



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Martin KRAUS

**POSOUZENÍ ÚČINNOSTI VYBRANÉ PROTIHLUKOVÉ
CLONY**

Bakalářská práce

2014



K612..... Ústav dopravních systémů

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Martin Kraus

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – DOS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Posouzení účinnosti vybrané protihlukové clony**

Název tématu (anglicky): Assessment of the Effectiveness of the Selected Noise
Barrier

Zásady pro vypracování

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

- Úvod, cíle práce
- Přehled protihlukových clon
- Výběr vhodné lokality pro měření hluku
- Popis vybrané protihlukové clony
- Měření akustické situace
- Vyhodnocení měření
- Porovnání naměřených dat s výpočtem dle metodiky
- Závěry

Rozsah grafických prací: stanoví vedoucí bakalářské práce

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

Seznam odborné literatury: Nařízení vlády 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
Kaňka, J.: Stavební fyzika 1, ČVUT Praha 2006
TP 104 Protihlukové clony pozemních komunikací. Ministerstvo dopravy, Praha 2003.

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

Datum zadání bakalářské práce: **24. září 2012**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **25. srpna 2014**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

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



prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Martin Kraus
jméno a podpis studenta

V Praze dne 17. prosince 2013

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji doc. Ing. Kristýně Neubergové, Ph.D. za odborné vedení a konzultování bakalářské práce a za rady, které mi poskytovala po celou dobu mého studia a dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Liboru Ládyšovi za umožnění přístupu k mnoha důležitým informacím a materiálům. V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat svým rodičům a blízkým za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.

Prohlášení

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

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

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

V Praze dne 22. srpna 2014



.....
podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Posouzení účinnosti vybrané protihlukové clony

bakalářská práce

srpen 2014

Martin Kraus

ABSTRAKT

Předmětem bakalářské práce „**Posouzení účinnosti vybrané protihlukové clony**“ je analyzovat funkčnost protihlukového tunelu ve Slánské ulici v pražské městské části Řepy, kdy se za pomoci měření „in situ“ a následných výpočtů určí její vložný útlum. V bakalářské práci je dále zkoumán vliv částečně otevřeného svršku na hluk ve vyšších patrech přilehlé obytné zástavby.

KLÍČOVÁ SLOVA

Hluk, protihlukový tunel, vložný útlum

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE
Faculty of Transportation Sciences

Assessment of the Effectiveness of the Selected Noise Barrier

Bachelor Thesis
August 2014
Martin Kraus

ABSTRACT

Subject of bachelor paper „**Assessment of the Effectiveness of the Selected Noise Barrier**“ is to analyse functionality of soundproof tunnel in Slánská street in Prague district Řepy trough using measurements "in situ" and subsequent calculations determined by its insertion loss. The work is further examined the effect of partially open upper noise on the higher floors of the adjacent residential development.

KEYWORDS

Noise, soundproof tunnel, insertion loss

OBSAH

ÚVOD	8
1. CHARAKTERISTIKA HLUKU A LEGISLATIVA.....	9
1.1 DECIBELOVÉ STUPNICE.....	9
1.1.1 Hladina akustického tlaku	10
1.1.2 Stanovení výsledné hladiny více zdrojů	10
1.1.3 Hladina akustického tlaku A.....	11
1.1.4 Ekvivalentní hladina akustického tlaku A.....	12
1.2 HLUK Z AUTOMOBILOVÉ DOPRAVY	13
1.2.1 Hluk dopravních prostředků	13
1.3 HLUKOVÁ LEGISLATIVA.....	14
1.3.1 Limity pro hluk z dopravy	14
1.3.2 Měření hluku	15
2. PROTIHLUKOVÁ OPATŘENÍ.....	16
2.1 ZPŮSOBY OPATŘENÍ	16
2.1.1 Eliminace u zdroje.....	16
2.1.2 Eliminace u uživatele	16
2.1.4 Eliminace hluku v poli přenosu.....	17
2.2 POŽADAVKY NA PROTIHLUKOVÉ CLONY	17
2.2.1 Vlastnosti clony.....	17
2.2.2 Umístění clony	19
2.2.3 Únikové dveře a otvory	19
2.3 TYPY PROTIHLUKOVÝCH CLON.....	19
2.3.1 Zemní valy	19
2.3.2 Protihlukové stěny.....	20
2.3.3 Protihlukové stěny na mostech a zdech	20
2.3.4 Zemní valy kombinované se stěnou	20
2.3.5 Drátokamenné (gabionové) konstrukce.....	20
2.3.6 Překrytí	20
3. STAV DOTČENÉHO ÚZEMÍ.....	21
3.1 POPIS ÚZEMÍ V OKOLÍ STAVBY	21
3.1.1 Popis širších vztahů	21
3.1.2 Okolní zástavba	22
3.1.3 Dostupnost MHD.....	22
3.2 INTENZITY VOZIDEL	22
4. PROTIHLUKOVÝ TUNEL	23
4.1 PROTIHLUKOVÝ TUNEL VE SLÁNSKÉ ULICI	23
4.1.1 Popis tunelu	23
4.1.2 Technický stav	24
4.2 DALŠÍ PROTIHLUKOVÉ TUNELY V ČR	24
4.2.1 Protihlukový tunel v Hradci Králové.....	24
4.2.2 Protihlukový tunel u obce Vchynice.....	25
5. MĚŘENÍ.....	26
5.1 PŘÍSTROJE	26
6. URČENÍ VLOŽNÉHO ÚTLUMU	28
6.1 PODMÍNKY MĚŘENÍ DLE NORMY ČSN ISO 10847	28
6.1.1 Ekvivalence terénního profilu a povrchu terénu.....	28
6.1.2 Meteorologické podmínky	29
6.1.3 Ekvivalence zdrojů	29

6.2 MĚŘENÍ PRO VÝPOČET VLOŽNÉHO ÚTLUMU	30
6.2.1 Umístění přístrojů.....	30
6.2.2 Průběh měření a naměřené hodnoty.....	31
6.3 VÝPOČET VLOŽNÉHO ÚTLUMU	32
7. VLIV POLOUZAVŘENÍ TUNELU NA EXPOZICE VE VYŠŠÍCH PATRECH	34
7.1 MĚŘENÍ PRO URČENÍ EXPOZICE VE VYŠŠÍCH PATRECH	35
7.1.1 Umístění přístrojů.....	35
7.1.2 Průběh měření a naměřené hodnoty.....	36
7.2 TEORETICKÝ VÝPOČET EXPOZICE HLUKU NA STŘEŠE	37
7.2.1 Podklady pro výpočet.....	37
7.2.2 Stanovení výpočtové veličiny Y	38
7.2.3 Stanovení korekcí výpočtové veličiny	40
7.2.4 Výpočet ekvivalentní hladiny akustického tlaku A.....	42
7.3 VÝPOČET EXPOZICE PŘED FASÁDOU BUDOVY	43
7.3.1 Stanovení korekcí výpočtové veličiny a L_{Aeq}	44
7.4 POROVNÁNÍ S NAMĚŘENÝMI HODNOTAMI.....	46
Závěr	47
Seznam použité literatury	49
Seznam obrázků.....	50
Seznam tabulek	51
Seznam příloh.....	52
PŘÍLOHA 1 - ČASOVÉ PRŮBĚHY HODNOT HLADINY AKUSTICKÉHO TLAKU A ZAZNAMENANÉ PŘÍSTROJEM NOR140 PŘI MĚŘENÍCH PRO STANOVENÍ VLOŽNÉHO ÚTLUMU	53
PŘÍLOHA 2 - ČASOVÉ PRŮBĚHY HODNOT HLADINY AKUSTICKÉHO TLAKU A ZAZNAMENANÉ PŘÍSTROJEM NOR140 PŘI MĚŘENÍCH PŘED FASÁDOU	54
PŘÍLOHA 3 – SCHÉMATA PRO VÝPOČET KOREKCE NA ÚTLUM PŘEKÁŽKOU	55

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK:

ČSN	Česká státní norma
MD ČR	Ministerstvo dopravy České republiky
MHD	Městská hromadná doprava
OMI MHMP	Odbor městského investora magistrátu hlavního města Prahy
PHC	Protihluková clona
PK	Pozemní komunikace
SB	Sbírka zákonů
TP	Technické podmínky
TSK	Technická správa komunikací

ÚVOD

Hlavními cíli této práce bylo především stanovení vložného útlumu polouzavřeného protihlukového tunelu ve Slánské ulici a ověření, zda nedochází ke zvyšování hodnot hladiny akustického tlaku ve vyšších patrech okolní výstavby v důsledku neúplného vrchního uzavření tunelu.

Pro vypracování této práce bylo zapotřebí nejdříve se blíže seznámit s teoretickými podklady k dané problematice. První kapitola se věnuje charakteristice a problematice hluku, především z automobilové dopravy, jednotkám, používaných v hlukové problematice a jeho zanesení do legislativy České republiky.

Další kapitola popisuje jednotlivé druhy protihlukových opatření a typy protihlukových clon, včetně protihlukového tunelu, jehož se práce týká. V kapitole jsou také popsány nároky na protihlukové clony z hlediska jejich tlumící funkčnosti.

Třetí kapitola pak popisuje oblast dotčeného území z hlediska širších vztahů a intenzity vozidel.

Následující kapitola popisuje zvolený protihlukový tunel ve Slánské ulici a pro srovnání pak další dva protihlukové tunely nacházející se v České republice.

V páté kapitole jsou nejdříve popsány měřicí přístroje, kterými byla prováděna měření a poté podmínky pro jednotlivá prováděná měření. Podmínky, včetně výběru místa měření, výsledky a průběhy měření jsou pak rozděleny do dvou podkapitol dle účelu, pro který bylo měření prováděno.

Následuje pak samotné zpracování dat a výpočet vložného útlumu protihlukového tunelu. Nejdříve jsou popsány podmínky pro měření a stanovování vložného útlumu in situ dle příslušné technické normy poté následuje samotný výpočet.

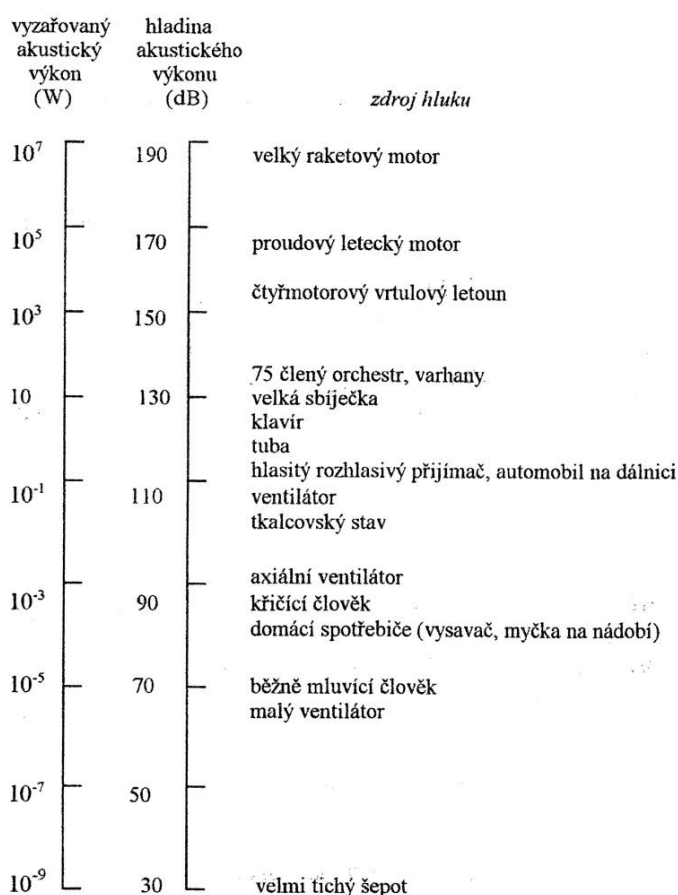
Poslední kapitola se zaměřuje na druhý cíl této práce, a to ověření, zda nedochází ke zvyšování ekvivalentní hladiny akustického tlaku ve vyšších patrech přilehlé zástavby. Jelikož nelze získat data za analogických podmínek ve stejné výšce mimo tunel, bylo potřeba stanovit předpokládanou hodnotu ekvivalentní hladiny akustického tlaku v místě měření stanovit výpočtem dle algoritmů sepsaných v publikaci, která je uvedena níže. Následuje pak porovnání teoretických hodnot s hodnotami naměřenými v praxi a zhodnocení výsledků.

1. CHARAKTERISTIKA HLUKU A LEGISLATIVA

Za hluk je z biologického hlediska považován každý zvuk, který je pro člověka nepříjemný, nebo je škodlivý svojí nadměrnou intenzitou. V textu níže je krátce popsán jeho fyzikální původ a používané veličiny a pojmy, dále pak vznik hluku z dopravy a legislativa týkající se hluku, především dopravního.

1.1 Decibelové stupnice

Ve vědním oboru akustice, zabývající se problematikou hluku, se uplatňují fyzikální veličiny jako akustický tlak p , či intenzita zvuku I . Hodnoty jak akustického tlaku, tak i ostatních akustických veličin se v praxi mění o mnoho řádů. Proto bylo potřeba, podobně jako i v jiných vědních oborech, v akustice zavést logaritmické stupnice pro grafické vyjádření závislosti a zavést pojem „hladin“ pro vyjádření závislosti mezi fyzikálně objektivními akustickými veličinami a subjektivním vjemem člověka. Jednotkou „hladin“ je „decibel“ [dB]. Lepší představu o tom, jaký akustický výkon a jeho hladina odpovídá různým akustickým zdrojům lze získat při pohledu na stupnici na obr. 1-2 [4].



Obr. 1-1 Akustický výkon a jeho hladina [4]

Obecně „hladinou akustické veličiny“ L_X rozumíme desetinásobek dekadického logaritmu poměru akustické veličiny X k její referenční hodnotě X_0 , která odpovídá nejnižší hodnotě, kterou je lidské ucho schopno vnímat. Lze pak psát:

$$L_X = 10 \log \frac{X}{X_0}. \quad (1.1)$$

1.1.1 Hladina akustického tlaku

Při odvození rovnice pro hladinu akustického tlaku L_p bereme v úvahu, že akustický výkon či intenzita zvuku jsou přímo úměrné kvadrátu hodnoty akustického tlaku. To je zohledněno při dosazení do obecné rovnice (1.1) a lze pak tedy psát

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \log \frac{p}{p_0}, \quad (1.2)$$

kde je p_0 [Pa] referenční akustický tlak,

p [Pa] akustický tlak.

Z tohoto vzorce vyplývá, že při navýšení akustického tlaku desetinásobně se jeho hladina navýší o 20 dB.

Jako referenční akustický tlak, který je stanoven normou ČSN EN 80000 8 [6] v souladu s mezinárodními úmluvami ISO, je stanovena hodnota $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa, což odpovídá nejnižší hodnotě, jakou je lidské ucho schopno zaznamenat.

