

**UNIVERZITA PARDUBICE**  
**DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

2015

Bc. Jiří Jedlička, DiS.

**Univerzita Pardubice**

**Dopravní fakulta Jana Pernera**

**Posouzení účinnosti moderních protihlukových opatření v železničním  
provozu**

**Bc. Jiří Jedlička, DiS.**

**Diplomová práce**

**2015**

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Jiří Jedlička, DiS.  
Osobní číslo: D13709  
Studijní program: N3708 Dopravní inženýrství a spoje  
Studijní obor: Provozní spolehlivost dopravních prostředků a infrastruktury:  
Ochrana životního prostředí v dopravě  
Název tématu: Posouzení účinnosti moderních protihlukových opatření v železničním provozu  
Zadávací katedra: Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Úvod do problematiky hluku z dopravy, jeho dopady na člověka a životní prostředí
2. Analýza zdrojů hluku ze železniční dopravy
3. Metody výpočtu hluku ze železniční dopravy
4. Využití modelování hluku ze železničního provozu a jeho aplikace v praxi
5. Možnosti snižování hluku na železničních tratích
6. Posouzení a vyhodnocení účinnosti konkrétních protihlukových opatření v železničním provozu.

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího práce

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran textu a přílohy

Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

- Zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví
- Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
- ČSN EN ISO 3095 - Železniční aplikace - Akustika - Měření hluku vyzařovaného kolejovými vozidly
- ČSN ISO 9613-2 - Akustika - Útlum při šíření zvuku ve venkovním prostoru - část 2: Obecná metoda výpočtu

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Michal Musil, Ph.D.**  
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání diplomové práce: **25. února 2015**

Termín odevzdání diplomové práce: **22. května 2015**

  
doc. Ing. Ivo Drahošský, Ph.D.  
děkan

L.S.

  
doc. Ing. Michael Lata, Ph.D.  
vedoucí katedry

**Prohlašuji:**

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 22. 5. 2015

Bc. Jiří Jedlička, DiS.

Chtěl bych poděkovat Ing Michalu Musilovi Ph. D., vedoucímu mé diplomové práce za jeho rady, podporu a trpělivost při vedení mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Karlu Šnajdrovi z firmy AKON a Janu Eisenreichovi ze společnosti PROKOP RAIL a. s. za jejich poskytnuté podklady a zkušenosti, které mi pomohly ke zpracování této práce.

## ANOTACE

Tato práce se věnuje problematice hluku způsobeného zejména železniční dopravou a možnostech jeho snižování. Je zde zpracována analýza zdrojů hluku ze železniční dopravy a metodika výpočtu hluku používaná v železniční dopravě. V neposlední řadě se práce zabývá posouzením skutečné účinnosti konkrétních protihlukových opatření používaných v železničním provozu.

## KLÍČOVÁ SLOVA

železniční doprava, hlukové emise, protihluková opatření, životní prostředí, výpočtové modelování

## TITLE

Assesment of efficiency of modern anti-noise measures in railway transport

## ANNOTATION

This work deals with the problem of noise caused mainly by railway transport and possibilities of reducing it. Is there an analysis sources rail noise and noise calculation methodology used in rail traffic. Finally, this work deals with the assessment of the real effectiveness of specific anti-noise measures used in rail traffic.

## KEYWORDS

railway transport, noise emissions, noise reduction measures, environment, computational modeling of noise

# OBSAH

ÚVOD .....	14
1. ŽELEZNIČNÍ DOPRAVA A JEJÍ CHARAKTERISTIKA .....	15
1.1 Charakteristické rysy železniční dopravy .....	15
1.2 Rozdělení drah v ČR, jejich vlastnictví a legislativa .....	16
1.2.1 Funkce Správy železniční dopravní cesty, státní organizace.....	16
1.2.2 Zákon č. 266/1994 Sb., o drahách .....	17
1.3 Tranzitní železniční koridory .....	18
1.4 Interoperabilita .....	19
2. HLUK Z DOPRAVY A JEHO NEGATIVNÍ DOPADY NA ČLOVĚKA A ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ.....	21
2.1 Hluk z dopravy v číslech.....	21
2.2 Vliv hluku na lidský organismus.....	22
2.3 Vliv hluku na zvířata .....	24
3. AKUSTIKA, HLUK A LEGISLATIVNÍ RÁMEC .....	26
3.1 Zvuk, základní pojmy a vztahy .....	26
3.2 Hluk, akustické emise a imise .....	27
3.3 Legislativa .....	28
4. ANALÝZA ZDROJŮ HLUKU ZPŮSOBENÝCH ŽELEZNIČNÍ DOPRAVOU .....	33
4.1 Hluk valivý.....	33
4.2 Hluk z pohonů hnacích vozidel (hluk trakce) .....	35
4.3 Aerodynamický hluk.....	36
5. METODY VÝPOČTU HLUKU ZE ŽELEZNIČNÍ DOPRAVY .....	39
5.1 Německá národní metoda – SCHALL 03 .....	40
5.2 Severská metoda - NMT .....	42
5.3 Holandská národní metoda – RMR (SRM II) .....	43
5.4 Francouzská národní metoda – NMPB - FER.....	45



5.5	Výběr vhodné metody .....	46
6.	MODELOVÁNÍ HLUKU ZE ŽELEZNIČNÍHO PROVOZU .....	47
6.1	Vstupní podklady .....	48
6.1.1	Podklady pro zdrojovou část metody.....	49
6.1.2	Podklady pro sestavení modelu šíření hluku .....	53
6.2	Software používaný pro modelování hluku z dopravy .....	55
6.2.1	SoundPLAN.....	56
6.2.2	CADNA A .....	57
6.2.3	LimA.....	58
7.	MOŽNOSTI SNIŽOVÁNÍ HLUKU NA ŽELEZNIČNÍCH TRATÍCH.....	60
7.1	Rozdělení protihlukových opatření .....	60
7.2	Aktivní technická protihluková opatření.....	62
7.2.1	Použití moderních konstrukcí železničního svršku .....	63
7.2.2	Bezстыková kolej.....	64
7.2.3	Kolejnicové absorbéry .....	65
7.2.4	Kolejové absorbéry hluku.....	67
7.2.5	Akustické broušení kolejnic.....	69
7.2.6	Technické úpravy na kolejových vozidlech.....	71
7.2.7	Elektrizace železnic .....	74
7.3	Pasivní protihluková opatření .....	74
7.3.1	Klasické protihlukové stěny (PHS).....	75
7.3.2	Nízké protihlukové clony (NPHC) .....	79
7.3.3	Zemní valy .....	87
7.3.4	Nástupištní bloky s hlukově pohltivými tvárnici.....	88
7.3.5	Zvukotěsná okna a omítky .....	90
8.	POSOUZENÍ ÚČINNOSTI NPHC BRENS BARRIER V ŽELEZNIČNÍM PROVOZU	

8.1	Základní údaje o provedeném měření .....	92
8.2	Údaje o použitém zařízení, popis měřicího řetězce .....	92
8.3	Podmínky měření a popis měřicího stanoviště.....	94
8.4	Zpracování naměřených veličin .....	98
8.5	Výsledky měření .....	99
8.5.1	Vyhodnocení a porovnání naměřených výsledků.....	100
8.5.2	Porovnání s výsledky měření v Tetčicích.....	104
8.6	Porovnání měření "in situ" versus výpočtové modelování .....	104
9.	POSOUZENÍ ÚČINNOSTI KOLEJOVÝCH ABSORBÉRŮ HLUKU APLIKOVANÝCH NA PEVNÉ JÍZDNÍ DRÁZE .....	107
9.1	Typy použitých absorbérů.....	107
9.2	Podmínky měření a popis měřicího stanoviště.....	108
9.3	Výsledky měření a jejich vyhodnocení .....	110
10.	ZÁVĚR .....	113
	POUŽITÁ LITERATURA .....	117

## SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

- Obrázek č. 1 mapa tranzitních železničních koridorů v ČR
- Obrázek č. 2 obyvatelé EU zasažení hlukem z dopravy (den nad 55 dB, noc nad 50 dB)
- Obrázek č. 3 sluchové pole
- Obrázek č. 4 akustika - základní pojmy
- Obrázek č. 5 dílčí zdroje hluku ze železničních vozidel
- Obrázek č. 6 valivý hluk ve vztahu kolo - kolejnice
- Obrázek č. 7 motorová jednotka 814 "Regionova"
- Obrázek č. 8 vysokorychlostní vlak AGV
- Obrázek č. 9 závislost jednotlivých složek hluku na rychlosti vlaku
- Obrázek č. 10 vypočtené úrovně hluku LAeq při použití různých druhů brzd dle SHALL 03
- Obrázek č. 11 referenční hodnoty pro přepočet 24hodinové intenzity akustického tlaku hluku
- Obrázek č. 12 kategorie vlaků pro pokyny k výpočtu a měření hluku dle RMR
- Obrázek č. 13 výstup modelování hlukové situace v SW LimA (hluková pásma 4 m nad terénem) na úseku železniční trati Vlašim - Trhový Štěpánov
- Obrázek č. 14 nepřímé tuhé upevnění typ "K"
- Obrázek č. 15 přímé pružné bezpodkladnicové upevnění typ "W14"
- Obrázek č. 16 závislost hlukových emisí na rychlosti a počtu vozů, upevnění typ K a W14, elektrická trase
- Obrázek č. 17 kolejnicový absorbér Corus
- Obrázek č. 18 řez vnitřním dílcem kolejového absorbéru ze syntetického recyklátu
- Obrázek č. 19 uspořádání kolejových absorbérů v koleji s PJD
- Obrázek č. 20 vysokorychlostní brousící vlak HSG
- Obrázek č. 21 špalíková brzda - litinový špalík
- Obrázek č. 22 kotoučová brzda
- Obrázek č. 23 graf hodnot hlukových emisí při použití kotoučových a špalíkových brzd
- Obrázek č. 24 vyřiznutý nouzový prostup v PHS u panelu HOPKIRK
- Obrázek č. 25 protihlukové panely „Noba mlok“ a „Noba rizo“ společnosti MM Cité
- Obrázek č. 26 geometrické srovnání NPHC a klasické PHS ve vztahu k redukci hluku
- Obrázek č. 27 výkres tvaru dílce NPHC
- Obrázek č. 28 umístění NPHC v trati

- Obrázek č. 29 nízká protihluková clona Soundim, Finsko
- Obrázek č. 30 nízká protihluková clona Zbloc, Švédsko
- Obrázek č. 31 nízká protihluková clona společnosti ART, Rakousko - Melk
- Obrázek č. 32 NPHC realizovaná v Praze Hlubočepch
- Obrázek č. 33 zemní val v kombinaci s přidanou stěnou
- Obrázek č. 34 nástupištní hrana H130 s hlukově pohltivými tvárniciemi v zast. Šťáhlavy
- Obrázek č. 35 schéma zapojení měřicího a vyhodnocovacího řetězce
- Obrázek č. 36 rozmístění měřících mikrofónů
- Obrázek č. 37 umístění měřících míst ve fotomapě
- Obrázek č. 38 situace umístění NPHC a úprav GPK v úseku trati Smíchov - Rudná
- Obrázek č. 39 ukázka vyhodnocování časového záznamu zkoušky
- Obrázek č. 40 – graf závislosti hlukových emisí na rychlosti před a po dosazení NPHC (mikrofon M1 na straně bariéry ve výšce 1,20 m nad TK - směr Praha)
- Obrázek č. 41 graf závislosti hlukových emisí na rychlosti před a po dosazení NPHC (mikrofon M1 na straně bariéry ve výšce 1,20 m nad TK - směr Rudná)
- Obrázek č. 42 graf závislosti hlukových emisí na rychlosti před a po dosazení NPHC (mikrofon M3 na straně bariéry ve výšce 0,30 m nad TK - směr Praha)
- Obrázek č. 43 graf závislosti hlukových emisí na rychlosti před a po dosazení NPHC (mikrofon M3 na straně bariéry ve výšce 0,30 m nad TK - směr Rudná)
- Obrázek č. 44 graf závislosti hlukových emisí na rychlosti před a po dosazení NPHC (mikrofon M2 na opačné straně než bariéry ve výšce 1,20 m nad TK - směr Praha)
- Obrázek č. 45 graf závislosti hlukových emisí na rychlosti před a po dosazení NPHC (mikrofon M2 na opačné straně než bariéry ve výšce 1,20 m nad TK - směr Rudná)
- Obrázek č. 46 hlukový řez v SW Soundplan, Tetčice km 6,130, porovnání bez protihlukového opatření (část nahoře) a po osazení NPHC BRENS barrier (část dole)
- Obrázek č. 47 kolejový absorbér typ BA v prvním zkušebním úseku
- Obrázek č. 48 kolejový absorbér typ BA-S ve druhém zkušebním úseku
- Obrázek č. 49 rozmístění měřících stanišť s mikrofóny
- Obrázek č. 50 graf závislosti hlukových emisí a útlumu pro absorbéry typu BA
- Obrázek č. 51 graf závislosti hlukových emisí a útlumu pro absorbéry typu BA-S

- Tabulka č. 1 akustické veličiny a jejich vzájemné vztahy
- Tabulka č. 2 maximální vypočitatelná rychlost podle kategorie vlaků dle RMR
- Tabulka č. 3 akustický účinek kolejnicových absorbérů Corus na trati Poděbrady - Kolín
- Tabulka č. 4 akustický útlum PHS po modernizaci tratě Votice - Benešov
- Tabulka č. 5 zkušenosti s NPHC v evropských zemích do roku 2012
- Tabulka č. 6 přístroje použité pro realizaci měření
- Tabulka č. 7 klimatické podmínky při 1. měřicí kampani
- Tabulka č. 8 klimatické podmínky při 2. měřicí kampani
- Tabulka č. 9 zprůměrované výsledky měření z 1. kampaně před instalací NPHC
- Tabulka č. 10 zprůměrované výsledky měření z 2. kampaně po instalaci NPHC
- Tabulka č. 11 porovnání zprůměrovaných výsledků obou kampaní přepočtených na rychlost 60 km/hod
- Tabulka č. 12 závěr - přehledné posouzení jednotlivých prvků protihlukové ochrany

## SEZNAM VYBRANÝCH ZKRATEK A ZNAČEK

SŽDC s.o.	Správa železniční a dopravní cesty, státní organizace
TINA	Transport Infrastructure Needs Assessment
VRT	vysokorychlostní trať
GPK	geometrická poloha koleje
TSI	technická směrnice interoperability
RMR	národní holandská výpočtová metoda
TÚDC	Technická ústředna dopravní cesty
PHS	protihluková stěna
PJD	pevná jízdní dráha
BK	bezstyková kolej
NPHC	nízká protihluková clona
OTH	Odbor traťového hospodářství SŽDC, s.o.
PHO	protihluková ochrana
VSMP	volný schůdný a manipulační prostor
IPO	individuální protihluková ochrana

## ÚVOD

Doprava v nemalé míře ovlivňuje životní prostředí, které nás obklopuje a také naše životy a zdraví, ať už po stránce fyzické, nebo psychické. V dnešní době si už jen stěží dokážeme představit život bez fungující dopravní sítě a dopravních prostředků, jejichž pomocí se denně uspokojují požadavky a potřeby na přepravu osob, zboží a ostatních komodit. Jelikož současný trend vývoje je takový, že se nároky na přepravní kapacitu i propustnost dopravních cest stále zvyšují, je zapotřebí se ve větší míře zabývat negativními dopady dopravy a možnostmi jejich snižování. Ve vztahu k životnímu prostředí je důležitým cílem tyto negativní vlivy stabilizovat a postupně omezovat. Reakcí na negativní dopady by měla být snaha o přechod od dopravy environmentálně nešetrné k dopravě trvale udržitelné. Udržitelnou dopravou rozumíme takovou dopravu, která dostatečně pokryje nároky na mobilitu současných generací a zároveň neomezí potřeby mobility budoucích generací a přitom minimalizuje dopady na životní prostředí.

Zaměření této práce je zejména na hluk způsobený železniční dopravou. Přestože doprava silniční a letecká produkuje větší množství hlukových emisí než doprava železniční, je zapotřebí se problematikou zabývat, neboť hluk ze železniční dopravy ovlivňuje okolní prostředí a zejména pak obyvatele žijící v blízkosti železničních tratí velmi významně. Je třeba upozornit na fakt, že Česká republika patří mezi státy s největší hustotou železnic na rozlohu území na světě. V ČR je celkem téměř 9500 km železničních tratí a se svojí hustotou 12,2 km/100 km<sup>2</sup> se řadíme na druhé místo po Německu (13,5 km/100 km<sup>2</sup>).

V úvodu práce se autor věnuje specifikům a legislativnímu rámci železniční dopravy, následně jsou zmíněny negativní vlivy hluku na člověka a životní prostředí. Dále se autor zabývá analýzou zdrojů hluku způsobených železniční dopravou a možnostmi jeho eliminace. Jsou zde uvedeny metody používané při výpočtu hluku ze železniční dopravy. Dále se práce zabývá využitím modelování hluku ze železničního provozu a jeho uplatněním v praxi.

V neposlední je práce věnována možnostem a opatřením, jak lze účinně snižovat hlukové emise v okolí železničních tratí za pomoci aktivních a pasivních protihlukových opatření. Hlavním cílem této práce pak posouzení konkrétních protihlukových opatření, ať již schválených, nebo vyvíjených, v železničním provozu z hlediska jejich účinnosti.

# 1. ŽELEZNIČNÍ DOPRAVA A JEJÍ CHARAKTERISTIKA

Železniční dopravou rozumíme dopravu uskutečňující se pomocí železničních vozidel po kolejové dráze - železnici. Obecně lze železniční tratě rozdělit na konvenční a vysokorychlostní (s traťovou rychlostí nad 250 km/h). Nejstarší a asi i nejznámější vysokorychlostní tratí (VRT) je japonský Šinkansen, otevřený v roce 1964. V dubnu letošního roku zde dosáhl při testovací jízdě na magnetickém polštáři vysokorychlostní vlak Maglev rychlostního rekordu 603 km/h. Mezi další známé VRT patří například francouzské LGV (Ligne à Grande Vitesse), po nichž se běžně prohánějí vlakové soupravy TGV rychlostí přes 300 km/h, rychlostní rekord zde je kolem 580 km/h.

U nás v České republice v současné době žádné vysokorychlostní železniční tratě nejsou, ale výhledově se jejich realizace připravuje a projekční práce na nich již byly zahájeny. Probíhá modernizace stávajících konvenčních tratí, zejména těch, které slouží jako tranzitní železniční koridory. Při těchto modernizacích je již kladen důraz mimo jiné na snižování hlučnosti v okolí tratí.

## 1.1 Charakteristické rysy železniční dopravy

Železniční doprava má oproti ostatním druhům dopravy své charakteristické rysy, mezi ty nejdůležitější patří:

- *plná závislost na jízdě dráze (vedení vozidla)*
- *vysoké nároky na kvalitu jízdě dráhy*
- *nízký valivý odpor*
- *jízda podle zabezpečovacího systému (řízení provozu)*
- *dráhu nelze použít k jinému účelu*

Mezi hlavní výhody železniční dopravy patří:

- *nižší emise a produkce toxinů než u dopravy osobními a nákladními automobily (v případě trakce)*
- *nízká měrná energetická náročnost (závisí na obsazenosti a vytíženosti vlaků)*
- *vysoká bezpečnost provozu*
- *menší zábor plochy oproti silniční dopravě na jednotku kapacity*
- *velká přepravní kapacita*
- *možnost účelného využití času při cestování*



Mezi její hlavní nevýhody můžeme zařadit:

- *emise hluku a vibrací*
- *větší nároky na trasování (sklon, poloměry oblouků)*
- *fragmentace území*
- *nižší operativnost*
- *delší rozjezdová a zábrzdňá vzdálenost*

## **1.2 Rozdělení drah v ČR, jejich vlastnictví a legislativa**

Vlastníkem železniční dopravní cesty (ŽDC) v České republice je stát. Na základě zákona o transformaci Českých drah, státní organizace (č. 77/2002 Sb.) došlo 31.12.2002 k zániku státní organizace České dráhy, s. o. bez likvidace. K 1.1.2003 vznikly dvě nástupnické organizace, a to České dráhy, a.s. a státní organizace Správa železniční dopravní cesty (SŽDC, s.o.).

### **1.2.1 Funkce Správy železniční dopravní cesty, státní organizace**

Hlavním úkolem SŽDC, s.o. je plnit funkci vlastníka a provozovatele dráhy celostátní a drah regionálních ve vlastnictví státu. Dále SŽDC, s.o. zajišťuje provozuschopnost, údržbu a opravu železniční dopravní cesty a její rozvoj a modernizaci. Další činností organizace je například příprava podkladů pro sjednávání závazků veřejné služby a kontrola užívání železniční dopravní cesty. V současné době je SŽDC, s.o. provozovatelem celé dráhy celostátní a převážné většiny drah regionálních v České republice.

Dále SŽDC, s.o. převzala povinnost zajišťování modernizace železniční dopravní cesty v majetku České republiky. Modernizací dráhy se rozumí všechny investice, kterými se pořizuje nebo zhodnocuje majetek tvořící železniční dopravní cestu a majetek, který je součástí dráhy. Mezi základní priority patří modernizace čtyř železničních koridorů a vybraných železničních uzlů, interoperabilita vybrané železniční sítě, pokračování elektrizace vybraných železničních tratí, zvýšení bezpečnosti na železničních přejezdech a výhledová příprava realizace vysokorychlostních tratí na území ČR s cílem napojení nejdůležitějších aglomerací do evropského systému vysokorychlostních tratí.

### 1.2.2 Zákon č. 266/1994 Sb., o drahách

Zákon o drahách je základním legislativním dokumentem, který stanovuje podmínky pro stavbu drah železničních, tramvajových, trolejbusových, lanových a stavby na těchto drahách. Dále upravuje podmínky pro jejich provozování a provozování drážní dopravy a v neposlední řadě stanovuje podmínky pro výkon státní správy a státního dozoru ve věcech drah. Tento zákon také zpracovává příslušné předpisy Evropské unie a definuje **provozoschopnost dráhy jako technický stav zaručující její bezpečné a plynulé provozování.**

Tento zákon mimo jiné stanovuje tzv. ochranné pásmo dráhy, které v důsledku přímo souvisí hygienickými limity hluku. Ochranné pásmo dráhy tvoří prostor po obou stranách dráhy, jehož hranice jsou vymezeny svislou plochou vedenou:

- u dráhy celostátní a u dráhy regionální 60 m od osy krajní koleje, nejméně však ve vzdálenosti 30 m od hranic obvodu dráhy,
- u dráhy celostátní, vybudované pro rychlost větší než 160 km/h, 100 m od osy krajní koleje, nejméně však 30 m od hranic obvodu dráhy,
- u vlečky 30 m od osy krajní koleje,
- u speciální dráhy 30 m od hranic obvodu dráhy, u tunelů speciální dráhy 35 m od osy krajní koleje,
- u dráhy lanové 10 m od nosného lana, dopravního lana nebo osy krajní koleje,
- u dráhy tramvajové a dráhy trolejbusové 30 m od osy krajní koleje nebo krajního trolejového drátu<sup>[1]</sup>

Další důležitou záležitostí, kterou tento zákon definuje, je rozdělení železničních drah dle hlediska, významu, účelu a technických podmínek do jednotlivých kategorií:

- dráha celostátní, jíž je dráha, která slouží mezinárodní a celostátní veřejné železniční dopravě
- dráha regionální, jíž je dráha regionálního nebo místního významu, která slouží veřejné železniční dopravě a je zaústěná do celostátní nebo jiné regionální dráhy
- vlečka, jíž je dráha, která slouží vlastní potřebě provozovatele nebo jiného podnikatele a je zaústěná do celostátní nebo regionální dráhy, nebo jiné vlečky
- speciální dráha, která slouží zejména k zabezpečení dopravní obslužnosti obce<sup>[1]</sup>

---

<sup>1</sup> Zákon o drahách č. 266/1994 Sb. 1994. Dostupné také z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/1994-266#cast1>

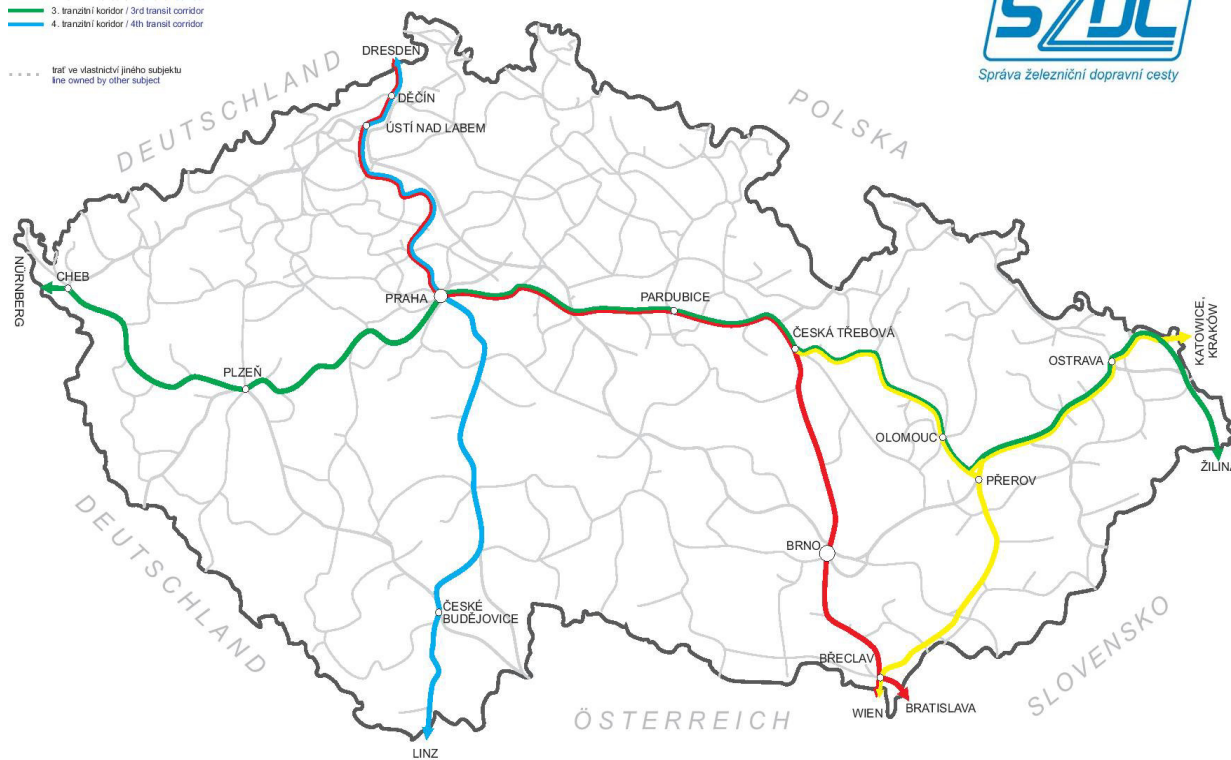
### 1.3 Tranzitní železniční koridory

Tranzitním železničním koridorem rozumíme hlavní železniční trať, která splňuje specifické požadavky z různých hledisek, například se jedná o geometrické parametry koleje (GPK), traťovou rychlost či způsob zabezpečení. Jedná se především o elektrizované železniční tratě určené zejména k dálkové tranzitní osobní i nákladní přepravě. Jednou z hlavních priorit SŽDC je v současnosti právě modernizace tranzitních železničních koridorů. Českou republikou procházejí trasy dvou panevropských koridorů, které jsou součástí sítě TINA. Z těchto jsou potom odvozeny trasy našich čtyř národních koridorů. Modernizací získají železniční tratě obdobné parametry srovnatelné u tratí v zahraničí, jež vycházejí z mezinárodních dohod, ke kterým Česká republika přistoupila. Jsou to zejména dohoda AGC – Evropská dohoda o hlavních železničních magistrálách a dohoda AGTC – Evropská dohoda o nejdůležitějších trasách mezinárodní kombinované dopravy a souvisejících objektech.

#### Tranzitní koridory / Railway transit corridors

- 1. tranzitní koridor / 1st transit corridor
- 2. tranzitní koridor / 2nd transit corridor
- 3. tranzitní koridor / 3rd transit corridor
- 4. tranzitní koridor / 4th transit corridor

..... trať ve vlastnictví jiného subjektu  
line owned by other subject



© Ing. Pavel Kržeh, Ph.D.

Obrázek č. 1- mapa tranzitních železničních koridorů v ČR  
(zdroj: <http://www.szdc.cz/soubory/mapy/koridory>)

## 1.4 Interoperabilita

Interoperabilitou se rozumí technická propojitelnost železničního systému, která má umožnit bezpečný a nepřerušovaný provoz vlaků dosahujících stanovených úrovní výkonnosti na tratích tohoto systému. V principu to znamená schopnost vybraných železničních vozidel bezproblémově použít železniční dopravní cestu, která právě splňuje požadavky na interoperabilitu. Tato schopnost závisí na všech předpisových, technických a provozních podmínkách, které musí být dodrženy v zájmu splnění základních požadavků.

Interoperabilita je jedním ze základních předpokladů fungování integrovaného transevropského konvenčního železničního systému. Změny nutné k dosažení interoperability se týkají vybavení infrastruktury (např. koleje, nástupiště, železniční přejezdy, výhybky, řídicí systémy), kolejových vozidel (např. řídicí, ovládací a informační systémy, údržba), průjezdného průřezu a v neposlední řadě také zajištění bezpečnosti cestujících.

Pravidla interoperability jsou definována technickými směnicemi pro interoperabilitu, tzv. TSI. Rozdělujeme technické specifikace zvlášť pro evropský vysokorychlostní železniční systém a zvlášť pro evropský konvenční železniční systém (TSI CR). To je v souladu s rozdělením evropského železničního systému na evropský vysokorychlostní železniční systém a evropský konvenční železniční systém. Například problematikou hluku způsobených drážními vozidly se zabývá technická specifikace pro interoperabilitu - hluk (TSI NOI) platná od listopadu 2014. Ta určuje limitní hodnoty hlukových emisí za daných referenčních podmínek na všech drahách celostátních.

Cílem interoperability je zejména především harmonizovat a liberalizovat osobní i nákladní železniční dopravu a zlepšit její konkurenceschopnost ve vztahu k dopravě automobilové a letecké. Jedním ze základních prvků interoperability transevropského konvenčního železničního systému ve vztahu k infrastruktuře je Evropský systém řízení železniční dopravy (ERTMS–European Rail Traffic Management System), který se skládá z Evropského systému řízení jízdy vlaků (ETCS–European Train Control System) a traťového rádiového systému (GSM-R).

V současné době je na interoperabilitu železničního systému u nás v České republice kladen z výše uvedených důvodů čím dál větší důraz. Nyní u rekonstrukcí všech celostátních

železničních tratí (dříve pouze u zařazených do evropského železničního systému) je již nutno vždy stavbu posuzovat z hlediska interoperability. Tato záležitost se také promítla do národní legislativy, např. do Nařízení vlády č. 133/2005 Sb. o technických požadavcích na provozní a technickou propojenost evropského železničního systému, nebo do Vyhlášky MD č. 352/2004 Sb. o provozní a technické propojenosti evropského železničního systému.

## **2. HLUK Z DOPRAVY A JEHO NEGATIVNÍ DOPADY NA ČLOVĚKA A ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ**

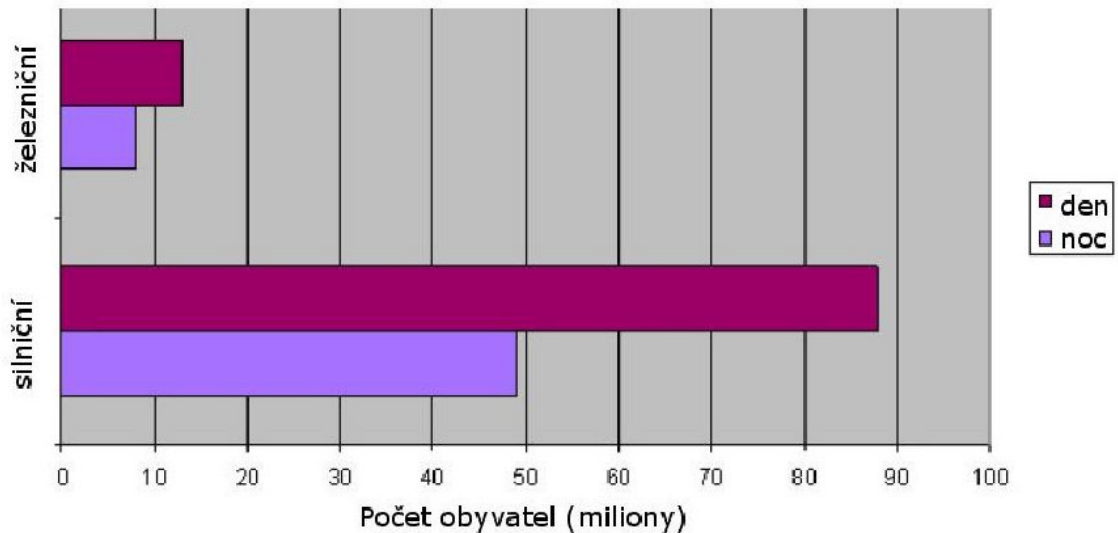
Hluková zátěž z dopravy a hluk obecně je v současnosti velmi často sledovaným faktorem v oblasti životního prostředí a dopravy. Hluk je rušivý jev, který nepříznivě ovlivňuje zdraví osob, které jsou jemu vystaveny už od hladiny 70 dB(A), někdy i méně. Rušení hlukem je však také závislé na individuální citlivosti vnímání každého jedince. Hluk patří k zásadním negativním vlivům dopravy, a přestože silniční i letecká doprava produkují hlukových emisí více, než doprava železniční, tak hluk ze železniční dopravy významně ovlivňuje okolní prostředí a zejména pak obyvatele žijící v blízkosti železničních tratí. O tom, zda a do jaké míry je hluk nebezpečný rozhoduje jeho intenzita, doba trvání a také časový průběh. U nás v ČR je vliv hluku na zdraví obyvatel sledován například Státním zdravotním ústavem v rámci monitoringu zdraví a životního prostředí v tzv. subsystému III - zdravotní důsledky a rušivé účinky hluku.

### **2.1 Hluk z dopravy v číslech**

Podle zpráv členských států, které v roce 2010 shromáždila Evropská agentura pro životní prostředí, postihuje hluk ze železniční dopravy zhruba 12 milionů obyvatel EU ve dne, kdy expozice hluku přesahuje 55 dB (A) a přes 9 milionů v noci, kdy expozice hluku přesahuje 50 dB(A). Pro srovnání, hlukem ze silniční dopravy, přesahujícím 55 dB(A) je přes den zasaženo téměř 90 milionů obyvatel EU. Porovnání počtu obyvatel zasažených nadměrným hlukem ze železniční a silniční dopravy ve velkých evropských aglomeracích je patrné na obrázku č. 2, který je uveden níže. Přestože počet obyvatel zasažených hlukem z dopravy železniční je výrazně nižší, není to číslo zanedbatelné.

Ve skutečnosti jsou reálná čísla nepochybně vyšší, protože iniciativa Evropské agentury pro životní prostředí mapující hluk v Evropě se soustředí jen na aglomerace s více než 250 000 obyvateli a hlavní železniční tratě, po nichž projede 60 000 a více vlaků ročně. Problém hluku ze železniční dopravy existuje především ve střední Evropě, kde také žije většina dotčených občanů a kde je největší objem nákladní železniční přepravy (především se jedná o Německo, Itálii a Švýcarsko, ale silný provoz je i v Polsku, Rakousku, Nizozemsku a Francii, a

mapování hluku dále naznačuje, že značná část obyvatelstva je postižena rovněž v Belgii a Lucembursku).<sup>[2]</sup>



Obrázek č. 2 - obyvatelé EU zasažení hlukem z dopravy (den nad 55 dB, noc nad 50 dB), porovnání silniční a železniční dopravy

(zdroj: [http://www.uic.org/IMG/pdf/20101130railway\\_noise\\_in\\_europe\\_en\\_ld.pdf](http://www.uic.org/IMG/pdf/20101130railway_noise_in_europe_en_ld.pdf))

## 2.2 Vliv hluku na lidský organismus

Hlukem nazýváme lidskému uchu nepříjemný zvuk, který má obtěžující nebo rušivý charakter a jehož následkem jsou škodlivé účinky na naše fyzické i duševní zdraví. Škodlivé účinky hluku můžeme definovat jako morfologické nebo funkční změny organismu, které vedou ke zhoršení jeho funkcí, ke snížení odolnosti vůči stresu, nebo ke zvýšení vnímavosti k jiným nepříznivým vlivům prostředí. Jeho účinky se mohou projevit buď přímo poruchou činnosti sluchového aparátu, nebo jako funkční změny, například porucha spánku, výkyvy krevního tlaku či únava. Obecně můžeme negativní účinky hluku rozdělit na dva základní druhy:

- *přímé - specifické účinky na sluchové ústrojí*
- *ostatní - nespecifické systémové účinky*

<sup>2</sup> Doprava a cestovní ruch. 2012. In: *Snížení hluku železniční dopravou* [online]. Brusel [cit. 2015-05-08].

