

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Anna Šiklová

**VLIV OTVORŮ V PROTIHLUKOVÝCH STĚNÁCH NA
AKUSTICKOU SITUACI**

Diplomová práce

2017



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta dopravní
d ě k a n**

Konviktská 20, 110 00 Praha 1

K612..... Ústav dopravních systémů

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Anna Šiklová

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – DS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Vliv otvorů v protihlukových stěnách na akustickou situaci**

Název tématu (anglicky): **Effect of the Holes in the Noise-Protection Wall on the Acoustic Situation**

Zásady pro vypracování

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

- Úvod do problematiky hluku
- Charakteristika a dělení protihlukových clon
- Typy protihlukových stěn a otvorů v nich
- Výběr vhodných lokalit pro měření
- Měření v daných lokalitách
- Modelování v programu CADNA A
- Posouzení vlivu velikosti plochy otvorů na akustickou situaci za stěnou
- Závěry, doporučení

Rozsah grafických prací: stanoví vedoucí diplomové práce

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

Seznam odborné literatury: Nařízení vlády 272/2011 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
Ládyš, L., Liberko, M.: Výpočet hluku z automobilové dopravy, manuál ŘSD ČR, 2011
TP 104. Technické podmínky: Protihlukové clony pozemních komunikací. Praha: MD ČR, 2008

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

Datum zadání diplomové práce: **30. června 2016**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **30. května 2017**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

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



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

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Anna Šiklová
jméno a podpis studenta

V Praze dne 30. června 2016

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala všem, kteří mi pomohli při přípravě této diplomové práce. Zvláště pak děkuji doc. Ing. Bc. Kristýně Neubergové, Ph.D. za odborné vedení, konzultace a poskytnutí potřebných materiálů. Dále bych ráda poděkovala Ing. Liboru Ládyšovi za odborné rady k problematice hluku a Ing. Bc. Ivě Šturmové, Ph.D. za pomoc při seznamování s programem pro modelování hluku.

Hlavně bych ale ráda poděkovala rodině a svým blízkým, kteří mi byli ochotni poskytnout svůj čas, cenné rady a kdykoliv pomoci po celou dobu mého studia.


Prohlášení

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

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 25. května 2017


.....
Podpis

Abstrakt

Cílem této práce bylo zhodnotit vliv otvorů v protihlukových stěnách na akustickou situaci za stěnou v závislosti na typech a velikosti otvorů.

Bylo provedeno měření hluku ve třech vybraných lokalitách pro tři různé typy otvorů. V každé lokalitě byla zaznamenávána hladina akustického tlaku na vybraných bodech, vždy bylo měřeno paralelně před i za stěnou. Poté byla provedena modelace vybrané lokality a protihlukové stěny v Horních Počernicích. Bylo sledováno šíření akustické energie různými typy otvorů s různými parametry. Nakonec byl porovnán vliv všech otvorů na zabránění šíření hluku za stěnou.

Klíčová slova:

protihluková clona, hluk, únikový otvor, Cadna A, modelace

Abstract

The aim of this thesis was to evaluate the impact of holes in the noise barrier walls to acoustic situation behind the barrier depending on the type and size of the holes.

The measurement was done in three selected locations for three different types of the holes. Measured values of the levels of acoustic pressure on selected points was recorded concurrently in front of and behind the barrier. Acoustic energy spreading through the different types of holes in the barrier was observed and the impact of the different types of holes on prevention of noise propagation was compared in the end.

Key words:

Noise barrier, noise, emergency exit, Cadna A, simulation

Obsah

Seznam použitých zkratk	8
1 Úvod	9
2 Zvuk	10
2.1 Hluk	10
2.2 Hlasitost zvuku	11
2.3 Negativní dopady hluku	13
3 Česká legislativa k problematice hluku z dopravy	14
4 Protihluková opatření	17
4.1 Aktivní opatření	17
4.1.1 Urbanistická	17
4.1.2 Architektonická	17
4.1.3 Dopravně – organizační	18
4.1.4 Technická	18
4.2 Pasivní opatření	18
4.2.1 Protihlukové clony PHC	18
4.2.2 Vegetace	23
5 Protihlukové stěny	24
5.1 Akustické vlastnosti PHS	24
5.1.1 Zvuková pohltivost	24
5.1.2 Vzduchová neprůzvučnost	24
5.2 Materiál	25
5.2.1 Dřevocementové panely	25
5.2.2 Plastové panely	25
5.2.3 Pryžové panely	26
5.2.4 Betonové panely	26
5.2.5 Hliníková stěna	26
5.2.6 Sklovláknobetonový panel	26
6 Únikové otvory v protihlukových stěnách	27
6.1 Otevřené východy	28
6.1.1 Přesah PHC	28
6.1.2 Překrytí další PHC	29
6.2 Uzavřené východy	29
7 Akustické měření	30
7.1 Použitá měřicí technika	30

7.2	Volba měřících míst a bodů	30
7.3	Základní zjišťované údaje	32
7.3.1	Akustické údaje	32
7.3.2	Neakustické údaje	32
8	Měření – lokalita 1	33
8.1	Popis lokality.....	33
8.2	Protihluková stěna	33
8.3	Volba měřících bodů.....	35
8.4	Popis měření	35
8.5	Naměřená data.....	36
8.6	Vyhodnocení.....	37
8.6.1	Gabionová zeď	39
8.6.2	Grafické vyhodnocení	40
9	Měření – lokalita 2	42
9.1	Popis lokality.....	42
9.2	Protihluková stěna	42
9.3	Měřící body	43
9.4	Popis měření	44
9.5	Naměřená data.....	45
9.6	Vyhodnocení.....	46
9.6.1	Grafické vyhodnocení	48
10	Měření – lokalita 3.....	49
10.1	Popis lokality.....	49
10.2	Protihluková stěna	49
10.3	Zvolení měřících bodů	50
10.4	Popis měření	50
10.5	Naměřená data.....	51
10.6	Vyhodnocení.....	52
10.6.1	Grafické vyhodnocení	52
11	Modelování v programu Cadna A.....	54
11.1	Cadna A	54
11.2	Model.....	54
11.3	Kalibrace modelu.....	55
11.4	Nastavení modelu.....	56
11.5	Vlastní modelování	56
12	Vliv velikosti otvorů.....	62

13	Závěr.....	65
14	Použité zdroje:	67
14.1	Literatura:	67
14.2	Internetové zdroje:	67

Seznam použitých zkratk

MHD	Městská hromadná doprava
PHC	Protihluková clona
PHS	Protihluková stěna
TP	Technické podmínky
ČSN	Česká státní norma

1 Úvod

Doprava a její hlučnost, je to nepatrná daň za možnost dostat se téměř kamkoliv, nebo velký problém, který by měl vést k omezení růstu tohoto trendu? Jsou dodatečná opatření zabraňující šíření hluku skutečně dostatečně nebo jen velmi málo účinná?

Problematika hluku je velkým tématem posledních let. Že je tomu tak, dokazuje i česká legislativa, která na to reaguje a v poslední době novelizovala zákony i nařízení týkající se této problematiky. Největším důkazem „popularity“ tohoto tématu by byl seznam osob, které spojily svůj profesní život s hlukem. Jedná o společnosti, které dokazují měřeními a modelováním jeho přítomnost, nebo o velké firmy, které staví opatření, zabraňující jeho šíření, či výzkumy, zabývající se novými technologiemi, jak zvuk účinněji zastavit již v prvopočátku jeho vzniku. Vezme-li se v úvahu délka a hustota silniční sítě ve vyspělých státech, lze prohlásit hluk z dopravy za nejčasnější druh rušení. Za minimální nebo žádné poplatky se po těchto komunikacích ženou lidé i náklady téměř nepřetržitě. V době, kdy se nejdražší komoditou stal čas, se napříč republikou prohánějí poloprázdné automobily s úkolem dopravit jakýkoli náklad v minimální době. Na druhou stranu zde najdeme i osoby, kterým není líto strávit každodenně několik hodin v autě při cestě za prací do vzdálených měst. Není tedy s podivem, že intenzita provozu na silnicích neustále stoupá a spolu s intenzitou i zmíněný hluk, jeden z mnoha negativních dopadů jejího růstu.

Nelze-li hluk z již existující komunikace pomocí dopravně organizačních či urbanistických opatření nebo jiných aktivních řešení snížit, musí se přikročit k opatřením pasivním, to jest výstavbě protihlukových clon. Druhů protihlukových clon je velké množství, v různých provedeních i materiálech, s různým stupněm účinnosti. Při navrhování clon je též nutné vzít v úvahu lokální poměry a ke každé cloně přistupovat individuálně.

Cílem této práce bylo provést měření hluku ve vybraných lokalitách a zhodnocení vybraných protihlukových stěn. Posoudit, jaký vliv na jejich funkčnost mají únikové otvory i jejich různá provedení. V teoretické části práce je seznámení s českou legislativou věnující se této problematice a jsou představeny různé způsoby, kterými je možné bránit se nadměrnému hluku. Velká část je věnována protihlukovým stěnám, které jsou hlavní náplní této práce. V praktické části jsou představena konkrétní měření, výběr lokalit, způsob a postupy měření. Dále jsou uvedeny výsledky - naměřené hodnoty a vyhodnocení jednotlivých lokalit. Pokračováním praktické části je modelování v softwaru Canda A různých druhů otvorů v protihlukových stěnách a posouzení jejich rozdílů. V závěru práce jsou shrnuty všechny zjištěné poznatky.

2 Zvuk

Obecně je zvuk definovaný jako mechanické vlnění, které se šíří od zdroje ve vlnoplochách fázovou rychlostí závislou na vlastnostech prostředí. Lidské ucho dokáže zachytit zvuk o frekvencích od 16 Hz do 20 000 Hz, čím je člověk mladší, tím má v tomto směru lepší schopnosti. Děti dokáží zachytit zvuk z nejširšího spektra, s přibývajícím věkem se spektrum zužuje zejména z jeho horní hranice a starší lidé již brzy slyší jen do frekvence 16 000 Hz a postupně se mohou dostat až na 1000 Hz. Nižší frekvence bývají postiženy méně, proto starší lidé mohou více rozumět hlubokému mužskému hlasu oproti vysokému ženskému [22]. Pro lidské ucho neslyšitelné frekvence pod hranici 16 Hz se nazývají infrazvuk, frekvence vyšší než hladina 20 000 Hz se nazývají ultrazvuk. Obor, zabývající se studiem zvuku, se nazývá akustika. Definice zakladatele české akustiky Čeňka Strouhala z roku 1902 popisuje akustiku takto:

„Akustika jest nauka o dojmech sluchových. Definicí touto jest stanoven rozsah akustiky v nejširším slova smyslu; náleží sem tudíž studium veškerých dojmů, jež zdravým orgánem sluchovým k vědomí našemu přicházejí a jež různí se, jak denní zkušenost ukazuje, v rozmanitosti nekonečné i dle kvality, i dle kvantity; šelestění zvadlého listí jako hukot moře, řeč a zpěv lidí, hlasy zvířat, zvuky hudebních nástrojů nejméně zdařilých i nejnvýše zdokonalených, a všechny ty jiné a jiné dojmy sluchové mohou býti i předmětem vědeckého zkoumání.“ [4]

2.1 Hluk

Hlukem je obecně označován jakýkoliv nepříjemný zvuk. Definice hluku dle zákona č. 258/2000 Sb. je konkrétnější: *„Hlukem se rozumí zvuk, který může být škodlivý pro zdraví a jehož imisní hygienický limit stanoví prováděcí právní předpis.... Za hluk podle věty první se nepovažuje zvuk působený hlasovým projevem fyzické osoby, nejde-li o součást veřejné produkce hudby v budově, hlasovým projevem zvířete, zvuk z produkce hudby provozované ve venkovním prostoru, zvuk z akustického výstražného nebo varovného signálu souvisejícího s bezpečnostním opatřením, zvuk působený přelivem povrchové vody přes vodní dílo sloužící s nakládání s vodami, zvuk působený v přímé souvislosti s činností související se záchranou lidského života, zdraví a majetku, řešením mimořádné události, přípravou jejího řešení nebo prováděním bezpečnostní akce nebo mimořádné vojenské akce.“ [10]*

Hluk se dělí na hluk v:

- Pracovním prostředí
- Mimopracovním prostředí

Další dělení je na hluk z:

- Mobilních zdrojů
- Stacionárních zdrojů

Charakter hluku může být:

- Proměnný
- Ustálený

Zdroje hluku se rozdělují na:

- Bodový zdroj
- Plošný zdroj
- Liniový zdroj

Liniový zdroj představuje pozemní komunikace nebo železnice. Takový hluk může být rušivý v pracovním i mimopracovním prostředí a jeho původce je mobilní zdroj. Jeho charakter je proměnný.

2.2 Hlasitost zvuku

Hlavním problémovou složkou rušivého zvuku představuje jeho hlasitost. Ta je závislá na akustickém tlaku p . Akustický tlak vnímaný člověkem má velký rozsah. Pro snadnější pracování s akustickým tlakem a jeho pochopení byla zavedena hladina akustického tlaku L_p , jež je vyjádřena logaritmickou stupnicí. Její jednotkou je 1 dB. Převod akustického tlaku (p) na hladinu akustického tlaku (L_p) je dán vztahem [8]:

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad (1)$$

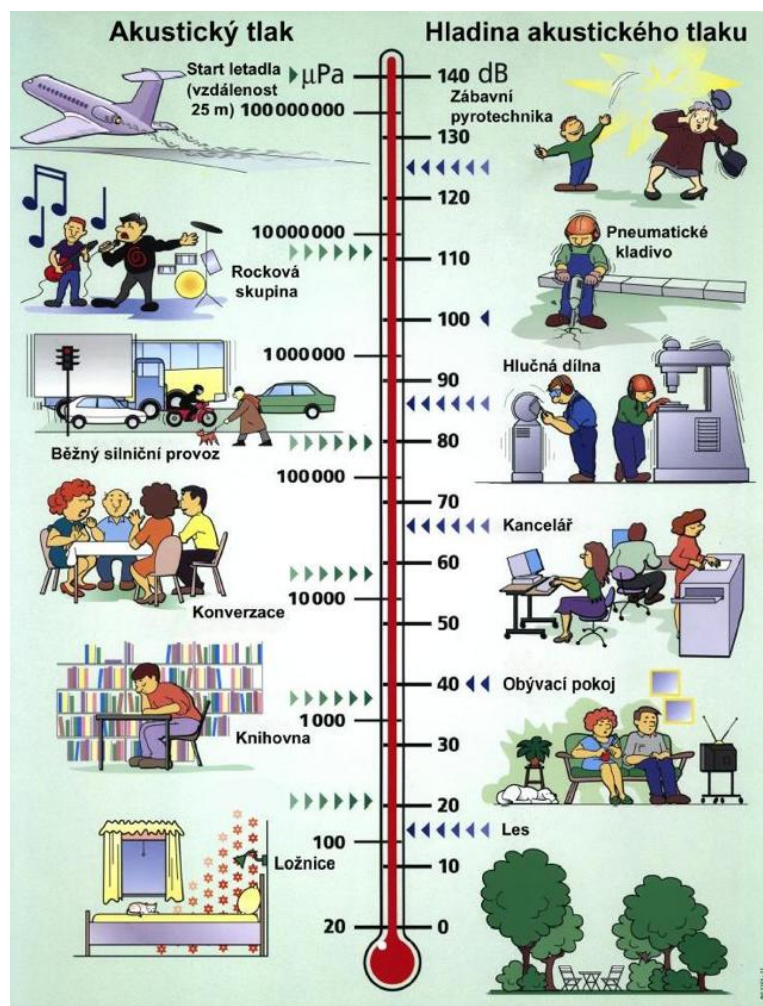
Kde:

p - okamžitý akustický tlak

p_0 - referenční akustický tlak

Referenční akustický tlak je nejnižší akustický tlak, který je schopno lidské ucho zaznamenat. Je to tzv. práh slyšení a jeho velikost je $2 \cdot 10^{-5}$ Pa.

Na obr. 1 je přehledné zobrazení porovnání stupnice akustického tlaku v μPa a hladiny akustického tlaku v dB.



Obr. 1 Zdroje hluku [26]

Z logaritmické závislosti zvukového podnětu a sluchového vnímání vyplývá vlastnost, že při zvýšení akustického výkonu na dvojnásobnou intenzitu, zvýší se hodnota akustického tlaku o 3 dB. Podle vzorce [18]:

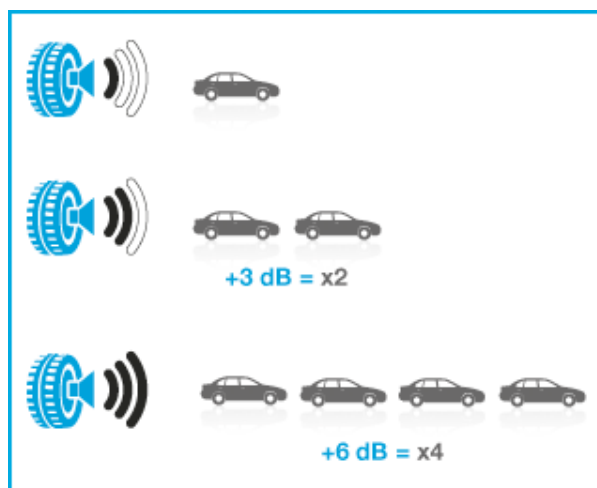
$$L = 10 \log\left(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}}\right) \quad (2)$$

Kde:

L_1 – hodnota akustického tlaku 1

L_2 – hodnota akustického tlaku 2

Např. spolupůsobením dvou zdrojů s hladinou akustického tlaku 50 dB bude výsledná akustická hladina 53 dB. Názorně je to zobrazeno na obr. 2.



Obr. 2 Hluk zvyšující se s intenzitou [14]

2.3 Negativní dopady hluku

Nadměrné obtěžování hlukem má prokazatelné škodlivé účinky na lidský organismus. Nejviditelnějším dopadem je poškození sluchového aparátu. Může se jednat o akustické trauma, způsobené krátkým působením hluku o velké intenzitě nebo postupné poškozování, které může vést od přechodných potíží se sluchem až po trvalé. Dalším lékařsky potvrzeným negativním dopadem je vliv hluku na kardiovaskulární systém člověka. Dlouhodobé vystavení organismu hluku nad 65 – 70 dB způsobuje zvýšení krevního tlaku, tepu a ischemickou chorobu srdeční. V nočních hodinách rušení hlukem způsobuje poruchy spánku. Rušení nočního klidu má následně vliv na pohodu člověka, způsobuje jeho vyšší zatížení stresem a vede k psychickým poruchám. Pro další následné obtíže, jako je špatné psychické rozpoložení, zhoršená výkonnost, zhoršení imunity nebo narušení sociálních kontaktů existuje jen omezené množství důkazů, ale objektivně se zdají být věrohodné.

3 Česká legislativa k problematice hluku z dopravy

Postupné poznávání škodlivosti vystavování člověka hluku vedlo k vytvoření legislativy pro možnost kontroly a následného omezení nadměrného zatížení organismu člověka hlukem. Pro různá prostředí jsou stanoveny různé limitní hodnoty.

Ochrana lidského zdraví před hlukem je zakotvena v zákoně č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví ve znění pozdějších předpisů č. 267/2015 Sb. Hlukové limity jsou stanoveny nařízením vlády č. 217/2016 Sb., kterým se mění nařízení č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.

Zákonem je definována základní hladina akustického tlaku $A L_{Aeq,T} = 50$ dB (L_{Aeq} je tzv. ekvivalentní hladina akustického tlaku, která vyjadřuje energetický průměr proměnného zvuku za celou dobu měření T). K této hladině se přidávají korekce přihlížející ke druhu chráněného prostoru a příslušné denní či noční době. Denní doba je definována od 6:00 do 22:00 a noční od 22:00 do 6:00. Zákon definuje chráněný vnitřní prostor stavby, chráněný venkovní prostor a chráněný venkovní prostor stavby.

