

Studium zvukově izolačních vlastností protihlukových bariér v silniční dopravě

Bc. Lucie Nedorostová

Diplomová práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav inženýrství ochrany životního prostředí
akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lucie Nedorostová**
Osobní číslo: **T14818**
Studijní program: **N2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Inženýrství ochrany životního prostředí**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Studium zvukově izolačních vlastností
protihlukových bariér v silniční dopravě**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování literární rešerše týkající se zvukoizolačních vlastností protihlukových bariér.
2. Laboratorní měření zvukově izolačních vlastností materiálů používaných v silniční dopravě.
3. Praktická měření hladinového útlumu při různých klimatických podmínkách na vybraných místech.
4. Zpracování vyhodnocení naměřených experimentálních dat a jejich diskuze.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

[1] MIŠUN, Vojtěch. **Vibrace a hluk**. Vyd. 1. Brno: PC-DIR, 1998, 177 s. ISBN 80-214-1262-3.

[2] NOVÝ, Richard. **Hluk a chvění**. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000, 389 s. ISBN 80-01-02246-3.

[3] VAŇKOVÁ, Marie. **Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí**. Vyd. 1. Brno: PC-DIR, 1995, 140 s. ISBN 80-214-0695-x.

[4] NĚMEC, Jaroslav, Jiří RANSDORF a Milan ŠNĚDRLE. **Hluk a jeho snižování v technické praxi**. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1970, 338 s.

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Martin Vašina, Ph.D.

Ústav fyziky a mater. inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

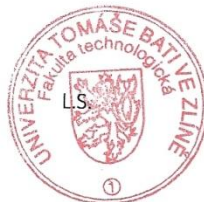
20. ledna 2015

Termín odevzdání diplomové práce:

15. května 2015

Ve Zlíně dne 10. února 2015


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




doc. Mgr. Marek Koutný, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: NEDORONTOVA LUCIE

INŽENÝRSTVÍ OCHRANY
ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
Obor:

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 15. 5. 2015


.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užit či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jim dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá srovnáním zvukoizolačních vlastností protihlukových bariér v silniční dopravě. Jejím cílem bylo laboratorně změřit zvukoizolační vlastnosti jednotlivých materiálů poskytnutých od různých firem, vyrábějících protihlukové stěny a praktická měření hladinového útlumu protihlukových bariér při daných podmínkách na vybraných místech v Brně a okolí. Vyhodnocením a porovnáním získaných laboratorních a terénních výsledků zjistíme, zda spolu skutečně korespondují. Tyto výsledky mohou sloužit jako podklad pro inovaci při rozvoji protihlukových stěn.

Klíčová slova: hluk, doprava, zvukoizolační materiály, koeficient zvukové odrazivosti, frekvence vlnění

ABSTRACT

This thesis deals with comparison of sound insulation properties of anti-noise barriers in road transport. Its objective was to laboratory measure sound insulation properties of single materials provided from different companies that generate anti-noise barriers, and practical measurements of level attenuation of the anti-noise barriers under given conditions in chosen places in Brno and its neighborhood. It is possible to found on basis of evaluation and comparison of laboratory and cross-country results, if they really correspond together. Those results may serve as basis of innovation during the development of anti-noise barriers.

Keywords: noise, traffic, sound insulation materials, sound reflection coefficient, wave frequency

Mé poděkování patří panu doc. Ing. Vašinovi, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování diplomové práce věnoval.

Zároveň bych chtěla poděkovat panu Ing. Křivánkovi, Ph.D. z Centra dopravního výzkumu za obětování svého času při měření v terénu, cenné rady a vstřícnost, které mi pomohly tuto práci zkompletovat.

Prohlášení

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné. Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu na konci této práce.

Ve Zlíně dne

.....