Akustický tlak je veličina úzce související s teorií vlnění. Každému vlnění odpovídá určitá frekvence nebo frekvenční rozsah a je proto nutné uvádět u hladin akustického tlaku kmitočet, resp. rozsah kmitočtů (oktávách), ke kterému daná hodnota přísluší. Uvádí se například „celková hladina akustického tlaku“, či hladina akustického tlaku frekvenčně váženého. [3]

1.1.2 Stanovení výsledné hladiny více zdrojů

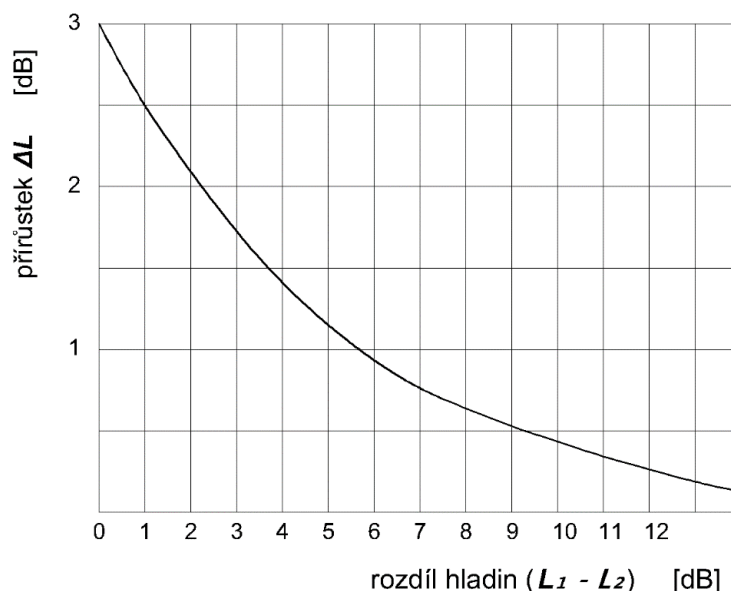
Při sčítání hladin akustického tlaku z více zdrojů jej nelze prostě sečíst, jelikož se jedná o logaritmickou hodnotu. Pro určení výsledné hladiny je třeba provést logaritmus celkové akustické energie v místě příjmu imitované od všech zdrojů, neboli energetický součet. Ten je dán vzorcem

$$L = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i}. \quad (1.3)$$

V praxi lze též využít metodu sčítání založenou na využití tzv. nomogramu na obr. 1-2 [2]. Za předpokladu, že hladina $L_{p1} > L_{p2}$ se celková hladina vypočítá ze vztahu

$$L_p = L_{p1} + \Delta L, \quad (1.4)$$

kde je ΔL [dB] rozdíl mezi hladinami L_1 a L_2 .



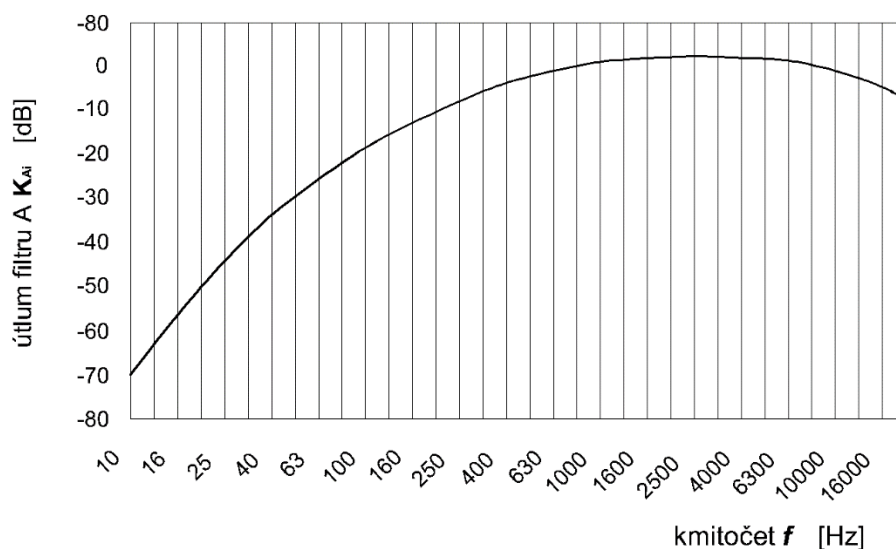
Obr. 1-2 Nomogram pro sčítání hladin [3]

Z diagramu lze vypočítat důležitý poznatek, že v případě sčítání 2 hladin stejných hodnot je přírůstek 3 dB. Současně si můžeme všimnout, že při větším rozdílu sčítaných hladin než 10 dB je přírůstek menší než 0,4 dB, což je hodnota téměř zanedbatelná.

1.1.3 Hladina akustického tlaku A

V praxi při kontrolních měřeních, například na pracovištích, je potřeba počítat s tím, že lidské ucho vnímá zvuky o různých kmitočtech s nelineární citlivostí. Proto, aby se výsledné měřené hodnoty hluku co nejvíce přibližovali tomu, jak jej vnímá lidské ucho, byly zavedeny „váhové filtry“. V praxi se nejvíce ujal váhový filtr A. Výsledky měření při použití jeho korekčních hodnot totiž nejlépe odpovídají subjektivnímu vnímání hluku exponovaných osob.

Hladina akustického tlaku A L_{pA} [dB] je obvykle stanovována přímo při měření hlukoměrem či následným výpočtem ze spektra zvuku. Průběh útlumové charakteristiky váhového filtru A je vyobrazen na obr. 1-3. Tabulka 1-1 pak udává korekce K_{Ai} u dvanácti oktávových pásem, ve kterých hlukoměr měří a z nichž pak vypočítává hladinu akustického tlaku A.



Obr. 1-3 Útlumová charakteristika filtru **A** [3]

Ze známých hodnot hladin akustického tlaku v jednotlivých oktávových pásmech lze pak vypočítat hladinu akustického tlaku **A** dle vzorce

$$L_{pA} = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{pi} + K_{Ai}}{10}}, \quad (1.5)$$

kde je L_{pi} [dB] hladina akustického tlaku v příslušném kmitočtovém pásmu,

K_{Ai} [dB] korekce závislá na středním kmitočtu v kmitočtovém pásmu.

Tabulka 1-1 Korekce K_{Ai} v dB [10]

f [Hz]	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16k
K_A [dB]	-56,7	-39,4	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	-6,6

1.1.4 Ekvivalentní hladina akustického tlaku **A**

V praxi se lze setkat s několika druhy expozice. Nejjednodušší případ nastane, pokud hladina akustického tlaku **A** se v čase nemění o více než 5 dB, jedná se pak o hluk ustálený.

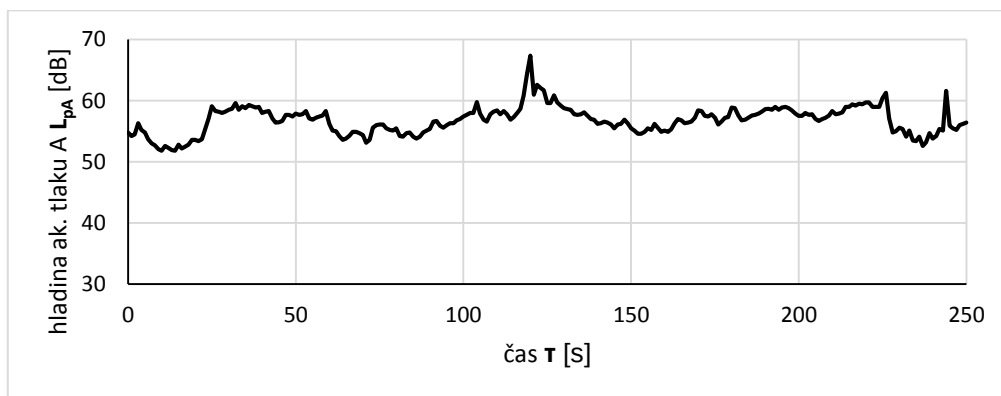
Při měření hluku z dopravy se však hodnoty v čase liší o více než 5 dB, jedná se pak o hluk proměnný. Příklad, jak může takový průběh vypadat, lze vidět na obr. 1-4.

Lze se také obvykle setkat i s hlukem impulsním, jehož maximální doba trvání je 200 ms. Může se jednat o samostatný impuls, nebo sled impulsů s minimálním intervalem 10 ms.

Jak je také vidět na obr 1-4, tak nelze jednočíselně charakterizovat hlukovou imisi v měřicím místě hladinou akustického tlaku **A**. Proto byl zaveden pojem ekvivalentní hladina akustického tlaku **A** $L_{Aeq,T}$. Dle definice se jedná o fiktivní ustálenou hodnotu hladiny akustického tlaku **A** která má stejné účinky na člověka během sledovaného časového úseku **T**, jako proměnlivá

hladina akustického tlaku **A** za stejný čas. Předpokládá se, že celkový účinek hluku je úměrný celkové imisi akustické energie ve sledovaném čase. To lze zapsat pomocí rovnice

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{\tau_2 - \tau_1} \int_{\tau_1}^{\tau_2} \frac{p_A^2(\tau)}{p_0^2} d\tau \right] = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_0^T 10^{0,1L_{pA}} d\tau \right] \quad (1.6)$$



Obr. 1-4 Průběh hladiny akustického tlaku A v blízkosti komunikace (za PHC) s výskytem jednoho impulsního signálu [zdroj- vlastní]

1.2 Hluk z automobilové dopravy

1.2.1 Hluk dopravních prostředků

Převážným zdrojem hluku ve městech jsou dopravní prostředky, především v blízkosti dopravních magistrál, velkých křižovatek, letišť, či železničních koridorů.

Hladina akustického tlaku **A**, kterou vyvolávají jednotlivé dopravní prostředky, je závislá především na několika faktorech:

- na mechanickém výkonu motoru,
- rychlosti vozidla,
- technickém stavu vozidla,
- kvalitě a typu vozovky,
- intenzitě dopravy a podílu nákladních vozidel
- okolní zástavbě,
- povětrnostních podmínkách, atd.

Co se týká samotného silničního vozidla, tak do rychlostí kolem 40 - 50 km/h je nejvýraznějším zdrojem motor vozidla. Při vyšších rychlostech pak převládá hluk z valení - styku pneumatiky s vozovkou.

Dle [3] lze vyjádřit přibližnou závislost hladiny akustického tlaku A osobních automobilů na rychlosti vzorcem

$$L_{pA} = 50 + 0,25v_0, \quad (1.7)$$

kde je L_{pA} [dB] hladina akustického tlaku A ve vzdálenosti 7,5 m od osy vozovky,
 v_0 [km.h⁻¹] rychlost osobního automobilu.

Analogicky pro nákladní automobily

$$L_{pA} = 64 + \frac{1}{3}v_n, \quad (1.8)$$

kde je v_n [km.h⁻¹] rychlost nákladního automobilu.

Dalším zdrojem je aerodynamický hluk způsobený rozrážením vzduchu tělesem vozidla a je závislý na rychlosti pohybu vozidla. Dominantní složka celkové emise hluku se z něj stává při rychlostech pohybu vyšších než 200 km/h.

1.3 Hluková legislativa

1.3.1 Limity pro hluk z dopravy

Limity venkovního hluku jsou upraveny §12 nařízení vlády č. 272/2011 Sb. Hygienické limity hluku v chráněných venkovních prostorech staveb a v chráněném venkovním prostoru [7].

Pro hluk z dopravy na pozemních komunikacích, s výjimkou účelových komunikací, drah 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 ($L_{Aeq,8h}$).

Hygienické limity ekvivalentní hladiny akustického tlaku A , s výjimkou hluku z leteckého provozu a vysokoenergetického impulsního hluku, se stanoví součtem základní hladiny akustického tlaku $A L_{Aeq,T}$ 50 dB a korekcí přihlížejících ke druhu chráněného prostoru a denní a noční době. Základní limity pro venkovní hluk z dopravy u obytných domů s již připočtenými korekcemi jsou shrnuty v tabulce č. 1-2.

Tabulka č. 1-2 Základní limity pro venkovní hluk

venkovní hluk	den (6:00 - 22:00)	noc (22:00 - 6:00)
základní limit – pro hluk jiný, než z dopravy	50 dB	40 dB
pro hluk ze silniční dopravy	55 dB	45 dB
pro hluk z železniční dopravy	55 dB	50 dB
pro hluk z hlavních silnic	60 dB	50 dB
pro hluk v ochranných pásmech drah	60 dB	55 dB
pro starou hlukovou zátěž ¹	70 dB	60 dB
pro starou hlukovou zátěž u železničních drah	70 dB	65 dB

Základní limity pro vnitřní hluk (uvnitř obytných místností) ze silniční dopravy jsou 45 dB přes den (6:00 - 22:00) a 35 dB v noční době (22:00 - 6:00).

1.3.2 Měření hluku

Měření hluku z dopravy se provádí ve venkovním prostoru nebo v interiéru budov. Ve venkovním prostoru je měřicí mikrofón zpravidla umístován v horizontální poloze do 2 metrů před fasádou ve výšce 3 m nad zemí.

Při měření hluku ve venkovních prostorech chráněných staveb, a v chráněných vnitřních prostorech staveb se uvádějí nejistoty odpovídající metodě měření. Nejistoty musejí být uplatněny při hodnocení naměřených hodnot. Výsledná hodnota hladiny akustického tlaku **A** prokazatelně nepřekračuje hygienický limit, jestliže výsledná ekvivalentní hladina akustického tlaku **A** po odečtení hodnoty kombinované rozšířené nejistoty je rovna nebo je nižší než hygienický limit nebo výsledná hladina maximálního akustického tlaku je rovna nebo je nižší než hygienický limit. [7]

Standartní nejistotou měření, která se odečítá od naměřené hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku **A** je hodnota ± 2 dB.

¹ stav hlučnosti způsobený silniční a železniční dopravou, který nastal před koncem roku 2000. Speciální limit pro starou hlukovou zátěž byl stanoven proto, aby se především v okolí hlavních silnic dosáhlo snadného splnění limitu bez nutnosti zásadních stavebních úprav a nákladných investic.

2. PROTIHLUKOVÁ OPATŘENÍ

Z hlediska lidského zdraví a jeho psychické pohody je potřeba dodržení hygienických limitů hluku, nebo alespoň nepřilíš výrazného překračování. Způsoby ochrany před nadměrným hlukem z dopravy jsou popsány v následující kapitole.

2.1 Způsoby opatření

Hluk z dopravy lze eliminovat v podstatě třemi způsoby a to jak u zdroje hluku, v poli přenosu, či u uživatele. Nejúčinnější je pak samozřejmě kombinace všech, nebo alespoň některých z možností.

2.1.1 Eliminace u zdroje

Se snížením emise hluku přímo u automobilů mají konstruktéři vozidel poměrně úspěchy. Hlučnost motorů klesla na úroveň, kdy se již diskutuje o bezpečnosti chodců v dopravním provozu. Snížením hlučnosti, především při vyšších rychlostech, lze též dosáhnout eliminací hluku vznikající při styku pneumatiky s povrchem komunikace. Tento hluk je způsoben otřesy, aerodynamickými procesy a adhezí mezi styčnou plochou pneumatiky s povrchem vozovky.

Jedním způsobem je snížení hlučnosti pneumatik, kterým se zabývá nařízení Evropské komise z listopadu 2012, dle kterého je limit hlučnosti pneumatiky osobního automobilu 72 dB. Zavedení limitů by mělo mít za následek snížení hlukové zátěže oproti předchozím limitům až o 3 dB, což odpovídá snížení akustické emise o polovinu.