- Chráněný venkovní prostor stavby je prostor do 2 m okolo domů s obytnou funkcí, staveb pro školní a předškolní výchovu a pro zdravotní a sociální účely.
- Chráněný venkovní prostor jsou nezastavěné pozemky využívané k rekreaci, sportu, léčení a výuce.

V případech, kdy nelze dodržet zákonné limity pro venkovní chráněný prostor stavby, lze z něj učinit prostor nevýznamný. Aby bylo možné prostor prohlásit za nevýznamný, musí být stavba uzpůsobena tak, aby větrání obytných prostor bylo zajištěno bez nutnosti otevírání oken. V tomto případě je nutnost dodržet pouze limity pro vnitřní chráněný prostor staveb. V tab. 1 jsou uvedeny korekce pro limity v chráněném venkovním prostoru staveb.

Tab. 1 Korekce k limitům v chráněném venkovním prostoru staveb [3]

Druh chráněného prostoru	Korekce [dB]			
	1)	2)	3)	4)
Chráněný venkovní prostor staveb lůžkových zdravotnických zařízení včetně lání	-5	0	+5	+15
Chráněný venkovní prostor lůžkových zdravotnických zařízení včetně lání	0	0	+5	+15
Chráněný venkovní prostor ostatních staveb a chráněný ostatní venkovní prostor	0	+5	+10	+20

Pro noční dobu se připočítává další korekce -10 dB, s výjimkou hluku z dopravy na železničních drahách, kde se použije korekce -5 dB.

1) Použije se pro ... a hluk ze železničních stanic zajišťující vlakotvorné práce, zejména rozřadování a sestavu nákladních vlaků, prohlídku vlaků a opravu vozů. Pro hluk ze železničních stanic zajišťujících vlakotvorné práce, které byly uvedeny do provozu přede dnem 1. listopadu 2011, se přičítá pro noční dobu další korekce +5 dB.

2) Použije se pro hluk z dopravy na drahách, silnicích III. třídy a místních komunikacích III. třídy a účelových komunikacích ve smyslu § 7 odst. zákona č.13/1997 Sb., o pozemních komunikacích, novelizovaného zákonem č. 370/2016 Sb.

3) Použije se pro hluk z dopravy na dálnicích, silnicích I. a II. třídy a místních komunikacích I. a II. třídy v území, kde hluk z dopravy na těchto komunikacích je převažující nad hlukem z dopravy na ostatních pozemních komunikacích. Použije se pro hluk z dopravy na drahách v ochranném pásmu dráhy.

4) Použije se pro stanovení hodnoty hygienického limitu staré hlukové zátěže

- Chráněným vnitřním prostorem se rozumí prostory s obytnou funkcí a pobytovou funkcí ve stavbách pro vzdělávání nebo zdravotní a sociální účely.

V tab. 2 jsou uvedeny korekce pro stanovení hygienických limitů hluku v chráněném vnitřním prostoru staveb.

Tab. 2 Korekce k limitům v chráněném vnitřním prostoru staveb [3]

<i>Druh chráněného vnitřního prostoru</i>	<i>Doba pobytu</i>	<i>Korekce v dB</i>
<i>Nemocniční pokoje</i>	<i>Den (6:00 – 22:00)</i>	<i>0</i>
	<i>Noc (22:00 – 6:00)</i>	<i>-15</i>
<i>Lékařské vyšetřovny, ordinace</i>	<i>Po dobu užívání</i>	<i>-5</i>
<i>Obytné místnosti</i>	<i>Den (6:00 – 22:00)</i>	<i>0*</i>
	<i>Noc (22:00 – 6:00)</i>	<i>-10 *</i>
<i>Přednáškové síně, učebny a pobytové místnosti škol, jeslí, mateřských škol a školských zařízení</i>	<i>Po dobu užívání</i>	<i>+5</i>

* Pro hluk z dopravy v okolí dálnic, silnic I. a II. třídy a místních komunikací I. a II. třídy, kde je hluk z dopravy na těchto komunikacích převažující a v ochranném pásmu drah se přičítá další korekce +5 dB.

Je patrné, že legislativa věnuje velkou pozornost limitům pro dopravu. Většina korekcí jí umožňuje emitovat větší zvukové zatížení než je základní hladina.

V § 30 zákona č. 258/2000 Sb. ve znění pozdějších předpisů č. 267/2015 Sb. se uvádí, že provozovatel letiště, vlastník či správce pozemní komunikace a provozovatel, popřípadě vlastník dráhy jsou povinni technickými, organizačními a dalšími opatřeními zajistit, aby hluk nepřekračoval hygienické limity. V poslední novele tohoto zákona je nově definováno v § 77, že nová stavba vstupující do území, které je zatížené hlukem, a to i v případě, že v územně plánovací dokumentaci je jen záměr, u kterého lze předpokládat, že po uvedení do provozu bude zdrojem hluku, nemůže být povolena, aniž by byla přijata opatření k ochraně před hlukem. Je tak přesunuta povinnost ochrany před hlukem na subjekty, které již vědomě vstupují do územní zasaženého nadlimitním hlukem. Zákon tak vytváří pro obyvatele povinnost vytvořit opatření k utlumení hluku, aby chránili své zdraví před negativními dopady hluku. Mělo by to být i motivací, aby již při plánování svého bydlení mysleli na vhodnou lokaci v klidnějším prostředí.

4 Protihluková opatření

Jak bylo popsáno v kapitole 2.3, hluk má značné množství negativních efektů na zdraví i na celkovou životní pohodu. Proto je nutné být před ním chráněn, jak je to ukotveno i v legislativě České Republiky. Je nutné dodržovat zákonné limity a chránit tak populaci před nadměrnou hlukovou zátěží. K ochraně proti hlukové zátěži slouží protihluková opatření.

Protihluková opatření se rozdělují do dvou základních skupin. Opatření, která mají zabránit vzniku hluku, případně ho přenést do lokalit, kde jeho působení není tak rušivé, se nazývají aktivní. Druhou skupinou jsou opatření pasivní, které již nezabrání vzniku hluku, ale zamezují jeho šíření do okolí.

4.1 Aktivní opatření

Opatření aktivní jsou jednoznačně upřednostňována, protože zamezují problému v jeho vzniku a jsou účinné pro celé okolí komunikace. Můžeme je rozdělit to těchto základních skupin:

- Urbanistická
- Architektonická
- Dopravně – organizační
- Technická

4.1.1 Urbanistická

Urbanistické opatření ke snižování hluku pracuje s optimalizací přepravních nároků a vztahů v konkrétním území. Je snaha, aby lidé využívali hromadné dopravní prostředky. Tedy ve městech preferovat MHD, vytvořit kvalitní propojenou síť, která má návaznost a je preferována stavebně i telematicky, aby bylo výhodné ji využívat. Při stavbě nových měst brát ohled na již existující síť hromadné dopravy.

4.1.2 Architektonická

Architektonické opatření pracuje s umístěním budov a rozmístěním samotných místností. Okolo frekventovaných silnic stavět budovy neobytného charakteru, jež poslouží jako clony ostatním obytným budovám více vzdáleným od komunikace. A důležité je také vhodné navržení budov, kdy obytné místnosti jsou situovány na stranu odvrácenou od komunikace.

4.1.3 Dopravně – organizační

Dopravně – organizační opatření se zaměřuje na organizaci dopravy. Prvním krokem je zamezení zbytné dopravy ve městech. Výstavba komunikací, které vymístí z center průjezdnou dopravu, jenž nemá v lokalitě žádný zdroj ani cíl a jen ji projíždí. Druhým krokem je snížení nejvyšší povolené rychlosti. V intravilánu se také uplatňuje zákaz vjezdu nákladních automobilů, jako producentů nezanedbatelného množství hluku.

4.1.4 Technická

Mezi technická opatření řadíme opatření na vozidle a na vozovce.

Tvoření nadměrného hluku z vozidel zabraňují zejména nově vyvinuté dopravní konstrukce a kvalitní údržba vozidel. V železniční dopravě se jedná především způsob brzdění. Například kvalitními kotoučovými brzdami lze dobře snížit hluk.

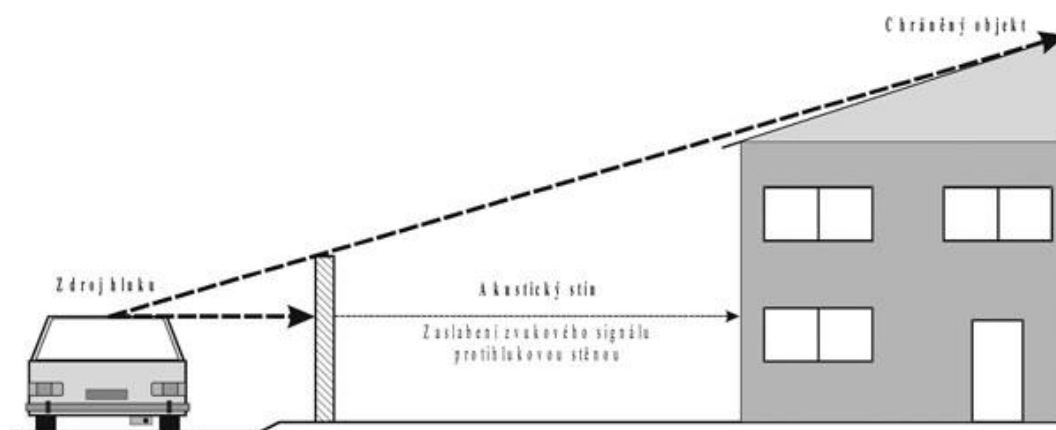
Opatřením na vozovce rozumíme v silniční dopravě zejména úpravu povrchu komunikace. Rozdíl mezi hrubou dlažbou a novým porézním povrchem může být až 7 dB [15]. V železniční dopravě se jedná zejména o kvalitní pružné upevnění, bezstykovou kolejnici a její časté broušení. Další možností jsou kolejové absorbéry, které mají hlukovou pohltivost 3,2 dB.[15]

Důležité je také vedení komunikace. Je-li vedena zastavěným údolím, dopadají emise na vše okolo. Vhodnější je vedení v zářezu nebo na náspu, doplněném o nízké clony, které ochrání níže situovanou zástavbu. Vedením trasy v tunelu se docílí minimálního vlivu hluku na okolí. Problém nastává u portálů tunelu, kde je okolí vystaveno vyšším hodnotám hluku i prachových emisí než u běžné komunikace.

4.2 Pasivní opatření

4.2.1 Protihlukové clony PHC

Pasivním opatření se rozumí protihlukové clony (PHC). Ty fungují jako „šít“ proti šíření zvukových emisí od zdroje k chráněným objektům. Za PHC vzniká akustický stín. To je prostor, který je ochráněn clonou a je zde proto nižší hladina akustického tlaku (znázorněna na obr. 3). Aby byla clona účinná, musí být dostatečně vysoká. Nejvhodnější umístění PHC je co nejbližší ke zdroji hluku, v kombinaci s ideální výškou, tvoří potřebný akustický stín k ochraně konkrétních objektů.



Obr. 3 Šíření hluku přes PHS [13]

4.2.1.1 Prohlídky PHC

Dle vyhlášky č. 104/1997 Sb. ve znění pozdějších předpisů č. 338/2015 Sb., je v rámci zachování bezpečnosti ukotvena povinnost provádět prohlídky PHC. Prohlídky se dělí na běžné, hlavní, mimořádné a bezpečnostní inspekce.

4.2.1.1.1 Běžné prohlídky

Provádějí se jednou ročně, provádí je správce pozemní komunikace.

4.2.1.1.2 Hlavní prohlídky

Provádějí se na začátku a před koncem záruční doby a při inventarizaci komunikací. Provádí je v intervalech nejdéle jednou za 5 let oprávněná fyzická nebo právnická osoba.

4.2.1.1.3 Mimořádné prohlídky

Provádějí se po mimořádných událostech. Došlo-li k dopravní nehodě v blízkosti PHC a došlo ke kontaktu s jejími částmi.

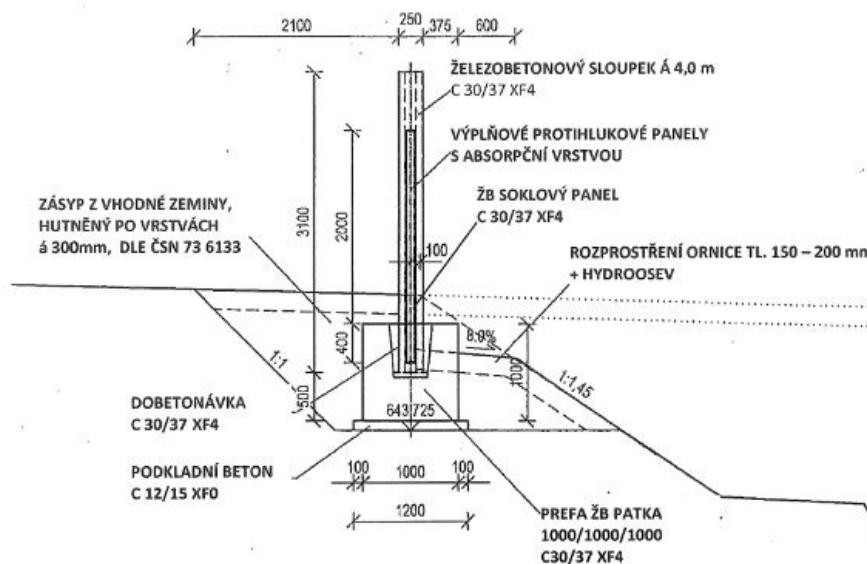
4.2.1.1.4 Bezpečnostní inspekce

Inspekce se provádějí na komunikacích transevropské silniční sítě, provádí je auditor bezpečnosti jako součást celkové inspekce bezpečnosti silničního provozu jednou za 5 let.

4.2.1.2 Konstrukce PHC

Základy konstrukční části PHC tvoří piloty. Ty jsou vrtané nebo beraněné do hloubky. Další možností je plošný základ stěny – základové patky a základové pásy. Stabilizační prvek stěny tvoří sloupky, které jsou zhotovovány z různých materiálů a v různých profilech. Mezi sloupky jsou umístěny stěnové dílce tvořící hlavní prvek stěny. Mezery mezi stěnami jsou důkladně utěsněny. V případě délky stěny větší než 300 m jsou povinnou součástí PHS také

únikové východy. V případě potřeby se vybavují PHC i stříškami, aby voda nezatékala do konstrukce. Součástí mohou být i zpevněné plochy a schodiště většinou vedoucí k únikovým východům. Nezbytná součást konstrukce je kvalitní odvodnění, aby nedocházelo k podmáčení základů PHC. Na obr. 4 je zobrazen průřez PHS založené na patkách.



Obr. 4 Příklad PHS založené na patkách [6]

4.2.1.3 Dělení PHC

Protihlukové clony se dělí dle technických podmínek (TP) 104 do těchto základních skupin:

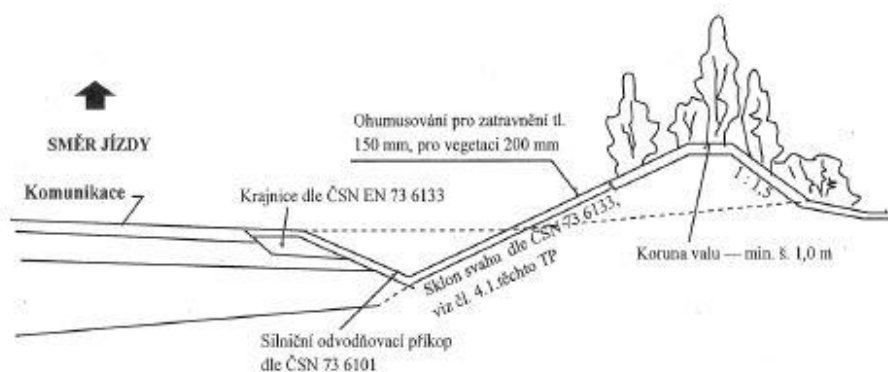
- Protihlukové stěny standardní
- Zemní valy
- Protihlukové stěny na mostech, zdech, svodidlech a konstrukcích
- Protihlukové stěny kombinované se zelení
- Polovegetační stěny
- Zemní valy kombinované se stěnou
- Mobilní PHS
- Drátokamenné (gabionové) konstrukce
- Pozemní objekty a protihlukové úpravy na pozemních objektech ohrožených hlukem z PK
- Překrytí

4.2.1.3.1 Protihlukové stěny

Viz kapitola 5.

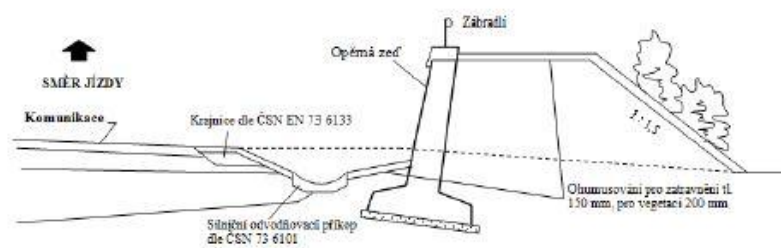
4.2.1.3.2 Zemní valy

Zemní valy jsou clony, které nenarušují ráz krajiny. Jsou to sypané konstrukce, které mohou sloužit k uložení přebytečné zeminy ze stavby. Časem se ozelení a lze je osázet stromy – vegetace slouží i jako ochrana proti erozi. Staví se sklonem max. 1:1,5. Jejich účinnost je dána jejich výškou a mohutností objemu zeminy. Jejich výhodou je vysoká účinnost, jejich nevýhodou je velký zábor půdy. Znázornění protihlukového valu na obr. 6.



Obr. 6 Příklad protihlukového valu [6]

Další možnost použití zemního valu je jednostranný val v kombinaci s protihlukovou zdí znázorněný na obr. 7. Tato varianta je volena tam, kde není dostatečný prostor pro umístění valu, ale je nutné, aby byla zajištěna dostatečná efektivita. Umisťují se také tam, kde jsou estetické požadavky na vzhled PHC a je potřeba aby „zapadly“ do krajiny.



Obr. 7 Jednostranný zemní val se stěnou [6]

4.2.1.3.3 Protihlukové stěny kombinované se zelení

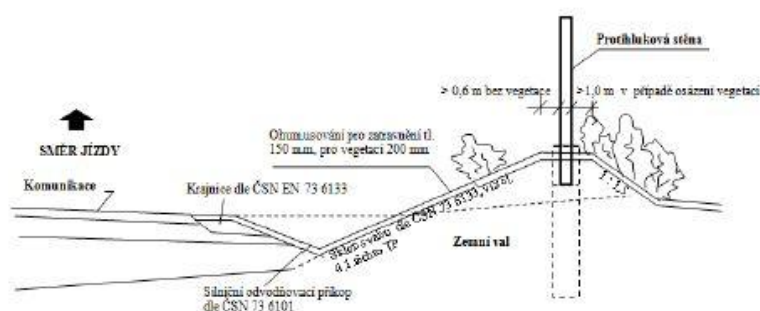
Jedná se o PHS, podél kterých je trvalá výsadba křovin nebo stromů. Dále se jedná o ozeleněné valy, které jsou zhotoveny z prefabrikované konstrukce, která je vyplněna zeminou a následně ozeleněna. Působí na řidiče esteticky příjemně a díky prefabrikované konstrukci lze tyto valy stavět mnohem strmější, než klasické zemní valy, a kladou tak menší nároky na prostor.

4.2.1.3.4 Polovegetační stěny

Jsou PHS doplněné o popínavé rostliny, které fungují jako vegetační kryt.

4.2.1.3.5 Zemní valy kombinované se stěnou

Tento protihlukový val je doplněný na vrcholu o přídatnou stěnu, která zvyšuje jeho účinnost. Používá se v místech, kde není dostatek prostoru pro vybudování dostatečně vysokého zemního valu. Příklad zobrazen na obr. 8.



Obr. 8 Protihlukový val s přídatnou stěnou [6]

4.2.1.3.6 Mobilní PHS

V případě potřeby rychlého řešení lze zřídit mobilní PHS. Takové to stěny se zřizují převážně tam, kde je dočasná hluková zátěž.

