

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra technologií a měření

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Snižování hlukové zátěže v zástavbě

vedoucí práce: Ing. Zuzana Kabešová

autor: Petr Šohaj

2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2011/2012

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

Jméno a příjmení: **Petr ŠOHAJ**
Osobní číslo: **E09B0198P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Snižování hlukové zátěže v zástavbě**
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

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

1. Prostudujte základní fyzikální principy šíření hluku.
2. Zmapujte způsoby snižování hlukové zátěže.
3. Porovnejte vlastnosti pohltivých protihlukových stěn, které se v současné době používají.
4. Uveďte nové trendy a budoucí vývoj protihlukových opatření.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zuzana Kabešová**
Katedra technologií a měření

Datum zadání bakalářské práce: **17. října 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2012**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Vlastimil Škočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Abstrakt

Tato bakalářská práce mapuje možnosti snížení hlukové zátěže v zástavbě. Úvodní část zpracovává základní fyzikální princip šíření hluku. Hlavní část této rešerše poskytuje přehled možností snižování hluku způsobeného silniční a železniční dopravou a zaměřuje se na pohltivé protihlukové stěny, které se v současné době používají. Dále tato práce uvádí nové trendy a možný budoucí vývoj protihlukových opatření.

Klíčová slova

Šíření zvuku, lidské ucho, snižování hluku, pohltivé protihlukové stěny, akustický materiál, hluk v dopravě.

Title

Reduction of noise in populated area

Abstract

This bachelor thesis deals with possibility of reducing of noise in the populated areas. The first part includes the basic physical principle of spread of noise. The main part of this research provides an overview of the possibilities of reducing of noise which is caused by road and rail transport and it is concerned with absorbing noise barriers, which are currently in use. Furthermore this thesis provides the new trends and future possibilities of development of noise reduction measures.

Key words

Sound distribution, human ear, noise reduction, absorptive noise barriers, acoustical material, traffic noise.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne 1. 6. 2012

Petr Šohaj

.....

Obsah

SEZNAM SYMBOLŮ.....	9
1 ÚVOD	11
2 ZÁKLADNÍ PRINCIPY ŠÍŘENÍ HLUKU A JEHO VLIV NA ČLOVĚKA.....	12
2.1 ZVUK A JEHO VLASTNOSTI	12
2.1.1 Šíření zvuku	12
2.1.2 Rychlost šíření zvuku a akustická rychlost	13
2.1.3 Šíření zvuku ve venkovním prostoru	15
2.1.4 Akustický výkon a Intenzita zvuku	16
2.2 LIDSKÝ SLUCHOVÝ ORGÁN A VLIV HLUKU NA ČLOVĚKA.....	18
2.2.1 Sluchový orgán	18
2.2.2 Poruchy sluchu a zdravotní problémy hlukem způsobené	19
3 ZPŮSOBY SNIŽOVÁNÍ HLUKU.....	20
3.1 HLUKOVÉ LIMITY	21
3.2 ŽELEZNIČNÍ DOPRAVA	22
3.2.1 Primární metody snížení hluku železniční dopravy.....	23
3.2.2 Sekundární metody snižování hluku železniční dopravy.....	24
3.3 SILNIČNÍ DOPRAVA.....	26
3.3.1 Snižování hluku silniční dopravy povrchem vozovky	28
3.3.2 Snižování hluku prováděné na automobilu	29
4 PROTIHLUKOVÉ STĚNY.....	30
4.1 TECHNICKÉ PARAMETRY PROTIHLUKOVÝCH STĚN	30
4.1.1 Přehled norem týkajících se snižování hluku silničního provozu.....	30
4.1.2 Kategorie zvukové pohltivosti	31
4.1.3 Kategorie vzduchové neprůzvučnosti.....	32
4.1.4 Další typy technických parametrů	32
4.2 ESTETICKÉ VLASTNOSTI STĚN.....	33
4.3 TVARY LÍCOVÉ STRANY PROTIHLUKOVÝCH POHLTIVÝCH STĚN	34
4.4 MATERIÁLY PRO VÝROBU STĚN	36

4.5	POROVNÁNÍ PARAMETRŮ STĚN	36
4.5.1	<i>Pohltivé protihlukové stěny Liadur</i>	36
4.5.2	<i>Pohltivé protihlukové stěny Silent</i>	37
4.5.3	<i>Pohltivá protihluková stěna PHS2 výrobce ŽPSV</i>	38
4.5.4	<i>Pohltivá stěna HAMPPEP</i>	39
4.5.5	<i>Kovová protihluková stěna ROMAn</i>	40
4.5.6	<i>Protihlukové panely VELOX</i>	41
4.5.7	<i>Systémy beton – dřevocement</i>	42
4.5.8	<i>Sklovláknobetonová protihluková zeď</i>	43
4.6	ZHODNOCENÍ VLASTNOSTÍ PROTIHLUKOVÝCH STĚN	44
5	NOVÉ TRENDY A VÝVOJ PROTIHLUKOVÝCH OPATŘENÍ	45
5.1	PROTIHLUKOVÉ STĚNY LIADUR S TECHNOLOGIÍ TX ACTIVE	46
5.2	SNÍŽENÍ HLUKU POMOCÍ GUMOASFALTOVÉ SMĚSI	46
5.3	NÍZKÉ PROTIHLUKOVÉ STĚNY ŽPSV – H130	47
6	ZÁVĚR	49
	POUŽITÁ LITERATURA A INTERNETOVÉ ZDROJE	50

Seznam symbolů

y [m]	výchylka hmotného bodu
m [kg]	hmotnost
k [N/m]	tuhost pružiny
ω [rad/s]	úhlová frekvence
φ [°]	počáteční fáze
f [Hz]	frekvence
τ [s]	čas
λ [m]	vlnová délka
c [m/s]	rychlost šíření zvuku
t [°C]	teplota
v [m/s]	akustická rychlost
u_0 [m]	amplituda akustické výchylky
P [W]	akustický výkon
E [J]	akustická energie
N [W/m ²]	měrný akustický výkon
ϑ [°]	úhel svíraný ak. paprskem a kolmicí plochy
I [W/m ²]	akustická intenzita
p [Pa]	tlak
ρ [kg/m ³]	hustota
L_I [dB]	hladina akustické intenzity
L_P [dB]	hladina akustického výkonu
L_p [dB]	hladina akustického tlaku
DL_α [dB]	kategorie zvukové pohltivosti
DL_R [dB]	kategorie vzduchové neprůzvučnosti

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí bakalářské práce Ing. Zuzaně Kabešové za odbornou pomoc a hodnotné připomínky při vedení práce.

1 Úvod

Tato bakalářská práce je zaměřena na způsoby snižování hlukové zátěže v zastavěných oblastech, kde by mohlo docházet k nepříznivému vlivu hluku na populaci. Lidé, žijící ve městech s hustou dopravní sítí, si mnohdy neuvědomují, jak velký vliv na ně má život v hlučném prostředí. Bohužel problematika hluku je v porovnání s jinými faktory znepríjemňujícími život až na druhém místě. Hluk není vidět ani cítit jako například znečištěné řeky či smog, ale při nevěnování dostatečné pozornosti protihlukovým opatřením by se mohl stát hlavním zdrojem psychických i zdravotních problémů obyvatel žijících v nepřiměřeně vysoké hladině hluku.

Snažíme-li se odstranit hluk, musíme nejprve pochopit hluk samotný. Dalším důležitým faktorem je pochopení lidského těla. Jak člověk hluk vnímá? Čím je ovlivněn nejvíce? Jak lidem v potížích s hlukem pomoci? Jakými způsoby lze nepříjemný hluk snížit? Tyto otázky jsou jeden z mnoha důvodů, které přispěly ke vzniku této bakalářské práce.

Dnešní vyspělá doba nabízí velké možnosti v použití různých materiálů a technologických procesů. Při návrhu různých technických opatření snižujících hluk je také vhodné brát ohledy na normy a zákony, aby vznikem nových protihlukových opatření nevznikaly jiné potíže. Jedním z cílů této bakalářské práce je shrnutí vlastností dnes používaných protihlukových opatření. Především pak protihlukových pohltivých stěn z důvodu možnosti použití na již vzniklý hluk a relativní rychlost výstavby.

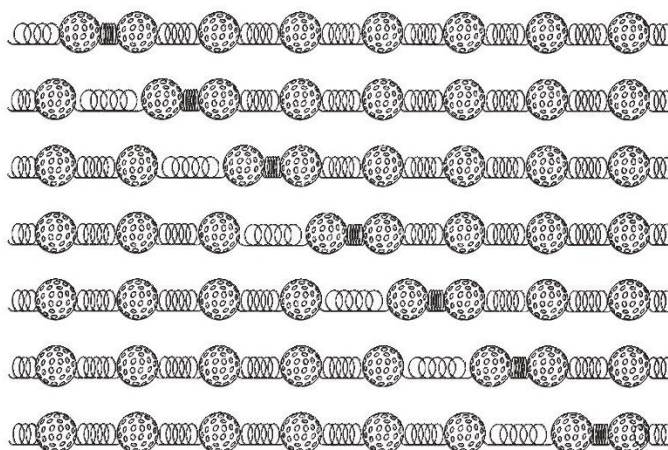
2 Základní principy šíření hluku a jeho vliv na člověka

2.1 Zvuk a jeho vlastnosti

Zvuk můžeme obecně definovat jako mechanické kmitání hmotných částic pružného prostředí, které je schopné zachytit lidské ucho. Lidské ucho, jak o tom bude psáno v následujícím textu, je schopno zachytit od 16 do 20 000 kmitů za sekundu. Akustika se však zabývá i jinými pásmy frekvencí. Zvuky s frekvencí, které jsou pod hranicí slyšitelnosti, se nazývají infrazvuk a zvuky s frekvencí nad hranicí slyšitelnosti jsou označovány jako ultrazvuk. Zvuk také v některých případech může být vyjadřován jako hluk. Kdy se používá který z těchto termínů není přesně určeno. Oba vyjadřují totéž, záleží ovšem na úhlu pohledu na daný problém, například budu-li sedět na lavičce v parku a relaxovat, bude pro mne opodál projíždějící automobil vydávat hluk. Budu-li ale nadšenec do automobilů bude pro mne tento automobil vydávat příjemný zvuk. Hluk je tedy zvuk působící škodlivě či rušivě bez ohledu na jeho intenzitu. [6][10]

2.1.1 Šíření zvuku

Zvuk se šíří v hmotném pružném prostředí, jako je například vzduch a jiné plyny, kapaliny, pevné látky. Šíří se kmitáním částic se vzájemnou vazbou. Jako příklad uvedu míčky na stolní tenis spojené pružným materiálem. Zanedbáme-li všechna tření, stačí dát podnět k pohybu prvnímu míčku a postupně s určitým časovým zpožděním se rozkmitají všechny míčky v řadě.



Obr. 2.2.1: Šíření zvukové vlny. Převzato z [4]

Jak je vidět na Obr. 2.2.1 vychýlení molekuly způsobí stlačení pružiny ve směru šíření a

natažení pružiny proti směru šíření. Stlačená část pružiny dodá energii následující molekule, ta opět stlačí pružinu před sebou a natáhne pružinu za sebou. Tímto způsobem se šíří energie molekulami až na konec molekulové řady. Tyto molekuly ve vzduchu vyplňují prostor s hustotou $1.21 \text{ kg}\cdot\text{m}^3$. [4] Každá z molekul se chová jako jednoduchý lineární oscilátor. Pohybová rovnice pro lineární oscilátor má následující tvar [1]

$$m \frac{d^2 y}{d\tau^2} + ky = 0 \quad (2.1)$$

kde $y[\text{m}]$ výchylka
 $m[\text{kg}]$ hmotnost kmitající molekuly
 $k[\text{N/m}]$ tuhost pružiny

a její řešení je následující [1]

$$y = y_0 \sin(\omega_0 \tau + \varphi_0) \quad (2.2)$$

Frekvence udává počet kmitů, které absolvuje molekula za jednu sekundu. Frekvence nebo také někdy kmitočet se značí f , a má jednotku Hertz [Hz]. Základní vztah pro výpočet frekvence je [1]

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.3)$$

Ve výpočtech se mnohdy používá vztah pro frekvenci s použitím úhlové frekvence ω : [1]

$$\omega = 2\pi f \quad (2.4)$$

Dalším důležitým parametrem pro zvuk je vlnová délka. Značí se λ a je udávána v metrech. Značí délku vlny, neboli vzdálenost, kterou urazí zvuková vlna za jednu periodu. Z této věty vyplývá i vztah pro výpočet: [12]

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.5)$$

2.1.2 Rychlost šíření zvuku a akustická rychlost

Rychlost šíření zvuku úzce souvisí s vlnovou délkou a frekvencí. Značí se c a její rozměr se udává v metrech, které vlna urazí, za sekundu. Základní vztah pro výpočet získáme přepočtem z (2.5). Vztah pro šíření zvuku ve vzduchu je [7]

$$c = 331,8 + 0,602t \quad (2.6)$$

kde $t [^\circ\text{C}]$ teplota

Rychlost šíření zvuku závisí také na materiálu, ve kterém se zvuk šíří. Pro přehled uvedu tabulku rychlosti šíření zvuku v běžných materiálech.