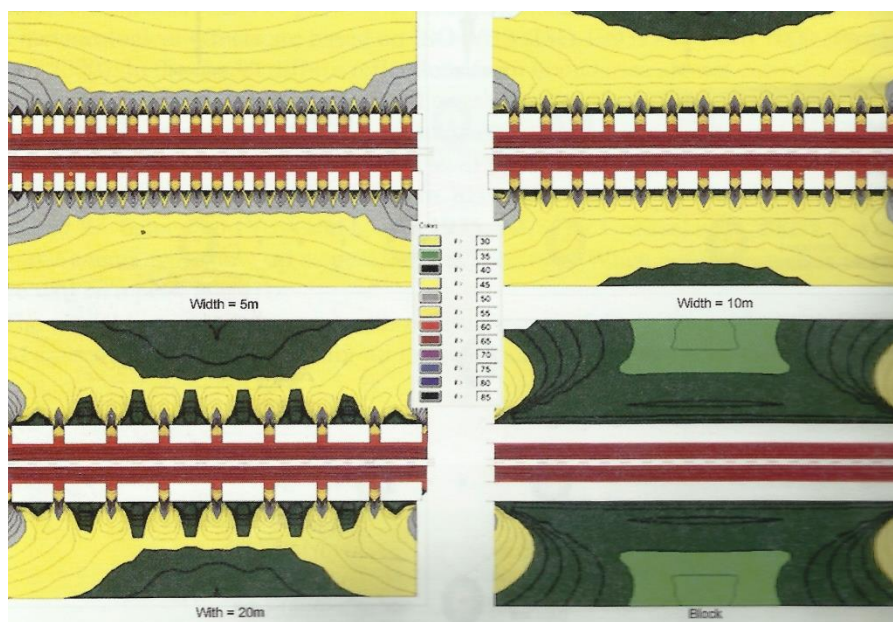
Dalším způsobem je úprava povrchu vozovky a volba materiálu. Nevýhodou materiálů s nižší hlučností při styku s pneumatikou však může být snížená životnost. Příkladem jednoho z vyvíjených povrchů může být gumoasfaltový povrch, u něhož při srovnání s asfaltovým betonem může být hluková emise nižší až o 5 dB. [13]

2.1.2 Eliminace u uživatele

Místem, kudy se šíří zvukové vlny s nejvyšší intenzitou do budov, jsou samozřejmě okna. Proto je ideální zvolení vhodného typu okna, kdy může docházet k útlumu v řádu desítek decibelů. U dvou-skelných oken například okolo 32 dB, dle tloušťky skla pak i více. Ovšem to se pak samozřejmě může projevit na ceně okna. Důležité je pak správné utěsnění okrajů okna. Při nedokonalém utěsnění může docházet ke ztrátě efektu, stejně tak pokud jsou okna otevřená.

2.1.4 Eliminace hluku v poli přenosu

Často používaným způsobem ochrany před nadměrným hlukem je (u nás od první poloviny 90. let) umisťování překážek šířícímu se zvuku mezi zdroj- komunikaci a chráněný prostor. Mimo konstrukce protihlukových stěn, valů apod., kterými se zabývá další podkapitola, se může jednat i o stavění typu budou, u kterých jsou povolené vyšší limity hladiny akustického tlaku **A**, mezi komunikací a například bytové domy, či nemocnice, u kterých je potřeba dodržovat přísnější limity. Představu o tom, jaký je útlum hluku budovou lze získat z obr. 2-1.



Obr. 2-1 Šíření hluku za budovami přilehlými ke komunikaci [1]

2.2 Požadavky na protihlukové clony

Požadavky jak na vlastnosti materiálu, ze kterého je clona vyrobená, umístění clony a její útlumové vlastnosti, kterými se rovněž zabývá tato podkapitola, se zabývají především TP 104 [8] a příslušné normy, jež jsou zmíněny v této publikaci.

2.2.1 Vlastnosti clony

Základním požadavkem na protihlukové clony je dle TP 104 vzduchová neprůzvučnost **DL_R** . Jde o schopnost nepropouštět na druhou stranu stěny akustické vlnění a tím pádem jde i o jeden z ukazatelů kvality clony. Obecně lze vzduchovou neprůzvučnost vyjádřit vztahem

$$DL_R = 10 \log \frac{1}{\tau}, \quad (2.1)$$

kde je τ [-] činitel průzvučnosti².

Rozsáhlejšími úpravami lze získat vzorec pro výpočet vzduchové neprůzvučnosti pro vlnění ze všech směrů, který je doporučen v odborné literatuře

$$R = 18 \log m'' + 12 \log f - 25 \quad (2.2)$$

kde je m'' [kg.m⁻²] plošná hustota clony,

f [Hz] frekvence zvukové vlny.

Při navrhování protihlukových clon je tedy vhodné zvolit hmotné neporézní materiály. Pro představu lze poukázat na to, že zdvojnásobením plošné hmotnosti dojde ke zvětšení zvukové neprůzvučnosti o přibližně 5,5 dB. Jak je také vidět je její hodnota jiná pro různou velikost kmitočtu dopadajícího vlnění.

Kategorie vzduchové neprůzvučnosti dle TP jsou uvedeny v tabulce 2-1. Základním požadavkem u protihlukových clon je minimálně 15 dB.

Tabulka 2-1 Kategorie vzduchové neprůzvučnosti protihlukové clony [8]

kategorie	DL_R [dB]
B0	neurčeno
B1	< 15
B2	15 - 24
B3	> 24

Další akustickou vlastností absorpčních zařízení na snížení hluku z dopravy, na kterou jsou kladeny nároky, je *zvuková pohltivost* DL_α [dB]. Je dána činitelem zvukové pohltivosti, který je obecně charakterizován poměrem stěnou pohlcené akustické intenzity ku celkové akustické intenzitě dopadající na stěnu. Kategorie zvukové pohltivosti dle TP jsou uvedeny v tabulce 2-2. Požadavkem na pohltivé clony (s absorpční vrstvou) je kategorie A2 na odrazivé (transparentní) nejsou nároky stanoveny, neboli mají kategorii A0.

Tabulka 2-2 Kategorie zvukové pohltivosti protihlukové clony [8]

kategorie	DL_α [dB]
A0	neurčeno
A1	< 4
A2	4 - 7
A3	8 - 11
A4	> 11

² Činitel průzvučnosti- poměr celkové intenzity propuštěné stěnou ku celkové intenzitě zvuku dopadající na stěnu.

2.2.2 Umístění clony

K zajištění maximální akustické účinnosti PHC se její konstrukce umísťuje co nejblíže k průjezdnému prostoru PK, ale zároveň tak, aby byla respektována pracovní šířka záchytného systému (svodidla atp.).

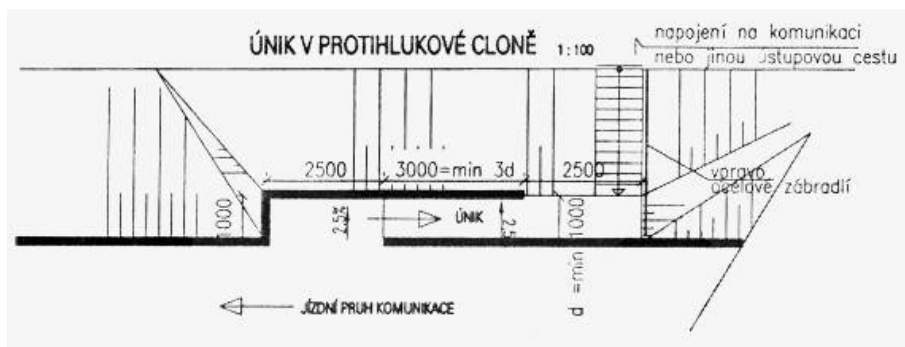
Délka PHC by pak měla být dostatečně velká tak, aby krajní chráněný objekt měl dostatečnou ochranu před nadměrným hlukem.

2.2.3 Únikové dveře a otvory

Únikové cesty je třeba dle vyhlášky č 104/1997 Sb. navrhovat u stěn delších než 300 m a vzdálených méně než 8 m od hrany komunikace. U únikových dveří je třeba dbát s ohledem na bezpečnost a co nejmenší snížení prostupu akustických vln otvory na:

- zvukoizolaci
- snadné otevírání z obou stran a ve směru úniku od komunikace
- samočinné zavírání s těsněním

U protihlukových clon s únikovým otvorem bez dveří musí být zajištěny dostatečné přesahy navazujících clon nebo se před mezeru umístí další protihluková clona s přesahy. Příklad únikového otvoru je na obr. 2-2.



Obr. 2-2 příklad únikového otvoru v protihlukové cloně [8]

2.3 Typy protihlukových clon

Dle technických podmínek se protihlukové clony dělí na 9 typů, z nichž některé jsou popsány níže.

2.3.1 Zemní valy

Jedná se o sypané konstrukce vybudované na povrchu území podél pozemní komunikace, ohumusované, oseté trávou a doplněné vegetačním krytem z křovin a dřevin.

2.3.2 Protihlukové stěny

Jednostranně či oboustranně akusticky pohltivé nebo odrazné panely různých materiálových a konstrukčních provedení uložené na soklech³ a zasunuté mezi sloupky.

2.3.3 Protihlukové stěny na mostech a zdech

Převážně jsou tvořeny odraznými panely z transparentních materiálů (výjimečně neprůhledné materiály o nízké vlastní tíze) s pevným spojením s kovovými sloupky kotvenými do říms mostů a zdí.

2.3.4 Zemní valy kombinované se stěnou

Sypané konstrukce s vegetačním porostem travin, křovin a dřevin, na jejichž korunách jsou umístěny pohltivé nebo odrazné protihlukové stěny.

2.3.5 Drátokamenné (gabionové) konstrukce

Drátokamenný prvek ve tvaru krychle nebo kvádra, vyrobený z šestibokého ocelového pletiva nebo svařovaných ocelových sítí vyplněný přírodním či lomovým kamenem. Samostatně nemá díky spárám mezi kameny účinnost jako jiný materiál, avšak gabion se dá vhodně využít jako opěrná stěna valu a díky tomu zmenšení jeho šířky a záboru půdy.

2.3.6 Překrytí

Prvek využívaný především pokud se chráněné budovy nachází v malé vzdálenosti od PK a ochránění tak jejich vyšších pater. Zde je třeba z několika hledisek, například architektonické či psychika řidiče, dbát na transparentnost překrytí. Určitou modifikací jsou pak protihlukové tunely, z nichž jednomu je věnována tato práce.

³ Vodorovný nosný prvek

3. STAV DOTČENÉHO ÚZEMÍ

3.1 Popis území v okolí stavby

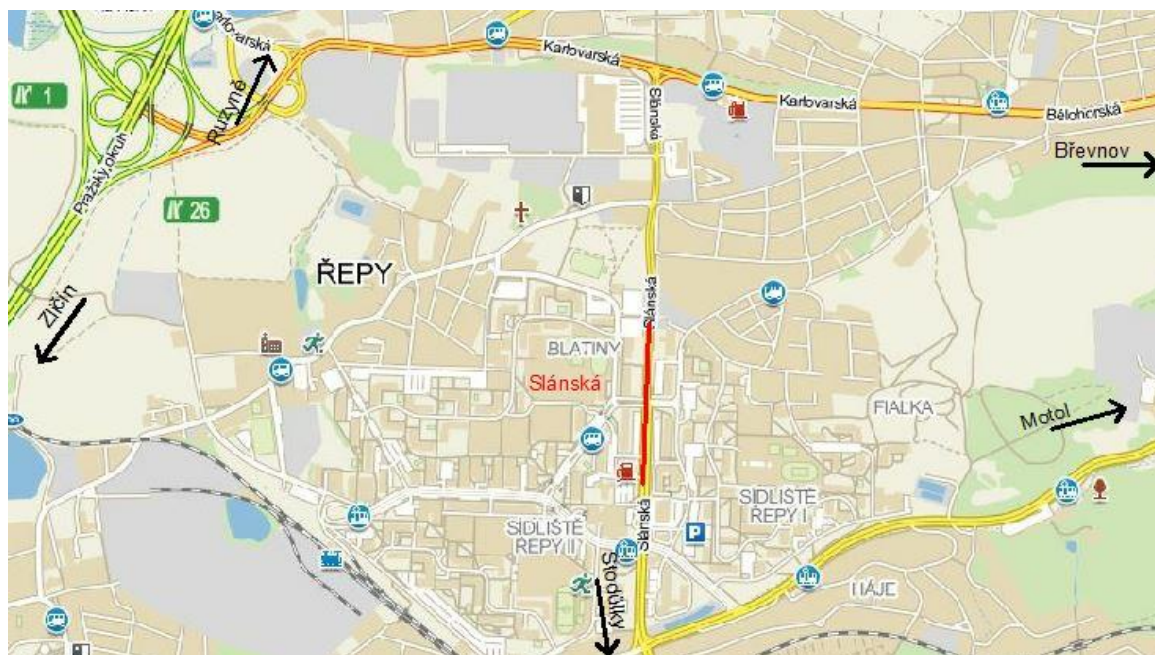
Posuzovaný protihlukový tunel se nachází v poměrně frekventované Slánské ulici v pražské městské části Řepy. Jde o silnici II. třídy. Situace umístění protihlukového tunelu je vidět na obr. 3-1.



Obr. 3-1 Situace umístění protihlukového tunelu [mapy.cz]

3.1.1 Popis širších vztahů

Napojení Slánské ulice na ostatní místní komunikace lze vidět na obr 3-2.



Obr 3-2 Situace širších vztahů [mapy.cz]

Jedná se o poměrně významnou dopravní tepnu, která svádí dopravu z obslužných komunikací na další významné komunikace, jako jsou Plzeňská, Karlovarská ulice a další. Zajišťuje dopravu z městské části Řepy dále do městských částí Břevnov, Motol, Zličín či Stodůlky.

3.1.2 Okolní zástavba

V blízkosti Slánské ulice v úseku protihlukového tunelu se vyskytuje především bytová zástavba. Dále pak dále pak čtyři parkoviště či čerpací stanice, nebo například dětské hřiště, jak je vidět na obr. 3-1.

Za přílehlou zástavbou se nachází sídliště Řepy I a Řepy II. Dále pak základní školy, Mensa gymnázium a k němu patřící sportovní areál, či kulturní centrum Blatiny.

3.1.3 Dostupnost MHD

Dopravní obsluha oblasti je zajištěna především autobusovou dopravou, jak si lze všimnout na obr 3-2. Nejvíce dotčenou oblast obsluhují linky 214, 225, 264 a 180.

Plzeňskou ulicí směrem od Motola je vedena tramvajová trať do zastávky Sídliště Řepy, kterou obsluhují linky 9, 10 a 16.

3.2 Intenzity vozidel

Následující tabulka obsahuje údaje z posledních dostupných výsledků měření intenzity dopravy dle TSK Praha v ulici Slánská. Intenzity jsou rozdělené pro každý mezikřižovatkový úsek a směr zvlášť.

Tabulka 3-1 Denní intenzity dopravy v ulici Slánská v jednotlivých úsecích

Začátek	Konec	Délka	Osobní	Pomalá	Vozidel	Bus	Vozidel
		[m]	automobily	vozidla	bez MHD	MHD	celkem
KARLOVARSKÁ	ŽALANSKÉHO	370	12900	600	13500	111	13611
ŽALANSKÉHO	KARLOVARSKÁ		12600	600	13200	112	13312
BAZOVSKÉHO	ŽALANSKÉHO	550	10900	500	11400	0	11400
ŽALANSKÉHO	BAZOVSKÉHO		10500	500	11000	0	11000
PLZEŇSKÁ	BAZOVSKÉHO	700	10100	500	10600	0	10600
BAZOVSKÉHO	PLZEŇSKÁ		10500	500	11000	0	11000

4. PROTIHLUKOVÝ TUNEL

V České republice se v současné době nacházejí tři protihlukové tunely, všechny s částečně otevřenou vrchní částí. Pro účely posouzení v této práci byl vybrán protihlukový tunel ve Slánské ulici v pražské městské části Řepy. Další protihlukový tunel se nachází v Hradci Králové v ulici Okružní a třetí, nejnověji postavený protihlukový tunel, se nachází na mostní konstrukci na dálnici D8 u obce Vchynice.