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 BIOLOGICKÉ ÚČINKY ZVUKU	12
1.1 Vliv hluku na člověka.....	12
2 ZÁKLADNÍ POJMY A VELIČINY	15
2.1 ZVUK.....	15
2.2 METODY ELIMINACE HLUKU V AKUSTICE	15
2.3 ZÁKLADNÍ DECIBELOVÉ VELIČINY V AKUSTICE	16
2.4 VÁHOVÉ FILTRY	17
3 PASIVNÍ METODY SNIŽOVÁNÍ HLUKU	18
3.1 POHLCOVÁNÍ ZVUKU	18
3.2 EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ ČINITELE ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI	20
3.2.1 Měření činitele zvukové pohltivosti v dozvukové místnosti.....	20
3.2.2 Měření činitele zvukové pohltivosti v interferometru.....	20
3.3 MATERIÁLY POHLCUJÍCÍ ZVUK	20
4 DOPRAVNÍ HLUK A ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ	22
4.1 ÚČEL PROTIHLUKOVÝCH STĚN	22
4.2 ČLENĚNÍ PROTIHLUKOVÝCH STĚN	23
4.3 POŽADOVANÉ AKUSTICKÉ VLASTNOSTI PROTIHLUKOVÝCH STĚN	23
4.4 KVALITATIVNÍ POŽADAVKY	24
5 SOUČASNÝ STAV STUDIÍ V OBLASTI ZVUKOVÝCH BARIÉR	25
II PRAKTICKÁ ČÁST	30
6 LABORATORNÍ MĚŘENÍ NA KUNDTOVĚ TRUBICI	31
6.1 MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ.....	31
6.1.1 Vzorky pro měření koeficientu zvukové pohltivosti.....	31
7 MĚŘENÍ PROTIHLUKOVÝCH BARIÉR V TERÉNU	35
7.1 SILNICE Č. 374 - RÁJEČKO	37
7.2 SILNICE Č. 42 – BRNO, ULICE ŽABOVŘESKÁ	39
7.3 SILNICE Č. 374 – BRNO, ULICE ČERNOVICKÁ	40
7.4 SILNICE R52 – BRNO, ULICE VÍDEŇSKÁ	41
7.5 SILNICE Č. 152 - MODŘICE	42
7.6 SILNICE R52 - RAJHRAD.....	43
7.7 SILNICE Č. 50 - SLAVKOV U BRNA, ULICE ČSL. ČERVENÉHO KŘÍŽE.....	44
8 VÝSLEDKY MĚŘENÍ	45
8.1 LABORATORNÍ MĚŘENÍ.....	45
8.2 MĚŘENÍ V TERÉNU	50
9 DISKUZE	55
ZÁVĚR	58
10 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	60
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	63

SEZNAM OBRÁZKŮ	65
SEZNAM TABULEK.....	67
SEZNAM PŘÍLOH.....	68

ÚVOD

Dopravní systémy ve velké míře zatěžují naše okolí dopravním hlukem, zplodinami z agregátů a také prachem.

Ve Spojených státech vyrostly první protihlukové stěny již v polovině 20. století, aby chránily obyvatele před silniční dopravou a jejím hlukem. U nás se datuje budování a rozvoj protihlukových stěn až koncem 80. a počátkem 90. let 20. století. V té době již narůstala především automobilová doprava a s ní emise hluku. Docházelo ke změně pohledu na ochranu životního prostředí a ochranu práv občanů a zároveň i ke změně politicko-spoločenského pohledu.

Na nejrůznější výzkumy a projekty se vynakládají v současnosti obrovské částky a to zcela legitimně pro vytvoření nových materiálů a systémů, aby se zvířata, příroda a její zdroje přiblížily poznání lidstva a jejich světa.