Tab. 2.2.1 Tabulka rychlosti šíření zvuku v materiálech [4][5]

Látka (teplota)	Rychlost [m/s]
Vodík (0 °C)	1270
Oxid uhličitý (25 °C)	259
Kyslík (25 °C)	316
Suchý vzduch (0 °C)	331,4
Suchý vzduch (25 °C)	346,3
Helium (0 °C)	970
Rtuť (20 °C)	1400
Destilovaná voda (25 °C)	1497
Mořská voda (13 °C)	1500
Led (-4 °C)	3250
Stříbro (20 °C)	2700
Měď (20 °C)	3500
Ocel (20 °C)	5000
Hliník (20 °C)	5200
Dřevo bukové – podél letokruhů	4537
Dřevo bukové – napříč letokruhy	1138

Zvuk se šíří v kapalinách a plynech pouze longitudinálním (podélným) vlněním. U pevných materiálů se zvuk šíří vlněním longitudinálním i transverzálním (příčným). Rychlost longitudinální vlny je vždy větší rychlost než vlny transverzální. [4][6][7]

Rychlost s jakou kmitají jednotlivé částice prostředí, ve kterém se šíří zvuková vlna, se nazývá akustická rychlost. Značí se v a udává se ve stejných jednotkách jako rychlost šíření zvuku, tedy v [m/s]. Vzorec pro její výpočet dostaneme derivací z rovnice pro výchylku kmitajícího bodu a vypadá následovně [1]

$$v = \omega u_0 \cos \omega \left(\tau \pm \frac{x}{c} \right) \quad (2.7)$$

kde u_0 [m] amplituda akustické výchylky

τ [s]	čas
ω [Hz]	úhlová frekvence
x/c [s]	čas potřebný k uražení dráhy

Rychlost šíření zvuku a akustická rychlost jsou dva pojmy, které je důležité odlišovat. Uvidíme-li tyto rychlosti napsané vedle sebe, akustickou rychlost poznáme velmi snadno, je o několik řádů nižší. [1]

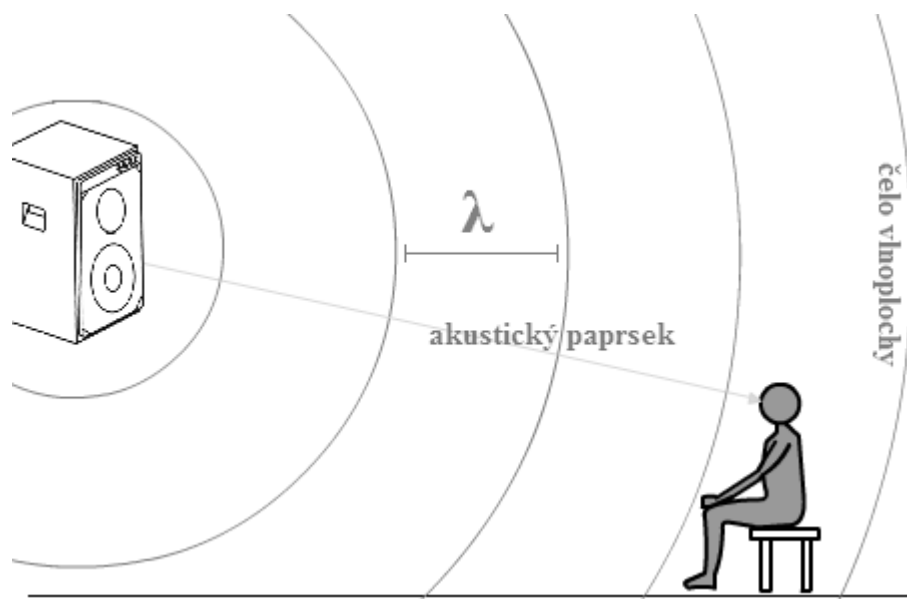
2.1.3 Šíření zvuku ve venkovním prostoru

Venkovní prostor je charakteristický svými proměnlivými parametry. Hustota, teplota, vlhkost vzduchu a vzdušné proudy jsou parametry nestálé ve velkém objemu vzduchu, jakým je vzdušný obal Země. Všechny tyto parametry ovlivňují hladinu akustického tlaku při přenosu hluku ve venkovním prostoru. Faktory, které působí na šíření zvuku, jsou: [2]

- Absorpce zvuku ve vzduchu
- Mlha
- Déšť
- Sníh
- Budovy
- Zeleň
- Vzdušné víry a turbulence

Působením těchto veličin na zvuk bývá při měření akustického tlaku hodnota menší než hodnota vypočítaná. [2][3]

Je důležité ještě poznamenat, že zvuk se šíří prostřednictvím vlnoploch. Jak je vidět na *Obr. 2.2* vlnoplochy jsou od sebe vzdálené určitou vzdálenost – vlnovou délkou. První z vlnoploch se nazývá čelo vlnoplochy. Zvuk se šíří k posluchači imaginární přímkou, která je kolmá na vlnoplochy a nazývá se akustický paprsek. Mezi jednotlivými vlnoplochami vznikají místa, kde je vzduch zředěný, naopak každá vlnoplocha obsahuje nahuštěné částice vzduchu.



Obr. 2.2 Šíření ve vlnoplochách. [5]

2.1.4 Akustický výkon a Intenzita zvuku

Zvuk se ve všech případech šíří od svého zdroje, jeho nejdůležitější parametr je akustický výkon. Akustický výkon P [W] značí energii, kterou vynaloží zdroj na vytvoření zvukových vln. Hodnotu akustického výkonu lze uvažovat jako energii prošlou určitou plochou za určitý časový úsek, jak vyjadřuje vztah [7]

$$P(t) = \frac{dE}{dt} \quad (2.8)$$

Projde-li, tento akustický výkon plochou S , dostaneme novou veličinu. Ta se nazývá měrný akustický výkon N a její jednotka je [W/m²] [7]

$$N = \frac{dP}{dS \cos \vartheta} \quad (2.9)$$

kde ϑ úhel, který svírá akustický paprsek s kolmicí plochy, na kterou dopadá

Hodnota této veličiny je okamžitá. V akustice potřebujeme pracovat s hodnotami středními. Střední hodnota měrného akustického výkonu se nazývá akustická intenzita. [1][9][10]

Akustická intenzita se značí I [W/m²] a její vzorec je [7]

$$I = \frac{p_{ef}^2}{\rho c} \quad (2.10)$$

Akustika se zabývá širokým rozsahem řádů u veličin, které popisuje. Vezmeme-li

například výkon lidského hlasu, který vydává člověk, když šeptá, je 0,000 000 001W. Motor proudového letounu má akustický výkon 100 000W. Takovýto rozsah veličin je velmi nepraktické popisovat v lineárním měřítku a to je jedním z důvodů, proč se v akustice zavedl pojem hladin akustických veličin. Při vyjadřování veličin v hladinách je důležité si uvědomit, že nemůžeme logaritmovat jednotky s jejich rozměrem. Logaritmujeme tedy poměr veličin a jednotky, které v souvislosti s hladinami používáme, se nazývají decibely [dB]. Hladinu vždy vyjadřujeme jako poměr měřené veličiny s veličinou referenční. Referenční, nebo také někdy vztaznou hodnotu, je důležité u vyjadřovaných vztahů uvádět. [1][2][5]

Hladina intenzity zvuku je vyjádřena jako [1]

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (2.11)$$

kde I zvuková intenzita, kterou vyjadřujeme v hladině
 I_0 referenční zvuková intenzita (obvyklá hodnota 10^{-12}W/m^2)

Hladina akustického výkonu [1]

$$L_P = 10 \log \frac{P}{P_0} \quad (2.12)$$

kde P akustický výkon, který potřebujeme vyjádřit
 P_0 referenční hodnota akustického výkonu (obvyklá hodnota 10^{-12}W)

Hladina akustického výkonu bývá v některé literatuře také nazývána L_W .

Hladina akustického tlaku [2]

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad (2.13)$$

kde p akustický tlak, který potřebujeme vyjádřit
 p_0 referenční hodnota akustického tlaku (obvyklá hodnota $2 \cdot 10^{-5}\text{Pa}$)

Pro zjištění vztahů mezi hladinami akustického tlaku a intenzity můžeme dosadit do (2.11) akustickou intenzitu z (2.10) a dostaneme následující rovnici [2]

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{\frac{p^2}{\rho_0 c_0}}{\frac{p_0^2}{\rho_0 c_0}} = 20 \log \frac{p}{p_0} + 10 \log \frac{\rho_0 c_0}{\rho c} \quad (2.14)$$

Jak je vidět, dostali jsme rovnici pro hladinu akustického tlaku zvětšenou o člen $10 \log \frac{\rho_0 c_0}{\rho c}$. Tento člen rovnice má, v běžných atmosférických podmínkách, hodnotu 0,2 dB a lze jej

zanedbat. Z (2.14) plyne, že hladina akustického tlaku a hladina intenzity zvuku jsou téměř stejné a lze toho využít při určování hladiny intenzity měřením akustického tlaku. [1][2][10]

2.2 Lidský sluchový orgán a vliv hluku na člověka

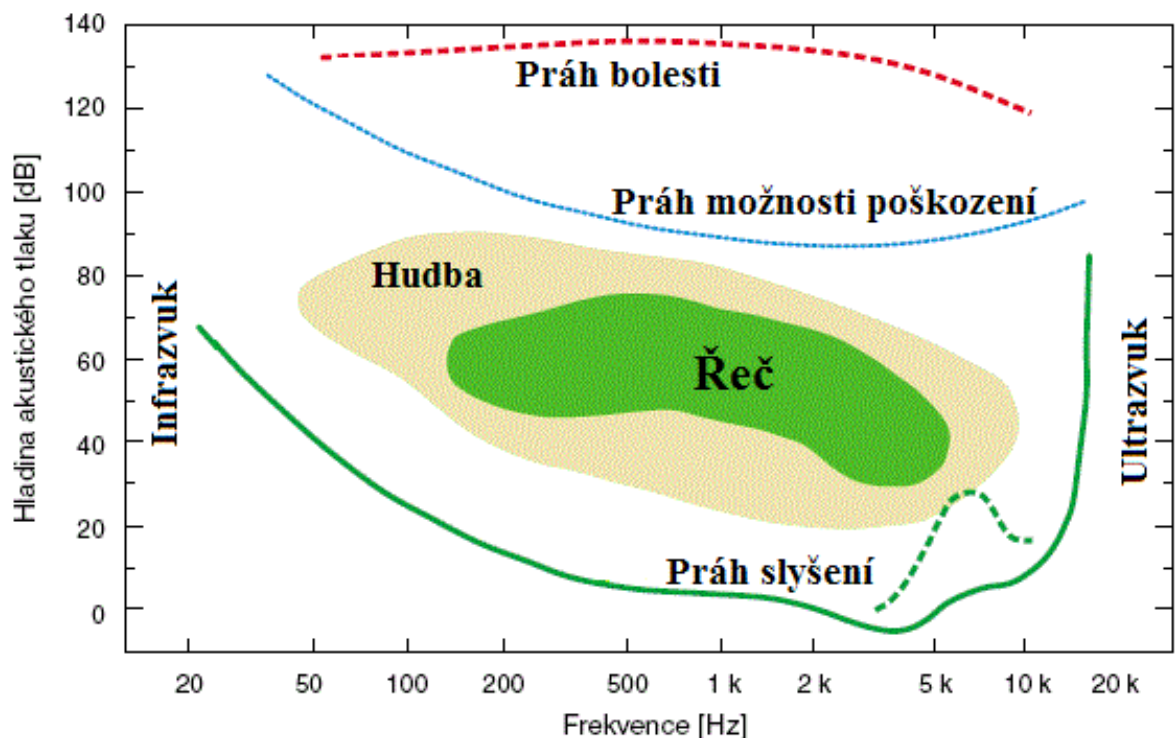
Lidský sluchový orgán neboli ucho slouží člověku k vnímání zvuků, které na člověka působí. Člověk neslyší všechny akustické signály, které se vyskytují v jeho okolí, dokonce i dva lidé stojící vedle sebe neslyší zvuk stejně. To je způsobeno například stářím, psychickým stavem osoby, prostředím, ve kterém osoba žije a pracuje, používanou ochranou při provádění velmi hlučných činností nebo poruchami sluchu.