Dostupné z: <http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/JOIN/2012/474533/IPOL->

[TRAN\\_ET%282012%29474533%28SUM01%29\\_CS.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/JOIN/2012/474533/IPOL-TRAN_ET%282012%29474533%28SUM01%29_CS.pdf)

Mezi přímé účinky na sluchové ústrojí můžeme zařadit například rupturu ušního bubínku a poškození středního ucha, což je většinou způsobeno silným nárazovým hlukem o vysoké intenzitě, cca nad 135 dB.

Systémové účinky jsou více závislé na každém jedinci a jsou ovlivněné jeho subjektivním vnímáním hluku. Mezi systémové účinky můžeme zařadit emocionální poruchy jako je podrážděnost či rozmrzelost, poruchy soustředění, změny krevního tlaku a poruchy spánku. U systémových účinků je důležité, že se projevují prakticky v celém rozsahu výskytu hodnot hluku a často se na nich podílí stresová reakce.

V dnešní "uspěchané" době je velkým problémem, zejména u mladších lidí nedostatek spánku. Při spánku se náš organismus regeneruje a pokud je příliš krátký nebo nekvalitní, má to na něj negativní vliv, což se projeví na jeho celkovém fungování. Rušení spánku tak patří k jednou z nejzávažnějších dopadů hluku na člověka. Poruchy spánku se projevují obtížemi při usínání, probouzení a změnami délky a hloubky spánku. Narušený spánek se projeví i následující den, zejména únavou, zhoršenou náladou, bolestmi hlavy a snížením výkonu.

Hluk je v současné době považován za jednu z nejzávažnějších škodlivin, protože působí skrytě, napadá organismus soustavně, jeho účinky se kumulují a na zdravotním stavu pacienta se projevují až po dlouhé době. Situaci zhoršuje skutečnost, že mnoho lidí je hluku vystaveno nejen v pracovním, ale i v obytném prostředí. To je konkrétní případ obyvatel v blízkosti železničních tratí.

Nepříjemné působení hluku má vliv na emoční postoj a motivaci jednotlivce. Může, ale nemusí se projevit zhoršením výkonu. Rušivé působení hluku zvyšuje pracovní zátěž a má negativní vliv na výkon. Škodlivé působení hluku zanechává patologické a škodlivé následky zejména na sluchovém orgánu, zhoršuje stav centrální nervové soustavy, způsobuje nepříznivé reakce psychické, neurovegetativní, poruchy ostatních smyslových orgánů a celkové snížení odolnosti lidského organismu.<sup>[3]</sup>

Mezi poruchy sluchového aparátu patří například akustická traumata, sluchová únava, poruchy přenosu zvuku nebo dočasná či trvalá ztráta sluchu. Poškození sluchu je závislé na

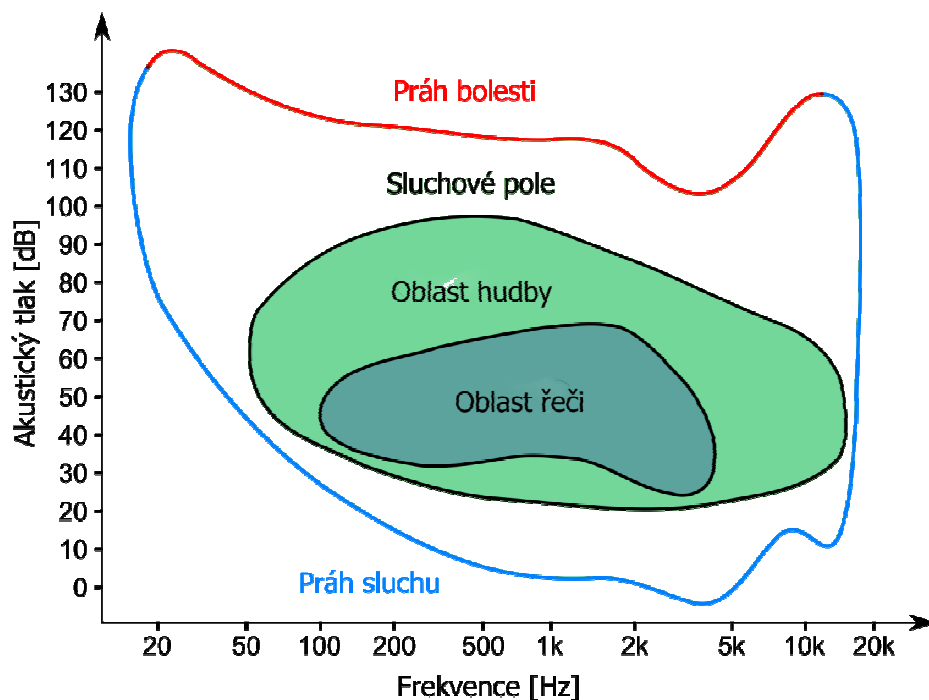
---

<sup>3</sup> 2012. DVOŘÁKOVÁ, Zuzana. *Řízení lidských zdrojů*. Praha: C. H. Beck. ISBN 978-80-7400-347-9



intenzitě hluku, jeho frekvenci a časovém průběhu. Nebezpečné nejsou jen tzv. náhlé a silné zvuky (například výbuch), ale i dlouhodobé působení zvuku o nižší intenzitě, kam bychom mohli zařadit právě případ obtěžování hlukem v blízkosti železničních tratí.

Níže je uveden obrázek sluchového pole, s graficky vyznačeným prahem sluchu (též prah slyšitelnosti), prahem bolesti a oblastmi řeči a hudby.



Obrázek č. 3- sluchové pole

(zdroj: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9f/Sluchov%C3%A9\\_pole\\_-\\_Graf.png?uselang=cs](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9f/Sluchov%C3%A9_pole_-_Graf.png?uselang=cs))

### 2.3 Vliv hluku na zvířata

Jak již bylo zmíněno v předchozí části, negativní účinky hluku na lidský organismus jsou nesporné. Hluku způsobenému dopravou však nejsou ušetřena ani zvířata. Následkem jeho nadměrné expozice mohou trpět nemocemi, dříve hynou a špatně se rozmnožují. Pokud je člověk nadměrně vystaven nepříjemnému hluku, následuje jeho reakce v podobě zacpání uší, zavření okna a podobně. Zvířata to bohužel většinou neumí a proto bychom měli věnovat pozornost i této problematice. Pokud jsou vystavena nadměrnému hluku, podobně jako lidé pak trpí po stránce psychické i fyzické. Každý náhlý zvuk na zvěř působí podobně, jako například na nás zvuk budíku. Zvíře sebou cukne, strne a je ve stavu bojové pohotovosti.

Hluk narušuje jejich přirozené zvukové projevy, jako třeba varovné signály, vábení samečků, hledání potravy. Vyhýbání se hlučným místům může mít za následek přerušení potravního řetězce, poškození růstu a nerovnoměrné a nepřirozené druhové rozdělení. Dalšími negativními vlivy hluku na zvířata mohou být snížená schopnost rozmnožování, dezorientace, změna chování, v krajních případech potom může nastat i smrt.

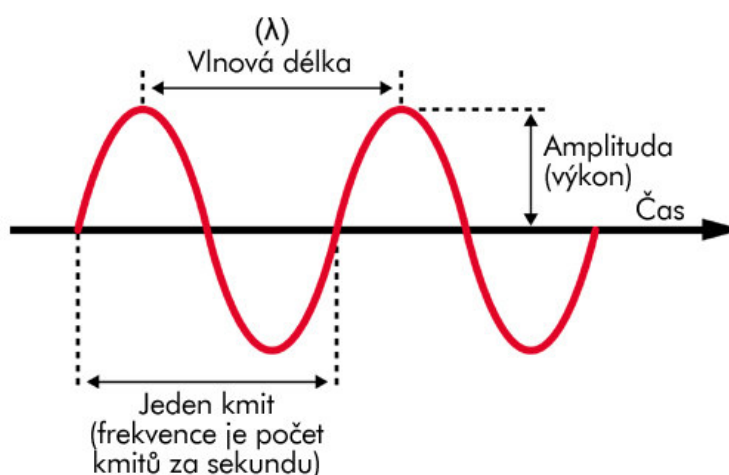
Biologové se již zabývají tím, jaký velký hluk může u zvířat způsobovat fyziologická poškození organismu. Průběžné výsledky vypovídají o tom, že již dlouhodobé zatížení 65 dB může u některých druhů živočichů vést k nejrůznějším onemocněním krevního oběhu a také k nedoslýchavosti. Mnohem hůře se však dokazuje vliv na dlouhodobý vývoj celých populací.

### 3. AKUSTIKA, HLUK A LEGISLATIVNÍ RÁMEC

Akustika je věda, která se zabývá komplexně zvukem už od fáze jeho vzniku přes šíření zvukového vlnění prostorem až po jeho vnímání lidskými smysly. Základní principy a pojmy vycházejí z fyzikálních teorií. Akustika se dá rozdělit do několika disciplín, záleží na důvodu, kvůli kterému se o ni zajímáme. Například stavební akustika řeší zvukové jevy v uzavřených prostorech staveb, urbanistická akustika se věnuje akustickým jevům ve venkovních prostorech z hlediska ochrany před hlukem a fyziologická akustika se zabývá vznikem zvuku v hlasovém orgánu člověka a jeho vnímáním v uchu.

#### 3.1 Zvuk, základní pojmy a vztahy

Zvuk lze definovat jako mechanické kmitání, které je charakterizováno parametry pohybu částic pružného prostředí či parametry zvukového pole (u vlnového pohybu). Na zvuk lze také pohlížet jako na změnu tlaku vzduchu v ovzduší. Zvuk lze popsat například jeho vlnovou délkou, frekvencí, či intenzitou. Je šířen v prostředí od zdroje do místa jeho přijetí. V okamžiku, kdy udeří jeho energie do molekul v prostředí, nastane děj, kdy molekuly začnou vibrovat sem a tam a vytvářejí tak vlnu, jíž je přenášena zvuková energie. Rychlost zvuku je velmi závislá na prostředí, kterým vlny procházejí. Zatímco v plynech se zvuk přenáší celkem špatně, pevná látka je velmi dobrý přenašeč zvuku. Následující obrázek znázorňuje základní pojmy, které jsou potom níže vysvětleny.



Obrázek č. 4 - akustika - základní pojmy

(zdroj:<http://www.paroc.cz/knowhow/zvuk/~media/Images/Knowhow/Sound/illustrations%20CZ/Sound-as-wave-motion-3244039cz.ashx>)

**Vlnová délka zvuku** udává vzdálenost dvou maximálních hodnot akustického tlaku. Jednotkou jsou metry a rychlost šíření zvukové vlny se udává v m/s.

**Frekvence** závisí na rychlosti kmitání částic prostředí a udává počet kmitů za vteřinu a jednotkou je Hertz (Hz).

**Intenzita zvuku** je množství zvukové energie, které dopadne na jednotkovou plochou kolmou na směr šíření za jednotku času. Vzdálenost výchylky od nulové roviny se nazývá amplituda.

Tabulka č. 1 - akustické veličiny a jejich vzájemné vztahy

fyzikální hodnota	značka	jednotka	vzorec
frekvence	$f=1/T$	Hz=1/s	$f=c/\lambda$
vlnová délka	$\lambda$	m	$\lambda=c/f$
časové období nebo trvání cyklu	$T=1/f$	s	$T=\lambda/c$
intenzita zvuku	I	dB	$I=E/(S*t)$
rychlost vlny	c	m/s	$c=\lambda*f$

Určitá část zvuků se projevuje jako slyšitelný zvuk, což je kmitání pružného prostředí o frekvenci cca od 16 Hz do 20 kHz, schopné vyvolat zvukový vjem. Frekvence slyšitelného zvuku je dost individuální, protože každý není schopen vnímat celé pásmo frekvencí (zejména horní hranice je velmi proměnná a závislá například na věku). Zvuky nacházející se mimo toto pásmo pro nás nejsou slyšitelné, přesto jsme je schopni vnímat a mohou mít i nepříznivý vliv na zdraví či psychiku člověka. Zvuky, jež jsou pod slyšitelnou hranicí (0,7 - 16 Hz) nazýváme infrazvuk (velmi nízké frekvence, vnímáme je hmatem - jsou schopny rozvibrovat povrch těla či bránici), zvuky, které jsou nad slyšitelnou hranicí (do 50 kHz) označujeme jako ultrazvuk.

### 3.2 Hluk, akustické emise a imise

Hluk je definován jako zvuk, který může být škodlivý pro zdraví a jehož hygienické limity stanoví prováděcí právní předpis. V ČSN 01 1600 (Akustika - názvy a definice) je hluk popsán jako jakýkoliv zvuk, který vyvolává nepříjemný nebo rušivý vjem, nebo má škodlivý účinek.

Podstatu rozlišování mezi hlukovými emisemi a imisemi tvoří vazba, kterou má hluk ke zdroji, jež ho vyvolává, či vazba hluku k místu jeho příjmu. Zvuk nebo hluk, který je vydáván nějakým zdrojem a je emitován do okolního prostředí nazýváme ve vztahu ke zdroji akustickými emisemi. Pokud řešíme akustickou energii v místě jejího příjmu příjemcem, jedná se o hlukové imise. Imise tedy můžeme definovat jako hluk, který je pak obsažen v okolním prostředí. Pokud tedy chceme snižovat hluk, je zapotřebí k problematice přistupovat jak snižováním emisí, tak i imisí, načež efektivitu musíme vždy posuzovat dle konkrétní situace.

### 3.3 Legislativa

Záležitosti týkající se hlukové zátěže a ochrany před ní jsou zakotveny i v české a evropské legislativě. V ČR se jedná zejména o zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. Konkrétně díl číslo 6 je věnován ochraně před hlukem, vibracemi a neionizujícím zářením. V paragrafu č. 30 je také uvedeno:

*Osoba, která používá, popřípadě provozuje stroje a zařízení, které jsou zdrojem hluku nebo vibrací, provozovatel letiště, vlastník, popřípadě správce pozemní komunikace, vlastník dráhy a provozovatel dalších objektů, jejichž provozem vzniká hluk (dále jen "zdroje hluku nebo vibrací"), jsou povinni technickými, organizačními a dalšími opatřeními v rozsahu stanoveném tímto zákonem a prováděcím právním předpisem zajistit, aby hluk nepřekračoval hygienické limity upravené prováděcím právním předpisem pro chráněný venkovní prostor, chráněné vnitřní prostory staveb a chráněné venkovní prostory staveb a aby bylo zabráněno nadlimitnímu přenosu vibrací na fyzické osoby.*<sup>[4]</sup>

*Chráněným venkovním prostorem se rozumí nezastavěné pozemky, které jsou užívány k rekreaci, sportu, léčení a výuce, s výjimkou lesních a zemědělských pozemků a venkovních pracovišť. Chráněným venkovním prostorem staveb se rozumí prostor do 2 m okolo bytových domů, rodinných domů, staveb pro školní a předškolní výchovu a pro zdravotní a sociální účely, jakož i funkčně obdobných staveb. Chráněným vnitřním prostorem staveb se rozumí obytné a pobytové místnosti, s výjimkou místností ve stavbách pro individuální rekreaci a ve stavbách pro výrobu a skladování. Rekreace pro účely podle věty první zahrnuje i užívání*

---

<sup>4</sup> Zákon o ochraně veřejného zdraví č. 258/2000 Sb. 2000

*pozemku na základě vlastnického, nájemního nebo podnájemního práva souvisejícího s vlastnictvím bytového nebo rodinného domu, nájmem nebo podnájmem bytu v nich.* <sup>[4]</sup>

Měřením hluku a dodržením tohoto zákona a stanovených limitů se v ČR zabývá v rámci státního dozoru hygienická služba. Jediným závazným legislativním deskriptorem pro hodnocení hlukové zátěže je ekvivalentní hladina akustického tlaku  $L_{Aeq,T}$ , která se vždy vztahuje k určitému časovému intervalu. Tato veličina je definována jako hladina akustického tlaku zvuku ustáleného, který by měl v daném časovém intervalu energetický obsah stejný, jako daný zvuk proměnný a tedy se předpokládají i stejné škodlivé účinky. Určí se jako energetický průměr hladin akustického tlaku  $A$  v daném intervalu. Z důvodu různé citlivosti lidského ucha je její hodnota frekvenčně upravená pomocí pásmového váhového filtru.

Dalším důležitým legislativním dokumentem v této oblasti, který mimo jiné určuje základní hygienické limity hluku je nařízení vlády č. 272/2011 ze dne 24. srpna 2011 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Tímto nařízením jsou stanoveny nejvyšší přípustné hygienické limity hluku v chráněném vnitřním prostoru staveb, chráněném venkovním prostoru staveb a chráněném venkovním prostoru. Ve spojitosti s železniční dopravou jsou zde důležité zejména hygienické limity hluku v chráněných venkovních prostorech staveb a v chráněném venkovním prostoru, které jsou uvedeny v paragrafu č. 12.

*Hodnoty hluku, s výjimkou vysokoenergetického impulsního hluku, se vyjadřují ekvivalentní hladinou akustického tlaku  $AL_{Aeq,T}$ . V denní době se stanoví pro 8 souvislých a na sebe navazujících nejhluchnějších hodin ( $L_{Aeq,8h}$ ) v noční době pro nejhluchnější 1 hodinu ( $L_{Aeq,1h}$ ). Pro hluk z dopravy na pozemních komunikacích, s výjimkou účelových komunikací, a drahách a pro hluk z leteckého provozu se ekvivalentní hladina akustického tlaku  $A$   $L_{Aeq,T}$  stanoví pro celou denní ( $L_{Aeq,16h}$ ) a celou noční dobu ( $L_{Aeq,8h}$ ).* <sup>[5]</sup>

*Hygienický limit ekvivalentní hladiny akustického tlaku  $A$  v chráněném venkovním prostoru staveb a v chráněném venkovním prostoru se stanoví součtem základní hladiny hluku  $L_{Aeq,T}=50$  dB a korekcí přihlížejících ke druhu chráněného prostoru a denní a noční době. V případě hluku s tónovými složkami, s výjimkou hluku z dopravy na pozemních komunikacích a drahách, a hluku s výrazně informačním charakterem se přičte další korekce - 5 dB.* <sup>[5]</sup>

---

<sup>5</sup> Nařízení vlády č. 272/2011 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. 2011

**Hygienický limit ekvivalentní hladiny akustického tlaku A, pro hluk z dopravy na dráhách v ochranném pásmu dráhy, jsou rovny:**

Pro denní dobu od 6<sup>00</sup> do 22<sup>00</sup>  $L_{Aeq,T} = 60 \text{ dB}$

Pro noční dobu od 22<sup>00</sup> do 6<sup>00</sup>  $L_{Aeq,T} = 55 \text{ dB}$

**Hygienický limit ekvivalentní hladiny akustického tlaku A, pro hluk z dopravy na dráhách mimo ochranné pásmo dráhy, jsou rovny:**

Pro denní dobu od 6<sup>00</sup> do 22<sup>00</sup>  $L_{Aeq,T} = 55 \text{ dB}$

Pro noční dobu od 22<sup>00</sup> do 6<sup>00</sup>  $L_{Aeq,T} = 50 \text{ dB}$

Dalším důležitým a sledovaným pojmem blízkosti železničních tratí je také chráněný vnitřní prostor staveb. Z paragrafu 11 lze odvodit následovně:

*Hodnoty hluku se vyjadřují ekvivalentní hladinou akustického tlaku A  $L_{Aeq,T}$  a maximální hladinou akustického tlaku A  $L_{Amax}$ . Ekvivalentní hladina akustického tlaku A  $L_{Aeq,T}$  se v denní době stanoví pro 8 souvislých a na sebe navazujících nejhlučnějších hodin ( $L_{Aeq,8h}$ ), v noční době pro nejhlučnější 1 hodinu ( $L_{Aeq,1h}$ ). Pro hluk z dopravy na pozemních komunikacích, s výjimkou účelových komunikací, a dráhách a pro hluk z leteckého provozu se ekvivalentní hladina akustického tlaku A  $L_{Aeq,T}$  stanoví pro celou denní ( $L_{Aeq,16h}$ ) a celou noční dobu ( $L_{Aeq,8h}$ ). V případě hluku z leteckého provozu se hygienický limit v chráněných vnitřních prostorech staveb vztahuje na charakteristický letový den.<sup>[5]</sup>*

*Hygienický limit ekvivalentní hladiny akustického tlaku A se stanoví pro hluk pronikající vzduchem zvenčí a pro hluk ze stavební činnosti uvnitř objektu součtem základní hladiny akustického tlaku A  $L_{Aeq,T}$  se rovná 40 dB a korekcí přihlížejících ke druhu chráněného prostoru a denní a noční době podle přílohy č. 2 k tomuto nařízení. V případě hluku s tónovými složkami, s výjimkou hluku z dopravy na pozemních komunikacích a dráhách, a hluku s výrazně informačním charakterem se přičte další korekce  $-5 \text{ dB}$ .<sup>[5]</sup>*

**Hygienický limit ekvivalentní hladiny akustického tlaku A, pro hluk z dopravy na drahách v chráněném vnitřním prostoru staveb v ochranném pásmu dráhy, jsou rovny:**

Pro denní dobu od 6<sup>00</sup> do 22<sup>00</sup>  **$L_{Aeq,T} = 45$  dB**

Pro noční dobu od 22<sup>00</sup> do 6<sup>00</sup>  **$L_{Aeq,T} = 35$  dB**

*(Platí pouze v případě staveb schválených k užívání pro daný účel do 31.12.2005, jinak platí limity pro hluk mimo OPD uvedené níže)*

Pro denní dobu od 6<sup>00</sup> do 22<sup>00</sup>  **$L_{Aeq,T} = 40$  dB**

Pro noční dobu od 22<sup>00</sup> do 6<sup>00</sup>  **$L_{Aeq,T} = 30$  dB**

Mezi další legislativní dokumenty zabývající se hlukem můžeme zařadit například vyhlášku č. 523/2006 ze dne 21. listopadu 2006, kterou se stanoví mezní hodnoty hlukových ukazatelů, jejich výpočet, základní požadavky na obsah strategických hlukových map a akčních plánů a podmínky účasti veřejnosti na jejich přípravě (vyhláška o hlukovém mapování), nebo vyhláška č. 561/2006 ze dne 30. listopadu 2006 o stanovení seznamu aglomerací pro účely hodnocení a snižování hluku.

Ve starších materiálech se ještě můžeme setkat s pojmem „stará hluková zátěž“. Starou hlukovou zátěží rozumíme hluk v chráněném venkovním prostoru a chráněných venkovních prostorech staveb, který vznikl před 1. lednem 2001 a byl působený dopravou na pozemních komunikacích a drahách.

Problematika hlukové zátěže je řešena i v kontextu nadnárodním, zejména v evropské unii. Přelom v hlukové politice nastal již v roce 1996, kdy byla vypracována tzv. „Zelená kniha o příští hlukové politice EU“. Tato kniha označila za klíčové problémy k řešení hlukové situace v EU tři oblasti. Patří do nich začlenění hlukové problematiky do integrované strategie vedoucí ke zlepšení kvality života, odstranění rozdílů ve stavu znalostí o hlukové situaci v jednotlivých členských státech a informovanost veřejnosti.

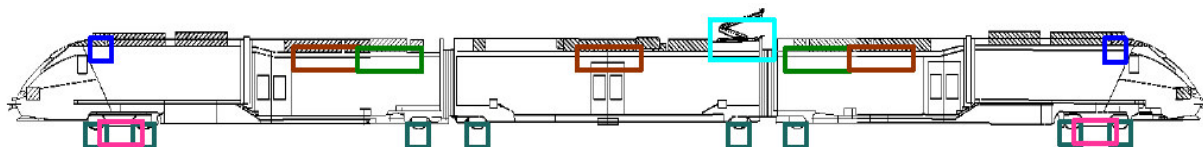
Důležitým dokumentem, který vznikl jako jeden z cílů analýz v zelené knize je směrnice evropského parlamentu a rady 2002/49/ES ze dne 25. června 2002 o hodnocení a řízení



environmentálního hluku. Strategickým cílem této směrnice je snížit v EU počet obyvatel zasažených hlukem nad stanovené limity do roku 2020 o 20 %. Dále také uložila členským státům do června 2007 zpracovat strategické hlukové mapy pro všechny aglomerace s více než 250 000 obyvateli a pro všechny hlavní železniční tratě, po kterých projede více než 60 000 vlaků za rok. Tato směrnice se promítla i do právního řádu České republiky v podobě novely zákona č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů.

## 4. ANALÝZA ZDROJŮ HLUKU ZPŮSOBENÝCH ŽELEZNIČNÍ DOPRAVOU

Tak jako ostatní druhy dopravy, i doprava železniční produkuje hluk, který lze dále rozčlenit dle jeho druhu, místa vzniku a dalších vlastností. Hluk ze železniční dopravy má celkem specifický charakter. Například v porovnání s dopravou silniční, kde je průběh hladiny akustického tlaku  $A$  v závislosti na její intenzitě téměř konstantní, u dopravy železniční se naopak střídají poměrně dlouhá období s nízkou hladinou akustického tlaku mezi průjezdy vlaků s jeho vyšší hladinou při jejich průjezdu. Obecně můžeme zdroje hluku způsobené železniční dopravou rozdělit na tři základní, kterými jsou hluk valivý, hluk z pohonu hnacích vozidel a hluk aerodynamický. Dále můžeme ještě zdroje hluku rozdělit podrobněji, záleží z jakého pohledu je budeme zkoumat. Například na zdroje vnějšího hluku, které lze rozdělit na primární (hluk vlakové soupravy), nebo sekundární (např. odezva stavebních zařízení na průjezd vlaku, informační zařízení, zabezpečovací zařízení). Samotná velikost zvukových emisí závisí na trasování koleje, technickém stavu a konstrukci železničního svršku a železničních vozidel, druhu trakce, intenzitě a rychlosti provozu a v neposlední řadě na konfiguraci okolního terénu a klimatických podmínkách.



Obrázek č. 5 - dílčí zdroje hluku ze železničních vozidel  
(zdroj: prezentace *Měření hluku a vibrací v dopravě*, Ing. Michal Musil, Ph.D. )

### 4.1 Hluk valivý

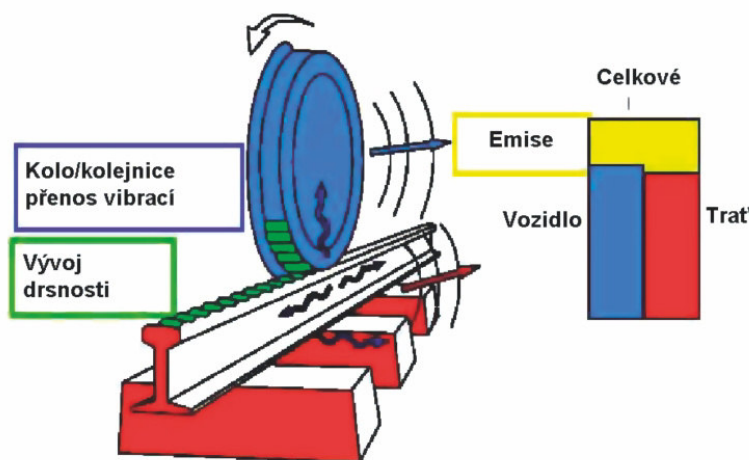
Valivý hluk vzniká zejména stykem dotykové plochy kola s kolejnicí, dále pak ve všech místech v podvozku, kde se vlivem otáčení dvojkolí vyskytuje tření. Valivý hluk závisí jak na kvalitě železniční trati (zejména stavu železničního svršku), tak i na vozidle, (stavu dvojkolí železničních vozidel). U dvojkolí železničních vagonů může například při špatném odbrzdění před jízdou, nebo vlivem špatného technického stavu (zatuhnutí brzd) nastat situace, kdy při jízdě jedno nebo více dvojkolí zablokováno a vlivem toho se na oběžných plochách kol vytvoří zploštělá místa, která se potom při provozu projeví zvýšenou hlučností specifického

charakteru. Valivý hluk je dominantní zejména pro rychlosti 60 - 200 km/h a lze konstatovat, že zdvojnásobení rychlosti znamená až osminásobné zvýšení hluku.

Valivý hluk je velmi závislý na kvalitě a typu použitého železničního svršku. Aktivním opatřením je zejména údržba dokonalého povrchu kol a kolejnic. V současné době větší intenzita dopravy a vyšší rychlosti urychlily vývoj únavových vad kolejnic. V této souvislosti je důležitá jejich tzv. mikrogeometrie. Na kolejnicích se mikrogeometrické vady projevují zejména výskytem vlnovitosti a vznikem trhlin v důsledku únavy - tzv. headchecking, což má přímý vliv na zvýšení akustických emisí. Moderní metodou pro snížení těchto emisí je vysokorychlostní broušení kolejnic za použití speciálních brousících vlaků. Tato metoda se již začala používat i u nás v ČR a nejnovější výsledky že vysokorychlostní broušení kolejnic přispívá ke snížení hluku emitovaného železniční dopravou.

Jelikož jak již bylo zmíněno, valivý hluk vzniká ve všech částech podvozku, kde se vlivem otáčení dvojkolí vyskytuje tření, chtěl bych v této části zmínit také vliv brzdové výstroje železničních vozů na celkovou hlučnost. Volba brzdových čelistí má na akustické emise velký vliv. Ocelové - litinové brzdové špalíky, které jsou stále hojně používány na železničních vozech vytvářejí na kolech hrboilatost a jsou o poznání hlučnější, nežli čelisti ze slitin (kompozitové), které uchovávají povrch hladký. Jedná se zejména o dva typy kompozitových brzd, se špalíky typu K a typu LL.

Na následujícím obrázku je znázorněn vznik valivého hluku ve vztahu kolo - kolejnice.



Obrázek č. 6 - valivý hluk ve vztahu kolo - kolejnice

(zdroj: [http://www.silnice-zeznice.cz/PublicFiles/UserFiles/image/SZ/2013/SZ513/800x800\\_hluk01.jpg](http://www.silnice-zeznice.cz/PublicFiles/UserFiles/image/SZ/2013/SZ513/800x800_hluk01.jpg))

## 4.2 Hluk z pohonů hnacích vozidel (hluk trakce)

Hluk z pohonu hnacích vozidel, neboli hluk trakce, zahrnuje zejména hluk hnacích motorů, převodů, polovodičových měničů a chladících ventilátorů. Obecně lze říci, že tento hluk je dominantní zejména u vozů s motorovou trakcí, která vyvolává hluk větší, nežli trakce elektrická. U diesellových hnacích vozidel s motorovou trakcí jsou emise hluku závislé zejména na okamžitých otáčkách motoru a méně potom na rychlosti průjezdu. Z toho je patrné, že tento hluk je jen málo závislý na rychlosti, ale může být určující právě při rychlostech nižších, cca do 60 km/h, kdy se drážní vozidlo rozjíždí a je požadován plný výkon. V oblasti rychlosti jízdy, ve které je tato složka hluku dominantní (při rozjezdu stálou silou) má na rychlosti jízdy takřka lineární průběh.

Z hlediska hlukových emisí je toto problém zejména u rozjezdu starších motorových vozů a starých diesellových lokomotiv, které jsou u nás stále ještě celkem často provozovány, hlavně na regionálních tratích. Jedná se například o motorový vůz řady 814, který vznikl přestavbou motorového vozu řady 810. Přestavba spočívala v inovaci spalovacího motoru, nové hydromechanické převodovky a dosazení elektronického řídicího systému. Přesto stanovený hlukový limit 83 dB(A) při zkoušce rozjezdu tato jednotka nesplňuje, na vině je právě přílišná hlučnost motoru.



Obrázek č. 7 - Motorová jednotka 814 - Regionova (foto autor)

Pro snížení hlukových emisí v této oblasti lze dosáhnout použitím nových či modernějších vozidel, případně efektivní modernizací stávajícího vozového parku s přihlédnutím právě k problematice hlučnosti hnacích vozidel, zejména při rozjezdu. Dále lze snížení hluku samozřejmě dosáhnout použitím elektrické trakce. Jelikož ale nejsou všechny železniční tratě elektrizovány, není to vždy možné. V současné době ale v ČR probíhá řada projektů na elektrizaci a revitalizaci železničních tratí, takže lze i v tomto směru do budoucna předpokládat pozitivní vývoj.

### **4.3 Aerodynamický hluk**

Aerodynamický hluk vzniká v důsledku působení proudu vzduchu na okolní obklopující prostředí (turbulence při obtékání těles), nebo při prudké změně tlaku vzduchu při proudění. U železničních vozidel vzniká zejména v důsledku proudění vzduchu kolem vozů, jejich podvozků a okolo sběračů. Aerodynamický hluk je dominantní zejména při vyšších rychlostech, řádově nad 200 km/h. Mezi jeho hlavní zdroje tedy můžeme zařadit například turbulence způsobené nedostatečně aerodynamickým tvarem vozidla, nekapotovanými podvozků, pantografy či přechody mezi jednotlivými vozy. Hodnota tohoto hluku se s rychlostí jízdy zvyšuje a zejména u vysokorychlostních vlaků převažuje nad ostatními. Na eliminaci aerodynamického hluku je třeba myslet již při samotném navrhování koncepce vozidel, zejména volbou vhodného tvaru, řešením mezivozových přechodů a zakrytím podvozků.

Pečlivý návrh aerodynamického řešení vysokorychlostních vozidel přímo souvisí i s úsporou energie vynaložené na jejich pohon. Pro srovnání, starší vozidla s méně vhodným aerodynamickým tvarem TGV Sud Est (trať jihovýchod Paříž - Lyon) pro dosažení rychlosti 270 km/h potřebovala výkon 6,450 MW. Oproti tomu novější vozidla AGV, která byla prvně uvedena do provozu na trati Madrid - Barcelona, s pečlivějším provedením aerodynamického tvaru dosáhla rychlosti 360 km/h při výkonu 6,080 MW. Z toho je patrná značná úspora energie za použití vhodně řešeného aerodynamického tvaru i v případě jízdy vyšší rychlostí.

Jak již bylo v této práci zmíněno, v České republice ještě žádné vysokorychlostní tratě nejsou. Jelikož se s nimi ale výhledově uvažuje, jsou na ně již připravovány projektové dokumentace, neměli bychom záležitosti aerodynamického hluku podceňovat. I když to nemusí být na první

pohled zřejmé, tato problematika přímo souvisí i s bezpečností. Například francouzské vlakové soupravy TGV při jízdě na plochem podkladu svou rychlostí prakticky zdvojnásobují rychlost působení větru. Jejich nejnovější generace dokážou jet i více než 500kilometrovou rychlostí. Bezpečná rychlost s ohledem možné klimatické podmínky a ostatní faktory se pohybuje kolem 320 - 350 km/h.

Při vyšších rychlostech by se už mohl stát kritickým faktorem i samotný ráz tlakové vzdušné vlny, kterou by vyvolaly dvě míjející se vlakové soupravy. Aby bylo zamezeno náhlým změnám tlaku v interiéru vozidla, jsou vozidla pro vysoké rychlosti zásadně řešena jako tlakotěsná. Tlakový ráz vnějšího vzduchu také vyvolává zvýšené mechanické namáhání skříní vozidel, oken, dveří a jejich dalších částí, vozidlo proto musí být i náležitě tuhé.



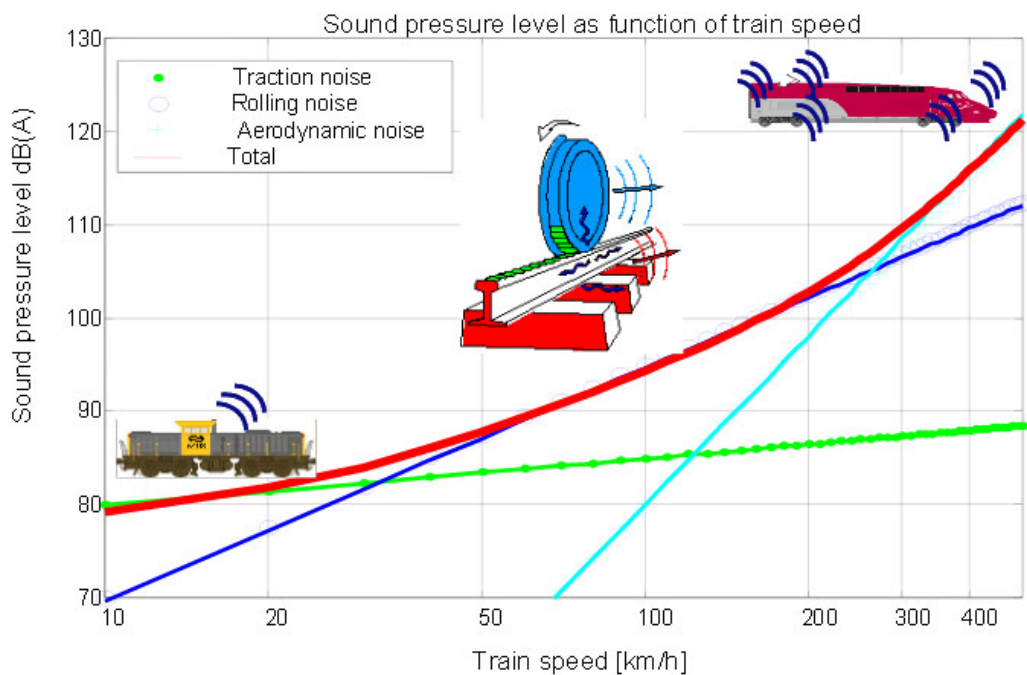
Obrázek č. 8 - vysokorychlostní vlak AGV (následovník TGV) na zkušebním okruhu ve Velimi  
(zdroj: [http://www.vysokorychlostni-zeleznice.cz/wp-content/uploads/2012/10/AGV\\_Cerhenice\\_Wiki\\_Miroslav\\_Broz\\_2008.jpg](http://www.vysokorychlostni-zeleznice.cz/wp-content/uploads/2012/10/AGV_Cerhenice_Wiki_Miroslav_Broz_2008.jpg))

### **Shrnutí:**

Po shrnutí poznatků z této kapitoly lze konstatovat, že při nízkých rychlostech, řádově do 60 km/h je dominantní hluk hnacího vozidla. Při této rychlosti se hladina akustického tlaku téměř nemění, nebo se mění jen velmi málo. V rozmezí rychlostí 60 - 200 km/h potom převládá

hluk valivý, přičemž závislost je v rozsahu 25 - 30 logV. Při dosažení rychlosti 200 km/h a vyšší se stává dominantním hlukem hluk aerodynamický a jeho závislost na rychlosti se pohybuje v rozmezí 50 - 70 logV.