4.1 Protihlukový tunel ve Slánské ulici

4.1.1 Popis tunelu

Transparentní protihlukový tunel ve Slánské ulici, který byl vystaven v devadesátých letech, má za cíl zabránit nadměrnému dopravnímu hluku působícímu na okolní obytnou zástavbu. Začíná za křižovatkou s ulicí Šimonova, v jejíž blízkosti se nachází čerpací stanice a končí v úrovni cca 20 m za poslední obytným domem č. p. 1095/10. Je dlouhý cca 400 metrů včetně asi 30 m přerušení v prostoru křižovatky Slánské ulice s ulicí Bazovského. Přibližnou představu si lze udělat z obr. 3-1 či obr. 3-2.

Na obr. 4-1 lze vidět příčný řez protihlukovým tunelem. Tunel je cca 20 m široký a v nejvyšším místě až 8 m vysoký s poloměrem křivosti v zakrytí cca 4,5 m. Překrytí činí cca 3 m z každé strany, z toho přibližně 2,2 m nad komunikací od úrovně vnějšího vodícího proužku. Překrytá část od středu PK činí přibližně 1,5 m na každou stranu. Otevřená část nad oběma směry je 5,5 m široká.



Obr. 4-1 Pohled na vjezd do protihlukového tunelu [maps.google.com]

Nosná část je tvořena železnou konstrukcí. Funkční část je tvořena 12 mm tlustým bezpečnostním sklem. Rozměry skleněných tabulí ve dvou nejnižších řadách jsou cca 1,2 x

1,2 metru, ve vrchních řadách přibližně 2,4 x 1,2 metru. Skleněné desky jsou rovněž umístěny ve středním dělicím pásu ve výšce přibližně 3,5 m nad úrovní komunikace.

V místech, kde je protihluková clona, jsou na směrově rozdělené komunikaci zřízena v rámci bezpečnosti ocelová svodidla a s tím souvisí i umístění stěny 1,5 m od vnějšího vodícího proužku v rámci bezpečnostního odstupu.

4.1.2 Technický stav

V současné době není protihlukový tunel v příliš dobrém stavu, jak lze vidět na obrázku 4-2 nebo 4-3. Chybějící tabule skla nebo dokonce větší části stěny, vzniknuvší především působením vandalů, mají za následek snížení celkové funkčnosti protihlukového tunelu díky narušení celistvosti jeho stěny.



Obr. 4-2 Vymlácené či narušené tabule



Obr 4-3 Chybějící celý blok [obě vlastní foto]

Dle zápisu komise pro břevnovskou radiálu a koncepce návazné dopravy ze dne 11. 01. 2010 je protihlukový tunel ve Slánské ulici na pokraji své životnosti a v rámci koncepce strategického snižování hluku je navrženo odstranění stávající konstrukce a montáž nových PHC opatření. Avšak tehdy zatím nebylo jasné jakou podobu a rozsah by měla nová PHC mít. Teprve v letošním roce by měla započít projektová příprava, jež má na starosti OMI MHMP. [18]

4.2 Další protihlukové tunely v ČR

4.2.1 Protihlukový tunel v Hradci Králové

Protihlukový tunel byl zprovozněn v roce 2008 na komunikaci I/31, která tvoří městský okruh města Hradec Králové, mezi křižovatkou Buzulucká/ Okružní až po nadjezd nad Pospíšilovou ulicí. Byl vystaven kvůli nadměrnému hluku, působícímu na těsně přilehlou bytovou zástavbu. Hlukové limity v této ulici jsou překračovány především díky nadměrné dopravní zátěži.

Tento protihlukový tunel je zatím v daleko lepším technickém stavu, než protihlukový tunel ve Slánské ulici, jelikož se jedná o téměř 20 let novější stavbu.

Geometrické uspořádání lze vidět na obrázku 4-4



Obr. 4-4 Protihlukový tunel v Hradci Králové [11]

4.2.2 Protihlukový tunel u obce Vchynice

Jedná se o poslední z postavených protihlukových tunelů v ČR, na něž existují nejenom díky vysokým nákladům na výstavbu a údržbu rozporupné názory. Je situován na mostu na přibližně padesátém km dálnice D8 u obce Vchynice, jehož stavba byla dokončena v květnu 2012. Jde o 192 m dlouhý protihlukový transparentní tunel, jehož část byla na rozdíl od výše zmíněných protihlukových tunelů plně zakrytá. Díky tomu se na tubus pohlíželo dle legislativy jako na tunel, s čímž souvisí nákladná protipožární opatření, nutné odvětrávání a zřízení únikových východů. Proto bylo přistoupeno k odkrytí svršku, tak jako u dalších 2 tunelů v ČR.



Obr. 4-5 Protihlukový tunel u obce Vchynice [9]

5. MĚŘENÍ

Základním předpokladem pro vypracování této práce je získání informací o akustické situaci a dalších dopravně inženýrských dat. Jak již bylo naznačeno v úvodu, tak bude v práci dále zjišťován vložný útlum protihlukového tunelu a potvrzen či vyvrácen předpoklad, že ve vyšších patrech přilehlé zástavby narůstá hladina akustického tlaku. Proto bylo zapotřebí provést dvě nezávislá měření, při čemž při každém byly použity dva hlukoměry a každé z měření bylo následně jednou opakováno.

Díky charakteru dalšího zpracování dat bylo u každého z měření potřeba současného měření dvěma hlukoměry synchronně na dvou místech. Avšak nebylo zapotřebí jednoho měření delšího než 1 hodina, jelikož je potřeba použít data ze souběžného měření k porovnání a výpočtu. Pro kontrolu dat pak probíhala obě měření 2x po jedné hodině

Obě měření probíhala 15. května 2014 od dopoledních do odpoledních hodin. V průběhu měření bylo téměř bezvětrno a teplota vzduchu okolo 12° C. Pro další zpracování a kontrolu byly souběžně zjišťovány intenzity projíždějících vozidel.

5.1 Přístroje

Měření probíhalo dvěma zapůjčenými přístroji, které vlastní ústav dopravních systému na fakultě dopravní. Jde o hlukoměry Norsonic typu Nor140, viz obr 5-1, a oproti Norsonicu starší typ přístroje Brüel & Kjær typu 2260 na obr 5-2.



Obr. 5-1 Norsonic typ Nor140 (foto výrobce)



Obr. 5-2 Brüel & Kjær typu 2260 (foto výrobce)

Oba přístroje měří se zapnutým váhovým filtrem A, avšak data o hladinách akustického tlaku v jednotlivých oktávových pásmech jsou dostupná pouze z Norsonicu. Lze na něm také měřit v rastru jedné sekundy, díky čemuž lze v software NorReview eliminovat případné rušivé elementy. Proto byl hlukoměr typu Nor140 použit pro měření na důležitějším místě.

Pro účely měření bylo využito dalšího pomocného příslušenství, a to kalibračního přístroje, prodlužovacího kabelu k mikrofonu, stativu „Hama“ a teleskopického stativu.

6. URČENÍ VLOŽNÉHO ÚTLUMU

Jedním z hlavních úkolů této práce je zjištění vložného útlumu protihlukového tunelu in situ⁴

Vložným útlumem porovnáváme účinnost jednotlivých protihlukových stěn. V této kapitole jsou popsány podmínky pro měření k účelu stanovení vložného útlumu, které udává norma ČSN ISO 10847 a následně samotné měření. Dále je pak popsán postup výpočtu a samotný výpočet vložného útlumu. [5]

6.1 Podmínky měření dle normy ČSN ISO 10847

Celý název normy zní Akustika – Určení vložného útlumu in situ venkovních protihlukových clon všech typů. Norma definuje vložný útlum D_{IL} jako rozdíl hladin akustického tlaku na místě příjmu „před“ a „po“ výstavbě PHC získaný za nezměněných podmínek zdroje hluku, terénních profilů, interferujících překážek a meteorologických podmínek.

Jelikož je nemožné získat data z měření před výstavbou protihlukového tunelu a nelze jej jednoduše odstranit, obzvláště ne pro účely bakalářské práce, bylo potřeba přistoupit k nepřímé metodě měření, kdy se místo „před“ simuluje umístěním v dané minimální vzdálenosti mimo clonu. Při nepřímé metodě měření musely být splněny veškeré podmínky ekvivalence simulovaného místa „před“ a skutečného místa „před“ vystavěním protihlukového tunelu, stejně jako při přímé metodě měření. Především je pak nutné dodržet ekvivalenci terénního profilu, povrchu terénu, překážek a odrazivých povrchů

6.1.1 Ekvivalence terénního profilu a povrchu terénu

Jedna z podmínek ekvivalence simulované situace „před“ a skutečné situace „před“ je, že simulovaná situace musí mít terénní profil, interferující překážky a případné odrazivé povrchy a povrch terénu ekvivalentní ke skutečnému místu protihlukové clony uvnitř sektoru vymezeného 60° na každé straně od přímky spojující místo příjmu s oblastí zdroje tak, aby mohlo být dosaženo podobného šíření zvuku.

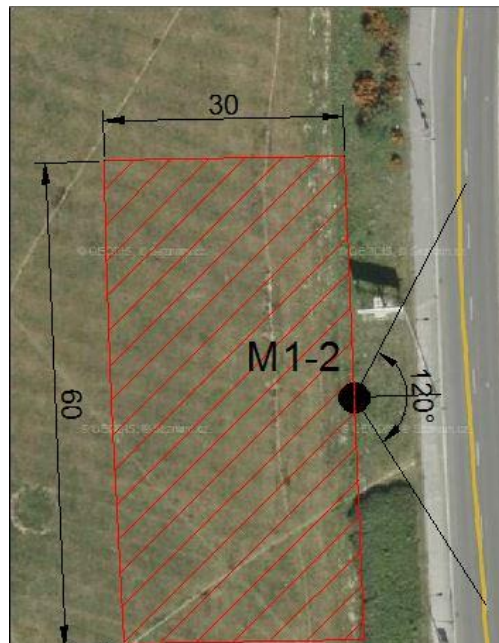
Prostředí v prostoru až do 30 m za a až 30 m po stranách většiny míst příjmu pak musejí být podobné, aby tak byly splněny podmínky „částečně volného pole“ a především bez výskytu odrazivých povrchů, jako jsou fasády domů a podobně.

⁴ In situ- na svém původním místě (jelikož nelze přesunout)

Umístění přístrojů je vidět na obrázku 6-3 a blíže je popsáno v následující podkapitole. Kontrolu umístění při měření dle podmínek uvedených v této kapitole lze vidět na schématech na obrázcích 6-1 a 6-2. Místo měření za clonou bylo označeno jako „M1-1“ a místo měření mimo clonu, jakožto simulované místo před výstavbou tunelu, bylo označeno jako „M1-2“.



Obr. 6-1 Schéma ekvivalence pro M1-1



Obr. 6-2 Schéma ekvivalence pro M1-2

6.1.2 Meteorologické podmínky

Jednou z podmínek na ekvivalenci je požadavek, aby se nezměnila třída větru a vektorové složky průměrné rychlosti větru od zdroje k místu příjmu se nelišili o více než 2 m.s^{-1} .

V průběhu měření vanul mírný severní vítr, tedy téměř kolmo ke směru šíření hluku. Předpokládáme tedy, že tato podmínka byla splněna.

Další požadavky na meteorologické podmínky se týkají analogické teploty, vlhkosti vzduchu a oblačnosti. Vzhledem k tomu, že měření probíhalo na obou místech ve stejný čas necelých 300 m od sebe, dá se předpokládat, že tyto podmínky byly rovněž splněny.

6.1.3 Ekvivalence zdrojů

Dle normy musí být pro platné určení vložného útlumu zajištěna rovněž ekvivalence zdroje pro situace „před“ a „po“. To znamená, že vlastnosti zdroje musí být natolik podobné, aby nevznikla nepřijatelná chyba. V silničním provozu jde především o intenzitu dopravy, skladbu a rychlost dopravního proudu. Dále jde pak například podélný sklon a povrch komunikace, které mohou souviset s ekvivalencí terénního profilu.

K zajištění stejné intenzity vozidel a skladby dopravního proudu bylo k měření simulovaného místa „před“ M1-2 vybráno místo ve stejném mezikřižovatkovém úseku jako měřicí místo „po“ M1-1, jak lze vidět na obrázku 6-3. Po celou dobu měření byla rychlost dopravního proudu téměř totožná.

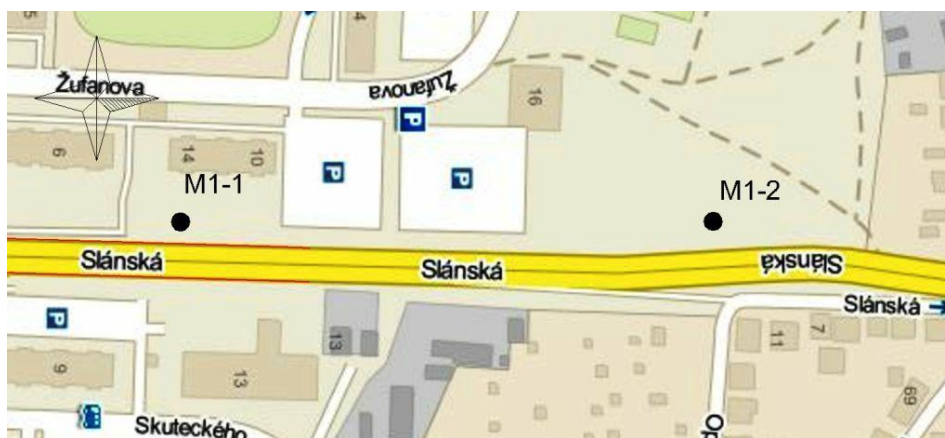
Ke kontrole ekvivalence zdroje je rovněž potřeba dle normy provádět měření referenčním mikrofonom, který musí být umístěn nejméně 1,5 m nad nejvyšším bodem protihlukové clony a na simulovaném místě „před“ ve stejné výšce. Avšak vzhledem k omezeným prostředkům, se kterými by nemohlo být toto měření provedeno (maximální dosah teleskopického stativu) a k tomu, že bylo měření prováděno souběžně za analogických podmínek, nebylo referenční měření provedeno. Je zde tedy předpoklad, že při provedení referenčního měření bychom naměřili shodné hodnoty akustického tlaku. To je pak zohledněno v dalších výpočtech.

6.2 Měření pro výpočet vloženého útlumu

6.2.1 Umístění přístrojů

Místo měření M1-1, za protihlukovým tunelem, bylo umístěno ve vzdálenosti cca 80 m od začátku protihlukového tunelu ve směru na Stodůlky, 12 m kolmo od vnějšího vodícího pruhu silnice II. třídy Slánská a ve výšce 1,2 m nad niveletou komunikace. K tomuto měření byl pro možnost dalšího zpracování dat použit hlukoměr Nor140. Umístění lze vidět na obrázku 6-4

Místo měření M1-2, mimo protihlukový tunel, bylo umístěno ve vzdálenosti cca 78 m od rohu budovy s č. p. 1092/16 ve směru na Ruzyň a 12 m kolmo od vnějšího vodícího pruhu silnice II. třídy Slánská. Mikrofon byl umístěn ve výšce cca 1,2 m nad niveletou komunikace k zajištění analogických podmínek měření k měřicímu místu M1-1. Pro toto měření byl použit hlukoměr Brüel & Kjær.