2.2.1 Sluchový orgán

Zdravý sluchový orgán člověka vnímá zvuky a hluk jako vlnění molekul prostředí, které přichází z vnějšku. Toto vlnění zachytí jediná viditelná část sluchového orgánu a tou je ušní boltec. Vlny jsou jím zachyceny a usměrněny do zvukovodu. Na konci zvukovodu je bubínek, který se vlivem dopadajících vln rozkmitá. Bubínkem končí první ze tří částí sluchového orgánu člověka a tou je vnější ucho. Další dvě části jsou střední ucho a vnitřní ucho. Bubínek působí na středoušní kůstky kladívko (lat. malleus), kovádlíku (lat. incus) a třmínek (lat. stapes). Kůstky středního ucha přenáší vlny k bláně, která se nazývá oválné okénko. Oválné okénko odděluje střední a vnitřní ucho a předává vlny tekutině, tou je vyplněn hlemýžď vnitřního ucha. Tekutina rozkmitá bazilární membránu v určitém místě podle tónu zvuku. Bazilární membrána působí na vláskové buňky, zde se mechanický signál převádí na elektrické impulsy. Elektrické impulsy jsou přenášeny sluchovým nervem ke zpracování do mozku. [15][16]

Zdravé ucho umí rozeznat signály přibližně od 20 Hz do 20 kHz. [9] Signály, které jsou pod slyšitelnou hranicí lidského ucha (20Hz) se nazývají infrazvuk a člověku přes jejich neslyšitelnost škodí. Působí negativně na jeho psychiku. Signály nad slyšitelnou hranicí (20kHz) neboli ultrazvuk se využívají i ve zdravotnictví. [11][13] Každý jedinec se s přibývajícím věkem hraničním hodnotám postupně vzdaluje, hlavně horní hranice se stářím velmi snižuje. Mezi hodnotami 20 Hz a 20 kHz člověk slyší různé frekvence různě hlasitě. [10] Při spodní hranici musí na rozpoznání zvuku intenzita vzrůstat pozvolně, naopak u horní hranice musí intenzita s rostoucí frekvencí vzrůstat velmi rychle, jak to znázorňuje *Obr. 2.3*. Nejcitlivější je lidské ucho v rozmezí 2 až 4 kHz. [3] Z *Obr. 2.3* je také patrné, že lidské ucho má i rozsah v hladině akustického tlaku. Toto rozmezí se nazývá dynamický rozsah a u

zdravého člověka je 0 až 120 dB [5]. Je to rozsah od nejtiššího zvuku po nejhlasitější zvuk, který je lidské ucho schopno zachytit. Dynamický rozsah je zespoda limitován hranicí slyšení a shora hranicí bolesti. Rozsah 120 dB je uváděn pro kmitočet 1 kHz a po stranách frekvenčního pásma se velmi snižuje. Vystavení sluchu intenzitě nad 140 dB způsobuje ničení vláskových buněk, intenzita převyšující 170 dB vede ke zničení středoušních kůstek a bubínku. Tyto hodnoty jsou uváděny při krátkodobém působení. Při působení hluku na člověka pracujícího v určité intenzitě zvuku po celou pracovní dobu se hranice poškození sluchu (unavení a zničení vláskových buněk) sníží na 85 dB. [2]



Obr. 2.3 Hranice slyšení pro člověka 20-30 let. Převzato z [11]

2.2.2 Poruchy sluchu a zdravotní problémy hlukem způsobené

Sluchové buňky s přibývajícím věkem člověka odumírají a člověk slyší hůře, takovému jevu se říká presbyakuzie. [11]

Pokud je sluchový orgán vystaven akustické energii, která je nad mechanickou únosností ucha, způsobí energie destrukci některých buněk vnitřního ucha a ve vnitřním uchu, specifickěji v blanitém hlemýždi vznikají jizvy. Ty způsobí frekvenční ohraničení sluchu, kterému se říká akustické trauma. [11][13][17]

Při dlouhodobém vystavení člověka intenzitě zvuku nad 85 dB po dobu několika hodin denně dochází u lidí k vyčerpání metabolických rezerv vláskových buněk, ty se pak

nedostatečně obnovují a odumírají. Tato vada způsobuje člověku znatelné snížení citlivosti v pásmu od 4kHz. [13][15]

Vliv nadměrné hlukové zátěže na člověka je velmi špatně měřitelný, při vystavení člověka hluku nevznikají žádné viditelné úrazy či se účinek neprojevuje okamžitě. Z tohoto důvodu by každý člověk měl podle svých okamžitých pocitů použít různá opatření pro ochranu svého sluchu. Následující odstavce popisují ony neviditelné účinky.

Působení hluku dlouhodobého rázu a intenzitě 65 – 70 dB ovlivňuje kardiovaskulární systém. Hluk v tomto případě způsobuje samovolnou aktivitu nervového a hormonálního systému, což vede ke změnám krevního tlaku, zužování cév krevního oběhu a nedostatečnému prokrvení životně důležitých orgánů. [43]

Noční hluk je další faktor ovlivňující zdraví člověka. V odstavci 3.1 jsou přehledně vidět nižší povolené hladiny hluku v nočních hodinách oproti denním a tedy i důležitost klidu pro spánek. Působí-li hluk na spícího člověka, ovlivňuje tím jeho fyziologické reakce (tepová frekvence, buzení, hloubka spánku, neklidný spánek) během spánku, sekundárně pak ovlivňuje hluk i problémy vzniklé z nedostatku spánku např.: [43]

- stres
- kardiovaskulární nemoci
- deprese
- obezita
- nepozornost
- vyčerpanost

Nepřiměřený hluk může také způsobovat přeslechnutí důležitých informací (klakson automobilu, výstražné zařízení). Hlasitost sdělované informace by měla být alespoň o 15 dB vyšší než hladina hlasitosti pozadí. Nedostatečný odstup hlasitosti informací má škodlivý vliv na chování, vyrovnanost či spokojenost a obzvláště negativní vliv má na děti v průběhu osvojování řeči. [43]

3 Způsoby snižování hluku

Hluk v obydlích je způsoben mnoha faktory (doprava, stavební činnosti, hluk z bydlení a trávení volného času, průmysl). Nejvýznamnější a nejvíce rušivý je hluk z dopravy. [18] Ta je v obydlích reprezentována dopravou silniční (osobní a nákladní automobily), železniční (vlaky, tramvaje, metro), lodní a leteckou. Každý typ

dopravy vydává specifický a rušivý hluk při různých podmínkách provozu a za různých klimatických podmínkách.

Z důvodu pouze lokálního působení hluku z letecké a lodní dopravy a tedy působení na malé množství obyvatel, se budu v této práci věnovat podrobněji hluku z železniční dopravy a hluku z automobilové dopravy.

Snižování hluku je možné rozdělit na dvě základní skupiny primární a sekundární či aktivní a pasivní. Primární opatření jsou opatření, která se provádí přímo na zdroji, aby hluk nebyl vyzařován do okolí. Můžeme mezi ně řadit zpřesnění výroby vozidla, omezení rychlosti vozidla, izolační kryty nebo například přesunutí určitých úkonů na jiné místo (sestavení vlakové soupravy, brzdné a zrychlovací úkony, posunutí významných křižovatek mimo centra). [40]

Pasivní opatření se zabývají minimalizováním již vzniklého hluku, řadíme mezi ně protihlukové stěny, zemní valy, zvukoizolační okna či protihlukové fasády domů. [40]

Při rozhodování, který typ použít, se zohledňuje cena, míra snížení hluku, namáhavost a čas potřebný k uskutečnění úpravy. V některých případech je dobré myslet i na budoucnost i přes vyšší ceny úpravy. [40]

3.1 Hlukové limity

Pro ochranu obyvatel před hlukem v České Republice slouží předpis č. 258/2000 Sb. „Zákon o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů“ [42] ze dne 14. 7. 2000, který je účinný od 1. 1.2001. Přesněji §30 - §34 „Ochrana před hlukem, vibracemi a neionizujícím zářením: Hluk a vibrace“. [42]

Stanovené limity hluku pro venkovní i vnitřní prostory udává předpis č. 272/2011 Sb. „Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací“ [41], který platí od 1. 11. 2011 a udává následující hodnoty: [41]

Tab. 3.1 Hygienické limity hluku ve vnitřních prostorech obytných staveb

hluk	L_{Aeq} [dB]	den - noc*
základní hladina i pro hluk z dopravy		40 - 30
hluk z dopravy pro stavby starší 31.12.2005		45 - 35

* den je stanovený v čase 6:00 – 22:00

noc je stanovena v čase 22:00 – 6:00

Tab. 3.2 Hygienické limity hluku ve venkovních prostorech

hluk	L_{Aeq} [dB] den - noc*
hluk ze silniční dopravy silnice III. třídy	55 - 45
hluk ze železniční dopravy	55 - 50
hluk ze silnic a dálnic I. a II. třídy	60 - 50
hluk v ochranném pásmu drah	60 - 55
hluk staré** silniční dopravy	70 - 60
hluk staré** železničních drah	70 - 65

* den a noc stejné jako u dodatku tabulky Tab. 3.1

** hluk vzniklý před 1.1.2001 a způsobený silniční nebo železniční dopravou

Tyto limity jsou pro provozovatele dopravních staveb zavazující. Při výstavbě nových silnic a železnic je důležité, aby ekvivalentní hladina akustického tlaku byla pod stanoveným limitem a nedocházelo tak ke zvýšenému působení hluku na lidi žijící v okolí.

3.2 Železniční doprava

Kolejová vozidla, která hluk způsobují, jsou jako celky vlaky, tramvaje a metro. Metro má pro obyvatele měst nejméně rušivé účinky, jelikož hluk je od okolního prostoru odizolován nejlépe – uzavřením do tunelu. Vlaky a tramvaje mají na obyvatele významnější účinky, neboť projíždí mnohdy v těsné blízkosti jejich obydlí.

Při snižování hluku z železniční dopravy je důležité určit přesný zdroj hluku. Nemůžeme brát jako zdroj hluku celý vlak. Zvuky, které vydává vlak při průjezdu městem, musíme zkoumat jako elementární rušivé podněty částí vlaku: [18] [20]

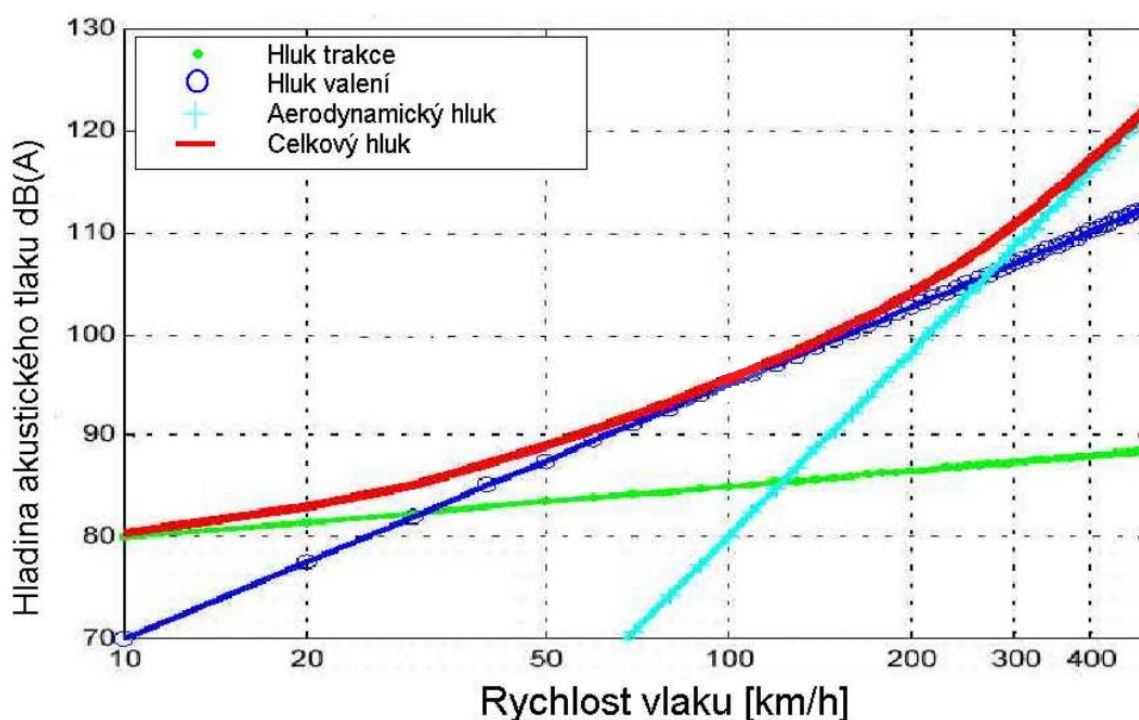
- karoserie – způsobeno rozrážením vzduchu plochou karoserie
- motor – nepřesnost a nevyváženost točivých částí motoru a tření
- kola – tření kovových kol o koleje
- brzdy – chvilkový hluk při zpomalování vozidla
- klimatizace – při nižších rychlostech převažuje zvuk ventilace
- sběrače – hluk tření při styku sběrače s trakcí
- bezpečnostní zařízení – klakson, zabezpečení přejezdů