4.2.1.3.7 Drátokamenné (gabionové) konstrukce

Konstrukce sestavená z drátokamenných košů.

4.2.1.4 Pozemní objekty a protihlukové úpravy na pozemních objektech ohrožených hlukem z PK

K zamezení pronikání zvuku do budov slouží absorpční obklady na fasádě domu. K zamezení přímého vystavení expozici hluku otevřenými okny se domy vybavují

rekuperační jednotkou. Ta zajišťuje neustálé větrání bez nutnosti otevírání oken. Jako doplňující ochrana se používají okna se vzduchovou neprůzvučností.

4.2.1.5 Překrytí

Tato PHC je často jediným účinným řešením v hustě obydlených částech intravilánu. Je to finančně i stavebně náročné řešení, proto se využívá jen v nejnútnejších případech. Je zde někdy také problém s větším hlukovým zatížením ve vyšších podlažích blízko umístěných domů. Situace se v těchto podlažích oproti původnímu stavu může zhoršit, a proto se někdy od tohoto řešení ustupuje. Příklad překrytí je na obr. 9.



Obr. 9 Překrytí komunikace – protihlukový tubus [11]

4.2.2 Vegetace

Jako přírodní protihluková clona může sloužit také vegetace. Dostatečně účinná je pouze při dostatečně širokém pásu zeleně. Podle studie ze Spojených států amerických dokáže 30 m široký pás zeleně ve vzdálenosti 30 m od komunikace snížit hluk o 5 dB [19]. Nutné je zastoupení všech výškových pater vegetace v pásu zeleně – od nízkých keřů až po vysoké stromy. Ideální je zvolení stromů, které mají velké a tvrdé listy a drží na nich co nejdelší část roku. Při zvolení tohoto typu clony je také nutné vzít v úvahu dobu, po kterou budou stromy muset růst, než dosáhnou potřebné výšky a tedy než budou plnit potřebnou útlumovou funkci.

5 Protihlukové stěny

Protihluková stěna je na prostor nejméně náročná clona, která zabraňuje šíření zvuku od zdroje. Používá se proto ve stísněných podmínkách nebo na mostech. Její účinnost závisí na akustických vlastnostech, výšce a materiálu, ze kterého je vyrobena. Existuje velké množství materiálů, ze kterých se stěny vyrábějí, např. dřevo, sklo, recyklovaný plast, beton. Obecně by stěna měla být v takovém provedení, aby působila příjemně na řidiče. V žádném případě (zejména jedná-li se o dvojici stěn podél komunikace) nesmí působit tunelovým efektem a uspávat řidiče, proto se stěny vyskytují ve variantách různého provedení i barev. Její ukončení musí být výškově pozvolné, aby nedošlo k prudkému nárazu větru na jejím okraji.

5.1 Akustické vlastnosti PHS

5.1.1 Zvuková pohltivost

Zvuková pohltivost je vlastnost stěny absorbovat zvuk. Pro její hodnocení byla zavedena hodnota DL_{α} [dB]. Dle velikosti této hodnoty se dělí PHS do kategorií, viz tabulka 3.

Tab. 3 Kategorie zvukové pohltivosti [1]

Kategorie	DL_{α}
A0	Neurčeno
A1	< 4 dB
A2	4 dB – 7 dB
A3	8 dB – 11 dB
A4	12 dB - 15 dB
A5	>15 dB

5.1.2 Vzduchová neprůzvučnost

Vzduchová neprůzvučnost je schopnost stěny snížit hladinu akustického výkonu při přenosu vzduchem přes konstrukci PHS. Pro její hodnocení byla zavedena hodnota DL_R [dB]. V závislosti na velikosti této hodnoty, dělíme PHS do kategorií, uvedených v tabulce 4.

Tab. 4 Kategorie vzduchové neprůzvučnosti [1]

Kategorie	DL_R
B0	Neurčeno
B1	< 15 dB
B2	15 dB – 24 dB
B3	25 dB – 34 dB
B4	> 34 dB

Podle chování zvuku po dopadu na stěnu rozdělujeme protihlukové stěny na odrazivé, absorpční a vysoce absorpční. Odrazivé stěny zvuk převážně odrazí a sníží hladinu hluku o méně než 4 dB, proto je jejich použití omezené. Čím více je stěna naopak pohltivá, tím menší část zvuku se odrazí zpět do prostoru. Vysoce absorpční stěny sníží hladinu hluku o více než 8dB. [16]. V případě použití jen jednostranné ochrany komunikace PHS musí být bráno v úvahu, že druhá strana je zatížena větším množstvím zvukových emisí. Přidává se zde i odraz od stěny, takže tuto variantu osazení PHS lze využít povětšinou v území, zastavěném pouze z jedné strany komunikace.

5.2 Materiál

Stěny jsou sestavovány z jednotlivých panelů a ty jsou zhotoveny z různých materiálů. Nejlepší akustické vlastnosti mají porézní materiály. Jsou to materiály, které mají velké množství pórů, jež dobře pohlcují dopadající akustickou energii. Po dopadu se akustická energie přeměňuje následnými odrazy v materiálu na tepelnou energii.

Zde jsou některé nejčastěji používané panely.

5.2.1 Dřevocementové panely

Pohltivá vrstva těchto panelů je tvořena ze dřevocementového nebo štěpkocementového materiálu. Z něho jsou vytvořeny tzv. tvarovky, které se připevní z jedné nebo obou stran na dřevěnou konstrukci PHS. Dosahují zvukové pohltivosti kategorie A2 – A4 a vzduchové neprůzvučnosti kategorie B3 – B4.

5.2.2 Plastové panely

Panely jsou zhotoveny z recyklovaného plastu, mají buď pohltivou výplň, kterou je absorpční vata, nebo mají pohltivou vrstvu připevněnou zevně. Jejich výhodou je nízká hmotnost. Dosahují zvukové pohltivosti kategorie A2 - A4 a vzduchové neprůzvučnosti kategorie B3 - B4.

5.2.3 Pryžové panely

Tyto panely mají pohltivou vrstvu vyrobenou z recyklované pryže. Zvuková pohltivost těchto panelů je kategorie A3 a vzduchová neprůzvučnost kategorie B3.

5.2.4 Betonové panely

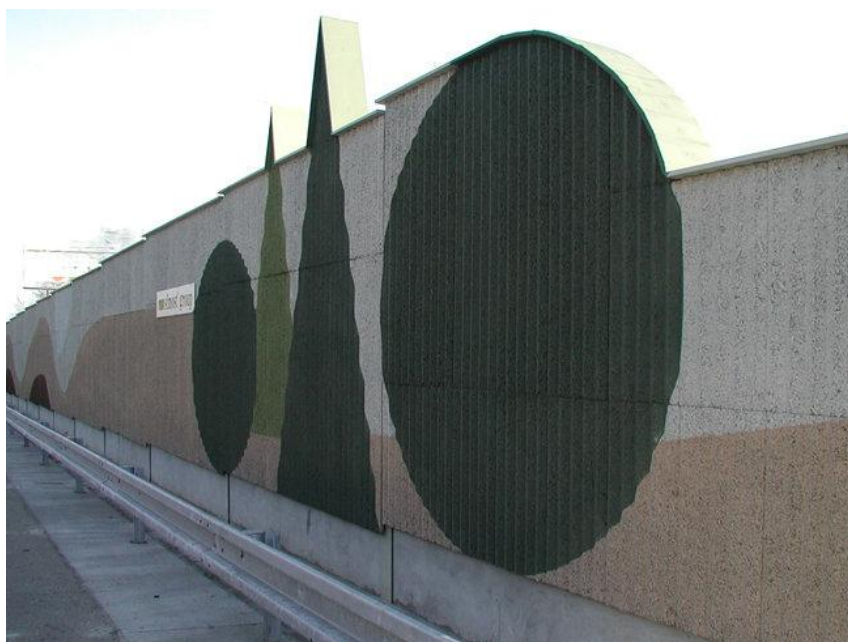
Jejich pohltivá vrstva je tvořena mezerovitým betonem. Je to lehký beton s příměsí písku nebo drobného kameniva. Dosahují zvukové pohltivosti kategorie A2 – A4 a vzduchové neprůzvučnosti kategorie B4.

5.2.5 Hliníková stěna

Pohltivou vrstvu u hliníkových panelů tvoří výplň absorpční vatou. Někdy i ochrannou textilií ze skleněného vlákna. Jejich výhodou je nízká hmotnost a tím i snadná manipulace. Zvuková pohltivost takovýchto stěn dosahuje kategorie A5 a vzduchová neprůzvučnosti kategorie B3.

5.2.6 Sklovláknobetonový panel

Pohltivou vrstvu v těchto panelech tvoří sklovláknobeton. Zvuková pohltivost takovýchto stěn dosahuje kategorie A3 a vzduchová neprůzvučnosti kategorie B4.



Obr. 5 Pohltivá štěpkocementová PHS u Velkého Meziříčí [24]

6 Únikové otvory v protihlukových stěnách

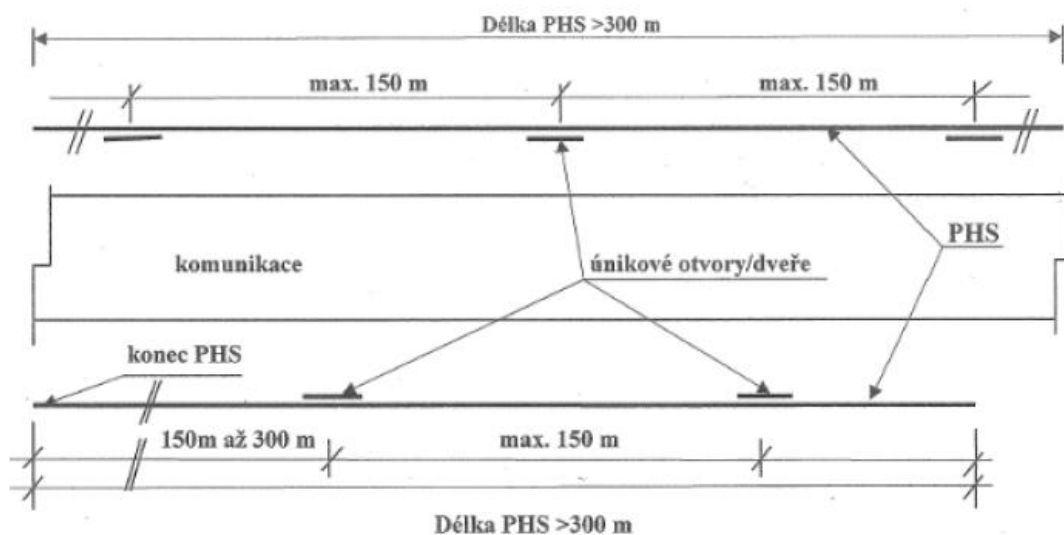
Tato kapitola se věnuje únikovým otvorům v PHS u pozemních komunikací.

Vyhláškou č. 104/1997 Sb., kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů č. 338/2015 Sb. jsou povinnou součástí každé PHS, která je delší než 300 m, únikové východy. Únikové východy existují buď otevřené, tj. únikové otvory, nebo uzavřené, tj. únikové dveře.

Únikové dveře a otvory se navrhují dle ČSN EN 1794-2 pro účely [6]:

- údržby protihlukového zařízení a části silničního pozemku za protihlukovým zařízením
- pro přístup záchranné služby při dopravní nehodě
- únikové cesty pro účastníky dopravní nehody

Vzdálenost únikových východů od sebe musí být maximálně 150 m, stejně tak vzdálenost posledního východu od konce stěny musí být maximálně 150 m. Konkrétní umístění se posuzuje vždy dle lokální situace. Preferuje se např. napojení východů na již existující cestu za stěnou. V případě, že je k únikovému otvoru nutný příjezd vozidla, musí být brán tento požadavek v úvahu při přípravě stavby. Pokud je stěna umístěna u komunikace oboustranně, je doporučené z bezpečnostních důvodů střídavé umístění dveří (příklad je uveden na obr. 10)

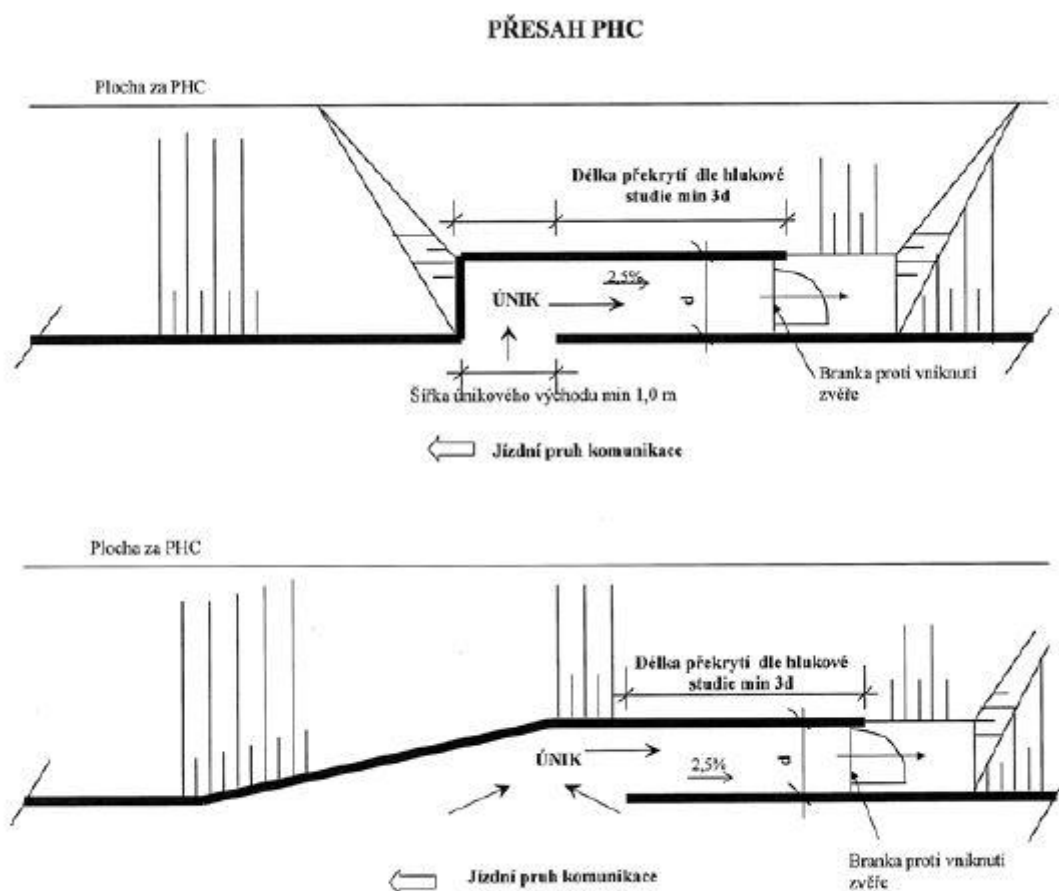


Obr. 10 Střídavé umístění východů v PHS [6]

6.1 Otevřené východy

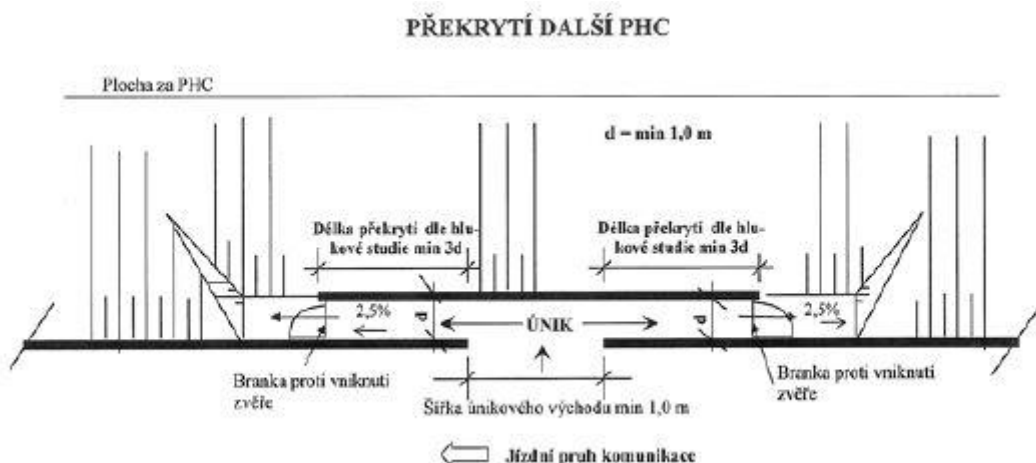
Otevřené východy nejsou vybaveny dveřmi a pro zachování funkčnosti stěny jsou tyto východy chráněny pomocí překrytí další stěnou nebo přesahem stěny. Délka překrytí (přesahu) musí být minimálně 3krát delší než je šířka mezi stěnami. Otvor musí být označen bezpečnostní tabulkou „Únikový východ“. Minimální šířka únikového otvoru je 1 m. Aby se zabránilo vniknutí zvíře těmito otvory na komunikaci, doporučuje se opatřit otvor např. pletivem s uzavíratelnou brankou.

6.1.1 Přesah PHC



Obr. 11 Překrytí pomocí přesahu PHC [6]

6.1.2 Překrytí další PHC



Obr. 12 Překrytí pomocí další PHC [6]

6.2 Uzavřené východy

Uzavřené východy jsou vybavené únikovými dveřmi. Dveře se musí otevírat ve směru, kterým unikají osoby v případě nebezpečí z komunikace a musí zajišťovat rychlý a snadný průchod. Musí být označeny bezpečnostními tabulkami „Únikový východ“ a musí mít minimální rozměry 2,1 x 0,9 m. Mechanismus dveří musí být upraven tak, aby dveře byly samozavíratelné. Dveře dále musí mít kvalitní těsnění. Celková konstrukce musí být odolná, pevná, vyžadovat minimální údržbu a musí mít dobré zvukově izolační vlastnosti, aby byla zachována funkčnost stěny.

V případě, že pozemky za stěnou mají soukromého vlastníka, mohou být pro zamezení přístupu ke komunikaci únikové dveře z této strany otevřeny pouze klíčem nebo speciálním nástrojem. V takovém případě je povinnost vybavit dveře ze strany komunikace varováním informační tabulí s touto informací.

7 Akustické měření

Další část je věnována popisu prováděného měření a následně i konkrétního měření hluku ve vybraných lokalitách.

Jednalo se o měření technické, které probíhalo paralelně na dvou porovnávaných místech s úkolem zjistit rozdíl hladin hluku před a za PHS. Nebylo proto nutné po dobu měření zaznamenávat intenzitu dopravy nebo měření provádět pouze ve vymezeném časovém období pro hygienické měření, které je stanoveno zákonem.

7.1 Použitá měřicí technika

Měření bylo prováděno dvěma zvukoměry. Prvním byl přístroj značky Norsonic 140 a druhým byl přístroj značky Brüel&Kjaer 2260 Investigator. Oba jsou zobrazeny na obr. 13. Před zahájením i po skončení měření byla provedena kalibrace zvukoměrů. Při měření byla na mikrofon použita ochrana proti větru.



Obr. 13 Zvukoměr Norsonic 140 a zvukoměr Brüel&Kjaer 2260 Investigator [19,17]

7.2 Volba měřících míst a bodů

Pro měření byly zvoleny různé lokality tak, aby měl každý druh únikového otvoru ve výběru své zastoupení. Byly voleny komunikace s dostatečnou intenzitou provozu, aby byly zaručeny nepřetržité akustické emise.

Dvěma měřicími přístroji byl zaznamenáván průběh hladiny akustického tlaku současně ve dvou měřících bodech. Bylo tak měřeno proto, aby bylo možné v každém měřicím intervalu porovnat situaci před a za PHS.

Jeden mikrofon tedy musel být umístěn před PHS u komunikace a druhý za PHS.