Obr. 6-3 Schéma umístění měřících přístrojů- vložený útlum (zdroj- mapy.cz)



Obr. 6-4 Pohled na místo měření M1-1



Obr. 6-5 Pohled na místo měření M1-2 (foto-vlastní)

6.2.2 Průběh měření a naměřené hodnoty

Měření byla prováděna současně na dvou místech, jak již bylo napsáno výše. Pro kontrolu a stanovení přesnější hodnoty vložného útlumu bylo měření prováděno dvakrát.

Měření provázelo poměrně příznivé počasí, tzn. téměř bezvětrno a teploty mírně přes 10° C.

Přepis záznamu všech událostí, rušivých elementů, které nastaly v době měření, je shrnut v tabulce 6-1. Naměřené hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku A jsou shrnuty v tabulce 6-2. V příloze 1 je pak graficky zobrazen časový průběh hodnot hladiny akustického tlaku A zaznamenaný přístrojem Nor140.

Tabulka 6-1 Přepis událostí

místo měření		M1-1 za clonou		M1-2 mimo clonu	
č. měření	od-do	čas události	událost	čas události	událost
1	14:58-15:58	15:49	sanitka- daleko	15:48	sanitka- daleko
		15:52	sanitka- průjezd	15:52	sanitka- průjezd
2	16:59-17:59	17:27	štěkot	17:03-17:04	štěkot psa

Tabulka 6-2 Naměřené hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku

místo měření		M1-1 za clonou	M1-2 mimo clonu
přístroj		Norsonic	Brüel
č. měření	od-do	L_{Aeq} [dB]	L_{Aeq} [dB]
1	14:58-15:58	60,2	66,2
2	16:59-17:59	58,0	65,3

V době měření ekvivalentních hladin akustického tlaku A bylo současně pro případnou kontrolu provedeno sčítání intenzit vozidel ve třech třídách:

- OS - osobní automobily + motocykly
- N – nákladní automobily + autobusy
- K – nákladní soupravy

Intenzity v jednotlivých směrech (Ruzyně a Stodůlky) a jednotlivých tříd vozidel jsou shrnuty v tabulce 6-3.

Tabulka 6-3 Intenzity vozidel při měření pro určení vložného útlumu

směr		Ruzyně			Stodůlky		
č. měření	od-do	OS	N	K	OS	N	K
1	14:58-15:58	613	24	1	640	32	3
2	16:59-17:59	907	25	1	785	15	1

6.3 Výpočet vložného útlumu

Při výpočtu vložného útlumu protihlukového tunelu byl zvolen postup pro nepřímou měřicí metodu.

Při výpočtu musí být kontrolována ekvivalence měřicích míst „před“ a „po“. Je tedy nutné provést mezivýpočet pro rozdíl hladiny akustického tlaku v podmínkách částečně volného pole pro referenční místo a místo příjmu, který je dán vztahy

$$\begin{aligned}\Delta L_B &= L_{ref,B} - (L_{r,B} - C_r) \\ \Delta L_A &= L_{ref,A} - (L_{r,A} - C'_r)\end{aligned}\quad (6.1)$$

kde je $L_{ref,B}$ [dB] hladina akustického tlaku v referenčním místě v náhradní lokalitě, změřená pro situaci „před“,

$L_{r,B}$ [dB] hladina akustického tlaku na místě příjmu v náhradní lokalitě, změřená pro situaci „před“,

$L_{ref,A}$ [dB] hladina akustického tlaku v referenčním místě, změřená pro situaci „po“,

$L_{r,A}$ [dB] hladina akustického tlaku v místě příjmu, změřená pro situaci „po“,

C_r, C'_r [dB] korekce na typ místa příjmu.

Pro „částečně volné pole“ se používá korekce $C_r = 0$ dB a pro „odrazivé povrchy“ v bezprostřední blízkosti fasád $C_r = 6$ dB.

Nepřímě naměřená hodnota vložného útlumu protihlukové clony D'_{IL} je daná vztahem

$$D'_{IL} = \Delta L_A - \Delta L_B. \quad (6.2)$$

Po dosazení ze vztahů 6.1 do vztahu 6.2 a následných úpravách za předpokladu, že hladiny akustického tlaku v referenčních místech jsou totožné, tedy $L_{ref,B} = L_{ref,A}$, a že je použita korekce pro „částečně volné pole“, lze pro nepřímě naměřenou hodnotu vložného útlumu protihlukové clony psát, že

$$D'_{IL} = L_{r,B} - L_{r,A} \quad (6.3)$$

Dle vztahu 6.3 tedy byly určeny hodnoty vložného útlumu z obou měření. Výslednou hodnotu vložného útlumu jsme určili energetickým průměrem dle vztahu

$$D_{IL} = 10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 D'_{IL,i}} \right], \quad (6.4)$$

kde je n [-] počet provedených měření.

Naměřené hodnoty hladin akustického tlaku $L_{r,A}$ a $L_{r,B}$, vypočítané hodnoty vložného útlumu $D'_{IL,i}$ a výsledná hodnota vložného útlumu D_{IL} , stanovená průměrem, jsou shrnuty v tabulce 6-4.

Tabulka 6-4 Stanovení vložného útlumu protihlukového tunelu

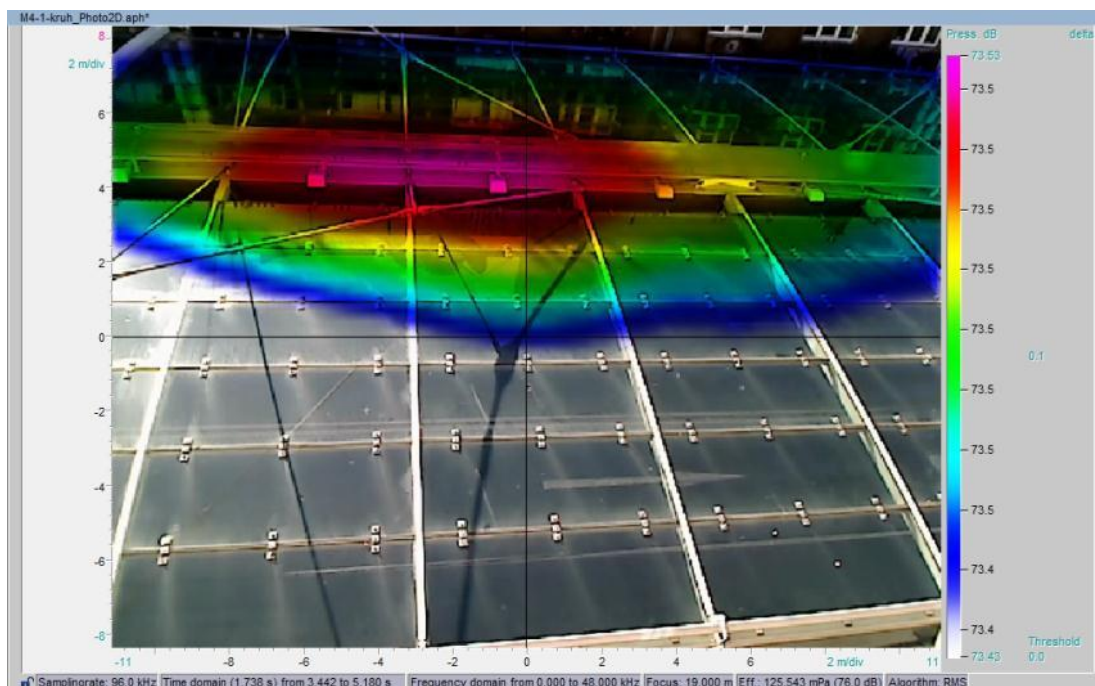
číslo měření	L_{rA}	L_{rB}	C_r	C'_r	$D'_{IL,i}$
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
1	60,2	66,2	0	0	6
2	58	65,3	0	0	7,3
průměrná hodnota					6,7

Výsledná hodnota vložného útlumu protihlukového tunelu ve Slánské ulici byla stanovena na 6,7 dB, což lze považovat za nízkou hodnotu vzhledem k stanovenému minimálnímu útlumu protihlukových clon 15 dB, zmíněném v kapitole 2.

7. VLIV POLOUZAVŘENÍ TUNELU NA EXPOZICE VE VYŠŠÍCH PATRECH

V této kapitole je cílem ověřit si předpoklad nastíněný v úvodu této práce, že částečně otevřený svršek protihlukového tunelu má vliv na zvyšování hladiny akustického tlaku ve vyšších patrech přilehlé obytné zástavby. Tento předpoklad je také podložen výsledky z měření akustickou kamerou, patřící společnosti Ekola group, na protihlukovém tunelu v Hradci Králové. Zviditelněné akustické pole a šíření hluku z otevřeného svršku této protihlukové clony je vidět na obrázku 7-1. [14]

K tomuto účelu byla zvolena metoda porovnáním hodnot teoretických a naměřených hladin akustického tlaku na střeše vybrané budovy. Nejdříve je popsán průběh z měření a jeho výsledky. Avšak jelikož nejsou k dispozici data o akustické situaci v místě příjmu bez protihlukové clony a nelze je naměřit v náhradním bodě, tak jako v kapitole 6, je třeba provést výpočet. Nejdříve je proveden teoretický výpočet ekvivalentní hladiny akustického tlaku A v místě prováděného měření s clonou a bez clony a následně je provedeno porovnání s naměřenými hodnotami.



Obr. 7-1 Zviditelněné akustické pole nad protihlukovou clonou v Hradci Králové [14]

7.1 Měření pro určení expozice ve vyšších patrech

Pro potřeby potvrzení či vyvrácení teze avizované v úvodu bylo potřeba provést měření v jednom z vyšších pater budovy v blízkosti Slánské ulice v místech, kde je ulice vedena protihlukovým tunelem. Dále pak bylo pro porovnání provedeno pro měření v místech před fasádou. Pro přesnější zpracování bylo měření provedeno dvakrát

7.1.1 Umístění přístrojů

Místo měření před fasádou, označené jako „M2-1“ bylo umístěno 2 m před fasádou bytového domu č. p. 1234/43, cca 2 m od rohu budovy a mikrofon byl ve výšce cca 3 m, jak je vidět na obr. 7-3. K tomuto měření byl použit hlukoměr Nor140.

Místo měření na střeše výše zmíněného obytného domu č. p. 1234/43, označené jako „M2-2“, bylo umístěno ve výklenku ve výšce 1 m, viz obr. 7-4. Výška bytového domu je cca 23,5 m, mikrofon byl tedy v celkové výšce cca 24,5 m. K měření byl použit hlukoměr Brüel & Kjær.

Celková situace umístění vzhledem k protihlukovému tunelu je vyznačena na mapě na obrázku 7-2.



Obr. 7-2 Schéma umístění přístrojů- polouzavření tunelu [zdroj mapy.cz]



Obr. 7-3 Pohled na místo měření M2-1



Obr 7-4 Pohled na místo měření M2-2 [foto vlastní]

7.1.2 Průběh měření a naměřené hodnoty

Měření bylo prováděno ve stejný den, jako měření pro určení vložného útlumu, provázelo jej tedy příznivé počasí.

Přepis záznamu všech událostí, rušivých elementů, které nastaly v době měření, je shrnut v tabulce 7-1. Naměřené hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku A jsou shrnuty v tabulce 7-2. V příloze 2 je pak graficky zobrazen časový průběh hodnot hladiny akustického tlaku A zaznamenaný přístrojem Nor140.

Tabulka 7-1 Přepis událostí

místo měření		střecha		před fasádou	
č. měření	od-do	čas události	událost	čas události	událost
1	10:05-11:05	10:11	troubení	10:16-10:20	vrtání
		10:22	sekání trávy	10:23-10:26	přerušované vrtání
		10:42	dětský křik	10:46	štěkot
		10:49	sekání trávy		
		10:58	skřípání brzd		
2	12:29-13:29			12:34	vrtání
				12:42 ->	přerušované vrtání
				13:12	děti
				13:17-13:22	děti se psem
				13:19	troubení

Tabulka 7-2 Naměřené hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku

místo měření		M2-1 před fasádou	M1-2 na střeše
přístroj		Norsonic	Brüel
č. měření	od-do	L_{Aeq} [dB]	L_{Aeq} [dB]
1	10:05-11:05	$57,6 \pm 2,0$	$65,6 \pm 2,0$
2	12:29-13:29	$57,1 \pm 2,0$	$64,8 \pm 2,0$

Stejně tak, jako při měření pro určení vložného útlumu, bylo při měření ekvivalentních hladin akustického tlaku A současně provedeno sčítání intenzit vozidel ve třech třídách, přičemž je s nimi dále počítáno.

Pro další účely byly druhy vozidel rozděleny na tři skupiny:

- OS - osobní automobily + motocykly
- N – nákladní automobily + autobusy
- K – nákladní soupravy

Intenzity v jednotlivých směrech (Ruzyně a Stodůlky) a jednotlivých tříd vozidel jsou shrnuty v tabulce 7-3.

Tabulka 7-3 Intenzity vozidel při měření pro určení vlivu polouzavření tunelu

směr		Ruzyně				Stodůlky			
č. měření	od-do	OS	N	K	S	OS	N	K	S
1	10:05-11:05	700	51	3	754	612	27	0	639
2	12:29-13:29	494	20	1	515	648	33	1	682

7.2 Teoretický výpočet expozice hluku na střeše

Jak již bylo avizováno v úvodu této kapitoly, tak bude proveden výpočet teoretické hlukové expozice na střeše budovy s č. p. 1234/43, tedy v místě prováděného měření, kterým stanovíme hodnotu L_{Aeq} . Hodnoty budou počítány za teoretické podmínky, že komunikace je bez protihlukové clony a úsek komunikace je homogenní. Výpočet bude probíhat dle algoritmů pro výpočet hluku z automobilové dopravy uvedených v publikaci vydané společností Enviconsult [2], dále uváděné jako „Manuál 2011“.

7.2.1 Podklady pro výpočet

Jedním ze základních údajů pro výpočet bylo stanovení intenzit dopravy. Jelikož byla prováděna hodinová měření hluku, použijeme tedy intenzity vozidel, které jsme zaznamenali souběžně s měřením hluku, které jsou uvedeny v tabulce 7-3. Intenzity vozidel je rovněž potřeba rozdělit nejen do skupin vozidel směrů, ale i do jízdních pruhů, v našem případě čtyř.

Nejdříve stanovíme procentuální rozdělení do pruhů dle tabulek z Manuálu 2011 na straně 32 s využitím údajů o denních intenzitách v úseku na Slánské ulici v mezikřižovatkovém úseku Bazovského – Želanského z tabulky 3-1. Procentuální rozdělení je shrnuto do tabulky 7-4, rozdělení zjištěných intenzit v průběhu měření pak v tabulce 7-5.