Závislost jednotlivých složek hluku na rychlosti jízdy souprav je přehledně ilustrována na následujícím obrázku. Valivý hluk je znázorněn světlou křivkou s kroužky, hluk trakce je znázorněn zeleně a hluk aerodynamický světle modrou. Výsledný hluk je potom zvýrazněn červenou barvou.



Obrázek č. 9 - závislost jednotlivých složek hluku na rychlosti vlaku  
(zdroj: [http://ec.europa.eu/environment/noise/pdf/railway\\_noise\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/environment/noise/pdf/railway_noise_en.pdf))

## **5. METODY VÝPOČTU HLUKU ZE ŽELEZNIČNÍ DOPRAVY**

Již ve fázi projekčních prací na železniční infrastruktuře je nutné myslet na hlukovou zátěž vnikající z kolejové dopravy a na možnosti její efektivní eliminace. Z tohoto důvodu se při projektování zejména rekonstrukcí a modernizací železničních tratí provádí výpočty hluku, které se stávají stěžejním podkladem, na jehož základě se rozhodne o nutnosti vybudovat protihluková opatření. Pro návrh optimalizovaných protihlukových opatření je logicky nutné, aby výsledky těchto výpočtů byly co nejpřesnější. Při použití české výpočtové metodiky, která vznikla již v minulém století, často dochází v případě použití korekcemi neupravených emisních dat k velkému nadhodnocení hlukové zátěže. Zejména pak u modernizovaných tratí s pružným upevněním železničního svršku a bezстыkovou kolejí, po kterých jezdí moderní vlakové soupravy. Proto je zapotřebí navrhnout, případně sjednotit postupy, umožňující zpracovateli výpočtu hluku dosáhnout v závislosti na dostupných podkladech vysoké kvality a přesnosti hodnocení modelované hlukové situace.

V rámci stávající praxe v České republice jsou v rámci akustických posudků (hlukových studií) pro výpočet hluku ze železniční dopravy obvykle používány následující výpočtové postupy a metody:

### **HLUK+**

Postup stanovení emisí hluku ze železniční dopravy, určený pro metodu „Metodické pokyny pro výpočet hladin hluku z dopravy“ (M. Liberko, VÚVA Brno, 1991), implementovaný do software HLUK+

### **SCHALL 03**

Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungs lärm an Schienenwegen, národní výpočtová metoda Německo.

### **RMR – SMR II**

Reken-en Meetvoorschriften Railverkeerslawaai '96, národní výpočtová metoda Holandsko.



V dalších evropských zemích používané ještě různé národní výpočtové metody, ve Francii je to například metoda NMPB – Fer, ve Švédsku NMT Swedish trains, v Anglii CRN Asdown a v Maďarsku MSZ 15036. Všechny národní metody jsou postaveny na unikátních hodnotách hlukových emisí, jež jsou stanoveny pro kolejová vozidla, jejich trakční podmínky a železniční infrastrukturu, platných v zemi vzniku metody.

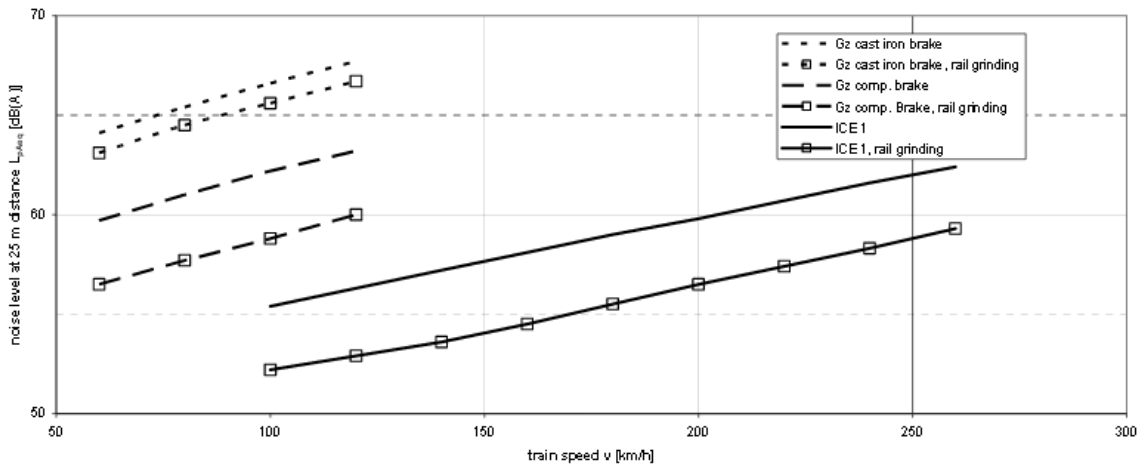
V letech 2001 – 2004 byl vytvořen v rámci evropské komise projekt HARMONOISEd (accurate and reliable prediction methods for the eudirective on the assessment and management of environmental noise), v překladu: harmonizované, přesné a spolehlivé metody predikce směrnice EU o vyhodnocování a řízení hluku ve venkovním prostředí. V rámci tohoto projektu byla provedena detailní analýza stávajících národních metod výpočtu hluku s cílem vybrat metody, které se stanou základem harmonizovaných metod výpočtu hluku používaných v zemích EU. Bezprostředně na tento projekt navazoval v letech 2003 – 2007 další s názvem IMAGINE (Improved Methods for the Assessment of the Generic Impact of Noise in the Environment), v překladu: zlepšené metody pro posuzování generického vlivu hluku v životním prostředí, který pokračoval v úsilí vytvořit harmonizované metody. V rámci projektu byly mimo jiné vytvořeny rozsáhlé databáze měření sledovaných zdrojů hluku, pracujících při různých provozních a meteorologických podmínkách, v různém prostředí, s cílem analyzovat chování měřených zdrojů hluku a stanovit nebo zpřesnit vliv různých parametrů harmonizovaných modelů šíření hluku na kvalitu jejich výstupy.

V projektu HARMONOISEd byly pro výpočet hluku ze železniční dopravy vybrány a detailně analyzovány výpočtové metody Schall 03, NMT, NMPB-Fer a RMR – SMR II, jejichž stručné charakteristiky jsou uvedeny v následující části.

## **5.1 Německá národní metoda – SCHALL 03**

Metoda Schall 03 má jednoduchá pevná pravidla, a je proto celkem snadno použitelná. Její zdrojová část vychází ze základní hodnoty hladiny emise hluku 51 dB. Tato základní emise je stanovena ve vzdálenosti 25 m od osy koleje ve výšce 3,5 m nad terénem, na rovném povrchu bez překážek, pro kolejové vozidlo vybavené kotoučovými brzdami, s celkovou délkou 100 m, pohybující se konstantní rychlostí 100 km/h po úseku trati s bezстыkovou kolejí na dřevěných pražcích ve šterkovém loži. Výsledná emise hluku je získána ze základní hladiny emise hluku po aplikaci korekcí zohledňujících typ a počet železničních vozidel projíždějících

sledovaným úsekem za hodinu, jejich délku, rychlost, druh kolových brzd, druh železničního svršku, vliv mostních objektů, přejezdových konstrukcí a vliv pískání v obloucích. Metoda umožňuje vypočítat hlukové emise v závislosti na použitém typu brzd. Na obrázku č. 10 níže jsou znázorněny vypočtené hlukové emise ve vzdálenosti 25 m od osy koleje pro vlaky s litinovými brzdovými špalíky (iron brake), s kompozitovými brzdovými špalíky (comp brake) a kotoučovými brzdami (ICE 1) dle metody SHALL 03. Pro srovnání je vypočten i předpokládaný účinek akustického broušení kolejnic (rail grinding).



Obrázek č. 10 - vypočtené úrovně hluku  $L_{Aeq}$  při použití různých druhů brzd dle SHALL 03 (zdroj: *The new German prediction model for railway noise „Schall 03 2006“ [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.mopa.de/publikationen/2007/20071.pdf>)*

Metodu lze použít i pro výpočet hluku z tramvajového provozu. Metoda používá pouze jeden náhradní liniový (segmentovaný) zdroj hluku situovaný ve výšce 0.5 m nad středem koleje (kolejí). V části metody zabývající se šířením hluku jsou popsány pravidla pro segmentaci náhradního liniového zdroje hluku představujícího hodnocený úsek železniční tratě. Výpočet emise hluku pak zohledňuje vliv směrovosti zdroje, délky segmentu liniového zdroje hluku a vzdálenosti sledovaného bodu od středu segmentu liniového zdroje hluku.

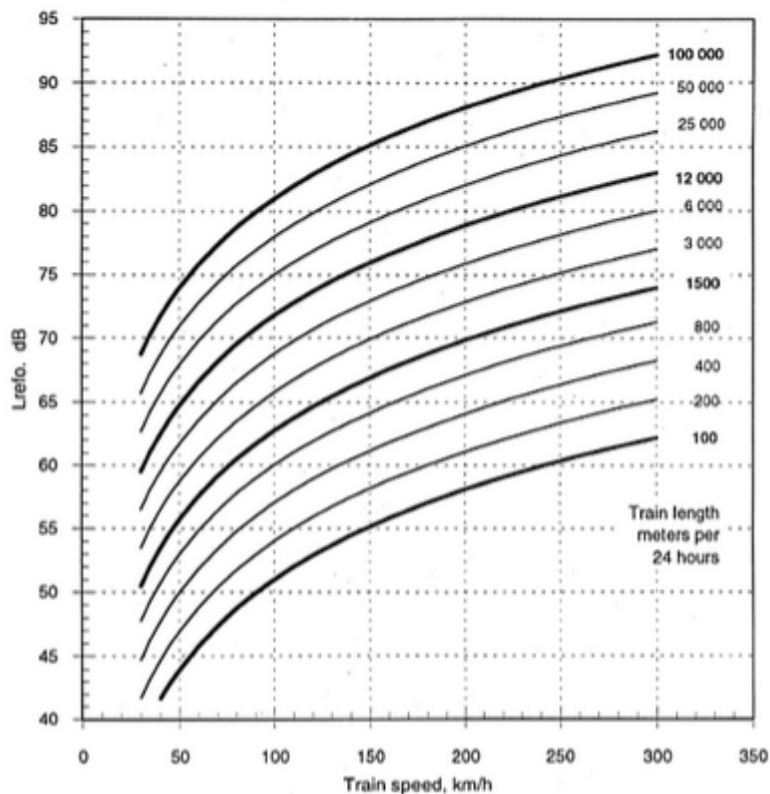
Výhody: Metoda má jednoduchá pravidla a snadné použití (výpočet i na listu papíru).

Nevýhody: Metoda nezahrnuje frekvenční charakteristiky hluku, nezohledňuje atmosférické podmínky, kolejová vozidla jsou rozdělena pouze do kategorií podle třídy vlaků.

Zhodnocení: Na základě výše uvedených poznatků metoda není vhodná pro použití na harmonizovanou výpočtovou metodu.

## 5.2 Severská metoda - NMT

Tato metoda vznikla v rámci spolupráce Norska a Švédska a zohledňuje tak specifické vlastnosti železniční dopravy ve Skandinávských zemích. Ve zdrojové části metody je výsledná celková emise hluku vyjádřena akustickým výkonem vztaženým na 1 m délky, vyjádřeným pro třetinooktávová pásma se středy od 25 Hz do 10 kHz. Emisní hodnoty náhradních liniových zdrojů hluku jsou stanoveny pro šest různých výšek liniového zdroje hluku (v rozsahu od 0.3 m po 2 m) nad temenem kolejnice. Emise hluku jsou stanoveny z celkové délky projíždějících vlaků dané kategorie za sledovanou dobu (většinou 24 hodin, tedy nikoli z počtu vlaků jako u ostatních metod). Pokud je požadována hladina hluku za kratší dobu než 24 hodin, například pro H hodin s celkovou délkou Lh metrů průjezdů vlaků, můžeme jí získat jednoduše převedením na odpovídající 24hodinovou intenzitu podle grafu na obrázku č. 10. Poté získáme hodnotu  $L_{ref}$  platnou pro H hodin.



Obrázek č. 11 - referenční hodnoty pro přepočítání 24hodinové intenzity akustického tlaku hluku  
(zdroj: *Railway traffic noise: The nordic prediction method. 1996. Arhus: AKA-Print A/S. ISBN 929120837.*)

Vlaky jsou rozděleny do pěti kategorií železničních vozidel zohledňující jejich typ a maximální rychlost (zvláště je uvedena databáze kategorií pro norská a švédská železniční vozidla). Dále je při stanovení výsledné celkové emise hluku uvažováno i opotřebení železničních vozidel a aktuální rychlost (včetně akcelerace a brzdění). Parametry tratě jsou v

metodě zohledněny doporučenými korekcemi pro daný typ kolejnice, druh svršku, opotřebení nebo drsnost kolejnice, výhybky a jiné nespojitosti tratě. Metoda umožňuje ve sledovaných bodech výpočet ekvivalentních a maximálních hladin akustického tlaku hluku.

Výhody: Metoda umožňuje výpočet ekvivalentních a maximálních hladin akustického tlaku hluku. Výpočet je prováděn ve třetinooktávových spektrech pomocí pokročilého modelu šíření hluku.

Nevýhody: Metoda je v rámci aplikace meteorologických korekcí navržena pro výpočet šíření hluku po větru (nikoli i proti větru), a navíc pouze pro teploty nad 0° C.

Zhodnocení: Metoda je velmi propracovaná a mohla by se stát základem pro tvorbu harmonizované výpočtové metody.

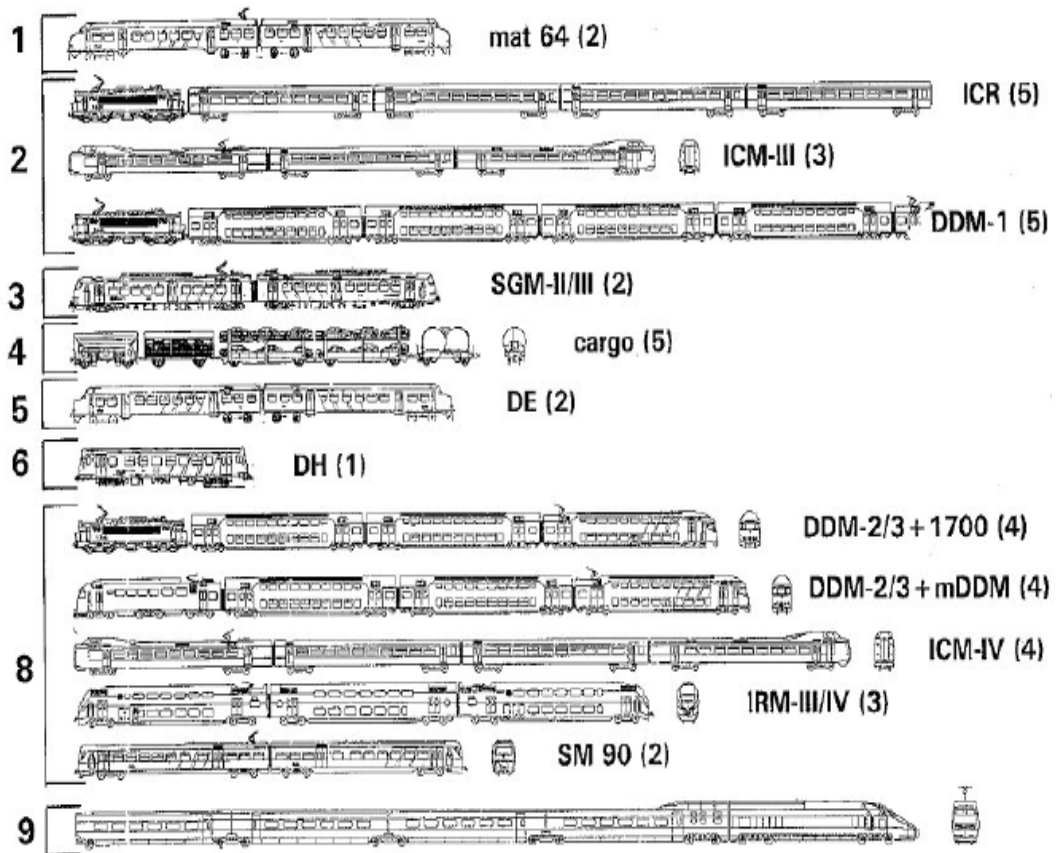
### **5.3 Holandská národní metoda – RMR (SRM II)**

Holandská národní metoda má při srovnání s Německou metodou Schall 03 ve výpočtu šíření hluku výrazně odlišný přístup. Ve zdrojové části je výsledná celková emise hluku vyjádřena akustickým výkonem vztaženým na 1 m délky, vyjádřeným pro oktávová pásma se středy od 63 Hz do 8000 Hz. Emise hluku jsou stanoveny z počtu železničních vozidel za sledované období (den, večer a noc) rozdělených do devíti kategorií (podle hnacího systému, typu kolových brzd a maximální rychlosti) zvláště pro nebrzdící a brzdící vlaky s ohledem na průměrnou jízdní rychlost železničních vozů na sledovaném úseku tratě, typ kolejí a počtu nespojitostí na nich (bezstyková či styková kolej, výhybky, úrovňová křížení, mosty, atd.). Emisní hodnoty náhradních liniových zdrojů hluku pro kategorie 1 až 8 se určují pro dvě výšky (0.0 m a 0.5 m) a pro kategorii 9 pro čtyři výšky (0.5 m, 2,0 m, 4,0 m a 5,0 m) liniového zdroje hluku nad temenem kolejnice. Část metody zabývající se šířením hluku (podle kapitoly „Kapitola 5 Výpočet šíření hluku v oktávových pásmech (SRM II)“) je postavena na fyzikálním mechanismu popisu šíření zvuku, zohledňujícím: vliv geometrické divergence (útlum vzdáleností od zdroje), vliv útlumu zvuku absorpcí ve vzduchu, útlum vlivem povrchu země, útlum vlivem překážek v šíření zvuku, vliv odrazu zvuku od překážek (situovaných ve směru šíření zvuku za přijímacím bodem) a meteorologickou korekci (přízpůsobení dlouhodobým průměrným meteorologickým podmínkám).

## Vstupy pro stanovení emise hluku ze železniční dopravy dle RMR:

Pro stanovení emise hladin akustického výkonu náhradních liniových zdroj hluku železniční dopravy (v dB/m) jsou potřebné následující podklady:

- Počty vlaků rozdělených do kategorií železničních vozidel ( $c = 1$  až 9) pro sledované období denní doby (obvykle denní a noční doba, tj.  $6^{\circ\circ}$  až  $22^{\circ\circ}$  hod a  $22^{\circ\circ}$  až  $6^{\circ\circ}$  hod).
- Počty vlaků rozdělených do kategorií se dále dělí na železniční vozidla, která ve sledovaném úseku železniční trat nebrzdí a brzdí ( $Q_c$  a  $Q_r, c$ ).
- Průměrnou jízdní rychlost železničních vozidel, stanovenou pro každou kategorií vozidel zvlášť pro nebrzdící a brzdící železniční vozy, pohybující se na sledovaném úseku železniční trati ( $v_c$  a  $v_r, c$ ).
- Typ kolejí a železniční svršek na sledovaném úseku trat ( $bb$ ).
- Počet nespojitostí kolejí na sledovaném úseku železniční trati ( $m$ ), respektive počet výhybek ( $n$ ) na délku sledovaného úseku železniční trati ( $a$ ).



Obrázek č. 12 – kategorie vlaků pro pokyny k výpočtu a měření hluku dle RMR

(zdroj: Pokyny k výpočtu a měření hluku ze železniční dopravy - WP 3.2.1: Hluk ze železniční dopravy – Popis výpočtové metody – dostupné online na [www.mdc-r.cz](http://www.mdc-r.cz))

Výhody: Metoda ve zdrojové části poskytuje nejkompaktnější přístup ke specifikám železniční dopravy jako zdroje hluku.

Nevýhody: V současné době neexistuje oficiální česká národní databáze kategorií železničních vozidel.

Zhodnocení: Zdrojová část metody je velmi propracovaná, přičemž umožňuje rozšíření kategorií železničních vozidel o další národní železniční vozidla. Metoda se v rámci projektu HARMONOISEd stala základem pro tvorbu harmonizované výpočtové metody.

#### **5.4 Francouzská národní metoda – NMPB - FER**

Tato metoda klade velký důraz na stanovení dlouhodobě teplotně průměrných hodnot vypočítaných hladin akustického tlaku hluku. Ve zdrojové části metody je výsledná celková emise hluku vyjádřena akustickým výkonem vztaženým na 1 m délky, vyjádřeným pro oktávová pásma se středy od 125 Hz do 4000 Hz. Celkový emitovaný hluk je modelován dvojicí liniových zdrojů, kde liniový zdroj s emisemi hluku na oktávových pásmech se středy 125, 250 a 500 Hz je situován do výšky 0,8 m a liniový zdroj s emisemi hluku na oktávových pásmech se středy 1000, 2000 a 4000 Hz do výšky 0,05 m nad temenem kolejnice. Vozidla jsou rozdělena do čtyř hlavních kategorií železničních vozidel (s podkategoriemi) zohledňujících typ železničního vozidla, jeho maximální rychlost a počet náprav. V rámci počtu železničních vozidel dané kategorie je zohledněn také počet vozových jednotek, ze kterých se skládají a maximální traťová rychlost na modelovaném úseku trati. Jednotlivé kategorie vozidel mají definovanou tří dimenzionální směrovou vyzařovací charakteristiku (směrová charakteristika v horizontální rovině zohledňuje emisi hluku z procesu valení kola po kolejnici a ve vertikální rovině jeho příčný profil). Železniční tratě jsou v metodě zastoupeny pouze čtyřmi základními druhy provedení (bezstyková kolej na betonových nebo dřevěných a dalších pražcích a styková kolej na betonových nebo dřevěných a dalších pražcích). Metoda navíc zohledňuje vliv emise hluku na ocelových mostech a v prostoru seřaďovacích nádraží. Metoda také umožňuje výpočet hluku i z tramvajové dopravy. Část metody zabývající se šířením hluku je postavena na fyzikálním mechanismu popisu šíření zvuku obdobně jako předešlé metody. Navíc však kombinuje výpočet šíření hluku pro případ příznivých atmosférických podmínek pro šíření zvuku a homogenních atmosférických podmínek pro šíření zvuku, kde celoroční průměrná ekvivalentní hladina akustického tlaku

hluku je stanovena pomocí procentuálního podílu času výskytu příznivých a homogenních atmosférických podmínek v modelované lokalitě.

Výhody: Metoda užívá vysoce rozvinutý postup zohlednění meteorologických podmínek. Používá 3D směrové vyzařovací charakteristiky modelovaných železničních vozidel.

Nevýhody: Metoda zohledňuje pouze základní parametry tratě (například ve srovnání s metodou RMR).

Zhodnocení: Propracovaný model šíření hluku této metody se stal výchozím modelem pro harmonizovanou metodu výpočtu hluku ze silniční dopravy.

## **5.5 Výběr vhodné metody**

Po zhodnocení výše uvedených výpočtových metod se jeví metoda RMR jako nejvhodnější pro výpočet hluku ze železniční dopravy. Poskytuje velmi komplexní přístup ke specifikám železniční dopravy jako zdroje hluku a umožňuje nejlépe zohlednit vliv změn na železniční dopravní cestě v České republice, zejména změny ve stavu a konstrukcích železničního svršku. Mimochodem doporučení použití metody RMR pro tvorbu strategických hlukových map v ČR se promítlo i do Vyhlášky č. 523/2006 Sb. (vyhláška o hlukovém mapování). Dále byla tato metoda doporučena i v rámci směrnice 2002/49/ES Evropského parlamentu o posuzování a řízení hluku ve venkovním prostředí pro tvorbu hlukových map členskými státy, které nemají vlastní národní výpočtovou metodu. Problematikou vytvoření harmonizované metody pro výpočet šíření hluku se v rámci Evropské unie zabývá i projekt CNOSSOS (Common Noise Assessment Methods in Europe), v překladu Společné metody hodnocení hluku v Evropě. Cílem tohoto projektu je vytvoření jednotné výpočtové metodiky použitelné pro všechny členské státy. I přes nedostatek metody RMR, kterým je chybějící oficiální česká národní databáze kategorií železničních vozidel (existují ale již různé manuály pro rozřazení našich vozidel do těchto kategorií) je tato metodika dle názoru autora nejvhodnější přinejmenším do doby vytvoření společné výpočtové metody v rámci projektu CNOSSOS.

Pro zpracování této kapitoly bylo použito mimo jiné podkladů z dokumentu Výpočet hluku ze železniční dopravy - Manuál 2013, zpracovaného a poskytnutého Ing. Karlem Šnajdrem, firma AKON.

## 6. MODELOVÁNÍ HLUKU ZE ŽELEZNIČNÍHO PROVOZU

Pokud potřebujeme zhodnotit akustickou situaci, nebo její vývoj v okolí železničních dopravních cest, můžeme k tomu přistoupit dvěma způsoby. Prvním způsobem je provedení samotného měření v zájmové lokalitě přímo u zdroje hluku. Měření hluku potom musí probíhat dle ČSN EN ISO 3095 - Železniční aplikace - Akustika - Měření hluku vyzařovaného kolejovými vozidly. Toto však s sebou přináší i jisté nevýhody, jako jsou například:

- časová, finanční a organizační náročnost
- vázanost na měřicí body a podmínky v době měření
- při modifikaci situace je zapotřebí nové měření

Druhým, dnes velmi často používaným a preferovaným způsobem je výpočtové modelování. To často slouží jako podklad pro hodnocení hluku a jeho dopad na zdraví obyvatelstva. Vypracování hlukové studie pro hluk z dopravy je také často požadováno jako součást dokumentace pro hodnocení vlivů na životní prostředí, územní nebo stavební řízení. Výpočtové modelování přináší oproti přímému měření spoustu výhod, například:

- snížení pracnosti, organizační a časové náročnosti
- možnost použití pro existující situace ale i pro prognózu očekávaného stavu
- zjištění plošného stavu akustické situace v území
- možnost rychlé reakce na změnu vstupních údajů

Typickými výstupy modelování jsou:

- mapy hlukové zátěže řešeného území ve volitelné výšce nad terénem (v denní a noční době)
- hluková zátěž ve stanovených kontrolních bodech (ve zvolených výškách nad terénem), hluková zátěž na fasádách vícepodlažních budov (v úrovni jednotlivých pater)
- grafické zobrazení hlukové zátěže ve zvolených terénních řezech
- návrhy protihlukových opatření a jejich parametrů



- srovnávací mapy rozdílů hlukové zátěže před a po realizaci protihlukových opatření

Je potřeba mít na mysli to, že výsledky modelování jsou přímo závislé na kvalitě vstupních údajů, a proto jim věnovat zvýšenou pozornost. V České republice se provádí výpočty hluku ze železničního provozu podle české výpočtové metodiky nebo metodik zahraničních. Česká metodika je již zastaralá a do dnes nebyla aktualizována a zahraniční metody často odpovídají specifickým jednotlivých zemí, které mohou být odlišné od skutečné situace v ČR. To má za následek, že u predikcí hluku může dojít k nadhodnocení nebo podhodnocení akustické situace a tím i navrhovaných protihlukových opatření. Zejména v dnešní době, kdy spousta tratí byla rekonstruována, je zapotřebí stanovit do výpočtových modelů korekce charakterizující snížení hluku mezi původní a rekonstruovanou tratí tak, aby bylo možno definovat podmínky, za jakých hodnoty emisí hluku platí. Jedině tak je možno zajistit, aby následný návrh protihlukových opatření byl optimální - tedy co nejmenší při splnění stanovených limitů.

Stanovením příslušných korekcí se věnoval tříletý výzkumný projekt "Vliv opatření na infrastrukturu železniční dopravy na snížení vzniku a šíření hluku od jedoucích vlaků", který zpracovala firma EKOLA group, spol. s r. o. ve spolupráci s dopravní fakultou ČVUT v Praze. Tento projekt finančně podpořila i Technologická agentura České republiky. Jeho hlavním výstupem jsou právě zmíněné korekce k emisím hluku zjištěným podle zaběhnutých výpočtových metodik nejčastěji používaných v ČR pro rychlosti vlaků 60 - 160 km/h. Přestože od ukončení projektu a publikování jeho klíčových závěrů uplynul pouhý rok, tudíž doposud nebylo možné ověřit správnost fungování korekcí k existujícím výpočtovým metodikám, považuji toto za velmi významný krok kupředu v oblasti výpočtů a následného modelování hluku ze železniční dopravy.

## **6.1 Vstupní podklady**

Předpokládáme, že uživatel buď pracuje s výpočtovým softwarem na predikci šíření hluku, který má metodu RMR I (SRM II) implementovanou, nebo použije dokument „WP 3.2.1: Hluk ze železniční dopravy – Popis výpočtové metody“. Příprava vstupních podkladů je rozdělena do částí zabývajících se podklady potřebnými ve zdrojové části metody (vstupní podklady ovlivňující akustické parametry náhradních liniových zdrojů hluku představující

modelovanou železniční dopravu) a části zabývajícími se podklady potřebnými k sestavení a výpočtu modelu šíření hluku.

### **6.1.1 Podklady pro zdrojovou část metody**

Ve zdrojové části metody je nutné pro správné modelování dané hlukové situace zadat co nejpřesněji následující údaje:

#### **Sledované období**

Sledovaným obdobím je standardně denní doba (6<sup>00</sup> až 22<sup>00</sup> hod) a noční doba (22<sup>00</sup> až 6<sup>00</sup> hod). Pro potřeby strategického hlukového mapování, nebo stanovení hlukového ukazatele pro celodenní obtěžování hlukem  $L_{dvn}$  [dB] (dle smyslu Směrnice 2002/49/ES, jsou sledovaným obdobím denní (6<sup>00</sup> až 18<sup>00</sup> hod), večerní (18<sup>00</sup> až 22<sup>00</sup> hod) a noční doba (22<sup>00</sup> až 6<sup>00</sup> hod). V rámci zpracování akustických posudků může být jako sledované období stanoven i jiný časový interval (například jedna hodina).

#### **Určení počtu vlaků na modelované trati**

Předpokládané počty vlakových souprav, které projedou sledovaným úsekem na železniční trati, lze stanovit z „Provozních dat“, která jsou pro jednotlivé železniční stanice automaticky generovány systémem IS SENA respektive IS KANGO. Systém „Sestava nákrešného jízdního řádu výpočetní technikou“ byl pro konstrukci Grafikonu vlakové dopravy na Českých drahách, respektive v rámci SŽDC provozován od roku 1996. Od poloviny roku 2011 byl nahrazen systémem IS KANGO.

#### **Rozdělení vlaků do kategorií železničních vozidel**

Metoda RMR rozděluje vlakové soupravy zejména podle jejich hnacího systému a systému kolových brzd do devíti kategorií. Dělení železničních vozidel dopravců podle druhu vlaku například na osobní vlak (*Os*), spěšný vlak (*Sp*), rychlík (*R*), expres (*Ex*), InterCity (*IC*), EuroCity (*EC*), atd. je pro přiřazení vlaků do kategorií RMR nepoužitelné. Podle této metody se všechna vozidla, pohybující se na sledované železniční trati, rozdělují do následujících kategorií železničních vozidel (odpovídajících vozovému parku Nizozemské státní dráhy). Tyto kategorie se v první řadě odlišují podle hnacího systému a systému kolových brzd.

##### *Kategorie 1: Osobní vlaky se špalíkovými brzdami*

- Jedná se výlučně o elektrické osobní vlaky s litinovými brzdovými špalíky, včetně

příslušné lokomotivy, jakož i vlaky z nizozemské řady 1964 a osobní vlaky patřící společnosti Deutsche Bahn (DB);

- elektrická motorová poštovní vozidla.

*Kategorie 2: Osobní vlaky s kotoučovými brzdami a se špalíkovými brzdami*

- Elektrické osobní vlaky především s kotoučovými brzdami a přídatnými litinovými brzdovými špalíky, včetně příslušných lokomotiv, jako například vozidlový park InterCity pro typy IMCIII, ICR a DDM-1;
- osobní vlaky, které náležejí francouzské železniční společnosti SNCF, a vlaky Trans Europe Express (TEE);
- elektrické lokomotivy, jako například lokomotivy řady 1100, 1200, 1300, 1500, 1600 a 1700 belgické železniční společnosti SNCB.

*Kategorie 3: Osobní vlaky s kotoučovými brzdami*

- Výlučně osobní vlaky s kotoučovými brzdami a motorovým hlukem, jako jsou například vozidla určená pro regionální dopravu (SGM, Sprinter).

*Kategorie 4: Nákladní vlaky se špalíkovými brzdami*

- Všechny typy nákladních vlaků s litinovými špalíkovými brzdami.

*Kategorie 5: Diesellové vlaky se špalíkovými brzdami*

- Výlučně osobní vlaky s dieselelektrickým pohonem, které jsou vybaveny litinovými špalíkovými brzdami, včetně odpovídající lokomotivy, jako jsou například typy DE I, DE II, DE III;
- dieselelektrické lokomotivy, jako jsou například lokomotivy řady 2200/2300 a 2400/2500.

*Kategorie 6: Diesellové vlaky s kotoučovými brzdami*

- Výlučně osobní vlaky s diesel-hydraulickým pohonem, které jsou vybaveny kotoučovými brzdami a jsou charakterizovány motorovým hlukem.

*Kategorie 7: Vlaky systému městské dopravy určené pro podzemní dopravu (soupravy metra) a městské rychlodráhy (lehké metro) s kotoučovými brzdami*

- Vlakové soupravy pro provoz metra a rychlodráhy systému městské dopravy.

*Kategorie 8: Vlaky InterCity a zastávkové vlaky s kotoučovými brzdami*

- Výlučně elektrické osobní vlaky s kotoučovými brzdami, včetně odpovídajících lokomotiv, jako jsou například vlaky InterCity typů ICM-IV, IRM a SM90;
- elektrické osobní vlaky s především kotoučovými brzdami a dalšími spékanými a ABEX litinovými špalíky, včetně odpovídajících lokomotiv, jako jsou například vlaky InterCity typů ICM-III a DDM-2/3.

*Kategorie 9: Vysokorychlostní vlaky s kotoučovými brzdami a se špalíkovými brzdami*

- Elektrické vlaky s především kotoučovými brzdami a přídatnými litinovými brzdovými špalíky na lokomotivním voze, jako jsou například typy TGV-PBA nebo HLS South.<sup>[6]</sup>

Obrázek ilustrující kategorie vlaků je uveden v kapitole 5.3 - obrázek č. 9. Vozidla, která zde nejsou uvedena, jsou přiřazena k nejbližší odpovídající kategorii na základě jejich hnacího systému, systému kolových brzd nebo maximální jízdní rychlosti.

Vlaky kategorie 9 se na tratích SŽDC v provozním režimu odpovídajícímu této kategorii nepohybují. Následně je zapotřebí přiřazení českých vlaků do kategorií železničních vozidel č. 1 - 9 podle metody RMR.

Pomocí čísel vlaků se s využitím zdrojů informací o řazení železničních vozidel do vlaků vlaky rozdělí do následujících tří skupin:

- Vlaky tažené lokomotivami
- Soupravové vlaky
- Lokomotivní vlaky

Pro každou skupinu je stanoven postup přiřazení kategorie dle RMR.

---

<sup>6</sup> Pokyny k výpočtu a měření hluku ze železniční dopravy: WP 3.2.1: Hluk ze železniční dopravy – Popis výpočtové metody. 1996. Dostupné také z: [www.mdcz.cz/NR/rdonlyres/304DB7C6-4BA9-4581../RMRčesky.doc](http://www.mdcz.cz/NR/rdonlyres/304DB7C6-4BA9-4581../RMRčesky.doc)

## Určení průměrné rychlosti železničních vozidel

Metoda RMR při určení emise náhradního zdroje hluku zohledňuje výpočtovou rychlost železničních vozidel pro každou kategorii železničních vozidel zvlášť. Jako výpočtová rychlost je uvažována průměrná rychlost železničních vozidel dané kategorie pohybujících se na hodnoceném úseku železniční tratě. Všechny sledované tratě se proto musí rozdělit na úseky (dále též segmenty), ve kterých se průměrná jízdní rychlost železničních vozidel dané kategorie nemění. Pokud se na daném úseku tratě pohybují vozidla téže kategorie různou průměrnou jízdní rychlostí (například úsek, kterým některá vozidla projíždějí a jiná vozidla v něm například zastavují, tj. brzdí nebo se rozjíždějí) je nutné tento úsek (jako náhradní zdroj hluku) řešit zvlášť pro každou průměrnou jízdní rychlost těchto vozidel. Výsledná emise náhradního zdroje hluku vozidla této kategorie pak bude dána jako energetická suma emisí všech dílčích náhradních zdrojů hluku stanovených pro rozdílné hodnoty průměrné jízdní rychlosti. Pro určení průměrné jízdní rychlosti vozidel pohybujících se na sledovaném úseku tratě je možné použít následující podklady:

- Graf dynamického průběhu rychlosti sestavený pro sledovanou trať.
- Měření okamžité rychlosti vlaků pohybujících se na sledovaném úseku tratě (pomocí radaru, GPS umístěné ve vlaku, měření doby průjezdu úseku známé délky atp.)