Jednotlivé body za PHS byly zvoleny v jednom profilu v různé vzdálenosti od PHS. První bod ve vzdálenosti 10 m. V tomto bodu je možné zhodnocení situace v bezprostřední blízkosti. Druhý bod je ve vzdálenosti 20 m a třetí ve vzdálenosti 50 m. V těchto bodech je možné pozorovat, jak se bude snižovat hladina hluku s přibývajícím vzdáleností nebo jaké další zdroje mohou popřípadě mít vliv na akustickou situaci.

Pro zhodnocení efektu samotné PHS byl vždy zvolen samostatný měřící bod mimo profil ve vzdálenosti 1 m od PHS. Tento bod byl umístěn mimo únikový otvor a pomocí něho lze zhodnotit funkčnost stěny.

Mikrofon byl umístěn do výšky 1,5 m nad terén, což je standardní umístění v případě, že není z nějakých důvodů požadováno umístění do konkrétní výšky. Umístění mikrofonu je zdokumentováno na obr. 14.

Jako interval měření byl zvolen časový úsek 15 min, což lze považovat za dostatečně reprezentativní vzorek pro účely této práce.

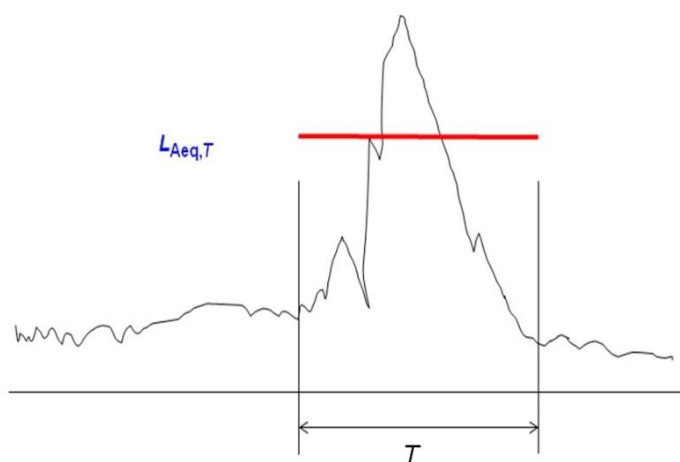


Obr. 14 Umístění mikrofonu [autor]

7.3 Základní zjišťované údaje

7.3.1 Akustické údaje

Měřením byla zaznamenávána ekvivalentní hladina akustického tlaku s periodou 15 min $L_{Aeq,T=15min}$. Jedná se o průměrnou hodnotu za celý měřicí interval v jednom bodě. Znárodnění ekvivalentní hladiny je na obr. 15. Pro ekvivalentní hladinu akustického tlaku se používá standartní nejistota měření ± 2 dB od naměřených hodnot. Tato nejistota musí být zohledněna při každém měření.



Obr. 15 Ekvivalentní hladina akustického tlaku [18]

Matematicky ji lze vyjádřit vztahem [14]:

$$L_{eq,T} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{T} \cdot \int_0^T \frac{p^2(\tau)}{p_0^2} d\tau \right] \quad 3$$

Kde:

T - doba trvání hluku

p - okamžitý akustický tlak

p_0 - referenční akustický tlak $2 \cdot 10^{-5}$ Pa

7.3.2 Neakustické údaje

V každé lokalitě byl proveden průzkum okolí měřeného místa. Byla provedena prohlídka PHS, jejího stavu a únikových otvorů.

Po dobu měření byly do protokolu zaznamenávány všechny okolnosti, které by mohly ovlivnit výsledek měření.

8 Měření – lokalita 1

8.1 Popis lokality

První měřicí lokalitou byl zvolen úsek dálnice D1 v Průhonicích v okrese Praha-západ ve Středočeském kraji, viz obr. 16, kde se nachází protihluková stěna (km 5.185 – 6.024). Měřicí místo bylo zvoleno v km 5.746 u únikového otvoru. Dálnice se v místě měření nachází v pravotočivém oblouku o velkém poloměru a v mírném stoupání. Protihluková stěna je osazena pouze po jedné - pravé straně komunikace. V místě měření je vozovka vzhledem k patě protihlukové stěny v zářezu, jak je vidět z obr. 17. Terén nacházející se za protihlukovou stěnou je rovinný a jeho povrch je porostlý malými keři, které nejsou dostatečně vzrostlé a husté, aby mohly způsobovat výrazný útlum šířícího se hluku.



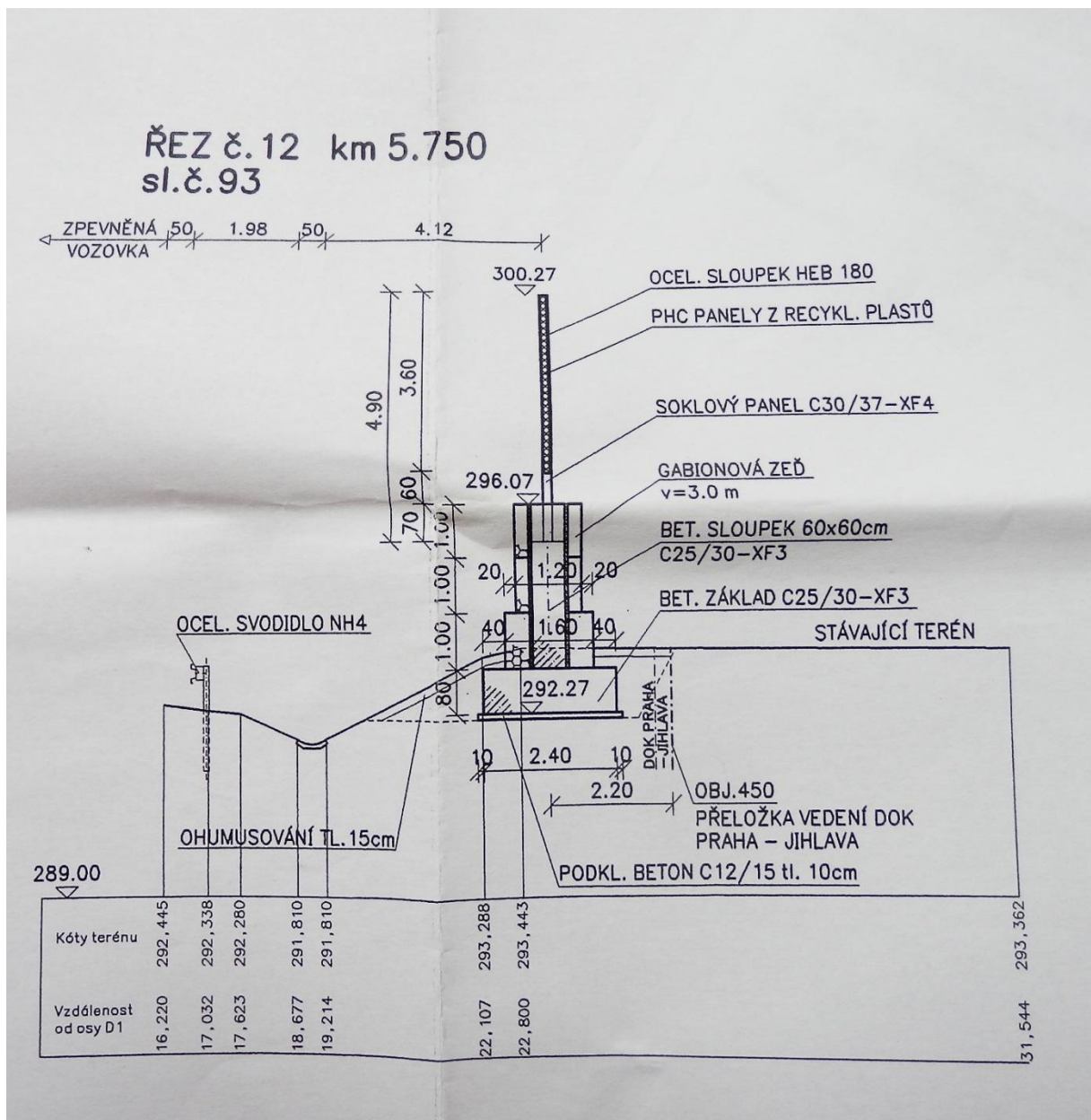
Obr. 16 Situace širších vztahů – lokalita 1 [podklad 20]

8.2 Protihluková stěna

Stěna zde má sloužit k ochraně sídliště v Průhonicích a objektů nacházejících se v ulici Třešňová. V místě měření je PHS vysoká 7,20 m. Do výšky 3,00 m je složena z gabionových košů a do výšky 7,20 m je doplněna panely, vyrobenými z recyklovaných plastů. Povrch panelů ze strany komunikace je navíc opatřen pohltivou vrstvou. Pohltivost PHS uvedená

v technické zprávě je min. 15 dB. V místě únikových dveří není v šířce 2 m PHS osazena gabiony, ale je zde pouze panel.

Při ohledání PHS bylo zjištěno, že stěna je v dobrém stavu, nejeví výrazné známky poškození, které my mohly snižovat její funkčnost.



Obr. 17 Řez protihlukovou stěnou v 5.750 km [7]

8.3 Volba měřících bodů

Bylo zvoleno celkem pět měřících bodů. Měření probíhalo paralelně vždy ve dvou měřících bodech - jedním před a jedním za PHS. Poloha bodů je zobrazena na obr. 18. První bod M1 byl zvolen před PHS, vzdálený 3 m od stěny mimo prostor dveří a 3 m od zpevněné krajnice. Druhý bod byl vždy za stěnou. Tři body byly v různých vzdálenostech od PHS umístěny na profil osy středu únikových dveří, tedy do míst, kde se čeká nejvýraznější průnik akustické energie. Vzdálenost měřících bodů od stěny byla: M2 – 10 m, M3 – 20 m a M4 – 50 m. Poslední bod M5 byl umístěn mimo tento profil ve vzdálenosti 1 m od stěny.



Obr. 18 Poloha měřících míst [podklad 20]

8.4 Popis měření

Měření probíhalo dne 12. 11. 2016 v době 11:59 - 14:07. Teplota v době měření byla přibližně 0°C. Bylo polojasno a bezvětrno. Byl měřen a zaznamenáván průběh hladiny akustického tlaku v čase s periodou záznamu 1s.

Umístění měřící techniky je na obr. 19.

V každém z měřících bodů M2-M4 byla provedena dvě měření. Jedno, když byly otevřené únikové dveře a druhé měření proběhlo při zavřených dveřích. V posledním bodu M5 bylo provedeno pouze jedno měření při zavřených dveřích.



Obr. 19 Umístění měřící techniky v bodu M1 [autor]

8.5 Naměřená data

V tabulce 5 je přehled naměřených hodnot v bodech M2 – M4 a porovnání s naměřenými hodnotami v bodu M1. Dále je zde vypočítán rozdíl mezi naměřenými hodnotami ve stejném bodu při zavřených a otevřených únikových dveřích.

Tab. 5 Přehled naměřených hodnot [autor]

Měřící bod č.	Zavřené (Z)/Otevřené (O) únikové dveře	Naměřené hodnoty		Rozdíl mezi Z a O [dB]
		Ekvivalentní hladiny akustického tlaku LAeq [dB]	Ekvivalentní hladiny akustického tlaku LAeq v bodu č. M1 [dB]	
M2	Z	57,5	81,0	2,7
	O	60,2	81,0	
M3	Z	57,6	81,0	0,6
	O	58,2	81,0	
M4	Z	55,1	81,0	0,3
	O	55,4	81,0	

V tabulce 6 jsou naměřené hodnoty hluku v závislosti na vzdálenosti od PHS při zavřených únikových dveřích. Je to stav, na který jsou stěny navrhovány a dveře by měly být dostatečně utěsněny, aby nenarušovaly funkčnost PHS. Je zde vypočítán také rozdíl mezi stavem v bodu M1 před a M2-M4 za stěnou.

Tab. 6 Naměřené hodnoty při zavřeném únikovém východu [autor]

Měřicí bod č.	Naměřené hodnoty		Rozdíl [dB]
	Ekvivalentní hladiny akustického tlaku LAeq [dB]	Ekvivalentní hladiny akustického tlaku LAeq v bodu č. M1 [dB]	
M2	57,5	81,0	23,5
M3	57,6	81,0	23,4
M4	55,1	81,0	25,9

8.6 Vyhodnocení

Cílem bylo porovnat, jak se změní akustická situace, bude-li v PHS otevřený otvor. Obecné požadavky na dveře jsou, aby byly utěsněné tak, aby nepronikal žádný hluk. Podle získaných výsledků je však již ve vzdálenosti 20 m od PHS situace se zavřenými nebo otevřenými dveřmi velmi málo rozdílná a ve vzdálenosti 50 m od PHS již téměř stejná. Čím je vzdálenost za PHS větší, tím vyšší je význam zvuku, který se šíří přes protihlukovou stěnu a ve vzdálenosti 50 m je již rozhodující. V této vzdálenosti nehraje otvor v PHS významnou roli na akustickou situaci.

Dále bylo zjišťováno, jak klesá hluk v závislosti na vzdálenosti od PHS. Jsou-li porovnávány hodnoty, získané měřením za zavřenými dveřmi, jako optimálního stavu (jak můžeme z tabulky 6 vyčíst), rozdíl hladiny mezi vzdáleností 10 m a 50 m (body M2 a M4) od PHS je jen 2,5 dB. Je to způsobeno již zmíněným uplatněním hluku, který se ve větších vzdálenostech šíří i přes PHS.

Poslední měření bylo provedeno v bodu M5 mimo únikový otvor ve vzdálenosti 1 m od stěny. V tomto bodu bylo očekáváno získání hodnoty nižší než v měřicím bodě M2, který byl na ose únikového otvoru. Při stejné hodnotě hladiny akustického tlaku v bodě M1 u komunikace byl zjištěn rozdíl hodnot mezi body M2 a M5 jen 0,6 dB. Proto bylo provedeno důkladnější proměření bodu M5 a vytvoření dalšího měřicího bodu M6. Tento bod byl umístěn na osu dveří ve stejné vzdálenosti 1 m od stěny jako M5 viz obr. 20. Bylo provedeno paralelní měření v bodech M5 a M6. Výsledky měření jsou v tabulce 7.

Tab. 7 Naměřené hodnoty [autor]

	Naměřené hodnoty		Rozdíl [dB]
	Ekvivalentní hladiny akustického tlaku LAeq v bodu č. M5 [dB]	Ekvivalentní hladiny akustického tlaku LAeq v bodu č. M6 [dB]	
1. měření	58,8	57,8	1,0
2. měření	58,7	57,8	0,9
3. měření	58,9	57,9	1,0



Obr. 20 Porovnávané měřicí body [autor]

Bylo zjištěno, že v ose dveří je naměřená hodnota akustického tlaku nižší než mimo osu dveří. Znamenalo by to, že únikový otvor a těsnění dveří není slabým článkem PHS, ale je dokonce lepší než funkčnost samotné PHS. Je to s největší pravděpodobností způsobeno tím, že stěna je ve své spodní části, která má zásadní vliv v měření bodech M5 a M6, tvořena gabionovou zdí. Ta se jeví jako nevhodný materiál na stavbu PHC.

8.6.1 Gabionová zeď

Gabionová zeď je složena z jednotlivých košů. Gabionový koš je drátěná konstrukce, která je naplněna kamenivem. Její uložení musí být vždy na pevný základ, nejčastěji betonový. Je to konstrukce, která propouští vodu a dovoluje prorůstání vegetace, takže se použije i tam, kde je požadavek na estetický vzhled zdi. Na velikosti frakce kameniva závisí velikost útlumu hluku. Čím je kamenivo drobnější, tím lépe na sebe doléhá a tvoří mezi sebou menší otvory. Naopak čím vyšší frakce, tím jsou větší otvory pro pronikání hluku skrz ni.

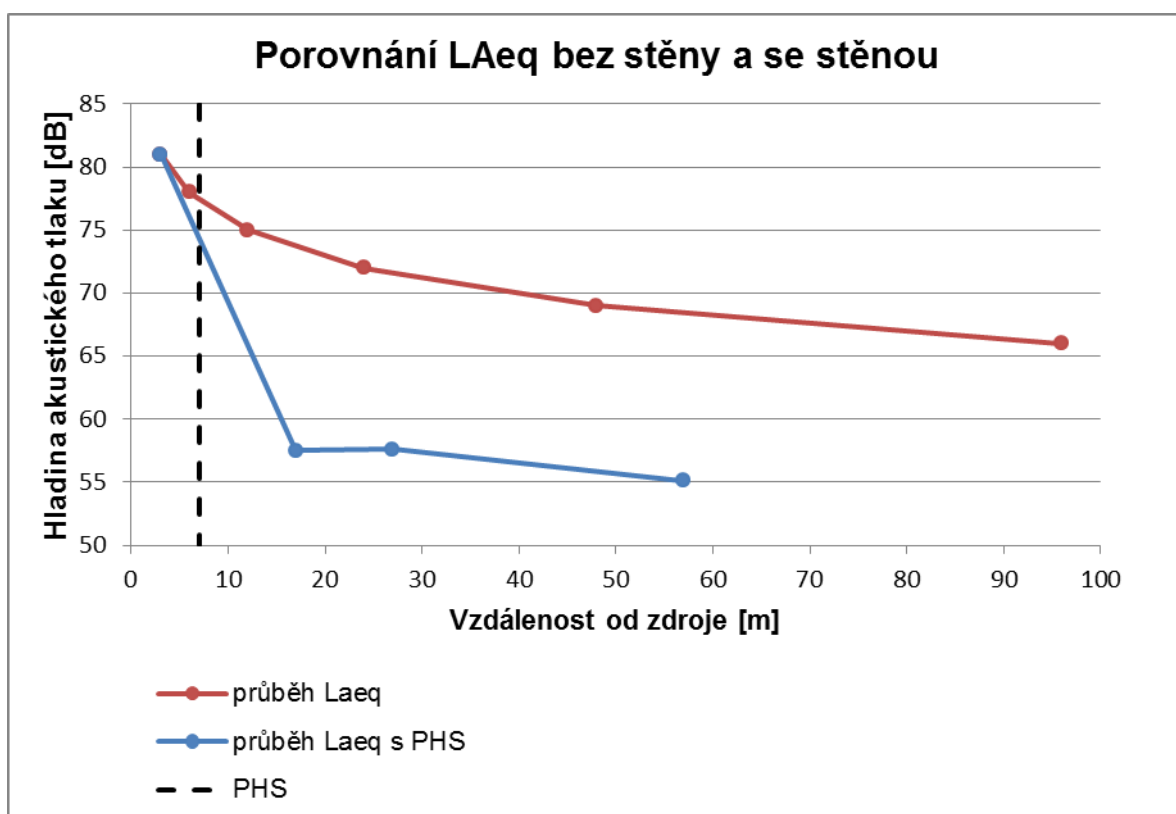
Gabionové zdi se používají jako opěrné zdi, pro stabilizaci svahů nebo vodních toků. Pro stavbu protihlukových zdí se ukázaly jako nevhodné a málo funkční. Vizuálně je to mohutná zeď, ale zvuk prochází otvory mezi kameny. V případě jejich použití u PHS by bylo vhodné doplnit mezi koše protihlukové panely.



Obr. 21 Detail gabionové PHS – Průhonice [autor]

Rozdíl mezi body M5 a M6 není přesto tak veliký, je jen 1 dB. Je to pravděpodobně způsobeno tím, že v bodu M6 působí hluk pronikající z komunikace v celé šíři skrz gabiony, bod M5 leží přímo za panelem s dveřmi, kterým proniká méně hluku. Hluk ale proniká a působí na bod M6 z bočních stran. Velmi pravděpodobně, kdyby bylo provedeno srovnání zdi jen gabionové se zdí jen betonovou, byl by rozdíl hladiny hluku ještě vyšší. Na nové měření nebyl z časových důvodů prostor, ale může to být téma pro jinou, navazující práci.