Tabulka 7-4 Procentuální rozdělení intenzit do jednotlivých pruhů

směr	osobní vozy		nákladní vozy		nákladní soupravy	
	levý	pravý	levý	pravý	levý	pravý
Ruzyně	32,8	67,2	12,5	87,5	3,6	96,4
Stodůlky	32,5	67,5	12,4	87,6	3,5	96,5

Tabulka 7-5 Rozdělení zjištěných intenzit do pruhů

č. měření	směr	osobní vozy		nákladní vozy		nákladní soupravy	
		levý	pravý	levý	pravý	levý	pravý
1	Ruzyně	229	471	6	45	0	3
	Stodůlky	199	413	3	24	0	0
2	Ruzyně	161	332	3	17	0	1
	Stodůlky	211	437	4	29	0	1

Dalším podkladem pro výpočet je rychlost dopravního proudu. Rychlost neovlivněného dopravního proudu v_p , která v intravilánu odpovídá hodnotě nejvyšší dovolené rychlosti + parametr korekce rychlosti, který je pro daný typ komunikace nulový. Průměrná rychlost neovlivněného dopravního proudu je pak tedy $v_p = 50$ km/h.

Dále je třeba stanovit úroveň kvality dopravy číselně danou stupněm vytížení komunikace a_v , který je dán podílem intenzity denní dopravy I ku kapacitě komunikace C . Při intenzitě dopravy 21 400 voz/h, vzaté z tabulky 3-1 pro daný úsek, a předpokládané kapacitě 55 000 voz/h je pak stupeň vytížení komunikace $a_v = 0,39$, což dle tabulek odpovídá stupni úrovně kvality B, znamenající nerušený provoz.

Pro výpočet je také důležitá hodnota podélného sklonu nivelety komunikace, která je v daném úseku přibližně 1,5%.

7.2.2 Stanovení výpočtové veličiny Y

Pro celkový výpočet je potřeba stanovit faktory F_1 , vyjadřující vliv rychlosti dopravního proudu a zastoupení vozidel na hodnotu L_{Aeq} , F_2 , vyjadřující vliv podélného sklonu nivelety, a F_3 vyjadřující vliv povrchu vozovky. Následně je třeba určit výpočtovou veličinu X a pomocnou výpočtovou veličinu Y . Výpočet bude proveden pro každý z jízdních pruhů.

Hodnota F_1 je dána upraveným vztahem

$$F_1 = n_{OS} \cdot F_{OS}(v) \cdot 10^{0,1 \cdot L_{OS}} + [n_N + n_K] \cdot F_N(v) \cdot 10^{0,1 \cdot L_N}, \quad (7.1)$$

kde je n_i intenzita vozidel dané skupiny v průběhu měření,

F_{OS} funkce závislosti ekvivalentní hladiny akustického tlaku dopravního proudu osobních vozidel na rychlosti dopravního proudu,

F_N funkce závislosti ekvivalentní hladiny akustického tlaku dopravního proudu nákladních vozidel na rychlosti dopravního proudu,

L_{OS} hladina akustického tlaku A osobních vozidel pro zadaný výpočtový rok,

L_N hladina akustického tlaku A nákladních vozidel pro zadaný výpočtový rok.

Funkce $F_{OS}(v)$ a $F_N(v)$ jsou dány rovnicemi

$$F_{OS}(v) = 3,59 \cdot 10^{-5} \cdot v^{0,8}, \quad (7.2)$$

$$F_N(v) = 1,50 \cdot 10^{-2} \cdot v^{-0,5} \quad (7.3)$$

Pro rok 2014 je stanovena hodnota hladiny akustického tlaku A pro osobní vozidla $L_{OS} = 74,1$ dB a pro nákladní $L_N = 80,2$ dB.

Hodnota faktoru F_2 se určí dle vztahu

$$F_2 = 10^{\frac{s}{68}}. \quad (7.4)$$

Po dosazení přibližného podélného sklonu nivelety komunikace $s = 1,5$ % získáme hodnotu faktoru $F_2 = 1,052$

Pro faktor F_3 použijeme hodnotu 1,00, jelikož se tato hodnota používá při rychlostech do 50 km/h pro všechny druhy cementobetonových a asfaltobetonových krytů.

Dalším krokem je stanovení výpočtové veličiny X , která se vypočítá dle vzorce

$$X = F_1 \cdot F_2 \cdot F_3. \quad (7.5)$$

Pomocí hodnoty X se poté určí hodnota pomocné výpočtové veličiny Y , která odpovídá hodnotě L_{Aeq} ve vzdálenosti 7,5 m od osy nejbližšího jízdního pruhu komunikace, a to dle vztahu

$$Y = 10 \cdot \log X - 10,1. \quad (7.6)$$

Všechny dosavadní výsledky výpočtů jsou shrnuty v tabulce 7-6 a v tabulce 7-7.

Tabulka 7-6 Stanovení faktoru F_1

měření	směr	pruh	n_{OS}	F_{OS}	L_{OS}	n_N	n_K	F_n	L_n	F_1
			[voz/h]	[-]	[dB]	[voz/h]	[voz/h]	[-]	[dB]	[-]
1	Ruzyně	levý	229	0,00082	74,1	6	0	0,00212	80,2	49650442
		pravý	471	0,00082	74,1	45	3	0,00212	80,2	110040470
	Stodůlky	levý	199	0,00082	74,1	3	0	0,00212	80,2	42654228
		pravý	413	0,00082	74,1	24	0	0,00212	80,2	92471700
2	Ruzyně	levý	161	0,00082	74,1	3	0	0,00212	80,2	34636450
		pravý	332	0,00082	74,1	17	1	0,00212	80,2	74048395
	Stodůlky	levý	211	0,00082	74,1	4	0	0,00212	80,2	45408288
		pravý	437	0,00082	74,1	29	1	0,00212	80,2	98868337

Tabulka 7-7 Stanovení pomocné výpočtové veličiny Y

měření	směr	pruh	F ₁	F ₂	F ₃	X	Y
			[-]	[-]	[-]	[-]	[dB]
1	Ruzyně	levý	49650442	1,052	1,00	52237446	67,08
		pravý	110040470	1,052	1,00	115774059	70,54
	Stodůlky	levý	42654228	1,052	1,00	44876700	66,42
		pravý	92471700	1,052	1,00	97289879	69,78
2	Ruzyně	levý	34636450	1,052	1,00	36441160	65,52
		pravý	74048395	1,052	1,00	77906640	68,82
	Stodůlky	levý	45408288	1,052	1,00	47774258	66,69
		pravý	98868337	1,052	1,00	104019809	70,07

7.2.3 Stanovení korekcí výpočtové veličiny

Hodnota pomocné výpočtové veličiny Y , která odpovídá hodnotě L_{Aeq} ve vzdálenosti 7,5 m od osy nejbližšího jízdního pruhu komunikace, jak je napsáno výše. Pro stanovení hodnoty L_{Aeq} ve výpočtovém bodě je tedy nutné provést několik korekcí. Korekce, které uplatňujeme, jsou následující:

- Korekce U [dB] pro útlum šířením hluku nad terénem
- Korekce D_u [dB] pro úsek komunikace
- Korekce D_B [dB] pro útlum hluku překážkou nebo konfigurací terénu
- Korekce D_P [dB] pro narušování plynulosti dopravního proudu

Korekce na útlum šířením hluku nad terénem

V našem případě nastává případ, kdy se posuzovaný bod nachází v pásu úsečky komunikace, tedy v pásu vymezeném kolmicemi k úsečce komunikace, vedenými v krajních bodech úseku komunikace.

Přestože mezi komunikací a posuzovaným bodem se nachází pohltivé složky, jako například několik stromů či tráva, použijeme k výpočtu vztah pro terén odrazivý, jelikož se posuzovaný bod nachází ve výšce cca 24,5 m, tedy větší než 20 m. Korekce U se pak stanoví ze vztahu

$$U = U_o = 50,2 - \sqrt{3357,23 - 911,8 \cdot \log d} . \quad (7.7)$$

Korekce pro úsek komunikace

Korekce D_u vyjadřuje vliv dopravy z úseku komunikace na hodnoty L_{Aeq} v posuzovaném bodě. Hodnota korekce D_u je dána velikostí úhlu α , pod kterým je sledovaný úsek komunikace viděn z posuzovaného místa. V našem případě se dá počítat s úhlem přibližně $\alpha = 168^\circ$

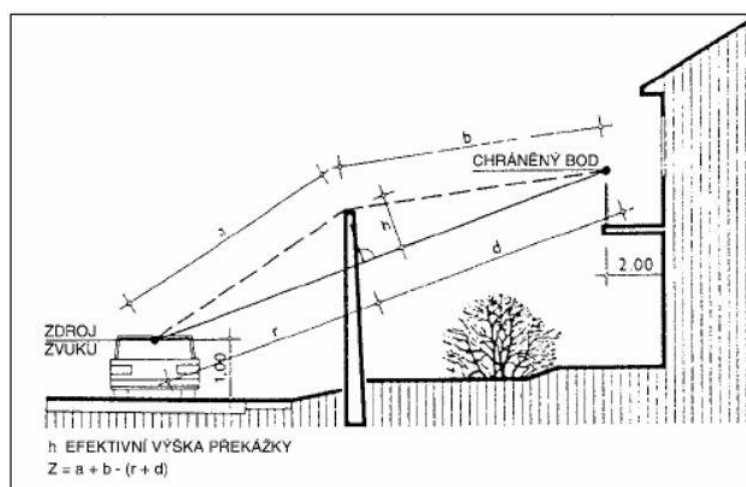
Hodnota korekce je dána vztahem

$$-10 \cdot \log \frac{180}{\alpha} \quad (7.8)$$

Útlum hluku překážkou

Je dán efektivní výškou překážky (clony), vzdálenosti zdroje hluku od překážky a vzdálenosti posuzovaného místa od překážky. Korekce D_B^5 je závislá na geometrickém parametru Z , jehož výpočet se provede za pomoci vzdáleností zjištěných dle schématu na obrázku 7-5. Parametr Z je dán vztahem

$$Z = a + b - (r + d). \quad (7.9)$$



Obrázek 7-5 Geometrické vztahy pro výpočet D_B [2]

Schématy pro výpočet geometrických parametrů jsou zobrazena v příloze 3.

Pro výpočet korekce D_B pak použijeme vztah

$$D_B = -\left[13,41 + 10,47 \cdot \log(Z + 0,18) - 2,67 \log^2(Z + 0,18)\right]. \quad (7.10)$$

Vypočítané hodnoty D_B včetně geometrických parametrů jsou zaznamenány v tabulce 7-8

⁵ Pro ideální útlum PHC

Tabulka 7-8 Výpočet korekce pro útlum hluku překážkou

měření	směr	pruh	a	b	r	d	Z	D _B
			[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[dB]
1	Ruzyně	levý	12,0	47,7	11,7	47,6	0,3	-10,02
		pravý	15,2	47,7	15,1	47,6	0,1	-6,59
	Stodůlky	levý	8,0	47,7	6,6	47,4	1,7	-16,02
		pravý	7,0	47,7	3,3	47,2	4,2	-18,99
2	Ruzyně	levý	12,0	47,7	11,7	47,6	0,3	-9,80
		pravý	15,2	47,7	15,1	47,6	0,1	-7,01
	Stodůlky	levý	8,0	47,7	6,6	47,4	1,7	-16,02
		pravý	7,0	47,7	3,3	47,2	4,2	-18,99

Korekce pro narušování plynulosti dopravního proudu

Jedním ze vstupních údajů pro výpočet hodnoty D_P je podíl nákladní dopravy N_P v %. D_P se pak stanoví ze vztahu

$$D_P = +0,08 \cdot N_P \quad (7.11)$$

7.2.4 Výpočet ekvivalentní hladiny akustického tlaku A

Po stanovení všech korekcí připadajících v úvahu, jsou přičteny korekce k hodnotě pomocné výpočtové veličiny Y . Tímto krokem je získána hodnota ekvivalentní hladiny akustického tlaku A v j-tém úseku/pruhu komunikace, značená L_j . Ekvivalentní hladina akustického tlaku A L_{Aeq} se pak stanoví jako energetický součet všech příspěvků L_j , a to dle vztahu

$$L_{Aeq} = 10 \cdot \log \left(\sum_{j=1}^n 10^{0,1 \cdot L_j} \right). \quad (7.12)$$

Všechny korekce, vypočítané dle postupu popsaného výše, hodnoty L_j a celková ekvivalentní hladina akustického tlaku A L_{Aeq} bez započítání korekce pro útlum hluku překážkou jsou shrnuty v tabulce 7-9. Výsledky se započítáním korekce pro útlum hluku překážkou jsou pak shrnuty v tabulce 7-10.

Tabulka 7-9 Výpočet L_{Aeq} bez započítání korekce D_B

měření	směr	pruh	Y	h	d	U	D_u	N_p	D_p	L_j	L_{Aeq}
			[dB]	[m]	[m]	[dB]	[dB]	[%]	[dB]	[dB]	[dB]
1	Ruzyně	levý	67,08	24,5	54,4	8,1	-0,3	2,55	0,20	58,91	67,18
		pravý	70,54	24,5	58,2	8,4	-0,3	9,25	0,74	62,59	
	Stodůlky	levý	66,42	24,5	48,6	7,5	-0,3	1,49	0,12	58,69	
		pravý	69,78	24,5	44,7	7,2	-0,3	5,49	0,44	62,76	
2	Ruzyně	levý	65,52	24,5	54,4	8,1	-0,3	1,83	0,15	57,29	66,55
		pravý	68,82	24,5	58,2	8,4	-0,3	5,14	0,41	60,54	
	Stodůlky	levý	66,69	24,5	48,6	7,5	-0,3	1,86	0,15	58,99	
		pravý	70,07	24,5	44,7	7,2	-0,3	6,42	0,51	63,13	

Tabulka 7-10 Výpočet L_{Aeq} se započítáním korekce D_B

měření	směr	pruh	Y	U	D_u	D_B	D_p	L_j	L_{Aeq}
			[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
1	Ruzyně	levý	67,08	8,1	-0,3	-10,02	0,20	48,90	57,14
		pravý	70,54	8,4	-0,3	-6,59	0,74	55,99	
	Stodůlky	levý	66,42	7,5	-0,3	-16,02	0,12	42,67	
		pravý	69,78	7,2	-0,3	-18,99	0,44	43,77	
2	Ruzyně	levý	65,52	8,1	-0,3	-9,80	0,15	47,49	55,15
		pravý	68,82	8,4	-0,3	-7,01	0,41	53,53	
	Stodůlky	levý	66,69	7,5	-0,3	-16,02	0,15	42,98	
		pravý	70,07	7,2	-0,3	-18,99	0,51	44,13	

7.3 Výpočet expozice před fasádou budovy

K využití některých již naměřených a vypočtených hodnot z předchozí podkapitoly bylo rozhodnuto provést další výpočty ke zjištění teoretické hlukové situace před fasádou bytového domu a ověření tak s naměřenými daty. Počítat se bude pouze situace s přítomností clony.

Jelikož výpočty budou porovnávány s daty naměřenými a vypočtenými současně s měřením na střeše, můžeme využít hodnoty pomocné výpočtové veličiny Y z tabulky 7-7 a hodnoty D_u a D_p z tabulky 7-9. Dále bude stanovena korekce D_z na vliv okolní zástavby

7.3.1 Stanovení korekcí výpočtové veličiny a L_{Aeq}

Jelikož se výpočtové místo nachází v jiné výšce než při předchozích výpočtech, je třeba provést stanovení nových korekcí U a D_B a nově provést výpočet korekce D_Z na vliv okolní zástavby.

