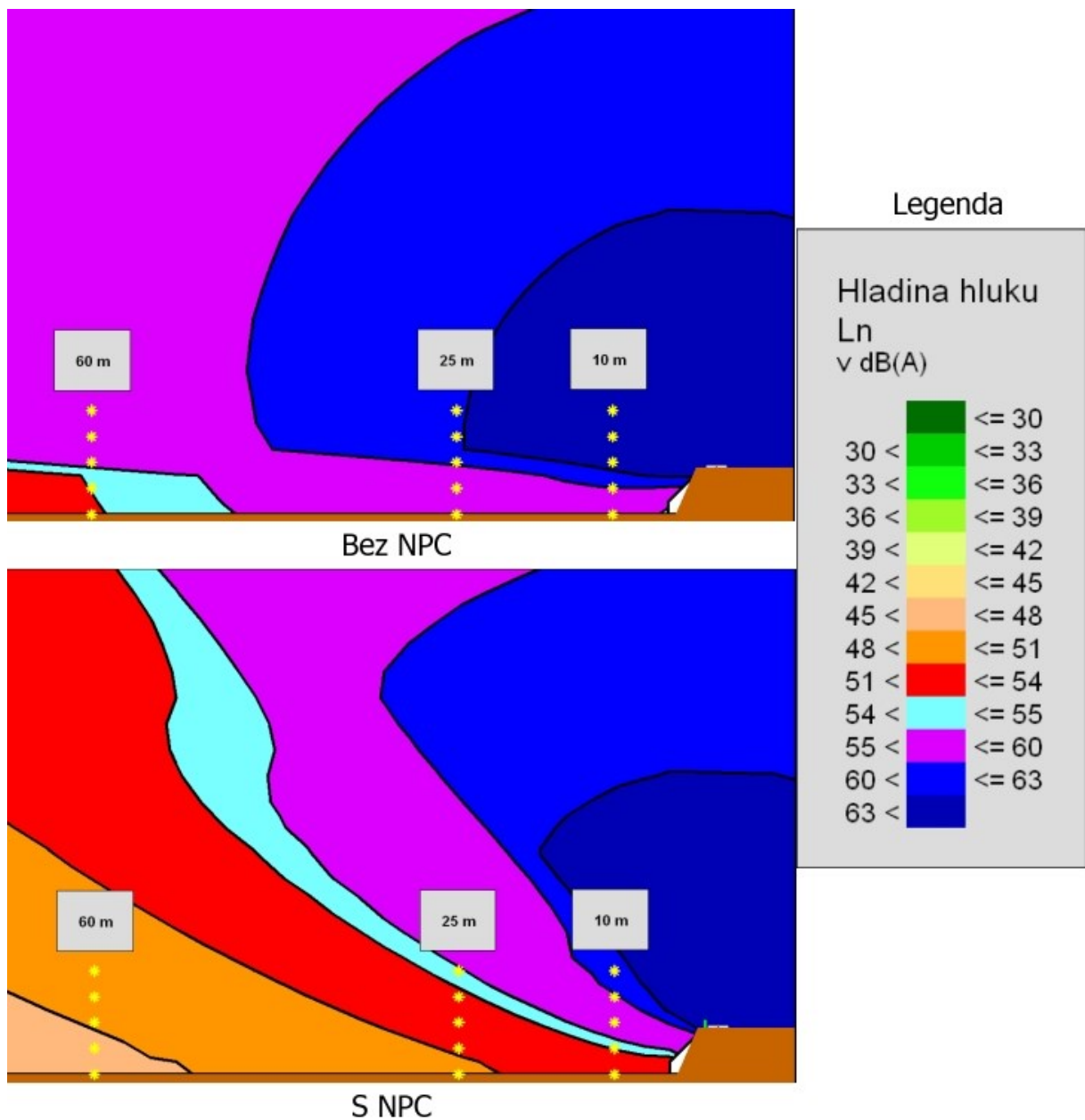
Bod měření	Směr Praha, Smíchov			Směr Beroun, Závodí		
	PŘED	PO	Rozdíl	PŘED	PO	Rozdíl
	L _{Aeq} [dB]	L _{Aeq} [dB]		L _{Aeq} [dB]	L _{Aeq} [dB]	
M1	85,86	77,56	-8,30	85,57	77,33	-8,24
M2	88,82	89,43	+0,61	88,55	88,73	+0,18
M3	86,16	76,72	-9,44	85,98	76,46	-9,52

Z prezentovaných výsledků vyplývá, že NPS snížila průměrné hlukové emise o cca 8 dB. Efektivita tohoto protihlukového opatření se může hodnotit jako velmi dobrá.

Později si nechala státní organizace SŽDC na tuto konkrétní stavbu vypracovat posudek od nezávislé společnosti SUDOP PRAHA, a. s. Součástí posudku byly teoretické modelové příčné řezy (viz Obr. 4.4) a zhodnocení NPS z technického a bezpečnostního hlediska, jež shrnuje kap. 4.1.3.

²⁵ Vlastní obrazový materiál - archiv autora.

²⁶ HLAVÁČEK, Jan. VUZ, a. s. *Efektivita nízké protihlukové clony BRENS BARRIER*, s. 14.



Obr. 4.4: Izofony zvuku pro jednokolejnou trať na násypu o výšce 4 m²⁷

4.1.3 PROBLEMATIKA NPS Z HLEDISKA BEZPEČNOSTI

Stěna BRENS BARRIER zasahuje do **VSMP** dle platného předpisu SŽDC D2 (viz kap. 3.1.2.3), 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 podle předpisu SŽDC S3, díl X, odst. 11 je nutné zachovat drážní stezku minimální šířky 400 mm. Tzv. pracovní stezka na prefabrikátu (viz Obr. 4.1) ve výšce více než 0,5 m nad okolním

²⁷ SUDOP PRAHA, a. s. *Vyhodnocení účinnosti betonové nízké protihlukové clony*: Příloha 0, s. 8-9.

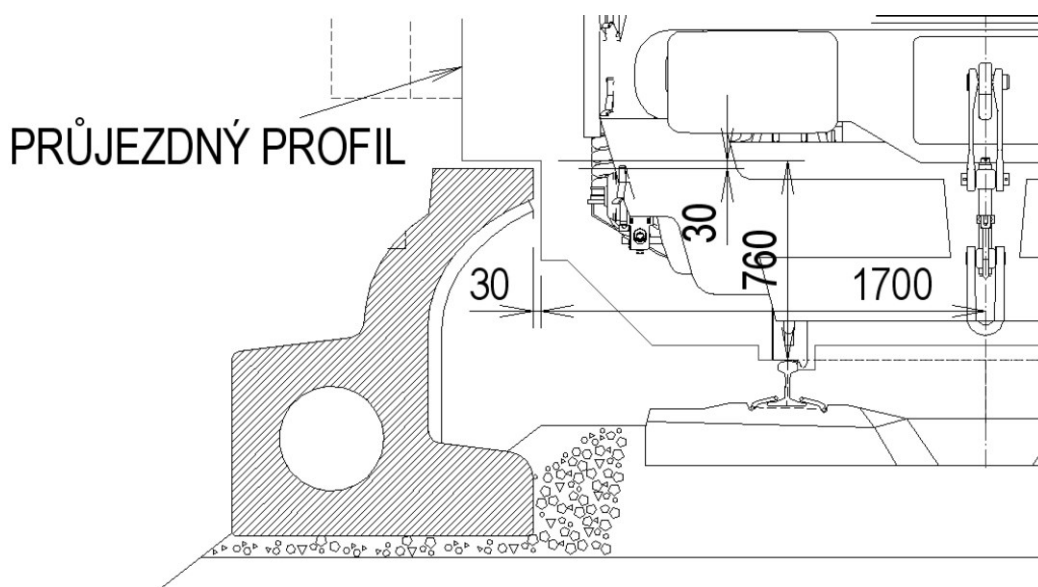
terénem ji dle Přílohy k nařízení vlády č. 101/2005 Sb. (o podrobných požadavcích na pracoviště a pracovní prostředí) v žádném případě nemůže nahradit – viz odst. 3.3.4 a 3.3.5.

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 dvoukolejné 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.