Velikost těchto složek je závislá zejména na rychlosti vozidla, hustotě provozu, druhu pohonu (má-li vozidlo elektrický pohon - druh trakce, nemá-li elektrický pohon – přesnost

výroby a stáří diesellového agregátu), prostředí trasy (členitost terénu, druh povrchu, zatáčky), konstrukcí karoserií a také na klimatických podmínkách. [17] [20]

Faktor, kterým je výsledný hluk ovlivňován nejvíce, je rychlost vozidla. [19][20] Při rychlostech nižších než 60 km/h [20] je převládající hluková složka motorů a může se měnit v rozsahu $0 - 20 \log V$ (hladina hluku). [20] V pásmu rychlostí uváděném jako střední (60-200 km/h) převládá složka hluku od styku kol s kolejnicemi. Rychlostní závislost je v rozpětí $20 - 30 \log V$. Ve vysokých rychlostech, které jsou nad 200 km/h, převažuje aerodynamická složka hluku s rychlostní závislostí v rozpětí $50 - 70 \log V$. [20]

Na *Obr. 3.1* je přehledně zobrazena velikost složek hluku v závislosti na rychlosti a také celková velikost hluku.



Obr. 3.1 Závislost složek hluku na rychlosti. Převzato z [20]

3.2.1 Primární metody snížení hluku železniční dopravy

Primární metody snížení hluku se věnují snižování hladiny intenzity zvuku vyzařované samotným zdrojem. V předešlém textu jsem zmiňoval části vlakové soupravy, které vydávají hluk a z *Obr. 3.1* vyplývají ty nejdůležitější (aerodynamický hluk, hluk valení a hluk trakce). Snižování rychlosti vlaků se sice řadí do kategorie primárních protihlukových ochrann [40], avšak není na místě tuto volbu používat. Snižuje se tím konkurenceschopnost vlakové přepravy vůči ostatním způsobům dopravy.

Aerodynamický hluk převládá v rychlostech nad 200 km/h a je tedy zřejmé, že v ČR tuto složku můžeme vyloučit. Aerodynamický hluk vzniká při rozrážení vzduchu vozidlem.

Vlaky konstruované na vysoké rychlosti mají přísné požadavky na aerodynamický tvar nejen vnější kapotáže, ale i kapotáže podvozku vozidla a zakrytí kol. [20][22]

Hluk trakce převládá v malých rychlostech do 60 km/h. Podle *Obr. 3.1* můžeme pozorovat lineární závislost hluku hnacího ústrojí, který roste se zvyšující se rychlostí velmi povolna. Hluk vzniká většinou v točivých částech motorů, které nemusí být přímo z výroby vycentrovány, nebo vzhledem ke způsobu chodu je z principu nutné, aby vibrace vydávaly. Hluk motoru lze snižovat vyvíjením nových technologií a lehčích materiálů. V tomto případě je i velmi malé snížení hluku spojeno se značnými finančními náklady. Stárnutím všech částí motoru hluk přibývá, tento problém se řeší opravami a výměnou opotřebovaných dílů za nové. [19][20][22]

Hluk valení převládá v nejpoužívanějším rychlostním pásmu vlakových souprav od 60 – 200 km/h. Vzniká stykem povrchu kola a kolejnice. Při snaze minimalizovat hluk valení je snaha o získání absolutně rovných styčných ploch kola a kolejnice. Povrch kolejnice se v místech rozjezdu a brzdění vlaků stává nerovným a dochází k vytvoření vlnkovité kolejnice. Tyto vlnky jsou na kolejnicích viditelné i okem. Odstranění vlnkovitosti kolejnic se provádí nejčastěji broušením a frézováním povrchu kolejnic, úprava kolejnic tímto způsobem sníží hluk až o 20dB [22][20]. Frézování kolejnic je velmi účinná úprava, ale je pouze lokálního charakteru a je důležité frézovat i nerovný povrch kol. [20] Drsnost oběžných ploch kol vlakových souprav je velmi nežádoucí a vzniká brzděním. Brzdy u některých nákladních vagónů jsou řešeny přitlakem brzdového špalíku na oběžnou plochu kola. Brzdové špalíky se vyráběly z šedé litiny a při brzdě činnosti odíraly a zdrsňovaly plochu kola, tím způsobovaly zvyšování valivého hluku. Od roku 2003 [23], kdy byly schváleny nové brzdové špalíky z kompozitních materiálů, se opotřebení styčných ploch kol zmírnilo. Měřením bylo zjištěno snížení hladiny intenzity o 8-10 dB. [22][23]

3.2.2 Sekundární metody snižování hluku železniční dopravy

Sekundární metody jsou založeny na snižování vzniklého hluku v určité vzdálenosti od zdroje. Jejich nevýhoda je snížení hluku pouze v některých oblastech. Mezi nejpoužívanější sekundární opatření snižující hluk patří: [40]

- protihlukové stěny
- protihlukové valy
- protihlukové valy s přídavnou stěnou
- protihlukové zdi s jednostranným valem

- ozeleněné strmé valy

O protihlukových stěnách je psáno v 3. kapitole této práce.

Protihlukové valy se vytváří podél železniční tratě na místech, kde je potřeba snížit hluk působící na nízkou zástavbu. Útlum valu závisí na efektivní výšce. Ta je vymezena přímkou s počátkem v ose kolejnice a koncem u příjemce zvuku, přímka prochází vrchním okrajem protihlukového valu a na straně příjemce by měla procházet nad příjemcem. Na stavbu valu se používá jakéhokoli materiálu, který je v souladu s ekologickými předpisy daného prostředí. Valy se mohou budovat pouze na místech s dostatečným prostorem. Je-li prostoru méně, lze využít protihlukový val s přídatnou stěnou. Stěna v tomto případě funguje jako opěrný bod pro materiál valu. V případě, kdy výška protihlukového valu nepostačuje, využívá se přídatné protihlukové stěny umístěné na vrchní ploše valu a navyšující tak jeho velikost. [25]

Protihlukové valy jsou stavěny z přírodních materiálů a jsou proto více začleněny do krajiny přírody. Pro účel zkrášlení se používá ozelenění valu. Ozelenění je prováděno ve většině případů keři, které nejsou náročné na údržbu a jejichž kořeny zpevní vrchní část valu. [25]

Další možnosti snížení hluku železniční dopravy (aktivní i pasivní): [20][22][23]

- Bezстыková kolej – vznikne svařením dvou kolejnic při vynechání dilatační mezery pro vyrovnání teplotní roztažnosti materiálu kolejnic
- Změna převýšení v oblouku zatačky vlaku – při nájezdu vlaku do zatačky se okolky, držící vagón mezi kolejnicemi, třou o kolejnice a vzniká zvýšená hladina hluku
- Izolace fasád domů a protihluková okna – možnost používaná při renovaci domů poblíž tratí
- Absorbér hluku (=bokovnice kolejnice) – existují dva typy absorbérů vnitřní a vnější. Vnitřní absorbér se montuje přímo na kovovou část kolejnice. Vnější absorbér se montuje vně koleje. Absorbéry se používají zejména v tunelech.
- Pružné kolejnicové podložky – mezi kolejnice a pražce se vkládá pružný materiál zabraňující šíření vibrací a hluku do dalších částí tratě

Pro přehlednost uvedu následující dvě tabulky, z nichž první zaznamenává orientační náklady spojené s pořízením protihlukového opatření a druhá ukazuje míru snížení hladiny hluku.

Tab. 3.3 Tabulka orientačních nákladů některých možností snížení hluku. Převzato z [24]

Opatření	Cena
Bariéra 2m	1000 €/m
Bariéra 3m	1350 €/m
Bariéra 4m	1700 €/m
Izolovaná okna	2200 – 8000 €/m
Brzdové špalíky typu K	4000 - 10000 €/vagón
Brzdové špalíky typu LL	500 – 2000 €/vagón
Trat'ové rezonanční tlumiče	300 – 400 €/m
Rezonanční tlumiče kol	3000 – 8000 €/kolo

Tab. 3.4 Tabulka hodnot snížení hluku. Převzato z [22]

Metoda	Snížení hluku [dB]	Vliv na snížení hluku	Komentář
brzdové špalíky	8 - 10	celoplošně	pro nákladní vozidla
tlumiče kol	1 - 4	celoplošně	údržba kol, řešení pro diskové sady kol již existuje, pro jiné se vyvíjí
kolejnicové absorbéry	1 - 4	lokální	obvykle se montují při údržbě kolejnic
odstranění zvlnění	20	lokální	provádí se při údržbě trati
renovace trati	10	lokální	standartní údržba trati
protihlukové bariéry	5 - 15	lokální	negativní dopad na krajinu, neatraktivní pro cestující
zvukotěsná okna	10 - 30	lokální	efekt pouze při zavřených oknech

3.3 Silniční doprava

Silniční doprava je nejčastěji využívaným dopravním způsobem. V ČR bylo položeno 55 700 km silnic a dálnic k 1.1.2011, neboli cca 1,5 km/km². [26] To znamená největší hustotu cest ze všech typů pozemní dopravy a také největší vliv hluku z dopravy na obyvatele.

U silniční dopravy záleží na rozložení dopravních prostředků, bude-li více automobilů nákladních, bude vyšší hladina zvukové zátěže. Podobně je nutné rozeznávat vzdálenost míst od křižovatek, neboť při zastavování a rozjíždění automobily způsobují vyšší hluk než při projetí úseku konstantní rychlostí. [20]

Jednotlivé složky hluku z automobilové dopravy jsou:

- aerodynamický hluk
- hluk motoru
- hluk tření pneumatik o vozovku
- tlumiče
- ventilátor chlazení (motoru + klimatizace)

Faktorem ovlivňujícím převládající složku je u automobilové dopravy, stejně jak tomu bylo u železniční dopravy, rychlost. Pod 30 km/h [18] převládá hluk z pohonné jednotky osobního automobilu, pod 50km/h u nákladního automobilu, podmínkou však je, aby jednotka byla funkční (vozidlo musí zrychlovat či brzdit motorem). V rozmezí rychlostí 30 – 200 km/h [18][20] převládá hluk styku pneumatiky s vozovkou. Tento hluk se dá dále rozdělit na: [20]

- otřesy a rázy mezi vozovkou a pneumatikou
- aerodynamické procesy způsobené pneumatikou
- adheze pneumatiky na povrchu vozovky
- vibrace pneumatiky

Při rychlostech vyšších než 200 km/h je nejvyšší hladina hluku způsobena aerodynamickým hlukem. Hluk tlumičů a hluk ventilátorů chlazení má nejnižší hladinu hluku, která ve většině případů nezávisí na rychlosti vozidla a může se stát, že převládá. Převládající zvuk ventilátorů můžeme slyšet u vozidel jedoucích velmi malou rychlostí, popřípadě stojících vozidel. [20]

Metody pro snížení hlukové zátěže jsou podobně jako u železniční dopravy rozděleny na aktivní (snižující hluk vydávaný zdrojem) a pasivní (snižující hluk již vyzářený).

Pasivní metody u silniční dopravy jsou podobné jako u železniční v odstavci 3.2.2. Proto se budu věnovat pouze aktivním prostředkům na snížení hlukové zátěže.

