

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta – Katedra fyziky

Alternativní řešení ke snížení hlukové zátěže šířené z pozemních komunikací

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Pavel Kubáň

Autor: Michal Novák

České Budějovice

2012

Abstrakt

Autor bakalářská práce popíše problematiku nežádoucího šíření hluku vzniklého z dopravy na pozemních komunikacích a navrhne vlastní alternativní konstrukce pro snížení hluku ze silničního provozu. Jako výchozí podklady budou použity hlukové studie Jihočeského kraje na vybraném úseku silnice.

V bakalářské práci autor popíše akustické poměry z fyzikálního hlediska, vlastnosti zvuku při šíření v prostoru podél komunikací, vysvětlí pojmy hluk z dopravy a hlukové emise, vyjmenuje důležité normové požadavky a kritéria. Z tohoto teoretického základnu vzniknou vstupně-výstupní požadavky na realizaci potřebných opatření na snížení hluku.

Tato bakalářská práce si klade za cíl navrhnout a předběžně posoudit jiný typ protihlukové stěny, jako jedno z opatření ke snížení hlukové zátěže z pozemních komunikací, v porovnání s běžně používanými konstrukcemi.

K dosažení cíle se navrhne a posoudí využití možností jiných kombinací materiálů, způsobů jejich spojení a tvarové geometrie konstrukcí.

Abstract

The work describes the problems of unwanted noise arising from the traffic on roads and designs its own alternative constructions for reducing noise from road traffic. The noise studies of South Bohemia Region in chosen part are used as background.

The work describes the acoustic conditions of the physical point of view, the properties of sound spreading along the roads in the area, explains the concepts of noise from traffic and noise emissions, enumerates the relevant standard requirements and criteria. On this theoretical base, there result input-output requirements necessary to implement measures to reduce noise. The work aims to propose and evaluate preliminarily a different type of noise barriers, as one of the measures to reduce noise from roads, compared with commonly used structures.

To achieve the proposed objectives and to assess the possibility of using other combinations of materials, methods of connection and shape geometry of structures.

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce a to v nezkrácené podobě fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 24.4.2012

Michal Novák

Touto formou děkuji svému konzultantovi Ing Pavlovi Kubáňovi za cenné rady a připomínky při zpracování mé bakalářské práce.

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Základní fyzikální vlastnosti zvuku	10
2.1.	Amplituda.....	10
2.2.	Vlnová délka	10
2.3.	Perioda	10
2.4.	Frekvence	11
2.5.	Rychlost zvuku.....	11
2.6.	Vlnoplochy	12
2.7.	Akustická rychlost	12
2.8.	Typy vlnění	13
2.9.	Akustický tlak	13
2.10.	Fázový posun	14
2.11.	Akustický výkon	14
2.12.	Akustická intenzita	15
2.13.	Hladina akustické intenzity a hladina akustického tlaku.....	16
2.14.	Hladina akustického výkonu	17
2.15.	Sčítání hladin	17
2.16.	Pokles hladiny akustického tlaku se vzdáleností	18
2.17.	Skládání zvukových vln.....	19
3	Vlastnosti zvuku ve venkovním prostředí a technické aspekty.....	21
3.1.	Spektrální analýza zvuku	21
3.2.	Průběh zvukového spektra	22
3.3.	Zvuk a hluk	23
3.4.	Váhové filtry	23
3.5.	Ekvivalentní hladina akustického tlaku.....	25
3.6.	Právní předpisy	26
3.7.	Hygienické limity hluku z dopravy v ČR	27
3.8.	Strategické hlukové mapy.....	27
3.9.	Akční plány	28
4	Útlum zvuku a hluku.....	29
4.1.	Absorpce a odraz zvuku	29
4.2.	Útlum atmosférickými podmínkami	30

4.2.1.	<i>Útlum zvuku vlivem absorpce vzduchu</i>	30
4.2.2.	<i>Útlum zvuku vlivem mlhy, deště a sněhu</i>	30
4.2.3.	<i>Útlum zvuku vlivem gradientu větru a teploty</i>	31
4.2.4.	<i>Útlum zvuku vlivem překážek a zeleně</i>	31
4.3.	<i>Útlum dopravního hluku vzdáleností</i>	31
4.4.	<i>Vliv konečného úseku</i>	32
4.5.	<i>Vliv přilehlé a protilehlé souvislé zástavby</i>	32
4.6.	<i>Vliv stínění souvislou překážkou</i>	33
5	<i>Opatření pro snížení hluku z dopravy</i>	34
5.1.	<i>Aktivní způsoby ochrany před hlukem z dopravy</i>	34
5.1.1.	<i>Snižování hluku vozidel</i>	34
5.1.2.	<i>Snižování povolené rychlosti</i>	34
5.1.3.	<i>Snižování hluku z valení pneumatik po komunikaci</i>	35
5.2.	<i>Pasivní způsoby ochrany před hlukem z dopravy</i>	35
5.2.1.	<i>Protihluková clona terénními úpravami</i>	36
5.2.2.	<i>Absorpční clony</i>	37
5.2.3.	<i>Odráživé clony</i>	39
5.2.4.	<i>Zeleň</i>	39
5.2.5.	<i>Kombinace odrazivých a absorpčních clon</i>	40
6	<i>Návrh vlastní alternativní konstrukce</i>	42
6.1.	<i>Vytipování lokality nadměrně zatížené hlukem</i>	42
6.2.	<i>Výpočet minimálních rozměrů protihlukové clony</i>	43
6.2.1.	<i>Nejvyšší přípustná hodnota hluku</i>	43
6.2.2.	<i>Přepočet vlivu konečného úseku</i>	43
6.2.3.	<i>Návrh výšky překážky</i>	44
6.2.4.	<i>Zhodnocení výpočtu</i>	45
6.3.	<i>Volba optimální clony</i>	45
6.4.	<i>Pohlčení zvukové energie kmitáním odrazivé clony</i>	46
6.4.1.	<i>Tlumené kmitání</i>	46
6.5.	<i>Pružné uložení clony</i>	47
6.5.1.	<i>Laboratorní měření účinnosti hlukové clony</i>	47
6.6.	<i>Tvarové řešení</i>	48
6.7.	<i>Užití vhodných materiálů</i>	49
6.8.	<i>Schéma možného systému pružného uložení</i>	50

7	Závěr.....	51
8	Přílohy.....	52
9	Literatura.....	62

1 Úvod

Dlouhodobé působení hluku na člověka se postupně projevuje na jeho psychickém i fyzickém zdraví. Proto je snaha zvyšovat ochranu lidí před expozicí nadměrného hluku jak v domácnosti, tak na pracovišti tak i ve venkovním prostředí. Tyto snahy jsou podporovány předpisy Evropské unie, které jsou postupně zapracovávány a harmonizovány s legislativou České Republiky. Zpřísnování limitních hodnot, kterým mohou být lidé vystaveny, jsou důvodem pro hledání nových možností, jak hluk potlačit.

Dominantním zdrojem hluku je automobilová doprava, která každoročně zaznamenává nárůst. Proti tomuto faktu je třeba se postavit a hledat řešení snižující tuto zátěž obyvatel. Jedním ze způsobů je budování protihlukových clon, které spolu s dalšími opatřeními výrazně přispívají ke zlepšení podmínek pro kvalitní život.

2 Základní fyzikální vlastnosti zvuku

Při šíření zvuku dochází ke kmitavému pohybu (vlnění) molekul v pružném prostředí okolo své rovnovážné polohy. Pokud je toto vlnění pravidelné v čase s průběhem sinusoidy, nazýváme jej harmonickým kmitáním. Zabývat se harmonickým kmitáním je výhodné k pochopení těchto jevů, jedná se však o značně idealizované podmínky které v reálném světě téměř nenastávají. Většinou se setkáváme s neharmonickým kmitáním, které se však dá složit ze součtu jistého počtu harmonických průběhů kmitání s různou amplitudou.

2.1. Amplituda

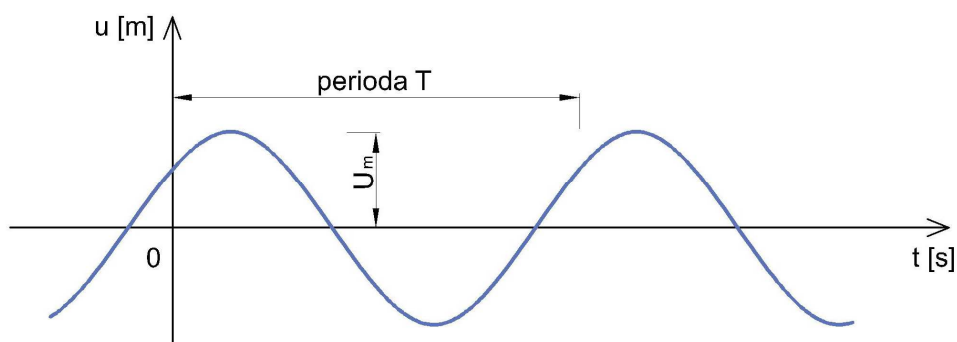
Amplituda U_m [m] je maximální výchylka částice od své rovnovážné polohy.

2.2. Vlnová délka

Vlnová délka λ [m] znázorněná na Obr. 1 vyjadřuje vzdálenost, jakou urazí vlna za dobu jednoho kmitu.

2.3. Perioda

Perioda T [s] je doba jednoho kmitu.



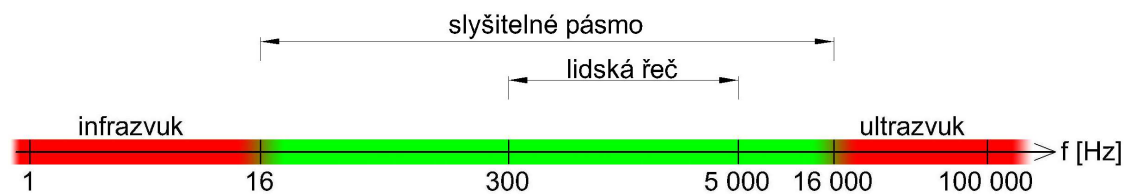
Obr. 1 – Vlnění bodu v čase

2.4. Frekvence

Frekvence f [Hz] je počet kmitů hmotného bodu za 1 sekundu. Frekvence je převrácenou hodnotou periody T .

$$T = f^{-1} \quad (1)$$

Rozsah frekvence, který je schopný vnímat lidský sluchový orgán – tzv. slyšitelné pásmo - je přibližně od 16 Hz do 16 kHz. Frekvence pod 16 Hz (do 1 Hz) se nazývá infrazvuk a může ji vnímat třeba jako otřesy. U frekvencí nad 16 kHz (do 100 kHz) mluvíme o ultrazvuku.



Obr. 2 – Rozsah frekvencí zvuku

2.5. Rychlost zvuku

Pro rychlost šíření zvuku vzduchem platí, že rychlost šíření není závislá na frekvenci zvuku, ale roste se vzrůstající teplotou a tlakem. Stanový se podle vztahu: [1]

$$c_0 = 331,8 + 0,607t \quad (2)$$

Je třeba podotknout, že konstanty v tomto vzorci jsou v různých literaturách mírně odlišné. Proto zavedeme úmluvu, která je všeobecně platná v technických oborech, že rychlost zvuku ve vzduchu je $c_0 = 340$ m/s. To přibližně odpovídá podmínkám atmosférického tlaku $p_0 = 101,325$ kPa a teplotě $t = 15$ °C.

Protože je rychlost zvuku c_0 za ustáleného tlaku a teploty konstantní, pak platí:

$$\lambda = c_0 \cdot T = \frac{c_0}{f} \quad (3)$$

Z uvedeného vzorce můžeme snadno spočítat vlnovou délku zvukových vln na okraji slyšitelného pásma, která je pro frekvenční rozsah $f = 16 \text{ Hz} \div 16 \text{ kHz}$ rovna $\lambda = 21 \text{ mm} \div 21 \text{ m}$.

Pro úplnost a představu jsou v příloze A.1 uvedeny rychlosti zvuku v dalších vybraných látkách.

2.6. Vlnoplochy

Zdroje zvuku mohou mít různý tvar a tím ovlivnit šíření zvuku. Zvuk se od bodového izotropního zdroje šíří rovnoměrně všemi směry. Tím vznikají kulové plochy z částic, které mají stejně velkou výchylku a rychlost. Pro malé výseče vlnoplochy k poměru poloměru kulové vlnoplochy, můžeme výseč považovat za rovinu.

Tento předpoklad je splněn také v případě, že se jedná o zvukové pole ve větší vzdálenosti, než je vlnová délka daného zvuku a rozměry zdroje zvuku jsou menší, než je vlnová délka zvuku. [1]

Pokud jeden rozměr zdroje zvuku je výrazně větší než ostatní, šíří se zvuk od zdroje ve válcových vlnoplochách. To může třeba nastat při šíření zvuku od liniových dopravních staveb – proto liniový zdroj zvuku.

Pokud jsou dva rozměry výrazně větší než třetí, tak mluvíme o plošném zdroji zvuku, od kterého se zvuk šíří ve vlnoplochách ve tvaru zaobleného kvádru.

2.7. Akustická rychlost

Můžeme si představit, že se u ideálního bodového zdroje zvuku šíří v kulových vlnoplochách. Ve velké vzdálenosti od zdroje můžeme malou výseč vlnoplochy považovat za rovinou plochu o obsahu S [m^2]. Částice této roviny současně kmitají okolo své rovnovážné polohy rychlostí v [m/s] ve směru postupu vlnoplochy. Tím vytvářejí prostorové těleso, které vlivem kmitání částic mění svůj objem. Objem se za jednotku času změní o hodnotu danou součinem velikosti plochy vlnoplochy a rychlosti pohybu částic. Akustická rychlost w [m^3/s] je tedy dána vztahem:

$$w = v \cdot S \tag{4}$$

2.8. Typy vlnění

Při šíření zvukové vlny nastávají tři druhy vlnění. V pevných, kapalných a plynných látek nastává vždy podélné kmitání, tzn. že kmitání probíhá ve směru šíření vlnění.

V pevných látkách pak navíc nastává ještě vlnění příčné, kde částice kmitají v kolmém směru ke směru šíření zvuku.

Ve zvláštních případech může nastat ještě vlnění ohybové. Toto vlnění vzniká v tělesech, u nichž převažuje jeden, případně dva rozměry oproti ostatním. To nastává například u desek nebo tyčí, kde dochází ke složenému vlnění z vlnění podélného a vlnění příčného.