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 trati lze vykonávat pouze v době výluky, po ukončení prací je nutné překontrolovat polohu NPC s ohledem na zachování průjezdného průřezu viz Obr. 4.5. 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. 4.5: Průjezdný profil trati v kontextu s NPC²⁸

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 využity pouze omezeně. Vzhledem k tomu, že prefabrikát NPC není dostatečně zabezpečen proti posunutí nebo natočení, bude

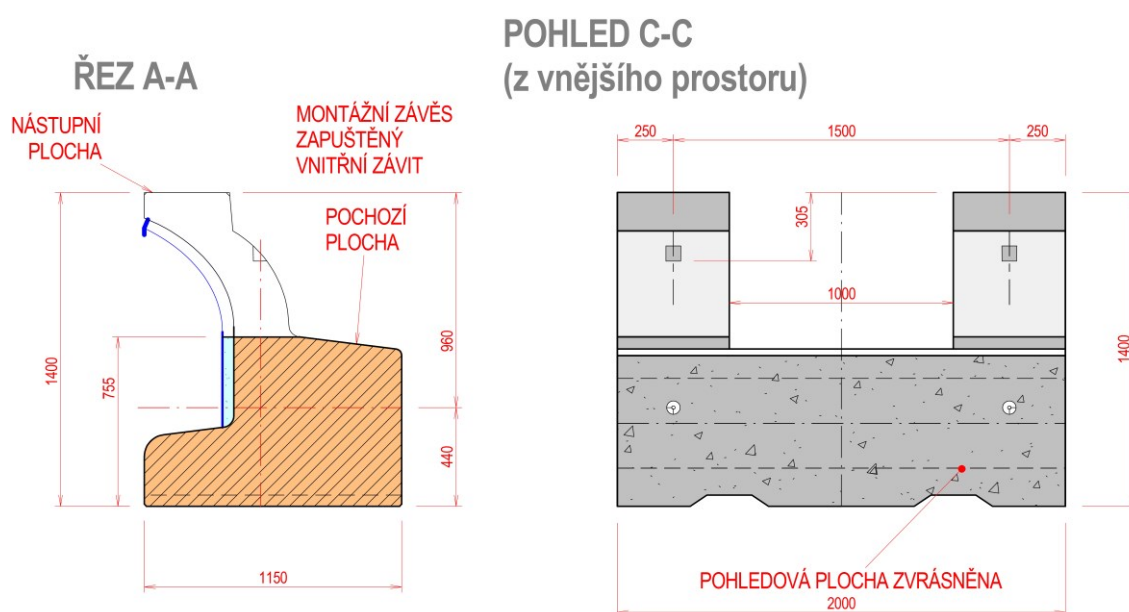
²⁸ EISENREICH, J. a M. NEJEZCHLEB. *Kolejový absorbér hluku s protihlukovou clonou*, s. 35.

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.

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 zvlášť 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. 3.1.2.3, 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. 4.6. 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. 4.6: Dva pohledy na prefabrikátový dílec s únikovým otvorem²⁹

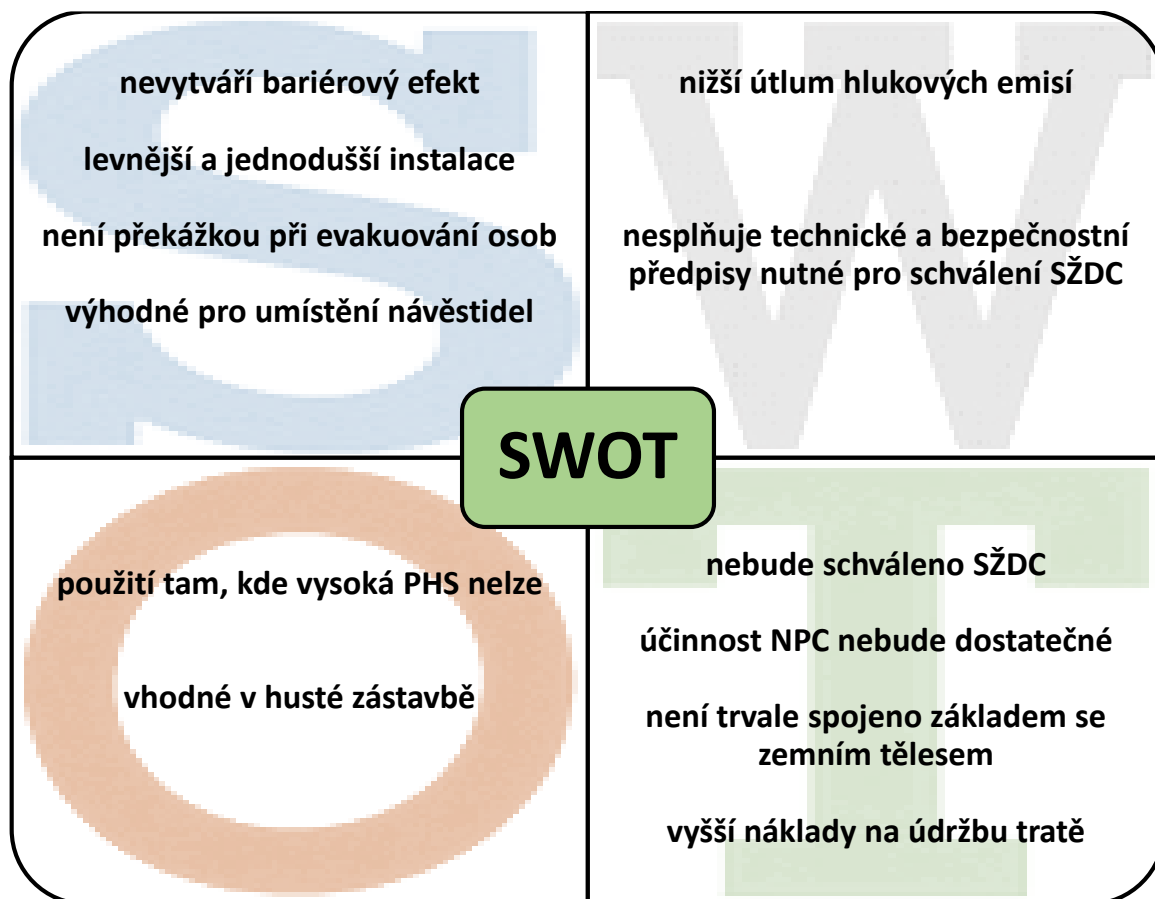
Využití „prostoru pro přežití“ (viz Obr. 4.1) je téměř vyloučeno, poněvadž je důsledek pokusu o záchranu tímto způsobem považován správcem infrastruktury za extrémně škodlivý. Navíc bude v zimním období po údržbě úseku železniční dopravní cesty s NPC mechanizací pro odklizení sněhu tento prostor ucpán sněhovou masou.³⁰

²⁹ EISENREICH, J. a M. NEJEZCHLEB. *Kolejový absorbér hluku s protihlukovou clonou*, s. 57.

³⁰ SUDOP PRAHA, a. s. *Vyhodnocení účinnosti betonové nízké protihlukové clony*, s. 26-54.

4.1.4 SHRNUTÍ 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. 4.7.



Obr. 4.7: SWOT analýza³¹

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. Tyto clony nijak neovlivňují výhled z vlaku, nemají nepříznivý vliv na okolní pozemky a nevytváří jejich zastínění. NPC jsou přívětivé ke krajinotvorbě, neruší krajinný nebo městský ráz, přičemž tvoří dostatečně silnou psychologickou bezpečnostní bariéru proti nezákonnému přecházení kolejí.

Na druhou stranu umístěním stěny blízko ke zdroji hluku dochází k porušení řady dosavadních technických a bezpečnostních předpisů, jež by SŽDC musela znova definovat z důvodů schválení tohoto nového protihlukového opatření.

4.2 REGIONOVA

Na tratích č. 120 a 173 se pohybují totožné motorové ucelené jednotky s komerčním označením Regionova, jsou vyobrazeny na Obr. 4.8. Tyto jednotky řady 814-914 vznikly modernizací starších motorových vozů řady 810 a přípojných vozů řady 010. Rekonstrukci měla na starosti firma Pars nova, a. s. (člen skupiny ŠKODA).

³¹ Vlastní obrazový materiál - archiv autora.



Obr. 4.8: Motorová jednotka řady 814-914³²

Motorové ucelené jednotky řady 814 se skládají z motorového vozu řady 814 s jedním stanovištěm strojvedoucího, jenž je na opačné straně pevně spojen s částečně nízkopodlažním řídicím vozem řady 914 opatřeným rovněž stanovištěm strojvedoucího. Souhrn technických parametrů těchto ucelených jednotek zobrazuje Tab. 4.2.

Tab. 4.2: Technické parametry nízkopodlažní jednotky řady 814–914³³

Rozměry [mm]	
Délka vozu přes nárazníky	28 440
Výška skříně	3 420
Šířka skříně	3 073
Rozchod	1 435
Průměr kol (nové/min.)	840/760
Hmotnost [t]	
Služební hmotnost soupravy	39,6
Hmotnost obsazené soupravy	54,8
Nápravový tlak motorového vozu	14,0
Kapacita [-]	
Míst k sezení/stání	84/105
Technické údaje	
Výkon motoru [kW] při 1950 ot.min ⁻¹	242
Max. rychlost [km.h ⁻¹]	80
Přenos výkonu	hydromechanický
Uspořádání pojezdu	A'1' + 1'1'
Průjezdnost směrovým obloukem [m]	120

Podle akustického měření vnějšího hluku těchto jednotek, které si objednala Pars nova, a. s. od společnosti Výzkumný Ústav Železniční, a. s., došlo po modernizaci soupravy ke snížení hlukové zátěže cca o 2 dB (tj. na hladinu 84 dB) při rychlosti 80 km.h⁻¹.

³² Autor: Matej Petrouš.

³³ Interní materiály podniku Pars nova, a. s.