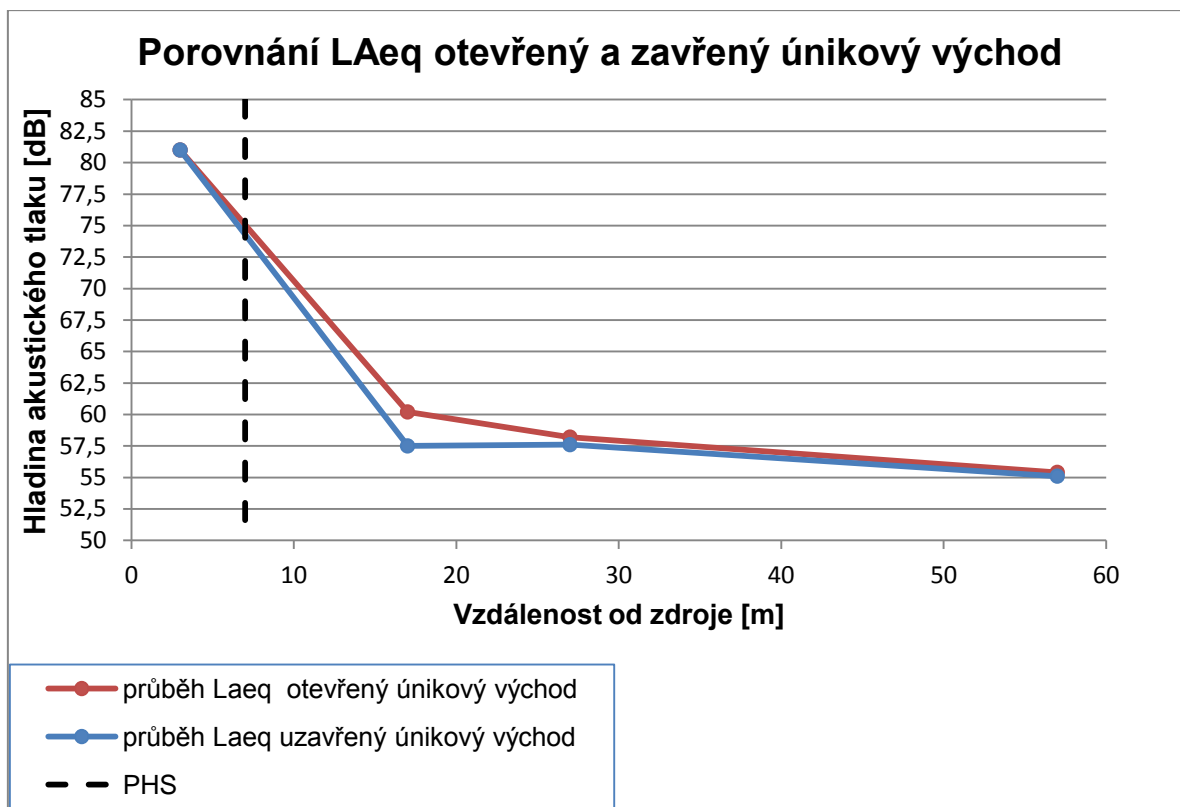
8.6.2 Grafické vyhodnocení



Obr. 22 Porovnání akustické situace bez PHS a s PHS [autor]

V grafu je červeně znázorněna hladina akustického tlaku LAeq, která se snižuje s rostoucí vzdáleností od zdroje. Takto by hladina klesala v případě, že by se zde nenacházela žádná PHS. Průběh hladiny je predikován na základě známé skutečnosti, že hladina akustického tlaku od lineových zdrojů klesá s dvojnásobnou vzdáleností od zdroje o 3 dB. Modře je znázorněna hladina akustického tlaku LAeq, která byla získána měřením při existenci PHS se zavřenými únikovými dveřmi. Černou čárkovanou čarou je zobrazeno, kde se nachází PHS.

Z grafu na obr. 22 je možné vyčíst, že PHS výrazně omezila šíření hluku. Ten, který byl naměřen, je zřetelně nižší, než ten, který by se zde vyskytoval v případě absence jakékoliv clony. I v nejbližším měřeném bodě je rozdíl stále více než 15 dB. Dále je možné vyčíst výrazný pokles naměřeného akustického tlaku před a za PHS.



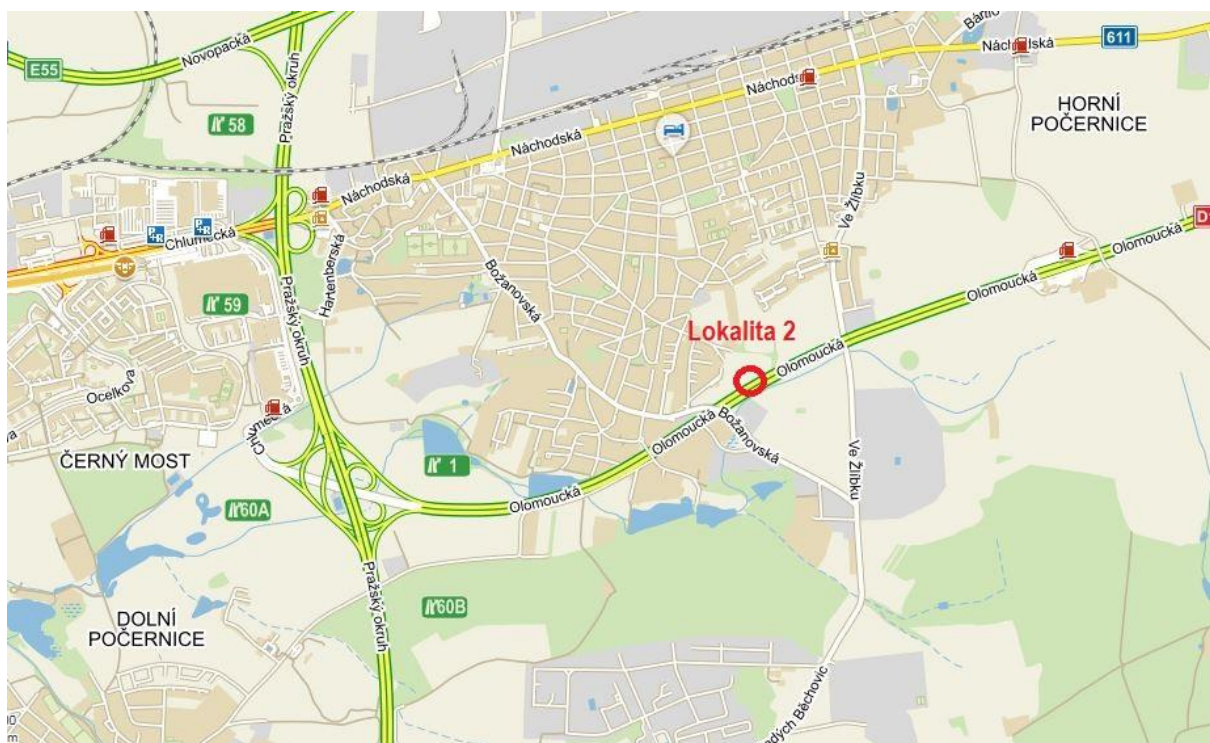
Obr. 23 Grafické porovnání průběhu LAeq při otevřeném a zavřeném únikovém východu
[autor]

Z grafického porovnání hladin akustického tlaku z obr. 23 u únikového východu s otevřenými a uzavřenými dveřmi lze vyčíst, že významný rozdíl v hluku je jen v bezprostřední blízkosti PHS. Ve vzdálenosti 20 m od PHS (26 m od komunikace) se již hladiny téměř neliší.

9 Měření – lokalita 2

9.1 Popis lokality

Druhou měřicí lokalitou byl zvolen úsek dálnice D11 v Městské části Prahy 20 - Horní Počernice, viz obr. 24, kde se nachází se zde protihluková stěna. PHS je osazena pouze po jedné - levé straně komunikace. Měřicí body byly zvoleny přibližně v km 1,5 u únikového otvoru. Dálnice se v místě měření nachází v přímém úseku bez výrazné změny podélného profilu. Povrch komunikace je tvořen betonovou vozovkou, na kterou byl položen asfalt. Jsou však stále patrné projeté dilatační prořezy původní betonové vozovky, takže dochází k vyšším akustickým emisím od projíždějících automobilů, než by tomu bylo v případě kvalitnějšího povrchu komunikace. V místě měření je pata zdi na mírném náspu vůči koruně vozovky. Terén za PHS je zhruba v úrovni povrchu vozovky, je rovinatý, pokrytý větším množstvím malých keřů, které v některých místech mohou působit jako malá protihluková bariéra.



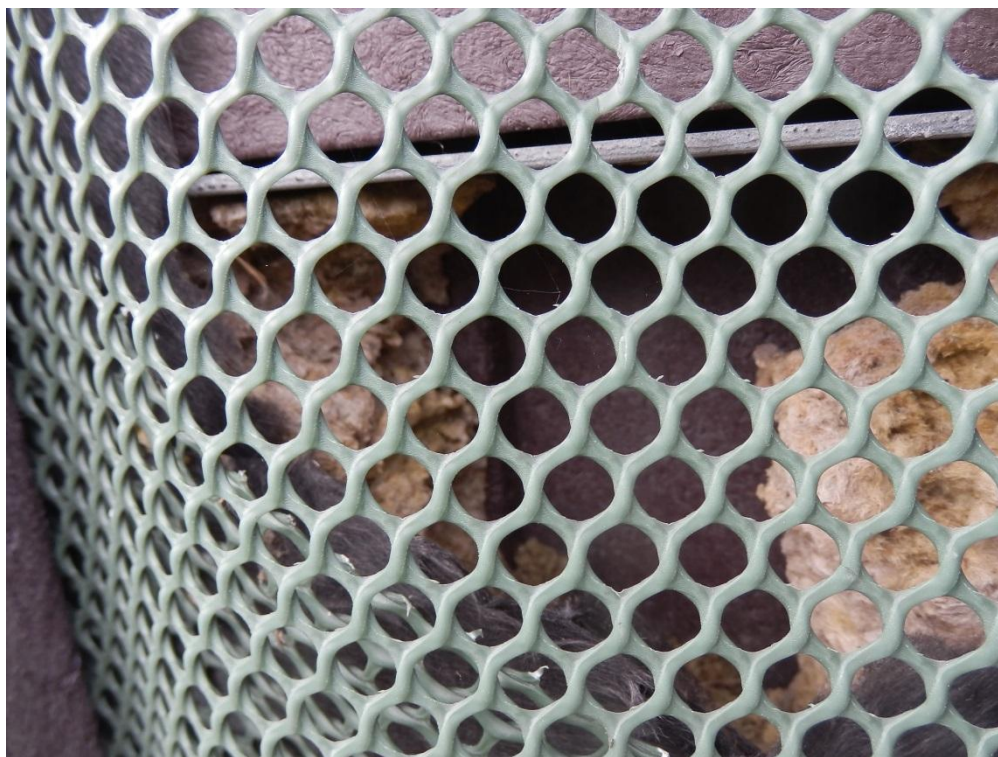
Obr. 24 Situace širších vztahů – lokalita 2 [podklad 20]

9.2 Protihluková stěna

Stěna zde má sloužit k ochraně domů v přilehlých ulicích. V místě měření je stěna 3,5 m vysoká, je tvořena panely z recyklovaných plastů a ze strany od komunikace je kryta pletivem a vyplněna zvuko-izolační vatou. Únikový otvor je zde tvořen překryvem dvou stěn. Dle TP 104 má být překryv min 3 krát delší než vzdálenost mezi stěnami z důvodu zachování

co nejvyšší funkčnosti stěny. Otvor je zde 4,5 m široký a překryv je dlouhý pouze 9 m. PHS nesplňuje podmínky TP 104 a v důsledku toho je za stěnou očekáván vyšší hluk, než by byl při dodržení předepsaných podmínek.

Při ohledání na místě bylo zjištěno, že stěna je místy značně poškozená, viz obr. 25. Chybějící kusy vaty mohou způsobovat snížení funkčnosti stěny.



Obr. 25 Poškozená PHS[autor]

9.3 Měřicí body

Bylo zvoleno celkem sedm měřicích bodů. Měření bylo prováděno vždy ve dvou měřicích bodech současně. Poloha měřicích bodů je zaznamenána na obr. 26. První bod M1 byl zvolen před PHS, ve vzdálenosti 4 m od stěny, mimo prostor únikového východu a 4 m od zpevněné krajnice. Druhý bod se nacházel vždy za stěnou. Body za stěnou byly zvoleny v různých vzdálenostech od PHS. Kolmá vzdálenost měřicího bodu od bližší stěny byla: M2 – 10 m, M3 – 20 m a M4 – 50 m. Měřicí body byly umístěny cca 8 m od konce překryvu bližší PHS - do prostoru, kde byla očekávána nejvýraznější hluková zátěž. Bod M5 byl umístěn mimo tuto osu a ve vzdálenosti 1 m od stěny. Pro zhodnocení šíře plochy, kudy proniká akustická energie, byly zvoleny měřicí body ve vzdálenosti 20 m od PHS a 12 m na obě strany od bodu M3.



Obr. 26 Poloha měřících míst [podklad 20]

9.4 Popis měření

Měření probíhalo dne 8. 4. 2017 v době 15:35 – 17:30. Teplota v době měření byla přibližně 11°C. Bylo zataženo a bezvětrí. Byl měřen a zaznamenáván průběh hladiny akustického tlaku v čase s periodou záznamu 1s.

V měřících bodech M2 – M7 bylo vždy provedeno jedno měření. Na obr. 27 je zobrazen překryv PHS na místě měření.



Obr. 27 Překryv PHS [autor]

9.5 Naměřená data

V tabulce 9 je přehled naměřených hodnot v bodech M2 – M7 a porovnání s naměřenými hodnotami v bodu M1. Je zde vypočítán i rozdíl mezi body před a za PHS při souběžném měření.

Tab. 9 Naměřené hodnoty lokalita 2 [autor]

Měřicí bod č.	Naměřené hodnoty		Rozdíl [dB]
	Ekvivalentní hladiny akustického tlaku LAeq[dB]	Ekvivalentní hladiny akustického tlaku LAeq v bodu č. M1 [dB]	
M2	64,7	82,0	17,3
M3	63,7	82,7	19,0
M4	63,1	83,4	20,3
M5	62,5	83,6	21,1
M6	64,3	83,3	19,0
M7	64,1	83,3	19,2

9.6 Vyhodnocení

Cílem bylo zhodnotit, jaký vliv má tento únikový otvor na akustickou situaci za stěnou. Bylo zjištěno, že neprůzvučnost stěny v kontrolním bodě M5 je po zaokrouhlení 21 dB. Stěna je tedy kvalitní.

V tabulce 10 je srovnáním hodnot v bodech M3, M6 a M7 umístěných ve stejné vzdálenosti od PHS prokázáno, že v této vzdálenosti se akustická energie šíří do všech stran a bod M6, umístěný mimo únikový otvor částečně v zákrytu druhou stěnou, je stejně zasažen jako body, které nebyly umístěny v zákrytu.

Tab. 10 Porovnání naměřených hodnot na bodech M3, M6 a M7 [autor]

Měřicí bod č.	Naměřené hodnoty		Rozdíl [dB]
	Ekvivalentní hladiny akustického tlaku LAeq[dB]	Ekvivalentní hladiny akustického tlaku LAeq v bodu č. M1 [dB]	
M3	63,7	82,7	19,0
M6	64,3	83,3	19,0
M7	64,1	83,3	19,2

Z důvodu naměření těchto hodnot byl zvolen další bod M8 ve vzdálenosti 10 m od PHS a 12 m od bodu M2 viz obr. 28. Je tedy umístěn v poloviční vzdálenosti k PHS než body M3, M6 a M7. Cílem bylo zjistit, zda tento bod bude mít nižší naměřenou hodnotu než bod M2.



Obr. 28 Poloha měřících bodů [podklad 20]

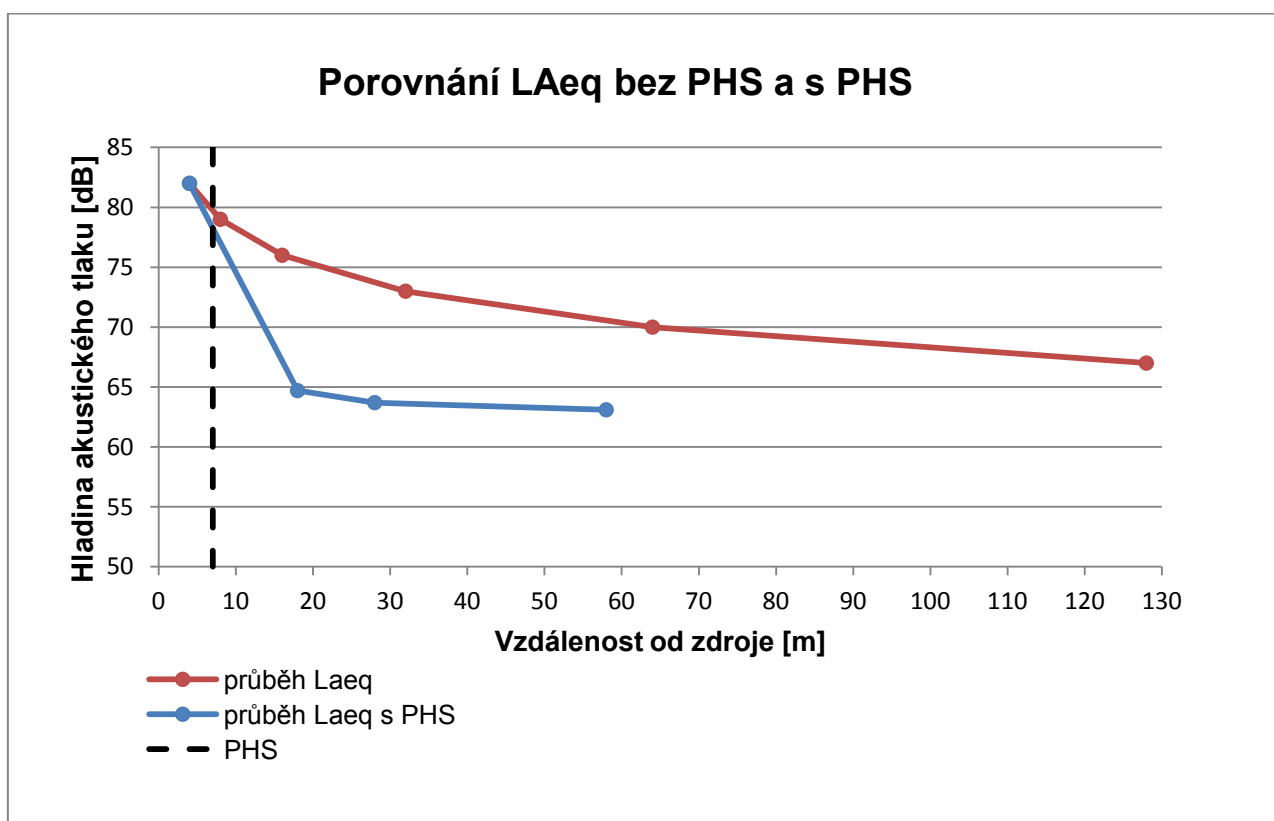
Porovnání rozdílů bodů M2, M8 s bodem M1 z tabulky 11 dokazuje, že ve vzdálenosti 10 m za PHS je bod M8 ještě krytý překryvem a naměřená hodnota je zde nižší než na bodě M2. Na rozdíl od bodu M6, který je na stejné ose, ale ve dvojnásobné vzdálenosti od PHS je již vystaven průniku akustické energie.

Tab. 11 Porovnání naměřených hodnot na bodech M2 a M8 [autor]

Měřicí bod č.	Naměřené hodnoty		Rozdíl [dB]
	Ekvivalentní hladiny akustického tlaku LAeq[dB]	Ekvivalentní hladiny akustického tlaku LAeq v bodu č. M1 [dB]	
M2	64,7	82,0	17,3
M8	64,4	83,5	19,1

Je to tedy potvrzení toho, že skutečně dochází únikovým otvorem k pronikání akustické energie od komunikace a s přibývajícím vzdáleností od stěny se akustická energie rozšiřuje terénem do všech stran. Ve vzdálenosti 10 m ještě proniká otvorem přímo, ale ve 20 m se již rozšíří, navzdory nasměrování otvorem, do celého prostoru.