Korekce pro útlum šířením hluku nad terénem se bude tentokrát počítat pro případ pohltivého terénu, kdy platí rovnice

$$U = U_p = 8,78 \cdot \log \frac{d^2 + h^2 + 6 \cdot h + 9}{17 \cdot h + 51} \quad (7.13)$$

Korekce pro útlum hluku překážkou bude stanovena stejným postupem, jako v předchozí podkapitole dle vztahů (7.9) a (7.10), avšak vzhledem k jiné pozici výpočtového bodu s jinými vzdálenostmi, které lze vyčíst ze schématu v příloze 3.

Vypočítané hodnoty D_B včetně geometrických parametrů jsou zaznamenány v tabulce 7-11. Dále pak bude proveden výpočet ekvivalentní hladiny akustického tlaku A , kdy použijeme místo ideálních hodnot korekcí pro útlum překážkou hodnotu vložného útlumu vypočteného v této práci, tedy -6,7 dB.

Tabulka 7-11 Výpočet korekce pro útlum hluku překážkou

měření	směr	pruh	a	b	r	d	Z	D_B
			[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[dB]
1	Ruzyně	levý	12,0	42,0	10,0	41,5	2,5	-17,43
		pravý	15,2	42,0	13,8	41,5	2,0	-16,60
	Stodůlky	levý	8,0	42,0	4,2	41,4	4,4	-19,14
		pravý	7,0	42,0	0,3	41,4	7,3	-20,50
2	Ruzyně	levý	12,0	42,0	10,0	41,5	2,5	-17,43
		pravý	15,2	42,0	13,8	41,5	2,0	-16,60
	Stodůlky	levý	8,0	42,0	4,2	41,4	4,4	-19,14
		pravý	7,0	42,0	0,3	41,4	7,3	-20,50

Dále je třeba stanovit korekce na vliv okolní zástavby, respektive na odraz od fasády přilehlé zástavby. Jelikož neznáme odrazivé vlastnosti fasády, budou korekce stanoveny z tabulky 25 v Manuálu [2].

Jelikož vzdálenost od přilehlé fasády $d_{z1} = 3$ m a tedy je menší než 15 m, použije se korekce $D_{z1} = +3$ dB. Vzdálenost d_{z2} od protilehlé zástavby k nejbližšímu jízdnímu pruhu je větší než 40 m, proto se tedy použije u všech pruhů korekce $D_{z2} = +0,3$ dB. Celková korekce na vliv okolní zástavby pak bude $D_Z = 3,3$ dB

Dále je postup totožný jako v předchozí podkapitole, kdy se se součtem pomocné výpočtové veličiny Y a všech korekcí stanoví hodnoty příspěvků L_j a následně ekvivalentní hladiny akustického tlaku A dle vztahu (7.12). Hodnoty všech korekcí a výsledných hodnot L_{Aeq} jsou shrnuty v tabulce 7-12 pro ideální útlum clonou a v tabulce 7-13 pro zjištěný vložný útlum 6,7 dB.

Tabulka 7-12 Výpočet L_{Aeq} před fasádou se započteným ideálním útlumem

měření	směr	pruh	Y	U	D_u	D_B	D_P	D_Z	L_j	L_{Aeq}
			[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
1	Ruzyně	levý	56,64	12,5	-0,3	-17,43	0,20	3,30	40,39	48,01
		pravý	62,51	13,0	-0,3	-16,60	0,74	3,30	44,69	
	Stodůlky	levý	55,43	11,6	-0,3	-19,14	0,12	3,30	38,83	
		pravý	60,57	10,9	-0,3	-20,50	0,44	3,30	41,82	
2	Ruzyně	levý	54,71	12,5	-0,3	-17,43	0,15	3,30	38,77	47,04
		pravý	59,47	13,0	-0,3	-16,60	0,41	3,30	42,64	
	Stodůlky	levý	55,90	11,6	-0,3	-19,14	0,15	3,30	39,13	
		pravý	61,18	10,9	-0,3	-20,50	0,51	3,30	42,19	

Tabulka 7-13 Výpočet L_{Aeq} před fasádou se započteným vložným útlumem

měření	směr	pruh	Y	U	D_u	D_B	D_P	D_Z	L_j	L_{Aeq}
			[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
1	Ruzyně	levý	56,64	12,5	-0,3	-6,70	0,20	3,30	51,12	59,62
		pravý	62,51	13,0	-0,3	-6,70	0,74	3,30	54,58	
	Stodůlky	levý	55,43	11,6	-0,3	-6,70	0,12	3,30	51,27	
		pravý	60,57	10,9	-0,3	-6,70	0,44	3,30	55,63	
2	Ruzyně	levý	54,71	12,5	-0,3	-6,70	0,15	3,30	49,50	59,08
		pravý	59,47	13,0	-0,3	-6,70	0,41	3,30	52,53	
	Stodůlky	levý	55,90	11,6	-0,3	-6,70	0,15	3,30	51,58	
		pravý	61,18	10,9	-0,3	-6,70	0,51	3,30	55,99	

Pro další porovnání byly vypočítány také hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku A před fasádou za stavu, kdy by nebyl ve Slánské ulici postaven protihlukový tunel. Tyto hodnoty vychází z předchozích výpočtů bez započtení korekce na útlum překážkou a jsou zahrnuty v tabulce 7-14.

7.4 Porovnání s naměřenými hodnotami

V této kapitole bylo provedeno několik výpočtů teoretických hodnot hladin ekvivalentního tlaku A pro dva měřicí a výpočtové body. Pro lepší představu jsou výsledky a naměřené hodnoty shrnuty v tabulce 7-14.

Tabulka 7-14 Souhrn naměřených a vypočtených hodnot

měřicí/ výpočtové místo	číslo měření	L_{Aeq}			
		vypočtená			naměřená
		[dB]			[dB]
		<i>ideální útlum clony</i>	<i>skutečný</i>	<i>bez clony</i>	
před fasádou	1	48,01	59,62	66,32	57,6
	2	47,04	59,08	65,78	57,1
střecha	1	57,14	60,48	67,18	65,6
	2	55,15	59,85	66,55	64,8

K porovnávání je třeba podotknout, že vypočtená hodnota s naměřenou se mohou lišit cca o ± 3 dB. Rozdíl mezi vypočítanou hodnotou ekvivalentní hladiny akustického tlaku A před fasádou s vložitým útlumem tunelu 6.7 dB a naměřenou hodnotou u obou z měření činí cca 2,0 dB. Hodnoty jsou tedy v toleranci.

Závěr

Jedním z cílů této práce bylo za pomoci série měření a postupů dle technické normy určit vložný útlum protihlukového tunelu ve Slánské ulici, tedy hodnotu hladiny akustického tlaku A, o kterou se sníží její velikost při průchodu stěnou.

Pomocí výpočtů bylo zjištěno, že vložný útlum protihlukového tunelu činí pouhých 6,7 dB, avšak dle TP 104 je stanoven minimální útlum protihlukové clony na hodnotu 15 dB. Nabízí se tedy otázka, díky čemu je účinnost clony tak nízká. Je zřejmé, že jedním z důvodů snižování účinnosti může být špatný technický stav skleněných tabulí, vzniknuvší například působením vandalizmu.

Dále pak bylo prováděno měření ekvivalentní hladiny akustického tlaku A před fasádou vybrané budovy za současného měření na její střeše. Jedním z účelů bylo především získání podkladů k dosažení druhého hlavního cíle této práce, a to ověření předpokladu, zda nedochází ve vyšších patrech obytných staveb v blízkosti protihlukového tunelu ke zvyšování hlukové zátěže vlivem otevřeného svršku tunelu.

Toto bylo provedeno srovnáním naměřených hodnot na střeše budovy s hodnotami vypočtenými dle metodiky (s využitím zjištěných intenzit vozidel v průběhu měření), které by na místě byli za situace, kdy by clona správně plnila svoji funkci a za situace, kdy by tunel na místě nebyl. Výsledky měření a výpočtů jsou shrnuty v tabulce 7-14 v předchozí kapitole.

Je patrné, že výsledky z měření jsou cca o 6,7 dB vyšší než při provedení výpočtů se zjištěným útlumem clony a cca o 1,7 dB nižší než při provedení teoretických výpočtů bez PHC. Z výsledků tedy vyplývá, že nelze jednoznačně prokázat vliv otevření svršku protihlukového tunelu na zvyšování hlukové zátěže na nejvyšší patra budov, avšak lze vyvodit závěr, že ve vyšších patrech budov již protihlukový tunel téměř neplní svoji funkci.

Jako další výstup práce lze posoudit hodnoty s legislativou týkající se dopravního hluku. Pro porovnání s legislativou ČR se uvažuje hluk ze Slánské ulice jako stará hluková zátěž, a proto se počítá jako limitní hodnota 70 dB pro denní dobu. Průměrné naměřené hodnoty jsou na střeše $65,2 \pm 2$ dB a před fasádou cca $57,4 \pm 2$ dB. Nejistota měření ± 2 dB se pak od naměřených hodnot pro účely porovnání s limity, danými legislativou, odečítá. Stejně tak se od naměřených hodnot při měření před fasádou domu odečítá korekce 2 dB. Pro porovnání s legislativou pak tedy získáme průměrnou hodnotu ekvivalentní hladiny akustického tlaku A 63,2 dB na střeše obytného domu a 53,4 dB před fasádou.

Pro měření hluku dle legislativy je třeba provádět měření 24 hodin v kuse, či celou denní dobu, nebo celou noční dobu, jak je uvedeno v podkapitole 1.3. Avšak vzhledem k době měření,

které probíhalo téměř v dopravním sedle, lze předpokládat, že v průběhu dne nedochází k více než zdvojnásobení dopravní intenzity, tedy že ekvivalentní hladina akustického tlaku A nebude oproti naměřeným hodnotám vyšší než o 3 dB. S jistotou lze tedy říci, že jsou splněny hygienické limity pro starou hlukovou zátěž, přestože limity pro novou hlukovou zátěž, které činní na tomto typu komunikace 60 dB, by byly ve vyšších patrech daleko překročeny.

O situaci okolo protihlukovém tunelu není uvedeno mnoho veřejně dostupných informací o její funkčnosti, pouze o jejím možném nahrazení, které je, zdá se, v nedohlednu. Z výsledků této práce je patrné, že toto protihlukové opatření je opravdu na pokraji své životnosti a jeho funkčnost přestává být dostačující.

Seznam použité literatury

- [1] KANG, Jian. *Urban sound environment*. New York: Taylor, 2007, xviii, 278 p., [8] p. of plates. ISBN 978-020-3004-784.
- [2] Liberko, M., Ládyš, L.: Výpočet hluku z automobilové dopravy. Manuál 2011. Účelová publikace pro Ředitelství silnic a dálnic České republiky. ENVICONSLT Praha, listopad 2011
- [3] NOVÝ, Richard. *Hluk a chvění*. Vyd. 3. V Praze: České vysoké učení technické, 2009, 400 s. ISBN 978-80-01-04347-9.
- [4] VAŇKOVÁ, Marie. *Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí*. 1. vyd. Brno: PC-DIR, 1995, 140 s. ISBN 80-214-0695-X.
- [5] ČSN EN ISO 11821. *Akustika - Měření útlumu zvuku in situ přemístitelné clony*. Praha: ČNI, únor 1999.
- [6] ČSN EN ISO 80000 8. Veličiny a jednotky - Část 8: Akustika.
- [7] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. In: *Sbírka zákonů*. 2011.
- [8] *TP 104: Protihlukové clony pozemních komunikací*. Praha: Ministerstvo dopravy Odbor infrastruktury, 2008.
- [9] D8 - 0805 Lovosice – Řehlovice – objekt 202 – most Vchynice. In: *EUROVIA* [online]. 2009 [cit. 2014-08-05]. Dostupné z: http://www.eurovia.cz/cs/reference/1672-d8_0805_lovosice_rehlovice_objekt_202_most_vchynice?tab=galerie
- [10] Kmitočet zvuku: Váhová korekce zvukoměru. *TZB-info* [online]. 2010 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/kmitocet-zvuku-vahova-korekce-zvukomeru>
- [11] Protihlukový tunel - Hradec Králové. *Sklenářství Kohoutek s-r-o* [online]. 2014 [cit. 2014-08-05]. Dostupné z: <http://www.sklokohoutek.cz/reference/protihlukovy-tunel-hradec-kralove>
- [12] Pryžový granulát ztiší pozemní komunikace. In: *EnviWeb* [online]. 2012 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/clanek/hluk/92278/pryzovy-granulat-ztisi-pozemni-komunikace>
- [13] ZÁPIS KOMISE PRO BŘEVNOVSKOU RADIÁLU A KONCEPCI NÁVAZNÉ DOPRAVY ZE DNE 11. 01. 2010. In: *Zápis1_2010* [online]. 2010 [cit. 2014-08-05]. Dostupné z: www.repy.cz/file/1491_1_1/
- [14] Zpráva projektu Systém analýzy a vizualizace hlukových polí, 2012

Seznam obrázků

Obrázek 1-1	Akustický výkon a jeho hladina [4]	9
Obrázek 1-2	Nomogram pro sčítání hladin [3]	11
Obrázek 1-3	Útlumová charakteristika filtru A [3]	12
Obrázek 1-4	Průběh hladiny akustického tlaku A v blízkosti komunikace (za PHC) s výskytem jednoho impulsního signálu [zdroj- vlastní]	13
Obrázek 2-1	Šíření hluku za budovami přilehlými ke komunikaci [1]	17
Obrázek 2-2	příklad únikového otvoru v protihlukové cloně [8]	19
Obrázek 3-1	Situace umístění protihlukového tunelu [mapy.cz]	21
Obrázek 3-2	Situace širších vztahů [mapy.cz]	21
Obrázek 4-1	Pohled na vjezd do protihlukového tunelu [maps.google.com]	23
Obrázek 4-2	Vymlácené či narušené tabule	24
Obrázek 4-3	Chybějící celý blok [obě vlastní foto]	24
Obrázek 4-4	Protihlukový tunel v Hradci Králové [11]	25
Obrázek 4-5	Protihlukový tunel u obce Vchynice [9]	25
Obrázek 5-1	Norsonic typ Nor140 (foto výrobce)	26
Obrázek 5-2	Brüel & Kjær typu 2260 (foto výrobce)	26
Obrázek 6-1	Schéma ekvivalence pro M1-1	29
Obrázek 6-2	Schéma ekvivalence pro M1-2	29
Obrázek 6-3	Schéma umístění měřících přístrojů- vložný útlum (zdroj- mapy.cz)	30
Obrázek 6-4	Pohled na místo měření M1-1	31
Obrázek 6-5	Pohled na místo měření M1-2 (foto-vlastní)	31
Obrázek 7-1	Zviditelněné akustické pole nad protihlukovou clonou v Hradci Králové [14].	34
Obrázek 7-2	Schéma umístění přístrojů- polouzavření tunelu (zdroj mapy.cz)	35
Obrázek 7-3	Pohled na místo měření M2-1	35
Obrázek 7-4	Pohled na místo měření M2-2	35
Obrázek 7-5	Geometrické vztahy pro výpočet D_B [2]	41