5 POPIS POSUZOVANÉ LOKALITY

Posuzovaná NPS se nachází v Praze v městské čtvrti Hlubočepy podél současné jednokolejné trati č. 173 (dřívější Pražsko-duchcovské dráhy). V Hlubočepích byly rozmístěny 3 měřicí body a poslední čtvrtý bod byl umístěn podél trati č. 120 (někdejší Buštěhradské dráhy) v Praze v Liboci, kde je postavena vysoká PHS. Všechny měřicí stanoviště byly instalovány u jednokolejné trati, jež je umístěná na násypu. Lokality, ve kterých proběhly jednotlivá měření, byly pečlivě vybrány a umožňují tak srovnání mezi jednotlivými výsledky. Dokonale a ideálně srovnatelnou oblast, nelze však nalézt.

5.1 PRAŽSKO-DUCHCOVSKÁ DRÁHA

PDE (z německého: Prag-Duxer Eisenbahn) byla poslední soukromá uhelná dráha, jejímž úkolem bylo spojit uhelnou oblast ohraničenou ze severu městy Most a Duchcov s Prahou. Zásadním problémem projektu bylo trasování, jelikož směrem na sever už existovalo několik železnic. Proto bylo za výchozí místo vybráno nádraží Praha-Smíchov. Na Smíchově měla PDE společné nádraží s Českou západní dráhou a Buštěhradskou dráhou. Ze Smíchova navrhovaná trasa stoupala Prokopským údolím do Rudné a dále přes Středokluky do Slaného, Loun a Obrnic, ze kterých se měla rozvést směrem do Mostu a Duchcova. Stavba byla rozdělena do dvou úseků: od Smíchova po Sedlec u Obrnic až do Duchcova a Mostu.

Zahájen provoz nejprve nákladní dopravy byl zahájen 21. listopadu 1872 do Chlumčan a první slavnostní vlak z Mostu do Slaného vyjel 2. ledna 1873. Již 11. května 1873 došlo k zprovoznění trati až do Smíchova a úplné zprovoznění tratě nastalo 1. prosince 1873. Přestože hlavním posláním byla přeprava uhlí, jezdili již od května téhož roku v úseku Smíchov – Most také tři páry osobních vozů. Společnost PDE se, i přes probíhající hospodářskou krizi, rozhodla prodloužit trať do německého Saska. Toto rozhodnutí se ukázalo jako jedna z příčin zadlužení společnosti a následnému zestátnění tratě 1. ledna 1892.

V nákladní dopravě od samého počátku dominovala přeprava uhlí směrem ku Praze a také do sousedního Saska. K ní se přidaly i další komodity, zejména suroviny a produkty související s cukrovarnictvím a zemědělskou prvovýrobou. Mimořádně vysokých přepravních výkonů dosahovala hlavní trať bývalé PDE v letech 1980-90, kdy přes ni byly vedeny i dálkové nákladní vlaky.

Až do začátku 20. století jezdily na trati pouze nákladní a zastávkové osobní vlaky. Rychlíkové spojení bylo zavedeno od 1. května 1906, a to jedním párem vlaků Praha – Most. Dálkové spojení ovlivnily světové války a až do 70. let dvacátého století se skutečné dálkové spoje na této trati neobjevily. Později se od roku 1998 staly osobní vlaky jezdící v celé trase minulostí. Dráha se rozdělila do několika samostatných úseků a dnešní provoz připomíná spíše lokální dráhu, na které jezdí pouze motorové částečně nízkopodlažní jednotky řady 814–914 (viz kap. 4.2) a nákladní vlak patří k mimořádným úkazům. Na dvě poloviny by se dala rozdělit současná jednokolejná trať 173: trasa ze Smíchova do Rudné a dráha z Berouna do Rudné.^{34, 35, 36}

³⁴ 140 let Pražsko-duchcovské dráhy 1873-2013, s. 1-4.

³⁵ ČECH, Tomáš. *Historie zlonických drah: 10 let železničního muzea*, s. 3-5.

³⁶ SCHREIER, Pavel. *Zrození železnic v Čechách, na Moravě a ve Slezsku*, s. 121-124.

5.2 BUŠTĚHRADSKÁ DRÁHA

BEB (z německého: Buschtährader Eisenbahn) byla privátní železniční společností na území Čech. Společnost provozovala v letech 1855–1922 síť železnic v severozápadních Čechách. Její síť spojovala Krušné hory a Podkrušnohorskou s Prahou.

Rozvoj těžby uhlí na Kladensku v polovině 19. století vyvolal požadavek nahradit dosud fungující koněspřežnou dráhu výkonnějším dopravním prostředkem. Z tohoto důvodu byla v roce 1852 založena BEB, která od 1. ledna 1855 obdržela koncesi k provozování parostrojní železnice. Její jméno bylo odvozeno od Buštěhradu, jelikož Kladno ještě nebylo významné město. Tento tah se akcionářům ukázal jako velice prozíravý, protože se celé panství na počátku padesátých let 19. století stalo majetkem penzionovaného císaře Ferdinanda I. (V.), zvaného Dobrotivý. A sídlo císařské správy v názvu firmy mohlo být jen tím nejlepším doporučením.

Společnost 5. listopadu 1855 uvedla do provozu první trať vedoucí ze Starého Kladna do Kralup nad Vltavou, kde byla možná překládka uhlí na lodě a jeho další doprava po Vltavě a Labi. Síť BEB dosáhla své největší délky 465 km v roce 1891 a v roce 1899 byla celá trať z Chomutova do Chebu dvoukolejná.

Již před 1. světovou válkou se uvažovalo o zestátnění BEB. V roce 1918 se ocitly tratě BEB na území nově založeného Československa, které zestátnování drah upřednostňovalo. 1. ledna 1924 byla BEB zákonem zestátněna i se svými 255 lokomotivami; pod vedení ČSD (Československé státní dráhy) přešlo i všech 4 171 zaměstnanců.

Současná jednokolejná trať 120 (Praha – Kladno – Lužná u Rakovníka – Rakovník) slouží pro rychlíky, soupravy, osobní a spěšné vlaky. Na této trati se také využívají motorové jednotky řady 814–914, viz kap. 4.2.^{37, 38, 39}

5.3 PRAHA-HLUBOČEPY

Hlubočepy jsou městská čtvrť a katastrální území na jihu pražské městské části Praha 5. Katastrální území Hlubočepy mělo k 31. prosinci 2008 23 059 obyvatel. Počet obyvatel Hlubočep má stoupající tendenci. Od roku 2001, kdy byl počet obyvatel 20 701 obyvatel, se zvýšil o zhruba 1 300 obyvatel a dá se předpokládat, že tento trend bude i nadále pokračovat. Nové obyvatelé do Hlubočep láká blízkost Prokopského údolí, dobrá dopravní obslužnost a rozsáhlá občanská vybavenost.

5.3.1 DOPRAVA

Oblastí vedou hlavní dopravní tepny, a to jak železniční tak silniční. Oblastí prochází ulice K Barrandovu, která směřuje dopravu od Barrandovského mostu na obchvat. Po dokončení Pražského okruhu nebude již ulicí K Barrandovu vedena tranzitní automobilová doprava. Železnice vede podél Vltavy do Radotína a pak podél Berounky do Berouna, dále se jezdí na Plzeň. Tyto dopravní tepny mohou být zdrojem vibrací a hluku, hlavně z kamionové dopravy. Doprava je též hlavním ze zdrojů znečištění ovzduší. Mimo pozemní dopravu je zdrojem hluku i letecká doprava.

Až do roku 2003 každý den projížděly stovky lidí z Barrandova do centra autobusy právě přes Hlubočepské údolí. V tomto roce byla však otevřena tramvajová trať, takže nyní je střed Hlubočep autobusové dopravy takřka ušetřen. Pro místní obsluhu se momentálně používají tři autobusové linky

³⁷ SCHREIER, Pavel. *Zrození železnic v Čechách, na Moravě a ve Slezsku*, s. 91-97.

³⁸ ŠOREL, M., J. JILMA, I. MAHEL a L. LOSOS. *150 let parostrojní železnice na Kladně*, s. 25-50.

³⁹ SCHREIER, Pavel. *Příběhy z dějin našich drah: kapitoly z historie českých železnic do roku 1918*.

(104, 120 a 128). Ve čtvrti se také nachází železniční nádraží (Praha-Hlubočepy, na trati číslo 173) a jedna železniční zastávka (Praha-Žvahov, trať číslo 122). Viadukt Pražského Semmeringu, který se vypíná nad celým údolím, dává Hlubočepům charakteristický vzhled.