9.6.1 Grafické vyhodnocení



Obr. 29 Porovnání akustické situace bez PHS a s PHS [autor]

V grafu je červeně znázorněna hladina akustického tlaku LAeq, která se snižuje s rostoucí vzdáleností od zdroje. Takto by klesala v případě, že by se zde nenacházela žádná PHC. Její průběh je predikován na základě známé skutečnosti, že hladina akustického tlaku od liniových zdrojů klesá s dvojnásobnou vzdáleností od komunikace o 3 dB. Modře je znázorněna hladina akustického tlaku LAeq, která byla získána měřením při existenci PHS v místech, kudy proniká hluk únikovým otvorem. Černou čárkovanou čarou je zobrazeno, kde se nachází PHS.

Z grafu na obr. 29 lze vyčíst, že i v místech měření u únikového východu je hladina hluku podstatně nižší, než by tomu bylo v případě absence PHS. V závislosti na měření rozdílu hladiny hluku v místech únikového východu a mimo něj lze předpokládat, že průběh hladiny LAeq by byl mimo únikový východ ještě o pár dB nižší.

10 Měření – lokalita 3

10.1 Popis lokality

Třetí měřicí lokalitou byl zvolen úsek dálnice D1 u obce Mirošovice, která se nachází ve Středočeském kraji, viz obr. 30. Toto místo bylo zvoleno z důvodu, že se zde nachází protihluková stěna s únikovými otvory tvořenými překryvem samostatného panelu. PHS je osazena po obou stranách komunikace. Měřicí body byly zvoleny u únikového otvoru právě PHS přibližně v km 21,5. Komunikace se v místě měření nachází v klesání a mírném pravotočivém oblouku. V místě měření se pata stěny nachází na asi 2 m vysokém náspu. Terén, který se nachází za PHS, mírně stoupá, nenachází se zde prakticky žádný vyšší porost, který by sloužil jako bariéra šíření hluku.



Obr. 30 Situace širších vztahů – lokalita 3 [podklad 20]

10.2 Protihluková stěna

Stěna zde má zřejmě sloužit k ochraně objektů nacházejících se v přilehlé ulici, vzhledem k její výšce a poloze objektů je to jen málo účinná ochrana. V místě měření je 4,8 m vysoká. Stěna je hotovena z mezerovitého betonu. Dle TP 104 má být překryv min 3 krát delší než šířka únikového otvoru mezi stěnami z důvodu zachování co nejvyšší funkčnosti stěny. Otvor je zde 1,10 m široký a překryv je dlouhý pouze 1,10 m. PHS nesplňuje podmínky TP 104 a v důsledku toho je za stěnou očekáván vyšší hluk, než by byl při dodržení předepsaných podmínek.

Při ohledání PHS bylo zjištěno, že je v dobrém stavu, nejeví výrazné známky poškození, které by mohly snižovat její funkčnost.

10.3 Zvolení měřících bodů

Celkem bylo zvoleno pět měřících bodů. Měření probíhalo paralelně vždy ve dvou měřících bodech, jedním před a jedním za PHS. První bod M1 byl vždy před PHS, ve vzdálenosti 3 m od stěny mimo prostor únikového východu a ve vzdálenosti 3 m od zpevněné krajnice. Druhý bod, ve kterém se současně měřilo, byl vždy za PHS. Tyto body byly v různých vzdálenostech od PHS. Kolmá vzdálenost měřícího bodu od stěny byla: M2 – 10 m, M3 – 20 m a M4 – 50 m. Tyto body byly umístěny na profil procházející středem únikového otvoru. Místo M5 bylo umístěno mimo profil, tedy mimo prostor únikového otvoru, ve vzdálenosti 1 m od stěny. Všechny body jsou znázorněny na obr. 31.



Obr. 31 Poloha měřících bodů [podklad 20]

10.4 Popis měření

Měření probíhalo dne 1. 5. 2017 v době 16:51 – 18:30. Teplota v době měření byla přibližně 10°C. Bylo polojasno a bezvětřno. Byl měřen a zaznamenáván průběh hladiny akustického tlaku v čase s periodou záznamu 1s.

V měřicích bodech M2–M5 bylo vždy provedeno jedno měření. Na obr. 32 je měřicí technika umístěná v bodu M5.



Obr. 32 Umístění měřicí techniky v bodu M5 [autor]

10.5 Naměřená data

V tabulce 12 je přehled naměřených hodnot v bodech M2 – M5 a porovnání s naměřenými hodnotami v bodu M1. Je zde vypočítán i rozdíl mezi body před a za PHS při souběžném měření.

Tab. 12 Naměřené hodnoty lokalita 3 [autor]

Měřicí bod č.	Naměřené hodnoty		Rozdíl [dB]
	Ekvivalentní hladiny akustického tlaku LAeq [dB]	Ekvivalentní hladiny akustického tlaku LAeq v bodu č. M1 [dB]	
M2	63,3	80,0	16,7
M3	63,6	79,9	16,3
M4	65,0	80,3	15,3
M5	62,0	80,3	18,3

10.6 Vyhodnocení

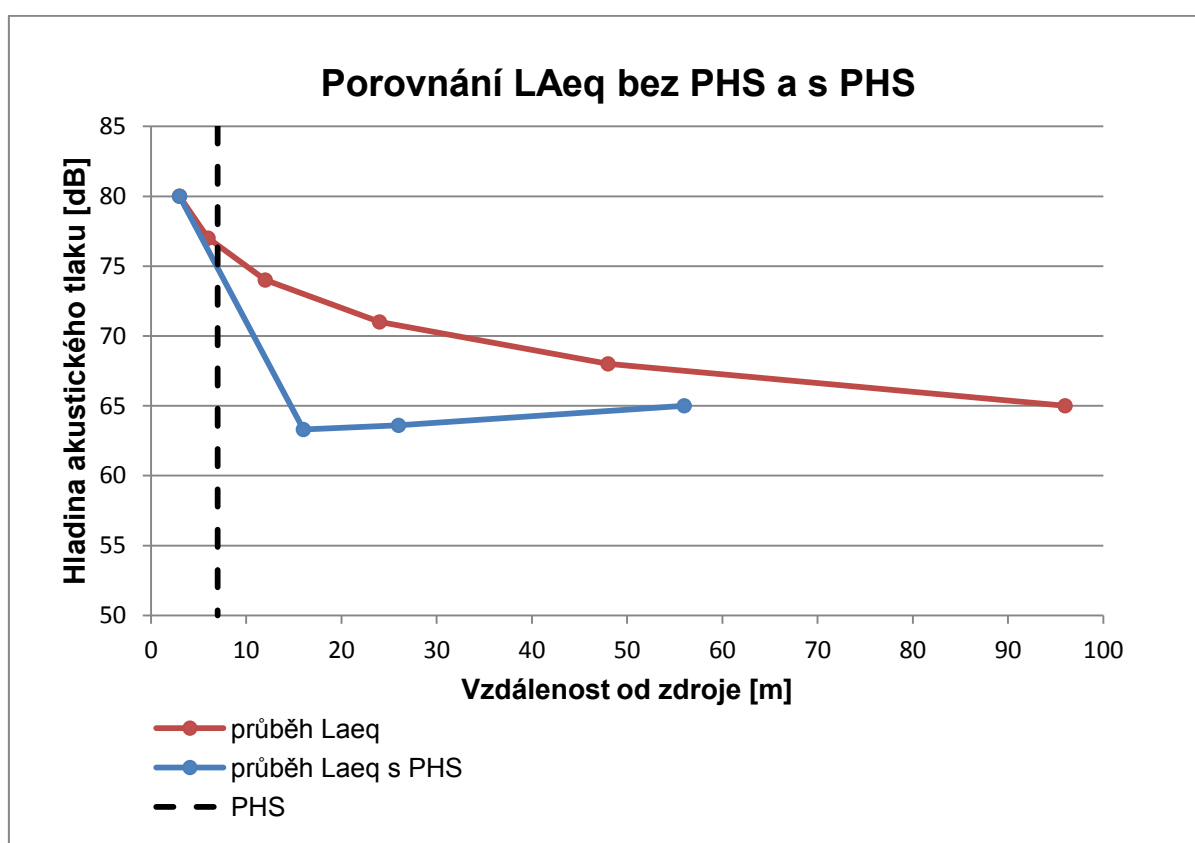
Cílem bylo zhodnotit tuto PHS a posoudit, jaký vliv na akustickou situaci za stěnou má tento otevřený únikový otvor.

Z rozdílu měření v bodech M1 a M5, tedy bodech, které mají ověřit funkčnost PHS v místech, kde se nenachází únikový otvor, bylo zjištěno, že PHS je schopna zadržet 18 dB.

Měření se ukázal vliv terénu a body umístěné dále od komunikace mají naměřené hodnoty vyšší, než body umístěné blíže komunikaci. Je to způsobeno zdvihajícím se terénem. Z bodu M4 je již vidět v některých úsecích projíždějící automobily. Čím jsou body dále, tím vyšší je terén a snižuje se akustické stínění. Není proto docíleno požadovaného efektu PHS a proto nebylo možné vyvodit z tohoto měření relevantní závěry.

Obecný závěr, který vychází z tohoto měření je, že v případě zdvihajícího se volného terénu za stěnou, se s přibývajícím vzdáleností snižuje efekt PHS.

10.6.1 Grafické vyhodnocení



Obr. 33 Porovnání akustické situace bez PHS a s PHS [autor]

V grafu je červeně znázorněna hladina akustického tlaku LAeq, která se snižuje s rostoucí vzdáleností od zdroje. Takto by hladina klesala v případě, že by se zde nenacházela žádná

PHC. Průběh hladiny je predikován na základě známé skutečnosti, že hladina akustického tlaku od liniových zdrojů klesá s dvojnásobnou vzdáleností od komunikace o 3 dB. Modře je znázorněna hladina akustického tlaku L_{Aeq} , která byla získána měřením při existenci PHS v místech, kudy proniká hluk únikovým otvorem. Černou čárkovanou čarou je zobrazeno, kde se nachází PHS.

Z průběhu naměřené hladiny akustického tlaku na obr. 33 je možné vyčíst, že stěna je účinná. Díky zdvihajícímu se terénu se postupně snižuje akustické stínění PHS, hluk se zvyšuje a ve vyšší vzdálenosti účinná být přestává. Na obr. 34 je umístění mikrofonu v kopci.



Obr. 3 umístění mikrofonu v bodu M3 [autor]

11 Modelování v programu Cadna A

Pro modelování šíření hluku za protihlukovou clonou byl použit program Cadna A. Software je k dispozici na fakultě dopravní pro studijní účely. Modelování bylo prováděno z důvodu posouzení a zjištění nejvhodnějšího typu únikového otvoru. Modelováním šíření hluku v rámci této práce je ověřování účinnosti různých typů otvorů a jejich různých parametrů na stejné PHS. Pro modelování byla vybrána lokalita 2, která se nachází v Horních Počernicích. Byla vybrána, protože je nejvhodnější svým terénem za PHS, který je téměř rovný a PHS, která se zde nachází, není ničím specifická, aby nemohla být použita pro vyvození obecných závěrů. Model musel být nejprve zkalibrován na hodnotách získaných pomocí měření v dané lokalitě. Měření probíhalo paralelně před i za stěnou, proto jsou známé v každém okamžiku hodnoty aktuální akustické situace. Do programu se zadávají buď konkrétní intenzity společně s druhem komunikace. Pro každý druh je nastavená skladba dopravního proudu. Druhou možností, je zadání hladiny akustického tlaku, kterou emituje vybraná komunikace.

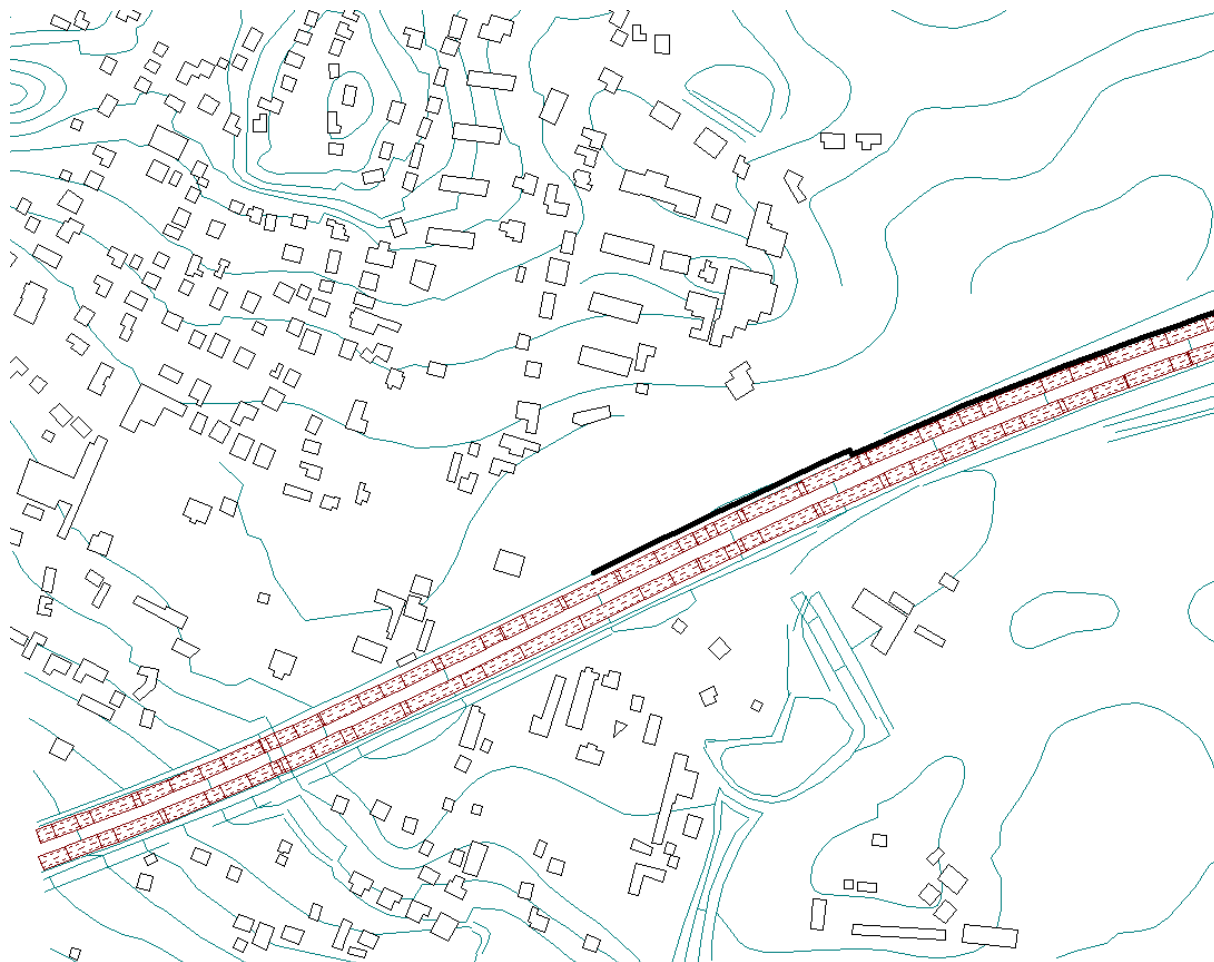
11.1 Cadna A

Software Cadna A (ComputerAidedNoiseAbatement) je program společnosti DataKustik pro modelování hluku z dopravy a průmyslu. Slouží pro výpočet, predikci a vizualizaci hlukového zatížení oblastí i celých měst. Program pracuje s více výpočtovými metodikami pro různé země, včetně české výpočtové metodiky. Model se ověřuje na kontrolním měření v terénu. Jeho výstupem jsou simulace hlukových pásem v 2D, 3D nebo video. Výstupem může být například zobrazení konkrétní lokality, případně i jednotlivých domů s počty obyvatel, kteří jsou vystaveni nadlimitnímu hlukovému zatížení v denní i noční době.

11.2 Model

Do programu byl nahrán mapový podklad, který byl zapůjčen Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním (www.cuzk.cz). Byla nahrána data: ZABAGED - výškopis 3D vrstevnice a ZABAGED – polohopis. Jako podkladní vrstva byly do modelu nahrány ortofotomapy. Ze souboru dat byly načteny pouze vybrané vrstvy. Z výškopisné databáze byly použity všechny vrstvy. Takto byl vykreslen terén, který odpovídá reálné situaci. Z databáze polohopisných dat byly načteny silnice. U nich byla nastavena relativní výška, která je umístila na terén. Dále byla zadána reálná šířka silnic. Byly nahrány budovy, které pomocí nastavení relativní výšky byly umístěny na terén, a byla nastavena jejich výška. Jelikož v rámci modelace této práce nejsou budovy hlavním předmětem zájmu a žádný z měřených bodů jimi nemůže být stíněn ani zakryt, byla zvolena jejich jednotná výška 7 m, která odpovídá dvoupatrovému domu. Jejich absorpční koeficient byl nastaven na 0,21. Byla

nahrána i vrstva zeď, u které bylo následně zjištěno, že neodpovídá reálné situaci PHS na místě. Proto musely být PHS do modelu zakresleny ručně a nastavena relativní výška, která je umístila na vymodelovaný terén plus skutečná výška stěny. U PHS bylo nutné nastavení pohlivosti fasády z obou jejích stran.



Obr. 35 Data v Cadna A [autor]

11.3 Kalibrace modelu

Aby mohl být model použit k predikci šíření hluku, musí být nejprve zkalibrován. Kalibrace modelu probíhá na reálně naměřených hodnotách. Model je vypovídající, jsou-li hodnoty v měřících bodech z reálného měření a v modelu v rozmezí ± 2 dB. Takovýto model lze prohlásit za odpovídající reálné situaci a může se s ním dále pracovat. V tabulce 13 jsou hodnoty na kontrolních bodech M2 – M4 spolu se současnou hodnotou v bodu M1 z kapitoly 9. V průběhu měření se hodnota v bodě M1 nezměnila o více než 2 dB, lze proto v modelu počítat s hodnotou 82 dB. V posledním sloupci je vypočítán rozdíl mezi naměřenou a namodelovanou hodnotou na bodech M2 – M4.

Tab. 13 Kalibrace modelu [autor]

Č. bodu	Naměřená hodnota ekvivalentní hladiny akustického tlaku L_{Aeq} [dB]		Namodelovaná hodnota kvivalentní hladiny akustického tlaku L_{Aeq} [dB]		Rozdíl [dB]
	M2 – M4	M1	M2 – M4	M1	
M2	64,7	82,0	65,4	82,0	+ 0,7
M3	63,7	82,7	64,7	82,0	+ 1,0
M4	63,1	83,4	62,6	82,0	- 0,5

Z tabulky 13 je vidět, že rozdíl mezi naměřenými a namodelovanými hodnotami nepřesáhne 2 dB, z toho důvodu lze model považovat za odpovídající reálné situaci.

11.4 Nastavení modelu

V modelu byla zvolena česká výpočtová metodika s výpočtovým rokem 1999.

Výška výpočtových bodů byla nastavena jako výška mikrofону při měření na 1,5 m. Výška vykreslení rastru - šíření hlukových pásem byla také nastavena na stejnou výšku.

Paleta rastru byla nastavena po hodnotě 2 dB od 60 dB do 86 dB. Žádná modelace PHS nezaznamenala nižší hodnotu než 60 dB na žádném z kontrolních bodů. Hladina akustického tlaku emitovaného komunikací byla nastavena na 80 dB.

11.5 Vlastní modelování

Pro srovnání různých typů otvorů bylo zvoleno 6 bodů. Jeden bod M1 se, stejně jako v případě měření nacházel před stěnou. Ostatní se nacházely na jednom profilu v různé vzdálenosti za PHS. K již známým bodům M2 - M4 ve vzdálenosti 10 m, 20 m a 50 m byly přidány body 5 m a 2 m za PHS. Body jsou zobrazeny na obr. 36.

V tabulce 14 je srovnání následujících situací na zvolené PHS.