3.3.1 Snížení hluku silniční dopravy povrchem vozovky

Jedním z nejvíce používaných opatření k redukci hluku, je protihluková vrstva vozovky. Jedná se o svrchní vrstvu vozovky, která přichází do styku s pneumatikami automobilu - obrusná vrstva vozovky. Tato vrstva po vhodných úpravách může snížit vyzařovanou hladinu hluku a navíc některé úpravy již vyzářený hluk pohlcují. Pohlcují i hluk vyzařovaný motorem automobilu, proto se tyto povrchy hodí spíše na nízkorychlostní typy komunikací. Možných úprav obrusných vrstev vozovky je několik: [28]

- nátěrové technologie prováděné na betonové vozovky
- vymývaný beton
- litý asfalt
- protihlukové tenké asfaltové koberce včetně mikrokoberců
- drenážní a otevřené asfaltové koberce
- asfaltový koberec s přísadou gumy

Vliv některých úprav zobrazuje Tab. 3.5.

Tab. 3.5 Vliv složení obrusné vrstvy vozovky na hladinu hluku. Převzato z [28]

Obrusná vrstva vozovky	Ovlivnění hladiny hluku [dB]
cementový beton	+2,0
cementový beton s hlazením pomocí juty	-2,0
zdrsněný litý asfalt	+2,0
zdrsněný asfaltový beton nebo AKM	0,0
AKM zrnitosti 0/8 a 0/11 bez dodatečného podrcení	-2,0
otevřený AK s mezerovitostí min. 15%obj. zrnitosti 0/11	-4,0
otevřený AK s mezerovitostí min. 20%obj. zrnitosti 0/11	-5,0

Nátěr obrusné vrstvy vozovky se provádí speciálním nástřikem vrstvy na stávající vrchní část vozovky. Nástřiková vrstva je tvořena emulzí modifikovaného asfaltu s kusy kamenů o určité velikosti. Nátěrová technologie se může provádět dvěma způsoby. Prvním způsobem je nanesení nástřiku na podklad a zaválcování kameniva do nástřiku. Druhou možností je nástřik na již položené kamenivo a zaválcování. Nátěr obrusné vrstvy snižuje hluk minimalizací vlivu oscilace pneumatik a snížení airpumpingu. [27][28]

Vymývaný beton je další z možností úpravy svrchní části vozovky. Snížení hluku v tomto případě vychází ze snížení oscilace pneumatiky. Technologicky se beton za finišerem musí dohlazovat vlečením zvlhčené juty, která vyhlazuje povrch betonu na potřebnou strukturu. Vymývaný beton vzniká odstraněním povrchové malty z této struktury. [27]

Otevřený asfaltový koberec je vrstva vozovky s vysokou mezerovitostí. Tento koberec vzniká obalením kameniva v obalově modifikovaným asfaltem a za vysoké teploty je dopraven na místo a pokládán. Mezery mezi kamenivy vytváří strukturu, ve které se může přesouvat vzduch, a nedochází ke stlačení vzduchu v dezénu pneumatiky a tím je redukován hluk airpumpingem. V *Tab. 3.5* lze vyzorovat, že mezi mezerovitostí a hladinou hluku je nepřímá úměra, tedy čím větší bude procento mezerovitosti vozovky, tím nižší bude vyzařovaný hluk do okolí. [20][27][28]

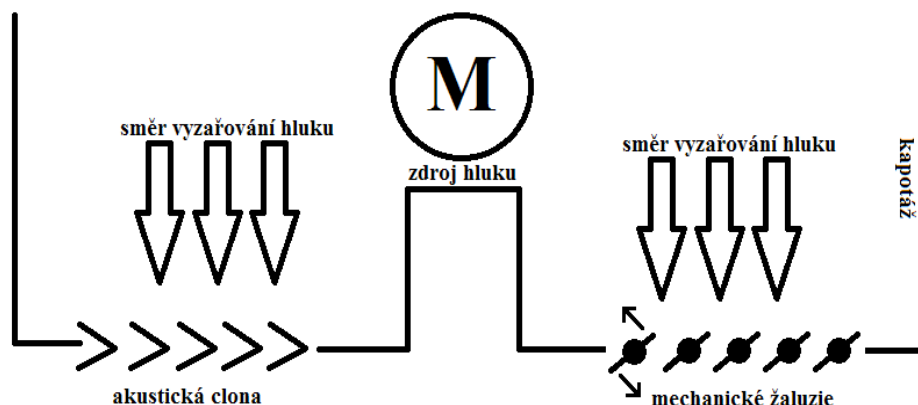
3.3.2 Snížení hluku prováděné na automobilu

Další primární možností snížení hluku silniční dopravy je snížit hluk samotného automobilu, především z pohonné jednotky. Hluk vytvářený motorem automobilu a převodovým ústrojím se může šířit dvěma způsoby. První možnost je šíření vibrací pevnými částmi, které následně vyzařují hluk, například šíření rámem či podvozkem automobilu. Tato možnost vyzařuje malé množství hluku a mnohdy se s ní vůbec nepočítá. Druhá možnost je hluk vyzařovaný přímo motorem do okolního prostoru. Hluk motoru je závislý na samotné stavbě motoru, výrobcí a nákladech na projektování a výrobu motoru. [44]

Zakrytím motoru kapotáží vzniká v uzavřeném motorovém prostoru vyšší akustický tlak běžně o 10 dB [44]. Materiál kapotáže by měl být lehký a velmi vzduchově neprůzvučný s vysokou zvukovou pohltivostí. Používají se různé plechy či plasty. Zvuková pohltivost se docílí například sendvičovou konstrukcí dvou nosných plechů s výplní z teplotně odolného plastového materiálu či pěny. Je možné také použít konstrukci nosné plechové či plastové stěny kapotáže, ke které je připevněn pohltivý materiál. Ten v této nesendvičové konstrukci musí být dobře odizolován i vůči vlhkosti. [44]

Kapotáž zakrývající motor automobilu nelze udělat celkově uzavřenou. Důvodem je chlazení potřebné k chodu určitých částí motoru (alternátor, čerpadla, gumové hadice), vzduch potřebný ke spalování v motoru a ponechání přístupové cesty pro případné opravy. Tyto otvory je ale nutné co nejvíce minimalizovat a zabránit tím úniku hluku od zdroje. Pro otvory je také možné využít tzv. akustické clony (*Obr. 3.2* levá část), ta má za úkol minimalizovat uniklý hluk z uzavřeného prostoru. Větší přínos pro zamezení unikání hluku mají mechanické žaluzie (*Obr. 3.2* pravá část), které mohou být pohyblivé a redukovat průtok

vzduchu, či ho úplně uzavřít. Akustické clony i mechanické žaluzie mohou být potažené pohltivým materiálem pro lepší akustické vlastnosti. [44]



Obr. 3.2 Akustická clona a mechanické žaluzie

4 Protihlukové stěny

Protihlukové stěny, jako sekundární protihlukové opatření, snižují již vzniklý hluk šířící se k přijímanému místu. Stěny se používají podél komunikací jak silničních, tak i železničních. Stavba protihlukové stěny se skládá ze tří kroků. První částí je základ. Základ je možné vytvořit vrtem či prefabrikovanou patkou. Typ základu se volí především podle výšky použité stěny. Druhá část je sloupek. Sloupek je prefabrikovaná část, většinou tvarem připomíná písmeno H. Materiál je volen převážně železobeton při stavbě těžkých stěn nebo ocel při použití lehčích materiálů například stěn z plexiskla. Třetí, nejdůležitější část, je pohltivý případně odrazový panel. Protihlukové stěny vyvíjí a nabízí velké množství firem a každá z nich nabízí protihlukové stěny různých vlastností a parametrů. [30]

4.1 Technické parametry protihlukových stěn

4.1.1 Přehled norem týkajících se snižování hluku silničního provozu

- ČSN EN 1793-1:
Zařízení pro snížení hluku silničního provozu
Zkušební metody stanovení akustických vlastností
Určení zvukové pohltivosti laboratorní metodou
- ČSN EN 1793-2:
Zařízení pro snížení hluku silničního provozu
Zkušební metody stanovení akustických vlastností

- Určení vzduchové neprůzvučnosti laboratorní metodou
- ČSN EN 1793-3:
Zařízení pro snížení hluku silničního provozu
Zkušební metody stanovení akustických vlastností
Normalizované spektrum hluku silničního provozu
 - ČSN EN 1794-1:
Zařízení pro snížení hluku silničního provozu
Neakustické vlastnosti
Mechanické vlastnosti a požadavky na stabilitu
 - ČSN EN 1794-2:
Zařízení pro snížení hluku silničního provozu
Neakustické vlastnosti
Obecné požadavky na bezpečnost a životní prostředí
 - ČSN EN 14388:
Zařízení pro snížení hluku silničního provozu
Specifikace

[29]

4.1.2 Kategorie zvukové pohltivosti

Zvuková pohltivost vyjadřuje množství akustické energie, která se přemění na jiný druh energie (například tepelnou). [6]

Dle snížení hluku při odrazu zvukové vlny od stěny dělíme protihlukové stěny do tří skupin: [31]

- odrazivé stěny: < 4 dB
- pohltivé stěny: 4 – 8dB
- vysoce pohltivé stěny: > 8dB

Norma ČSN EN 1793-1 stanovuje mimo jiné rozřídění podle zvukové pohltivosti do kategorií A0 – A4 dle *Tab. 4.1*.

Tab. 4.1 Kategorie zvukové pohltivosti. Převzato z [32]

Kategorie	DL_a (dB)
A0	neurčeno
A1	< 4
A2	4 - 7
A3	8 – 11
A4	> 11

4.1.3 Kategorie vzduchové neprůzvučnosti

Vzduchová neprůzvučnost je akustický pojem vyjadřující snížení hladiny akustického tlaku procházejícího zvuku. [6]

Norma ČSN EN 1793-2 stanovuje mimo jiné rozřídění podle zvukové pohltivosti do kategorií B0 – B3 dle Tab. 4.2

Tab. 4.2 Kategorie vzduchové neprůzvučnosti. Převzato z [32]

Kategorie	DL_R (dB)
B0	neurčeno
B1	< 15
B2	15 - 24
B3	> 24

Z akustického hlediska jsou předešlé dvě kategorie 4.1.2 a 4.1.3 hlavními parametry protihlukového zařízení a při rozhodování, kterou clonu použít, je na ně kladen největší důraz.

4.1.4 Další typy technických parametrů

Výstavba stěn musí být prováděna s přihlédnutím i k dalším parametrům. Při situování stěny podél komunikace je vhodné ohlížet se například na první uvedený parametr – odraz světla, aby clona neoslňovala řidiče.

- odraz světla
- plošná hmotnost
- uzavřená plocha bez větších otvorů
- únikové cesty
- pozvolné ukončení stěny z důvodu bočního větru

Následující vlastnosti protihlukových stěn jsou deklarovány příslušnými normami a musí je pro použití na veřejných prostranstvích bezprostředně splňovat.

- odolnost proti mechanickému zatížení
- maximální svislé zatížení, které může prvek snést
- maximální kolmé (90°) zatížení, které může akustický prvek snést – zatížení větrem a statické zatížení
- maximální kolmé (90°) zatížení, které může konstrukční prvek snést – zatížení větrem, statické zatížení, vlastní
- maximální ohybový moment zatížení, který může konstrukční prvek snést - dynamické zatížení při odstraňování sněhu
- maximální kolmé (90°) zatížení, které může akustický prvek snést – dynamické zatížení při odstraňování sněhu
- uvolňování nebezpečných látek
- trvanlivost – akustické vlastnosti
- trvanlivost – deklarovaná životnost

[20][31]

4.2 Estetické vlastnosti stěn

Protihlukové stěny jsou stavba, která ve městech nebo v přírodě vytváří nezanedbatelný architektonický element. Je důležité, aby byla stěna navržena s citem k okolnímu prostředí a příliš nevyčnívala a nepůsobila na obyvatele deprimujícím způsobem.