5.3.2 VYUŽITÍ ÚZEMÍ

Podle údajů z roku 2008 je složení ploch na území katastrálního území následující:

Tab. 5.1: Složení ploch katastrálního území Hlubočep⁴⁰

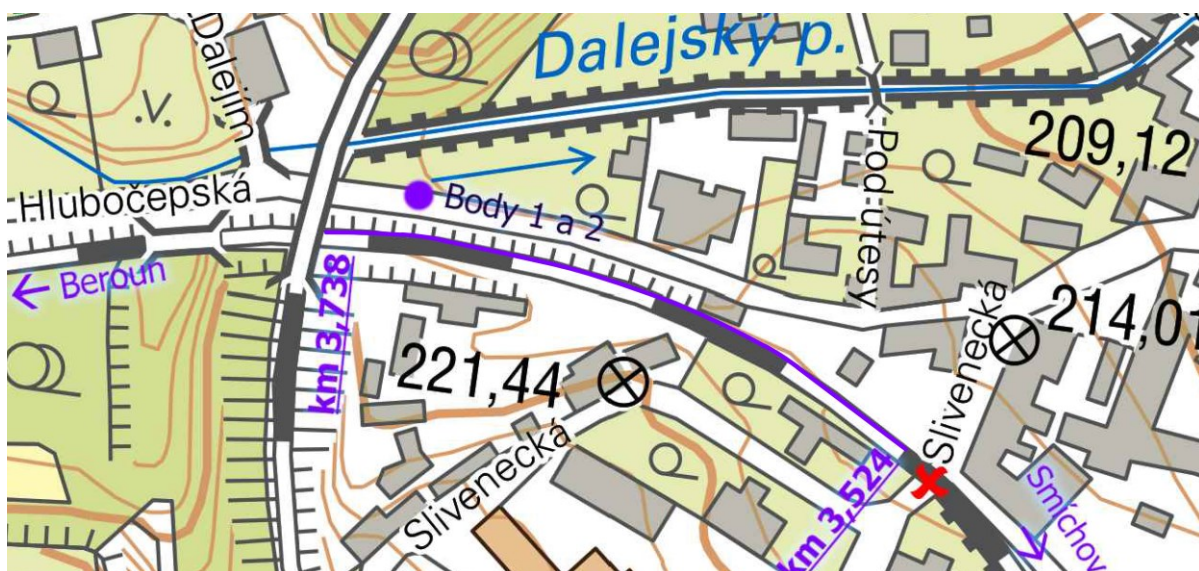
Typ plochy	Plocha [ha]	Procento [%]
zemědělská půda	127	21
lesní půda	68	11
vodní plochy	15	2,5
zastavěné plochy a nádvoří	53	8,7
ostatní plochy	344	56,8
Σ	607	100

Z Tab. 5.1 lze vyčíst, že území je silně poznamenáno lidskou činností, čemuž nasvědčuje vysoké procento zastavěné a ostatní plochy. Ani zemědělská půda zde není zastoupena málo.

5.4 UMÍSTĚNÍ NÍZKÉ PROTIHLUKOVÉ STĚNY

SŽDC vybudovalo NPS v úseku od železničního přejezdu směrem do údolí po viadukt Buštěhradské dráhy. Byla postavena pomocí prefabrikátů BRENS BARRIER. Dne 11. června 2013 bylo instalováno 107 dvoumetrových dílců na trati č. 173 v km 3,524–3,738, tj. v délce 214 m (viz Obr. 5.1), protože NPS je stěna jednostranná a nepřesahuje délku 300 m, není nutné zřizovat únikový otvor.

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. 5.1: Umístění NPS o délce 214 m⁴¹

⁴⁰ Hlubočepy. In: Wikipedia: the free encyclopedia.

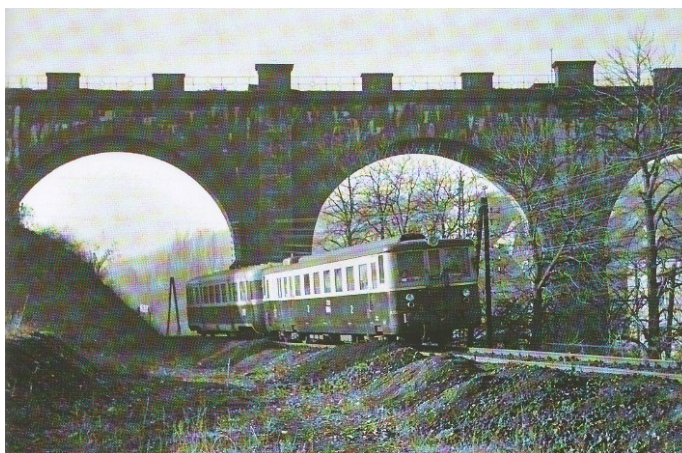
⁴¹ Katastrální úřad.

NPS se nachází na vnější straně směrového oblouku a porovnávací úsek bez PHS je měřen na totožné straně. Poslední měřicí stanoviště je položeno na vnitřní straně směrového oblouku. I toto může mít určitý vliv na výsledek akustického měření.

5.4.1 UMÍSTĚNÍ MĚŘICÍCH BODŮ 1 A 2

V km 3,700 na této části trati č. 173 je traťová rychlost 70 km.h^{-1} a poloměr směrového oblouku činí 302 m s převýšením koleje 96 mm. V tomto staničení byly umístěny měřicí body 1 a 2, které leží na těchto souřadnicích $50^{\circ}2'29.128''\text{N}$, $14^{\circ}23'28.283''\text{E}$, jejich přesné umístění je znázorněno na Obr. 5.4 a Obr. 5.5.

Na křížení této trati s místní komunikací (ulicí Silveneckou) se nachází železniční přejezd (viz Obr. 5.1), jenž je vybaven světelným PZZ se závory, tudíž se po krátkém akustickém signálu spustí závory a měření samotného průjezdu to neovlivňuje.



Obr. 5.2: Motorový vůz M 262.087 pod viaduktem BEB v Hlubočepích dne 3. 12. 1967⁴²

Na trati č. 173 od 1. ledna 2001 nedošlo k navýšení hlučnosti ve venkovním prostoru chráněných staveb a směrové i výškové vedení tratě (v km 3,700) je od roku 1944 nezměněné viz Obr. 5.2 a Obr. 5.3, proto je v tomto místě možné použít SHZ (viz kap. 2.3) dle nařízení vlády č. 272/2011 Sb.



Obr. 5.3: Nízká protihluková stěna pod viaduktem BEB v Hlubočepích dne 11. 4. 2014⁴³

⁴² 140 let Pražsko-duchcovské dráhy 1873-2013, s. 5.

⁴³ Vlastní obrazový materiál - archiv autora.

5.4.1.1 Umístění 1. měřicího bodu

Ulice Hlubočepská č. p. 66 3. patro objektu, fasáda ve směru k železniční trati. Mikrofon byl umístěn 2,0 m od fasády, ve výšce cca 4,3 m nad TK, ve vzdálenosti 13,2 m od osy koleje. Mikrofon neměl ani v této výšce vizuální kontakt se stykem kola s kolejnicí (viz Obr. 5.4), a tedy pravděpodobně i do tohoto bodu působil clonící efekt valivého hluku vlivem NPS.



Obr. 5.4: Umístění mikrofonu v 1. bodě⁴⁴

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 eliminovaný působením NPS. Traťová rychlost v tomto úseku je 70 km.h⁻¹. Pro body 1, 2 a 3 je totožný železniční svršek, který zahrnuje kolejnici S49, betonový pražec SB8 a štěrkové lože. Je použito tuhé podkladnicové upevnění a kolej je bezstyková.

⁴⁴ Vlastní obrazový materiál - archiv autora.

5.4.1.2 Umístění 2. měřicího bodu

Druhé stanoviště bylo situováno před objektem v ulici Hlubočepská č. p. 66 na místní komunikaci přímo pod prvním bodem a to ve výšce -2,4 m pod TK. Mikrofon byl umístěn pod násypem s NPS (viz Obr. 5.5), a tedy lze očekávat v tomto místě i vyšší účinnost stěny.



Obr. 5.5: Stanoviště 2. měřicího bodu⁴⁵

⁴⁵ Vlastní obrazový materiál - archiv autora.

5.4.2 POROVNÁVACÍ ÚSEK BEZ NPS

Pro zjištění akustické situace bez NPS byl vyhledán srovnávací úsek s podobnými parametry. Měřicí bod č. 3 byl umístěn také v Hlubočepích u trati č. 173 na souřadnicích 50°2'15.180"N, 14°23'57.693"E, jeho umístění lze vidět na Obr. 5.6 a Obr. 5.7.

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⁻¹, proto se nepředpokládají veliké rozdíly v jednotlivých směrech.



Obr. 5.6: Poloha 3. měřicího bodu⁴⁶

⁴⁶ Vlastní obrazový materiál - archiv autora.



Obr. 5.7: Třetí bod u trati č. 173⁴⁷

5.4.3 PRAHA-LIBOC

Pro srovnání účinností NPS a vysoké PHS byl vyhledán úsek s vyšší polovegetační stěnou. Poslední porovnávaný bod leží u trati č. 120 v Praze v Liboci na souřadnicích 50°5'24.374"N, 14°19'55.748"E, viz Obr. 5.8 a Obr. 5.9. Tato železniční trať se vyskytuje také na násypu a pohybují se po ní stejné motorové jednotky řady 814–914.

Měřicí přístroj byl umístěn u tratě č. 120 v km 9,050. Niveleta TK je 318 m nad mořem a mikrofon tohoto zařízení se nacházel 3,8 m pod TK, ve vzdálenosti 17,0 m od osy koleje a 5,1 m od fasády přilehlé budovy. Délka vysoké PHS je 276 m, jelikož je tato stěna pouze jednostranná a nepřesahuje délku 300 m, nebyly v ní ani žádné únikové otvory.