Důležitým požadavkem na protihlukové stěny je pohltivost zvuku. V rámci této diplomové práce byly použité materiály u protihlukových stěn, změřeny laboratorně a srovnány s protihlukovými stěnami v terénu stejného či podobného složení. Následně vyhodnocení nejefektivnějšího materiálu vzhledem k jeho pohltivosti.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 BIOLOGICKÉ ÚČINKY ZVUKU

1.1 Vliv hluku na člověka

Vliv hluku na člověka je nežádoucí z důvodů jeho škodlivosti, rušivosti a nepříjemnosti. Účinek hluku z časového hlediska lze posuzovat v okamžiku působení hluku jako snížení pracovní aktivity, ztrátu koncentrace atd. U osoby, která přišla v minulosti do styku s působením vyšších hladin hluku dlouhodobě, dochází k posunu zvukového prahu již po několika minutách. Sluchový orgán se rychle adaptuje na hluk a vnímá s menší hlasitostí. Sluchová únava nastává již po 7 - 10 minutách, odeznívání přetrvává dlouhé hodiny i možno celý den. Často dochází k porušení sluchu, které nazýváme sluchové trauma, zejména při dlouhodobém pobytu v prostředí s hladinou akustického tlaku nad 85 dB a mezi nejrizikovější patří hudebníci. Krátkodobými akustickými podněty jako je výbuch, tak může dojít k poškození sluchu a poranění bubínku.

Audiometrie, která vyšetřuje sluchové poruchy v celém frekvenčním rozsahu slyšitelného pásma, metodou měření sluchových prahů postižených osob, se zabývá problémy bolesti ve sluchovém orgánu. Bolest pocítujeme při hladině hluku 130 dB, při hladině 160 dB dochází již k protržení bubínku. V oblasti vysokých kmitočtů dochází ke snížení sluchového prahu až o 50 dB, tzv. k profesionální nedoslýchavosti u osob, které byly vystaveny hluku po 20 let [1].

Hygienické limity hluku v ČR jsou dány nařízením vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Pro hluk ze silniční dopravy jsou stanoveny následovně:

- použije-li se korekce pro starou hlukovou zátěž z pozemních komunikací, v chráněném venkovním prostoru staveb:
 - $L_{Aeq, 16h} = 70$ dB pro denní dobu (6:00 – 22:00 hod)
 - $L_{Aeq, 8h} = 60$ dB pro noční dobu (22:00 – 6:00 hod)
- nepoužije-li se korekce pro starou hlukovou zátěž z pozemních komunikací, v chráněném prostoru staveb pro hluk v okolí hlavních pozemních komunikací, kde hluk z dopravy na těchto komunikacích je převažující:
 - $L_{Aeq, 16h} = 60$ dB pro denní dobu (6:00 – 22:00 hod)
 - $L_{Aeq, 8h} = 50$ dB pro noční dobu (22:00 – 6:00 hod)

- v chráněném venkovním prostoru staveb pro hluk z dopravy na pozemních komunikacích, s výjimkou účelových komunikací:
 - $L_{Aeq, 16h} = 55$ dB pro denní dobu (6:00 – 22:00 hod)
 - $L_{Aeq, 8h} = 45$ dB pro noční dobu (22:00 – 6:00 hod)

Podobně je tomu i u hluku z drážní dopravy (ochranné pásmo drah) a hluk ze stacionárních zdrojů (průmyslové objekty) v chráněném venkovním prostoru staveb.

Pouze příslušný orgán ochrany veřejného zdraví je oprávněn provádět a stanovovat nejvyšší přípustné hodnoty hluku pro chráněný venkovní prostor.

Lze předpokládat splnění nejvyšších přípustných hodnot hluku v daném venkovním prostoru a splnění i nejvyšších přípustných hodnot ve vnitřních chráněných prostorách. Týká se především staveb pro bydlení nebo staveb občanského vybavení [12].

Hluk působící na člověka lze rozlišovat podle délky působení na hluk:

- ustálený, jeho hladina se v čase nemění o více jak 5 dB
- proměnný, hladina se v čase mění
- přerušovaný, mění se náhle
- impulsní, který je vytvářen řadou jednotlivých impulsů

Jako varovný systém prvotně sloužil člověku sluch. Organismus kvůli tomuto reaguje na hluk jako na poplašný signál a spouští celou řadu mechanismů. Především se projevuje zrychlením tepu, zvýšením krevního tlaku, stažením periferních cév, ztrátou hořčičku nebo zvýšením adrenalinu, jak nám dokazují lékařské a statistické studie [13].