Stěnu lze navrhnout v nepřeberném množství designů. Horizontálně navržené tvary vyznačují uklidnění a opticky stěnu snižují. Svisle orientované tvary vytváří naopak pocit rychlosti a dynamiky a stěnu dělají opticky vyšší. Také souměrnost hraje velkou roli v působení stěny na člověka. Symetrická, stále se opakující struktura a barva clony působí uhlazeně, formálně až nudně. Asymetrický design a barevnost stěny pozorovatele uklidňují. Estetické parametry stěny jsou délka, výška a šířka. Měly by být voleny v rozumném poměru mezi sebou. [40]










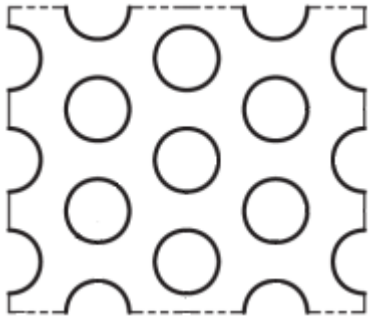
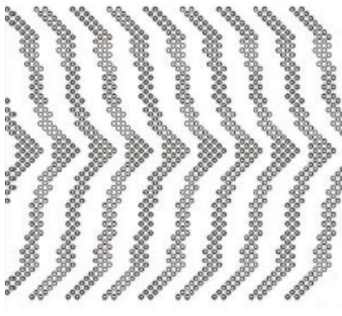
Integrace zvukové stěny do okolí. Stěna by měla být navržena, aby působila přirozeně a byla s okolím v souladu. To lze zajistit rozumným návrhem barvy a horní hrany stěny. Horní hranu je možno realizovat v provedení rovném, vlnitém, schodovitém, hradbovitém či například pilovém. [20]

Estetické působení stěny má vliv na lidi užívající odhlučněnou komunikaci i na obyvatele žijící v okolí stavby, proto je nutné dbát na estetickou úpravu protihlukové stěny z obou stran. Na vnější straně (odvrácené od komunikace) lze na stěnu aplikovat téměř jakoukoli povrchovou úpravu a přizpůsobit vzhled stěny konkrétnímu prostředí, to se využívá většinou v případech, kdy je stěna umístěna například na hranici zahrady místo běžného plotu. Při dostatečném prostoru v okolí stěny lze vysadit zeleň. Například nízké keře vysázené podél protihlukové zdi opticky stěnu snižují nebo je možno použít vysoko vzrůstajících rostlin, které stěnu převýší a zcela ji zakryjí. Rostliny je možné vysazovat v těsné blízkosti protihlukových stěn a užitím popínavých druhů rostlin tak vytvořit velmi přírodně působící stěnu. Na stěnu lze připevnit ocelová lanka nebo kari síť, po kterých se rostliny mohou pnout. Pro ozelenění protihlukových stěn se používají rostliny nenáročné na údržbu, které vydrží pouze s přírodním zavlažováním. Je také vhodné osazovat okolí stěn rostlinami z původního koloritu krajiny. Vliv rostlin protihlukové parametry zdi nemění. [33]

4.3 Tvary lícové strany protihlukových pohltivých stěn

Protihlukové stěny mohou mít pohltivou vrstvu z jedné nebo z obou stran. Tvary a profilování pohltivých vrstev jsou různé a záleží na nich míra zvukové pohltivosti. Je-li plocha pohltivého materiálu větší, pohlcuje více hluku. Některé typy povrchů jsou také navrženy tím způsobem, aby působily jako rezonátory pro tlumení hluku na principu tzv. Helmholtzova rezonátoru. [6] Těmto stěnám se říká reaktivní. Pro tlumení hluku rezonátorem je většinou povrch stěny rovný a děrovaný. Vzniklé dutiny jsou vyplněny pohltivým materiálem například minerální vlnou.

Tab. 4.3 Příklady profilů pohltivé vrstvy.

Profil pohltivého povrchu stěny	DL_a [dB]	Hloubka vrstvy [mm][30]
	> 8	130
	> 10	130
	> 4	100
	> 8	150
Další možné typy tvaru povrchů:		
		
		
Používané typy děrování pro stěny reaktivní:		
		
Poznámky: Plechy obsahují otvory různých velikostí. Otvory jsou kruhového tvaru a mohou být po stěně rozmístěny v různých ornamentech a s různou hustotou. Hustota děrování bývá		

většinou 15 – 40 % z celkové plochy desek.

4.4 Materiály pro výrobu stěn

Protihlukové stěny se vyrábějí z různých materiálů, které mají různé vlastnosti jak akustické, tak i mechanické. Je důležité, aby stěna vydržela například odhrovnání sněhu v zimních měsících. Proto různý materiál stěny má různou hloubku a jednotlivé panely různé rozměry. Jako nejčastější materiály se používají pro nosnou část: [20][30][31]

- železobeton
- dřevo
- plast
- odpadní pryž
- sklo
- lehké kovy

Pro pohltivou část:

- keramické kamenivo
- dřevocement
- drobnozrný mezerovitý beton z přírodního drceného kameniva
- hliníkový plech
- pozinkový plech

V poslední době je také výhodné používat recyklované materiály (guma, plast, sklo), které kladou důraz i na ekologičnost.

4.5 Porovnání parametrů stěn

V následující části této rešerše uvedu shrnutí některých používaných protihlukových pohltivých stěn různých výrobců a materiálů a také jejich hlavními parametry.

4.5.1 Pohltivé protihlukové stěny Liadur

Železobetonové protihlukové stěny. Pohltivé panely se vyrábí jako prefabrikát dvou (v případě oboustranných tří) vrstev. První vrstvu tvoří neprůzvučná deska z betonu C 30/37 XF4. Plošná hmotnost 275 – 350 kg/m². Druhá, pohltivá vrstva má čtyři možnosti provedení profilu povrchu: nízká vlna (ostré hrany viz *Tab. 4.3*, 4+7 cm) s pohltivostí 8 dB, vysoká vlna (oblé hrany, 4+9 cm) s pohltivostí 10 dB, trojúhelníková s pohltivostí 4 dB a rovná vrstva s pohltivostí 8 dB. Absorpční vrstva je složena z mezerovitého lehkého betonu s kamenivem

2 – 4 mm velkým. Hustota vrstvy je 750 kg/m^3 . Obě vrstvy (neprůzvučná, absorpční) jsou spojeny již při výrobě a vytváří nerozebíratelný celek. Maximální rozměry: délka 6 m, šířka 3,5 m (možno po dohodě s výrobcem upravovat). Velký výběr možností barev, beton lze probarvit při výrobě nebo obarvit dodatečným nástřikem. [30]

- vzduchová neprůzvučnost: 45 dB (B3)
- zvuková pohltivost: 5 – 11 dB (A2 – A4)



Obr. 4.1 Protihluková stěna Liadur. Převzato z [30]

4.5.2 Pohltivé protihlukové stěny Silent

Protihlukový pohltivý panel Silent vyrábí firma ŽPSV a.s. ve dvou provedeních.

První panel má nosnou část tvořenou železobetonem C 30/37 XF4 o šířce 110 - 130 mm. Pohltivá vrstva je 130 mm široká, z toho 80 mm mají vlny. Je také možno zvolit kazetový vzor. [34]

Druhé provedení se nazývá Silent VV (velká vlna). Nosná část je totožná s předchozím panelem a jak už název vypovídá, rozdíl je ve velikosti vln. Silent VV má pohltivou vrstvu tlustou 200 mm (90 mm tvoří základ a 110 mm vlny). Vrstva je vyrobena z drobnozrnného mezerovitého betonu. [34]

Obě desky se vyrábí jako prefabrikát. Je možno materiál probarvit v celém rozsahu nebo pouze jeho část. Stěnu lze také opatřit nástřikem proti graffiti. [34]

- vzduchová neprůzvučnost: 44 dB (B3)
- zvuková pohltivost: 8 – 13 dB (A3 – A4)



Obr. 4.2 Protihluková stěna Silent, kazetový vzor. Převzato z[34]

4.5.3 Pohltivá protihluková stěna PHS2 výrobce ŽPSV

Pohltivá stěna je tvořena opět sendvičovou konstrukcí. Základ (nosný panel) je tvořen železobetonovým jádrem o tloušťce 110 mm s vlastnostmi třídy C 30/37 XF1 nebo XF4. Pohltivá vrstva se na jádro lepí dodatečně a to v jednostranném či oboustranném provedení. Vyrábí se z gumového granulátu, drásaniny, polyuretanového pojiva a barviva ve tvaru obdélníku. Na výběr jsou základní barvy různé sytosti s možným dodatečným nástřikem jakéhokoli barevného odstínu. Desky je možné velmi rychle měnit při poškození sejmutím pouze zničené části a nalepením nové vrstvy. Poškozené či staré desky je možné plně recyklovat. [34]

- vzduchová neprůzvučnost: 45 dB (B3)
- zvuková pohltivost: 7 dB (A3)



Obr. 4.3 PHS 2. Vlaková zastávka. Převzato z [34]

4.5.4 Pohltivá stěna HAMPPEP

Protihlukový systém tvořen výhradně recyklovanými plasty. Pohltivé panely jsou složeny z kvádrů o výšce 125 mm a délce maximálně 6000 mm. Materiál použitý k výrobě kvádrů je extrudované tvrdé PVC a drť z plastových oken. Horní okraj stěny je vybaven „akustickým spoilerem“. Je to absorbér hluku, díky kterému může být stěna nižší se stejnými pohltivými vlastnostmi. Absorbér je vyplněn minerální vatou. [35]

Rozměry tohoto odhlučňovacího systému jsou maximální délka 6000 mm a výška 1000 - 6000 mm. Panely je možné vyrábět jako jednostranně pohltivé i jako oboustranně pohltivé. Systém je plně recyklovatelný po uplynutí životnosti (30 let) nebo při zničení jednotlivých částí při autonehodách. [35]

- vzduchová neprůzvučnost: 28 - 40 (B3)
- zvuková pohltivost: 6 – 8 dB (A3 – A4)



Obr. 4.4 Protihluková stěna s absorbérem. Převzato z [35]

4.5.5 Kovová protihluková stěna ROMAn

Kovová část panelu je tvořena z hliníku, nerezů nebo zinkové ocele. Panel je tvořen dvěma plechy, mezi kterými se vytvoří, vložením minerální vlny chráněné textilií ze skleněného vlákna, tři komory. Plech, který je na lící straně, má dírkovaný povrch. Za dírkovaným plechem je vzduchová komora rozdělená dvěma PVC profily pro stabilitu panelu a omezení velikosti rezonančního prostoru. Mezera mezi dírkovaným plechem a vlnou tvoří první komoru. Druhá komora je tvořena právě minerální vlnou či polyesterem a určuje pohltivé vlastnosti panelu. Třetí komora vzniká mezi pohltivým materiálem a zadním plechem, ten už je bez dírkování. [36]

Barvy panelu lze volit ze všech odstínů RAL nebo v dekorech dřeva, vody, louky či lesu. Maximální rozměry panelu jsou 4000 mm délka, 500 mm výška a tloušťka 95 – 115 mm. [36]

- vzduchová neprůzvučnost: 26 dB (B3)
- zvuková pohltivost: 18 dB (A4)



Obr. 4.5 Hliníková protihluková stěna. Převzato z [36]

4.5.6 Protihlukové panely VELOX

Firma VELOX dodává na český trh protihlukový systém založený na dřevocementových protihlukových panelech. Protihlukové panely jsou v tomto případě složeny z nosného rámu a pláště. Nosný rám je tvořen dřevěnými hranoly ošetřenými proti působení plísní a škůdcům. Na nosný rám jsou připevňovány protihlukové desky, které jsou vyráběny ze směsi dřevěných štěpků, cementu a vodního skla a jejichž struktura zajišťuje výsledné akustické parametry systému. Podle tloušťky protihlukové desky je zvuková pohltivost 2 dB (35mm silná deska), 4 dB (50mm), 8 dB (100mm), 11 dB (105mm). Vzduchová neprůzvučnost je u všech desek větší než 25 dB. Protihlukové desky je možné při malých výškách využívat i jako samonosné, v případě použití dřevěného rámu lze výšku protihlukové zdi navýšit až na 10 metrů. Hlavní výhodou systému VELOX je, díky dřevěnému rámu a tvarovatelnosti protihlukových desek, možnost vytvoření téměř jakéhokoli designu protihlukové stěny. Maximální rozměry jednotlivých panelů jsou 5000 x 2500 mm a šířka 320 mm. [45]

- vzduchová neprůzvučnost: 25 dB (B3)
- zvuková pohltivost: 2 – 11 dB (A1-A4)



Obr. 4.6 Design protihlukové stěny Velox. Převzato z [45]

4.5.7 Systémy beton – dřevocement

Systém na českém trhu nabízí dva výrobci Prefa Brno a.s. a Velox-Werk s.r.o.. Struktura stěny spočívá v nosném železobetonovém panelu a připevněné tvarované pohltivé vrstvě přes distanční podložku. Jednostranná nebo oboustranná pohltivá vrstva je tvořena dřevocementovými tvarovkami. Výhoda systému je již zmiňovaná distanční podložka, při poškození panelu lze vyměnit pouze pohltivou vrstvu. Výměna je levnější a časově nenáročná. Srovnání parametrů stěn obou výrobců je v následující tabulce: [45][46]