2.9. Akustický tlak

Vlivem kmitání částic dochází ke změně hustoty částic v daném místě a čase. Při vychýlení částice od své rovnovážné polohy dochází ke stlačení částic před vychýlenou částicí (ve směru šíření vlnění), a zároveň dochází k poklesu tlaku za vychýlenou částicí. Při kmitavém pohybu částic v okolním prostředí – vzduchu – dochází ke změnám atmosférického tlaku. Akustický tlak p [Pa] je rozdíl mezi okamžitým tlakem p_t [Pa] v čase t [s] a atmosférickým tlakem p_0 [Pa]. Akustický tlak je veličinou časově proměnnou, proto je třeba vypočítat efektivní hodnotu p_{ef} [Pa]:

$$p_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2 dt} \quad (5)$$

Speciálně pro harmonické vlnění platí:

$$p_{ef} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad (6)$$

Tyto tlakové změny je schopné vnímat lidské ucho jen ve slyšitelném pásmu a od určitých hodnot akustického tlaku.

Lidské ucho vnímá zvuk ve frekvenčním rozsahu 20 Hz až 20 KHz. Aby byl zvuk slyšitelný, musí jeho intenzita, resp. akustický tlak překročit určitou prahovou hodnotu, která je frekvenčně závislá. Při zvyšování intenzity zvuku dospějeme k takovým

hodnotám akustické intenzity zvuku, při nichž dochází k pocitu bolesti. Tím je určen tzv. práh bolesti. Všechny slyšitelné zvuky leží mezi prahem slyšení a prahem bolesti.

[2]

V citaci je definováno slyšitelné pásmo v rozsahu 20 Hz až 20 kHz – opět se jedná o odchylky mezi jednotlivými literaturami.

Dolní prahovou hodnotu nazýváme práh slyšitelnosti, nebo také prahová hodnota akustického tlaku, která byla měřením stanovena pro $f = 1000$ Hz na $p_{\text{ref}} = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa. Práh bolesti byl stanoven pro $f = 1000$ Hz na $p_{\text{ref}} = 20$ Pa. Jak bude v kapitole 3.4. vysvětleno, vjem hladiny akustického tlaku je frekvenčně závislý, proto uvedené hodnoty odpovídají frekvenci 1000 Hz.

2.10. Fázový posun

Mezi maximálním akustickým tlakem p [Pa] a maximální rychlostí akustické rychlosti v [m/s₂] dochází k fázovému posunu φ [rad]. Největšího fázového posunu dochází v blízkosti zdroje zvuku a je $\varphi = 1,57$ rad.

Ve velkých vzdálenostech od zvukového zdroje se fázový posun blíží nule:

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \varphi(r) \rightarrow 0 \quad (7) \quad [1]$$

U stojatého vlnění dochází k fázovému posunu $\varphi = 90^\circ$, tedy v místě maximálního akustického tlaku je akustická rychlost nulová a naopak. Platí vztah:

$$\text{tg } \varphi = \frac{\lambda}{2\pi r} \quad (8) \quad [1]$$

2.11. Akustický výkon

Akustický výkon P [W] je hodnota celkové akustické energie, která je vyzářena ze zdroje zvuku nebo která prochází danou plochou za jednotku času. Referenční akustický výkon P_{ref} [W] je prahová hodnota stanovena měřením pro $f = 1000$ Hz na $P_{\text{ref}} = 10^{-12}$ W.

2.12. Akustická intenzita

Mírou účinku mechanického vlnění vzduchu a jím přenášeného zvuku je plošná hustota akustického výkonu zvaná akustická intenzita I [W/m^2]. [3]

Opět si můžeme představit, že u ideálního bodového zdroje zvuku s akustickým výkonem P [W] je zvuk rovnoměrně vyzařován do všech směrů v kulových vlnoplochách. Akustická intenzita I [W/m^2] je zvukový výkon působící na plochu vlnoplochy S [m^2]. U kulové vlnoplochy platí, že se vrůstající vzdáleností r [m] od zdroje zvuku roste také plocha, na kterou působí akustický výkon P [W], a to podle vztahu:

$$I = \frac{P}{S} = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (9)$$

Z uvedeného vztahu vyplývá, že pro kulovou vlnoplochu klesá akustická intenzita I se čtvercem vzdálenosti r od zdroje zvuku.

S vjemem lidského ucha na intenzitu zvuku je to však ještě o něco složitější. Citlivost lidského sluchu při vnímání akustické intenzity není vždy stejná, ale s rostoucí intenzitou se snižuje. Při zvyšování akustické intenzity jako by sluchový orgán stále více ztrácel schopnost vnímat v plné hodnotě její další přírůstek. Výsledkem je logaritmická závislost mezi velikostí zvukového podnětu a velikostí sluchového vjemu, kterou objevil německý fyziolog Ernst Heinrich Weber (1795–1878) a kterou později zdůvodnil jiný německý badatel, zakladatel psychofyziky Gustav Theodor Fechner (1801–1887).

Weber – Fechnerův psychofyzický zákon zní:

Intenzita počitku je úměrná logaritmu podnětu.

Uvedená vlastnost sluchu není samoučelná. Umožňuje totiž člověku vnímat i velmi slabé zvukové signály s vysokou citlivostí a zároveň ho chrání před zvukem vysoké intenzity. [3]

Vzhledem k těmto vlastnostem sluchového orgánu byla zavedena logaritmická stupnice pro akustické veličiny – hladina akustické intenzity L [dB] a hladina akustického tlaku L [dB].

2.13. Hladina akustické intenzity a hladina akustického tlaku

Veličiny hladina akustické intenzity L [dB] a hladina akustického tlaku L [dB] byly zavedeny pro vysoký rozsah vjemu lidského ucha. Vztah těchto veličin je:

$$L = 10 \log \frac{I}{I_{ref}} = 10 \log \frac{p_{ef}^2}{p_{ref}^2} = 20 \log \frac{p_{ef}}{p_{ref}} \quad (10)$$

Vztah akustické intenzity I a akustického tlaku p vychází ze vzorce:

$$I = \frac{p_{ef}^2}{z_o} = \frac{p_{ef}^2}{\rho \cdot c_0} \quad (11)$$

kde ρ [kg/m³] je objemová hmotnost vzduchu rovna $\rho = 1,275$ kg/m³. Ze vzorce (11) vyplývá, že prahová hodnota akustické intenzity je $I_{ref} = 10^{-12}$ W/m².

Je třeba si uvědomit, že akustická intenzita je vektor související se směrem šíření zvuku, kdežto akustický tlak je skalární veličina. Stejného výsledku hodnot těchto dvou veličin je dosaženo jen za předpokladu, že plocha na které se měří intenzita, je vlnoplochou. Proto je výhodnější měřit hladinu akustického tlaku.

V některých informačních zdrojích, zejména anglicky psaných, se můžeme setkat s označením veličiny hladiny akustického tlaku *SPL* [dB]. Toto značení vychází ze zkratky sousloví „sound pressure level“.

V příloze A.2 je přehled hodnot hladin akustického tlaku. Jak bude v kapitole 3.4. vysvětleno, vjem hladiny akustického tlaku je frekvenčně závislý, proto uvedené hodnoty odpovídají frekvenci 1000 Hz.

2.14. Hladina akustického výkonu

V praxi se setkáváme, že známe výkon P [W] zdroje zvuku. Vyjádřením výkonu P v logaritmické míře dostáváme veličinu hladinu akustického výkonu L_W [dB]. Pro hladinu akustického výkonu L_W tedy platí:

$$L_W = 10 \log \frac{P}{P_{ref}} \quad (12)$$

2.15. Sčítání hladin

Pro sčítání akustických intenzit n zdrojů zvuků platí vztah:

$$I = \sum I_i \quad (13)$$

stejný vztah také platí pro sčítání akustického tlaku n zdrojů zvuku:

$$p = \sum p_i \quad (14)$$

Pokud máme akustické intenzity zdroje zvuku vyjádřeny v decibelech, tj. hladinách akustického tlaku, nemůžeme použít sumaci tak, jako u sčítání intenzit, ale je třeba sčítat intenzity v logaritmech podle vztahu:

$$L = 10 \log \left(\frac{I_1}{I_{ref}} + \frac{I_2}{I_{ref}} + \dots + \frac{I_n}{I_{ref}} \right) = 10 \log \left(\frac{I_1 + I_2 + \dots + I_n}{I_{ref}} \right) \quad (15)$$

Obdobně pro akustický tlak platí:

$$L = 10 \log \left(\frac{p_1^2}{p_{ref}^2} + \frac{p_2^2}{p_{ref}^2} + \dots + \frac{p_n^2}{p_{ref}^2} \right) = 20 \log \left(\frac{p_1 + p_2 + \dots + p_n}{p_{ref}} \right) \quad (16)$$

vztah (15), respektive (16), se dá další úpravou zjednodušit na:

$$L = 10 \log \left(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}} \right) \quad (17)$$

Tomuto sčítání podle (17) říkáme energetický součet.

2.16. Pokles hladiny akustického tlaku se vzdáleností

V kapitole 2.12. jsme se zmínili, že pro bodový zdroj zvuku, který se šíří všemi směry, klesá akustická intenzita se čtvercem vzdálenosti. Tento vztah můžeme vhodnou úpravou vyjádřit hladinou akustického tlaku L [db] a sledovat vliv vzdálenosti r [m] pro tuto veličinu. Vynásobením rovnice (9) hodnotou 10^{-12} dostáváme:

$$\frac{I}{10^{-12}} = \frac{P}{10^{-12}} \cdot \frac{1}{4\pi r^2} \quad (18)$$

Další úpravou na logaritmický tvar a vynásobením deseti dostáváme:

$$10 \log \frac{I}{10^{-12}} = 10 \log \frac{P}{10^{-12}} + 10 \log \frac{1}{4\pi r^2} \quad (19)$$

Pokud přijmeme fakt, že referenční intenzita a referenční akustický výkon je $I_{\text{ref}} = 10^{-12}$ W, respektive $P_{\text{ref}} = 10^{-12}$ W, tak postupným upravováním rovnice (19) dostaneme vztah hladiny akustického tlaku L a hladiny akustického výkonu L_w :

$$\begin{aligned} L &= 10 \log \frac{I}{I_{\text{ref}}} = 10 \log \frac{P}{P_{\text{ref}}} + 10 \log \frac{1}{4\pi r^2} \\ L &= L_w + 10 \log \frac{1}{4\pi r^2} \\ L &= L_w + 10 \log 1 - 10(\log 4\pi + 2 \log r) \\ L &= L_w - 20 \log r - 11 \end{aligned} \quad (20)$$

Pro představu si můžeme zkusit spočítat o kolik poklesne hladina akustického tlaku L s dvojnásobnou vzdáleností r . Dejme tomu, že pro dvě místa L_1 a L_2 , ležící na přímce od

bodového zdroje zvuku platí vzdálenosti $r_2 = 2r_1$ [m]. Pak úpravou (20) dostaneme rozdíl hladin akustického tlaku:

$$L = L_w - 20 \log r_1 - 11 - (L_w - 20 \log r_2 - 11)$$

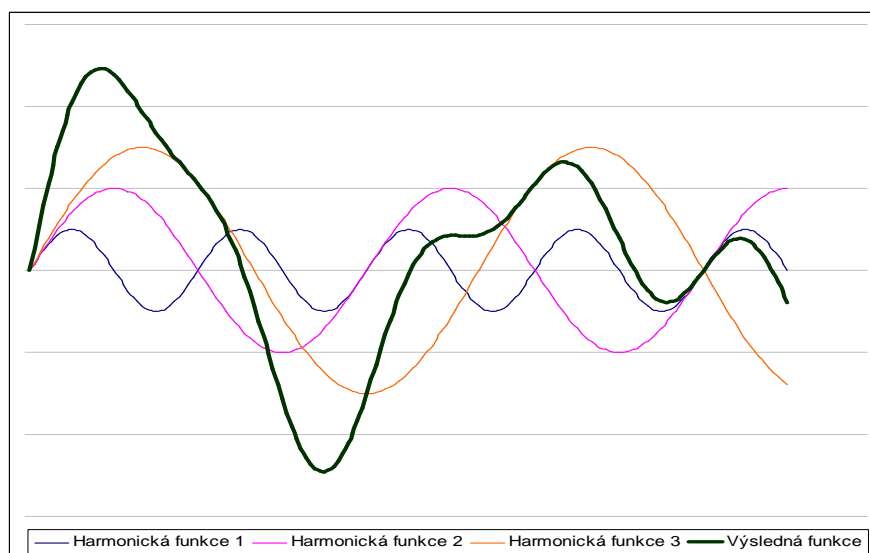
$$L = 20 \log \frac{r_1}{r_2} = 20 \log \frac{r_1}{2r_1} = 20 \log \frac{1}{2}$$

$$L = 6 \text{ dB}$$

Proto můžeme říct, že zdvojnásobením vzdálenosti od bodového zdroje zvuku klesne hladina akustického tlaku o 6 dB. Obdobně by jsme mohli odvodit pokles pro liniový zdroj zvuku a vyšel by pokles hladiny akustického tlaku o 3 dB se zdvojnásobením vzdálenosti.

2.17. Skládání zvukových vln

V úvodu této kapitoly jsme se zmínili o skládání harmonických vln. Podle francouzského matematika J-B. J. Fouriera lze libovolně složitou periodickou funkci rozložit na konečný počet nebo definované nekonečné řady harmonických funkcí. Tím je možné libovolný periodický pohyb částic složit z funkcí sinus nebo cosinus s různou frekvencí a velikostí amplitudy. Na Obr. 3 jsou znázorněny tři harmonické funkce a jejich výsledný součet.



Obr. 3 – Součet harmonických vln

Této vlastnosti lze využít při sledování zvuku, který je součtem tónových signálů o různé frekvenci a amplitudě.

3 Vlastnosti zvuku ve venkovním prostředí a technické aspekty

Při sledování zvukového signálu se nejčastěji zaměřujeme na změnu hladiny akustického tlaku. Tato naměřená hodnota je pouze energetickým součtem zdrojů zvuku. Pro lepší analýzu zvuku a jeho vlivu na člověka je třeba zvuk sledovat v celé šíři slyšitelného pásma (spektra) zvuku.

3.1. Spektrální analýza zvuku

Sledování zvuku v celé šíři slyšitelného spektra v jeden okamžik by bylo technicky nemožné, proto se slyšitelné spektrum rozděluje na jedenáct základních oktávových pásem. Oktáva je střední hodnota intervalu mezi dvěma frekvencemi, kde následující oktáva je dvojnásobkem předcházející. Hodnoty základních oktávových pásem zobrazuje Tab. 1.

Pro přesnější analýzu zvuku se může použít rozšířená spektrální analýza, kde šíře sledovaných pásem je třetina oktávy, nebo se může použít frekvenční analyzátor s plynule měnitelnou sledovanou frekvencí.