Tabulka č. 2 - maximální vypočitatelná rychlost podle kategorie vlaků <sup>[6]</sup>

kategorie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
maximální vypočitatelná rychlost [km/h]	140	160	140	100	140	120	100	160	300	330

## Určení parametrů železniční trati

Metoda RMR zohledňuje emise složky hluku tvořeného valivým pohybem kola železničního vozidla po kolejnici a složky hluku vyzařovaného samotnou konstrukcí železniční trati pomocí standardizovaných parametrů trati dále popsanych.

Metoda rozděluje železniční tratě podle typu kolejí a železničního svršku, kterým podle toho přiděluje indexové kódy *bb* 1 - 8. Například pro železniční trať s betonovými pražci ve

šterkovém loži je indexový kód  $bb = 1$ , pro tratě s dřevěnými nebo ocelovými pražci Y ve šterkovém loži je kód  $bb = 2$  atd.

Dále tato metoda stanovuje indexové kódy  $bbi$  pro betonové a ocelové mostní konstrukce a indexové kódy  $m$  pro počet nespojitostí (přerušení) kolejnice (např. pro výhybky a přejezdy).

### **6.1.2 Podklady pro sestavení modelu šíření hluku**

Kvalita mapového 3D modelu hodnocené železniční trati a jejího okolí (tj. polohopis a výška dotčených staveb a objektů ovlivňujících parametry výpočtu šíření hluku a výškopis konstrukce spodku a svršku železniční trati a terénu v jejím okolí) spolu se schopností programu pro výpočet šíření hluku tuto modelovanou realitu interpretovat je základem pro věrohodný a dostatečně přesný výpočet šíření hluku.

Z analýzy kvality výstupu predikce šíření hluku ze železniční dopravy vyplývá, že výsledky výpočtu šíření hluku nejvíce ovlivňují geometrické poměry a akustické parametry modelu blízkého okolí modelované železniční trati. Zcela zásadními jsou pak polohové a výškové poměry případných modelovaných akustických clon vztahované vůči poloze a výšce náhradních liniových zdrojů hluku představujících hodnocenou železniční dopravu. Proto je nutné této části modelu hlukové situace věnovat mimořádnou pozornost.

### **Model železniční trati**

Základními výchozími body pro modelování geometrické situace železniční tratě je výška hlavy kolejnice (BS, určující vertikální rozměry) a středová osa kolejnice nebo kolejnic (určující horizontální rozměry). Minimální požadavky na provedení modelu standardní železniční tratě jsou uvedeny v metodě RMR v kapitole „5.3.4. Standardní násep“.

- Digitální podklady o polohopisu a výškopisu železniční tratě - spravuje SŽG
- Digitální podklady o polohopisu železniční tratě - digitální podklady v systému ZABAGED, základní mapy ČR v měřítku 1:10 000 (ZM 10), ČÚZK
- Digitální podklady o polohopisu a souvisejících technických parametrech železniční tratě - pasporty železničního svršku (TÚDC a Správy tratí)

## **Model terénu**

Ideální je použít aktuální geodetické zaměření a z něj vytvořený digitální model terénu, pokud není pro řešené území k dispozici, použije se například model systému ZABAGED (v měřítku 1:10000) nebo systému SM5 (v měřítku 1:5000). Pro zpracování modelů hlukových situací se upřednostňuje krok vrstevnic 1 m, výjimečně 2 m. Vyšší krok vrstevnic s ohledem na výpočtové výkony programů pro výpočet šíření hluku není opodstatněný a vede ke vzniku zbytečných nepřesností v modelech hlukových situací.

## **Objekty v šíření hluku**

Objekty a zemní valy, silniční násypy, plné ploty atd. nacházející se mezi zdrojem hluku a sledovanými místy příjmu hluku jsou pro výpočet šíření hluku brány jako překážky v šíření hluku ovlivňující útlum hluku na cestě mezi zdrojem a přijímačem. Z tohoto důvodu je velmi důležité zadávat do modelu hlukové situace tyto objekty s přesnou a reálnou výškou. Programy pro výpočet šíření hluku modelují objekty jako polygony s plochou střechou s modelovanou výškou nad okolním terénem. U objektů s plochou střechou je modelovanou výškou výška atiky. U objektů se sedlovou střechou je modelovanou výškou výška posledního nadzemního podlaží, navýšená o 1/3 až 2/3 výšky běžného podlaží objektu (v závislosti na sklonu sedlové střechy). Výška běžného podlaží objektů je 3 m.

Výšku objektů bezprostředně situovaných v okolí modelované železniční tratě je vhodné zadat do modelu s nejvyšší možnou přesností, například z měření výšek v rámci místního šetření. Výškám drobných hospodářských objektů situovaných mezi zdrojem hluku a sledovaným místem je nutné věnovat zvýšenou pozornost, aby nedošlo k nadhodnocení jejich vlivu na hlukovou situaci sledovaného místa.

## **Protihlukové bariéry**

Polohovým a výškovým poměrům modelovaných protihlukových bariér (akustických clon) je zapotřebí věnovat vysokou pozornost. Akustické clony podél elektrizovaných železničních tratí jsou často prolamované tak, aby obepnuly například sloupy trakčního vedení. Model hlukové situace musí toto geometrické oddálení akustické clony od zdroje hluku zohlednit.

Akustická clona musí být modelována s výškou odpovídající její reálné výšce nad temenem bližší kolejnice, ve vzdálenosti odpovídající její reálné vzdálenosti od středové osy nejbližší

koleje. Pokud použitý program pro výpočet šíření hluku umožňuje zadání výšky clony kopírující polohu vrcholu kolejového lože, je nutné tento způsob zadání výšky upřednostnit před zadáním výšky akustické clony nad terénem. V rámci možností použitého programu pro výpočet šíření hluku je nutné akustické cloně zadat i její akustické parametry (akustickou pohltivost a vzduchovou neprůzvučnost) podle podkladů výrobce nebo dodavatele.

### **Index povrchu země - absorpční koeficient**

Útlum šíření zvuku způsobený povrchem země je výsledkem interference zvukových vln odražených od povrchu země s vlnami šířícími se od zdroje hluku přímo do sledované oblasti. Metoda RMR používá, jako parametr povrchu země ovlivňující tento útlum absorpční koeficient B (obdoba indexu povrchu země G, podle normy ČSN ISO 9613-2).

Absorpční koeficient může nabývat hodnoty 0 - 1 (obdobně jako index povrchu země), přičemž metoda nedává žádný postup, jak jej stanovit. V metodě jsou charakterizovány povrchy s akusticky zpevněným terénem, jako je dlažba, asphalt a jiné zpevněné/utěsněné povrchy, vodní plochy atd., a povrchy s akusticky nezpevněným terénem, jako jsou travní plochy, zemědělské plochy se zelení nebo bez zeleně, písčité plochy, terén bez vegetace, atd. Při stanovení absorpčního koeficientu je nutné postupovat velmi obezřetně.

## **6.2 Software používaný pro modelování hluku z dopravy**

Ve smyslu platné legislativy je jediným závazným deskriptorem pro popis akustické situace v území ekvivalentní hladina akustického tlaku  $L_{Aeq,T}$ . Maximální hygienické limity potom upravují a stanovují v ČR zejména Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů a Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. ze dne 24. srpna 2011 o ochraně zdraví, o nichž bylo podrobněji uvedeno ve třetí kapitole.

Výstupem výpočtového modelování je tedy vždy ekvivalentní hladina akustického tlaku  $L_{Aeq,T}$  v daném území znázorněná většinou v podobě hlukových map. Hluková mapa je grafické zobrazení akustické situace ve venkovním prostředí daného území. Jejím cílem je názorné vyjádření přehledu o akustických kvalitách prostředí. Dále většina používaného software umožňuje návrh různých druhů protihlukových opatření a v závislosti na něm potom znázornění změny hlukové situace ve zkoumaném prostředí. Níže je uvedeno několik



programů, které se mimo jiné i v ČR pro modelování hluku na železnicích používají a jejich stručné charakteristiky.

### **6.2.1 SoundPLAN**

SW Soundplan je celosvětově rozšířený SW pro modelování dopravního a průmyslového hluku. Je to modulární systém pocházející z Německa. Umožňuje realizovat 3D model území. Tvoření hlukové mapy a stanovení hlukového zatížení obyvatel v budovách ve vazbě na hluk na fasádách, provádět řezy, vizualizace, optimalizace PHS a dimenzování oken, dlaždicové zpracování map a sdílený výpočet na více PC. Obsahuje veškeré zámořské a evropské normy. Je vyvíjen podle platných doporučení EU. Obsahuje rozsáhlou grafickou podporu pro efektivní prezentaci výsledků.

Pokud potřebujeme namodelovat projekt menšího měřítko, v rámci jedné továrny, nebo několika dopravních cest, tak je možno použít "menší" tzv. essential balíček SoundPLAN, který je vhodněji použitelný, než program určený k práci s rozměrnými projekty (např. v rámci celého státu). Vkládání dat je proto v této verzi zjednodušeno, ale díky importovacímu rozhraní, 2D/3D zobrazování modelu a standardu dynamického vyhledávání program nabízí stále dostatečnou flexibilitu pro vytvoření hlukového modelu, připravenému k tisku. Struktura dat je stejná jako u plné verze, díky tomu není nutnost data převádět v případě, že bude zapotřebí rozšířit program a vypracovat rozsáhlejší projekt na modelování hlukového znečištění.

SW SoundPLAN essential 2.0 umožňuje a obsahuje:

- Silniční, železniční a industriální výpočty
- Standardy pozemních komunikací: RLS 90/VBUS/TNM/NMPB/CoRTNLeq/CoRTN L10/ Ruské silnice
- Železniční Standardy: Schall03/VBUSch/RMR 2002/CoRRN/Francouzské železnice/ Ruské železnice
- Vkládání dat z bitových map
- Přehledné importovací rozhraní
- Triangulovaný digitální zemní model, jako nivelační báze pro výpočty dopadu v různých výškách
- Výpočty pro jednotlivé přijímače

- Výpočty hlukových vrstevnic
- Výpočty mřížkových hlukových map
- Přímou práci s dvěma variantami: s a bez kontroly úrovně hluku
- Plnou dokumentaci ve formátu tabulek
- Předefinovanou grafiku pro mřížkové hlukové mapy a výpočty hlukových "vrstevnic"<sup>[7]</sup>

## 6.2.2 CADNA A

Program CADNA A slouží pro výpočet, predikci a prezentaci hluku v životním prostředí a tvoří základ řady akustických projektů řešených v Evropské unii. Je to německý ve světě velmi rozšířený software umožňující hodnocení hluku prostředí v okolí průmyslových, sportovních a rekreačních zařízení, silnic a železnic, letišť a přistávacích ploch i jakéhokoliv jiného zdroje. Tento software po vybavení příslušným modulem "APL" dokáže také výpočet distribuce plyných polutantů ve složkách životního prostředí. Veškeré výpočty provádí v souladu s národními a mezinárodními předpisy a metodikami řady evropských zemí, dnes již i včetně ČR, a umožňuje řešit hlukovou situaci dle směrnice ES 2002/49/EC o hodnocení a managementu environmentálního hluku. Do výpočtů predikcí hluku lze integrovat průmyslové, silniční, železniční zdroje i leteckou dopravu.

Software pracuje v nejrozšířenějším operačním systému Windows. Umožňuje snadnou editaci a správu prostředí, včetně všech složek, které ovlivňují zvukové emise a šíření zvuku. Je velmi účinný, snadno použitelný, ovladatelný a uživatelsky příjemný. Jako vícejazyčný software komunikuje česky, slovensky, anglicky, německy, francouzsky, italsky či polsky. Lze jej doporučit například pro odborné posudky, kdy se průběžné výsledky výpočtu mohou prezentovat řadou možných grafických i jiných výstupů, ale i v tabulkovém formátu se snadnou konverzí např. do textových formátů. Program zahrnuje nejaktuálnější verze všech výpočtových norem a směrnic, přitom zůstává kompatibilní i se staršími verzemi.<sup>[8]</sup>

Základní charakteristika programu:

- Umožňuje výpočet i velmi rozsáhlých území

<sup>7</sup> Symos. *SoundPLAN essential verze 2.0* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.symos.cz/page3.html>

<sup>8</sup> *Software k hodnocení hlukových emisí. 2005. Hospodářské noviny* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://ihned.cz/c1-17032860-software-k-hodnoceni-hlukovych-emisi>

- Implementovaná česká výpočtová metodika
- Použitelný pro výpočet hluku ze silniční, železniční a letecké dopravy a ze stacionárních zdrojů (např. průmyslové zdroje)
- Na základě vstupních podkladů o výškopise (vrstevnice, výškové body) lze modelovat terén
- Zobrazení 2D a 3D vizualizací a videí
- Umožňuje tabelární nebo grafické výstupy
- Lze určit počet lidí nadměrně zasažených hlukem
- SW lze použít pro hodnocení fasád – konkrétní hodnoty v definovaných bodech
- Hluková mapa plošná – zobrazení v pásmech

### 6.2.3 LimA

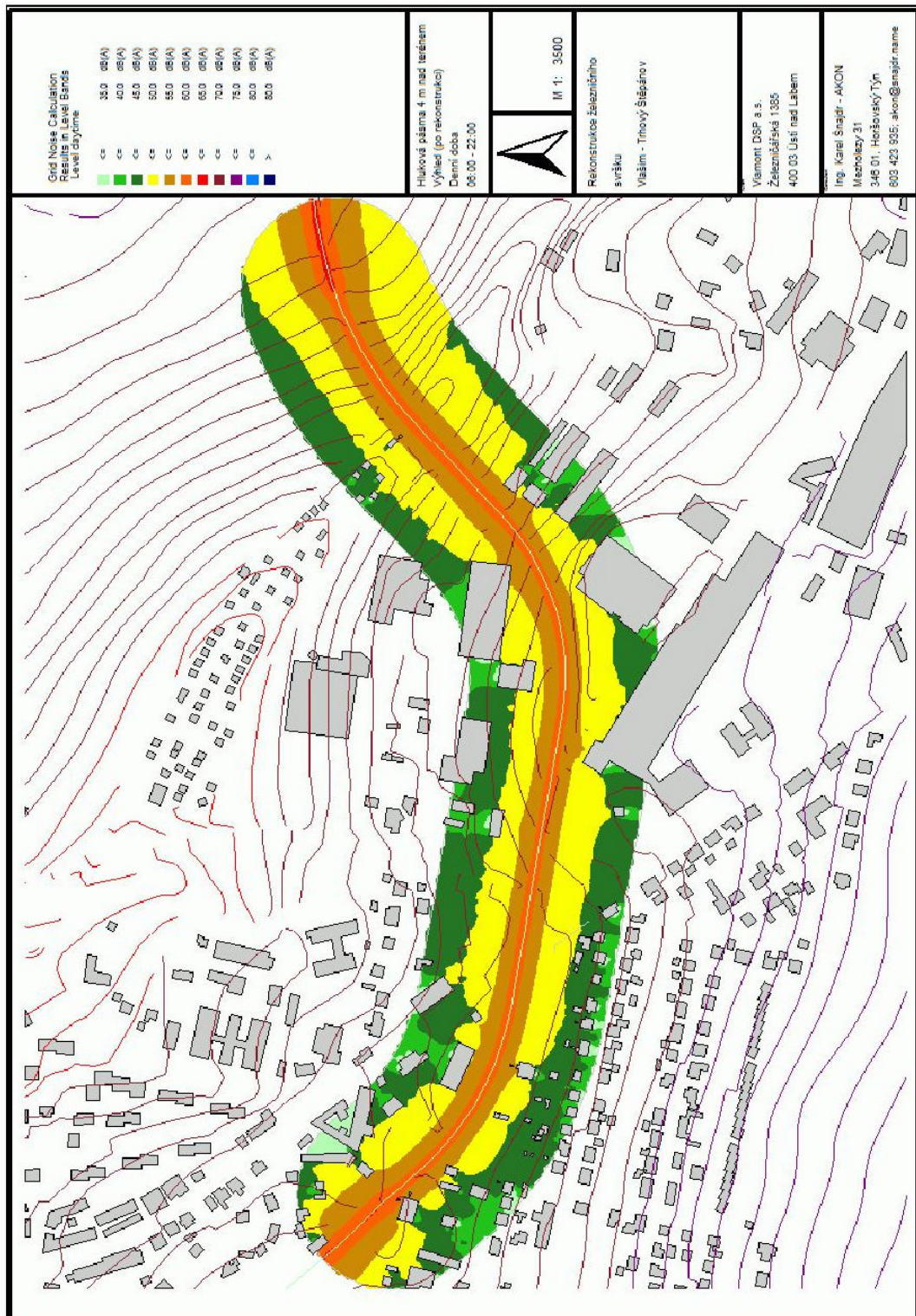
Jedná se o v železniční dopravě velmi často používaný software, který byl vyvinut německou firmou sídlící v Dortmundu. V tomto programu jsou zahrnuty metodiky pro silniční hluk, železniční hluk, hluk letecký i průmyslový. Výhodou je, že má v sobě implementovanou metodiku RMR, která je doporučena SŽDC s. o. pro modelování hluku na železničních tratích v ČR. Software LimA je vynikajícím pomocníkem pro tvorbu hlukových studií, modelování hlukových map nebo realizaci protihlukových opatření. Obsahuje pokročilé automatizované a geometrické operace a umožňuje efektivně plnit velké, přesné výpočty hluku z existujících dat, bez nutnosti používat jiný software, jako jsou například GIS (Geografické informační systémy) a Auto-CAD a to s rychlými algoritmy a obrovskou kapacitou.

Tvorbu hlukové studie pomocí tohoto programu lze rozdělit do několika kroků:

- Příprava podkladů
- Zadání vstupních dat do programu
- Modelování terénu a tratě
- Spuštění výpočtu
- Tvorba výstupů

Nejběžnějším grafickým výstupem programu je pásmová plošná mapa. Rozlišení výstupu závisí na vzdálenosti výpočetních bodů. Čím bude síť výpočetových bodů podrobnější, tím bude mapa na vyšší grafické úrovni. Pro konkrétní výsledky ve sledovaných bodech lze provést výpočet, a to v různých výškách nad terénem. Z výstupů po provedení hlukové studie lze navrhnout konkrétní protihluková opatření, která je možno zahrnout i do dalšího

modelování. Na následujícím obrázku je příklad výstupu v podobě hlukové mapy vytvořené v SW LimA.



Obrázek č. 13 – výstup modelování hlukové situace v SW LimA (hluková pásma 4 m nad terénem) na úseku železniční trati Vlašim - Trhový Štěpánov (zdroj: Akustický posudek vypracovaný Ing. Karlem Šnajdrem (AKON) pro společnost Viamont DSP 11/2014)

## **7. MOŽNOSTI SNIŽOVÁNÍ HLUKU NA ŽELEZNIČNÍCH TRATÍCH**

Hluk můžeme definovat jako nepříjemnou formu zvuku, která je škodlivá jak pro obyvatelstvo, tak pro jednotlivé složky životního prostředí, které nás obklopuje. Lze také konstatovat, že hluk přímo souvisí s vibracemi a provází lidstvo už od nepaměti. S trochou nadsázky bychom mohli říct, že je také svým způsobem jistou daní za vývoj a pokrok současné doby. Nicméně nadměrný hluk i vibrace patří k nepříjemným formám negativního ovlivňování životního prostředí a je potřeba proti němu bojovat. Hluk způsobený dopravou patří v tomto ohledu mezi nejvýznamnější činitele a jistý podíl na něm má i kolejová doprava. Pokud chceme kolejovou dopravu i nadále považovat jako trvale udržitelnou a šetrnou k životnímu prostředí, je zapotřebí tuto problematiku řešit a přistupovat k ní s co největší zodpovědností.

### **7.1 Rozdělení protihlukových opatření**

Opatření pro snížení hlukové zátěže způsobené železniční dopravou můžeme obecně rozdělit na aktivní a pasivní. Aktivním protihlukovým opatřením rozumíme takové opatření, které omezuje hlukové emise přímo u jejich zdroje. Můžeme je ještě rozdělit na další podkategorie, kterými jsou opatření urbanisticky architektonická, dopravně organizační a technická.

Mezi urbanisticky architektonická opatření patří zejména taková, která lze ovlivnit už při samotném projekčním návrhu staveb, a to zejména jejich dispozičním uspořádáním. Jedná se hlavně o omezení možnosti výstavby objektů s požadavky na ochranu proti hluku v blízkosti jejich zdrojů a jejich vhodné funkční a dispoziční uspořádání. V praxi to znamená, že nové dopravní železniční koridory by měly být budovány mimo obytné a historické zóny a objekty vyžadující zvláštní akustickou ochranu (např. nemocnice a školy). Velmi důležitou roli má v tomto směru také systém územního plánování, respektive jeho kvalitní příprava a dodržování, které by naopak neměly novou obytnou zástavbu v okolí železničních tratí umožňovat. Jelikož ale většina tratí byla vybudována před více než 100 lety, bývá z hlediska návykovosti hluk v jejich okolí částečně akceptován. Dále urbanisticky architektonická opatření spočívají ve vhodném a komplexním řešení obytných souborů a ve správném dispozičním řešení

obytných prostor (obývací místnosti a ložnice situovat na odvrácenou stranu od zdroje hluku). Myslet by se také mělo na vhodné výškové řešení urbanizovaného prostředí a využívat tzv. akustického stínu vytvářeného budovami.

Mezi dopravně organizační opatření patří například omezení rychlosti v určitých lokalitách, změna oběhu železničních vozidel tak, aby v kritických místech jezdila vozidla s nižší hlučností, nebo přesunutí hlučných dopravních úkonů například na rozřazovacích nádražích na jinou denní dobu. Dále by bylo vhodné přesunout hlučnější nákladní dopravu na místa a tratě, kde je obtěžování hlukem pro obyvatele minimální, případně tam, kde jsou již vybudována protihluková opatření. Tato opatření však ve většině případů značně ovlivňují technologii železniční dopravy a proto je není možné vždy použít.

Dalším opatřením, které bychom mohli do této kategorie zařadit je zpoplatnění používání tratí v závislosti na emitovaném hluku. Platila by zásada, že znečišťovatel platí. Toto opatření by bylo možno nastavit jako kombinaci bonusových a sankčních prvků. Poplatky za znečišťování hlukem by mohly přispět k většímu využití méně hlučných železničních vozidel, k většímu využití tratí, které se vyhýbají uzlovým bodům hluku a ke snížení hluku díky úpravám operačních postupů a rychlostí v citlivých oblastech. Zároveň by poplatky vedly vlastníky železničních vozidel investovat do opatření ke snížení hluku. V první fázi by se měly zaměřit na nákladní železniční dopravu. Poplatky za přístup k infrastruktuře v závislosti na hluku by měly být stanoveny takovým způsobem, aby nebyla omezena hospodářská soutěž a je potřeba je harmonizovat, aby jim podléhala veškerá vozidla provozovaná na vnitrostátních sítích. Vzhledem k tomu, že značného snížení hlukových emisí lze dosáhnout pouze tehdy, budou-li vlaky kompletně vybaveny nízkohlučným zařízením, v rámci systému poplatků by měly být zvýhodňovány vlaky, které jsou již těmito zařízeními osazeny. Pro zavedení jednotného poplatkového systému je však nutná legislativní úprava včetně zajištění provádění kontrol.

Poslední skupinou aktivních protihlukových opatření jsou opatření technická, která spočívají ve snížení hlukových emisí železničního vozidla a jízdní dráhy, jedná se tedy o opatření, která jsou realizována na vozidle nebo na železniční dráze. U vozidel je to zejména jejich kvalitní údržba, použití kompozitových brzdových obložení, aerodynamický tvar a použití nových moderních vozidel, případně rekonstrukce stávajícího vozového parku. Mezi aktivní protihluková opatření na železniční infrastruktuře patří zejména důkladná údržba (například snižování akustické drsnosti broušením kolejnic), použití moderních konstrukcí železničního

svršku (nejlépe pružné bezpodkladnicové upevnění, kolejnicové absorbéry), zřizování bezстыkové koleje a elektrizace železničních tratí. Tato skupina bude v kapitole ještě podrobněji rozebrána.

Mezi pasivní protihluková opatření v železničním provozu řadíme taková opatření, která snižují již vzniklý hluk. Tato opatření by se měla aplikovat až v případě, že nemáme jinou možnost, jak hluk v postiženém místě snížit. Pasivní protihluková opatření lze umístit do konstrukce koleje, podél železniční trati, nebo přímo na objekty, které je zapotřebí před hlukem chránit. V závislosti na jejich umístění ve vztahu zdroj a příjemce hluku je tedy lze rozdělit na opatření na zdroji, opatření v poli přenosu mezi zdrojem a příjemcem a opatření u příjemce.

Nejrozšířenější v této skupině opatření jsou akustické clony. Jejich zvukový útlum závisí na hmotnosti, výšce a materiálu. Mohou to být buď přírodní akustické clony (tzv. zemní valy) anebo protihlukové stěny. Právě stavba klasických protihlukových stěn (PHS) se stala fenoménem posledních dvou desetiletí. Právě klasické PHS mají bezesporu výhodu ve slušném útlumu hluku emitovaného do prostředí, který je řádově kolem 10 dB, ale také s sebou přinášejí i jisté nevýhody. Mezi ty nejdůležitější můžeme zahrnout ztrátu výhledu do krajiny, komplikace záchranných prací v případě havárie a v neposlední řadě i to, že jsou vítaným zdrojem příjmů stavebních firem a často vznikají i tam, kde jejich použití není zcela opodstatněné.

V současné době se proto hledají i další alternativy ke klasickým PHS. Jednou z nich je například nízká protihluková clona, která má celkem velkou šanci, že se stane konkurencí klasických protihlukových stěn. Poslední skupinou pasivních protihlukových opatření jsou opatření v místě příjemce hluku, tedy přímo na objektech. Jedná se například o zvukotěsná okna s více skly nebo s mezivrstvou speciálního plynu a protihlukové fasády. Konkrétní pasivní protihluková opatření budou podrobněji rozebrána v této kapitole dále.

## **7.2 Aktivní technická protihluková opatření**

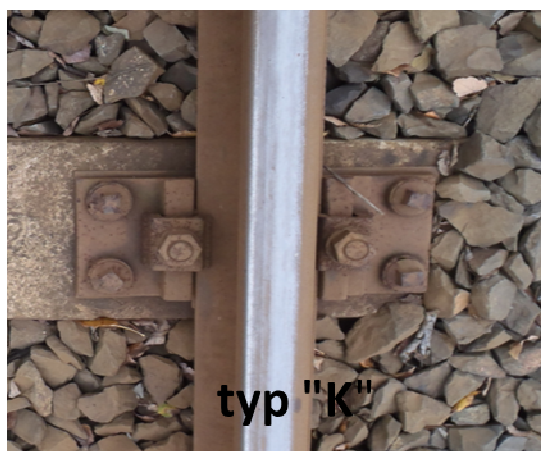
Aktivní technická protihluková opatření mají za cíl zabránit vzniku hluku u jeho zdroje, nebo jej omezit na přijatelné hodnoty. Tato opatření mohou být realizována buď přímo na železničních vozidlech, nebo na kolejové infrastruktuře. Obecně bychom měli těmto

opatřením dávat přednost před prvky pasivních opatření, které eliminují již vzniklý hluk a často bývají nákladnější.

### 7.2.1 Použití moderních konstrukcí železničního svršku

Jelikož železniční svršek tvoří dráhu pro kolejová vozidla, jeho typ a stav má zásadní vliv na výsledné hlukové emise. Železniční svršek se skládá zejména z kolejového roštu, který je tvořen z kolejnic, pražců a upevňovadel a z kolejového lože, případně pevné jízdní dráhy (PJD).

Systém upevnění kolejnic k pražcům můžeme obecně rozdělit na přímý, kdy jsou kolejnice pomocí vrtulí a svěrek přímo upevněny na pražce, nebo na nepřímý, kdy je kolejnice připevněna pomocí svěrek nejprve k podkladnici, která je pak zvlášť pomocí vrtulí připevněna k pražci. Dále ještě existuje celá řada různých modifikací, nejčastěji používané typy upevnění jsou uvedeny na obrázcích níže.



obrázek č. 14 – nepřímé tuhé upevnění typ K  
(foto autor)

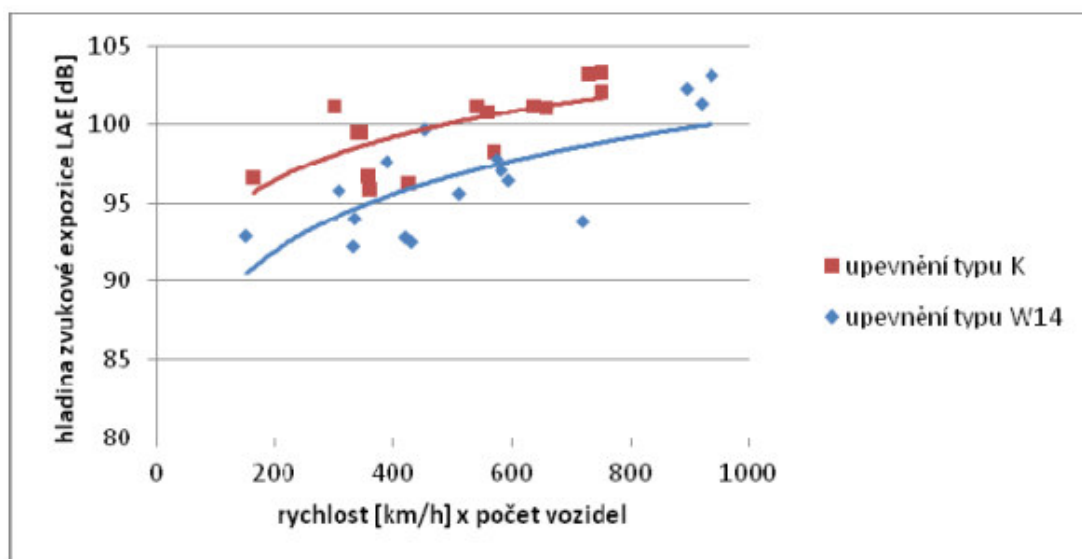


obrázek č. 15 – přímé pružné upevnění typ W14  
(foto autor)

V dnešní době se při rekonstrukcích železničních tratí v drtivé většině případů navrhuje (i investorem požaduje) pružné upevnění typu W14 s pružnými svěrkami Skl. Toto moderní pružné upevnění vykazuje při provozu významně nižší hlučnost než tuhé upevnění typu K. Snížení hlukových emisí v případě použití moderních konstrukcí upevnění železničního svršku se pohybuje v rozmezí cca 3 - 5 dB, konkrétní hodnoty jsou ale závislé na konkrétní použité modifikaci upevnění, na charakteru převažující dopravy (nákladní nebo osobní) a v neposlední řadě na typu trakce (elektrická, motorová).



V grafu na následujícím obrázku, kde jsou znázorněna data z hlukového měření je to patrné.



Obrázek č. 16 – závislost hlukových emisí na rychlosti a počtu vozů, upevnění typ K a W14, elektrická trase  
(zdroj: Vědeckotechnický sborník ČD č. 36/2013, dostupné online na: [http://vlaky-hluk.fd.cvut.cz/data/prispevky/vtscd\\_2013\\_hluvla\\_vliv-opatreni-na-hluk.pdf](http://vlaky-hluk.fd.cvut.cz/data/prispevky/vtscd_2013_hluvla_vliv-opatreni-na-hluk.pdf))

Další možnou moderní konstrukcí železničního svršku jsou například tzv. podpražcové podložky. Ty se umísťují pod ložnou plochu pražců a mají pozitivní vliv na namáhání kolejového lože a v důsledku toho zpomalují rozpad geometrických parametrů koleje, což má sekundárně za následek snížení hluku a vibrací.

### 7.2.2 Bezстыková kolej

V klasické stykované koleji dochází vlivem změny teploty ke změně velikosti dilatačních spar mezi jednotlivými kolejnicemi. To v těchto místech způsobuje při průjezdu vlakových souprav dynamické rázy, které jsou výraznými zdroji hluku. Pro zajištění plynulé a tiché jízdy je zapotřebí, aby pojížděná hrana kolejnice byla co nejméně přerušována. To se zajišťuje zřízováním tzv. bezстыkové koleje (BK), což je vlastně svařování jednotlivých kolejí do nekonečně dlouhých pásů. V případě rekonstrukcí a modernizací železnic se již bezстыková kolej považuje za samozřejmost. Zřízování BK na železničních tratích v ČR se řídí předpisem SŽDC S3/2, který stanovuje podmínky a předpoklady pro její zřízení. Bezстыková kolej je kolej s kolejnicovými pásy bez kolejnicových styků o délce 150 m a větší. Kolejnicové pásy musejí být upnuty předepsanou silou při dovolené upínací teplotě.

V praxi se ke svařování používají různé druhy svařování, z nichž nejrozšířenější je svařování aluminotermické nebo stykové odtavovací. Zřízením bezстыkové koleje se prodlužuje její

životnost, zmenšují se náklady na údržbu a zvyšuje se bezpečnost a kvalita jízdy vlaků. V neposlední řadě odpadají nepříjemné rázy kol v oblasti styků a prokazatelně tak dochází ke snížení hlukových emisí. Akustický útlum v případě zřízení BK se pohybuje okolo 2 dB, ale jeho konkrétní hodnota je závislá ještě na dalších faktorech, zejména na typu použitého železničního svršku. Často totiž v rámci zřízení BK dochází i k rekonstrukci kolejového roštu, kde jsou v těchto případech výsledky ještě příznivější.

### 7.2.3 Kolejnicové absorbéry

Kolejnicové absorbéry se považují za doplňkové aktivní protihlukové opatření. Jedná se o prvky, které jsou upevněny na stojině kolejnice, většinou z obou stran. Mohou být ke kolejnici připevněny v periodických vzdálenostech (nejčastěji mezi pražci), nebo nepřetržitě, což je méně časté. Připevňují se většinou pomocí pružných upínacích spon, často doplněných speciálním lepidlem na dotykové ploše. Umísťují se většinou tak, aby bylo umožněno podbíjení standardními traťovými podbíječkami. Jejich principem je snížit vibrace kolejnic a hluk z valení jejím připojením k hmotě (ocelové prvky v absorbéru) pomocí tlumeného odpružení (pryž mezi kolejnicí a ocelovými částmi absorbéru). Vibrace od kolejnice se přenášejí do absorbéru a jsou rozptýleny tlumícími vlastnostmi pryže. Účinnost absorbérů se dle dosavadních zkušeností pohybuje v rozmezí 0,5 – 3 dB a proto je jejich aplikace vhodná například v případě, kdy se s hladinou akustických emisí pohybujeme těsně nad hranicí hygienických limitů a k jejich dosažení nám stačí relativně malá hodnota akustického útlumu.



Obrázek č. 17 – kolejnicový absorbér Corus

(zdroj: Kolejnicové absorbéry hluku, prezentace semináře Rychlost s tichostí, 2015, SŽDC - GR - 013)

V železniční síti SŽDC se od roku 2008 provozně ověřují tři typy kolejnicových absorbérů (Vosloh 1, Vosloh 2 a Corus - Tata steel), ale v současné době není schválen žádný typ pro běžné použití. To znamená, že jakákoliv jejich realizace u nás probíhá v režimu provozního ověření. To je dáno poměrně malým vzorkem realizovaných zkušebních úseků a provedených měření.

Je třeba mít na mysli také to, že použití kolejnicových absorbérů nepřináší pouze efekt ve snížení hlukové zátěže, ale také zvyšuje nároky na údržbu a dohlédací činnost, zejména z důvodu zakrytí stojiny kolejnice a tím znemožnění její vizuální kontroly. Z tohoto důvodu je zapotřebí při jejich použití provádět kontrolu stavu kolejnic ve vyšší četnosti. Dle informací Odboru traťového hospodářství SŽDC (OTH) se vzhledem k této skutečnosti nejevil jako příliš vhodný kolejový absorbér Vosloh typu 1, který je ke kolejnici připevněn v celé délce její stojiny, což velmi komplikuje jejich vizuální kontrolu, důležitou zejména v oblasti svarů.