Obr. 5.8: Umístění 4. měřicího bodu v městské čtvrti Praha-Liboc⁴⁸

Nedaleko křižovatky Naardenská/Krajní se nachází železniční přechod, který je vybaven SPZZ se zvukovou výstrahou a pravidelně se stává bodovým zdrojem hluku. Proto byl zvukoměr umístěn vzdáleněji od PHS, aby byl v zákrytu přilehlých budov a zvuková výstraha měla co nejmenší vliv na měřené průjezdy jednotlivých vlaků.

⁴⁷ Mapy.cz.

⁴⁸ Tamtéž.

PHS zobrazená na Obr. 5.9 je vybudována na vnitřní straně levotočivého oblouku s dvěma přechodnicemi a dvěma mezilehlými přechodnicemi nejprve s klesající a poté s rostoucí křivostí. Poloměr směrového oblouku je 340 m s převýšením koleje 100 mm. Podélný sklon v tomto úseku činí +6,25 ‰ ve směru staničení a traťová rychlost je 60 km.h⁻¹. Na bývalé Buštěhradské dráze se používá kolejnice T, betonový pražec SB5 a šterkové lože. Opět je tu použita bezstyková kolej, bez které se v současnosti hygienické limity splňují velmi těžko.



Obr. 5.9: Pozice 4. bodu měření⁴⁹

⁴⁹ Vlastní obrazový materiál - archiv autora.

6 MĚŘENÍ HLUKU V TERÉNU

Měření a vyhodnocení měření bylo provedeno v souladu s normou ČSN ISO 10847. Byla použita nepřímá měřicí metoda, jelikož nebylo možné zajistit měření před instalací NPS, čili byly využity lokality ekvivalentní posuzovanému místu. Alternativní umístění měřicích přístrojů již byla popsána v kap. 5.4.

6.1 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 proměnou energii ustálenou energií, viz rovnice 6.1.

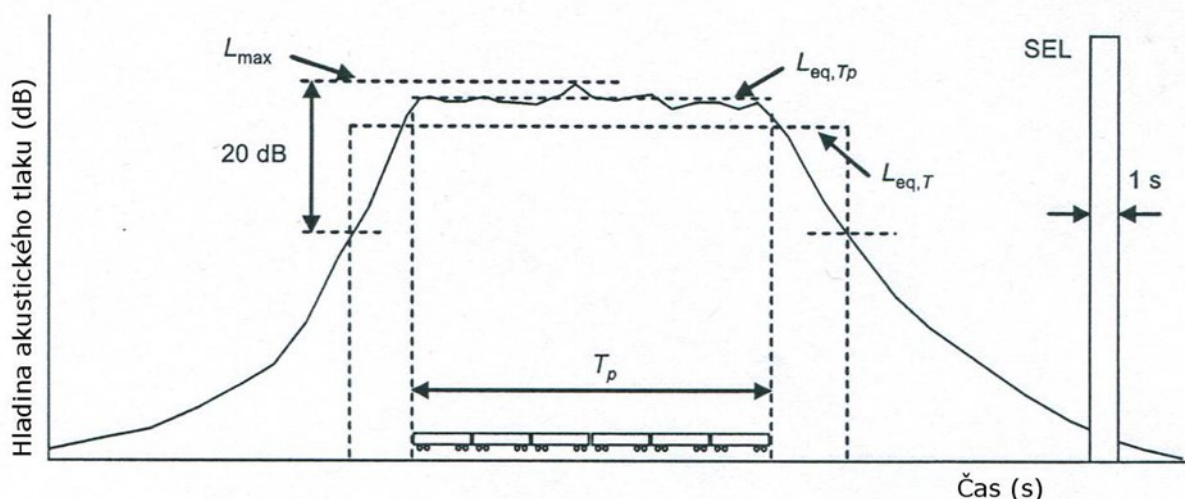
$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log \left(\frac{1}{(t_2 - t_1)} \cdot \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right) \quad (6.1)$$

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

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

$T = t_2 - t_1$ časový interval [s]

Dalším deskriptorem, který je používán především tam, kde je hluk prostředí výsledkem řady identifikovatelných hlukových událostí (diskrétní hlukové události, např. jednotlivé průjezdy vozidel daným úsekem, přelety letadel), je descriptor nazvaný hladina expozice zvuku L_{AE} . Jedná se o tzv. sekundovou hladinu $SEL = L_{AE}$ (sound exposure level), jejíž grafické znázornění zachycuje Obr. 6.1.



Obr. 6.1: Grafické znázornění hladiny expozice⁵⁰

V tomto případě je naměřený akustický tlak hodnocený v libovolně dlouhém časovém intervalu vztahen na normovanou dobu $t_0 = 1 \text{ s}$. To umožňuje porovnávat jednotlivé události mezi sebou. Pokud známe hodnoty hladiny expozice zvuku jednotlivých událostí a jejich četnost, můžeme na

⁵⁰ NELSON, James T. *Wheel/rail noise control manual*, s. 56-57.

základě definovaného vztahu určit ekvivalentní hladinu akustického tlaku v daném místě za zvolené časové období.

Rovnicí 6.2 je matematicky vyjádřen tento deskriptor.

$$L_{AE} = SEL = 10 \cdot \log \left(\frac{1}{t_0} \cdot \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right) \quad (6.2)$$

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

Převod z hladiny zvukové expozice L_{AE} na ekvivalentní akustický tlak $L_{Aeq,T}$ za jednotlivá časová období je formulován rovnicí 6.3.

$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log \left(T^{-1} \cdot \sum_{i=1}^N n_i \cdot 10^{0,1 \cdot L_{AEi}} \right) \quad (6.3)$$

Kde: $L_{Aeq,T}$ je ekvivalentní hladina zvuku pro časové období T [dB]

T časový interval pro dané období [s]

den $t = 16 \text{ h} = 57\,600 \text{ s}$

noc $t = 8 \text{ h} = 28\,800 \text{ s}$

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

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

6.2 PŘÍSTROJE

Zvukoměry musí splňovat podmínky ČSN EN 61672-1(2) a obsahovat 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 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 použit na mikrofону kryt proti větru doporučený výrobcem. Před i po každém měření byl měřicí přístroj kalibrován použitím akustického kalibrátoru, který splňuje požadavky IEC 942.

6.3 AKUSTICKÉ PROSTŘEDÍ

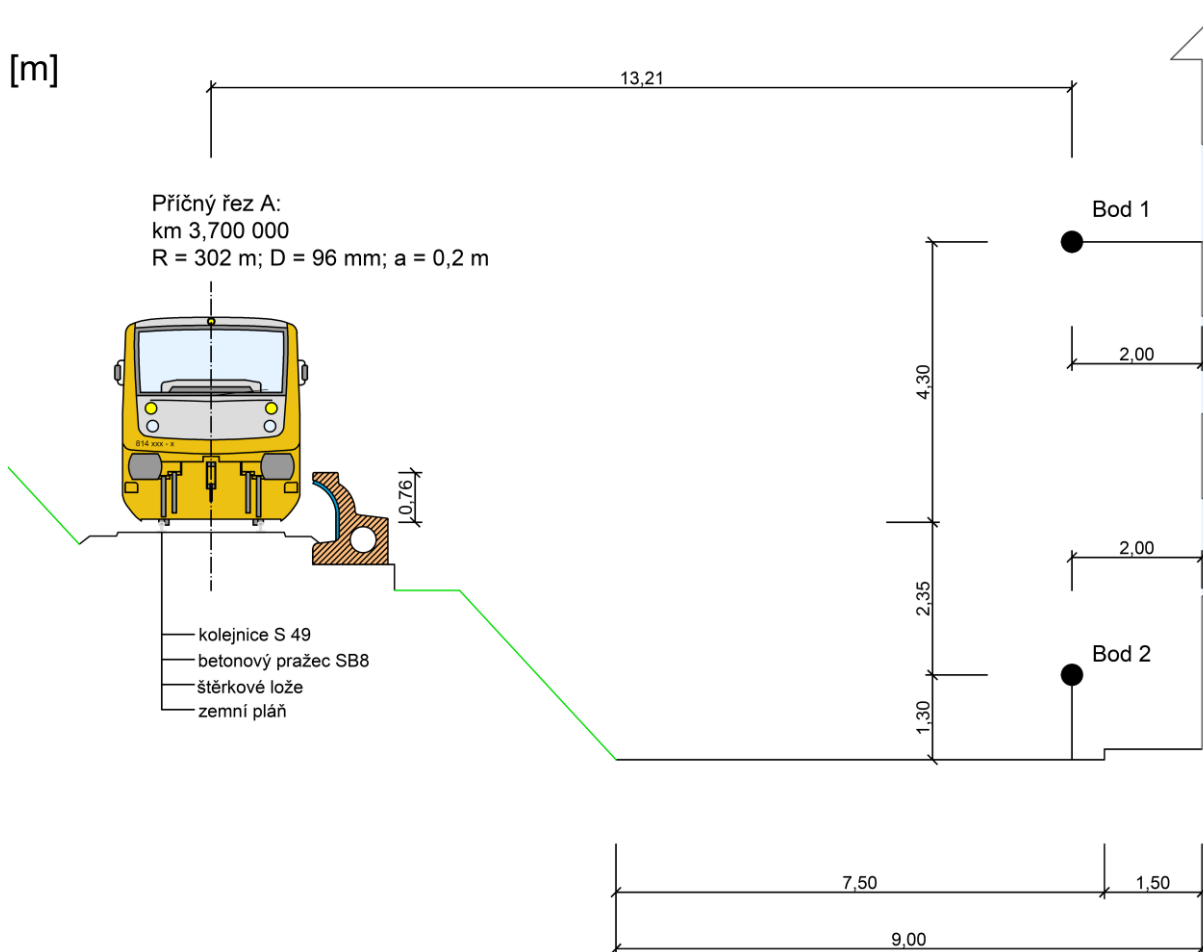
Meteorologické podmínky a data k jednotlivým měřením jsou uvedeny v Tab. 6.1. Pro měření byl uvažován normální atmosférický tlak vzduchu (tj. 1 013,25 hPa), jelikož nebyl k dispozici barometr.