Tab. 4.4 Srovnání parametrů betonových stěn s dřevocementovou absorpční vrstvou

	Prefa Brno	Velox - Werk
beton nosné vrstvy	C40/50 XF4	C30/37 XF4
plošná hmotnost panelu	304 kg/m ²	368 kg/m ²
zvuková pohltivost	8 dB	8 dB
vzduchová neprůzvučnost	43 dB	44 dB
tloušťka nosné vrstvy	110 mm	120 mm
tloušťka pohltivé vrstvy	130 mm	80 mm



Obr. 4.7 Systém Velox, distanční podložka. Převzato z [45]

4.5.8 Sklovláknobetonová protihluková zeď

Protihlukový panel tvoří vyztužená skořepina o tloušťce stěny 10 mm, která je vyplněna absorpčním materiálem. Materiál pro výrobu skořepiny je sklovláknobeton (beton s rozptýlenými skleněnými vlákny ve své matici) z alkalivzdorného skleněného vlákna CEM-FIL ANTI-CRACK HP. Pohltivý materiál může být například minerální vata ROCKWOOL TECHROCK silná 100 mm polepená skelnou textilií s otvory, kterými může hluk vnikat do absorpční vrstvy. Panely se stejně jako u předešlých typů opět nasunou či jinak připevní k nosným sloupům. Nevýhodou systému je individuální řešení ukončovacích dílů a tedy časová náročnost na výstavbu, naopak výhodou je tvarová flexibilita závislá pouze na tvaru formy. [47]

- vzduchová neprůzvučnost: 35 dB (B3)
- zvuková pohltivost: 11 dB (A3)



Obr. 4.8 Sklovláknobetonová stěna. Převzato z [47]

4.6 Zhodnocení vlastností protihlukových stěn

Pohltivé protihlukové stěny jsou nejpoužívanějším sekundárním opatřením pro snížení hluku. Při výstavbě stěn je nutné rozhodnout se, který parametr pro nás bude nejdůležitější. Provozovatel komunikace by podle mého názoru mohl uskutečnit průzkum v dané oblasti, zda lidé chtějí protihlukové stěny více zaměřené na odhlučnění nebo na začlenění do krajiny. Tím by se mohlo vyřešit někdy dlouhé dohadování o již stojící protihlukové stěně.

Výhody či nevýhody protihlukových stěn nejvíce souvisí s materiálem použitým na jejich výrobu. Betonové protihlukové zdi jsou z dnes používaných materiálů nejtěžší. Přesun na místo výstavby je nákladný a vyžaduje pomoc těžké techniky, při dopravě i při nakládání a skládání nákladu je třeba využití jeřábu. Také časová nákladnost na výstavbu systému je velká. Výhoda těžkých betonových zdí je jejich životnost. Výrobce Liadur uvádí životnost svých stěn 50 let. Betonové zdi se nemusí udržovat a opravovat při standardních provozních podmínkách, postačí čištění, které probíhá při deštích. Druhou důležitou výhodou betonových zdí je pevnost, silné betonové zdi mohou mít sloupky vzdálené 6 m. Tím lze ušetřit až jednu třetinu nákladů na zemní práce a sloupky při výstavbě. [30]

Betonové panely s pryžovými plochami pro pohlcování zvuku mají stejné nevýhody jako celobetonové protihlukové zdi, tyto nevýhody jsou mírně sníženy s hmotností. Jejich

výhoda je taktéž dlouhá životnost. Betonová část 35 let a pohltivá část 25 let a pohltivou část je možno vyměnit bez použití těžké techniky. Oproti stěnám s pohltivou vrstvou z mezerovitého betonu mají vyšší zvukovou pohltivost na menší tloušťku.

Stěny z recyklovaných plastů jsou vhodný způsob, jak využít recyklované plastové materiály. Pro potřeby umístění protihlukové stěny do oblasti, o kterou se nadměrně zajímají ekologové, lze použít argument o „zeleném“ materiálu, který má větší šanci na úspěch a jedná se tak o získání ekologického způsobu získání kvalitních akustických parametrů. Nevýhodou plastových stěn je jejich chování při různých klimatických podmínkách. Plasty se mohou působením slunečního záření prohýbat či jinak deformovat. Životnost plastových systémů uvádí výrobce 35 let. Použitím spojovacích materiálů při výrobě (šrouby, hřebíky, vruty) a působení zhoršených klimatických podmínek bych odhadoval životnost o hodně kratší.

Hliníkové systémy mají oproti betonovým nižší hmotnost a tedy lepší manipulaci při přepravě i montáži. To ovšem způsobuje nižší hodnoty vzduchové neprůzvučnosti. Ceny těchto systémů jsou velmi závislé na aktuální ceně použitých kovů a jejich kvalitě. Vyšší cenu způsobuje i maximální rozteč nosných sloupů 4 m. Hliníkové stěny vykazují nejvyšší zvukovou pohltivost ze všech používaných stěn a vyšší životnost oproti plastovým stěnám.

Nevýhoda protihlukových stěn, v případě jsou-li po obou stranách, je jejich bezpečnost. K uzavřené komunikaci je horší přístup bezpečnostních složek, který může trvat i o několik minut déle.

5 Nové trendy a vývoj protihlukových opatření

Vývoj protihlukových opatření v dnešní době je důležitý pro pohodlí obyvatel žijících podél komunikací a železničních koridorů. Špatnou zprávou je, že vývoj protihlukových opatření není na takové úrovni, jaká by byla potřeba a testování nových protihlukových opatření trvá mnohdy několik měsíců i let. Možným důvodem je finanční a legislativní stránka problému. Financování výstavby protihlukových stěn je obtížné z důvodu poměrně vysokých nákladů. Legislativní problém je §31 odst. 1 zákona č. 258/2000 Sb.. Ten jinými slovy říká, že pokud zdroj hluku vydává hladinu hluku vyšší, než jsou povolené limity, může ho provozovatel přesto dále používat, omezí-li hluk na rozumně dosažitelnou míru. Tou se rozumí výhodný poměr mezi náklady vynaloženými na protihlukové opatření a jejich přínosem. [42] Podle mého názoru tento odstavec je velmi nevhodně řešen a nenutí k důslednému dodržování zákona. To ovlivňuje důslednost firem při nátlaku na vyvíjení nových protihlukových opatření.

V následujícím textu budou popsány některé nové technologie, které se již dostávají do provozu.

5.1 Protihlukové stěny Liadur s technologií TX Active

Protihlukové stěny v dnešní době nemusí být pouze pro ochranu obyvatel před hlukem a sloužit jako designové prvky v zástavbě. Nové protihlukové stěny Liadur s technologií TX Active navíc snižují znečištění ovzduší.

Ve městech s hustou sítí mnohapanukových silnic není problémem pouze hluk z projíždějících vozidel, ale také zplodiny, které automobily vypouštějí do ovzduší. Hlavní látky znečišťující ovzduší jsou mikroprach, těžké organické látky a oxidy dusíku (NO_x). Tyto látky se postupem času za působení světla rozkládají přirozeným procesem (fotolýza). Fotolýza při použití fotokatalyzátoru (protihluková stěna Liadur s technologií TX Active) probíhá významně rychleji. Fotokatalyzátor díky svému složení dokáže na svém povrchu rozkládat některé organické či anorganické látky (např. NO_x) a jako zdroj světla postačuje sluneční světlo. [37]

Aplikaci fotokatalyzátoru do prostředí měst je možné zprostředkovat pomocí fotokatalyticky aktivního cementu. Firma HeidelbergCement uvedla na trh přípravky s názvem TioCem[®]. Je to cement založený na technologii TX Active[®] a je určen pro výrobu betonových produktů, jako jsou protihlukové pohltivé stěny, zámková dlažba, fasády domů, betonové dílce pro stavbu mostů, tunelů nebo různých designových prvků (památníky, sochy, lavičky). [37]

Využitím technologie TX Active při výrobě protihlukových stěn jsou minimalizovány zplodiny ze silniční dopravy přímo u zdroje. Protihluková stěna Liadur (4.5.1) je pro pórovitost své pohltivé vrstvy ideální možností, jak TX Active využít, neboť fotolýza probíhá pouze na povrchu těles vyrobených ze speciálního cementu. [30][37]

5.2 Snížení hluku pomocí gumoasfaltové směsi

Možnost snížení hluku obrusné vrstvy vozovky je popsána v odstavci 3.3.1. Moderní poznatky ukazují možnosti přidání odpadní gumy do asfaltové směsi a tím úpravu jejích vlastností. Jako odpadní guma se používá guma z ojetých pneumatik silničních automobilů ve formě granulátu. Výroba granulátu probíhá rozdrčením gumové části pneumatiky (po oddělení kovových kordů) za normální teploty, tím vznikají granule s velmi členitým povrchem. Je možné také drtit gumu zmrazenou kapalným dusíkem za vzniku granulí s hladkým povrchem. Gumoasfaltový koberec vozovky se vyrábí přidáním přibližně 20%

gumového granulátu k horkému asfaltu, promícháním a následným obalením kameniva v této směsi v běžných obalovnách. V hotové asfaltové směsi je 1,5 - 1,8% pryžového granulátu. [38]

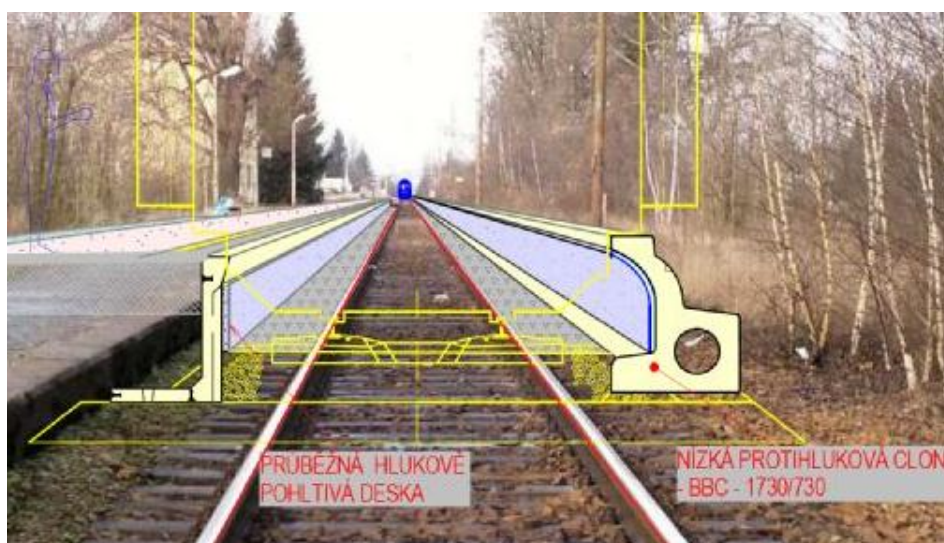
Asfalt modifikovaný pryžovým granulátem má velký přínos pro životní prostředí a silniční dopravu: [38]

- snížení hluku
- omezení vzniku pevných prachových částic
- prodloužení životnosti povrchu
- větší přilnavost pneumatiky a bezpečnost

Český zpracovatel asfaltářských výrobků PARAMO a.s. udává snížení hlukové zátěže při použití gumoasfaltového povrchu vozovky 8 – dB. [39]

5.3 Nízké protihlukové stěny ŽPSV – H130

Společnost ŽPVS vyvíjí nový systém protihlukových stěn. Nejedná se přímo o protihlukové stěny běžného typu. Nový systém vznikl složením nástupištní hrany H 130 a pohltivých prvků z recyklované pryže. Vizualizace systému je na *Obr. 5.1*.



Obr. 5.1 Zastávka Štáhlavy, vizualizace protihlukových opatření. Převzato z [48]

Akustické vlastnosti a cena tohoto systému není prozatím stanovena. Výstavba prototypu tohoto protihlukového zařízení byla dokončena 31. 5. 2012 na trati České Budějovice – Plzeň nástupišti zastávky osobních vlaků ve Štáhlavech. Nový systém je v dnešních dnech ve zkušebním provozu a probíhají na něm měření. Mezi výhody tohoto systému lze zařadit cenu (odhadovaná cena systému by mohla být třetinová oproti běžným

pohltivým stěnám), ekologii (využití opotřebovaných pneumatik), estetika (stěny jsou 550 mm vysoké). Výhodu má systém i pro cestující, je příjemnější při cestování sledovat ubíhající krajinu, než design betonové zdi. [48]

6 Závěr

Snižování hlukové zátěže v zástavbě je velice rozsáhlá a zajímavá problematika. Při rozsáhlosti tématu, je zřejmé, že zabývat se všemi tématy do hloubky není možné. Proto v práci uvádím některé kapitoly v rozsáhlejší znění a jiné v méně rozsáhlém znění. Hlavní přínos práce je komplexní problematika od pochopení slova hluk, přes způsoby působení na lidský organismus, volbu protihlukového opatření pro hluk z dopravy, až po jeho vyhotovení.