Přestože s kolejnicovými absorbéry v ČR ještě nemáme příliš zkušeností, jedná se o perspektivní opatření ke snížení hluku na železničních tratích. Jejich nejvyšší účinnost však bude zajištěna při bezvadné infrastruktuře, která bude používána moderními a udržovanými vozidly. Z již provedených hlukových měření bylo prokázáno, že u moderních železničních vozidel s kotoučovou brzdou byl zaznamenán útlum až kolem 3 - 4 dB a naopak u nákladních vlaků se špalíkovými brzdami to bylo pouze okolo 1 dB. Z toho vyplývá, že kolejnicové absorbéry mají smysl hlavně na tratích, kde převažuje osobní doprava, tzn. zejména na tratích v městských aglomeracích a v jejich okolí. Naopak na tratích s převažující nákladní dopravou, zejména v případě převažujícího provozu nákladních vozů se špalíkovými brzdami není jejich použití tak efektivní.

Přesto výhledově do budoucna můžeme absorbéry označit za protihlukové opatření, jehož perspektiva se bude v časovém horizontu zlepšovat. Výsledky z měření po aplikaci kolejnicových absorbérů Corus v rámci provozního ověřování z roku 2010 na trati v úseku Poděbrady - Kolín jsou patrné z následující tabulky. Z výsledků je zřejmé, že nejlepších výsledků bylo dosaženo u vlaků kategorie 3 a 4 (elektrické jednotky s kotoučovou brzdou a nákladní vlaky bez špalíkových brzd), zatímco nejhorší výsledky vykazuje průjezd vlaků kategorie 1,2 a 5 (nákladní vlaky se špalíkovou brzdou a motorové jednotky)

Tabulka č. 3 – akustický účinek kolejnicových absorbérů Corus na zkušebním úseku trati Poděbrady - Kolín (zdroj: *Prezentace VÚŽ, Vyhodnocení výsledků měření hluku - srovnání stavu před a po realizaci PHO, 2010*)

Kategorie	Před rekonstrukcí [dB(A)]	Po rekonstrukci [dB(A)]	S absorbéry Corus [dB(A)]	Útlum pouze rekonstrukce [dB(A)]	Útlum pouze absorbéry [dB(A)]	Celkový útlum [dB(A)]
<b>Kat 1,2</b>	<b>92.8</b>	<b>88.9</b>	<b>87.8</b>	<b>3.9</b>	<b>1.1</b>	<b>5.0</b>
<b>Kat 3</b>	<b>87.7</b>	<b>80.1</b>	<b>78.3</b>	<b>7.6</b>	<b>1.8</b>	<b>9.4</b>
<b>Kat 4</b>	<b>97.1</b>	<b>93.3</b>	<b>90.8</b>	<b>3.8</b>	<b>2.5</b>	<b>6.3</b>
<b>Kat 5</b>	<b>97.5</b>	<b>93.0</b>	<b>92.8</b>	<b>4.6</b>	<b>0.2</b>	<b>4.8</b>
<b>Celkový průměr</b>	<b>94.0</b>	<b>89.8</b>	<b>87.8</b>	<b>4.2</b>	<b>2.1</b>	<b>6.3</b>

#### 7.2.4 Kolejové absorbéry hluku

Dalším, celkem mladým aktivním protihlukovým opatřením jsou kolejové absorbéry hluku. Jedná se o zvláštní konstrukci železničního svršku zvyšující pohltivost hluku a vibrací ve stavbě kolejové dráhy. Na rozdíl od kolejnicových absorbérů (umístěných přímo na kolejnici) se kolejové absorbéry sestávají ze soustavy dílců uložených na konstrukci železničního svršku umístěných uvnitř anebo vně koleje, či jejich kombinace. Soustavy těchto dílců jsou složeny z vnitřních/vnějších dílců obsahující hlukově pohltivé části, upevňovacích, vymežovacích a ochranných prvků. Jednotlivé prvky jsou v koleji fixovány pomocí pružných elementů vytvářející svým tvarem přitlačnou a svěrnou sílu. Pružné části přitlačují jednotlivé prvky k podporám kolejnic a těsně doléhají k plochám paty a stojiny kolejnic, čímž omezují vznik a šíření hluku a vibrací z této oblasti do prostoru.

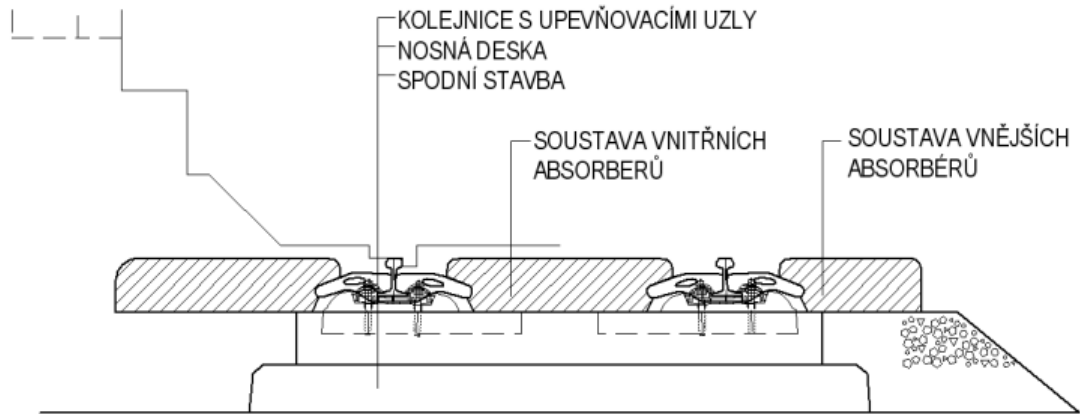
Výhodou kolejových absorbérů je možnost použití jak na tratích s klasickým kolejovým ložem, tak s pevnou jízdni dráhou. Jejich použití je také možné v tunelech nebo na mostních konstrukcích, kde můžou současně vytvářet únikové cesty pro posádku vlaku v případech nouze nebo při haváriích. Stabilizátor vyrobený z elastomeru zajišťuje svým tvarem stabilní uložení vnitřních a vnějších dílců v koleji a současně tlumí hluk a vibrace. Jeho tvar je řešen tak, aby v půdorysu nepřesahoval plochu příčného pražce a nebránil tak strojní nebo ruční mechanizaci pro podbití koleje.

V současné době jsou vyvíjeny a testovány kolejové absorbéry ze syntetických materiálů - recyklátů. Velkou výhodou ve vztahu k životnímu prostředí je to, že použitý materiál pro výrobu představuje technické zhodnocení výrobního odpadu syntetických textilií vznikajícího při výrobě nových automobilů a následně i při jejich likvidaci. Významnou schopností těchto materiálů je vysoká nasákavost při zajištění mrazuvzdornosti a tvarové stálosti. Již dnes je zřejmé, že aplikace kolejových absorbérů hluku se zvýšenou retencí vody příznivě ovlivní dopad stavby na životní prostředí. Pro srovnání při krátkodobém nasycení systému vodou (20,40 %) je objem zadržené vody v délce asi 4300 m tratě cca 75 000 litrů vody, což je zhruba kapacita plaveckého bazénu délky 25 m. Při dosažení maximální kapacity retence vody v systému se 75 000 litrů vody zadrží v délce tratě pouhých 875 m.



Obrázek č. 18 – řez vnitřním dílcem kolejového absorbéru ze syntetického recyklátu, v přední části s povrchem z umělého trávníku, v zadní části živý trávník s podkladní humózní vrstvou  
(zdroj:foto autor)

Vlastní kolejový absorbér může mít povrch například z umělého trávníku, nebo při doplnění humózní vrstvy i z trávníku živého. V současné době se experimentálně zkoušejí a ověřují možnosti aplikace různých povrchů. Výhodou je také možnost vyjmutí kteréhokoliv dílce v místě případné lokální poruchy koleje. Kolejové absorbéry mají potenciál hlavně pro použití v konstrukci koleje s pevnou jízdni dráhou. Pevná jízdni dráha (jelikož neobsahuje šterkové lože, které lépe pohlcuje hluk) vykazuje emise o cca 7 dB vyšší hlukové emise než kolej s klasickým šterkovým ložem. Na základě měření při použití kolejnicových absorbérů u PJD bylo zjištěno, že jejich použitím dojde k útlumu o 5 - 7 dB, což právě eliminuje navýšení hlukových emisí oproti klasické konstrukce s kolejovým ložem.



Obrázek č. 19 – uspořádání kolejových absorbérů v koleji s PJD  
(zdroj: informační materiály společnosti BRENS)

### 7.2.5 Akustické broušení kolejnic

Vznik hluku z valení kola po kolejnici přímo souvisí s drsností kolejnic a její polygonizací (vlnkovitostí). Trakční síly hnacích kol způsobují velký smykový efekt na povrchu kolejnice v opačném směru než je směr jízdy. Díky tomu mikrostruktura povrchu kolejnic tvrdne a křehne. Pod povrchem se vytvářejí malé trhlinky, které se mohou časem rozšířit do profilu kolejnice. Bez včasného zásahu to může vést až k vylomení části oceli z hlavy kolejnice (tzv. shelling). Z tohoto důvodu a pro minimalizaci hlukových emisí důležité zajistit, aby byla kolejnice hladká. Abychom tohoto mohli dosáhnout i po určité době provozu, kdy už kolejnice vykazují jistou míru opotřebení, provádí se tzv. akustické broušení kolejnic.

Jedná se o pravidelné broušení povrchu kolejnice s minimálním odběrem materiálu. Je nutné zajistit co nejnižší drsnost kolejnic vyjádřené v dB pro danou amplitudu při konkrétní vlnové délce. Jde o hodnotu určenou vůči referenční amplitudě 1 mikronu A0 podle vztahu  $20 \log_{10}(A/A_0)$ . Například drsnost 20 dB odpovídá amplitudě 0,01 mm. Akustické broušení může být prováděno například klasickými broušícími vlaky SPENO nebo LORAM. Při tomto běžném broušení se odebírá materiál do hloubky asi 0,5 mm, avšak jedná se vzhledem k pomalé rychlosti broušení o celkem zdoluhavou záležitost, která si většinou vyžádá výluku provozu na broušené koleji. Odpovědí na tuto situaci bylo vyvinutí tzv. vysokorychlostního broušení kolejnice HSG (high - speed - grinding).

Společnost Vossloh Rail Services vyvinula unikátní preventivní technologii vysokorychlostního broušení kolejnic HSG. Jediněčný silný argument této metody je rychlost

broušení 80 km/h, která umožňuje její použití bez výluk koleje. Dokonce i v podmínkách vysokorychlostní dopravy lze použít metodu HSG ve vlakových pauzách s minimální přípravou. Pro hlavu kolejnice představuje metoda HSG mnohem „jemnější“ zacházení. Konvenční broušící/frézovací stroje pracují s menší frekvencí a tudíž odebírají více materiálu. Jako v případě dentální hygieny je vhodnější pravidelné čištění než méně časté vrtání zubů. V případě metody HSG nejsou broušící kameny poháněny motory, ale jsou taženy a odvalují se po kolejnici. Úhel vyosení kamenů má za výsledek relativní pohyb příčně k hlavě kolejnice. Výsledkem je, že hlava kolejnice je broušena od pojížděné hrany po celé pojížděné ploše. Díky mohutné trakční síle současných lokomotiv může velké množství sériově zapojených broušících kamenů vyvinout obrovský broušící účinek. Při HSG metodě se odstraňuje asi 30 cm<sup>3</sup> za sekundu na jedné kolejnici – až čtyřikrát více než množství dosahované při konvenčních metodách. Broušící kameny neodstraňují pouze křehkou vrstvu na povrchu, ale vzhledem k jejich podélně uložené linii dotyku odstraňují také první známky vlnkovitosti a skluzových vln. Tímto „hladícím“ účinkem kombinovaným se šikmo orientovaným broušícím dezénem metoda HSG také snižuje emise hluku ze železniční dopravy. Intenzita broušení je řízena množstvím faktorů – rychlostí broušení broušícím tlakem a množstvím broušících kamenů. Odstranění vrstvy 0,1 mm materiálu je možné při třech průjezdech. Jednou z podmínek efektivnosti této metody je hlavně nepoškozený profil kolejnice s rozměry v mezích definovaných tolerancí. <sup>[9]</sup>



Obrázek č. 20 – vysokorychlostní broušící vlak HSG <sup>[9]</sup>

<sup>9</sup> 18. konference železniční dopravní cesta 2014. 2014. In: *Vysokorychlostní broušení: údržba kolejnic* [online]. České Budějovice [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.szdc.cz/soubory/konference-a-seminare/zdc-2014/b03-bremsteller-vossloh-sb.pdf>

## 7.2.6 Technické úpravy na kolejových vozidlech

Dalším druhem aktivních protihlukových opatření, které je realizováno přímo u zdroje hluku a má značný vliv na celkové množství výsledných hlukových emisí jsou technické úpravy na kolejových vozidlech a jejich celkový technický stav vůbec. Asi nejdůležitější v tomto směru je typ kolových brzd. Podle principu přenosu brzdící síly mezi železničním vozidlem a kolejnicí dělíme brzdové systémy na adhezní a neadhezní. U adhezních brzdových systémů je k přenosu brzdících sil využit styk kola s kolejnicí a z tohoto důvodu účinnost závisí jejich stavu, čili na schopnosti přenášet tečné síly. Proto je důležitá z hlediska aktivních PHO aplikovaných na vozidlo optimalizace tvaru kola, jeho osová symetrie, co nejmenší průměr kola a co nesilnější disk kola.

Neadhezní brzdové systémy nejsou závislé na jejich kvalitě a slouží jako doplněk brzdy adhezní. Adhezní brzdy dále rozdělujeme na brzdy kotoučové a špalíkové. Kotoučové brzdy se skládají z brzdového kotouče nalisovaného na nápravě a brzdových destiček, které jsou přitlačovány brzdovými čelistmi. Velkou výhodou kotoučových brzd je jejich nízká hlučnost a to, že účinek brzdy při zvyšování rychlosti téměř neklesá. U špalíkových brzd probíhá brzdění třením brzdových špalíků o jízdní plochy kol. V současnosti se používají buďto špalíky litinové nebo nekovové složené z kompozitních materiálů. Právě druh použitých brzdových špalíků má na vznik hlukových emisí a na účinnost brzd zásadní vliv. Kompozitní brzdové špalíky vykazují při provozu nižší hlučnost a stabilnější součinitel tření. Při použití litinových špalíků součinitel tření se zvyšující se rychlostí klesá, čímž se snižuje celkový účinek brzdy. Litinové špalíky při brzdění vytvářejí na kolech hrbolatost, zatímco kompozitové uchovávají povrch hladký.



Obrázek č. 21 – špalíková brzda (litinový špalík)

(zdroj: foto - autor)

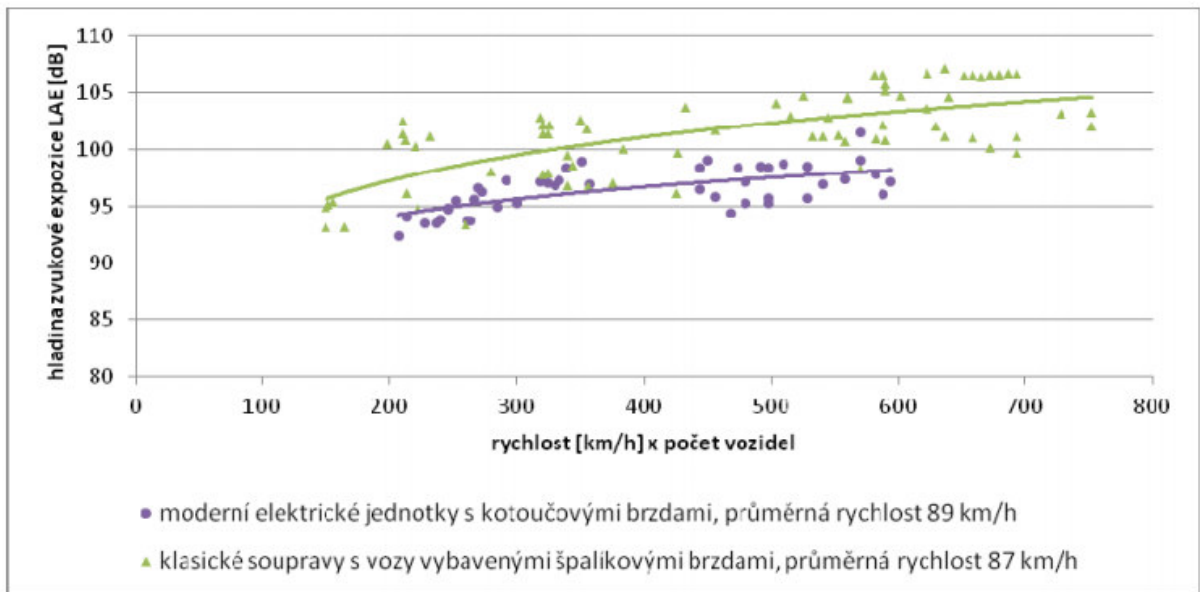


Obrázek č. 22 –kotoučová brzda "



Použití kompozitových brzdových špalíků se jeví jako velmi efektivní možnost snížení hluku, zejména u nákladní dopravy. A to mimo jiné z důvodu, že v současné době je stále ještě spousta železničních vozů vybavena brzdovými systémy s kovovými špalíky, a právě tyto vozy jsou jedním z největších znečišťovatelů životního prostředí hlukem. Podle zákona o drahách je v České republice dopravce povinen na drahách celostátních používat jen vozidla, která splňují technické specifikace pro interoperabilitu (TSI). Technická specifikace pro interoperabilitu - hluk (TSI NOI) hodnotí projíždějící drážní vozidla podle akustického tlaku měřeného za referenčních podmínek (rychlost 80km/h, vzdálenost 7,5 m od osy koleje a výška 1,20 m nad TK). Limitní hodnoty  $L_{pA}$  jsou podle TSI NOI 80 dB pro osobní vozy a 82/83/85 dB pro nákladní vozy (v závislosti na poměru počtu dvojkolí ku délce vozu). Tyto hodnoty při použití brzd s litinovými brzdovými špalíky nelze splnit, bývají překračovány zhruba o 9 dB.

V současné době jsou k dispozici dva základní typy brzdových špalíků z kompozitních materiálů. Jedná se o špalíky typu "K", které jsou již mezinárodně schválené. Osazení těchto špalíků s sebou nese ale nutný zásah do brzdového systému a přestrojení vozů, což má za následek zvýšení nákladů. Dalším typem jsou kompozitové špalíky typu "LL" které nevyžadují větší zásahy do brzdového systému, ale jejich homologace je však zatím pouze prozatímní a stále probíhají jejich další provozní ověřování. Na základě již provedených kontrolních měření hluku vozů vybavených kompozitními špalíky obou nových typů bylo dosaženo redukce emisí hluku o 6 - 9 dB, což je v porovnání s ostatními druhy opatření velmi solidní výsledek. Nespornou výhodou je i ekonomická stránka, protože náklady na osazení železničních vozidel jsou mnohem nižší než například na výstavbu protihlukových clon, nebo jiných pasivních PHO. Tuto výhodu ještě znásobuje fakt, že například protihlukové clony jsou účinné pouze v místech, kde jsou vybudované, zatímco vozy osazené kompozitovými brzdovými špalíky jsou účinné komplexně v celé železniční síti, kterou vozy využívají. Následující graf ukazuje data hlukových emisí naměřená v případě použití tuhého upevnění typu K, ale pojižděného soupravami s rozdílnými typy brzd. Vlaky kompletně opatřené kotoučovými brzdami jsou zde reprezentovány jednotkami řady 471.



Obrázek č. 23 – graf hodnot hlukových emisí při použití kotoučových a špalíkových brzd  
 (zdroj: Vědeckotechnický sborník ČD č. 36/2013, dostupné online na: [http://vlaky-hluk.fd.cvut.cz/data/prispevky/vtscd\\_2013\\_hluvla\\_vliv-opatreni-na-hluk.pdf](http://vlaky-hluk.fd.cvut.cz/data/prispevky/vtscd_2013_hluvla_vliv-opatreni-na-hluk.pdf))

Mezi další opatření, které bychom mohli zahrnout do této skupiny jsou například pryží odpružená kola, kde se pod obruč kola umísťují pryžové segmenty. Toto opatření má kromě tlumení hluku výhodu také v prodloužení životnosti obruče i kolejnice. Jeho aplikace je rozšířená zatím hlavně v tramvajích a nově i ve vozech metra. Dalším možným řešením jsou tlumiče hluku z pryže a polymerů, které se umísťují z boku kola. Jedná se o tlumiče laděné speciálně na konkrétní konstrukci kola pro snížení kritických frekvencí hluku.

Významný vliv na produkci hlukových emisí má také stáří, kvalita a složení vozového parku provozovaného na železničních tratích. Například průměrné stáří vozového parku největšího provozovatele železniční dopravy v ČR, ČD a.s., bylo ještě v roce 2009 uváděno 26 let, což nás řadí na jednu z posledních příček v Evropě. Naštěstí nejen vlivem konkurence i České dráhy začaly tento nedostatek řešit nákupem nových vlakových souprav, nebo jejich modernizací. Pro příklad můžeme uvést nové elektrické jednotky řady 471 City Elephant, polské motorové jednotky řady PESA Link známé pod obchodním názvem Regio Shark, německé vozy typu Stadler, nebo známé italské jednotky Pendolino. Všechny tyto moderní jednotky jsou již od výroby osazeny méně hlučnými kotoučovými brzdami. Dále disponují slušným aerodynamickým tvarem, mají oproti starším soupravám z hlediska hluku lépe řešeny mezivozové prostory atd. Všechny tyto technické aspekty jsou účinnou aktivní protihlukovou ochranou, která se v jejich součtu a výsledku projevuje celkovým snížením hlukových emisí přímo u jejich zdroje. Důležité je se již ve vývoji a pak při konstruování

nových železničních vozidel zabývat problematikou možného vzniku hluku a snažit se ho eliminovat ještě před jeho vznikem. Tímto způsobem se pak může ušetřit spousta finančních prostředků, které by musely být vynaloženy na dodatečnou aktivní, nebo pasivní protihlukovou ochranu.

### **7.2.7 Elektrizace železnic**

U neelektrizovaných železnic, jež jsou pojižděny železničními vozidly s motorovou trakcí bývá často problém vysokou hodnotou hladiny akustických emisí, zejména při rozjezdu vozidel, kdy je požadován plný výkon a hluk trakce je dominantní. U železničních tratí s elektrickou trakcí tento problém odpadá a navíc nedochází ani ke znečišťování ovzduší spaliny z dieselových motorů. Přesné hodnoty útlumu hlukových emisí v případě použití elektrické trakce oproti motorové se nedají obecně vyjádřit, protože jsou vždy závislé na konkrétním vozidle. U moderních motorových souprav, které jezdí po doposud neelektrizovaných tratích tento problém není tak zásadní, protože již při výrobě musely vyhovět určitým hlukovým limitům. Horší je to v případě starších motorových vozidel, kde hluk trakčního motoru často překračuje požadované limity. Je tomu tak například u motorových vozů 814 (Regionova), které jsou na našich tratích ještě celkem často nasazovány a kde byl dle měření VÚŽ povolený limit při rozjezdu překročen.

V současné době je délka elektrizovaných tratí v ČR 3217 m, což je více než třetina celkové délky naší železniční sítě. Elektrizované jsou zejména koridorové a další hlavní tratě, které jsou nejvíce vytížené a často procházejí osídlenými aglomeracemi. Dále nutno podotknout, že právě probíhá spousta investičních akcí, ať už projekčních nebo realizačních, na modernizaci a revitalizaci stávajících tratí, jejichž součástí je v drtivé většině případů právě i elektrizace, pokud na trati ještě chybí. Jedná se sice o nákladné investice, avšak s výhledem do budoucnosti ve vztahu kolejové dopravy jako trvale udržitelné a šetrné k životnímu prostředí o investice rozhodně přínosné. Na základě těchto skutečností je možné výhledově očekávat vyšší podíl elektrizovaných železnic i nových moderních vlakových souprav a tudíž i snížení hlukových emisí způsobených motorovou trakcí.

### **7.3 Pasivní protihluková opatření**

V oblasti snižování hluku ze železniční dopravy bychom měli přednostně uplatňovat protihluková opatření aktivní. Pokud to není možné, nebo v případě, že tato opatření nejsou

dostatečná pro dosažení stanovených hygienických limitů emisí hluku, přistupujeme k jejich dalšímu snížení pomocí pasivních protihlukových opatření. Jedná se o opatření, která snižují již vzniklý hluk a bývají aplikována nejčastěji v prostoru mezi zdrojem a příjemcem hluku, případně u jeho příjemce. Jedná se nejčastěji o protihlukové stěny, zemní valy a protihluková opatření realizovaná na budovách. Tato opatření jsou často velmi rozsáhlá a nákladná.

### **7.3.1 Klasické protihlukové stěny (PHS)**

Klasické protihlukové stěny (PHS) jsou asi nejznámějším pasivním protihlukovým opatřením umístěným v poli přenosu hluku. Jsou navrženy tak, aby vytvářely akustický stín a blokovaly pohyb zvukových vln. Jejich umístění a výška musí být dobře zvolené, aby odklonily dráhu zvuku co nejvíce z přímé trasy (s co největším úhlem). Nejčastěji se jedná o prefabrikované systémy založené na pilotách, případně patkách. Svislým nosným systémem jsou železobetonové nebo ocelové sloupky. Vodorovný výplňový systém je tvořen soklovými železobetonovými a absorpčními či odrazivými panely. Zvukově pohltivou vrstvu obvykle tvoří deska z drobnozrnného mezerovitého betonu s vlnkami. Protihlukové panely jsou obvykle dlouhé 4 m a 3 m vysoké. Zvuková pohltivost panelů je podle požadovaného akustického útlumu, nejčastěji bývá 8 dB (kategorie A3 dle ČSN EN 1793-1), nebo 4 dB (kategorie A2) a zvuková neprůzvučnost 15 dB (kategorie B2). Osová vzdálenost od koleje se volí kolem 3,50 m. PHS musí obsahovat v předepsaných vzdálenostech únikové východy, které jsou řešeny překryvy a musí být řádně označeny. Barevné a tvarové řešení PHS by mělo mít snahu co nejlépe integrovat tento liniový prvek do okolního prostředí a omezit jeho cizorodost, rušivost a monotónnost při zachování ekonomických a technických hledisek.

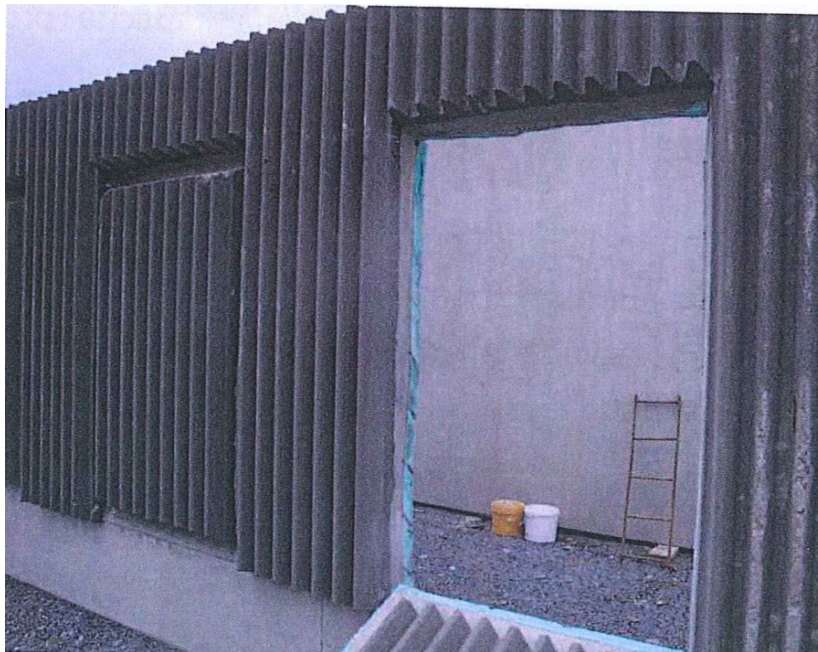
V České republice se PHS začaly budovat podél železničních tratí v souvislosti s jejich modernizací v první polovině 90. let. Jejich masivní nárůst pak začal v roce 2006, kdy bylo přijato nařízení vlády č. 148/2006 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. V současné době je podél železničních tratí v ČR postaveno již více než 120 km protihlukových stěn. Jejich vliv na okolní prostředí je velmi často diskutovaným tématem. Výstavba PHS má své pro a proti. Jejich hlavní výhodou je velmi účinná ochrana před hlukem, obzvláště v hustě zastavěném území. Skutečné naměřené útlumy za stěnou (ve vzdálenosti 7,50 m od osy koleje) dosahují v závislosti na typu zvukově pohltivé vrstvy 8 – 12 dB, maximálně až 15 dB. Při hodnocení jejich efektivity vždy závisí na pozici příjemce hlukové expozice. Je nutné si uvědomit, že za protihlukovou stěnou vzniká tzv. akustický stín a útlum

způsobený ve vzdálenosti 25 m od osy koleje vykazuje v porovnání s útlumem ve vzdálenosti 7,50 m od osy koleje nižší hodnoty, což je způsobeno právě principem šíření zvukových vln (ohyb přes vrchol PHS). Jejich další výhodou je některých případech i to, že mohou být architektonickým prvkem efektně doplňujícím stavební celky.

Jako každá mince má dvě strany, tak i protihlukové stěny s sebou přináší i řadu nevýhod. První z nich si může všimnout asi každý cestující při průjezdu kolem nich. Přestože již existují různá barevná i grafická provedení, žádná z nich nenahradí ztrátu výhledu do krajiny. Další nevýhodou je fakt, že PHS rozdělují a znehodnocují prostor ve svém okolí, omezují pohyb zvířete a jejich případný únik před srážkou s drážními vozidly. V neposlední řadě je zapotřebí upozornit i na skutečnost, že v souvislosti s rapidním rozšiřováním PHS často vznikají i na místech, kde jejich použití není úplně na místě a není o ně zájem ani ze strany veřejnosti. V takových případech jsou pak pouze vítaným zdrojem příjmů stavebních firem a jejich efektivita zaostává. Pro představu lze uvést, že u některých staveb (např. Stránčice – Praha Hostivař) dosahují náklady na zřízení PHS až 10 % z celkové ceny stavby! Mezi další nevýhody lze uvést skutečnost, že klasické PHS snižují akustickou zátěž v prostoru za stěnou, ale zhoršují akustickou situaci a pohodu ve vlaku jedoucím mezi stěnami. Poslední uvedenou a zásadní nevýhodou komplikovaný přístup na železnici v případě havárie a potřeby zásahu složek integrovaného záchranného systému, jelikož protihlukové stěny tvoří v tomto smyslu bariéru.

Touto nevýhodou se zabývá například společnost ŽPSV a. s. Uherský Ostroh, která začala vyrábět protihlukové panely pod obchodním názvem HOPKIRK. Tento typ panelu má v sobě na straně ke koleji vytvořenou drážku, která vytváří hranici prostupu o rozměrech 1,70 x 1,70 m. Drážka svou hloubkou zasahuje až k výztuži panelu a v jejím obvodu je integrován fasádní polystyren tloušťky 40 mm, který je z vnější strany krytý proti účinkům povětrnostních vlivů ochranným nátěrem. V případě potřeby je prostup za použití běžných technických prostředků (například obyčejnou motorovou pilou) prořezán a složí tak jako přístup pro pracovníky IZS v případě mimořádných událostí. Vyklopená část otvoru potom slouží jako přístupová rampa k prostupu pro snadnější evakuaci cestujících. V druhé polovině roku 2014 byly provedeny zaměstnanci Hasičské záchranné služby SŽDC zkoušky prostupu tímto panelem. Výsledek zkoušek je v souladu s požadavkem, aby byl vytvořen běžnými technickými prostředky vytvořen prostup protihlukovou stěnou do dvou minut. Prořezání panelu trvalo cca 90 sekund, což je při použití klasického panelu nemožné. Tímto bylo jednoznačně prokázáno, že stěnové

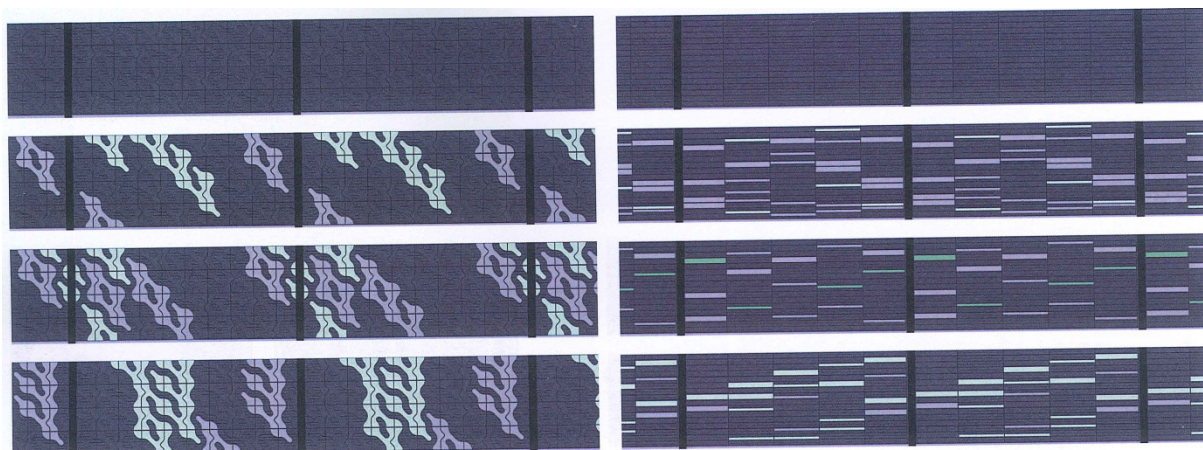
panely HOPKIRK vhodně doplňují klasické PHS o možnost snadného a rychlého vytvoření nouzového prostupu v případě mimořádné události v jinak těžce prostupných železobetonových stěnách.



Obrázek č. 24 – vyříznutý nouzový prostup v PHS u panelu HOPKIRK  
(zdroj: interní materiály společnosti ŽPSV a.s.)

Protihlukové stěny mají bezpochyby své místo zejména v hustě obydlených oblastech. Při jejich návrhu bychom ale měli postupovat velmi obezřetně, zejména v souvislosti s tím, zdali je taková stavba v daném případě nutná a zda bude efektivní. Mimo jiné z ekonomického hlediska, jelikož cena jednoho běžného metru zřízení klasické protihlukové stěny o výšce 3 m se u nás pohybuje okolo 14 950 Kč. V některých případech investičních akcí realizovaných v poslední době bylo zjištěno, že se tato cena může vyšplhat až 20 000 Kč za jeden běžný metr. Takto vysoká cena je ovlivněna zejména náklady na zakládání a uložení, které dosahují více než 40 % z celkových nákladů jejich stavby.

V případě, že návrh PHS má své opodstatnění, je pak třeba brát ohled také na její estetické působení a vhodné začlenění do krajiny. Například následující obrázek různých variant designových struktur protihlukových panelů společnosti MM Cité s obchodním označením "Noba mlok" a "Noba rizo" dokazuje, že protihluková stěna umístěná podél železniční trati může být i graficky zajímavým prvkem.



Obrázek č. 25 – protihlukové panely „Noba mlok“ a „Noba rizo“ společnosti MM Cité  
(zdroj: propagační materiály společnosti MM Cité)

V letech 2009 - 2013 proběhl v rámci Operačního programu doprava (OPD) projekt a stavba Modernizace trati Votice - Benešov u Prahy. Modernizovaná trať vede členitým terénem a v km 114,500 - 133,000 se dostává do kontaktu se zástavbou řady obcí. V jejich okolí je až na výjimky hluk z provozu železnice dominantní. V roce 2003 byla v rámci přípravné dokumentace společností Revita Engineering provedena měření hluku, která se stala podkladem pro návrh protihlukových opatření, zejména v podobě klasických protihlukových stěn.

Po dokončení stavby byl v dubnu a květnu 2013 proveden Akustickým centrem v Praze soubor akustických měření pro posouzení hluku z provozu tratí z hlediska splnění hygienických limitů a interoperability. Měřicí body byly voleny tak, aby v maximální míře odpovídaly měřicímu protokolu zpracovanému v rámci přípravné dokumentace. Měřicí body byly přednostně umisťovány přednostně 2 m před okno obytných místností objektů orientované přímo k železnici, nebo do bočních fasád. Pro měření byla zvolena zejména aparatura od firmy Bruel & Kjaer s 1. třídou přesnosti. V měřících bodech byly pro jednotlivé průjezdy vlaků zaznamenávány všechny veličiny a údaje potřebné pro následný výpočet. Pro každou kategorii vlaku a měřicí body byly z naměřených veličin stanoveny jejich střední energetické hodnoty, které lze považovat z hlediska statistiky za charakteristické. Též byla vypočtena průměrná doba trvání hlukové události při průjezdu vlaku. Z takto získaných vstupních údajů byla stanovena výsledná denní a noční ekvivalentní hladina akustického tlaku.

Modernizace tratě zahrnovala z akustického pohledu zejména výměnu kolejového roštu, zřízení nové konstrukce železničního spodku a v kritických místech právě realizaci protihlukových stěn. Porovnání hladin akustického tlaku z provozu na železnici před a po modernizaci tratě dokumentuje následující tabulka č. 4. Sloupec rozdíl představuje efekt zejména protihlukových stěn a dalších úprav. Nutno podotknout, že velký akustický útlum v měřicím bodě AC10 je způsoben zejména přeložením trati dále od objektu v kombinaci s PHS. Z výsledků je patrný účinek klasických PHS, který se pohybuje kolem 9 dB. Měření byla provedena přednostně přímo u jednotlivých objektů v okolí trati, což má z praktického hlediska větší vypovídající schopnost o dosaženém útlumu akustických emisí v místě jejich příjemce. V případě zvolení měřicích bodů např. ve vzdálenosti 7,50 m od osy koleje (přímo za PHS) by se daly očekávat výsledky lehce vyšší.