Frekvence f [Hz]										
16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16 000

Tab. 1 – Střední frekvence základních oktávových pásem

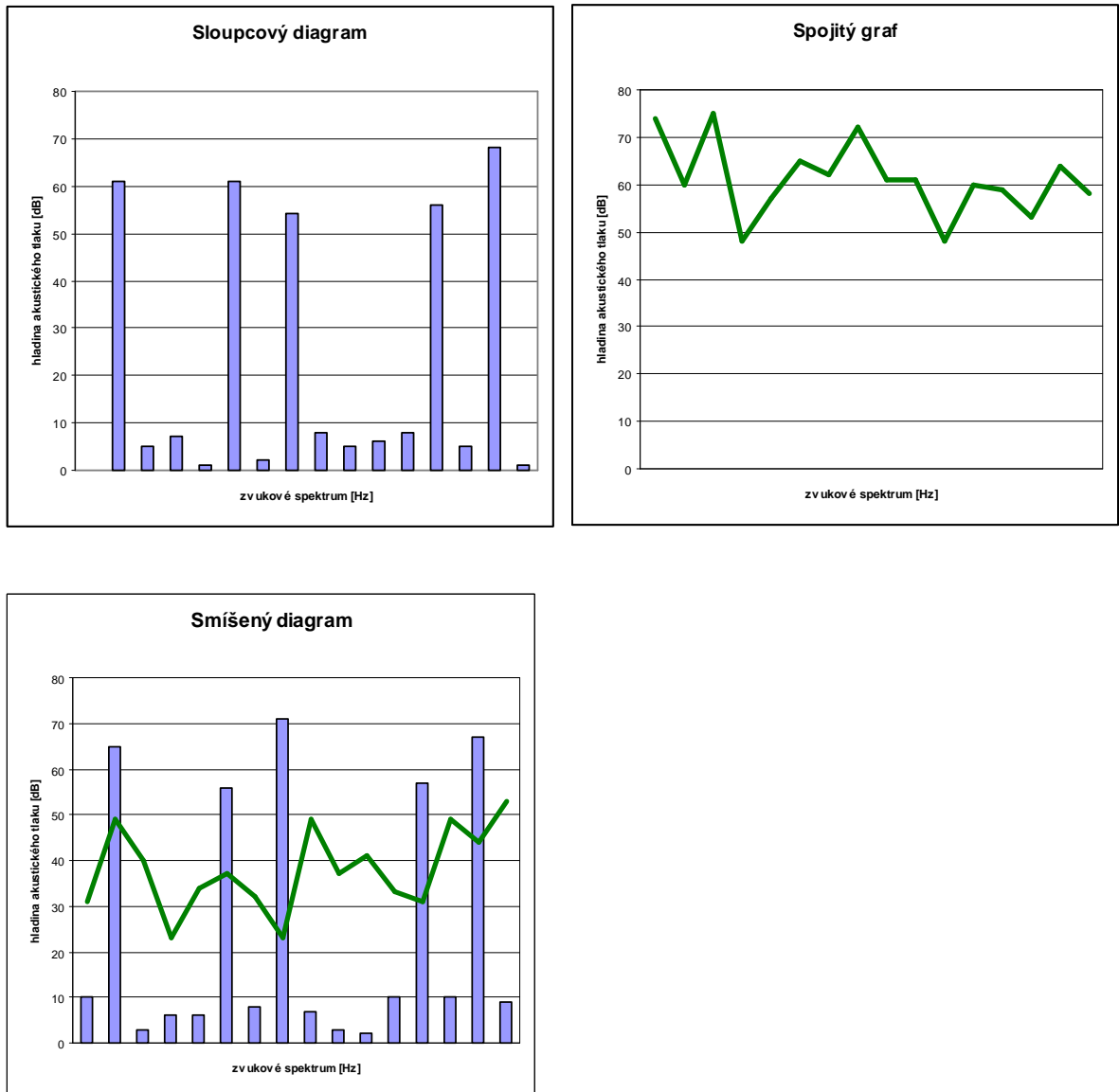
Hodnota hladiny akustického tlaku v oktávovém pásmu L_{okt} [dB] je energetickým součtem hladin akustického tlaku zvuku všech kmitočtů, které do daného pásma spadají. Této hodnotě se pak přisoudí vlastnost zvuku o příslušném středním kmitočtu. Oktávovou analýzou tak technická akustika nahrazuje pracnou Fourierovu analýzu kmitočtů. Jako výsledek totiž obdržíme jedenáct dílčích (psoudo)tónových složek, jejichž vlnová délka je určena středním kmitočtem oktávy a amplituda hodnotou L_{okt} .

[3] (V této citaci se kmitočet rozumí frekvence.)

Sledováním akustického spektra pomocí oktávových pásem jsme schopný si udělat dobrou představu o průběhu hladiny akustického tlaku v závislosti na frekvenci.

3.2. Průběh zvukového spektra

U spektrální analýzy sledujeme střední hodnoty jednotlivých frekvenčních pásem. Tyto hodnoty jsou diskrétní a můžeme je graficky znázornit sloupcovým diagramem. U spektrální analýzy s velkým počtem úzkých frekvenčních pásem jsme schopni vytvořit spojitý graf. Pokud má spojité spektrum některé výrazné tónové složky, znázorňuje se smíšeným diagramem.



Obr. 4 – Příklady diagramů zvukových spekter

Zvuk spojitého spektra s výraznými tónovými složkami je obecně pro člověka nepříjemnější.

3.3. Zvuk a hluk

Před dalším pokračování popisu veličin a vlastností zvuku je potřeba zavést a vysvětlit pojem „hluk“. Hluk není fyzikální veličinou ani jinak kvantitativně a kvalitativně popsitelnou vlastností zvuku. Hluk je výraz užívaný společností pro míru intenzity zvuku, která je pro společnost nebo jedince považována za rušivou či nežádoucí. Nelze ani přibližně určit hranici – intenzitu - od kdy je možné zvuk považovat za hluk. V divadle můžeme za hluk už považovat šepot, který podle přílohy A.2 má hodnotu hladiny akustického tlaku $L = 30$ dB. Zároveň ale už nepovažujeme za hluk fortissimo orchestru které má podle přílohy hodnotu hladiny akustického tlaku $L = 100$ dB.

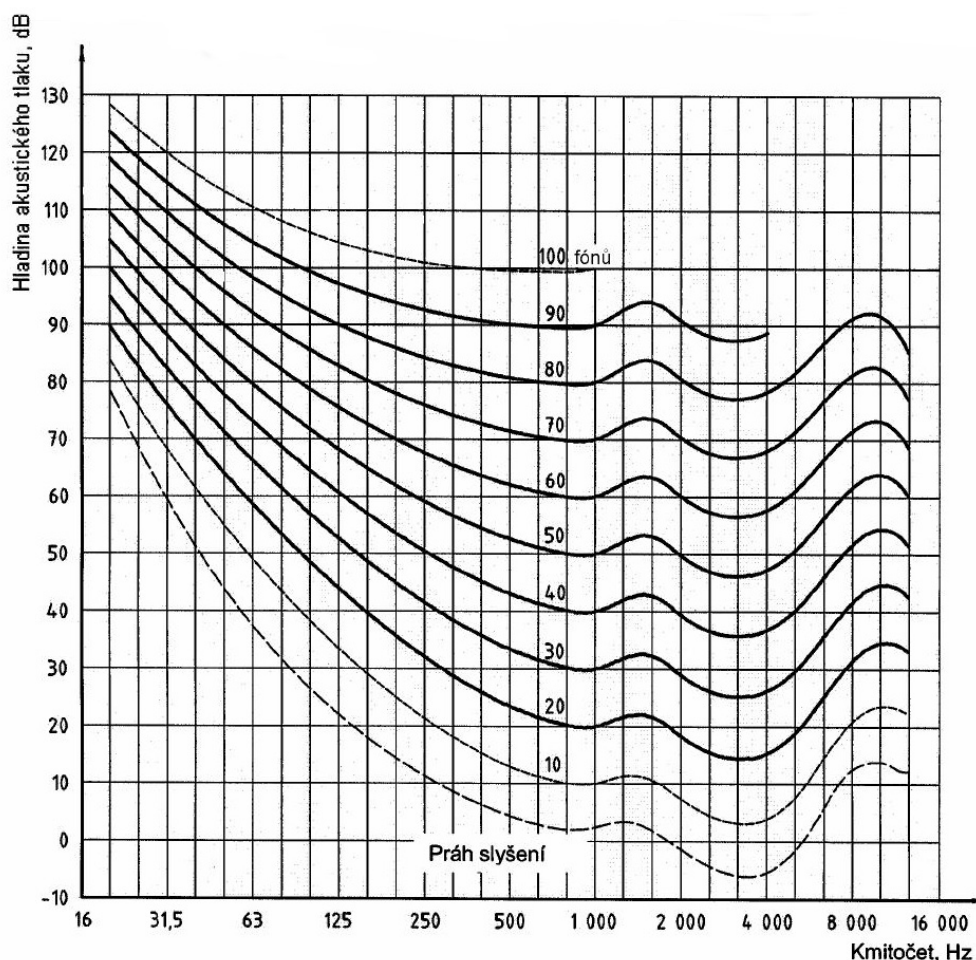
Tato definice je obecnou představou, co představuje názvosloví „hluk“. V odborné literatuře se můžeme setkat s celou řadou definicí a jejich vztažením k řešené problematice v každé konkrétní literatuře. Na ukázkou můžeme citovat definici ze SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2002/49/ES:

„hlukem ve venkovním prostředí“ rozumí nechtěný nebo škodlivý zvuk ve venkovním prostředí vytvořený lidskou činností, včetně hluku vyzařovaného dopravními prostředky, silniční dopravou, železniční dopravou, leteckou dopravou, a zvuk pocházející z průmyslových činností, jako jsou činnosti definované v příloze I směrnice Rady 96/61/ES ze dne 24. září 1996 o integrované prevenci a omezování znečištění (2);

[4]

3.4. Váhové filtry

Lidský sluchový orgán vnímá intenzitu zvuku pro různé frekvence rozdílně. Tento rozdílný vjem pro frekvence je ještě závislý na velikosti změny akustického tlaku. Tuto závislost znázorňuje Obr. 5. Vzhledem k tomuto subjektivní vjemu zvuku člověkem (v závislosti na frekvenci) nelze přímo použít Weber – Fechnerův psychofyzický zákon.



Obr. 5 – Graf závislosti vjemu zvuku na hladině akustické intenzity a na její frekvenci (Tento graf vznikl subjektivním vyhodnocením vzorku lidí). [5]

Proto byla navržena sada filtrů, které tuto vlastnost vjemu korigují. Nejčastěji se používá váhový filtr „A“, který pro každou frekvenci přičítá korekci K_A [dB]. To má za následek, že některé frekvence jsou potlačeny a jiné zesíleny. Hodnoty korekcí pro střední kmitočty oktávních pásem jsou uvedeny v Tab. 2.

f [Hz]	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16 000
K_A [dB]	-56,7	-39,4	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	+1,2	+1,0	-1,1	-6,6

Tab. 2 – Střední kmitočty oktávních pásem a hodnoty korekcí váhového filtru A [3]

Při vynesení korekce K_A do grafu, tak křivka váhového filtru A je podobná inverzní křivce ke křivce z grafu závislosti vjemu zvuku na hladině akustické intenzity a na její frekvenci.

Pro energetický součet n frekvenčních pásem hladin akustického tlaku a korekce byla zavedena veličina hladina akustického tlaku $A L_A$ [dB] pro kterou platí:

$$L_A = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i + K_{Ai}}{10}} \quad (21)$$

Často se můžeme v literatuře setkat s označením jednotky této veličiny L_A [db(A)]. Toto označení jednotky veličiny je formálně nesprávné, přesto bývá akceptováno.

V praxi se ještě používají váhové filtry B, C a D, které mají rozdílné korekční hodnoty a jsou určeny pro korekci jiných zdrojů hluku.

3.5. Ekvivalentní hladina akustického tlaku

V běžném životě vnímáme u okolního zvuku změny hlasitosti. To je způsobeno změnou akustického tlaku zvuku v čase.

Málokterý zvuk lze charakterizovat jako ustálený (kolísající v čase v rozsahu menším než 5 dB). Většina zvuků, kterými jsme obklopeni, jsou zvuky proměnné; nepravidelné (kolísají v čase v rozsahu větším než 5 dB) nebo přerušované (hladina se mění skokem v rozsahu větším než 5 dB a v dílčích intervalech je ustálená). Zvláštním druhem proměnného zvuku je zvuk impulzivní (rychlý vzestup hladiny akustického tlaku a následný pokles v trvání do 0,2 s, kde interval mezi jednotlivými impulzy je větší než 0,01 sekundy) – údery kladivem, třesk pěchotních zbraní apod. [3]

Impulzivní zvuk je obecně pro člověka nepříjemnější.

U časově proměnného průběhu akustického tlaku se zavádí veličina ekvivalentní hladina akustického tlaku $A L_{Aeq}$ [dB].

V případech, kde hluk výrazněji kolísá s časem, není možno jednočíselně charakterizovat hlukovou situaci hladinou akustického tlaku A . Proto byla pro hodnocení proměnných akustických signálů zavedena ekvivalentní hladina akustického tlaku $A L_{Aeq}$ [dB]. Je to fiktivní ustálená hladina akustického tlaku A , která má stejné účinky na člověka během sledovaného časového úseku T [s], jako proměnlivá hladina akustického tlaku A za stejný čas. [2]

$$L_{Aeq} = 10 \log \left[\frac{1}{\sum_{i=1}^n t_i} \cdot \sum_{i=1}^n \left(t_i \cdot 10^{\frac{L_{Ai}}{10}} \right) \right] = 10 \log \sum_{i=1}^n \left(t_i \cdot 10^{0,1L_{Ai}} \right) - 10 \log \sum_{i=1}^n t_i \quad (22) \quad [2]$$

Může se také pro snadnější identifikaci časového intervalu přidat k označení veličiny ekvivalentní hladiny akustického tlaku A L_{Aeq} index, značící délku měřeného časového intervalu – např. pro 16 hodin měření by bylo označení veličiny zapsáno jako $L_{Aeq,16h}$ [dB].