Tab. 6.1: Meteorologické podmínky

Bod měření	Datum [d. m. r]	Teplota [°C]	Relativní vlhkost vzduchu [%]	Rychlost větru [m.s ⁻¹]	Směr větru "z"	Atm. tlak [hPa]	Třída oblačnosti
1	28. 11. 2013	+ 3	50	do 5	JZ	-	oblačno
2	11. 4. 2014	+ (8 - 14)	60	do 5	JV	-	jasno
3	11. 4. 2014	+ 14	60	do 5	JV	-	jasno
4	14. 5. 2014	+ 9	50	do 5	SZ	-	zataženo

6.4 NÁKRESY SITUACÍ

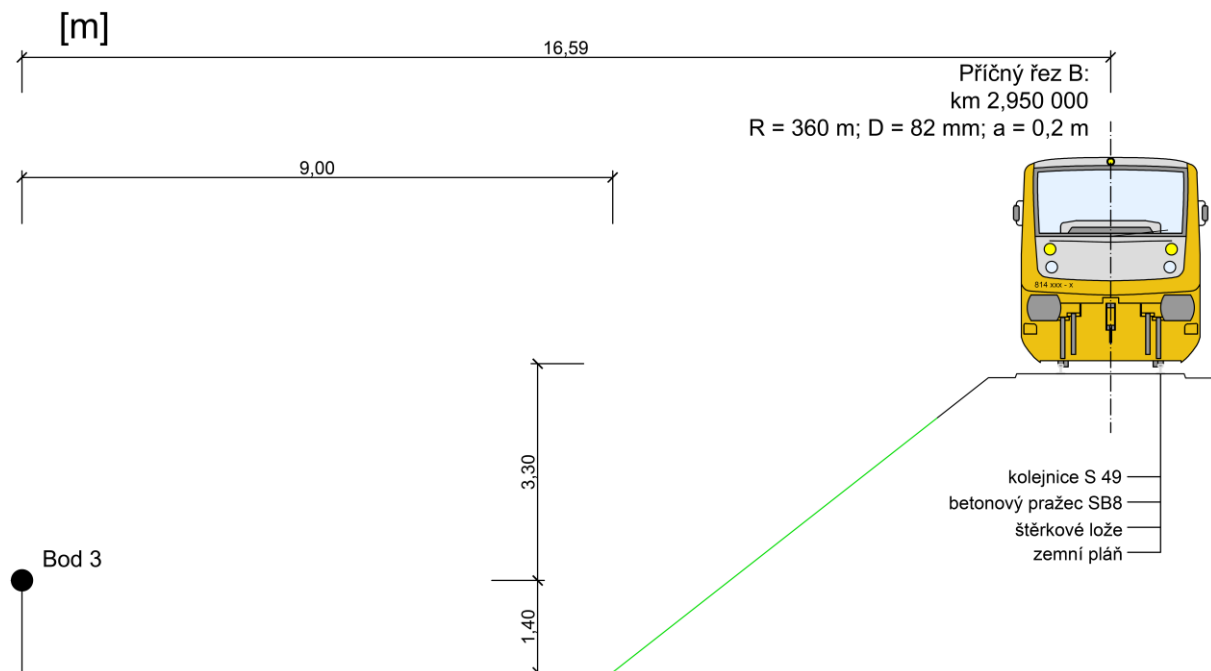
Umístění všech měřicích bodů již bylo popsáno v kap. 5.4, v této části jsou ilustrovány důležité vzdálenosti všech mikrofونů od významných úrovní (např. zdroje hluku, terénu, či fasády domu). Na Obr. 6.2 je zobrazen úsek s NPS a měřicími body 1 a 2.



Obr. 6.2: Znáznornění vzdálenosti mikrofونů 1 a 2 od osy koleje⁵¹

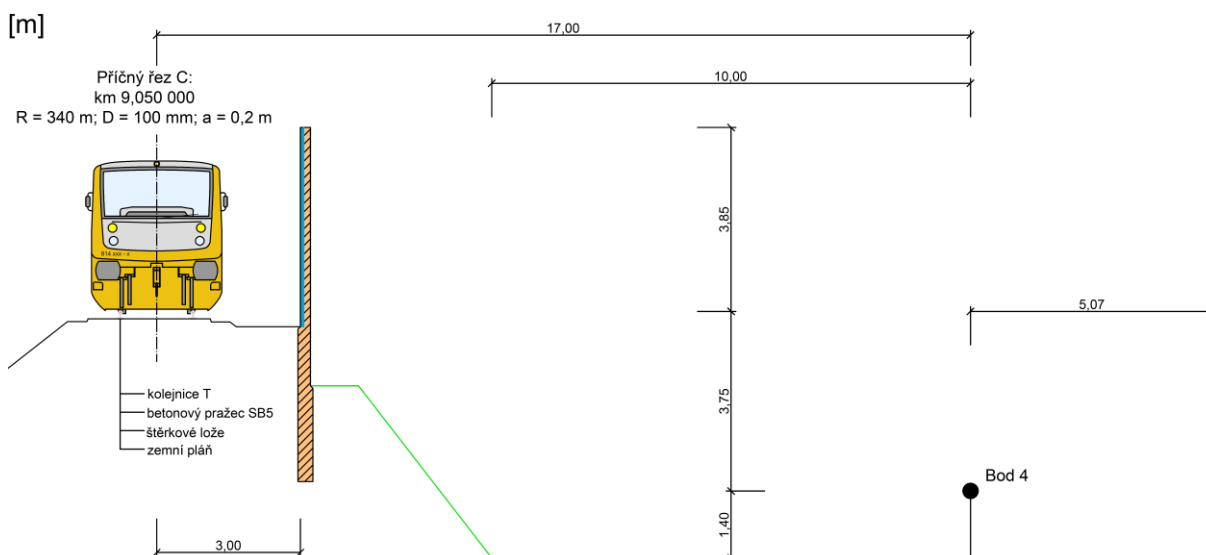
⁵¹ Vlastní obrazový materiál - archiv autora.

Příčný řez ekvivalentním místem zobrazuje Obr. 6.3. Tato část trati č. 173 je vzdálena 0,75 km od porovnávaného místa s NPS. Všechny směrové oblouky vybraných úseků tratí mají velmi podobné poloměry a převýšení koleje.



Obr. 6.3: Poloha 3. měřicího bodu⁵²

Obr. 6.4 vystihuje instalaci vysoké PHS podél trati č. 120 a vzdálenost měřicího přístroje od osy koleje a fasády přilehlé budovy.



Obr. 6.4: Umístění 4. mikrofonu u trati č. 120⁵³

⁵² Vlastní obrazový materiál - archiv autora.

⁵³ Totéž.

6.5 AKUSTICKÉ ÚDAJE

Tab. 6.2 shrnuje všechna podstatná naměřená data ze zvukoměru umístěného v bodě 1. Z hodnot L_{AE} je patrné, že podle předpokladu měly vozy směřující na Beroun vyšší hladinu expozice.

Tab. 6.2: Výsledky měření z 1. polohy měřicího přístroje

Číslo měření	Začátek měření [h:min:s]	Doba měření [s]	L_{AE} [dB]	Směr jízdy
1	14:34:31	18	81,8	Beroun, Závodí
2	14:52:31	16	79,8	Praha, Smíchov
3	15:04:32	18	81,3	Beroun, Závodí
4	15:21:45	13	81,2	Praha, Smíchov
5	15:34:34	16	81,5	Beroun, Závodí
6	15:53:06	17	79,8	Praha, Smíchov
7	16:05:25	21	80,2	Beroun, Závodí
8	16:23:37	20	81,2	Praha, Smíchov
9	16:34:33	20	81,7	Beroun, Závodí
10	16:52:25	24	78,3	Praha, Smíchov
11	17:04:33	20	81,1	Beroun, Závodí
12	17:23:04	20	81,5	Praha, Smíchov

Hodnoty hladiny expozice z druhého stanoviště u NPS (viz Tab. 6.3) jsou cca o 2 dB nižší, poněvadž mikrofon byl umístěný pod úrovní TK a v lepším zákrytu za stěnou. Lepší zákryt dokazuje i kratší doba měření způsobená lepším akustickým stíněním. Z tohoto důvodu zdroj hluku působí v této úrovni kratší dobu, a proto má protihlukové opatření NPS na násypu větší účinnost.