Tabulka č. 4 – akustický útlum PHS po modernizaci tratě Votice - Benešov

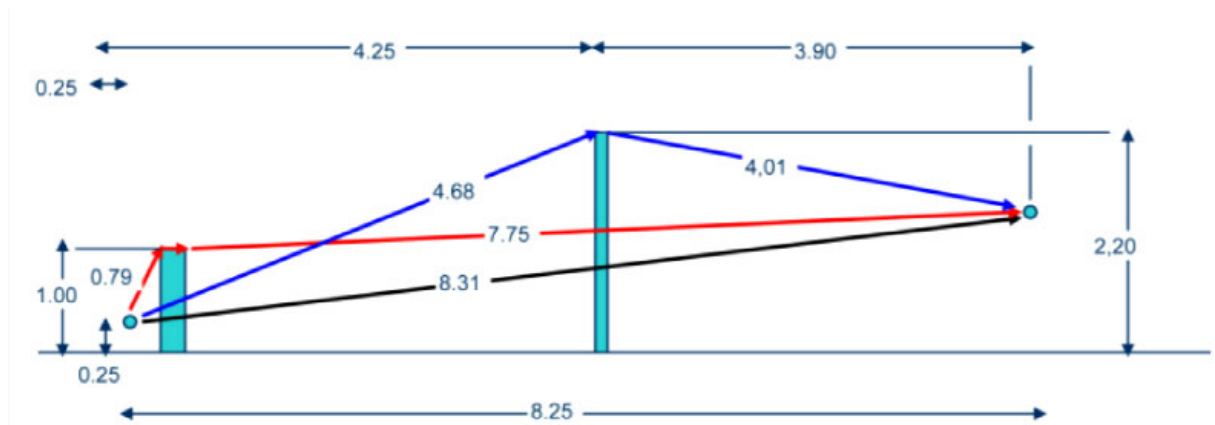
(zdroj: Akustické centrum 2013, Modernizace trati Votice - Benešov u Prahy, Protokol o autorizovaném měření)

Bod č.	Bod – popis	Revita – před modernizací	Akustické centrum – po modernizaci	Rozdíl - efekt D'IL (dB)	Pozn.
		L <sub>Aeq,T</sub> [dB]			
AC4 (REV1)	Střelítov č.p. 5 (hranice pozemku)	56,5	47,1	9,4	protihluková stěna
AC10 (REV2)	Srbice č.p. 14	59,3	35,7	23,6	protihluková stěna, přeložení trati dále od objektu
AC17 (REV3)	Olbramovice č.p. 181	53,9	50,0	3,9	
AC26 (REV4)	Tožice č.p. 33	56,2	55,4	0,8	přemístění zastávky blíže objektu
AC34 (REV5)	Bystřice, K. Nového č.p. 508	55,1	46,5	8,6	protihluková stěna
AC42 (REV6)	Bystřice, Dr. E. Beneše č.p. 142	61,4	53,8	7,6	protihluková stěna

### 7.3.2 Nízké protihlukové clony (NPHC)

Nízké protihlukové clony (NPHC) jsou v rámci pasivní protihlukové ochrany poměrně mladou alternativou ke klasickým protihlukovým stěnám. Obecně platí, že nejlepší účinek má clona, která je umístěna co nejbližší zdroji hluku. Právě NPHC ověřovaná v ČR má výhodu v tom, že se obvykle umísťuje v osové vzdálenosti 1,73 m, což je podstatně blíže, než u klasických PHS. Výškové umístění je standardně 0,73 m nad temenem přilehlé kolejnice. Právě toto umístění umožňuje NPHC redukovat hluk v podobné míře, jako je tomu u klasické protihlukové stěny. Názornou ilustrací je následující obrázek.





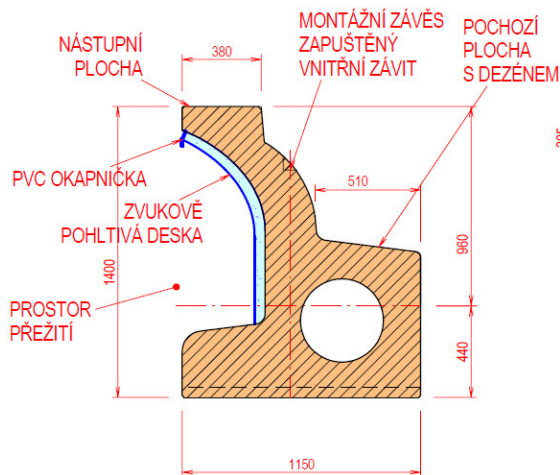
Obrázek č. 26 – geometrické srovnání NPHC a klasické PHS ve vztahu k redukci hluku  
(zdroj: Zpráva o technickém stavu, UIC – SBB – Bern, říjen 2012)

Nízké protihlukové stěny jsou stavbou železničního spodku. Podstata technického řešení spočívá v tom, že z vnější strany kolejí jsou pokládány stavebnicové prvky snižující šíření hlukových emisí z kolejové dráhy jejich odražením a pohlcením. Samotné prvky mají ze strany ke koleji parabolicky zakřivený tvar doplněný o hlukově pohltivou vrstvu recyklované pryže. Aby byla jejich účinnost co nejvyšší, umísťují se v co největší blízkosti průjezdného průřezu a tím i zdroji největšího hluku – styku kolo, kolejnice.

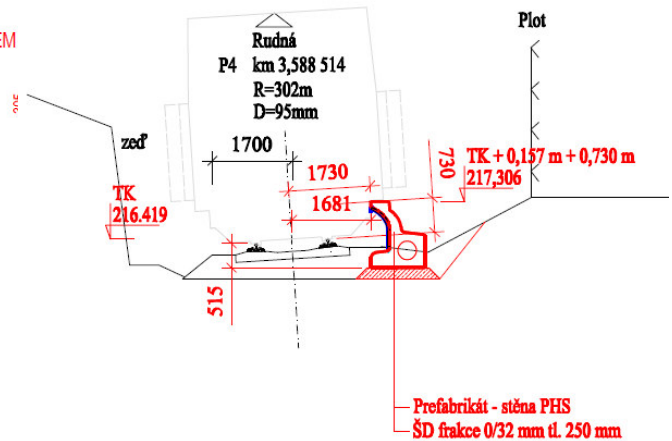
Jednotlivé dílce jsou vzájemně sesazovány ve styčných spárách na sraz s tím, že pro zvýšení příčné tuhosti clon jsou jednotlivé dílce opatřeny zámky, které jsou dimenzovány na namáhání tahem i stříhem, podobně jako u silničních svodidel. Na rozdíl od klasických PHS nepotřebují tyto clony speciální základové konstrukce a osazují se na pláň tělesa železničního spodku, případně na podkladní vrstvu. Uložení dílců také zvyšuje stabilitu kolejového lože a zamezuje v prorůstání invazivní vegetace. Jednotlivé dílce jsou pro snadnější manipulaci opatřeny závěsnými prvky, které lze využít i pro uchycení traťových značek. Výhodou je možnost použití v trati s klasickým kolejovým ložem i pevnou jízdni dráhou. Použití je vhodné například na tratích vedených v blízkosti jiných pozemních komunikací, nebo v souvisle zastavěném území.

Na následujících obrázcích č. 27 a č. 28 je zobrazen tvar dílce samotného dílce a jeho prostorové uspořádání vůči koleji a průjezdnému průřezu v trati na zkušebním úseku v Praze - Hlubočepch. Na obrázku č. 27 je v levé spodní části označen tzv. "prostor pro přežití", který měl původně sloužit jako nouzová skrýš pro osobu (ležící rovnoběžně s kolejí), která by

nestihla před průjezdem vlaku včas uniknout. Dosavadní zkušenosti z provozu a předběžné výsledky jednání složek SŽDC však s využitím tohoto prostoru neuvažují.



Obrázek č. 27 – výkres tvaru dílce NPHC  
(zdroj: Brens a.s.)



Obrázek č. 28 – umístění NPHC v trati  
(zdroj: projekt Viamont DSP a. s.)

Vzhledem k umístění v těsné blízkosti průjezdného průřezu je NPHC zároveň i překážkou ve volném schůdném a manipulačním prostoru (VSMP) ve smyslu vyhlášky MD č. 177/1995 Sb., kterou se vydává stavební a technický řád drah. Aby bylo možné NPHC umístit ve volném schůdném a manipulačním prostoru, musí být definována v předpisech provozovatele dráhy. Tímto předpisem bude „Metodický pokyn“ pro výstavbu a údržbu nízkých protihlukových clon. Již jeho první návrh, který byl v nedávné době připomínkován ukázal, že to nebude snadná záležitost, jelikož zásadní problematikou při použití NPHC je bezpečnost pohybu pracovníků provozovatele dráhy a cizích právních subjektů provádějících práce na dopravní cestě.

Změnou č. 58/2013 Sb. z roku 2013 (vyhlášky č. 177/1995) byla zpřesněna definice VSMP a bylo zároveň upřesněno, které stavby do něj lze umístit. V této souvislosti došlo také k aktualizaci závazné technické normy ČSN 73 6320 – Průjezdné průřezy na drahách celostátních, drahách regionálních a vlečkách normálního rozchodu. Změna byla iniciována i ze strany SŽDC, s ohledem na skutečnost, že měla v plánu ověřování NPHC v železničním provozu. Významnou roli při prosazování změny mělo i představení clony zástupcům Ministerstva dopravy na vlečce výrobce v Čerčanech.

Jelikož je NPHC umístěna ve volném schůdném a manipulačním prostoru, musí být na druhé straně koleje tento prostor zachován. Tímto je definovaná podmínka pro návrh NPHC, kterou je použití nejlépe na jednokolejně trati a pouze po jedné straně koleje. To znamená, že je nebude možno navrhovat v prostoru železničních stanic a u vícekolejných tratí. Na straně koleje bez clony musí být zachována funkční drážní stezka o minimální šířce 0,40 m. Důležitou otázkou při použití clon je bezpečný pohyb pracovníků provozovatele dráhy. Výška 0,73 m nad temenem kolejnice znamená skutečnou výšku nad terénem zhruba 1,10 m, což je výška ne zrovna snadno překonatelná.

Práce v úsecích trati, kde není dodržen VSMP se řídí bezpečnostním předpisem SŽDC Bp1, především částí 4, kapitola 10. Místa, kde není VSMP dodržen, musí být řádně označena v souladu s příslušnými normami a předpisy SŽDC. Práce se mohou provádět jen z nutných provozních důvodů a pokud není očekáváno drážní vozidlo, nebo má-li pracovník jistotu, že před příjezdem vozidla dostihne bezpečného místa (konce clony nebo únikového otvoru).

Omezením pro návrh NPHC je na některých tratích i nutnost zachování možnosti přepravy zásilek s překročenou ložnou mírou. V takových případech musí být clona umístěna od osy koleje ve větší vzdálenosti než 1,73 m, nebo by zde mohla najít uplatnění například clona sklopná. Z těchto důvodů podléhá každý návrh clony souhlasu Odboru operativního řízení provozu SŽDC. Další otázky, které je zapotřebí dořešit je evakuace cestujících v případě uvíznutí vlaku, nebo provádění údržby a odstraňování sněhu. V každém případě při použití NPHC bude muset být zpracován místní provozně bezpečnostní předpis, který toto bude řešit.

V několika evropských zemích, jako je například Německo, Rakousko, Švédsko nebo Norsko byly, nebo ještě stále jsou ověřovány zkušební úseky NPHC. Jejich oficiální výsledky jsou ale velmi těžko dostupné, což je pravděpodobně způsobeno doposud neuzavřeným ověřováním a také neochotou poskytovat ne zcela verifikovaná data.

Podrobnější údaje poskytuje finská firma SOUNDIM, ale její výsledky jsou obtížněji aplikovatelné pro české prostředí, zejména s ohledem na široký rozchod a jiné požadavky na prostorovou průchodnost (clona je dále od osy koleje a je vyšší). Značnou výhodou těchto clon je možnost ručního naklonění clony směrem k trati, nebo i opačně, což může být využito například v případě průjezdu vlaku s překročenou ložnou mírou nebo při údržbě trati. Naměřený útlum hladiny akustického tlaku zde byl kolem 10 dB a clona prokázala svou

funkčnost i v zimních měsících, jelikož tlakové vlny od projíždějících vlaků udržují prostor mezi bariérou a tratí bez sněhu. Na obrázku níže je zobrazena fotografie aplikace nízké protihlukové clony SOUNDIM na železniční trati ve Finsku.



Obrázek č. 29 – nízká protihluková clona Soundim, Finsko  
(zdroj: <http://www.soundim.fi/gb/references/>)

Ve Švédsku nízké protihlukové stěny již celkem rozšířené. Švédská firma Zbloc NPHC vyrábí již od roku 1999 a neustále je vyvíjí a zdokonaluje. Clony jsou vyrobeny z vláken vyztuženého betonu a pryžových absorbérů a umísťují se ve vzdálenosti 1,78 m od osy koleje. Jejich výška je 730 mm nebo 530 mm nad temenem kolejnice. Tyto clony mohou být opatřeny schůdky, které pak slouží jako nouzové východy v případě mimořádných událostí. V současné době je jejich nainstalováno na švédských tratích více než 8 km byly zde naměřeny redukce hlukových emisí v rozmezí 4 - 9 dB, v závislosti na typu projíždějících vlaků. Na obrázku č. 30 je zobrazena protihluková clona Zbloc umístěná po obou stranách koleje.



Obrázek č. 30 – nízká protihluková clona Zbloc, Švédsko  
(zdroj: [http://www.zbloc-international.com/bilder/presse\\_2\\_gr.jpg](http://www.zbloc-international.com/bilder/presse_2_gr.jpg))

V Rakousku byly u města Melk testovány clony společnosti ART. Jejich výhodou je systém uchycení k železničnímu pražci a tudíž nejsou zapotřebí žádné základy. Akustické útlumy zde byly naměřeny kolem 5 - 7 dB. Dále společnost vyrábí clony Noise Breaker, které mají konstrukci s mohutnějším betonovým základem.



Obrázek č. 31 – nízká protihluková clona společnosti ART, Rakousko - Melk  
(zdroj: <http://www.art.asamer.at/en/node/46>)

Na Slovensku se nyní připravuje aplikace nízkých protihlukových clon uvnitř oblouku dvojkolejné trati v Bešeňové. Obecně jsou tedy i v zahraničí NPHC ještě ve fázi provozního ověřování a v současné době ještě není dostatek zkušeností, abychom uspokojivě pojednali o údržbě a bezpečnostních otázkách. Například v Norsku problémy s používáním NPHC nehlásí, ale ve Švýcarsku v řešení této otázky nepokračují právě z obav nedořešených bezpečnostních záležitostí.

Následující tabulka zobrazuje získané zkušenosti s NPHC v několika evropských zemích. Údaje jsou z roku 2012, z tohoto důvodu zde nejsou ještě uvedeny výsledky z přímého měření v ČR, ale pouze laboratorní výsledky.

Tabulka č. 5 – zkušenosti s NPHC v evropských zemích do roku 2012

(zdroj: Zpráva o technickém stavu, UIC – SBB – Bern, říjen 2012)

	Theoretical	Trials/theoretical studies	extended use	Acoustic effect	Encountered (or not) problems	Report/Remarks
Austria	NA	ART (current)/NA	No	5 dB to-7 dB	No problem in winter	NA / No foundation
Czech republic	Laboratory tests	BRENS BARRIER laboratory tests	No	14 DB	NA	NA/ Trail test planned
Germany	NA	8 locations,	4.5 km	7-2 dB	NA	8) Approved measure now
Finland	NA	Soundim (current)/NA	NA	10 dB	Ok with snow clearing	1/Foundation figures a cable canal. Barrier can be folded.
France	Yes(design studies)	NA/Theoretical	No	NA	NA	
Netherlands		Ongoing pilot test				
Norway	yes	self developed (similar Zbloc)/ NA	6.3 km	7 dB to 11 dB	NA	2
Sweden	NA	Zbloc/NA	Zbloc total 8.3km	4 dB to9 dB	NA	3
Switzerland	Yes(feasibility report)	N/Theoretical	No	NA	NA	4/Not pursued due to maintenance and security issues

	Teoretické	Pokusy/teoretické studie	Délka použití	Akustický účinek	Zjištěné (nebo nezjištěné) potíže	Zpráva/poznámky
Rakousko	Neuvádí se	ART (aktuálně)/neuvádí se	ne	5 dB až 7 dB	Bez problému v zimě	Neuvádí se/bez základů
ČR	Laboratorní zkoušky	BRENS BARRIER lab. Zkoušky	ne	14 dB	neuvádí se	/Pokusná zkouška naplánována
Německo	Neuvádí se	8 míst	4,5 km	7-2 dB	neuvádí se	8) Nyní schválené opatření
Finsko	Neuvádí se	Soundin (aktuálně)/neuvádí se	neuvádí se	10 dB		V pořádku s odklizením sněhu 1) Základ s kabelovým kanálem. Bariéru lze složit.
Francie	Ano (projektové studie)	neuvádí se/teoretické	ne	neuvádí se	neuvádí se	
Nizozemsko	probíhající pilotní zkouška					
Norsko	ano	vlastní vývoj (podobné Zbloceu)/neuvádí se	6,3 km	7 dB až 11 dB	neuvádí se	2
Švédsko	Neuvádí se	Zbloc/neuvádí se	Zbloc, celkem 8,3 km	4 dB až 9 dB	neuvádí se	3
Švýcarsko	no (zpráva o realizovatelnosti)	neuvádí se/teoretické	ne	neuvádí se	neuvádí se	4) Nepokračuje se kvůli údržbovým a bezpečnostním problémům

V České republice byly po vyřešení základních legislativních problémů vytipovány dva zkušební úseky, kde byla v roce 2013 vybudována NPHC typu BRENS BARRIER a začalo její provozní ověřování. Konkrétně se jedná o traťový úsek v Tetčicích a v Praze Hlubočepch. Po aplikaci clon probíhalo měření hluku, které porovnávalo hlukovou zátěž tratě s NPHC oproti původnímu stavu. U výsledků v Praze Hlubočepch bylo dosaženo útlumu akustických emisí  $L_{Aeq}$  8,24 – 8,30 dB (A) – normováno na 60 km/h ve vzdálenosti 7,50 m od osy koleje ve výšce 1,20 m nad temenem kolejnice. V tomto případě jezdily po trati pouze motorové jednotky řady 814 Regionova. Výsledky v Tetčicích prokázaly pro osobní vlaky a

rychlíky vybavené kotoučovou i špalíkovou brzdou dosažení útlumu okolo 6,50 dB (při rychlosti 80 km/h a pro motorové jednotky dokonce až 11,5 dB při rychlosti 60 km/h. Tyto výsledky jasně dokazují, že akustické účiny NPHC jsou srovnatelné s klasickými protihlukovými stěnami nižších kategorií avšak s podstatně menšími negativními dopady na své okolí. Přitom je jejich výhodou nejen nižší cena, ale i estetické hledisko v podobě lepšího začlenění do krajiny a v neposlední řadě také zachování výhledu do okolí. Průměrná cena zřízení 1 bm NPHC se u nás pohybuje kolem 11 970 Kč. Nižší cena je vyvolaná zejména nižšími náklady na zakládání, které zde tvoří oproti klasickým PHS cca 20 % z celkové ceny díla. V červnu 2014 skončil zkušební provoz obou realizovaných aplikací nízkých clon a mělo by dojít k jejich schválení ze strany SŽDC. Vhodnou konfigurací okolí pro jejich umístění je jednokolejná trať, nedostatek prostoru v okolí tratě, trať v náspu, či pokud je chráněná nízka zástavba situována pod úrovní nebo v úrovni drážního tělesa. Po definitivním dořešení otázek kolem bezpečnosti a legislativy by se mohla NPHC stát konkurencí a zajímavou alternativou k dosud běžně používaným klasickým protihlukovým stěnám.

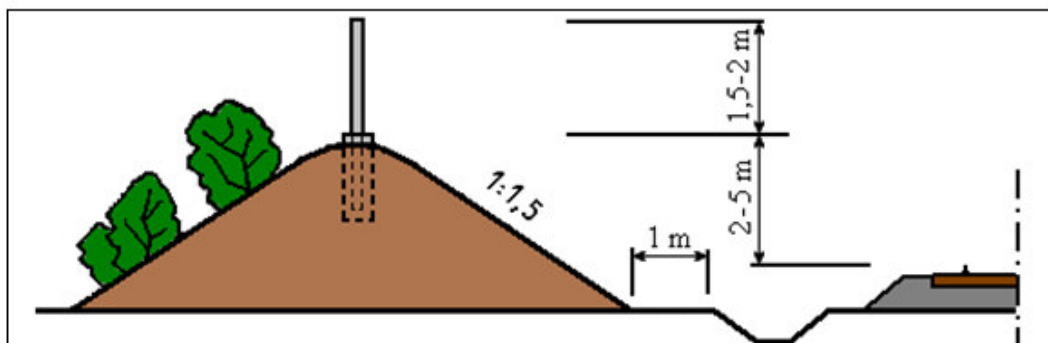


Obrázek č. 32 – NPHC realizovaná v Praze Hlubočepích  
(zdroj: ŽPSV a.s.)

### 7.3.3 Zemní valy

Další možností sloužící k ochraně před hlukem na železničních tratích jsou protihlukové zemní valy. Jedná se o stavby, které mají charakter sypaného zemního valu a zřizují se na odhumusované zemní vrstvě. Jejich účinnost je dána zejména jejich výškou, hmotností, povrchem a konfigurací okolního terénu. Zemní valy patří mezi hmotné clony se srovnatelnou tloušťkou i výškou a tlumícího efektu dosahují zejména svým objemem. Výhodou je možnost využití přebytečné zeminy, kterou by bylo jinak nutno odvézt na skládku, ale naopak nevýhodou je velká náročnost na zábor pozemků a proto je jejich použití možné pouze v příznivých situacích, kdy je podél trati dostatečně široký drážní pozemek. Pro snahu o co nejmenší prostorovou náročnost se někdy provádí příkřejší svahování za použití technických ochranných prostředků.

Pro lepší účinnost zemních valů se osazují pásy zeleně, ale ty jsou limitovány její kvalitou, ročním obdobím a druhem. Výhodou zeleně celková poměrně velká plocha jednotlivých listů různými směry, pohlcování exhalací, příznivé ovlivňování mikroklimatu a estetické působení. S tím ale vznikají i dodatečné náklady na údržbu zeleně a také nevýhoda související se změnou akustických vlastností v průběhu roku. V úvahu je také zapotřebí brát riziko, že při nedostatečné údržbě může dojít k ohrožení dráhy přerostlými dřevinami. Konkrétní skutečnou efektivitu zemních valů je těžké posuzovat zejména z důvodu působení řady proměnných faktorů. Rozhodně se ale jedná o funkční protihlukové opatření, které má své uplatnění v místech s vhodnou konfigurací terénu a dostatečně širokým drážním pozemkem. Účinné řešení se jeví i použití zemních valů v kombinaci s dalšími stavebními prvky pasivní protihlukové ochrany.



Obrázek č. 33 – zemní val v kombinaci s přídavnou stěnou  
(zdroj: <http://projekt150.ha-vel.cz/node/139>)



### 7.3.4 Nástupištní bloky s hlukově pohltivými tvárnici

Jednou z dalších možností pasivní protihlukové ochrany je nová konstrukce nástupišť z nástupištních zídek tvaru "L" doplněná navíc na lícové ploše přilehlé ke koleji zvukově pohltivými pásy z recyklované pryže. Nástupištní zídky jsou složeny ze železobetonových prefabrikátů tvaru "L", které tvoří spodní stavbu oboustranných nebo jednostranných nástupišť. Jedná se o poměrně mladou a na železniční síti v poslední době velmi často navrhovanou alternativu ke starším typům nástupišť typu SUDOP a Tischer.

Typickým představitelem dnes vyráběných nástupištních prefabrikátů tvaru "L" je tzv. hrana H 130, která tvarově vychází z dříve vyráběných nástupištních bloků L130 a současně zohledňuje požadavky normy ČSN 73 4959 (Nástupiště a nástupištní přístřešky na drahách celostátních, regionálních a vlečkách) na vzdálenost nástupní hrany u koleje s převýšením. Ta slouží k budování ostrovních a mimoúrovňových nástupišť bez konzolových desek. Oproti starším typům bloků má hrana H 130 rozšířenou nášlapnou plochu na šířku 250 mm s vytvořeným protiskluzovým dezénem. Výška nástupní hrany je 550 mm nad temenem kolejnice při vzdálenosti 1670 mm od osy koleje. Samotná konstrukce nástupiště má již vzhledem k jejímu situování v těsné blízkosti zdroje hluku příznivý vliv na snížení akustických emisí. V případě vhodného doplnění prvků o protihlukové tvárnice z recyklované pryže je účinnost ještě vyšší, jelikož přispívají ke snížení hlukové zátěže v bezprostřední blízkosti jejího zdroje. Instalace nástupištních bloků H 130 doplněných zvukově pohltivými matricemi z recyklované pryže tak umožní redukcí rozsahu navrhovaných klasických PHS, které se jinak budují až za nástupištěm a tedy celkem daleko od koleje, kde hluk vzniká. Nový typ nástupištní hrany tak přispívá k zachování rozhledových poměrů, větší bezpečnosti na méně segregovaných plochách a snížení vandalismu.

Z ekologického hlediska je velmi příznivý fakt, že na 1 m hlukově pohltivých tvárnice je spotřebováno cca 4 kusu vyřazených automobilových pneumatik. Místo jejich likvidace na skládkách tak výchozí materiál zpracovaný na pryžový recyklát získá opět své místo při snižování hluku a vibrací, tentokrát ale ve službách pro železnici. Přitom pořizovací náklady na doplnění nástupiště o zvukově pohltivou vrstvu z recyklované pryže nedosahují ani jedné desetiny ceny klasické jednostranné protihlukové stěny.

V roce 2012 proběhla na trati České Budějovice - Plzeň v zastávce Šťáhlavy rekonstrukce nástupiště a koleje. Při zpracování projektové dokumentace vyplynul požadavek na snížení

hluku při provozování drážní dopravy v části obce ležící nad niveletou koleje. Proto bylo rozhodnuto, že zde dojde ke zřízení nástupištní hrany H 130 s hlukově pohltivou vrstvou z recyklované pryže a tento úsek se stal zkušebním pro nové technické řešení hlukově optimalizované nástupištní hrany. Současně bylo v rámci dvou měřících kampaní před a po rekonstrukci provedeno měření hlukových emisí. V rámci kampaní byly zmapovány hlukové emise produkované železničním provozem na dvou měřících stanovištích, vlevo a vpravo trati ve vzdálenosti 7,50 m od osy koleje a ve výšce 1,20 m nad TK. První měřící kampaň proběhla před začátkem rekonstrukce na konci března 2012, kdy byla v místě zastávky z důvodu špatného stavu GPK zavedena pomalá jízda 40 km/h. Druhá měřící kampaň proběhla po dokončení rekonstrukce v srpnu 2012 ve stejných místech, jako u první kampaně. Rozdíl byl v tom, že projíždějící vlaky po rekonstrukci jezdili již projektovanou rychlostí 100 km/h. Přesto bylo zjištěno, že rekonstrukcí se snížily průměrné hlukové emise o cca 5,6 dB(A). To znamená, že ani vyšší rychlost nezvýšila hlukovou zátěž v okolí trati. Tento útlum je vyvolán zejména celkovou rekonstrukcí železniční trati. Zároveň bylo prokázáno, že protihlukovou úpravou konstrukce nástupiště byla navíc snížena hladina akustických emisí o cca 2,5 dB(A) na straně nástupiště. Přičemž dle deklarovaných hodnot výrobce mohou pásy z recyklované pryže snížit hlukovou zátěž od projíždějících vozidel až od 3,1 dB.



Obrázek č. 34 – nástupištní hrana H130 s hlukově pohltivými tvárniciemi v zast. Šťáhlavy  
(zdroj: ŽPSV a.s.)

Z výše uvedených skutečností vyplývá, že použití zvukově pohltivé vrstvy z recyklované pryže u nástupištních prefabrikátů je účinnou, jednoduchou a nenáročnou konstrukcí v porovnání s vysokými protihlukovými stěnami. Dalším argumentem pro použití této konstrukce je fakt, že po dobu od převzetí díla doposud si tato konstrukce nevyžádala žádné prostředky na údržbu. Tato konstrukce má velkou šanci, že se stane jedním ze standardních prvků protihlukové ochrany, která by mohla zároveň přispět k redukci investičních nákladů na modernizaci železničních tratí v ČR.

### **7.3.5 Zvukotěsná okna a omítky**

Poslední skupinou pasivních protihlukových opatření jsou, pokud se již všechna ostatní opatření vyčerpala anebo selhala ta, která jsou aplikována přímo v místě příjemce hlukových emisí - tedy u obyvatelstva. Tato opatření bývají často nazývána jako individuální protihluková ochrana (IPO). Jedná se zejména o zvukotěsná okna, nebo omítky. Jejich nevýhodou však je, že se jedná často o nákladná opatření a jejich účinek se projevuje pouze uvnitř obytných prostor. To znamená, že není vyřešen problém hlukové zátěže v chráněných venkovních prostorách obytných budov.

Dodržení hygienických limitních hodnot ekvivalentních hladin akustického tlaku  $A$  v chráněných vnitřních prostorách staveb závisí na venkovních hladinách hluku a na vzduchové neprůzvučnosti obvodového (střešního) pláště daného objektu. Postup stanovení vzduchové neprůzvučnosti, která při daných venkovních hladinách zajistí dodržení příslušné hygienické limitní hladiny ve vnitřním prostoru je určen normou ČSN 73 0532 – Akustika. Nejslabší součástí obvodového pláště budovy z hlediska vzduchové neprůzvučnosti a tedy i prostupu hluku do chráněných vnitřních prostorů stavby jsou zpravidla okenní konstrukce.

V ČR v rámci rekonstrukcí a modernizací tratí probíhají vždy měření hluku před stavbou a po jejím dokončení. V případech, kdy není možno v blízkosti trati pomocí reálně dostupných opatření dosáhnout vyhovujícího stavu v chráněných venkovních prostorách, přistupuje se k individuálním protihlukovým opatřením, kterými je většinou právě výměna oken za nová, s lepší neprůzvučností. Náklady na jejich výměnu potom hradí investor, tzn. ve většině případů SŽDC.

Požadovanou protihlukovou ochranu charakterizuje veličina  $R_{w\text{ pož}}$ , která představuje minimální požadovanou váženou laboratorní neprůzvučnost v dB (tzv. index vzduchové

neprůzvučnosti). Tato veličina zahrnuje pouze zvuk, který projde vlastním oknem. Pro určení potřebného stupně protihlukové izolace se vychází ze směrodatné hladiny vnějšího hluku. Z výsledného stupně pak vzejde stupeň protihlukové ochrany pro okna. Požadovaná neprůzvučnost se rozděluje podle tříd zvukové izolace oken 0 - 6 ( $< 24$  dB -  $50 +$  dB). Obvyklá neprůzvučnost nových zvukotěsných oken se pohybuje kolem 30 - 40 dB. Nejčastěji jsou používána tzv. plastová okna (s plastovými rámy), ale používají se i rámy hliníkové, ocelové i dřevěné. Vlivy materiálu rámu jsou při dodržení požadované jakosti materiálu a správné montáži téměř zanedbatelné. Zvýšenou pozornost je třeba věnovat montážním spárám. Naopak jedním z hlavních faktorů je konstrukce zasklení. Záleží na materiálu, hmotnosti skla, počtu vrstev a na typu konstrukčního uspořádání vícevrstvých izolačních skel.

Další možností, kterou lze zlepšit akustickou situaci uvnitř staveb jsou zvukově izolační omítky. Stěna omítnutá z obou stran vykazuje určité pružení a proto zvukově izoluje ve všech kmitočtech rovnoměrně. Neprůzvučnost může významně ovlivnit zejména tloušťka omítkové vrstvy, její hmotnost a také materiál. Omítka zlepšuje vzduchovou neprůzvučnost stavebních konstrukcí v poměru, který odpovídá jejímu podílu na plošné hmotnosti. Lepších útlumů potom vždy dosahují vícevrstvé konstrukce, u kterých nejsou tak vysoké plošné hmotnosti nutné. Účinnost omítek jako zvukové izolace rozhodně není tak vysoká, jako je tomu u protihlukových oken (pohybuje se v řádech jednotek decibelů), ale volbou vhodného materiálu a kvalitním provedením můžeme akustickou situaci v obytných budovách a vnitřním chráněném prostoru zlepšit.

## **8. POSOUZENÍ ÚČINNOSTI NPHC BRENS BARRIER V ŽELEZNIČNÍM PROVOZU**

V České republice byly v rámci provozního ověřování vytipovány dva úseky železničních tratí, kde byly u nás vůbec poprvé aplikovány NPHC na tratích SŽDC s. o. V roce 2013 byla konstrukce BRENS BARRIER vybudována na trati Praha Smíchov - Rudná u Prahy v obci Hlubočepy v km 3,524 - 3,738. Druhým místem, kde byla NPHC zřízena je obec Tetčice na železniční trati Brno - Jihlava v km 6,075 - 6,391. Níže bude podrobněji popsáno a vyhodnoceno zejména měření provedené v obci Hlubočepy, které bylo realizováno Výzkumným Ústavem železničním a poskytnuto pro účely této diplomové práce. Současně zde probíhalo také měření pod záštitou ČVUT v Praze v rámci diplomové práce Ing. Petry Čížkové s názvem Analýza účinnosti nízké protihlukové clony v železniční tratě Hlubočepy - Rudná.

### **8.1 Základní údaje o provedeném měření**

Předmětem zkoušky je provedení autorizovaného měření hluku v jednom řezu na třech měřicích stanovištích v referenční vzdálenosti po obou stranách trati pro ověřené účinnosti nízkých protihlukových clon. Měření bylo realizováno v km 3,64 železniční trati mezi stanicemi Praha-Smíchov a Praha- Hlubočepy v místě, kde byla v průběhu června 2013 realizována protihluková opatření na infrastruktuře v podobě zkušební instalace nízkých protihlukových clon. Přesná poloha měřicích stanovišť byla odsouhlasena zadavatelem a investorem stavby (SŽDC, s.o.).

Celkem byly realizovány dvě měřicí kampaně hluku, z nichž první byla měřicí kampaň před instalací protihlukových bariér (29. a 30. dubna 2013) a druhá po jejich dosazení (9. a 10. července 2013). Metodika měření hluku vychází z ČSN EN ISO 3095 „Železniční aplikace – Akustika – Měření hluku vyzařovaného kolejovými vozidly“ a je v souladu se směrnicí 2001/16 EC – Interoperabilita transevropského konvenčního železničního systému, subsystému „Konvenční kolejová vozidla“, oblasti působnosti „Hluk“. Měření provedl Výzkumný ústav železniční pod vedením Ing. Jana Hlaváčka.

### **8.2 Údaje o použitém zařízení, popis měřicího řetězce**

Pro realizaci a zpracování měření byly použity přístroje uvedené v následující tabulce.

Tabulka č. 6 - přístroje použité pro realizaci měření <sup>[10]</sup>

Název přístroje	Typ	Výrobce	Výrobní číslo	Rok výroby
Měřicí mikrofon	4189	Brüel & Kjaer	2169110	1999
Měřicí mikrofon	4189	Brüel & Kjaer	2556134	2006
Měřicí mikrofon	4155	Brüel & Kjaer	1507972	1990
Akustický kalibrátor	4231	Brüel & Kjaer	2610259	2008
PULSE LAN-XI module	3050-A-6/0	Brüel & Kjaer	2831-100637	2011
PULSE LAN-XI module	3050-A-6/0	Brüel & Kjaer	3050-105746	2011
Notebook ASUS	B 1500	Taiwan	NOO6280/0102	2000

V souladu s předepsanou metodikou a na základě požadavku investora byla měřena tři měřicí místa. Jedno místo ve vzdálenosti 7,5 m od středu koleje, ve výšce 1,2 m nad temenem kolejnice. Druhé místo na opačné straně koleje ve vzdálenosti 7,5 m od středu koleje a výšce taktéž 1,2 m nad temenem kolejnice. Tato měřicí místa tedy byla umístěna symetricky po obou stranách trati. Pro přesnější posouzení účinnosti protihlukového opatření v podobě nízkých protihlukových bariér pak bylo měřeno ještě třetí měřicí místo, a to na straně instalace protihlukových stěn ve vzdálenosti 7,5 m od středu koleje a ve výšce 0,3 m nad temenem kolejnice.