V praxi se používají předem definované časové intervaly, které se sledují a vyhodnocují z hlediska nežádoucích vlivů na člověka. Některé ekvivalentní hladiny akustického tlaku A zmiňuje SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2002/49/ES:

- L_{day} je dlouhodobý průměr hladiny akustického tlaku podle ISO 1996 - 2: 1987, s frekvenční charakteristikou A, určený za všechna denní období jednoho roku,
- $L_{evening}$ je dlouhodobý průměr hladiny akustického tlaku podle ISO 1996 - 2: 1987, s frekvenční charakteristikou A, určený za všechna večerní období jednoho roku,
- L_{night} je dlouhodobý průměr hladiny akustického tlaku podle ISO 1996 - 2: 1987, s frekvenční charakteristikou A, určený za všechna noční období jednoho roku

[4]

3.6. Právní předpisy

Ochrana před hlukem je zakotvena ve sbírce zákonů č. 258/2000 – „**258 ZÁKON ze dne 14. července 2000 o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů**“, Problematikou ochrany před hlukem se věnuje „Díl 6 – Ochrana před hlukem, vibracemi a neionizujícím zářením“, konkrétně § 30 - 34.

...správci pozemních komunikací, železnic a dalších objektů, jejichž provozem vzniká hluk (dále jen „zdroje hluku nebo vibrací“) jsou povinni technickými, organizačními a dalšími opatřeními zajistit, aby hluk nepřekračoval hygienické limity upravené pro venkovní prostor... [6]

3.7. Hygienické limity hluku z dopravy v ČR

Pro jednotlivé časové denní doby a zároveň místa imise hluku jsou v České Republice stanoveny limity hladin akustického tlaku, které se musejí dodržet. Tyto limity upravuje zejména sbírka zákonu č. 148/2006 – „**148 NAŘÍZENÍ VLÁDY ze dne 15. března 2006 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací**“, který:

...zapracovává příslušné předpisy Evropských společenství a upravuje... hygienické limity hluku pro chráněný vnitřní prostor staveb, chráněný venkovní prostor staveb a chráněný venkovní prostor, ...způsob měření a hodnocení hluku a vibrací pro denní a noční dobu. [7]

Podrobný popis hodnot a měření upravuje § 11:

§ 11 Hygienické limity hluku v chráněném venkovním prostoru staveb a v chráněném venkovním prostoru

(1) Hodnoty hluku ... se vyjadřují ekvivalentní hladinou akustického tlaku $A L_{Aeq,T}$. V denní době se stanoví pro 8 souvislých a na sebe navazujících nejhlučnějších hodin ($L_{Aeq,8h}$), v noční době pro nejhlučnější 1 hodinu ($L_{Aeq,1h}$). Pro hluk z dopravy na pozemních komunikacích ... se ekvivalentní hladina akustického tlaku $A L_{Aeq,T}$ stanoví pro celou denní ($L_{Aeq,16h}$) a celou noční dobu ($L_{Aeq,8h}$).

(4) Hygienický limit v ekvivalentní hladině akustického tlaku A ... se stanoví součtem základní hladiny akustického tlaku $A L_{Aeq,T}$ se rovná 50 dB a korekcí přihlížejících ke druhu chráněného prostoru a denní a noční době podle přílohy č. 3 k tomuto nařízení. [7]

Z přílohy č. 3 tohoto nařízení vlády je pro naše potřeby posuzování hluku z dopravy podstatná jen „Část A“. (příloha B.1)

3.8. Strategické hlukové mapy

Evropská směrnice „Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES ze dne 25. června o hodnocení a řízení hluku ve venkovním prostředí“ zavazuje členské státy Evropské unie k vytvoření strategických hlukových map a akčních plánů. Strategické

hlukové mapy jsou grafické vyjádření působení hladiny hluku v řešeném území (příloha D.1). Tyto mapy byly v ČR a celé EU poprvé vytvořeny v roce 2007 a jsou každých pět let aktualizovány.

3.9. Akční plány

Na základě zpracovaných strategických hlukových map jsou vypracovány studie - akční plány, které řeší problematické části území a hledá způsoby opatření ke snížení hlukové zátěže území. Akční plánování časově navazuje na tvorbu strategických hlukových map a jsou taktéž aktualizovány po pěti letech.

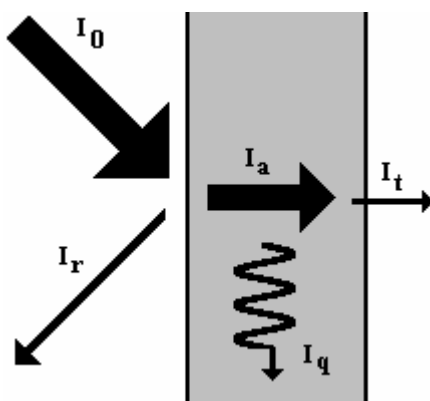
4 Útlum zvuku a hluku

Útlumem zvuku myslíme přirozené nebo umělé snížení hladiny akustického tlaku v prostředí. Zatím jsme pouze uvažovali s poklesem intenzity zvuku se zvětšující se vlnoplochou, což je jen aproximací reálného prostředí. Ve skutečnosti dochází k řadě dalších fyzikálních procesů.

4.1. Absorpce a odraz zvuku

Při dopadu zvuku o intenzitě I_0 [W/m^2] na překážku, se část intenzity odrazí (I_r [W/m^2]) a část je pohlcena – absorbována (I_a [W/m^2]). Poměr odražené intenzity I_r a celkové intenzity I_0 nám dává činitel odrazivosti ρ [-]; poměr pohlcené intenzity I_a a celkové intenzity I_0 dává činitel pohltivosti α [-]. Absorbovaná intenzita I_a postupuje dál překážkou až na její konec, kde je intenzita I_t [W/m^2] vyzářena ven. Poměr vyzářené intenzity I_t a celkové dopadající intenzity I_0 je činitel prostupu (průzvučnosti) τ [-]. Při prostupu absorbované intenzity I_a se část intenzity I_q [W/m^2] přemění na teplo nebo je dál odvedena konstrukcí pryč. Zobrazení odrazu a absorpce intenzity je na Obr. 6.

Je zřejmé, že činitele ρ , α , τ mohou nabývat hodnot na intervalu $\langle 0; 1 \rangle$. (V laboratorních podmínkách může činitel pohltivosti α nabývat hodnot vyšších než 1, to je ale způsobeno násobnými odrazy zvuku v dozvukové místnosti v laboratoři.)



Obr. 6 – Odraz a absorpce dopadající intenzity na překážku [8]

Absorpce zvukových vln je závislá na několika dalších faktorech. Jsou to zejména drsnost a poréznost překážky a frekvence dopadajícího zvuku. Lépe jsou absorbovány zvukové vlny s vysokou frekvencí (tj. krátkou vlnovou délkou).

Dopadající zvukové vlny způsobí, že zrna a jiné částice, ze kterých se konstrukce elementárně skládá, začnou vibrovat. Vibrace působí tření a okamžitou přeměnu akustické energie na tepelnou,...Pro přeměnu dostatečného množství energie musí být plocha, na níž nastává tření, dostatečně velká. Z tohoto důvodu se k pohlcování zvuku nejlépe hodí látky porézní nebo s mezerovitou strukturou. Zvuk se šíří jemnými póry, jejichž celková plocha je vzhledem k jejich objemu značně velká, resp. zvuk je dobře pohlcován vzniklými mezerami. [9]

Naopak plochy, které jsou hladké (sklo, dlažba atd.) mají nízký činitel pohltivosti, za to dobře zvuk odráží a mají vysoký činitel odrazivosti.

4.2. Útlum atmosférickými podmínkami

Vliv atmosférických podmínek na šíření zvuku, respektive jeho útlum stoupá se vzdáleností od zdroje zvuku a přestává být zanedbatelný. Technické normy, které řeší útlum ve venkovním prostředí jsou „**ČSN ISO 9613-1 Akustika - Útlum při šíření zvuku ve venkovním prostoru. Část 1: Výpočet pohlcování zvuku v atmosféře**“ a „**ČSN ISO 9613-2 Akustika - Útlum při šíření zvuku ve venkovním prostoru – Část 2: Obecná metoda výpočtu**“. Útlumy atmosférickými podmínkami jsou pro výpočet brány jako korekce hladin akustického tlaku, které se od hladiny odečítají.

4.2.1. Útlum zvuku vlivem absorpce vzduchu

Vzduch sám o sobě absorbuje energii postupujících vln zvuku, protože při kmitání částic se i zde projevují ztráty energie přeměnou na teplo.

Zvukové vlny postupující homogenním prostředím ve vzduchu ztrácí svoji energii vlivem viskozity a difúze a tento jev se nazývá „klasická absorpce“. Je úměrná čtverci frekvence zvuku a nezávisí na vlhkosti zvuku. Proces, při kterém zvuková vlna ztrácí energii závisící na vlhkosti vzduchu souvisí s uvolňováním kyslíku ve vzduchu. Ve většině případů je tato „molekulární absorpce“ vyšší než absorpce klasická. [10]

4.2.2. Útlum zvuku vlivem mlhy, deště a sněhu

Obecně se dá předpokládat, že mlha nebo dešťové srážky (i sněžení) zvyšují koncentraci vodních par v ovzduší a brání postupu zvuku. Přesto tomu tak není.

Zvukové vlny mají v mlhavých dnech, či dnech, kdy lehce padá sníh delší dosah i když absorpce je zvýšená. Za těchto meteorologických podmínek je slunce zakryto a teplotní gradienty jsou malé a malé jsou také gradienty větru. [10]

4.2.3. Útlum zvuku vlivem gradientu větru a teploty

Pokud je rychlost vzduchu v [m/s] oproti rychlosti zvuku c_0 [m/s] malá ($v \ll c_0$), pak rychlost vzduchu můžeme zanedbat. Podstatný je ale gradient rychlosti vzduchu s výškou od země.

Při kladném gradientu, tj. je-li rychlost ve vyšších vrstvách atmosféry vyšší, se ve směru proti větru zvukové vlny ohýbají od zemského povrchu tak, že nízko nad terénem vzniká akustický stín. Ve směru po větru se zvukové vlny ohýbají naopak k zemskému povrchu. Při záporném gradientu rychlosti větru je tomu naopak. [3]

4.2.4. Útlum zvuku vlivem překážek a zeleně

V tomto případě je překážkou myšlena nízka rozptýlená zástavba. Vztah pro korekci je odvislý od délky dráhy d_{NZ} [m], která probíhá oblastí nízké zástavby, Pokud je $d_{NZ} < 10$ m, tak je uvažována korekce nízké zástavby $D_{NZ} = 0$ dB, jinak se počítá:

$$D_{NZ} = 7,7 \cdot \log\left(\frac{d_{NZ}}{10}\right) \quad (23)$$

Pohltivost zeleně je značně proměnlivá s ročním obdobím. Aby byla vůbec nějaká korekce započitatelná, tak je potřeba souvislý kompaktní pás zeleně v šířce minimálně 20 m.

4.3. Útlum dopravního hluku vzdáleností

V reálném venkovním prostředí se zvuk šíří nad terénem. Terén má vlastnosti buď pohltivého materiálu (tráva, ornice, nízka zeleň), nebo odrazivého materiálu (dlažba, asfalt, beton). To ovlivňuje šíření zvuku (hluku) a jeho útlum.

Pro odrazivé povrchy se užívá korekce U [dB], která je závislá na kolmé vzdálenosti d [m] mezi posuzovaným místem a komunikací.

$$U = 50,2 - \sqrt{3357,23 - 911,8 \cdot \log d} \quad (24)$$

kde d je uvažováno v intervalu od 8 do 1000 m.

Při šíření zvuku nad pohltivým povrchem, je kromě závislosti na kolmé vzdálenosti d [m] mezi komunikací a posuzovaným místem ještě závislost na výšce H [m] nad povrchem.

$$U = 8,78 \cdot \log \left[\frac{d^2 + (H + 3)^2}{17 \cdot (H + 3)} \right] \quad (25)$$

4.4. Vliv konečného úseku

Hodnota korekce D_U [dB] závisí na úhlu α [°], pod kterým je sledovaný úsek komunikace viděn z posuzovaného místa. Korekce se odčítá. [3]

$$D_U = 10 \log \left(\frac{180}{\alpha} \right) \quad (26)$$

4.5. Vliv přilehlé a protilehlé souvislé zástavby

Pokud protější stranu komunikace lemuje zástavba s minimální nepřerušenu délkou 30 m, je třeba připočíst korekci D_{Z2} [dB] za odraz zvuku od průčelí domu. Korekce je závislá na vzdálenosti d_{Z2} [m] průčelí domu od osy komunikace. Stejně tak, pokud je posuzované místo před průčelím domu na stejné straně komunikace vzdálené d_{Z1} [m], je třeba přičíst korekci D_{Z1} [dB] za zpětný odraz zvuku.

Hodnotí li se zvuk ve venkovním prostoru před průčelím budovy, pak $d_{Z1} = 2$ m a korekci na vliv přilehlé zástavby je nutno použít vždy. Při obestavěné komunikaci z obou stran se aplikují obě korekce (sečtou se). Hodnoty korekcí udává Tab. 3.

[3]

Přílehlá zástavba		Protilehlá zástavba	
d_{z1} [m]	D_{z1} [dB]	d_{z2} [m]	D_{z2} [dB]
< 15	3	<20	2,7
15-20	2,3	20-30	1,2
20-40	1,0	30-40	0,7
40-75	0,3	40-75	0,3

Tab. 3 - Hodnoty korekce D_{z1} [dB] a D_{z2} [dB] na vliv souvislé zástavby [11]

4.6. Vliv stínění souvislou překážkou

Pokud je mezi zdrojem zvuku a bodem příjmu zvuku překážka, tak do ní vlnoplocha narazí. Pokud bychom to řešili čistě geometricky, tak by za překážkou byl ostrý (akustický) stín. Ve skutečnosti dochází k ohýbání vln tak, jak to popsal A. G. Fresnel u vlnění světla, že každý bod vlnoplochy je elementárním zdrojem nové vlnoplochy. Takto zvolený bod na hraně překážky šíří vlnění dál za překážku za předpokladu, že vlnová délka vlnění je větší, než šířka překážky. Vzhledem k délkám vlnění zvuku ve slyšitelném pásmu, které může dosahovat až 21 m, se může ohybem vlnění šířit zvuk za překážkou. Přímo za překážkou je útlum, ale vlivem ohybu vlnění není úplný. Tento útlum překážkou se může řešit pomocí Fresnelových integrálů, ale je to poměrně složité.

V technické akustice pro hluk z dopravy byla odvozen vztah korekce vlivu souvislé překážky D_B [dB], který závisí na rozdílu drah δ [m].

$$D_B = 13,41 + 10,47 \cdot \log(\delta + 0,18) - 2,67 \cdot [\log(\delta + 0,18)]^2 \quad (27)$$

Rozdíl drah se spočítá jako součet vzdálenosti a [m], která je vzdáleností mezi zdrojem zvuku a hranou překážky a vzdálenosti b [m], která je dráhou mezi hranou překážky a sledovaným místem. Od tohoto součtu se odečte vzdálenost c [m], která je přímou vzdáleností mezi zdrojem zvuku a sledovaným místem.

$$\delta = a + b - c \quad (28)$$

5 Opatření pro snížení hluku z dopravy

Při šíření nežádoucího hluku z dopravy se volí taková opatření, aby byla intenzita hluku snížena na únosnou míru, kterou reprezentují hygienické limity. Z tohoto důvodu volíme aktivní a pasivní způsoby ochrany před hlukovou zátěží z dopravy.