Situace 1 – únikový otvor, tvořený přesahem dle TP 104, kde přesah je 3násobek šířky únikového otvoru,

Situace 2 – únikový otvor s překrytím dalším panelem PHS dle TP 104, kde přesah překrytí je 3násobek šířky únikového otvoru,

Situace 3 – uzavřený únikový otvor dveřmi, u kterých se předpokládají těsnící vlastnosti odpovídající funkčnosti PHS,

Situace 4 – absence PHS to znamená, že se zde nachází volný terén.



Obr. 36 Umístění bodů [podklad 20]

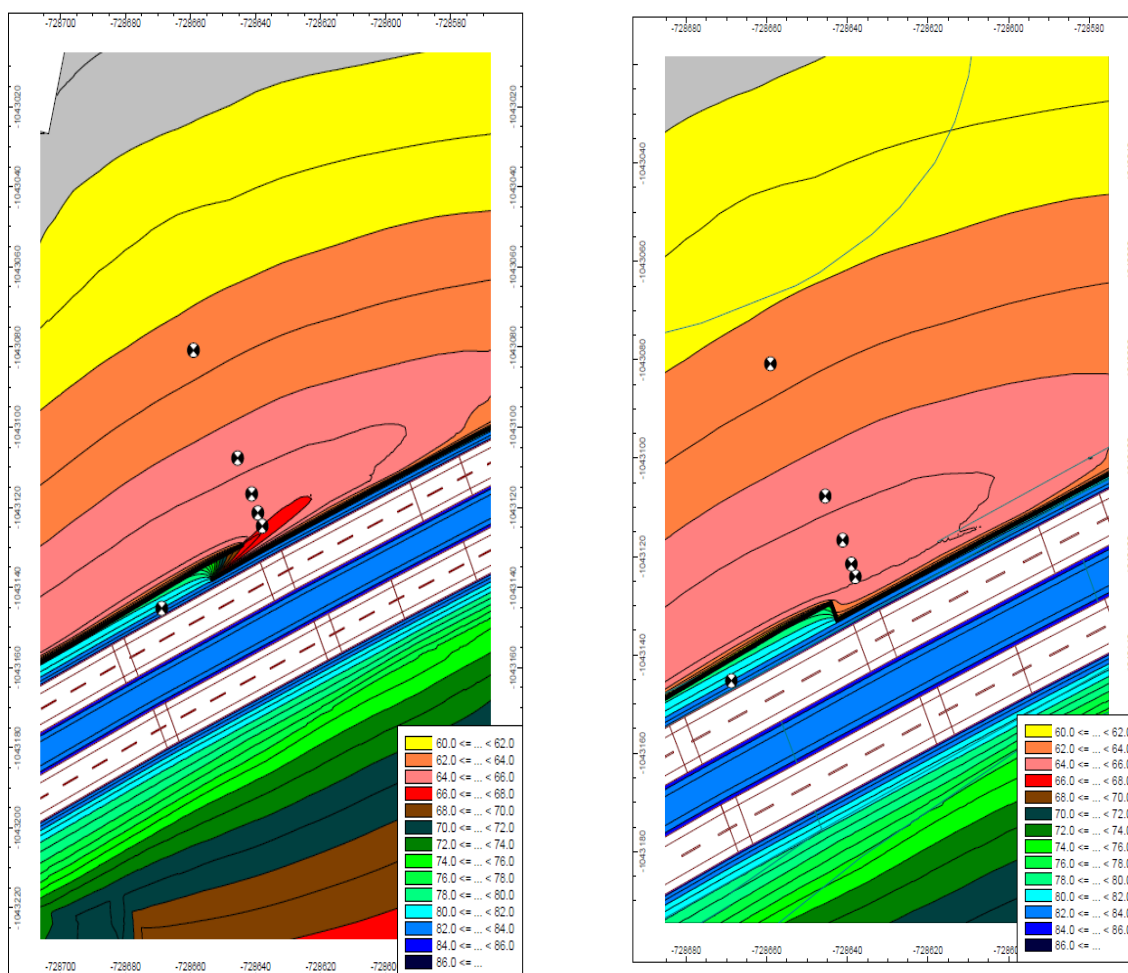
Tab. 14 Srovnání otvorů PHS a volného terénu [autor]

Vzdálenost bodu	Ekvivalentní hladina akustického tlaku LAeq[dB]			
	Situace 1 Přesah PHS	Situace 2 Překrytí dalším panelem PHS	Situace 3 PHS s uzavřeným otvorem	Situace 4 Bez PHS
Před PHS (M1)	82,0	82,0	82,0	82,0
2 m	65,9	64,1	65,3	77,8
5 m	65,6	65,4	65,6	76,5
10 m (M2)	65,4	65,7	65,4	74,5
20 m (M3)	64,7	65,3	64,7	72,3
50 m (M4)	62,6	63,5	62,6	68,7

Z tabulky 14 je vidět, které body mají hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku nejlepší (zelené hodnoty) a která nejhorší (červené hodnoty). Nejlepší hodnoty nejbližích položených

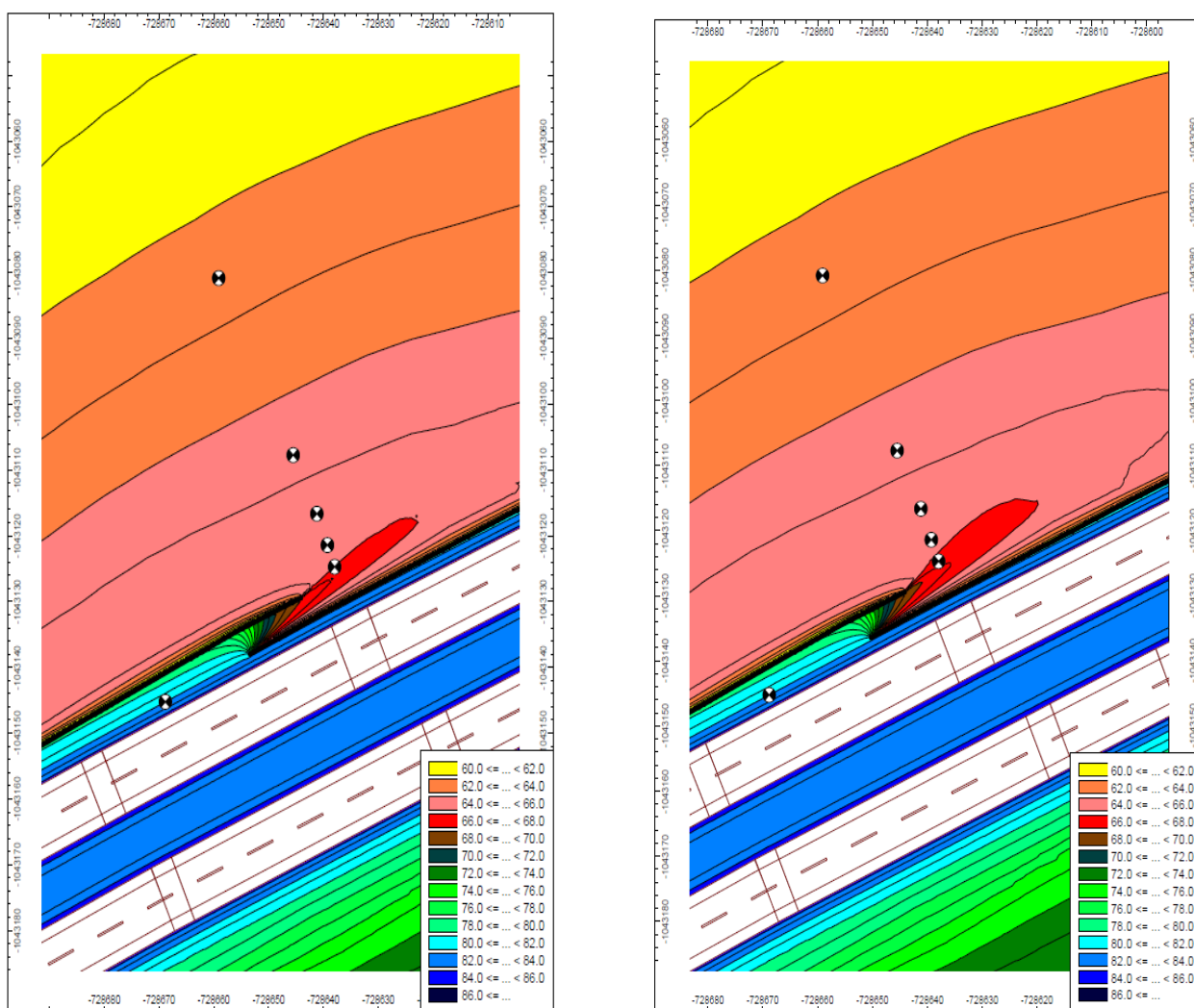
měřících bodů (2m a 5m) byly zjištěny u otvoru typu překrytí, ve vzdálenosti od 10 m dále je lepší situace u stěn s přesahem nebo se zavřeným únikovým východem. U uzavřeného východu je situace téměř stejná jako u přesahu. Situace bez PHS je dle očekávání nejhorší zjištěná, je výrazně horší než situace s otvorem jakéhokoliv druhu.

Na obrázku č. 37 je znázorněn průchod hladiny akustického tlaku únikovým otvorem, krytým pomocí přesahu ve srovnání se zavřenými dveřmi. Díky dostatečné délce přesahu otvorem již proniká za PHS jen hluk v rozmezí 66,0 – 68,0 dB a to jen v takovém rozsahu, že již v prvním bodě ve vzdálenosti 2 m od PHS je zjištěná situace jen o 0,6 dB vyšší, než je tomu v případě zavřeného otvoru. Takto malý rozdíl je dostatečně malý na to, aby bylo možné zhodnotit vliv otvoru ve stěně typu přesahu a zavřených dveří v modelované situaci jako totožný.



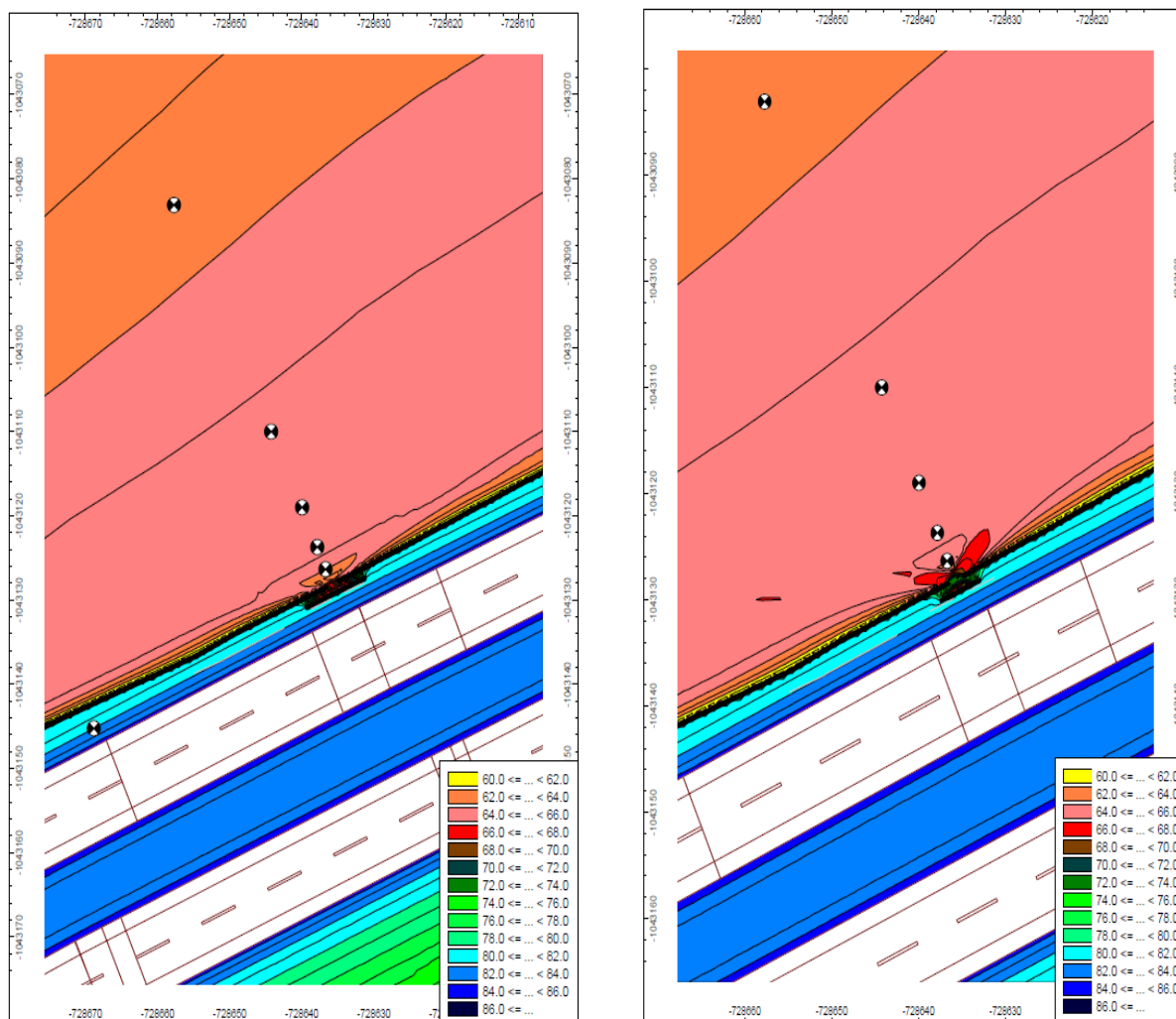
Obr. 37 Porovnání akustické situace v případě překryvu a zavřených dveří [autor]

V prozkoumané lokalitě v Horních Počernicích bylo zjištěno, že přesah není dostatečně dlouhý, neboť by dle TP 104 měl mít min $3 \times 4,5 \text{ m} = 13,5 \text{ m}$. Ohledáním na místě bylo zjištěno, že přesah má pouze délku 9 m. Provedené modelování mělo zhodnotit rozdíl, který způsobí nedostatečná délka zmíněného přesahu na šíření hluku za stěnou. Výsledek namodelovaných hodnot ukázal, že se nelišily ani v nejbližších 2 m. Na obr. 38 je vidět téměř stejný průchod akustické energie bez ohledu na délku přesahu stěny. Ten má uvedenou min. délku proto, aby se v něm mohla akustická energie utlumit a její průnik za PHS byl co nejmenší. Modelováním bylo prokázáno, že délka přesahu, která se rovná 2krát šířce otvoru, kterou disponuje tento otvor je dostatečná.



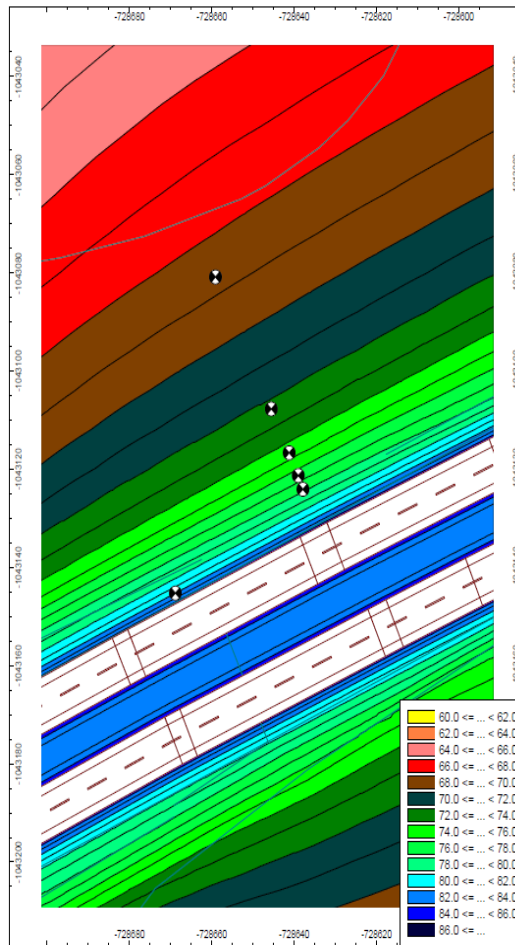
Obr. 38 Porovnání délky přesahu dle TP a v reálné situaci na akustickou situaci za PHS [autor]

U prozkoumané lokality v Mirošovicích byla zjištěna nedostatečná délka u překryvu, která má být dle TP 104 min 3krát delší, než je šířka otvoru a zde byla naměřena délka překryvu rovná délce otvoru. Byla proto vytvořena modelace, která měla za cíl zjistit, jak je akustická situace za PHS ovlivněna nedodržením doporučených podmínek.



Obr. 39 Srovnání překryvu dle TP 104 a překryvu, který není dostatečně dlouhý [autor]

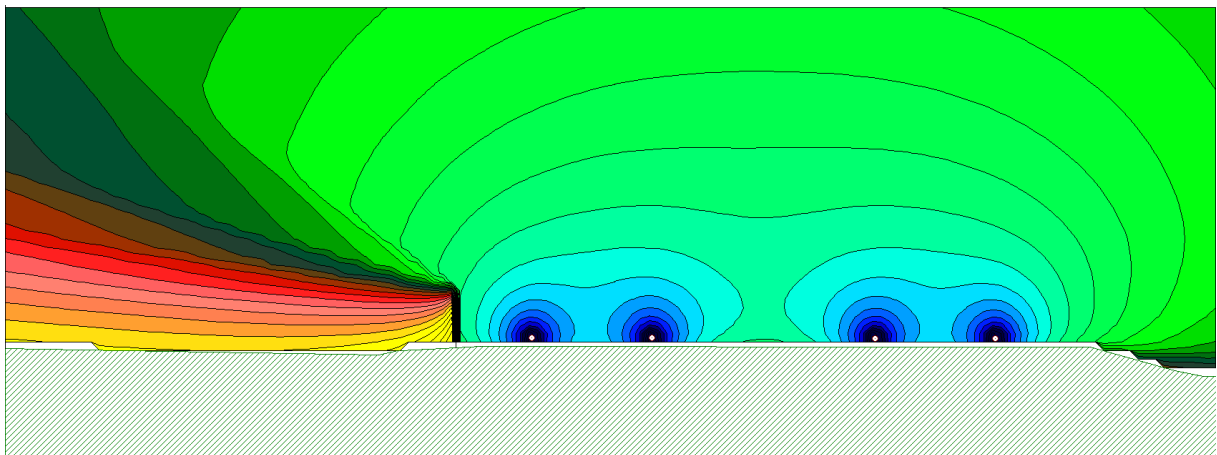
Na obr. 39 vlevo je situace v doporučeném provedení a vpravo reálná situace. Z průchodu červeného pásma hodnot o rozmezí 66,0 – 68,0 dB je možné vidět, že otvorem o kratší délce překryvu proniká malé množství vyššího hluku. Není ovšem tak výrazný aby dosáhl alespoň na nejbližší bod ve vzdálenosti 2 m za PHS. Naměřené hodnoty zde byly ve všech bodech totožné, proto je možné prohlásit, že takovéto nedodržení předepsané délky přesahu nemá téměř vůbec vliv na nezabránění šíření průniku hluku. Bylo provedeno modelování, jaký by měl vliv nulový přesah v případě překrytí, jestli by také nebyl dostatečný. Ukázalo se však, že nulová délka přesahu překryvu má již vliv na akustickou situaci za stěnou. Hodnoty v bodu 2 m od PHS byly vyšší o více než 6 dB.