Předepsaný deskriptor pro zkoušky průjezdu ustálenou rychlostí podél měřicího stanoviště podle TSI je ekvivalentní kontinuální A-vážená hladina akustického tlaku  $L_{pAeq,T}$ . Tato hladina, v decibelech je dána rovnicí:

$$L_{pAe,T} = 10 * \log \left[ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right]$$

$t_2 - t_1$  - je čas  $T$  (v tomto případě je čas  $T$  min 10 - 60 s), po který probíhá výpočet

$p_A$  - je A-vážený akustický tlak v pascálech

$p_0$  - je referenční akustický tlak 20  $\mu Pa$  podle ISO 1683

Energetická střední hodnota naměřených hodnot byla vypočtena podle následujícího vztahu:

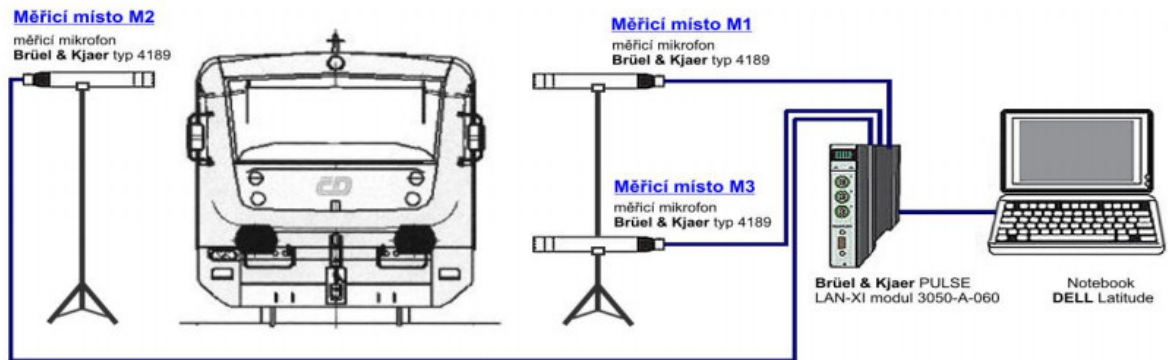
$$L_{Aeq,T} = 10 * \log \frac{\sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_i}}{n}$$

Pro lepší porovnatelnost naměřených výsledků byly naměřené a vypočtené hodnoty korigovány na rychlost 60 km/h, podle následujícího vztahu:

<sup>10</sup> HLAVÁČEK, Ing. Jan. 2013. *Technická zpráva: Efektivita NPHC BRENS BARRIER na trati Praha - Rudná*. Výzkumný ústav železniční a. s

$$L_{pAeq,T}(60 \text{ km/h}) = L_{pAeq,T}(v) - 30 * \log(v/60 \text{ km/h})$$

Schéma zapojení měřicího a vyhodnocovacího řetězce je znázorněno na následujícím obrázku.



Obrázek č. 35 – schéma zapojení měřicího a vyhodnocovacího řetězce <sup>[10]</sup>

Přístrojové vybavení bylo ve třídě 1. podle IEC 804 s frekvenční analýzou v třetino - oktávovém pásmu u hlavních měřicích míst. V měřicích místech M1 a M2 byly použity kondenzátorové měřicí mikrofony Brüel & Kjaer typ 4189 pro podmínky volného pole, průměr 1/2", citlivost 50 mV/Pa, polarizační napětí 0 V a frekvenční rozsah 6 Hz - 20 kHz pro elektroakustická měření. V měřicím místě M3 pak byl použit kondenzátorový měřicí mikrofon Brüel & Kjaer typu 4155 pro podmínky volného pole, průměr 1/2", citlivost 50 mV/Pa, polarizační napětí 0 V a frekvenční rozsah 4 Hz - 16 kHz pro elektroakustická měření.

Pro zpracování a vyhodnocení signálu byla použita platforma PULSE od firmy Brüel & Kjaer, která zpracovává akustické signály do všech relevantních akustických veličin, včetně frekvenční pásmové analýzy a s možností dalšího zpracování.

### 8.3 Podmínky měření a popis měřicího stanoviště

Jak již bylo zmíněno, byly realizovány celkem dvě měřicí kampaně. Klimatické podmínky při 1. měřicí kampani před instalací NPHC jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka č. 7 - klimatické podmínky při 1. měřicí kampani <sup>[10]</sup>

Datum	Hodina	Počasí	Teplota [°C]	Vlhkost [%]	Vítr [m/s]	Atm. tlak [hPa]
29.4.2013	11:30	zataženo	14	69	0 – 0,5	995
29.4.2013	12:30	zataženo	15	66	0 – 0,3	995
29.4.2013	13:30	zataženo	15	66	0 – 0,2	995
29.4.2013	14:30	zataženo	14	67	0	995
29.4.2013	15:30	zataženo	14	69	0 – 0,3	996
30.4.2013	9:30	jasno	14,7	63,2	0	999,7
30.4.2013	10:30	oblačno	15,9	60	0 – 0,5	998,2
30.4.2013	11:30	oblačno	16,3	57,2	0	997,2
30.4.2013	12:30	zataženo	16,6	57,5	1,7	996,8
30.4.2013	13:30	zataženo	17,3	58	1	996,2
30.4.2013	14:30	zataženo	17,1	61,5	1,3	995,3
30.4.2013	15:30	zataženo	18,3	58	1,5	994,4

Klimatické podmínky při 2. měřicí kampani po instalaci NPHC jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka č. 8 - klimatické podmínky při 2. měřicí kampani <sup>[10]</sup>

Datum	Hodina	Počasí	Teplota [°C]	Vlhkost [%]	Vítr [m/s]	Atm. tlak [hPa]
9.7.2013	9:30	jasno	20	66	0	998
9.7.2013	10:30	jasno	23	52	0	996
9.7.2013	11:30	skorojasno	24	47	0,5	994
9.7.2013	12:30	polojasno	25	46	1	993
9.7.2013	13:30	polojasno	24,8	43,8	0	991,6
9.7.2013	14:30	skorojasno	26	41	0	989
10.7.2013	11:00	jasno	24	52	0	985,4
10.7.2013	12:00	skorojasno	25,1	47,2	1	985,1
10.7.2013	13:00	polojasno	25	47	0,5	984
10.7.2013	14:00	polojasno	26	46	1,5	982
10.7.2013	15:00	polojasno	26	45	0	981

Kolejový rošt v zájmovém úseku je tvořen kolejnicemi tvaru S49 na betonových pražcích SB8 s žebrovým tuhým upevněním. Železniční trať je normálního rozchodu 1435 mm a tloušťka šterkového lože je cca 50 cm. Měřicí body byly umístěny v km 3,640, kde se trať nachází v levostranném oblouku o poloměru  $R = 303$  m s převýšením  $D = 95$  mm. Maximální traťová rychlost je 70 km/hod.

### Umístění měřících mikrofونů

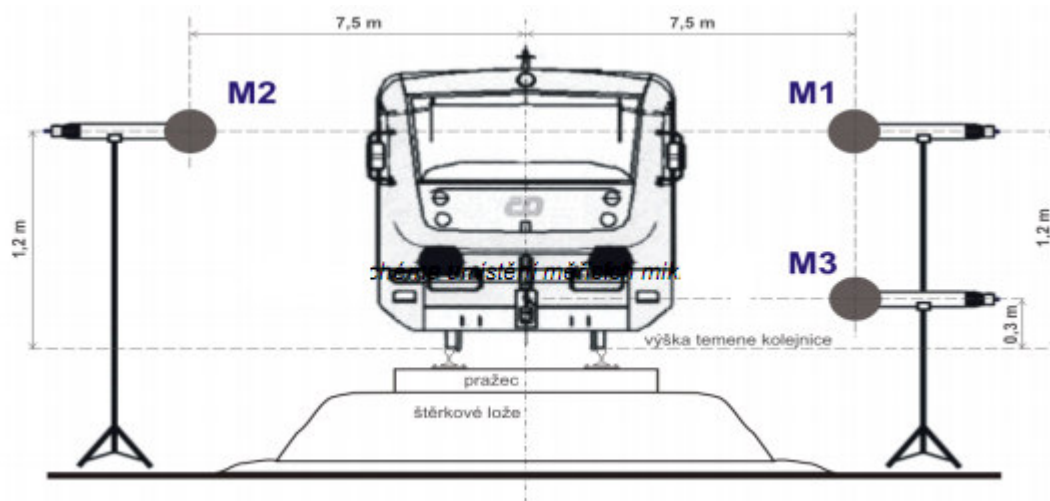
Měřicí místo M1 - Mikrofon byl umístěn ve výšce 1.2 m nad temenem kolejnice a ve vzdálenosti 7.5 m od středu koleje.

Měřicí místo M2 - Mikrofon byl umístěn ve výšce 1.2 m nad temenem kolejnice a vzdálenosti 7.5 m od středu koleje na opačné straně koleje než M1.



Měřicí místo M3 - Mikrofon byl umístěn ve výšce 0,3 m nad temenem kolejnice a vzdálenosti 7,5 m od středu koleje na stejné straně koleje jako M1.

Rozmístění měřících mikrofonů bylo totožné v obou měřících kampaních podle schématu na obrázku č. 36.



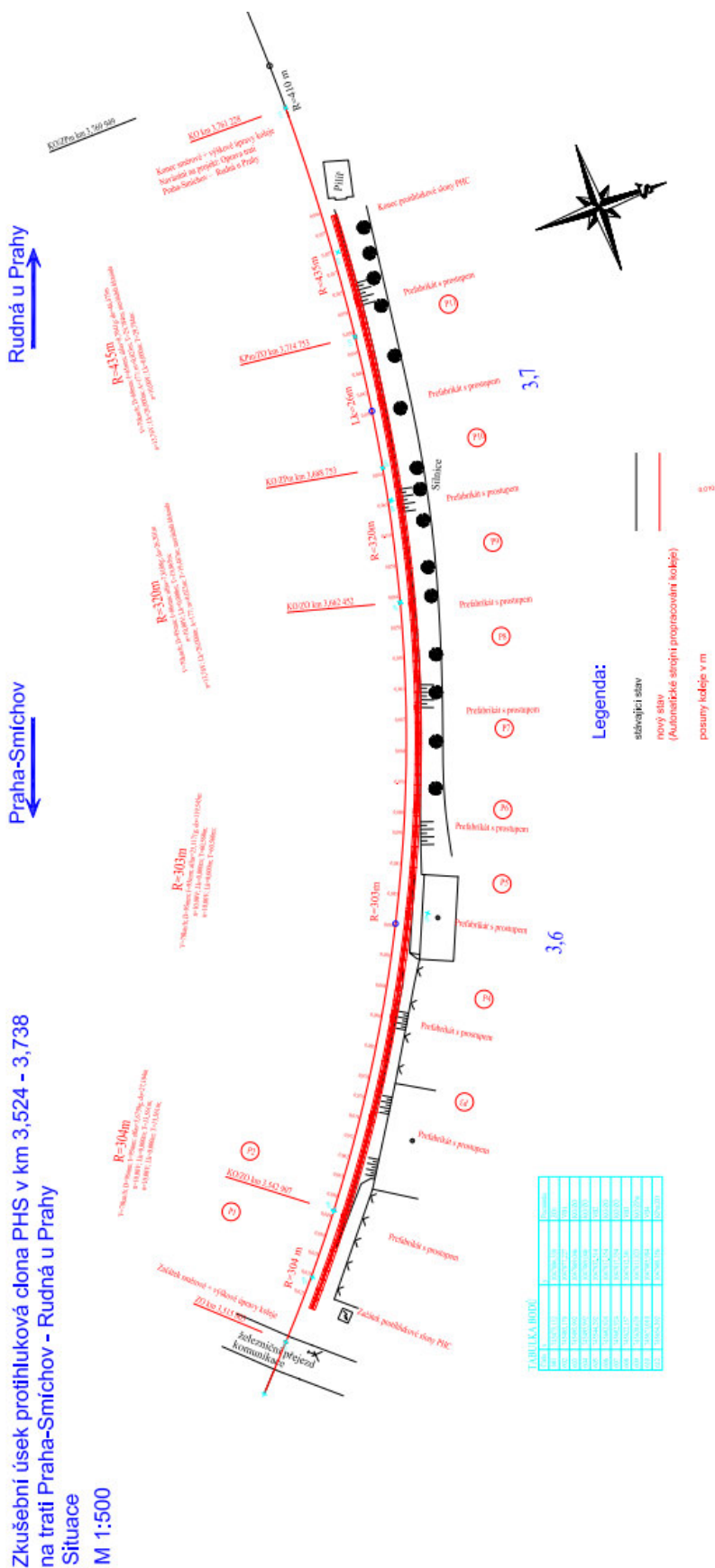
Obrázek č. 36 – rozmístění měřících mikrofonů <sup>[10]</sup>

Pro lepší přehlednost je umístění měřících míst znázorněno ještě ve fotomapě na následujícím obrázku č. 37.



Obrázek č. 37 – umístění měřících míst ve fotomapě <sup>[10]</sup>

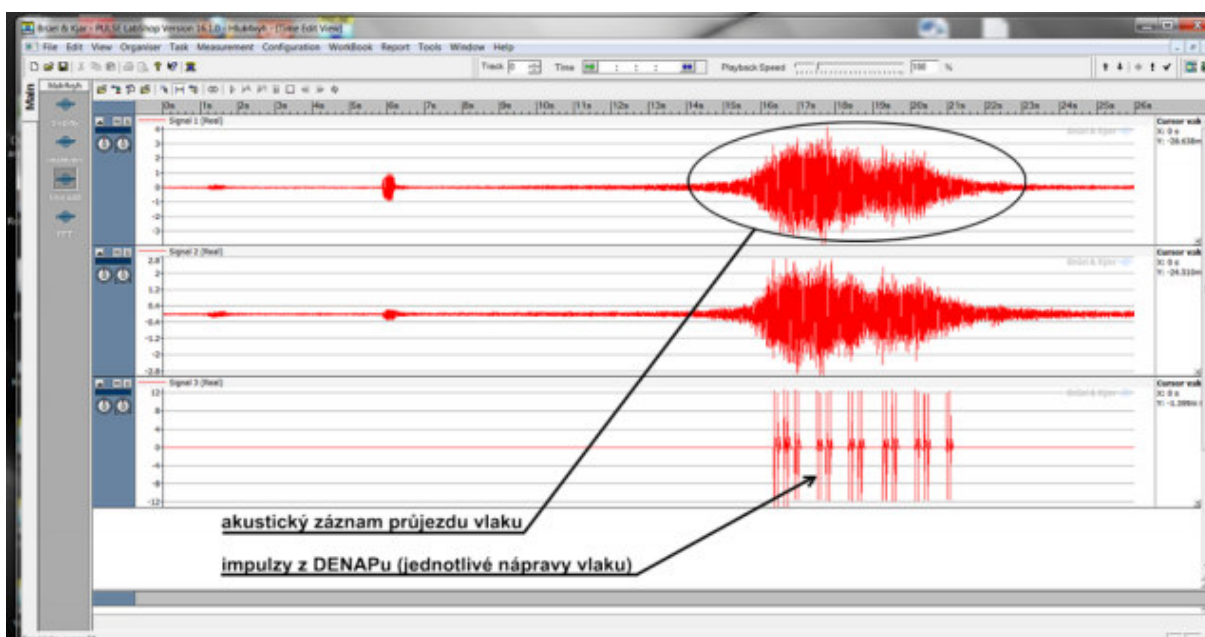
Nízká protihluková clona byla vybudována po pravé straně trati ve vzdálenosti 1,73 m od osy koleje a výšce 0,73 m nad TK. Její umístění dle projektové dokumentace je patrné na obrázku č. 38. Příčný řez a fotografie jsou znázorněny na obrázku č. 28 a 32 v kapitole č. 7.



Obrázek č. 38 – situace umístění NPHC a úprav GPK v úseku trati Smíchov - Rudná  
(zdroj: projektová dokumentace společnosti Viamont DSP a.s., srpen 2012)

## 8.4 Zpracování naměřených veličin

Při měření byly záznamy z měřicích míst M1, M2 a M3 prostřednictvím platformy PULSE – modulu LAN-XI uloženy na pevném disku notebooku DELL. Následné zpracování (např. ošetření A - váženým filtrem) a vyhodnocení získaných dat se provádí opět pomocí platformy PULSE, která je pomocí specializovaného software Brüel & Kjaer LabShop a jeho komponent ovládána z notebooku. Finální vyhodnocená data se po zpracování opět ukládají na pevný disk notebooku.



Obrázek č. 39 – ukázka vyhodnocování časového záznamu zkoušky<sup>[10]</sup>

Na předcházejícím obrázku je příklad vyhodnocení výsledků. Z celkového záznamu průjezdu měřené soupravy je na základě impulzů ze zařízení DENAP (optická čidla zachycující průjezdy jednotlivých náprav vlaku) vybrán relevantní úsek pro výpočet a data z takto vymezeného úseku jsou následně v systému PULSE ošetřena potřebnými filtry a vyhodnocena.

Naměřená data jsou uvedena v tabulkách výsledků. Výsledky v tabulkách jsou uvedeny po ošetření.

## 8.5 Výsledky měření

Pro možnost objektivního posouzení efektivity protihlukových opatření standardně při vyhodnocování výsledků měření hlukových emisí plynoucích ze železničního provozu dělíme výsledky měření do kategorií dle typu zaznamenávaných projíždějících vlaků. Vzhledem k tomu, že na trati Praha – Rudná – Beroun, kde byla realizována všechna řešená měření, jezdily pouze jednotky řady 814 „Regionova“, patřící do Kategorie 5 - Motorové jednotky, není v následujících přehledech dále označení kategorie zmiňováno. Pro realizaci měření bylo po dohodě s investorem vytipováno měřicí stanoviště v km 3.64, které se nachází asi 500 m před zastávkou Praha - Hlubočepy ve směru od ŽST Praha - Smíchov.

V obou kampaních bylo provedeno 30 měření (15 měření ve směru na Prahu a 15 měření ve směru na Rudnou. V kampani č. 1 (29. a 30. dubna 2013 - před instalací NPHC) měření probíhalo první den od 11:23 hodin do 16:05 hodin a druhý den 9:26 hodin do 15:35 hodin. Doba průjezdu soupravy byla zaznamenána v rozmezí od 1,20 do 1,49 sekund a rychlost jízdy vlaku se pohybovala v rozmezí od 52,3 do 65,4 km/hod. Vzhledem k rozsahu měření zde budou uvedeny zprůměrované výsledky měření realizovaných v obou kampaních.

Tabulka č. 9 - zprůměrované výsledky měření z 1. kampaně před instalací NPHC <sup>[10]</sup>

Směr	hluk z M1	hluk z M2	hluk z M3	hluk z M1	hluk z M2	hluk z M3
	Energetický průměr [dB(A)]			L <sub>sec</sub> [dB(A)] - normováno na 60 km/h		
Rudná u Prahy	85.30	88.28	85.72	85.57	88.55	85.98
Praha-Smíchov	85.42	88.37	85.72	85.86	88.82	86.16

V kampani č. 2 (9. a 10. července 2013 - po instalaci NPHC) měření probíhalo první den od 9:24 hodin do 16:05 hodin a druhý den 11:23 hodin do 15:35 hodin. Doba průjezdu soupravy byla zaznamenána v rozmezí od 1,18 do 1,49 sekund a rychlost jízdy vlaku se pohybovala v rozmezí od 52,8 do 66,6 km/hod.

Tabulka č. 10 - zprůměrované výsledky měření z 2. kampaně po instalaci NPHC <sup>[10]</sup>

Směr	hluk z M1	hluk z M2	hluk z M3	hluk z M1	hluk z M2	hluk z M3
	Energetický průměr [dB(A)]			L <sub>sec</sub> [dB(A)] - normováno na 60 km/h		
Rudná u Prahy	77.32	88.72	76.46	77.33	88.73	76.46
Praha-Smíchov	77.34	89.21	76.50	77.56	89.43	76.72

### 8.5.1 Vyhodnocení a porovnání naměřených výsledků

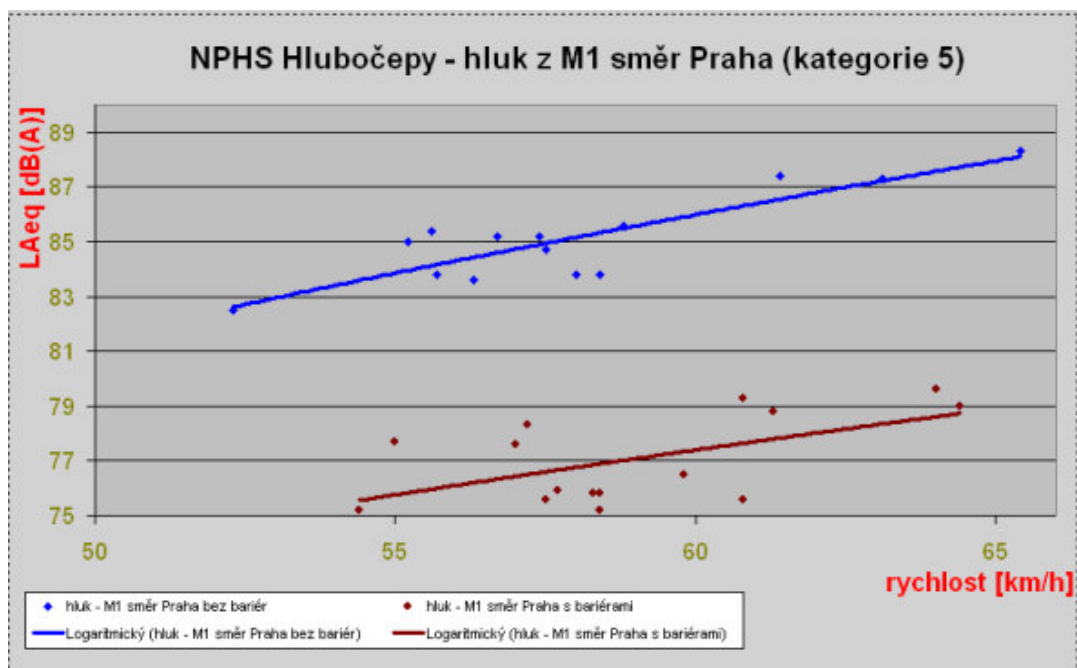
Cílem realizace měřicích kampaní bylo vyhodnotit efektivitu provedeného protihlukového opatření a kvantifikovat útlum celkových hlukových emisí. Pro dobrý přehled o účinnosti realizovaného protihlukového opatření byly samostatně posuzovány výsledky měření pro jednotlivé měřicí mikrofony a samostatně pro každý směr jízdy vlaků. Vypočtené, zprůměrované a na jednotnou rychlost 60 km/h přepočtené výsledky všech měření pro jednotlivá měřicí místa a konečné hodnoty útlumu hlukových emisí pro jednotlivá měřicí místa přehledně vyobrazuje následující tabulka.

Tabulka č. 11 - porovnání zprůměrovaných výsledků obou kampaní přepočtených na rychlost 60 km/hod <sup>[10]</sup>

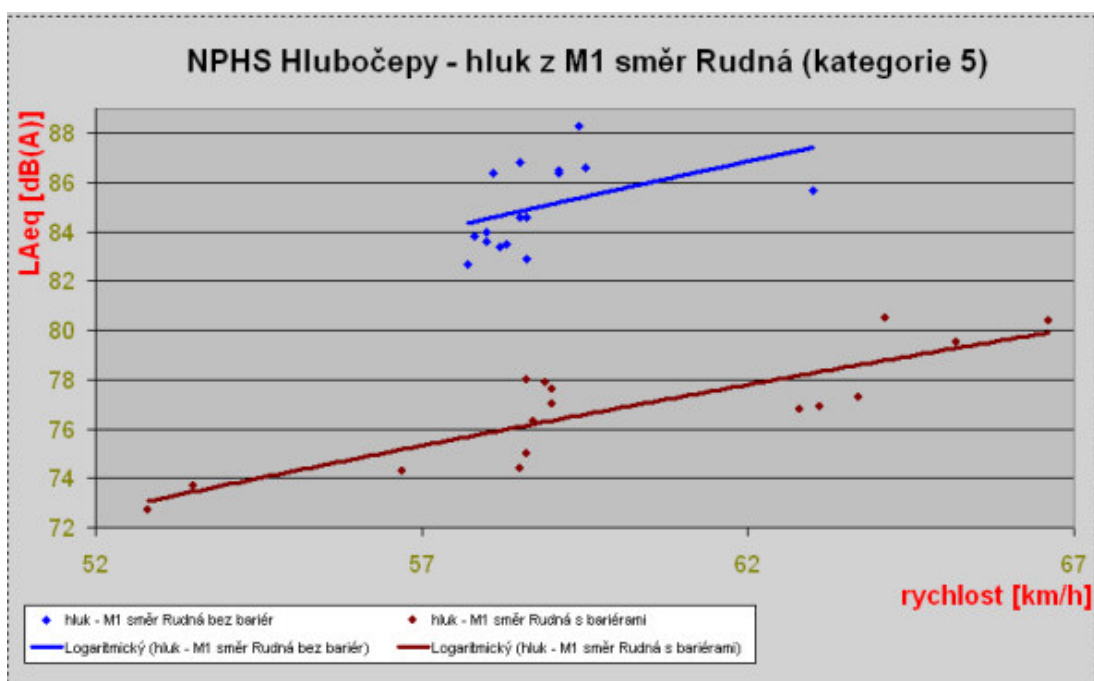
	M1	M2	M3
<b>Výchozí stav - směr Praha:</b> .....	<b>85.86</b>	<b>88.82</b>	<b>86.16</b>
<b>Konečný stav - směr Praha:</b> .....	<b>77.56</b>	<b>89.43</b>	<b>76.72</b>
rozdíl hluk. emise: .....	<b>-8.30</b>	<b>+0.61</b>	<b>-9.44</b>
<b>Výchozí stav - směr Rudná:</b> .....	<b>85.57</b>	<b>88.55</b>	<b>85.98</b>
<b>Konečný stav - směr Rudná:</b> .....	<b>77.33</b>	<b>88.73</b>	<b>76.46</b>
rozdíl hluk. emise: .....	<b>-8.24</b>	<b>+0.18</b>	<b>-9.52</b>

Pro lepší názornost byly naměřené a vypočítané hodnoty jednotlivých průjezdů vlaků také vyneseny do grafů závislosti hlukových emisí na rychlosti vlaku. Jednotlivými body pak byla proložena křivka, která podává dobrý obraz akustických hladin v závislosti na rychlosti pro každou měřicí kampaň, jednotlivá měřicí místa a jednotlivé směry jízdy.

Grafy na následujících obrázcích č. 40 a č. 41 znázorňují závislost naměřených hodnot hlukových emisí na rychlosti pro vlaky kategorie 5 (motorové jednotky) pro mikrofón M1 (na straně protihlukových clon ve výšce 1,2 m nad temenem kolejnice) ve směru na Prahu (Obr. 40) a na Rudnou (Obr. 41), a to současně pro obě měřicí kampaně. Z grafu je velmi dobře patrný významný tlumicí efekt realizovaného protihlukového opatření, který byl pro mikrofón M1 a směr jízdy na Prahu výpočtem vyčíslen na průměrnou hodnotu 8.30 dB(A) a pro směr na Rudnou na průměrnou hodnotu 8.24 dB(A).



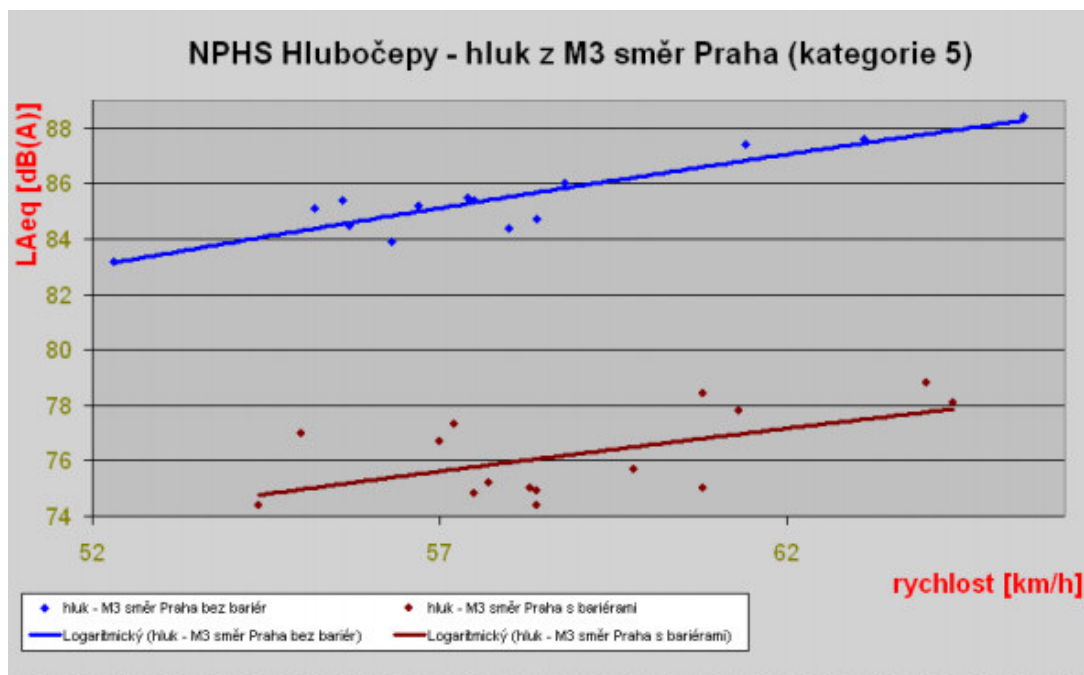
Obrázek č. 40 – graf závislosti hlukových emisí na rychlosti před a po dosazení NPHC (mikrofon M1 na straně bariéry ve výšce 1,20 m nad TK - směr Praha) <sup>[10]</sup>



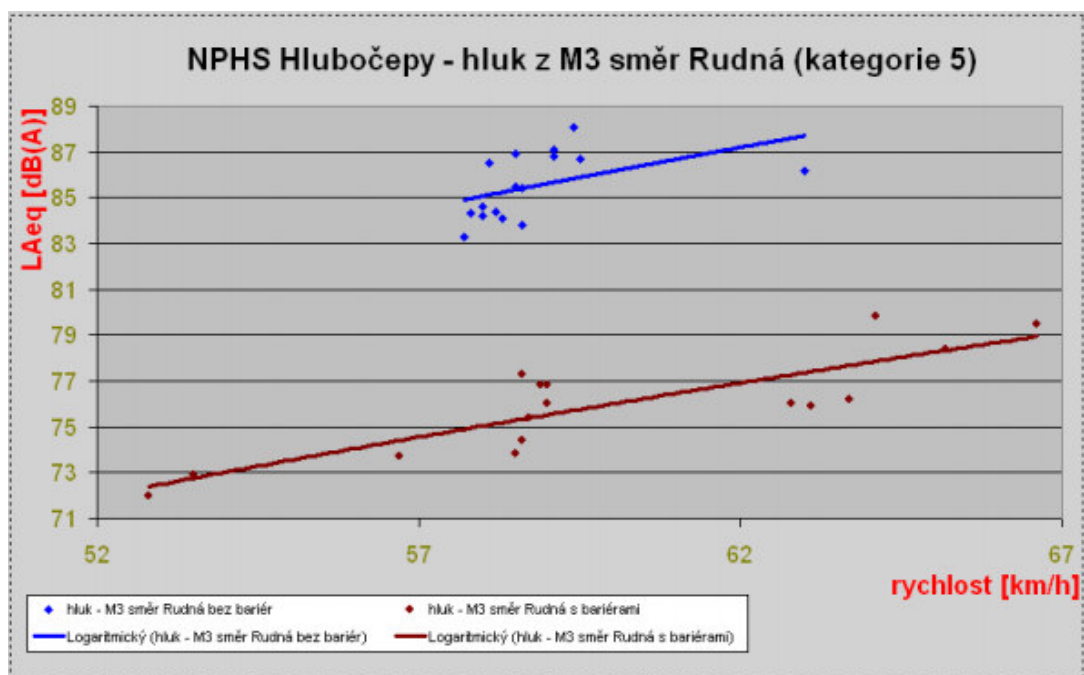
Obrázek č. 41 – graf závislosti hlukových emisí na rychlosti před a po dosazení NPHC (mikrofon M1 na straně bariéry ve výšce 1,20 m nad TK - směr Rudná) <sup>[10]</sup>

Grafy na dalších obrázcích č. 42 a 43 znázorňují závislost naměřených hodnot hlukových emisí na rychlosti pro mikrofon M3 (na straně protihlukových bariér ve výšce 0,3 m nad temenem kolejnice) ve směru na Prahu (Obr. 42) a na Rudnou (Obr. 43), a to současně pro obě měřicí kampaně. Z vyobrazeného grafu je opět velmi dobře patrný významný tlumící

efekt realizovaného protihlukového opatření, který byl pro mikrofon M3 a směr jízdy na Prahu výpočtem vyčíslen na průměrnou hodnotu 9.44 dB(A) a pro směr na Rudnou u Prahy na průměrnou hodnotu 9.52 dB(A). Vzhledem k tomu, že mikrofon byl umístěn ve výšce 0.3 m, kdy byla protihluková stěna umístěna přímo mezi mikrofonem a největším zdrojem hluku, tedy pojezdem motorových jednotek, jde o nejvyšší dosaženou hodnotu útlumu.

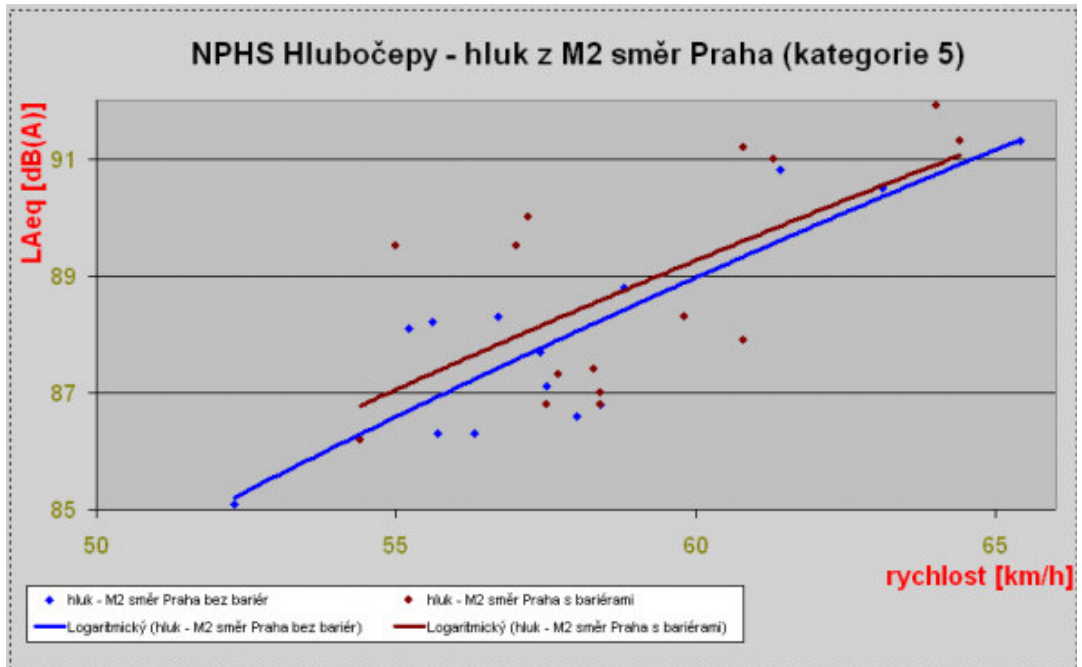


Obrázek č. 42 – graf závislosti hlukových emisí na rychlosti před a po dosažení NPHC (mikrofon M3 na straně bariéry ve výšce 0,30 m nad TK - směr Praha) <sup>[10]</sup>

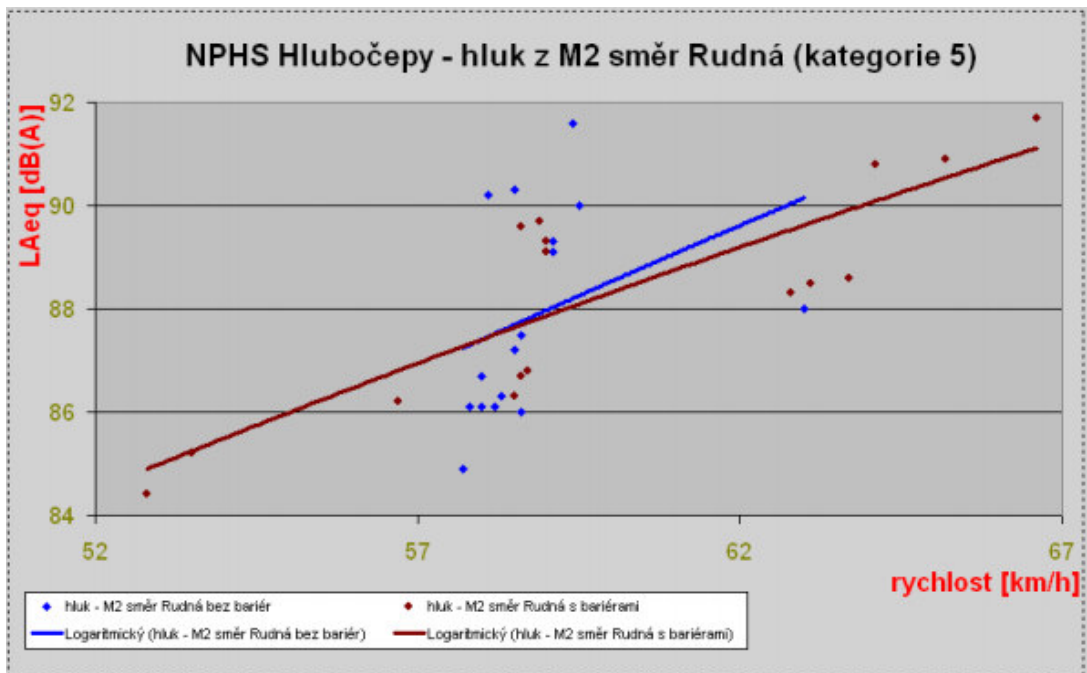


Obrázek č. 43 – graf závislosti hlukových emisí na rychlosti před a po dosažení NPHC (mikrofon M3 na straně bariéry ve výšce 0,30 m nad TK - směr Rudná) <sup>[10]</sup>

Poslední dvojice grafů na obrázcích č. 44 a č. 45 znázorňuje závislost naměřených hodnot hlukových emisí na rychlosti pro mikrofon M2 (na opačné straně koleje než protihlukové bariéry ve výšce 1,2 m nad temenem kolejnice) ve směru na Prahu (Obr. 44) a na Rudnou (Obr. 45), a to opět současně pro obě měřicí kampaně.