5.1. Aktivní způsoby ochrany před hlukem z dopravy

Aktivní způsob ochrany se rozumí snížení emise hluku od zdroje zvuku. U automobilové dopravy se začal tento způsob ochrany rozvíjet v 70. letech 20. století v důsledku vzrůstajícího počtu automobilů.

5.1.1. Snížování hluku vozidel

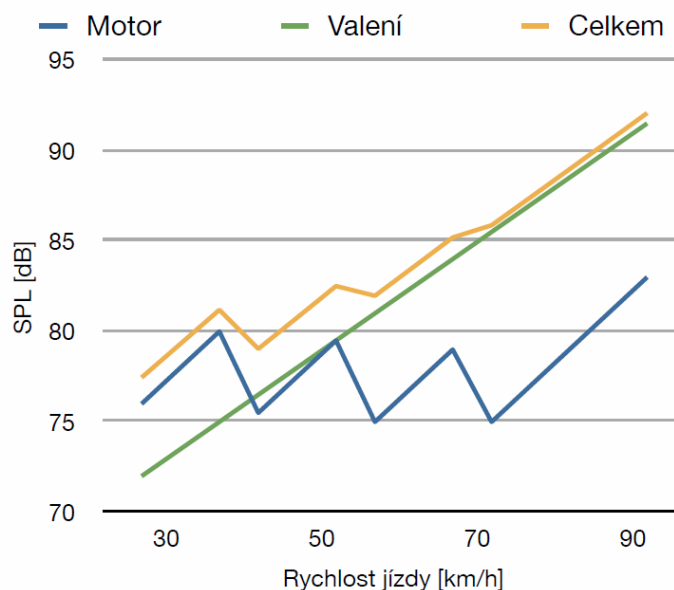
V roce 1970 byla přijata Směrnice Evropské unie „**Směrnice 70/157/EEC – Směrnice Rady ze dne 6. února 1970 o sblížení právních předpisů členských států týkajících se přípustné hladiny akustického tlaku a výfukového systému motorových vozidel**“. Tato směrnice stanovuje mezní hodnoty emisí hluku z vozidel, čímž tlačila na výrobce automobilů, aby snižovali hlučnost motorů vozidel. Směrnice byla několikrát novelizována s přísnějšími limity. V odborné společnosti je obecně zastáván názor, že tato směrnice byla neúčinná, protože automobily splňovaly emisní hodnoty ještě před zavedením směrnice.

5.1.2. Snížování povolené rychlosti

Pohyb vozidla po komunikaci vydává hluk, který se skládá z dílčích zdrojů hluku – hluk motoru, aerodynamické tření, valení pneumatik, vibrace karoserie atd. Zdroj dominantního hluku je závislý na rychlosti.

V praxi je situace taková, že při nižších jízdních rychlostech vozidla celkovou hlučnost definuje – v tuto chvíli dominantní – hlučnost motoru. V určitém zlomovém bodě – při určité rychlosti jízdy – se dominantním zdrojem stává hluk valení. [Bendtsen & Andersen, 2005] uvádějí hodnotu bodu zlomu na 40 km/h pro osobní automobily a 60 – 70 km/h pro nákladní automobily. [12]

Podle Obr. 7 je zřejmé, že snižování rychlosti v obcích pod povolených 50 km/h nepřináší výrazný účinek.



Obr. 7 – Odhad vztahu mezi celkovou hlučností vozidla, hlučností valení a hlučností motoru [12]

5.1.3. Snižování hluku z valení pneumatik po komunikaci

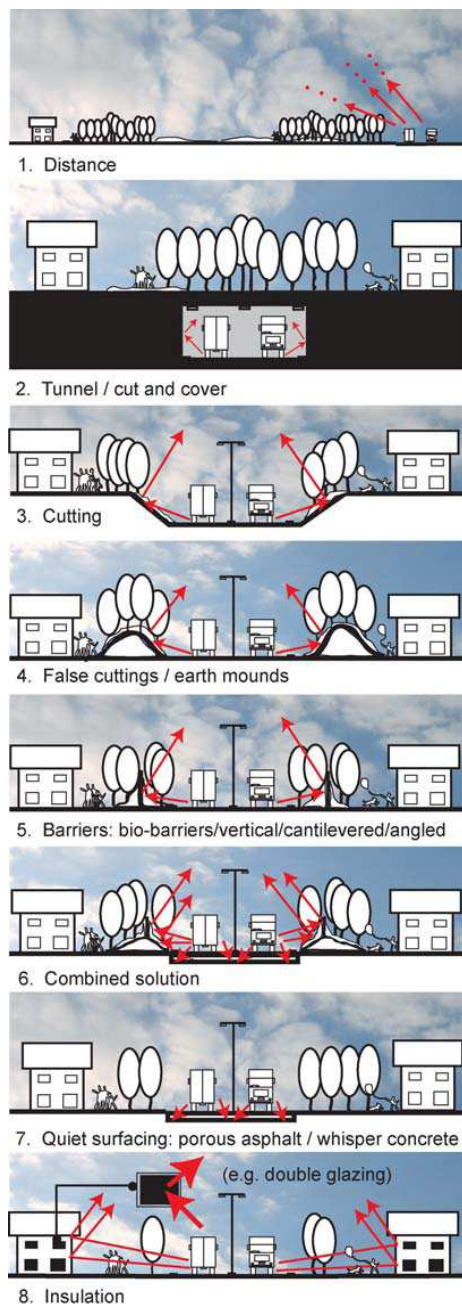
Současný vývoj aktivních opatření se zaměřuje na hledání možností snižování hluku z valení pneumatik po povrchu komunikací. Toho je dosahováno, jak sledováním vlastností povrchů vozovek, tak vlastností pneumatik. Ze zkoumání bylo zjištěno, že ke vzniku hluku na straně vozovky výraznou měrou přispívá zejména textura (nerovnost) povrchu o vlnové délce od 0,5 m do 0,5 mm a poréznost povrchu. Proto jsou navrhovány nové živičné a betonové povrchy vozovek, které tyto vlastnosti snižují. Vzhledem k velké sumě kilometrů stávajících vozovek se jedná o dlouhodobou záležitost, která se v současnosti v ČR neprovádí ani u nově vybudovaných silnic, protože se jedná o finančně náročné materiály oproti stávajícím běžně užívaným materiálům.

Zkoumání parametrů pneumatik (šířka, tvrdost, vzorek pláště atd.) v současnosti přináší nejednoznačné a často rozdílné výsledky, které jsou nejspíš způsobené nesjednocenou metodikou posuzování.

5.2. Pasivní způsoby ochrany před hlukem z dopravy

K clonění již šířícího se hluku se používají různé formy překážek které chrání venkovní prostředí a vnitřní chráněné prostory staveb. Clony se umísťují buď co nejbližší ke zdroji

hluku (bariéry podél komunikací), nebo v místě imise hluku (před fasádou objektu, zvukoizolační zasklení oken). Další možností může být změna trasy dopravy mimo chráněné venkovní prostředí (silniční obchvat, tunely). Grafické shrnutí aktivních a pasivních opatření je zobrazeno v na Obr. 8.



Obr. 8 – Grafické zobrazení aktivních a pasivních opatření ke snížení hluku [13]

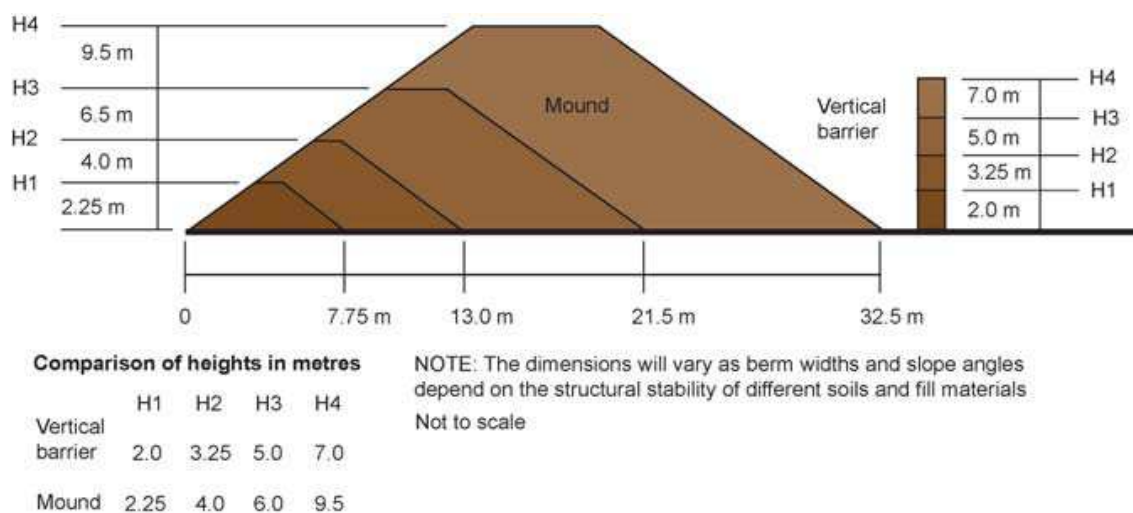
5.2.1. Protihluková clona terénními úpravami

Snadno vytvořitelnou clonou jsou terénní úpravy, kdy může být vozovka pod úrovní okolního terénu (v tzv. zářezu), nebo jsou nahrnuty podél komunikace vrstvy zeminy formou valu. Při budování nové silnice je možné využít stávajících terénních

nerovností, to však vyžaduje pečlivou přípravu v době zpracování projektové dokumentace. Je pochopitelné, že ani při pečlivém plánování toho nelze někdy dosáhnout (příkladem může být územní oblast Holandska).

Další výhodou terénních valů je jejich slušná pohltivost zvuku vlivem zatravnění a výsadbou zeleně, případně navýšením absorpční nebo odrazivou clonou (viz níže).

Jako nevýhodu můžeme uvést značné rozměry valu k dosažení stejné účinnosti, jako kolmá clona. Tuto skutečnost reprezentuje Obr. 9.



Obr. 9 – Poměr výšky (a šířky) valu a její účinnosti oproti kolmé stěně. [13]

5.2.2. Absorpční clony

Absorpční clony jsou nejrozšířenějším typem bariér v nespočetných variacích. Svoji oblibu si získaly díky své relativně nízké výrobní a montážní náročnosti. Absorpci jako fyzikální vlastnost jsme popsali v kapitole 4.1. Po technické stránce se nejčastěji jedná o nosnou hutnou konstrukci s vysoce porézním povrchem. To třeba odpovídá variantě, kde je nosná konstrukce železobeton a vnější povrch je profilovaný z pórobetonu, jako je to na Obr. 10.



Obr. 10 – Absorpční stěna s povrchem z pórobetonu [14]

Velmi podobným řešením je užití dřevovláknitého betonu na místo pórobetonu. Případnou další modifikací může být užití na dřevěného obkladu, který tvoří perforaci povrchu.

Zlepšením absorpčních vlastností může být dosaženo tzv. sandwichovou konstrukcí, kdy je do konstrukce přidána střední vrstva z minerální vlny. Na takovéto sandwichové existuje zase řada variací.

Jiný způsob absorpční clony má obrácenou skladbu, kdy nosnou konstrukci tvoří vnější plášť a vnitřek je vyplněn pohltivým materiálem. Na Obr. 11 můžeme vidět řez částí pohltivého panelu, kde vnější plášť je z hliníkového děrovaného plechu a vnitřní část je vyplněna minerální vlnou se vzduchovou mezerou.



Obr. 11 – Hliníková konstrukce s absorpční výplní z minerální vlny a vzduchové mezery

[13]

Zajímavým řešením se jeví užití přírodních materiálů, kde nosnou část zakrývají popínavé rostliny, drobné keře nebo kosodřeviny.

Nevýhodou většiny absorpčních clon je jejich nízká estetičnost, mohutnost a také (často podceňovanou) neprůhlednost. Vytvořením souvislého neprůhledného masivního pásu sice dobře odstíníme šířící se zvuk, nicméně můžeme značně působit na psychu člověka – můžeme vyvolávat pocity stísněnosti a odloučení od společnosti.

5.2.3. Odrazivé clony

Princip odrazu zvuku jsme si také vysvětlili v kapitole 4.1. Jedná se o clony s hladkým povrchem s minimem pórů pro dokonalý odraz zvuku. Materiál bývá volen z oblastí termoplastů často v čiré nebo zbarvené průhledné formě. Jedná se o mladší typ clony než absorpční clona. Barevné zasklení vytváří zajímavé estetické řešení a průhlednost dodává konstrukcím objemovou lehkost. Nevýhodou je fakt, že nesnižují energii dopadajícího zvuku, ale pouze jí odrážejí jinam do prostředí.

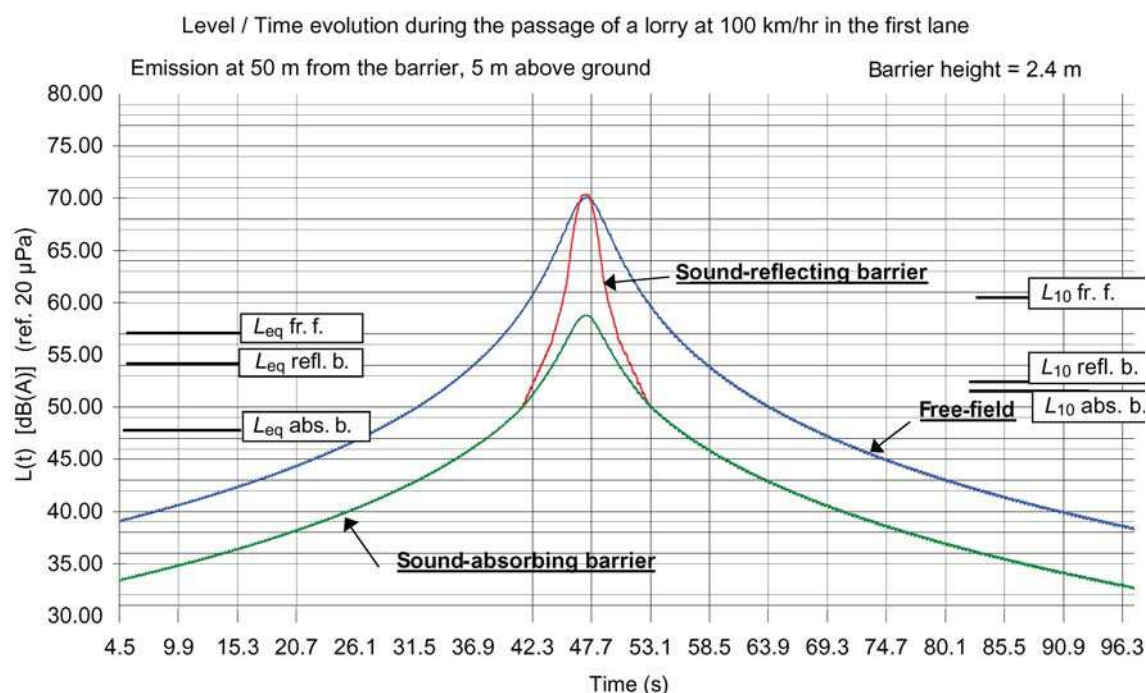
5.2.4. Zeleň

Zeleň sama o sobě má nízkou neprůzvučnost a spíše se volí jako doplnění jiných typů clon pro oživení dlouhé linie zvukové bariéry. Nehledě na to, že je zeleň proměnlivá

s ročním obdobím, vytvoření kompaktní souvislé zeleně není jednoduché a je to dlouhodobý proces.