Tab. 6.3: Hodnoty hladiny expozice z 2. polohy zvukoměru

Číslo měření	Začátek měření [h:min:s]	Doba měření [s]	L_{AE} [dB]	Směr jízdy
1	8:05:48	7	78,1	Beroun, Závodí
2	8:22:20	10	77,3	Praha, Smíchov
3	8:35:35	9	77,8	Beroun, Závodí
4	8:52:27	9	78,0	Praha, Smíchov
5	9:23:12	12	78,4	Praha, Smíchov
6	9:35:06	8	76,9	Beroun, Závodí
7	13:22:10	12	77,3	Praha, Smíchov
8	13:34:44	10	78,5	Beroun, Závodí
9	14:05:02	11	75,9	Beroun, Závodí
10	14:24:00	12	78,7	Praha, Smíchov
11	14:35:34	10	80,2	Beroun, Závodí

V Tab. 6.4 jsou prezentovány výsledky měření pro 3. bod, což je ekvivalentní úsek bez PHS pro porovnání s NPS. Rozdíly emitované akustické energie s druhým měřicím bodem jsou přibližně 7 dB.

Tab. 6.4: Výsledky měření z 3. stanoviště

Číslo měření	Začátek měření [h:min:s]	Doba měření [s]	L _{AE} [dB]	Směr jízdy
1	14:53:45	17	85,3	Praha, Smíchov
2	15:04:23	10	84,1	Beroun, Závodí
3	15:24:14	10	84,9	Praha, Smíchov
4	15:34:22	12	85,1	Beroun, Závodí
5	15:54:37	14	86,1	Praha, Smíchov
6	16:04:17	10	85,9	Beroun, Závodí
7	16:24:49	12	85,2	Praha, Smíchov
8	16:34:04	12	85,2	Beroun, Závodí
9	16:54:38	12	85,9	Praha, Smíchov
10	17:04:25	10	84,9	Beroun, Závodí

Tab. 6.5 zachycuje hodnoty hladiny expozice u trati č. 120 s vysokou PHS. Bylo zřejmé, že účinnost stěny bude vyšší, jelikož stěna svou výškou zakrývá veškerý zdroj hluku z tratě. Vzdálenější umístění 4. mikrofonu od osy koleje než v předchozích případech také přispívá k většímu útlumu mechanického vlnění. Hodnoty L_{AE} jsou oproti 2. bodu nižší o 12 dB a vzhledem k 3. bodu o 19 dB nižší.

Tab. 6.5: Výsledné hodnoty ze 4. měřicího bodu

Číslo měření	Začátek měření [h:min:s]	Doba měření [s]	L _{AE} [dB]	Směr jízdy
1	8:53:35	14	68,0	Praha, Ruzyně
2	9:01:01	9	66,4	Praha, Veleslavín
3	9:52:58	16	57,1	Praha, Ruzyně
4	10:01:04	18	67,3	Praha, Veleslavín
5	10:20:36	19	65,2	Praha, Ruzyně
6	10:53:47	18	65,8	Praha, Ruzyně
7	11:00:17	14	64,8	Praha, Veleslavín
8	11:35:56	15	66,4	Praha, Veleslavín
9	11:52:48	17	65,6	Praha, Ruzyně
10	12:00:07	19	69,0	Praha, Veleslavín

Na všech stanovištích bylo naměřeno minimálně 10 průjezdů motorové jednotky řady 814-914. Ke každému z výsledků byl přiřazen také směr jízdy, jelikož se průměrují jednotlivé směry zvláště z důvodu vyšší přesnosti výpočtu.

6.5.1 VYPOČTENÉ EKVIVALENTNÍ HLADINY AKUSTICKÉHO TLAKU

V Tab. 6.6 jsou shrnuty všechny proměnné veličiny podstatné pro výpočet $L_{Aeq,T}$ dle rovnice 6.3, z níž byly vypočtené hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku pro den a noc. Logaritmický průměr L_{AE} byl vytvořen z naměřených dat. Dopravní zatížení trati č. 173 bylo vyčteno z grafikonu vlakové dopravy a stejná intenzita dopravních spojů byla použita i pro 4. bod, ačkoli na trati č. 120 je mnohem vyšší zatížení.

Tab. 6.6: Vypočtené veličiny

Bod měření	Logaritmický průměr L_{AE} [dB]	Konečná hodnota L_{AE} [dB]	Směr jízdy	Počet spojů t = 16 h [-]	Počet spojů t = 8 h [-]	L_{Aeq} t = 16 h [dB]	L_{Aeq} t = 8 h [dB]
1	80,49	80	Praha, Smíchov	26	3	50,2	42,8
	81,19	81	Beroun, Závodí	27	2		
2	78,18	78	Praha, Smíchov	26	3	48,2	40,8
	78,55	79	Beroun, Závodí	27	2		
3	85,65	86	Praha, Smíchov	26	3	55,2	48,0
	85,06	85	Beroun, Závodí	27	2		
4	65,19	65	Praha, Ruzyně	26	3	36,4	28,9
	67,54	68	Praha, Veleslavín	27	2		

Konečné hodnoty L_{AE} v Tab. 6.6 demonstrují účinnost jednotlivých opatření. Z vypočtených ekvivalentních hladin pro den a noc je zřejmé, že hodnota hladiny expozice zvuku hraje velmi významnou roli při výpočtu, stejně tak i počet událostí.

Rozdíly v morfologii terénu, železničních tratí u měřicích bodů 2 a 3 se dají pokládat za obdobné, a proto se mohou vybrané úseky pro měření označit za ekvivalentní. Z výsledků je patrná velmi dobrá efektivita NPS 5-7 dB, jež by měla stačit k zařazení clony BRENS BARRIER mezi doporučené opatření vedoucí ke snížení hladiny akustického tlaku A. Je však nutné podotknout, že tento případ byl posuzován při trati na násypu, kde vlastní morfologie terénu a tato NPS jsou ve velmi příznivém poměru.

Naopak 4. měřicí stanoviště bylo ovlivněno větší vzdáleností od zdroje hluku a také nižší rychlostí projíždějících vozů. Z těchto důvodů nelze označit poslední bod za referenční vzorek. Nicméně je i přesto evidentní, že použití vysokých PHS je účinnějším řešením při eliminaci hlukových emisí.

7 ZHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Souhrn vypočítaných hodnot z předešlé kap. 6.5.1 jsou zde po korekční úpravě porovnány s hygienickými limity.

7.1 NEJISTOTY MĚŘENÍ

Pro použitý zvukoměr a metodu měření byla použita standardní rozšířená nejistota ± 2 dB. Formát výsledných hodnot s nejistotou vyjadřuje Tab. 7.1.

Tab. 7.1: Výsledné hodnoty ekvivalentních hladin

Bod měření	Standardní nejistota [dB]	L_{Aeq} $t = 16$ h [dB]	L_{Aeq} $t = 8$ h [dB]
1	$\pm 2,0$	$50,2 \pm 2,0$	$42,8 \pm 2,0$
2		$48,2 \pm 2,0$	$41,8 \pm 2,0$
3		$55,2 \pm 2,0$	$48,0 \pm 2,0$
4		$36,4 \pm 2,0$	$28,9 \pm 2,0$

7.2 KONTROLA HYGIENICKÝCH LIMITŮ

Pro všechny úseky tratí, u kterých probíhalo měření, platí stále SHZ. K porovnání s legislativními limity jsou použity vypočtené ekvivalentní hodnoty, od nichž byla odečtena standardní nejistota, a jelikož byly mikrofony (tj. body 1 a 2) umístěny před odrazivou fasádou domu do 2 m, ještě byla odečtena korekce na odraženou akustickou energii 2 dB. S hygienickými limity jsou porovnány v Tab. 7.2 upravené výsledné hodnoty měřených bodů 1 a 2, nacházející se v chráněném venkovním prostoru staveb, ve sloupcích $t = 16$ h a $t = 8$ h jsou současné limity pro železniční dopravu v kontrastu se SHZ.

Tab. 7.2: Kontrola dodržení hygienických limitů

Bod měření	$t = 16$ h [dB]	SHZ $t = 16$ h [dB]	L_{Aeq} $t = 16$ h [dB]	$t = 8$ h [dB]	SHZ $t = 8$ h [dB]	L_{Aeq} $t = 8$ h [dB]
1	55	70	46	50	65	38
2			44			36

Z Tab. 7.2 je patrné, že jsou v Hlubočepích podél trati č. 173 limitní hodnoty pro daný provoz s rezervou splněny a je otázka, zda bylo nutné pasivní protihlukové opatření.

8 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo posouzení NPS 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.

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 jsou přívětivé 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 rychlejší. Nižší stavební náklady jsou ovlivněny především tím, že NPS není trvale spojena základem se zemním tělesem, což se ale negativně projeví na zvýšení provozních nákladů z důvodů nutnosti pravidelné kontroly průjezdného průřezu a zvýšených nároků na údržbu v místě clony.