Obrázek č. 44 – graf závislosti hlukových emisí na rychlosti před a po dosazení NPHC (mikrofon M2 na opačné straně než bariéry ve výšce 1,20 m nad TK - směr Praha) <sup>[10]</sup>



Obrázek č. 45 – graf závislosti hlukových emisí na rychlosti před a po dosazení NPHC (mikrofon M2 na opačné straně než bariéry ve výšce 1,20 m nad TK - směr Rudná) <sup>[10]</sup>



Z vyobrazených grafů je patrné zachování hladiny produkovaných hlukových emisí, resp. její zanedbatelný nárůst, který je způsoben odrazem zvukových vln od vnitřní stěny protihlukové bariéry. Tato hodnota navýšení byla pro mikrofón M2 a směr jízdy na Prahu výpočtem vyčíslena na průměrnou hodnotu 0.61 dB(A) a pro směr na Rudnou u Prahy na průměrnou hodnotu 0.18 dB(A).

Z výše uvedených naměřených výsledků jednoznačně vyplývá, že instalací nízkých protihlukových clon BRENS BARRIER došlo ke zlepšení hlukové situace v podobě snížení hlukových emisí o více než 8 dB(A). Efektivitu tohoto protihlukového opatření tedy můžeme hodnotit jako velmi dobrou, srovnatelnou se standardní protihlukovou stěnou.

### **8.5.2 Porovnání s výsledky měření v Tetčicích**

V případě druhého zkušebního úseku v Tetčicích byl měřením prokázán vložný útlum pouze nízkých protihlukových clon 5,50 dB(A) pro kategorie vozidel 1 a 2 (osobní vlaky a rychlíky vybavené pouze špalíkovou, nebo špalíkovou a kotoučovou brzdou), respektive 6,70 dB(A) pro kategorii 5 (motorové jednotky). Nižší útlum ve srovnání s měřením v Praze Hlubočepch je způsoben zejména větší vzdáleností NPHC od osy koleje (2,0 m), která byla zvětšena z důvodu občasného průjezdu vlaků s překročenou ložnou mírou. Vzdálenost od osy koleje je pro tento druh protihlukových opatření významným ovlivňujícím faktorem.

Svůj vliv na hlukové emise měla také daleko horší akustická drsnost povrchu kolejnic, než byla v Praze Hlubočepch. Jejich přebroušením bychom pravděpodobně získali ještě cca 2 dB(A) útlumu navíc. Z výsledků je patrné, že v obou místech realizace zkušebního provozu NPHC bylo dosaženo srovnatelných výsledků. Výsledky zkušebního provozu v Tetčicích jsou vzhledem k různorodějšímu složení vozového parku důvěryhodnější. Dále bylo prokázáno, že i po opakování měřících kampaní po určité době zůstaly akustické vlastnosti NPHC téměř beze změny.

## **8.6 Porovnání měření "in situ" versus výpočtové modelování**

Nezávisle na měření VÚŽ uvedeného v kapitole 8.5 v Hlubočepch probíhalo také měření pod záštitou ČVUT v Praze v rámci diplomové práce Ing. Petry Čížkové s názvem Analýza účinnosti nízké protihlukové clony v železniční tratě Hlubočepy - Rudná. Byla zde zvolena

lehce odlišná metodika měření, ale ve výsledku bylo dosaženo srovnatelných hodnot, které se lišily maximálně o 1,50 dB(A).

V rámci této práce byl také vytvořen model hlukové situace v softwaru LimA (dle metody RMR), který měl sloužit zejména za účelem porovnání účinnosti NPHC s klasickou vysokou protihlukovou stěnou. Základní model v softwaru LimA byl vytvořen bez protihlukových opatření. Podkladem pro výpočet 3D modelu byla digitální mapa ZABAGED, která byla upravena dle skutečného stavu. V modelu byla nadefinována NPHC o výšce 0,73 m nad TK umístěná na vnější straně oblouku ve vzdálenosti 1,73 m od osy koleje. V SW LimA nelze přesně vymodelovat parabolický oblouk, který má NPHC. Z vytvoření maximálně podobných vlastností clony byl namodelován betonový prvek se zalomenou stříškou směrem k trati. Clona byla v SW nadefinována jako "absorbing barrier" s parametry odrazivosti  $R = 0,35$  a akustické pohltivosti  $A = 0,65$ . Jelikož SW nerozlišuje směr průjezdu vlakové soupravy, byly porovnávány hodnoty nerozdělené ve směru, tedy celkové ekvivalentní hladiny akustického tlaku. V modelu byly pro porovnání definovány měřící body MB1 a MB2 ve shodných místech jako u skutečného měření. V měřícím bodě MB2 vyšly vlivem překážek v okolí rozdílné hodnoty z jednotlivých měření a docházelo tak k šíření akustické energie v ne zcela volném prostoru. Z tohoto důvodu byl proveden přepočítání naměřených hodnot (poslední sloupec následující tabulky), jehož hodnota je již blízká hodnotám naměřeným v terénu.

Tabulka č. 10 - porovnání dat naměřených v terénu se simulací v SW LimA <sup>[11]</sup>

Měření v terénu X Data ze softwaru LimA	MB1 7,5 m od osy koleje 0,5 m nad TK	MB2 6,7 m od osy koleje 1,2 m nad TK	MB1 - LimA 7,5 m od osy koleje 0,5 m nad TK	MB2 LimA 6,7 m od osy koleje 1,2 m nad TK	MB2 přepočít 6,7 m od osy koleje 1,2 m nad TK
V obou směrech bez NPHC	79,4	84,0	80,7	81,1	84,1
V obou směrech s NPHC	72,9	84,4	73,5	81,1	
rozdíl hlukové emise	-6,5	0,4	-7,2	0,0	

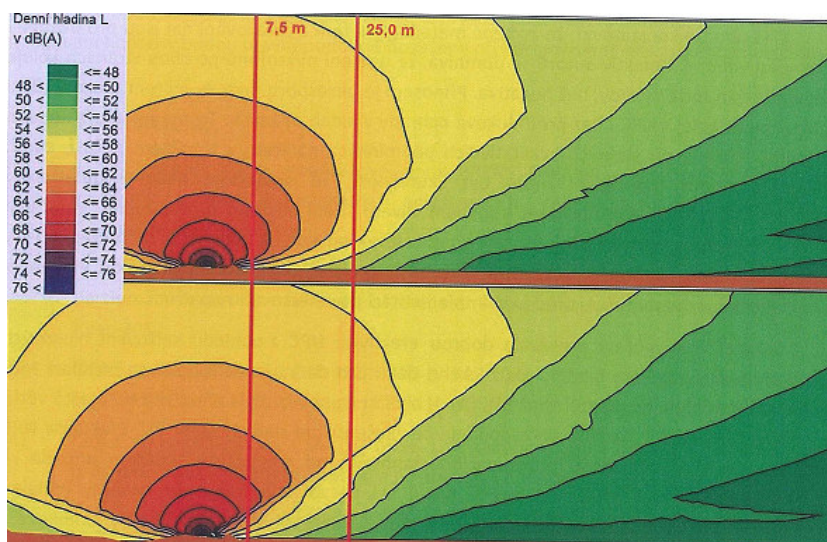
Z porovnání hodnot v tabulce č. 10 je patrná odchylka neměřených hodnot od hodnot vypočtených v SW LimA do 0,70 dB. Nejistota měření byla odhadnuta na 1,80 dB. Zjištěná odchylka tedy zcela spadá do nejistot měření a můžeme tvrdit, že byl vytvořen věrohodný

<sup>11</sup> ČÍŽKOVÁ, Petra. 2013. *Diplomová práce: Analýza účinnosti NPHC v úseku železniční tratě Hlubočepy - Rudná*. Praha [cit. 2015]

model řešeného území a že konstrukce NPHC v SW LimA lze namodelovat i přes omezení, kterým je nemožnost přesně nadefinovat parabolický oblouk.

Též v případě zkušebního úseku NPHC v Tetčicích byl souběžně s měřením sestaven akustický model. K jeho vytvoření byl použit německý program SoundPlan. Digitální model terénu byl vytvořen rovněž prostřednictvím datové sady ZABAGED. Na základě místního šetření bylo provedeno zadání jednotlivých geosouborů, jako jsou pozemní objekty, liniové stavby i samotná NPHC. Zdroj hluku byl definován na základě znalosti grafikonu vlakové dopravy, typu a vozové skladby jednotlivých vlaků.

Pro výpočet byl zvolen modle SHALL 03. Do modelu byly do míst mikrofonů, tj 7,50 m a 25,0 m od osy koleje vloženy přijímače. Nejnižší přijímač byl umístěn na terén, což odpovídá přibližně 2,40 m pod úrovní TK. Další přijímače byly vrstveny v kroku 1,50 m. Celkem bylo vytvořeno 10 přijímačů nad sebou. Výsledky modelování byly kalibrovány prostřednictvím údajů získaných z měření in situ. Pro tento účel byla vytvořena navíc dvojice přijímačů odpovídající přesné poloze mikrofonů z měření. Bylo dosaženo minimálních rozdílů na základě měření vypočtenými a modelovanými ekvivalentními váženými hladinami akustického tlaku (cca do 1 dB). Finálním výstupem modelování jsou pak tabulky, hlukové řezy a mapy, které poskytují prostorové informace o vlivu NPHC na šíření hluku ze železniční dopravy. <sup>[12]</sup>



Obrázek č. 46 – hlukový řez v SW Soundplan, Tetčice km 6,130, porovnání bez protihlukového opatření (část nahoře) a po osazení NPHC BRENS barrier (část dole) <sup>[12]</sup>

<sup>12</sup> *Konference rychlost s tichostí: Sborník příspěvků*. 2015. [cit. 2015]. ISBN 978-80-87994-28-3.

## 9. POSOUZENÍ ÚČINNOSTI KOLEJOVÝCH ABSORBÉRŮ HLUKU APLIKOVANÝCH NA PEVNÉ JÍZDNÍ DRÁZE

Kolejové absorbéry hluku patří k dalšímu celkem mladému prvku protihlukových opatření. Počátek vývoje kolejových absorbérů v ČR byl zahájen v roce 2006. Kolejové absorbéry testované u nás vycházejí ze dvou materiálových bází, z mezerovitého betonu nebo z recyklované pryže s alternativou sendvičového uspořádání tvárnice beton/pryž (viz obrázek č. 18). V roce 2014 bylo společností SŽDC v rámci projektu ověřování nových technologií rozhodnuto o vybudování zkušebních úseků s kolejovými absorbéry hluku na úseku pevné jízdní dráhy (PJD) systému RHEDA 2000 na železničním koridoru v úseku Rudoltice – Třebechovice v Čechách. V rámci stavby, která se uskutečnila na přelomu roku 2014 a 2015 bylo pro posouzení účinnosti realizováno také měření hluku, které proběhlo ve dvou kampaních, před a po jejím dokončení.

### 9.1 Typy použitých absorbérů

V rámci zkušebního provozu byly do traťové koleje s PJD vloženy dva typy kolejových absorbérů – byly zřízeny dva zkušební úseky v délkách po 150 m. V prvním úseku byl vybudován kolejový absorbér BRENS typu BA z mezerovitého betonu a ve druhém úseku typu BA – S z recyklovaného syntetického materiálu.



Obrázek č. 47 – kolejový absorbér typ BA v prvním zkušebním úseku [12]



Obrázek č. 48 – kolejový absorbér typ BA-S ve druhém zkušebním úseku <sup>[12]</sup>

Absorbéry jsou složeny z dílců délky 3 x osová vzdálenost pražců (3 x 650 mm) se styčnou spárou šířky 50 mm. Soustavy dílců jsou v koleji umístěny co nejtěsněji k průjezdnému profilu a vzájemně jsou v koleji fixovány prostřednictvím pryžových stabilizátorů, které vytvářejí trvalé mechanické předpětí bránící jejich pohybu zapříčiněnému aerodynamickými účinky rychle jedoucích vlaků a zároveň snižují emise hluku ze stojiny a paty kolejnic. Na vnější straně jsou absorbéry doplněny průběžnou soustavou lomených desek vytvářejících zvukově neprůstupnou clonu prostoru štěrkové přísypávky a současně tvořící rozšíření ložné plochy pro vnější absorbéry. Soustava lomených desek je cca po 10 m přerušena vloženými ocelovými schodišťovými rameny pro možnost bezpečného úniku v případě mimořádné události.

## 9.2 Podmínky měření a popis měřícího stanoviště

Oba zkušební úseky byly vybudovány na 1. tranzitním železničním koridoru dvojkolejně trati v mezistaničním úseku Rudoltice – Třebovice v Čechách ve druhé traťové koleji. Trať je elektrizována stejnosměrnou trakční soustavou 3000 V. V koleji byly zřízeny dva úseky (každý o délce 150 m) s rozdílným typem absorbérů.

- v úseku km 9,641 – km 9,791 – 1. typ absorbérů BA
- v úseku km 9,841 – km 9,991 – 2. typ absorbérů BA-S

Mezi úseky byl vynechán záměrně volný prostor v délce 50 m pro kontrolní měření. Kolej se v řešeném úseku nachází v přímém úseku trati s navazující přechodnicí se vzestupnicí a směrový oblouk s převýšením. Železniční svršek je tvořen pevnou jízdní dráhou RHEDA 2000 s kolejnicemi E60 a pružným upevněním typu Vosloh – systém 300. Traťová rychlost je 160 km/h. Zkušební úseky se nacházejí ve volné krajině mimo intravilán, nejbližší obydlená budova se nachází cca 700 m. Dráha se nachází na samostatném zemním tělese na náspu výšky max. 6 m. Před instalací absorbérů nebylo na stavbě dráhy realizováno žádné protihlukové opatření.

Pro umístění mikrofonů byla zvolena celkem tři místa, všechna byla v podmínkách volného pole na vnější straně koleje. Umístění bylo následující:

- M1 – mikrofon ve výšce 1,20 m nad TK a 7,50 m od osy 2. koleje (bez absorbérů)
- M2 – mikrofon ve výšce 1,20 m nad TK a 7,50 m od osy 2. koleje (BA)
- M3 – mikrofon ve výšce 1,20 m nad TK a 7,50 m od osy 2. koleje (BA-S)

Měřicí stanoviště byla konkrétně zvolena v km 9,816 pro měřicí místo M1 bez absorbérů, v km 9,716 pro měřicí místo M2 s absorbéry typu BA a v km 9,916 pro měřicí místo M3 s absorbéry typu BA-S.



Obrázek č. 49 – rozmístění měřicích stanovišť s mikrofony <sup>[12]</sup>

Pro možnost objektivního posouzení účinnosti kolejových absorbérů bylo měření rozděleno a zaznamenáváno podle následujících kategorií projíždějících železničních vozidel:

- Kategorie 1 – Os vlaky a rychlíky se špalíkovými brzdami (120 km/h)
- Kategorie 2 – Os vlaky a rychlíky se špalíkovými a kotoučovými brzdami (120 km/h)
- Kategorie 3 – Jednotky vybavené pouze kotoučovou brzdou – Leo Expres (140 km/h)
- Kategorie 4 – Nákladní vlaky (80 km/h)
- Kategorie 5a – Motorové jednotky Regionova (80 km/h)
- Kategorie 5b – Motorové jednotky řady 810 (80 km/h)
- Kategorie 5c – Motorové jednotky Stadler 841 (110 km/h)
- Kategorie 8 – Vysokorychlostní jednotky – Pendolino 680 (160 km/h)

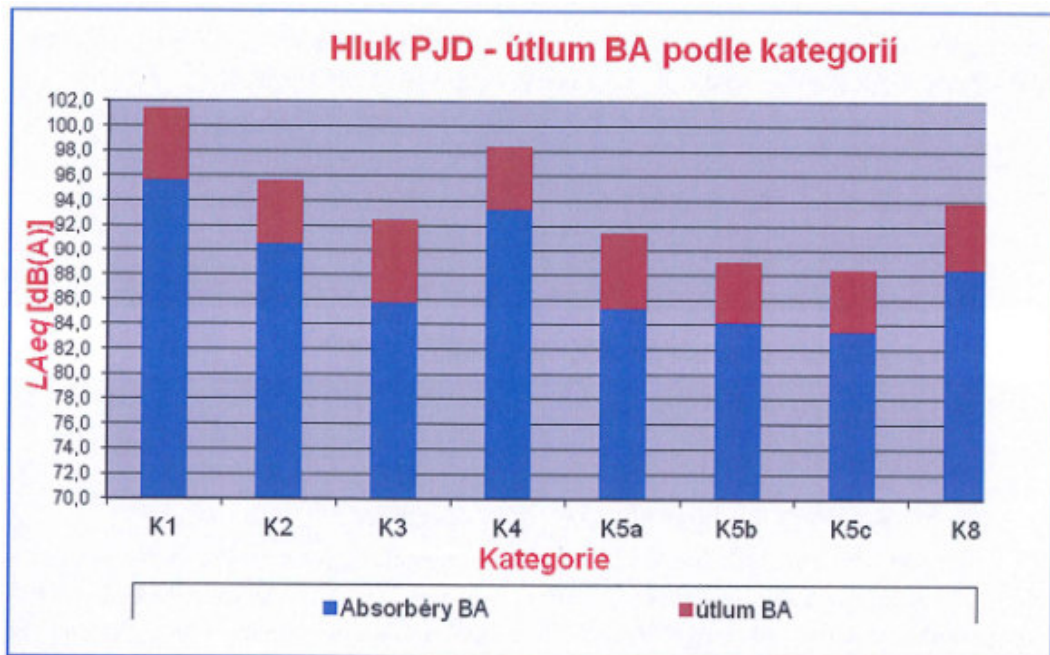
### 9.3 Výsledky měření a jejich vyhodnocení

Měření hlukových emisí proběhlo ve dvou kampaních. První kampaň byla realizována na podzim roku 2014, před aplikací absorbérů, čili bez jakéhokoliv protihlukového opatření. Druhá měřicí kampaň proběhla na počátku roku 2015, tedy po dosazení kolejových absorbérů do koleje. Ze všech naměřených hodnot byl vypočten energetický průměr, jednotlivé měřicí mikrofony byly posuzovány samostatně. Vypočtené zprůměrované výsledky všech měření pro jednotlivá měřicí místa jsou přehledně zobrazeny v následující tabulce.

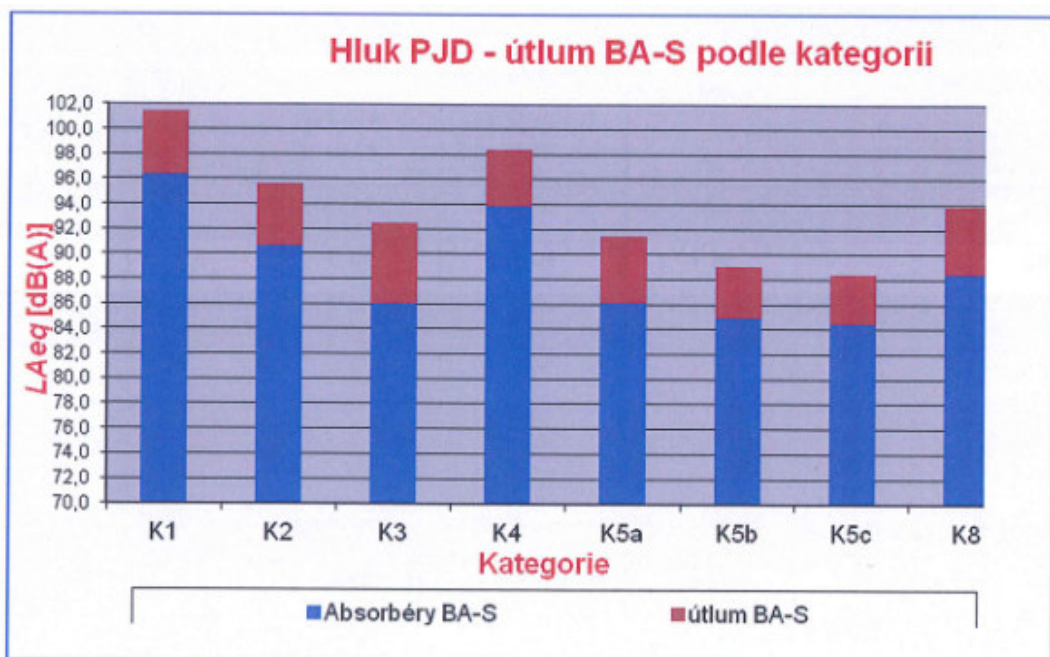
Tabulka č. 11 – výsledky měření hlukových emisí v dB(A) [12]

Kategorie vozidel	M1 (bez absorbérů)	M2 (s absorbéry BA)	M3 (s absorbéry BA-S)	Útlum na BA	Útlum na BA-S
K1	101.5	95.6	96.4	-5.8	-5.1
K2	95.7	90.5	90.6	-5.1	-5.0
K3 – Leo Express	92.4	85.7	86.0	-6.7	-6.4
K4	98.4	93.3	93.8	-5.0	-4.5
K5a – Regionova	91.5	85.3	86.1	-6.2	-5.4
K5b – 810	89.1	84.2	84.9	-4.9	-4.1
K5c – Stadler 841	88.5	83.5	84.5	-5.0	-4.0
K8 - Pendolino	93.9	88.5	88.4	-5.4	-5.4

Pro lepší názornost jsou na následujících obrázcích výsledné hodnoty hlukových emisí podle jednotlivých kategorií vlaků zobrazeny do sloupcových grafů.



Obrázek č. 50 – graf závislosti hlukových emisí a útlumu pro absorbéry typu BA <sup>[12]</sup>



Obrázek č. 51 – graf závislosti hlukových emisí a útlumu pro absorbéry typu BA-S <sup>[12]</sup>

Z výše uvedených výsledků je patrné, útlum akustických emisí je u obou typů absorbérů téměř totožný. Respektive pro železniční vozidla s elektrickou trakcí (vyjma kategorie K1) je



útlum na absorbérech BA-S nepatrně (v rámci desetin decibelu) nižší. Většího rozdílu si můžeme všimnout u vozidel s motorovou trakcí, nicméně ani zde rozdíl nepřesáhl jeden decibel. Jako možný důvod nižších hodnot útlumu u absorbéru BA-S je nižší hmotnost základních dílců a odrazivá plocha (prostý beton) v oblasti styku kola s kolejnicí. Přesto se ale nižší útlum u prvků s nižší hmotností podařilo částečně kompenzovat sendvičovým uspořádáním vrstev a umělým trávničkem na povrchu.

Vozidla v kategorii 5 byla hodnocena zvláště, jelikož se lišila jak rychlostí průjezdů, tak i hlukovými emisemi. Vlaky kategorie K5a – Regionova je nutné brát s menší váhou, protože během měřicí kampaně byly zaznamenány pouze 2 průjezdy. Na základě výsledků měření je možné také konstatovat, že čím je kvalitnější vozidlo, tím je větší útlum. Z tohoto hlediska byl nejlépejší Leo Expres v kategorii 3. U vozidel kategorie 1 byl naměřen útlum 5,8 a 5,1 dB(A). V tomto případě ale celkem velký útlum nebyl způsoben kvalitou vozidel, ale spíše nejvyšší naměřenou hladinou hlukových emisí, která byla bez absorbérů 101,5 dB(A). U souprav Pendolino byl naměřen útlum 5,4 dB(A) pro oba typy absorbérů, u této kategorie však byla rychlost průjezdu 160 km/hod. Absolutní hodnoty akustických emisí při nejvyšší rychlosti činí vlaky Pendolino jedny z nejnižších vozidel srovnatelné s kategorií 3 při rychlosti o 20 km/h vyšší.

Po vyhodnocení výše uvedených měření můžeme konstatovat, že oba typy absorbérů prokázaly snížení akustických emisí o cca 5 – 7 dB(A). Konstrukce pevné jízdní dráhy vykazuje hlukové emise průměrně o 7 dB(A) vyšší, než u konstrukce s klasickým kolejovým ložem. Cílem kolejových absorbérů bylo zejména minimalizovat tento rozdíl u PJD. Na základě výsledků měření bylo prokázáno, že právě tento rozdíl se podařilo pomocí kolejových absorbérů odstranit a PJD by se mohla stát použitelná v místech, kde není klasické kolejové lože možné nebo vhodné použít, při dosažení přijatelných hlukových emisí.

## 10. ZÁVĚR

Ve své závěrečné diplomové práci jsem se věnoval problematice zatížení životního prostředí ve formě hlukových emisí způsobených železniční dopravou. Nejprve byla zpracována problematika legislativy, a to jak v kontextu národním, zakotveném zejména v zákoně o ochraně veřejného zdraví, tak i v kontextu nadnárodním, který je reprezentován zejména evropskými směrnici a interoperabilitou transevropského konvenčního železničního systému, konkrétně technickou specifikací TSI NOI. Následně byla zpracována analýza zdrojů hluku ze železniční dopravy na jejíž základě jsem dospěl k dílčímu závěru, že na tratích v ČR, vzhledem k maximálním dosažitelným rychlostem, je dominantní složkou celkových hlukových emisí hluk valivý a v případě nezávislé trakce potom hluk z pohonu motorů. Další část práce byla věnována modelování hluku ze železniční dopravy a používaným metodám pro jeho výpočty. V tomto případě se mi jeví jako nejvhodnější Holandská národní metoda RMR, jejíž zdrojová část poskytuje nejkompexnější přístup ke specifikám železniční dopravy jako zdroje hluku, přičemž by mělo být přihlédnuto ke korekcím zahrnujícím skutečný stav trati.

Hlavním cílem této práce pak bylo posouzení konkrétních protihlukových opatření v železničním provozu. V tomto směru by měl být prioritně kladen důraz na aktivní prvky protihlukové ochrany, které eliminují vznik hlukových emisí přímo u jejich zdroje, v ideálním případě aplikovaných přímo na železničních vozidlech, jelikož takové opatření je potom efektivní na celé železniční síti, čímž dochází ke snížení nákladů na následné prvky pasivní protihlukové ochrany. Jedná se zejména o náhradu klasických litinových brzdových špalíků špalíky z kompozitových materiálů u železničních nákladních vozidel, která jsou z hlediska hluku největším znečišťovatelem životního prostředí. Jejich použitím bylo na základě mnoha nezávislých měření dosaženo akustického útlumu cca 6 - 9 dB(A). Dále je to používání moderních železničních vozidel, případně rekonstrukce stávajícího vozového parku. Dle mého názoru by měl být také zaveden systém zpoplatnění používání železniční dopravní cesty v závislosti na emitovaných hlukových emisích, který by motivoval zejména provozovatele nákladní železniční dopravy k úpravám vozidel (zejména brzdových systémů) vedoucích ke zlepšení hlukové situace.

Dále by měl být kladen důraz na pravidelnou údržbu tratí a bezvadný stav konstrukce železničního svršku, zejména kolejnic, protože jejich stav má přímý vliv na výsledný hluk

způsobený valením, který je, jak už bylo uvedeno na našich tratích dominantní. V tomto směru se jeví jako vhodné akustické broušení kolejnic, kterým lze dle dosavadních zkušeností dosáhnout zlepšení hlukové situace řádově o 2 - 4 dB(A). Dalším faktorem, jež aktivně přispívá na snížení hlukových emisí je použití bezстыkové koleje a moderních konstrukcí železničního svršku, zejména pružného bezpodkladnicového upevnění, které je již naštěstí v případě rekonstrukcí a investičních akcí na železniční infrastruktuře standardním požadavkem investora.

Dalšími prvky, posuzovanými v této práci, které ještě můžeme řadit mezi aktivní protihlukové opatření jsou kolejnicové a kolejové absorbéry hluku. V případě kolejnicových absorbérů byla na základě provedených měření prokázána jejich účinnost v podobě snížení akustických emisí od 0,5 do 3,0 dB(A), přičemž vhodnější použití se jeví na tratích s převažující osobní dopravou. Kolejové absorbéry hluku byly zatím v našich podmínkách testovány pouze na pevné jízdní dráze s účinností 5 - 7 dB(A) a můžeme tedy konstatovat, že jejich použitím lze bezpečně eliminovat navýšení hlukových emisí, způsobených právě použitím pevné jízdní dráhy. Výhledově považuji za vhodné kolejové absorbéry otestovat i na tratích s klasickým kolejovým ložem, zejména pak v místech, kde trať prochází hustě osídleným územím.

V případě nesplnění požadovaných hlukových limitů pomocí prvků aktivní protihlukové ochrany je třeba přistoupit k instalaci prvků pasivní protihlukové ochrany, jež reprezentují zejména klasické protihlukové stěny a v současné době také nové nízké protihlukové clony, kterým byla věnována značná část této práce. Z dosavadních výsledků měření na zkušebních úsecích v ČR lze konstatovat, že jejich účinností 5,5 - 9,5 dB(A) se téměř vyrovnávají účinku klasických PHS při zhruba o jednu čtvrtinu nižších nákladech a zachování výhledu do okolí. Dosavadní zkušenosti ostatních evropských zemí vykazují podobnou účinnost, jako u nás. Přičemž se jedná relativně o novinku na trhu, takže lze do budoucna očekávat další cenové zvýhodnění ve prospěch nízkých protihlukových clon. Jejich umístění v těsné blízkosti průjezdného průřezu s sebou však přináší i jisté nevýhody, zejména z hlediska bezpečnosti pracovníků na dráze. Jelikož je NPHC zároveň překážkou ve volném schůdném manipulačním prostoru, je zapotřebí, aby alespoň na druhé straně koleje byl tento prostor zachován. Tímto je jejich použití omezeno zejména pro jednokolejné tratě a po jedné straně koleje. Vhodnou konfigurací pro jejich umístění je jednokolejná trať, nedostatek prostoru v okolí tratě, či pokud je chráněná nízká zástavba situována pod úrovní nebo v úrovni drážního tělesa. Přesto považuji NPHC za perspektivní a efektivní protihlukové opatření,

kteře by se mohlo v blízké době po dořešení bezpečnostních a legislativních záležitostí stát vhodnou alternativou k doposud nejčastěji budovaným klasickým protihlukovým stěnám.

Na základě získaných zkušeností jsem dospěl také ke skutečnosti, že výpočtové modelování hluku ze železniční dopravy za použití již velmi propracovaného softwaru a výkonné výpočetní techniky je v dnešní době nedílnou součástí přípravy projektových dokumentací v oblasti návrhu protihlukových opatření. Odchytky výpočtového modelování se při korektních vstupech pohybují řádově kolem 1 dB, což s rezervou spadá do nejistoty měření a můžeme tedy říci, že lze predikci hlukové situace určit s velmi vysokou přesností i bez skutečně provedených hlukových měření.

V tabulce č. 12 uvedené níže jsou přehledně porovnány jednotlivé prvky protihlukových opatření, které jsem ve své práci zkoumal a posuzoval nejen z hlediska účinnosti, ale i ostatních aspektů, jako jejich rozsah působení, schválení na našich tratích a přibližných nákladů na jejich zřízení. K získání značného množství podkladů a zkušeností ke zpracování této práce byla pro mne velkým přínosem účast na odborné konferenci Rychlost s tichostí konané 2. dubna 2015 v Plzni.

V závěru této práce bych chtěl říci, že s ohledem na zachování železniční dopravy jako trvale udržitelné a i nadále jedné z nejšetrnějších k životnímu prostředí je zapotřebí k problematice nejen hlukové zátěže přistupovat s co možná největší zodpovědností a myslet při tom na naše budoucí generace. Nelze jednoznačně určit, které protihlukové opatření je nejvýhodnější a vždy by se mělo k této záležitosti přistupovat komplexně. Jako nejvhodnější řešení se jeví používat kombinace různých prvků protihlukové ochrany a vždy upřednostňovat jeho eliminaci přímo u zdroje a až následně aplikovat v případě potřeby prvky pasivní protihlukové ochrany.

Tabulka č. 12 – závěr – přehledné posouzení jednotlivých prvků protihlukové ochrany

	druh opatření	dosažený akustický útlum - dB(A)	schválení na tratích SŽDC, s.o.	rozsah působení	náklady na opatření	poznámky
A K T I V N Í	pružné bezpodkladnicové upevnění železničního svršku	3 - 5	ano	lokální	6650 Kč/1 m	cena bez nových kolejnic, včetně nových betonových pražců, útlum závisí na typu původního svršku
	bezстыková kolej	1,5 - 2,5	ano	lokální	800 Kč/1 m	termitové svařování, délka pole 20 m
	kolejnicové absorbéry	0,5 - 3	provozní ověřování	lokální	2385 Kč/1 m	účinnost závisí na stavu železničního svršku a typu železničních vozidel
	kolejové absorbéry	5 - 7	provozní ověřování / 1 zkušební úsek	lokální	43 400 Kč/1 m	hodnoty naměřeny při použití u PJD, cena za kompletní konstrukci u zkušební úseku
	akustické broušení kolejnic	2 - 4	ano	lokální	270 Kč/ 1m	skutečný útlum závisí na původním stavu kolejnic, při špatné údržbě nutno více pojezdů
	kompozitové brzdové špalíky typu "K"	6 - 9	ano	celá síť	135 000 Kč / vagón	nutný větší zásah do brzdového systému, použití zejména u nákladních vozů
	kompozitové brzdové špalíky typu "L"	6 - 9	prozatímní homologace	celá síť	28 000 Kč / vagón	bez větších zásahů do brzdového systému, použití zejména u nákladních vozů
	klasické protihlukové stěny (PHS)	8 - 12	ano	lokální	14 950 Kč/1m	přesný útlum závisí na typu pohltivých panelů, dle typu může být cena i vyšší
	nízké protihlukové clony (NPHC)	5,5 - 9,5	schválení cca do 3 měsíců	lokální	11 970 Kč/1m	aktuálně schválen metodický pokyn, použití pouze na jednokolejné trati po jedné straně koleje
	nástupiště s hlukové pohltivými tvánicemi	2,5	ano	lokální	1375 Kč/1m	využití recyklovaného materiálu, nenáročná údržba, cena je za dodávku a montáž pouze pohltivých tvárnic

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Zákon o drahách č. 266/1994 Sb. 1994
- [2] Doprava a cestovní ruch. 2012. In: *Snížení hluku železniční dopravou* [online]. Brusel [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2012/474533/IPOL-TRAN\\_ET%282012%29474533%28SUM01%29\\_CS.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2012/474533/IPOL-TRAN_ET%282012%29474533%28SUM01%29_CS.pdf)
- [3] 2012. DVOŘÁKOVÁ, Zuzana. *Řízení lidských zdrojů*. Praha: C. H. Beck. ISBN 978-80-7400-347-9
- [4] Zákon o ochraně veřejného zdraví č. 258/2000 Sb. 2000
- [5] Nařízení vlády č. 272/2011 *o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací*. 2011
- [6] Pokyny k výpočtu a měření hluku ze železniční dopravy: *WP 3.2.1: Hluk ze železniční dopravy – Popis výpočtové metody*. 1996. Dostupné také z: [www.mdcr.cz/NR/rdonlyres/304DB7C6-4BA9-4581../RMRčesky.doc](http://www.mdcr.cz/NR/rdonlyres/304DB7C6-4BA9-4581../RMRčesky.doc)
- [7] Symos. SoundPLAN essential verze 2.0 [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.symos.cz/page3.html>
- [8] Software k hodnocení hlukových emisí. 2005. *Hospodářské noviny* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://ihned.cz/c1-17032860-software-k-hodnoceni-hlukovych-emisi>
- [9] 18. konference železniční dopravní cesta 2014. 2014. In: *Vysokorychlostní broušení: údržba kolejnic* [online]. České Budějovice [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.szdc.cz/soubory/konference-a-seminare/zdc-2014/b03-bremsteller-vossloh-sb.pdf>
- [10] HLAVÁČEK, Ing. Jan. 2013. *Technická zpráva: Efektivita NPHC BRENS BARRIER na trati Praha - Rudná*. Výzkumný ústav železniční a. s
- [11] ČÍŽKOVÁ, Petra. 2013. *Diplomová práce: Analýza účinnosti NPHC v úseku železniční tratě Hlubočepy - Rudná*. Praha [cit. 2015]
- [12] Konference rychlost s tichostí: *Sborník příspěvků*. 2015. [cit. 2015]. ISBN 978-80-87994-28-3