Jedním velmi diskutabilním protihlukovým opatřením je například snižování rychlosti automobilů ve městech. Tento způsob jsem pouze naznačil. Důvody jsou dva, snížení rychlosti znevýhodní dopravu automobilem a snížení rychlosti, například z rychlosti 70 km/h na 50 km/h, donutí některé řidiče ke změně rychlostního stupně a tím zvýšení hluku pohonné jednotky automobilu.

Na začátku 3. kapitoly uvádím přehled limitů stanovujících míru hluku, kterou mohou dopravní prostředky vydávat. Tyto limity jsou důvodem udávajícím potřebu protihlukových opatření. Jak ovšem uvádím na začátku 5. kapitoly je potřeba je ještě upravit, aby se mohly opatření snižující hluk dále a rychleji rozvíjet. Celá kapitola o protihlukových opatřeních je rozdělena zvlášť na železniční a silniční dopravu. Tyto dvě kapitoly mají společnou část, která je nazvaná sekundární protihlukové opatření. Sekundární protihluková opatření je vhodné volit jako poslední možný způsob. Výhodou sekundárních protihlukových opatření a tedy i pohltivých protihlukových stěn je možnost použití v okolí silnic, které jsou již postaveny, ale hluk vzrostl až po zvýšení frekvence průjezdů automobilů. Vývoj protihlukových opatření by se měl ubírat směrem k primárním zdrojům hluku, neboť nevýhoda protihlukových stěn je jejich lokálnost, velký zásah do krajiny nebo bezpečnost.

S postupem času a vývojem nových automobilů se hlavní složkou hluku z automobilového provozu stane hluk tření pneumatiky o vozovku. Toto tvrzení nastane s masivním uplatněním elektromobilů, u kterých je při provozu velmi tichý chod motoru. Prozíravé je tedy směřovat protihluková opatření k tišším úpravám vozovek.

Srovnání protihlukových stěn po finanční stránce nebylo podrobněji popsáno z důvodu komplikovaných výpočtů nákladů na zemní práce, různých podmínek při výstavbě stěn, různých cen energií a materiálů v závislosti na době výstavby. Ovšem finanční téma je v dnešní době velmi diskutované a bylo by užitečné věnovat mu větší pozornost v další tvorbě.

Použitá literatura a internetové zdroje

- [1] NOVÝ, Richard. *Hluk a chvění*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02246-3.
- [2] BERÁNEK, Leo L. *Snižování hluku*. Praha: SNTL, 1965, 740 s.
- [3] SMETANA, Ctirad. *Hluk a vibrace: měření a hodnocení*. Praha: Sdělovací technika, 1998, 188 s. ISBN 80-901-9362-5.
- [4] Howard, D.M., Angus, J.A.S.: *Acoustic and Psychoacoustics*, Oxford: Focal Press, 2009.
- [5] HANÁK, Vojtěch. Vojta Hanák: Kmity a vlny. HONRADE, Daniel. *Zvuk* [online]. © 2012- [cit. 2012-03-27]. Dostupné z: <http://vojtahanak.cz/files/edu/kmity/zvuk.html>.
- [6] Přednášky z předmětu *KET/AK Akustika*, Garant a přednášející Ing. Oldřich Tureček, Ph.D.: LS 2011/2012, ZČU Plzeň.
- [7] *Digitalizace studijních materiálů*: Hledaný výraz: "*hlasitost a intenzita zvuku*" [online]. [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: <http://rg-projekt.cz>.
- [8] Bajer, Jiří. *Kapitola 7: Akustika* [online]. [cit. 2012-03-29]. Dostupné z: <http://muj.optol.cz/bajer/skripta/kap7.pdf>.
- [9] Vybrané statě z akustiky. Schauer, Pavel. *Ústav fyziky FAST VUT* [online]. 2008 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: http://fyzika.fce.vutbr.cz/doc/vyuka_schauer/vybrane_state_z_akustiky.pdf.
- [10] Přednášky z předmětu *KAE/UST Úvod do sdělovací techniky*, Garant Doc. Ing. Jiří Masopust, CSc., přednášející: Doc. Ing. Jiří Masopust CSc., Ing. Petr Hloušek, Ph.D., Ing. Jiří Stifter, Ph.D., ZS 2011/2012, ZČU Plzeň.
- [11] Hluk a další fyzikální faktory. [online]. 2011 [cit. 2012-06-01]. Dostupné z: <http://www.zubrno.cz/studie/kap06.htm>.
- [12] LEJSKA, Mojmír. *Poruchy verbální komunikace a foniatrie*. Brno: Paido - edice pedagogické literatury, 2003, 156 s. ISBN 80-731-5038-7.
- [13] MRÁZKOVÁ, Eva. *Základy audiologie a metod objektivního vyšetření sluchu*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2006, 111 s. ISBN 80-248-1129-4.
- [14] LEJSKA, Mojmír. *Základy praktické audiologie a audiometrie*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1994, 171 s. ISBN 80-701-3178-0.

- [15] Jak funguje sluch. *Http://www.auris-audio.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: <http://www.auris-audio.cz/page/jak-funguje-sluch/26>.
- [16] Jak funguje naše ucho. *Http://www.cittadella.cz* [online]. 2008 [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: http://www.cittadella.cz/kochl/index.php?p=jak_funguje_ucho&site=default.
- [17] Hluk. *ENVI * UPCE* [online]. 1995 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://envi.upce.cz/pisprace/starsi/krato/hluk.htm>
- [18] *Hluk & Emise* [online]. 2010 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://hluk.eps.cz/hluk/>.
- [19] *Snižování vibrací a hluku* [online]. 14.1.2011 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: http://biomechanika.fme.vutbr.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=84%3Avibrace-a-hluk&catid=38%3Aopory&Itemid=97&lang=cs
- [20] *Silnice Železnice* [online]. 2002-2012 [cit. 2012-05-21]. ISSN 1803-8441. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz>.
- [21] Hlaváček, Jan. Technické specifikace pro interoperabilitu subsystému „Hluk“. *Vědeckotechnický sborník Českých drah* [online]. 2004 [cit. 2011-08-18]. Dostupný z: <http://www.cd rail.cz/VTS/CLANKY/vts18/18cl09.pdf>. ISSN 1214-9047.
- [22] Oertli, Jakob; Hübner, Peter. *Noise reduction in rail freight. In A 2007 report on the state of art* [online]. Paris: UIC, 2008 [cit. 2011-08-30]. Dostupné z: <http://www.uic.org/IMG/pdf/UIC-FRET-GB.pdf>.
- [23] Odvětvové informační středisko dopravy. *ODIS* [online]. 2007 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: edice.cd.cz/edice/zivpro/dzp4_08/emise.pdf.
- [24] HEMSWORTH, Brian. *Environmental Noise Directive Development of Action Plans for Railways* [online]. Paris : UIC, 2008 [cit. 2011-08-18]. Dostupné z: http://www.uic.org/IMG/pdf/Action_Planning_Paper_Final-2.pdf.
- [25] Hlukové mapování a metodika zpracování akčních plánů pro okolí hlavních železničních tratí. *Investice do rozvoje vzdělávání* [online]. 2009 [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://projekt150.ha-vel.cz/node/139>.
- [26] Silniční síť v ČR. *Cittadella* [online]. 2011 [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: http://www.cittadella.cz/cenia/index.php?p=silnicni_sit_v_cr&site=doprava.
- [27] Snížení hluku možnými úpravami obrusné vrstvy vozovky. *Silnice železnice* [online]. 2012 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/snizovani-hluku-moznymi-upravami-obrusne-vrstvy-vozovky/>.

- [28] Možnosti snižování hlučnosti povrchu vozovek s využitím technologií asfaltových vrstev snižujících hlučnost. *CIDEAS* [online]. 2009 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: www.cideas.cz/free/okno/technicke_listy/3tlv/TL06CZ_1312-3.pdf.
- [29] Implementace evropských norem a předpisů v oblasti protihlukových stěn. *Ředitelství silnic a dálnic* [online]. 2011 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: http://www.rsd.cz/rsd/rsd.nsf/c4036191b207fe78412566ab005dd08f/fad7e9ba3adb0fe4c12579ca0032d13a?OpenDocument&Highlight=0,implementace*
- [30] *LiaDur* [online]. 1999 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.liadur.cz>.
- [31] HELA, Rudolf. *Časopis Stavebnictví* [online]. 2010, 05/10 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: http://www.casopisstavebnictvi.cz/prehled-vlastnosti-pohltyvych-protihlukovych-sten-na-ceskem-trhu_N3475.
- [32] Mechanizace při realizaci protihlukových stěn. *ASB: architektura - stavebnictví - bydlení* [online]. Praha: Jaga Media, 2011 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/konstrukce-a-prvky/vodorovne-a-svisle-konstrukce/mechanizace-pri-realizaci-protihlukovych-sten-2662.html>.
- [33] KOLB, Walter. *Živé ploty a stěny: ochrana proti hluku a nežádoucím pohledům*. 1. vyd. Praha: Grada, 2008, 148 s. ISBN 978-80-247-2514-7.
- [34] *ŽPSV a.s. - OHL GROUP* [online]. 2012 [cit. 2012-05-26]. Dostupné z: <http://www.zpsv.cz>.
- [35] *MATEICIUC a. s.: zpracování a výroba plastů* [online]. 2012 [cit. 2012-05-27]. Dostupné z: <http://www.mat-plasty.cz>.
- [36] *ROMAn s.r.o.: protihlukové materiály a odhlučnění* [online]. 2010 [cit. 2012-05-27]. Dostupné z: <http://www.romansro.cz>.
- [37] *TX Active - TX* [online]. 2009 [cit. 2012-05-30]. Dostupné z: <http://www.txactive.cz>.
- [38] Využití gumoasfaltu ve Švédsku. *Www.stavitel.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: <http://stavitel.cz/c1-54625290-vyuziti-gumoasfaltu-ve-svedsku>.
- [39] I české vozovky mohou být nehlučné - Paramo. *Paramo* [online]. 2011, 25. 11. 2011 [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: http://www.paramo.cz/cs/sd/novinky/firemni-novinky-2011/25_11_2011_silnice.html.
- [40] NEUBERGROVÁ, Kristýna. Problematika hluku z železniční dopravy. *Časopis stavebnictví: časopis stavebních inženýrů, techniků a podnikatelů*

- [online]. Brno: EXPO DATA, 2011, roč. 2011, č. 10 [cit. 2012-06-04]. ISSN 1802-2030. Dostupné z: http://www.casopisstavebnictvi.cz/problematika-hluku-z-zeleznicni-dopravy_N4778.
- [41] ČESKO. Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. In Sběrka zákonů ČR, ročník 2011, částka 97. Dostupné z: <<http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-272>> [cit. 2011-11-01]. ISSN 1211-1244.
- [42] ČESKO. Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. In Sběrka zákonů ČR, ročník 2000, částka 74. Dostupné z: <<http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-258>> [cit. 2012-06-01]. ISSN 1211-1244.
- [43] LUSTIGOVÁ, Michala. Zdravotní účinky hluku. *Zdravotní účinky hluku, SZÚ* [online]. 2011 [cit. 2012-06-05]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/zdravotni-ucinky-hluku?highlightWords=po%C5%A1kozen%C3%AD+sluchu>.
- [44] APETAUR, Milan a Jan RÁFL. *Konstrukce automobilů: určeno pro posl. strojní fak. ČVUT*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1994, 149 s. ISBN 80-010-1224-7.
- [45] VELOX-WERK S.R.O. *VELOX-WERK s.r.o.* [online]. 2008 [cit. 2012-06-06]. Dostupné z: <http://www.velox.cz>.
- [46] *Prefa Brno* [online]. 2010 [cit. 2012-06-06]. Dostupné z: <http://www.prefa.cz/>.
- [47] *DAKOBBrno.cz* [online]. 2010 [cit. 2012-06-06]. Dostupné z: <http://www.dakobrno.cz>.
- [48] *SŽDC Správa železniční dopravní cesty* [online]. 2012 [cit. 2012-06-07]. Dostupné z: <http://www.szdc.cz/pro-media/tiskove-zpravy/stahlavy.html>.