5.2.5. Kombinace odrazivých a absorpčních clon

Z diagramu na Obr. 12 je možné sledovat průběh hladiny akustického tlaku při průjezdu vozidla okolo měřicího stanoviště. V diagramu je modře vyznačena křivka průběhu hladiny v případě, že před stanovištěm není žádná clona. Zeleně je znázorněn průběh hladiny akustického tlaku v situaci, kdy okolo měřicího stanoviště projíždí totožné vozidlo a je stíněno absorpční clonou. Červeně je znázorněna obdobná situace, jen je použita odrazivá clona. Z diagramu můžeme vyčíst, že účinnost odrazivé clony se radikálně snižuje v časovém intervalu, kdy vozidlo mívá v těsné blízkosti měřicího stanoviště.



Obr. 12 – Sledování průběhu změny hladiny akustického tlaku při průjezdu jednoho vozidla okolo měřicího stanoviště [13]

Jako zajímavá možnost se jeví kombinace odrazivé a absorpční clony tak, jako je to na Obr. 13.



Obr. 13 – Kombinace odrazivé a absorpční clony (Copenhagen, Dánsko) [13]

Absorpční panely a akrylátové desky se pravidelně střídají v ploše clony. Na podobném principu rozdělení plochy clony na odrazivou a absorpční fungují clony od řady dalších výrobců (respektive se kombinované clony montují z výrobků od dvou rozdílných dodavatelů). Tento systém se jeví jako rozumný kompromis absorpčních a odrazivých clon, otázkou však zůstává, jestli se tím v součtu nesnížila celková účinnost obou vlastností.

6 Návrh vlastní alternativní konstrukce

Současné urbanistické a architektonické pojetí prostředí udává jasný směr k využívání moderních (kompozitních) materiálů s důrazem na zvyšování efektivity, „multifunkčnost“ a estetičnost. To platí i pro budování protihlukových clon, zejména ve vyspělých zemích západní Evropy, severní Ameriky a Japonska. Přestože je hlukové zátěži v České Republice věnována pozornost, jde spíše o důsledek závazků vůči Evropské unii a současné moderní trendy v oblasti protihlukových clon přichází se zpožděním a obecně jsou přijímány vlažně.

Nejčastěji budovanou protihlukovou clonou v ČR je absorpční clona z nosného železobetonového panelu s vnější pórobetonovou vrstvou (případně její modifikací dřevovláknitým betonem apod.), která je vsazena mezi železobetonové pilíře. Ve městech se částečně prosazují odrazivé clony z akrylátového skla, které jsou spíše doplňkem absorpčních clon.

6.1. Vytipování lokality nadměrně zatížené hlukem

Při zkoumání dostupných informačních zdrojů a následné diskuzi na Odboru dopravy Jihočeského kraje vzešel návrh na možnost řešení problematické lokality v okolí Nemocnice Strakonice.

Město Strakonice nemá vybudovaný žádný obchvat, ale jen hlavní průtahy přes město. Okolo nemocnice je vedena silnice II/173 II. třídy, která začíná na začátku města Strakonice sjezdem z rychlostní silnice R4 I. třídy a po průtahu městem pokračuje do Radomyšle. Na základě zpracovaných studií byl shledán průjezd vozidel po silnici II/173 ulicí Lidická jako problematický, protože v blízkosti komunikace se nachází lůžková část dětského oddělení Nemocnice Strakonice.

Podle vypracované studie v roce 2003 byla spočítána hodnota hladiny hlukové zátěže v chráněném venkovním prostoru staveb na $L_{Aeq} = 61,7 \text{ dB}$. [15] Tato hodnota byla později potvrzena při vypracování strategické hlukové mapy v roce 2007 (příloha D.1).

6.2. Výpočet minimálních rozměrů protihlukové clony

6.2.1. Nejvyšší přípustná hodnota hluku

Základní hygienické limity pro chráněný venkovní prostor staveb lůžkových zdravotnických zařízení včetně lázní je již zmíněným nařízením vlády č. 148/2006 Sb. stanoven na $L_{Aeq} = 40$ dB. Podle přílohy B.1 komunikaci určíme jako starou hlukovou zátěž z dopravy a použijeme korekci 15 dB.

Výpočet:

- základní hladina 40 dB
- korekce staré hlukové zátěže +15 dB
- výsledek **55 dB**

Limitní hodnota ekvivalentní hladiny akustického tlaku A (L_{Aeq}) je 55 dB.

6.2.2. Přepočet vlivu konečného úseku

Z uvedené studie známe celkovou ekvivalentní hladinu akustického tlaku A L_{Aeq} která je vypočítaná pomocí SW Hluk+. Ze zjednodušené situace v příloze D.2 je zřejmé, že pro výpočet vlivu konečného úseku byla použita suma úhlů viditelné oblasti z bodu A. Pro námi navržený úsek výstavby protihlukové clony je třeba korekci přepočítat na vzniklé tři úseky.

Výpočet korekcí úseků:

- $\alpha = 13^\circ; \beta = 152^\circ; \gamma = 5^\circ$
- $D_{U\alpha} = 10 \log \left(\frac{180}{\alpha} \right) = 11,4 \text{ dB}$
- $D_{U\beta} = 10 \log \left(\frac{180}{\beta} \right) = 0,7 \text{ dB}$
- $D_{U\gamma} = 10 \log \left(\frac{180}{\gamma} \right) = 15,6 \text{ dB}$

Výpočet vlivu konečného úseku

Je třeba odvodit původní hodnotu ekvivalentní hladiny hluku z dopravy Y [dB] před započtením korekce. Je předpoklad, že hodnota Y je ve všech úsecích stejná. Úpravou vzorce pro energetický součet dostaneme řešení rovnice.

$$L_{Aeq} = 10 \log \left(10^{Y-D_{U\alpha}} + 10^{Y-D_{U\beta}} + 10^{Y-D_{U\gamma}} \right) \quad (29)$$

Postupnou úpravou dostaneme řešení $Y = 61,9$ dB.

Tato hodnota ekvivalentní hladiny akustického tlaku není skutečná hodnota hladiny hluku z dopravy. V této hodnotě jsou započítány korekce vlivů z přílehlé a protilehlé souvislé zástavby, korekce útlumu atmosférickými podmínkami, korekce útlumu dopravního hluku vzdáleností. Proto by bylo formálně správné značit veličinu třeba Y' [dB]. Vzhledem k tomu, že tyto korekce působí i v momentě vybudování protihlukové clony, nemusíme se tím dále zabývat.

6.2.3. Návrh výšky překážky

V příloze D.3. je znázorněn profil terénu a Lidické ulice, ze kterého můžeme spočítat rozdíl drah δ [m]. Poté započítáme korekci k danému úseku vlivem souvislé překážky a poté spočítáme celkovou ekvivalentní hladinu akustického tlaku v bodě A L_{Aeq} [dB].

Výpočet rozdílů drah:

- $a = 5,527$ m; $b = 10,658$ m; $c = 15,885$ m
- $\delta = a + b - c = 0 = 0,3$ m

Výpočet stínění souvislou překážkou:

- $D_B = 13,41 + 10,47 \cdot \log(\delta + 0,18) - 2,67 \cdot [\log(\delta + 0,18)]^2$
- $D_B = 13,41 + 10,47 \cdot \log(0,48) - 2,67 \cdot \log(0,48)^2$
- $D_B = 9,8$ dB

Výpočet konečných úseků:

- $L_{Aeq}^1 = Y - D_{U\alpha} = 61,9 - 11,4 = 50,5 \text{ dB}$
- $L_{Aeq}^2 = Y - D_{U\beta} - D_B = 61,9 - 0,7 - 9,8 = 51,4 \text{ dB}$
- $L_{Aeq}^3 = Y - D_{U\gamma} = 61,9 - 15,6 = 46,3 \text{ dB}$

Výpočet výsledné ekvivalentní hladiny akustického tlaku A

- $L_{Aeq} = 54,67 \text{ dB}$

Energetický součet dílčích hladin je $L_{Aeq} = 54,67 \text{ dB}$, což je pod požadovanou hodnotou $L_{Aeq} = 55 \text{ dB}$.

6.2.4. Zhodnocení výpočtu

Výpočtem jsme si ověřili navržený rozměr clony jako účinný. Přestože je výpočet na samé hranici limitní hodnoty, je třeba zmínit další aspekty, které jsme do výpočtu nezahrnuli. Ve výpočtu se uvažuje s vlivem protilehlé souvislé zástavby. V příloze D.3 je vidět v řezu profil terénu, kde objekt dětského oddělení je více než protilehlá zástavba. Jednoduchým geometrickým řešením si můžeme dokázat, značná část odraženého hluku od zástavby jde do clony, která hluk odráží nad souvislou zástavbu. Dalším pozitivním aspektem může být clonění vzrostlou zelení. Přestože jsme si řekli, že účinnost zeleně je malá, tak určitě přispívá k lepšímu výsledku.

6.3. Volba optimální clony

Ulice Lidická ve městě Strakonice probíhá od Velkého náměstí v samotném historickém centru Strakonice až na sídliště 1. Máje. Celá tato trasa je téměř v přímce, a tvoří významnou dopravně obslužní komunikaci. Zhruba v polovině úseku lemuje jižní okraj areálu nemocnice, kde je přilehlý objekt dětského oddělení – lůžková část.

Vzhledem k situování ulice ve městě je třeba navrhnout šetrná, ale přesto účinná opatření ke snížení hluku z dopravy. Podle navržených rozměrů se jedná o souvislou clonu minimálně 68 m dlouhou a 2,7 m vysokou. Když se k tomu ještě připočte 1 m výšky stávající podezdívky, tak se jeví použití absorpční stěny jako krajně nevhodné, zejména z estetických důvodů. Stejně tak by vybudování vysoké stěny před objektem dětského oddělení mohlo mít negativní vliv na psychiku pacientů.

Mezi objektem dětského oddělení je zelený pás se vzrostlými stromy a na protější straně ulici lemují dvoupodlažní bytové domy. U silnice jsou nově vybudované autobusové zastávky z hliníkové konstrukce a celoprosklenými stěnami.

Pro harmonické začlenění protihlukové clony se jeví jako nejvhodnější prosklené odrazivé bariéry. V kapitole 5.2.3. jsme vysvětlili způsob stínění odrazivých clon a jejich nedostatek v účinnosti pohlcování zvukové energie.

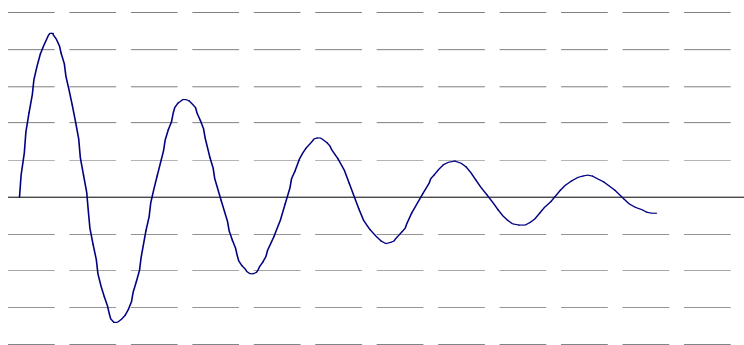
6.4. Pohlcení zvukové energie kmitáním odrazivé clony

Jak už bylo zmíněno, odrazivé clony pouze změň směř šíření zvuku, ale nesníží jeho intenzitu. Proto je na místě se ptát, zda-li není možné zajistit alespoň částečnou možnost absorpce odráženého zvuku.

Kombinovanou clonu jsme už představili na Obr. 13. Nevýhodou tohoto systému je snížení prosklené plochy na úkor absorpčních desek a jeho zubatý tvar. Umístěním těchto clon na podezdívku u nemocnice, by chodec i většina účastníků dopravního provozu koukala na clonu zespoda vzhůru a clona by budila dojem souvislé neprůhledné stěny. Stejně by tomu bylo i z pohledu ze shora od objektu dětského oddělení.

6.4.1. Tlumené kmitání

V teoretické části této práce jsme k vysvětlení fyzikálních vlastností kmitání mluvili o harmonickém netlumeném kmitání, které se může prezentovat jako kmitání hmotného bodu na nehmotné pružině. Ve skutečnosti, když na pružině rozkmitáme zavěšené závaží, tak po určitém čase kmitání ustane. To je způsobené okolními silami, zejména gravitační silou a třením které kmitání tlumí. Proto se takové kmitání nazývá tlumené a je zobrazeno na Obr. 14.

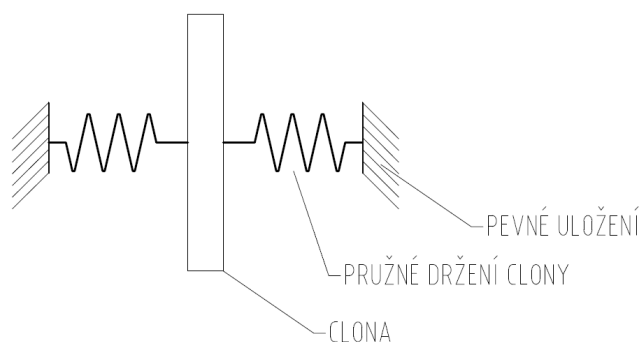


Obr. 14 – Průběh obecné funkce tlumeného kmitání

V reálném prostředí ovlivňuje tlumení víc faktorů a návrh modelu takového systému je značně složitý a řešení výpočtu velmi náročný.