Z naměřených a prezentovaných výsledků vyplývá, že NPS snížila v Hlubočepích průměrné zvukové emise o cca 7 dB. I když v porovnání s vysokou PHS byl útlum akustické energie o 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 je patrné, že jsou v Hlubočepích podél železniční trati limitní hodnoty pro daný provoz s rezervou splněny a je otázka, zda bylo nutné pasivní protihlukové opatření.

Stěna BRENS BARRIER se svým umístěním a jedinečným parabolickým zakřivením, jímž odráží zvuk zpět do šterkového lože, stává velmi účinným protihlukovým opatřením. Na druhou stranu instalaci clony blízko ke zdroji hluku dochází k porušení řady dosavadních technických a bezpečnostních předpisů (viz podrobněji v kap. 3.1.2.3), jež by SŽDC musela znova definovat z důvodů schválení této nové stavby v kolejišti. K nejvýraznějším porušením předpisů patří: zásah nízké protihlukové stěny do VSMP a prostoru pro práci mechanizačních prostředků. Z technického hlediska je tato clona náročná zejména na údržbu a odvodnění.

Výhodné použití NPC je pro jednokolejné tratě vedené po zemních tělesech nad úrovní přiléhajícího terénu, kde je vlastní morfologie krajiny a tato NPS ve velmi příznivém poměru. Nebo přistoupit k jejímu využití tam, kde klasickou PHS instalovat nelze kvůli stísněným poměrům, např. v husté zástavbě. Naopak není vhodné umisťovat tuto clonu oboustranně a podél dvukolejných a více kolejných tratí.

Případné povolení ze strany SŽDC je momentálně v nedohlednu, veškerý schvalovací proces je „*běh na dlouhou trať*“, který bude muset nakonec rozřešit politické rozhodnutí.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ INFORMACÍ

- 140 let Pražsko-duchcovské dráhy 1873-2013. Praha: Dopravní vydavatelství Malkus, 2013, 28 s. ISBN 978-80-87047-29-3.
- ČD. *Metodický pokyn: protihlukové stěny a valy*. Praha: ČD, 2000, 33 s. Č.j. 58 604/00-O13 dne 4. 8. 2000.
- ČECH, Tomáš. *Historie zlonických drah: 10 let železničního muzea*. Praha: Dopravní vydavatelství Malkus, 2007, 91 s. ISBN 978-80-87047-05-7.
- ČSN 73 6320. *Průjezdne průřezy na drahách celostátních, regionálních a vlečkách normálního rozchodu*. Praha: Český normalizační institut, 1997, 28 s.
- 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.
- EISENREICH, J. a M. NEJEZCHLEB. *Kolejový absorbér hluku s protihlukovou clonou*. Uherský Ostroh: ŽPSV, 2011, 62 s.
- HLAVÁČEK, Jan. VUZ, a. s. *Efektivita nízké protihlukové clony BRENS BARRIER: na trati Praha - Rudná v km 3,524 - 3,738*. Praha, 2013, 18 s. TZ 030/2013.
- MYNÁŘ, J. a MYNÁŘOVÁ, L. *Protihlukové stěny používané na území ČR*. Praha: ČVUT, 2002. 187 s.
- NEUBERGOVÁ, Kristýna. *Ekologické aspekty dopravy*. Praha: ČVUT, 2005, 161 s. ISBN 80-01-003131-4.
- OERTLI, J. a P. HÜBNER. *Railway noise in Europe: A 2010 report on the state of the art*. Paris: UIC, 2010, 31 s. ISBN 978-274-6118-805.
- SCHREIER, Pavel. *Příběhy z dějin našich drah: kapitoly z historie českých železnic do roku 1918*. 1. vyd. Praha: Mladá fronta, 2009, 207 s. ISBN 978-802-0415-059.
- SCHREIER, Pavel. *Zrození železnic v Čechách, na Moravě a ve Slezsku*. Praha: Baset, 2004, 293 s. ISBN 80-7340-034-0.
- 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.
- ŠOREL, M., J. JILMA, I. MAHEL a L. LOSOS. *150 let parostrojní železnice na Kladně*. 1. vyd. B. GOLDA. J. KŘENEK. Praha: Herkules KHKD, 2005, 224 s. ISBN 80-903-3463-6.
- TP 104. *Technické podmínky: Protihlukové clony pozemních komunikací*. Praha: MD ČR, 2008, 162 s.

Internetové zdroje:

- EISENREICH, Jan. *Nízké protihlukové clony BRENS BARIER: 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>
- Hlubočepy. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 7. 7. 2014 [cit. 2014-07-13]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Hlubo%C4%8Depy>
- *Mapy.cz* [online]. Seznam.cz, a.s., © 1996 - 2014 [cit. 2014-08-01]. Dostupné z: <http://mapy.cz/>
- Mrtví ptáci. *Ptáci* [online]. 2013 [cit. 2014-07-20]. Dostupné z: <http://ptaci.org/mrtvoly/stena-karlovarska/zmena.jpg>
- 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
- NEUBERGOVÁ, Kristýna. *Protihlukové clony: jejich ztvárnění a estetické působení. SILNICE ŽELEZNICE* [online]. 2010 [cit. 2014-07-23]. ISSN 1803-8441. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/protihlukove-clony-jejich-ztvarneni-a-esteticke-pusobeni/>
- 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

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1: Hygienické limity v ekvivalentní hladině akustického tlaku A [Nařízení vlády č. 272/2011] ..	15
Tab. 3.1: Shrnutí dosavadních zkušeností	27
Tab. 4.1: Naměřené hodnoty	30
Tab. 4.2: Technické parametry nízkopodlažní jednotky řady 814–914	35
Tab. 5.1: Složení ploch katastrálního území Hlubočep	38
Tab. 6.1: Meteorologické podmínky	47
Tab. 6.2: Výsledky měření z 1. polohy měřicího přístroje	49
Tab. 6.3: Hodnoty hladiny expozice z 2. polohy zvukoměru	49
Tab. 6.4: Výsledky měření z 3. stanoviště	50
Tab. 6.5: Výsledné hodnoty ze 4. měřicího bodu	50
Tab. 6.6: Vypočtené veličiny	51
Tab. 7.1: Výsledné hodnoty ekvivalentních hladin	52
Tab. 7.2: Kontrola dodržení hygienických limitů	52

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1: Hluk a vibrace z kolejové dopravy	9
Obr. 2.2: Valivý hluk, jeho vývoj, přenos a emise	10
Obr. 2.3: Izofony valivého hluku	10
Obr. 2.4: Graf závislosti zdroje hluku na rychlosti.....	12
Obr. 2.5: Významné rozdíly v šíření zvuku v závislosti na vedení železniční trasy	13
Obr. 2.6: Vliv klimatických podmínek na šíření akustického tlaku A.....	14
Obr. 3.1: Příklad siluety dravců a pružování hladkých stěn.....	21
Obr. 3.2: Čtyři nejpoužívanější kolejnicové absorbéry.....	22
Obr. 3.3: Geometrické srovnání účinnosti NPS a vysoké PHS.....	25
Obr. 3.4: Používané typy NPS v Evropě.....	26
Obr. 4.1: Ilustrační řez kolejí s oboustrannou clonou výšky 730 mm nad TK	28
Obr. 4.2: Dva řezy stěnou BRENS BARRIER	29
Obr. 4.3: Schéma umístění měřicích mikrofonů	30
Obr. 4.4: Izofony zvuku pro jednokolejnou trať na násypu o výšce 4 m.....	31
Obr. 4.5: Průjezdový profil trati v kontextu s NPC	32
Obr. 4.6: Dva pohledy na prefabrikátový dílec s únikovým otvorem	33
Obr. 4.7: SWOT analýza.....	34
Obr. 4.8: Motorová jednotka řady 814-914.....	35
Obr. 5.1: Umístění NPS o délce 214 m	38
Obr. 5.2: Motorový vůz M 262.087 pod viaduktem BEB v Hlubočepích dne 3. 12. 1967.....	39
Obr. 5.3: Nízká protihluková stěna pod viaduktem BEB v Hlubočepích dne 11. 4. 2014	39
Obr. 5.4: Umístění mikrofonu v 1. bodě	40
Obr. 5.5: Stanoviště 2. měřicího bodu	41
Obr. 5.6: Poloha 3. měřicího bodu	42
Obr. 5.7: Třetí bod u trati č. 173.....	43
Obr. 5.8: Umístění 4. měřicího bodu v městské čtvrti Praha-Liboc	43
Obr. 5.9: Pozice 4. bodu měření.....	44
Obr. 6.1: Grafické znázornění hladiny expozice	45
Obr. 6.2: Znázornění vzdálenosti mikrofonů 1 a 2 od osy koleje	47
Obr. 6.3: Poloha 3. měřicího bodu	48
Obr. 6.4: Umístění 4. mikrofonu u trati č. 120	48

SEZNAM POUŽITÉHO SOFTWARE

- AutoCAD Civil 3D 2015
- Microsoft Excel 2013
- Microsoft Word 2013
- Zoner Photo Studio 15 Professional