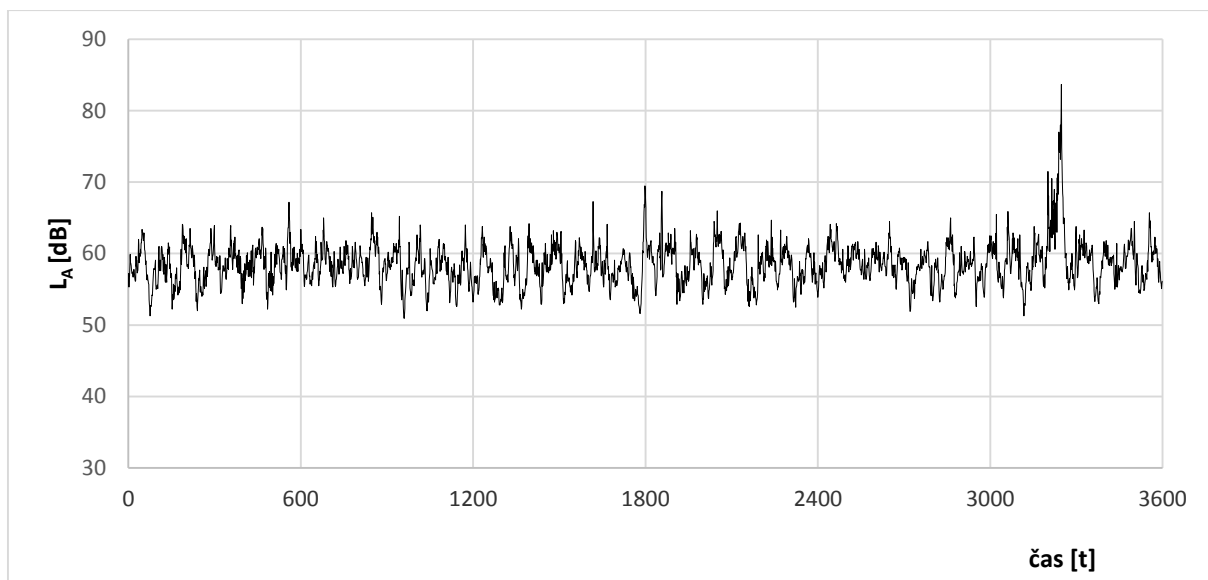
Seznam tabulek

Tabulka 1-1	Korekce K_{Ai} v dB [10]	12
Tabulka 1-2	Základní limity pro venkovní hluk.....	15
Tabulka 2-1	Kategorie vzduchové neprůzvučnosti protihlukové clony [8]	18
Tabulka 2-2	Kategorie zvukové pohltivosti protihlukové clony [8]	18
Tabulka 3-1	Denní intenzity dopravy v ulici Slánská v jednotlivých úsecích	22
Tabulka 6-1	Přepis událostí	31
Tabulka 6-2	Naměřené hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku	31
Tabulka 6-3	Intenzity vozidel při měření pro určení vložného útlumu	32
Tabulka 6-4	Stanovení vložného útlumu protihlukového tunelu.....	33
Tabulka 7-1	Přepis událostí	36
Tabulka 7-2	Naměřené hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku	36
Tabulka 7-3	Intenzity vozidel při měření pro určení vlivu polouzavření tunelu	37
Tabulka 7-4	Procentuální rozdělení intenzit do jednotlivých pruhů	37
Tabulka 7-5	Rozdělení zjištěných intenzit do pruhů	38
Tabulka 7-6	Stanovení faktoru F_1	39
Tabulka 7-7	Stanovení pomocné výpočtové veličiny Y	40
Tabulka 7-8	Výpočet korekce pro útlum hluku překážkou	42
Tabulka 7-9	Výpočet L_{Aeq} bez započítání korekce D_B	43
Tabulka 7-10	Výpočet L_{Aeq} se započítáním korekce D_B	43
Tabulka 7-11	Výpočet korekce pro útlum hluku překážkou	44
Tabulka 7-12	Výpočet L_{Aeq} před fasádou se započteným ideálním útlumem	45
Tabulka 7-13	Výpočet L_{Aeq} před fasádou se započteným vložným útlumem	45
Tabulka 7-14	Souhrn naměřených a vypočtených hodnot.....	46

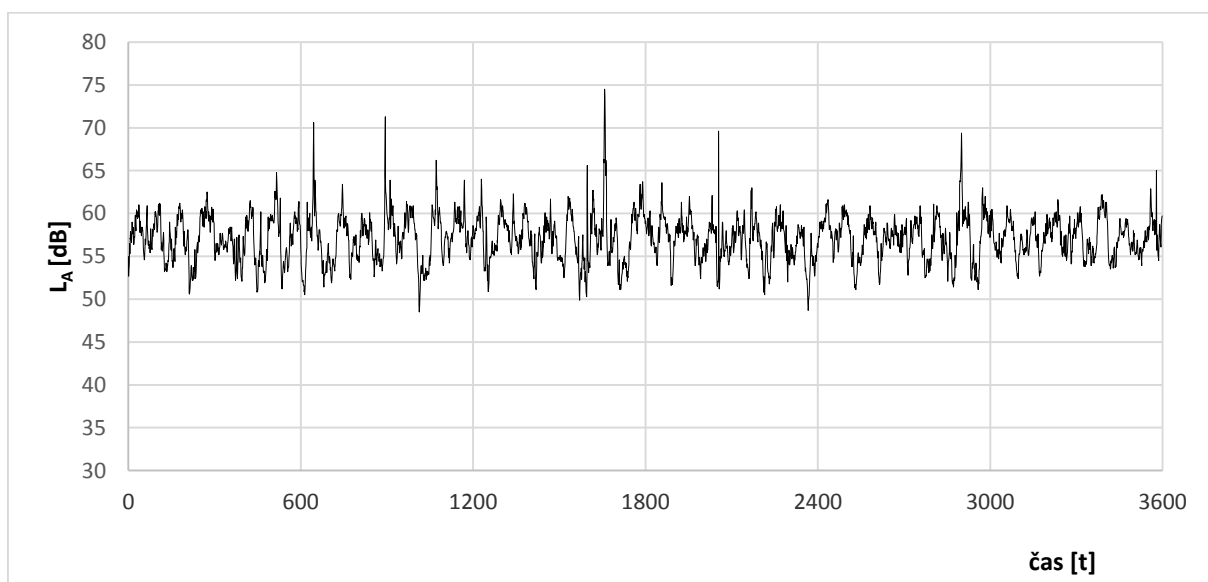
Seznam příloh

- 1 Časové průběhy hodnot hladiny akustického tlaku A zaznamenané přístrojem Nor140 při měřeních pro stanovení vložného útlumu
- 2 Časové průběhy hodnot hladiny akustického tlaku A zaznamenané přístrojem Nor140 při měřeních před fasádou
- 3 Schémata pro výpočet korekce na útlum překážkou

**Příloha 1 - Časové průběhy hodnot hladiny akustického tlaku A
zaznamenané přístrojem Nor140 při měřeních pro stanovení
vložného útlumu**

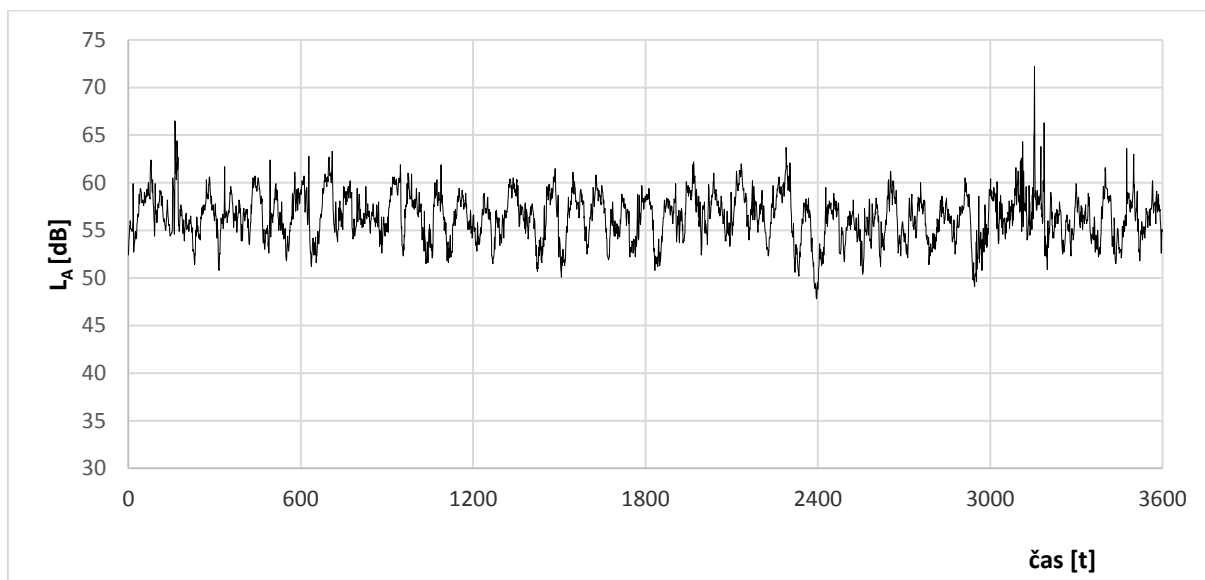


Měření od 14:58 do 15:58

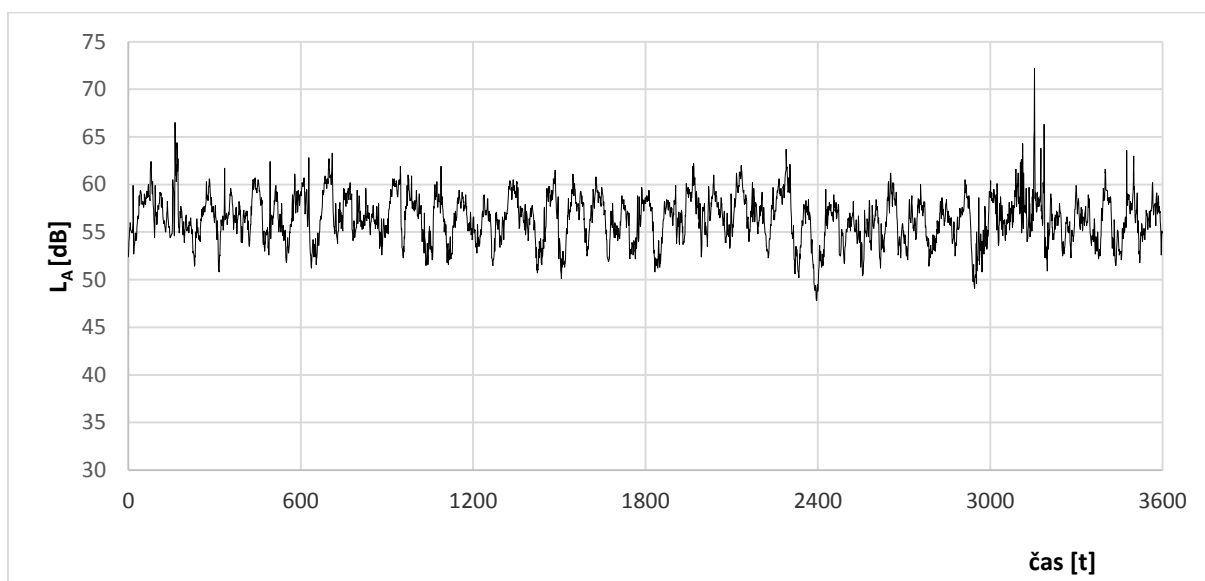


Měření od 17:00 do 18:00

Příloha 2 - Časové průběhy hodnot hladiny akustického tlaku A zaznamenané přístrojem Nor140 při měřeních před fasádou



Měření od 10:05 do 11:05



Měření od 12:29 do 13:29

Příloha 3 – Schémata pro výpočet korekce na útlum překážkou

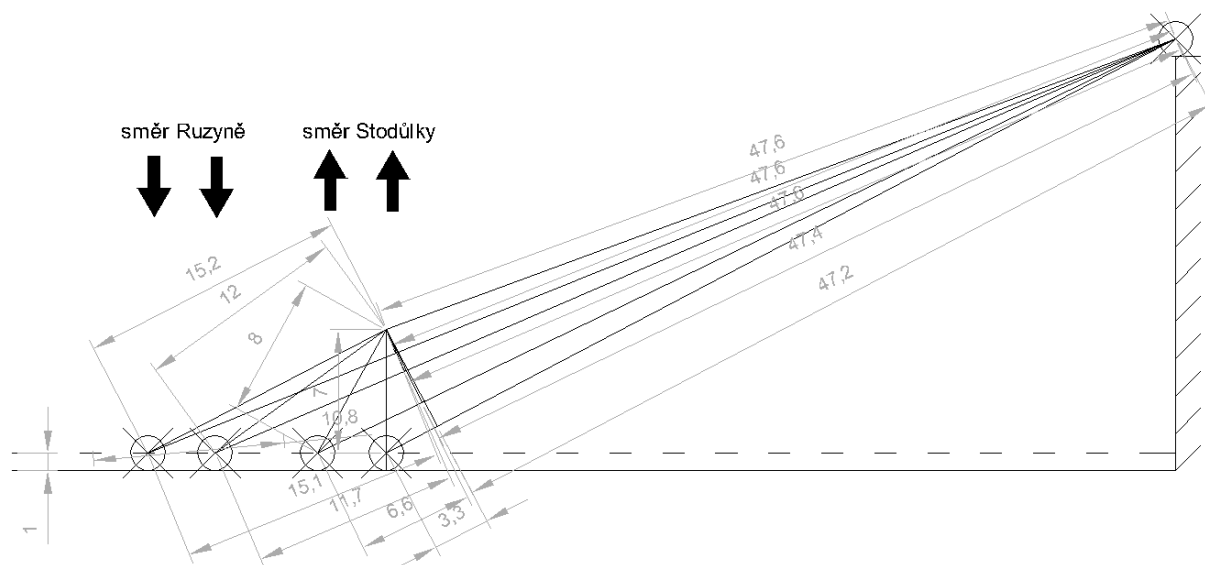


Schéma pro výpočtový bod na střeše budovy

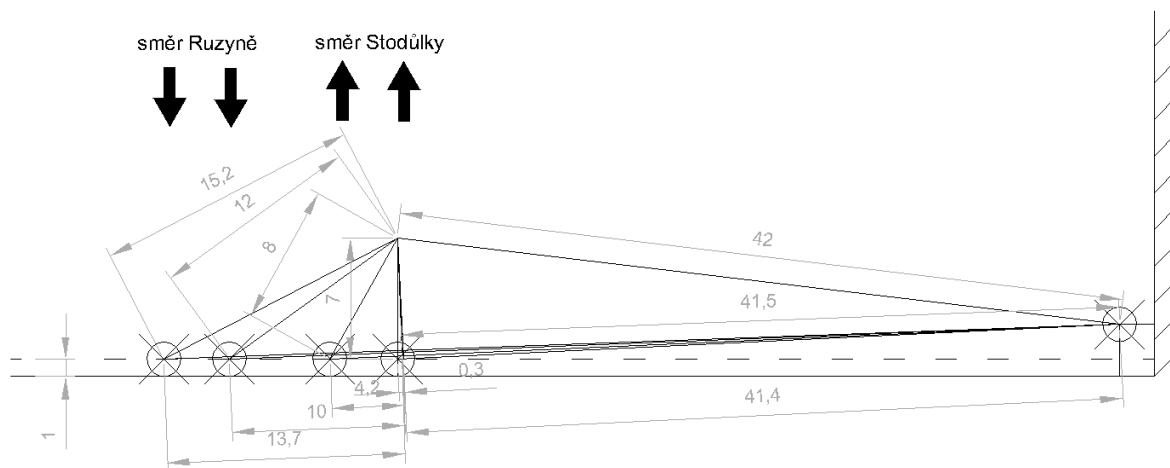


Schéma pro výpočtový bod před fasádou budovy