6.5. Pružné uložení clony

Myšlenka kmitání odrazivé plochy je založena na představě pružného uložení odrazivé plochy s podmínkou, aby uložení bylo dostatečně tuhé aby nedošlo k prověšení a zároveň pružné, aby tlumilo kmity. Schématické uložení clony je na Obr. 15.



Obr. 15 – Schéma pružného uložení odrazivé clony

Jak bylo zmíněno, modelové popsání takového systému bude pravděpodobně velmi složité, proto se v praxi u takovýchto systémů používá laboratorních měření k zjištění skutečné účinnosti.

6.5.1. Laboratorní měření účinnosti hlukové clony

K laboratornímu měření a posuzování účinnosti protihlukových clon byly vydány technické normy „ČSN EN 1793-1 Zařízení pro snížení hluku silničního provozu - Zkušební metody stanovení akustických vlastností - Část 1: Určení zvukové pohltivosti laboratorní metodou“ a druhá „ČSN EN 1793-1 Zařízení pro snížení hluku silničního provozu - Zkušební metody stanovení akustických vlastností - Část 2: Určení vzduchové neprůzvučnosti laboratorní metodou“.

Tyto normy přiřazují clonám podle zjištěných hodnot zvukové pohltivosti a vzduchové neprůzvučnosti kód, který udává jejich efektivitu ve stínění zvuku.

Kategorie	DL _R [dB]
B0	neurčeno
B1	< 15
B2	15-24
B3	> 24

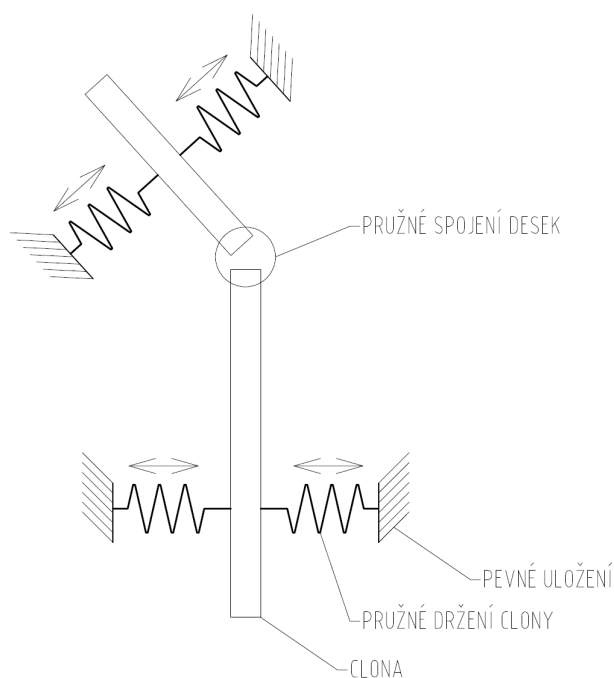
Tab. 4 - Kategorie vzduchové neprůzvučnosti u protihlukových stěn [16]

Kategorie	DL _a [dB]
A0	neurčeno
A1	< 4
A2	4-7
A3	8-11
A4	> 11

Tab. 5 - Kategorie zvukové pohltivosti u protihlukových stěn [17]

6.6. Tvarové řešení

Z předpokladu pružného uložení konstrukce se může jevit tvarová variabilita, například zalomením, jako bezproblémová. Faktem ale je, že pro dokonalou účinnost odrazivé clony je třeba splnit požadavek, aby byla konstrukce bez přerušení. Pro splnění tohoto požadavku mohou vznikat problémy v místě styku dvou desek, které se na pružném zavěšení pohybují nezávisle na sobě. Jako řešení se nabízí úvaha, že jednotlivé části, budou mít jen jeden stupeň volnosti ve směru předpokládaného směru šíření zvuku. Tím se zamezí možnost zkřížení desek a bude docházet pouze k vzájemnému posunu v jednom směru. Schématické zobrazení je na Obr. 16.



Obr. 16 – Schéma pružného styku dvou zalomených desek

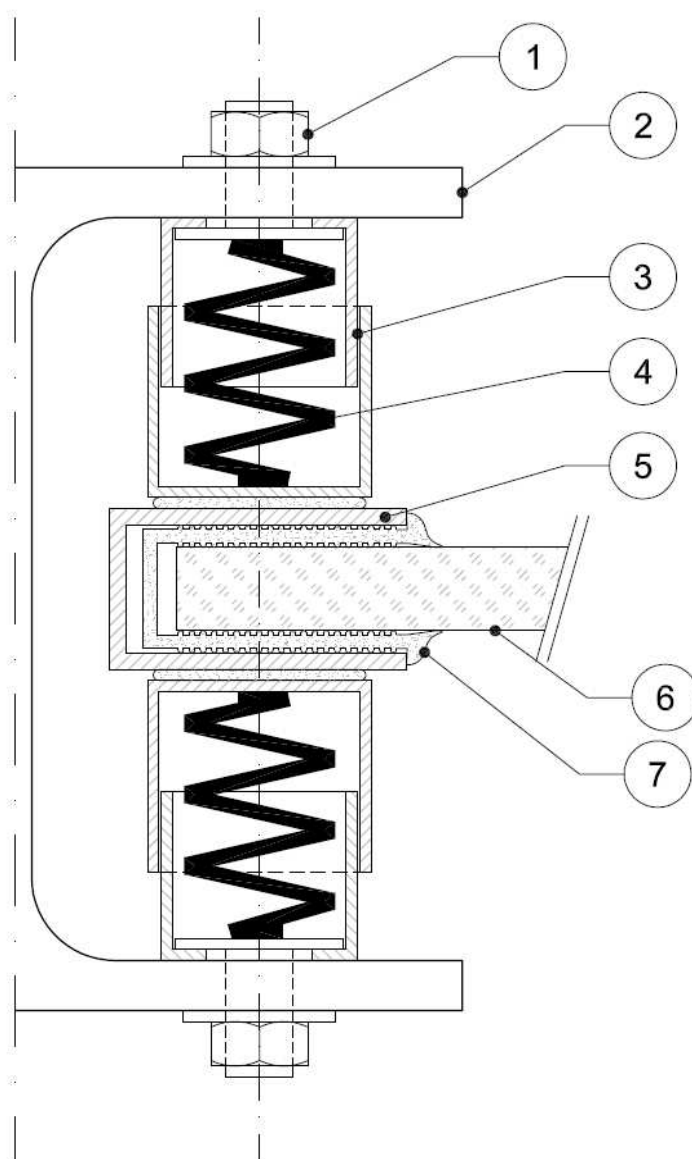
6.7. Užití vhodných materiálů

Současné odrazivé clony jsou většinou vyráběny z průhledného syntetického polymerního termoplastu – polymethylmetakrylát (PMMA) – hovorově nazýváno plexisklo nebo také akrylátové sklo. Dodavatelé uvádějí záruku přesahující 10 let na degradaci UV zářením.

Stojí za zvážení užití lepeného bezpečnostního skla. Lepené sklo se může skládat z několika vrstev skleněných tabulí s rozdílnými vlastnostmi. Vnější vrstvu skla může tvořit tzv. samočisticí sklo. Lepením se zvyšuje bezpečnost, kdy při rozbití skleněné tabule je udržována v celku vnitřní fólií. Další přednost by se mohla hledat v objemové hmotnosti, která je přibližně dvojnásobná oproti PMMA. Vyšší hmotnost by mohla přispívat k tlumení kmitání.

Protože prodejní cena lepeného skla je zhruba stejná jako PMMA, bylo by zajímavé udělat podrobnější analýzu těchto dvou materiálů.

6.8. Schéma možného systému pružného uložení



Obr. 17 – Schéma technického řešení pružného uložení

LEGENDA:

- 1) Přichycení pružného pouzdra
- 2) Příruba ocelového profilu HAE
- 3) Pružné pouzdro
- 4) Pružina
- 5) Ocelový „U“ profil
- 6) Tabule z lepeného skla
- 7) Těsnění

7 Závěr

Po postupném seznámení se s fyzikálními aspekty šíření zvuku v prostředí a analýzou vlivu zvuku (hluku) na člověka, jsme získali teoretické základy pro uvažování nad způsoby zabránění šíření zvuku prostorem. Dále byli představeny a popsány původní i současné trendy ve výstavbě protihlukových bariér, které by se daly rozdělit na dva hlavní proudy – absorpční a odrazivé clony – včetně jejich výhod a nevýhod.

Z podkladů Odboru dopravy Jihočeského kraje byla vytipována lokalita, na které jsme ověřili nabyté znalosti. Bylo provedeno hodnocení stávajícího stavu před objektem dětského oddělení – lůžková část, v areálu Nemocnice Strakonice. Objekt je v těsné blízkosti přilehlé silnice II. třídy, která podle dostupných podkladů emituje nadměrné množství hluku z dopravy. Výpočty jsme navrhly minimální rozměry konstrukce – délka 68 m, výška 2,7 m. Po přihlédnutí k architektonickým a urbanistickým vazbám bylo upřednostněno opatření ke snížení hlukové zátěže pomocí průhledných odrazivých clon.

V poslední části práce je rozebrána úvaha, že každé kmitání systému je okolím tlumené. Tato úvaha je aplikována na odrazivé protihlukové clony a tím je představen možný směr ke zdokonalení odrazivých clon v oblasti pohlcení energie zvuku jiným způsobem, než který je typický pro absorpční clony. Myšlenka tlumeného kmitání odrazivých clon sice není podpořena žádnými výpočty, ale obecně lze očekávat, že k pohlcování zvukové energie bude docházet. Pro míru efektivity navržené úpravy se v technické praxi provádí laboratorní měření na skutečném prvku, které má nejpřesnější vypovídající hodnotu.

Protihlukové clony mají potenciál nejen ve zdokonalování stávajících typů, ale je možné hledat další kombinaci využití. Bylo by zajímavé, nedívat se na clony jen jako na protihlukové bariéry, ale začít je přijímat jako multifunkční prvek, který se dá dále rozvíjet v řadě oblastí.

8 Přílohy

Příloha A.1

Látka	c [m/s]	Látka	c [m/s]
Oxid uhličitý	260	Mořská voda	1500
Kyslík	317	Kaučuk	40
Vzduch 0 °C	331	Korek	500
Dusík	336	Olovo	1300
Vzduch 20 °C	343	Ebonit	1570
Vodní pára	405	Beton	1700
Svítiplyn	453	Stříbro	2700
Helium	971	Platina	2800
Vodík	1270	Led	3200
Ether	1020	Mosaz	3400
Benzín	1170	Dřevo buk, dub	3400
Metylalkohol	1240	Měď	3500
Rtuť	1400	Cihly	3600
Voda 4 °C	1400	Ocel	5000
Voda 13 °C	1440	Hliník	5100
Voda 25 °C	1500	Sklo	5200

Tab. 6 – Rychlost zvuku v různých látkách [18]

Příloha A.2

Příklad prostředí	Hladina akustického tlaku L [dB]	Akustický tlak p [Pa]	Akustická intenzita I [W/m ²]
Proudový motor	130	63,3	10
Poplachová siréna (práh bolesti)	120	20,0	1
Rockový koncert	110	6,32	10-1
Fortissimo orchestru	100	2,00	10-2
Hlučná průmyslová hala	90	0,63	10-3
Nákladní automobil	80	0,20	10-4
Automobil	70	0,063	10-5
Hluk v kavárně	60	0,02	10-6
Tichá konverzace	50	6,32.10 ⁻³	10-7
Ztlumené rádio	40	2,00.10 ⁻³	10-8
Šepot	30	6,32.10 ⁻⁴	10-9
Tichá místnost	20	2,00.10 ⁻⁴	10-10
Šelest listu	10	6,32.10 ⁻⁵	10-11
Zvukotěsná komora (práh slyšitelnosti)	0	2,00.10 ⁻⁵	10-12

Tab. 7 – Příklady hladin akustického tlaku [12]

Příloha B.1

Příloha č. 3 k nařízení vlády č. 148/2006 Sb.

**Korekce pro stanovení hygienických limitů hluku v chráněném venkovním prostoru
staveb a v chráněném venkovním prostoru**

Část A

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

Korekce uvedené v tabulce se nesčítají.

Pro noční dobu se pro chráněný venkovní prostor staveb přičítá další korekce -10 dB, s výjimkou hluku z dopravy na železničních drahách, kde se použije korekce -5 dB.

Vysvětlivky:

- 1) Použije se pro hluk z veřejné produkce hudby, hluk z provozu služeb a dalších zdrojů hluku⁶⁾, s výjimkou letišť, pozemních komunikací, nejde-li o účelové komunikace, a dále s výjimkou drah, nejde-li o železniční stanice zajišťující vlakové práce, zejména rozřadování a sestavu nákladních vlaků, prohlídku vlaků a opravy vozů.
- 2) Použije se pro hluk z dopravy na pozemních komunikacích, s výjimkou účelových komunikací, a drahách.
- 3) Použije se pro hluk z dopravy na hlavních pozemních komunikacích 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 v případě staré hlukové zátěže z dopravy na pozemních komunikacích a drahách, kdy starou hlukovou zátěží se rozumí stav hlučnosti působený dopravou na pozemních komunikacích a drahách, který v chráněných venkovních prostorech staveb a v chráněném venkovním prostoru vznikl do 31. prosince 2000. Tato korekce zůstává zachována i po položení nového povrchu vozovky, výměně kolejového svršku, popřípadě rozšíření vozovek při zachování směrového nebo výškového vedení pozemní komunikace nebo dráhy, při které nesmí dojít ke zhoršení stávající hlučnosti v chráněném venkovním prostoru staveb a v chráněném venkovním prostoru a pro krátkodobé objízdné trasy.

⁶⁾ § 30 odst. 1 zákona č. 258/2000 Sb.