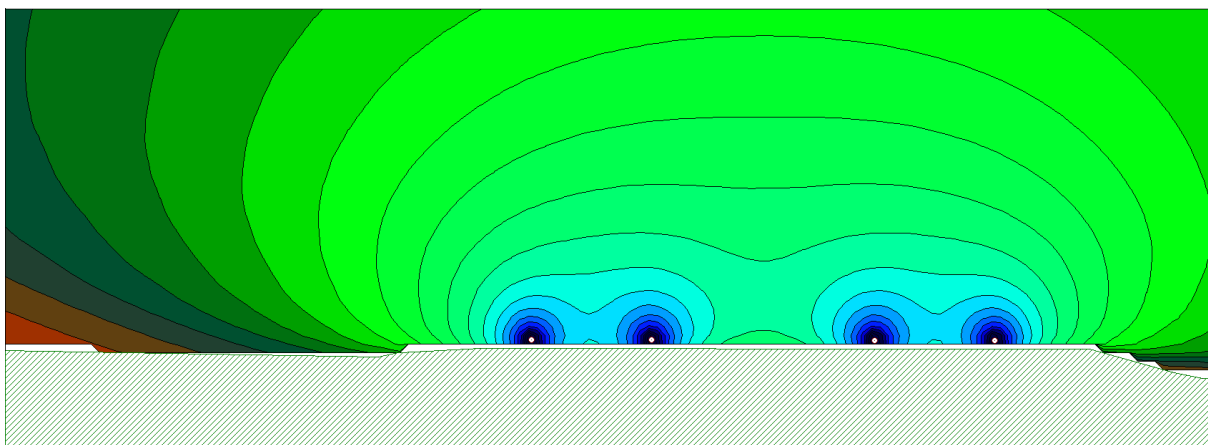
Obr. 40 Akustická situace bez PHS [autor]

Na obr. 40 je zobrazena situace v případě, že by se zde nenacházela žádná PHS.

Na obr. 41 je zobrazen příčný řez komunikací, na kterém je vidět, jak PHS funguje v zamezení průniku akustické energie do okolí. Na obr. 42 je znázorněno jak se jednotlivá hluková pásma šíří v případě, že se zde nenachází žádná bariéra.



Obr. 41 Příčný řez šíření akustické energie s PHS [autor]



Obr. 42 Příčný řez šíření akustické energie bez PHS [autor]

12 Vliv velikosti otvorů

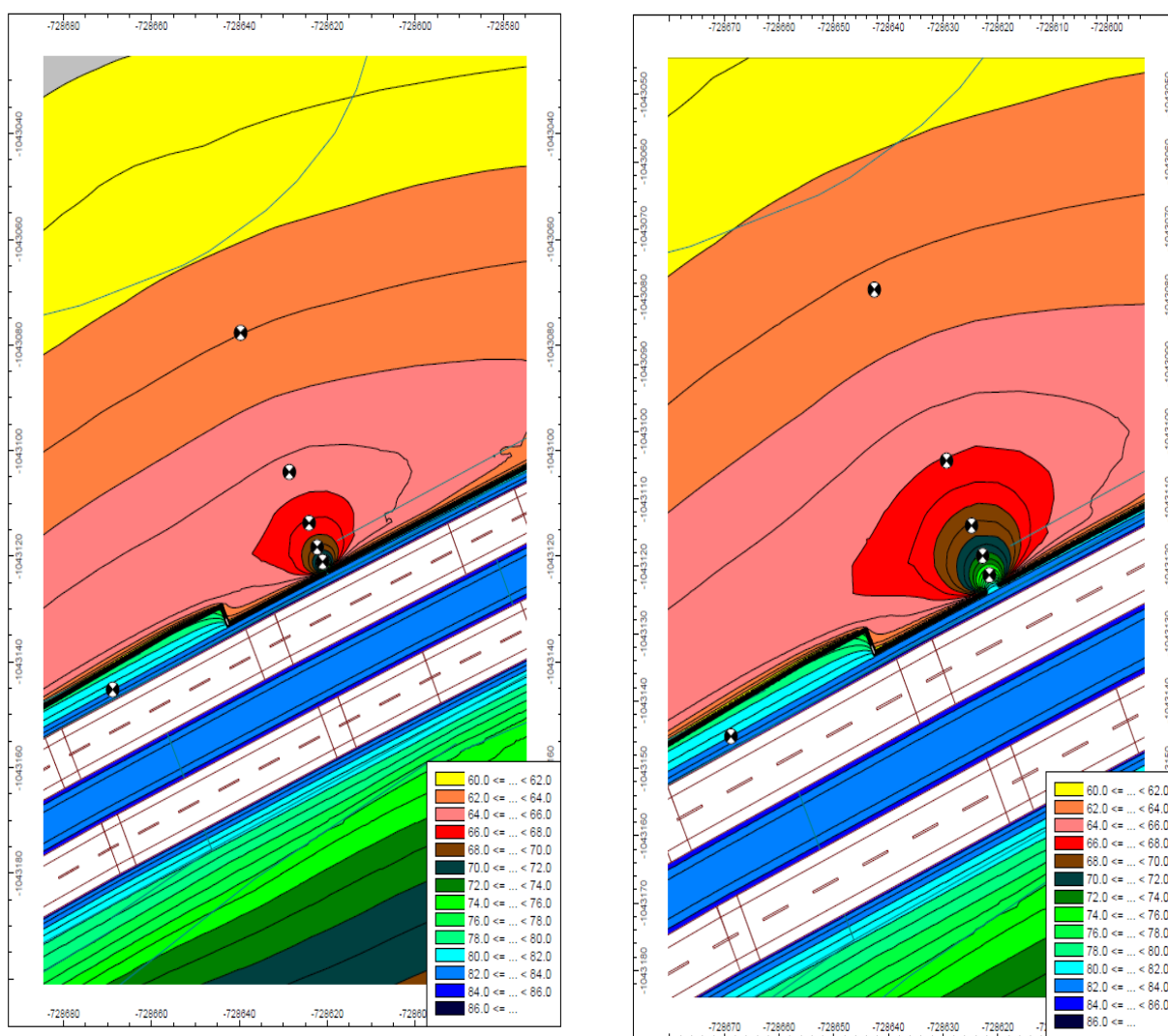
Pro posouzení velikosti otvorů na akustickou situaci za stěnou proběhla modelování na otvoru širokém 1 m, což je min. šířka otvoru, dále na větších otvorech a to na otvoru 2 m a 3 m širokém. Všechny tyto otvory mají osu kolmo ke zdroji hluku. Poslední otvor šířky 4,5 m na rozdíl od předchozích má umístění jeho osy je rovnoběžné se zdrojem hluku. Je tedy umístěn kolmo k prvním typu otvorů. V následující tabulce 15 jsou porovnány tyto 4 typy otvorů.

Tab. 15 Vliv velikosti otvorů [autor]

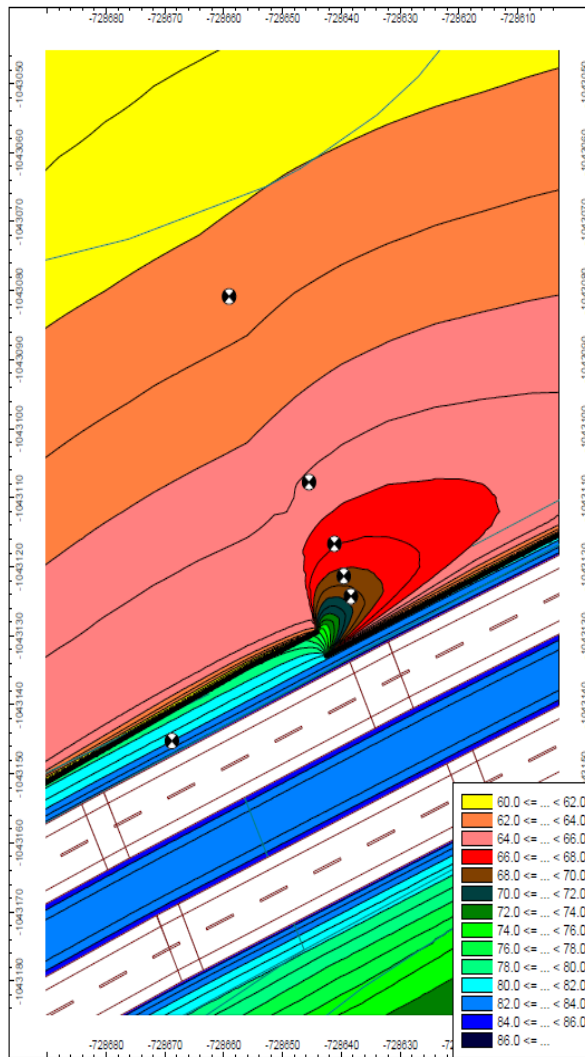
	Ekvivalentní hladina akustického tlaku LAeq [dB]			
	1. Typ - s kolmou osou			2. Typ – s rovnoběžnou osou
	Otvor 1 m	Otvor 2 m	Otvor 3 m	Otvor 4,5 m
Před PHS (M1)	82,0	82,0	82,0	82,0
2 m	73,2	75,7	76,7	69,9
5 m	69,3	71,3	72,3	68,5
10 m (M2)	67,2	68,4	69,1	66,9
20 m (M3)	65,3	65,8	66,1	65,2
50 m (M4)	63,0	63,1	63,2	62,6

Z tabulky 15 vyplývá, že jedná-li se o 1. typ otvoru, platí, že čím větší otvor, tím je akustická situace za stěnou horší. Ve větších vzdálenostech od PHS se rozdíl snižuje a ve vzdálenosti 50 m je situace obdobná, bez závislosti na velikosti otvoru. Vizuální porovnání akustické

situace je na obr 43. Jedná se o srovnání otvoru šířky 1 m a 3 m. Ze srovnání s posledním sloupcem tabulky vyplývá, že umístí – li se otvor vhodněji 2. typem, i přes ztelně větší šířku otvoru, jsou získané hodnoty v kontrolních bodech nižší. Kontrolní modelované body jsou v tomto případě umístěné mimo osu otvoru ale kolmo na ni. Z tohoto důvodu je akustická situace za stěnou výrazněji lepší viz obr. 44. V případě, že by proběhlo modelování 2. typu umístění a kontrolní body by byly umístěny na osu, byla by situace pravděpodobně obdobná jako u 1. typu měnila by se v závislosti na velikosti otvoru. Jednalo by se však o body v jedné vzdálenosti podél PHS a to může být cílem jen ve specifických situacích, obecně se jedná o účinnosti stěny na určitou vzdálenost od komunikace. Z obrázku 44 je patrné, že průchod hladin o vyšších hodnotách probíhá lépe u druhého typu umístění otvoru.



Obr. 43 Srovnání otvoru šířky 0,9 m a 2,7 m [podklad 12]



Obr. 44 Průnik akustické energie otvorem širokým 4,5 m [podklad 12]

Na obr. 44 je šíření akustické energie skrz otvor rovnoběžný se zdrojem hluku. Je patrné, že se energie šíří primárně ve směru osy otvoru, v tomto případě to znamená podél PHS. Postupně se šíří ve vlnoplochách taky do vzdálenějších míst za PHS, není to však hlavní směr šíření, proto jsou získané hodnoty v kontrolních bodech nižší.

13 Závěr

Hlavním cílem této diplomové práce bylo posouzení vlivu otvorů na akustickou situaci za protihlukovou stěnou. Bylo provedeno měření ve třech vybraných lokalitách za různými druhy východů v PHS. Dále bylo provedeno modelování šíření hluku za stěnou pro porovnání různých variant únikových otvorů a výběr takového otvoru, za nímž je nejlepší situace z hlediska rušení hlukem.

V první lokalitě, v Průhonicích, bylo provedeno měření za únikovými dveřmi. Porovnání, jaký negativní vliv mají otevřené dveře oproti zavřeným dveřím na situaci za PHS. Měřením bylo zjištěno, že od vzdálenosti 20 m od PHS není vliv otevřených dveří téměř žádný. Problém této PHS spočívá v tom, že se v její spodní části nachází gabionová zeď, která, jak bylo zjištěno, je nevhodná pro použití jako PHS. Za gabiony byl naměřen větší hluk než za samotnými dveřmi.

V druhé lokalitě, v Horních Počernicích, bylo provedeno měření za únikovým východem krytým přesahem PHS, který není konstruován dle TP 104 – není dostatečně dlouhý. PHS je místy značně poškozená a postrádá výplňový materiál, který má plnit izolační funkci. Dle naměřených hodnot přesto stěna zatím plní svou funkci dobře a jako ochrana proti nadměrnému hluku slouží uspokojivě.

Ve třetí lokalitě, v Mirošovicích, bylo provedeno měření za únikovým východem, který je krytý překryvem samostatným panelem. Ani tento překryv není dle TP 104 dostatečně dlouhý. Nachází se zde zdvihající se terén, proto i přes účinnou PHS byla v bodě ve vzdálenosti 50 m naměřena vyšší ekvivalentní hladina akustického tlaku než v bodech bližších. V tomto bodu byl mikrofon umístěn ve výšce, ze které je v některých úsecích vidět na komunikaci, proto zde stěna neplní svou funkci.

V další části této práce bylo provedeno modelování protihlukové stěny v Horních Počernicích v programu Cadna A. Tato lokalita byla vybrána jako nejvhodnější ze tří lokalit, ve kterých bylo prováděno měření. Nachází se zde rovinný terén a vhodná PHS. V ostatních lokalitách byla nevhodná morfologie terénu nebo nevhodný druh PHS, proto byla vybrána lokalita v Horních Počernicích, aby závěry z ní mohly být považovány za obecně platné. Po zkalibrování modelu z naměřených hodnot bylo možno namodelovat různé typy únikových otvorů v PHS. V porovnání tří různých únikových východů – přesah, překryv a dveře, které byly namodelovány dle TP 104, bylo zjištěno, že ani jeden z otvorů nevytváří za PHS výrazně odlišnou akustickou situaci. O něco lepší výsledky vykazoval otvor krytý přesahem ve vzdálenostech do 5 m, ostatní dva typy otvorů vykazovaly lepší hodnoty ve vzdálenějších bodech. Program umožnil namodelovat i nedostatečnou délku přesahu (jak tomu bylo

v lokalitě 2), respektive překryvu (jako tomu bylo v lokalitě 3). V obou otvorech však i přes nedostatečnou délku krytí vycházely hodnoty na kontrolních bodech prakticky totožné. Ukázalo se tedy, že i kratší krytí tlumí hluk za PHS srovnatelně s tím doporučené délky. Není možné určit jednoznačně otvor, za kterým by se nacházela nejlepší akustická situace. Ve vzdálenostech od 10 m za PHS vycházela situace lépe pro východ krytý přesahem a únikové dveře. Ve vzdálenostech do 5 m byla lepší situace na ose východu krytého samostatným panelem. Vzhledem k tomu, že se chráněné objekty umisťují spíše do vzdáleností 10 m a více od PHS, vychází jako nejlepší varianta použití otvoru krytého přesahem nebo použití únikových dveří.

V poslední části práce byla provedena modelace vlivu velikosti otvorů v PHS na akustickou situaci za stěnou. Tyto všechny otvory byly naprosto nekryté. Byly namodelovány tři otvory, o různé šířce: 1 m, 2 m a 3 m. Tyto otvory byly umístěny tak, že jejich osa byla kolmo na komunikaci. Čím větší otvor, tím bylo dosaženo vyšších hladin akustické energie na jednotlivých měřicích bodech. Čím blíže je bod umístěn ke komunikaci, tím vyšší je rozdíl hodnot porovnávaných otvorů. Teprve ve vzdálenosti 50 m vycházejí hodnoty téměř stejné a je možné říci, že zde se již vliv velikosti otvoru uplatňuje minimálně. Byl namodelován ještě jeden otvor o šířce 4,5 m, jehož osa byla rovnoběžná s komunikací. Modelováním bylo zjištěno, že je-li otvor takto umístěn, hodnoty získané na kontrolních bodech jsou nižší. V porovnání s otvory, jejichž osa je kolmá na komunikaci, je toto umístění vhodnější. Akustická energie proniká podél osy, to znamená, že v druhém případě jsou nejvyšší hodnoty emitovány podél stěny a ve vzdálenějších bodech od stěny jsou získávány nižší hodnoty.

Závěrem lze uvést, že při návrhu nové PHS je důležité posouzení konkrétní situace a konfigurace terénu. V případě členitého složitého terénu je nutné zvážit i jiné řešení, než je prostá PHS. Jedním z nejdůležitějších parametrů návrhu je dostatečná délka PHS. Uvádí se, že by měla být minimálně 2krát delší, než je vzdálenost zdroje k chráněnému objektu. Součástí modelování bylo i zjištění situace v případě absence PHS. Získané hodnoty byly mnohonásobně vyšší, než jakékoliv hodnoty získané v případě PHS s různými otvory. Důležitým závěrem je tedy, že jakákoliv stěna, i lehce poškozená nebo navržená s nedostatečným krytím únikového východu, výrazně chrání okolí za PHS. Přes častou kritiku protihlukových stěn v České republice je zřejmé, že by situace bez nich a problém rušení hlukem byl výrazně složitější. V dnešní době, kdy neexistuje zatím lepší řešení, jak zmírnit nechtěný hluk z dopravy, se musí protihlukovým stěnám přiznat důležitost, funkčnost a potřebnost.

14 Použité zdroje:

14.1 Literatura:

[1] ČSN EN 1793-1 737060. *Zařízení pro snížení hluku silničního provozu - Zkušební metody stanovení akustických vlastností - Část 1: Vnitřní charakteristiky zvukové pohltivosti*. Český normalizační institut, 1998.

[2] KAŇKA, Jan. *Akustika stavebních objektů*. Brno: ERA, 2009. Technická knihovna (ERA). ISBN 978-80-7366-140-3.

[3] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., *o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací*, ve znění nařízení vlády č. 217/2016 Sb. In: Česká republika, 2016. ISSN 1211-1244

[4] Strouhal, Č.: *Akustika*. JČM, Praha 1902

[5] ŠŤASTNÍK, Stanislav a Jiří ZACH. *Stavební akustika a zvukoizolační materiály*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. ISBN 8021421177.

[6] TP 104. *Technické podmínky: Protihlukové clony pozemních komunikací*. Praha: MD ČR, 2007, 162s.

[7] Valbek spol s.r.o. *Protihluková stěna Průhonice - dokumentace*. 2002

[8] VAŇKOVÁ, Marie. *Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí*. Brno: PC-DIR, 1995. ISBN 80-214-0695-x.

[9] Vyhláška č 104/1997 Sb., *kteou se provádí zákon o pozemních komunikacích*, ve znění pozdějších předpisů č. 338/2015 Sb. In Česká republika 2015

[10] Zákon č. 258/2000 *o ochraně veřejného zdraví o změně některých souvisejících zákonů*, ve znění pozdějších předpisů č. 267/2015 Sb. In: Sbírka zákonů České republiky 2000.

14.2 Internetové zdroje:

[11] Aerolux. [cit. 2017-05-20]. <http://www.aerolux.cz/vyrobní-program/protihlukove-steny/>

[12] Český úřad zeměměřický a katastrální. [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: www.cuzk.cz

[13] Časopis stavebnictví [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: http://www.casopisstavebnictvi.cz/prehled-vlastnosti-pohltivych-protihlukovych-sten-na-ceskem-trhu_N3475

[14] Dunlop. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.dunlop.eu>

[15] Ekomonitor. [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: http://www.ekomonitor.cz/sites/default/files/file/seminare/2011-04-21/prezentace/3_Novak.pdf

- [16] Federal Highway Administration. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.fhwa.dot.gov/environment/keepdown.htm>
- [17] Get. [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: <http://www.get.cz/cz/autorizovane-mereni-hluku/>
- [18] Krajská hygienická stanice královéhradeckého kraje. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: http://www.khshk.cz/e-learning/kurs2a/kapitola_14__stn_hladin.html
- [19] Norsonic cz. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: www.norsonic.com,
- [20] Seznam, Mapy.cz . [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: www.mapy.cz
- [21] Silnice železnice. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/role-vegetace-pri-snizovani-hluku-ze-silnicni-dopravy/>
- [22] Stáří a sluch. [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <http://sik.vse.cz/ss/stariasluch.pdf>
- [23] Státní zdravotní ústav. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/zdravotni-ucinky-hluku>
- [24] Ústav fyziky a materiálového inženýrství. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_03.pdf
- [25] Velox . [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.velox.cz/cs/protihlukove-steny-31/#closed>
- [26] Výzkumné centrum JAMU. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.audified.com/projekt/vavcjamu/page58/page69/page69.html>