Příloha C.1



*Obr. 18 – Lidická ulice směrem z centra
(vlevo Dětské oddělení Nemocnice Strakonice)*

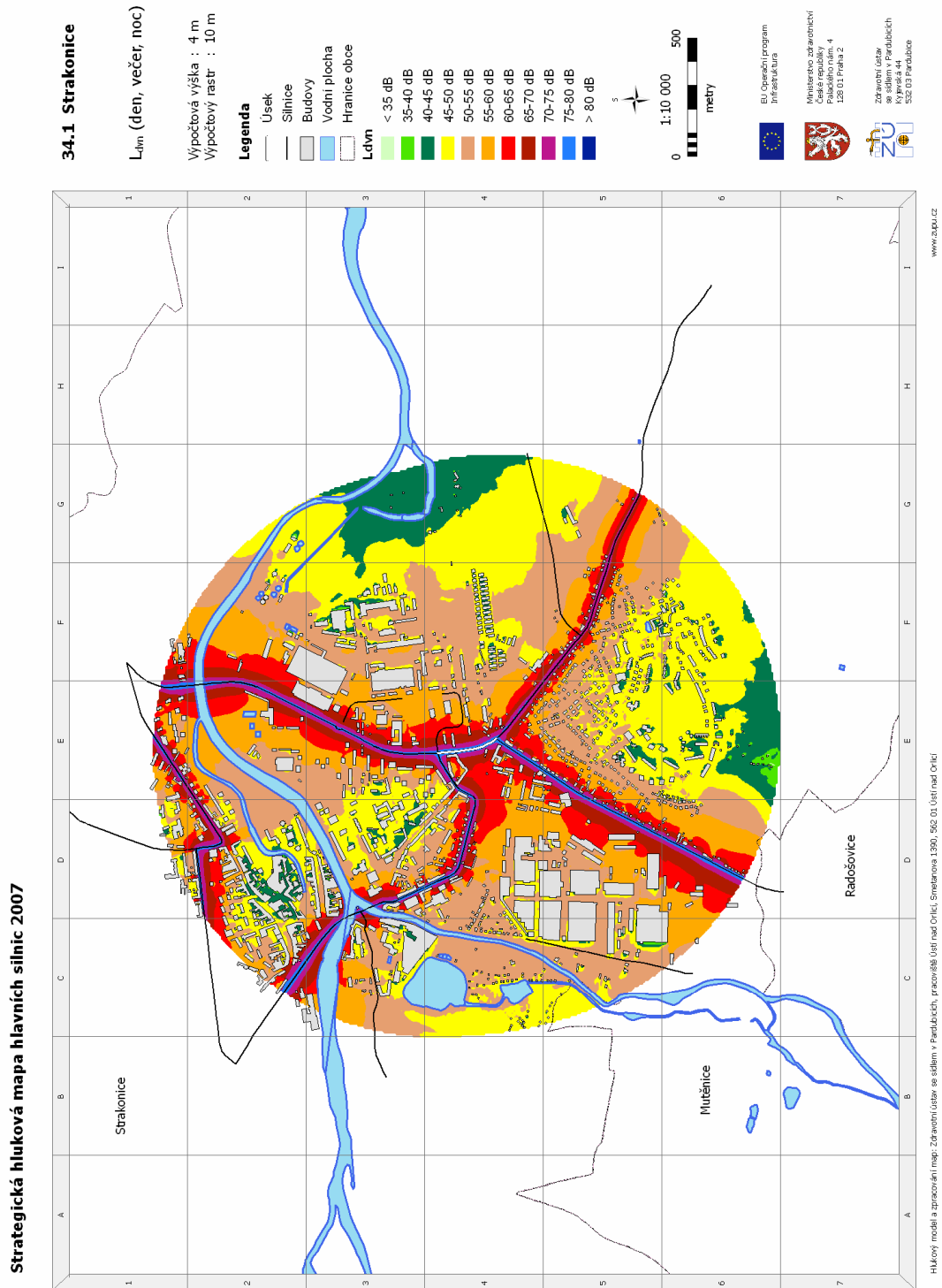


*Obr. 19 – Lidická ulice směrem k centru
(vpravo Dětské oddělení Nemocnice Strakonice)*



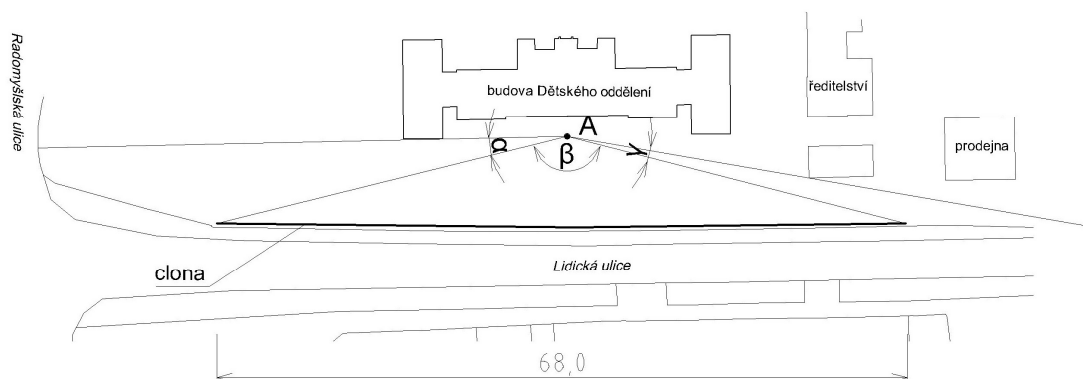
*Obr. 20 – Lidická ulice směrem z centra
(protilehlá zástavba)*

Příloha D.1



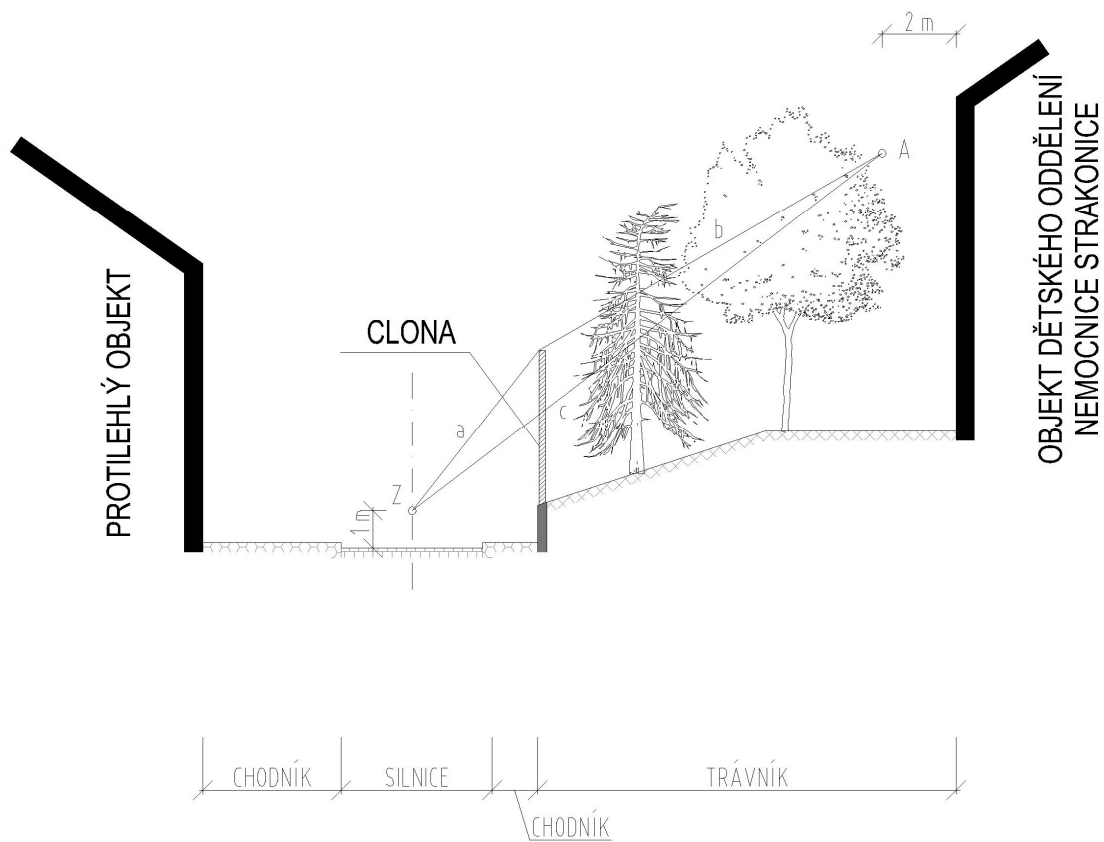
Obr. 20 – Strategická hluková mapa - Strakonice

Příloha D.2



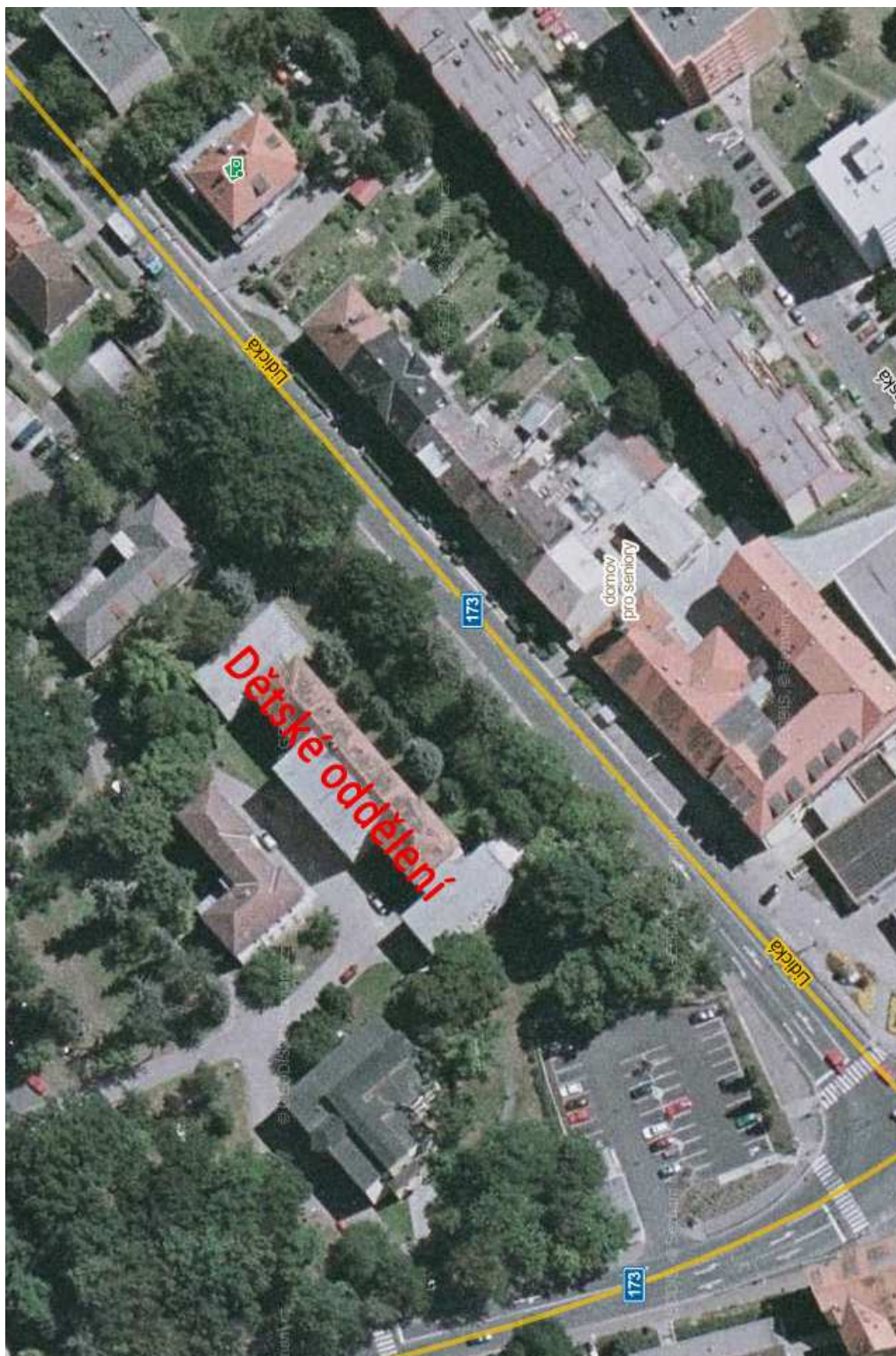
Obr. 21 – Situace

Příloha D.3



Obr. 21 – Řez ulicí

Příloha D.4



Obr. 22 – Ortofotomapa [19]

9 Literatura

- [1] ŠTANÍK, S., TACH, J., Stavební akustika a zvukoizolační materiály, Brno, CERM, 2002
- [2] NOVÝ, R., Hluk a chvění, Praha, ČVUT, 1995,
- [3] KAŇKA, J., Akustika stavebních objektů, Brno, ERA Group, 2009
- [4] Evropská unie. Evropský výbor životního prostředí. Directive 2002/49/EC of the European parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise. Official Journal L 189 , 18/07/2002 P. 12 –26. Dostupné také z www: <http://eur-lex.europa.eu>
- [5] ČSN ISO 226: Akustika - Normované křivky stejné hlasitosti, Český normalizační institut, 2005
- [6] Sbírka zákonů č. 258/2000 - 258 ZÁKON ze dne 14. července 2000 o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, 2000
- [7] Sbírka zákonů č. 148/2006 – 148 NAŘÍZENÍ VLÁDY ze dne 15. března 2006 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, 2006
- [8] REICHL, J., VŠETIČKA, M., Encyklopedie fyziky, 2006-2012, <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/197-odraz-zvuku-pohlcovani-zvuku>
- [9] Časopis stavebnictví, článek: Ke zvukové pohltivosti zařízení pro snižování hluku silničního provozu, RUBÁŠ, P., EXPO DATA , Brno, 2011
- [10] BERÁNEK, L., L., Snižování hluku, SNTL, Praha, 1965
- [11] LIBERKO, M., Novela metodiky pro výpočet hluku silniční dopravy, Hluk v životním prostředí, PLANETA, Praha, 2005
- [12] CHOCENSKÝ, P., Efektivita protihlukových opatření v automobilové dopravě, Disertační práce, Praha, 2010
- [13] KOTZEN, B., ENGLISH, C., Environmental Noise Barriers: A guide to their acoustic and visual design (Second edition), Taylor & Francis Ltd, Abingdon, 2009
- [14] <http://www.liadur.cz/cz/fotogalerie/reference-ceska-republika-7>
- [15] ZENKL, L., Studie určení pořadí naléhavosti investic do protihlukových patření v závislosti na závažnosti hlukové situace a počtu postižených obyvatel na síti silnic II. a III. třídy na území Jihočeského kraje, České Budějovice, 2003

- [16] ČSN EN 1793-1: Zařízení pro snížení hluku silničního provozu - Zkušební metody stanovení akustických vlastností - Část 1: Určení zvukové pohltivosti laboratorní metodou, Český normalizační institut, 1998
- [17] ČSN EN 1793-2: Zařízení pro snížení hluku silničního provozu - Zkušební metody stanovení akustických vlastností - Část 2: Určení vzduchové neprůzvučnosti laboratorní metodou, Český normalizační institut, 1998
- [18] MIKULČÁK, J., KRKAVEC, L., KLIMEŠ, B., BARTŮNEK, J., ŠIROKÝ, J., PAUKOVÁ, M., matematické, fyzikální a chemické tabulky, SVOBODA, Praha, 1976
- [19] www.mapy.cz