Výzkumy prokázaly negativní vliv na zdravotní stav, následně pak způsobuje hypertenzi (vysoký krevní tlak), poškození srdce včetně zvýšení rizika infarktu, snížení imunity organismu, chronickou únavu a nespavost. Tyto civilizační choroby přímo vzrůstají s hlučností daného prostředí [2].

Člověk, jež spí, má aktivní smysly včetně sluchu, který vnímá hluk během spánku a tím se snižuje jeho hloubka a kvalita. Následně se pak toto projevuje trvalou únavou.

Na základě zákona o péči a veřejném zdraví je povinen se starat o zdraví každého jednotlivce i stát. Chránit si svůj sluch před hlukem a hlukovou zátěží na únosnou míru je v zájmu každého jednotlivce. Jasně se ukazuje, že český stát opomíjí situaci hluku z dopravy [13].

Hluk a lidé v číslech:

- až 40 % evropské populace je vystaveno takové míře hluku, která může způsobit škody na zdraví
- 100.000.000 obyvatel EU je zasaženo nadlimitním hlukem přesahujícím 65 dB
- škody způsobené hlukem v rámci Evropské unie se odhadují až na 28 miliard euro
- v Praze je nadlimitním hlukem zasaženo $\pm 7,6$ % obyvatel, tedy přes 90.000 lidí
- asi 200.000 obyvatel Berlína žije v ulicích, kde jsou překročeny limity pro hluk
- v Dánsku je ročně hospitalizováno 800 - 2200 osob a dochází ke 200 - 500 samovolným potratům
- v Evropě je dlouhodobý vliv dopravního hluku příčinou tří procent všech úmrtí na srdeční selhání [13]

2 ZÁKLADNÍ POJMY A VELIČINY

2.1 Zvuk

Akustika je věda zkoumající mechanické kmity ve větším frekvenčním rozsahu. Frekvenční pásma se dělí do čtyř kategorií. Zvuk vzniká ve frekvenčním rozsahu 16 až 20 000 kmítů za sekundu, mechanickým vlněním pružného prostředí ve třech skupenstvích: v kapalinách, pevných látkách nebo plynech, kde se šíří konečnou rychlostí [3].

2.2 Metody eliminace hluku v akustice

Známo je pět základních metod boje proti hluku:

1. Metoda redukce hluku ve zdroji – zakládá se na naprostém odstranění zdroje hluku nebo snížení jeho hlučnosti. Vyzařovaný hluk strojních zařízení lze utlumit částečně tlumením vibrační strojních zařízení.
2. Metoda dispozice – hlučné prostory, ve kterých se nacházejí stroje a různá zařízení, umísťujeme vhodně mimo chráněné a méně hlučné prostředí. Toto využíváme především v projektování průmyslových zón, dopravních komunikací a územním plánování. Hlučné provozy a stroje musí mít akustickou pohodu, aby neměly negativní vliv na chráněné prostory např. nemocnice, školy, sídliště atd.
3. Metoda izolace – zvukovým odizolováním hlučného stroje popř. celého hlučného prostoru nebo určitého zařízení dosáhneme separací prostředí zvukoizolačními příčkami, kryty, zákryty, stropy aj.
4. Metoda využívající zvukové pohltivosti materiálů – metoda, kterou aplikujeme především při snižování hluku v místnostech. Zakládá se na schopnosti konstrukcí a materiálů pohlcovat a transformovat akustickou energii na energii tepelnou.
5. Metoda využívající osobní ochranné pomůcky – pokud nelze použít žádnou z výše uvedených metod a nedochází k dostatečnému snížení hlukové expozice, používáme ochranné pomůcky např. zvukově tlumící vložky do uší, sluchátka nebo přilby. Kombinací výše uvedených metod dosáhneme nejlepších výsledků [14].

2.3 Základní decibelové veličiny v akustice

- Hladina akustického výkonu

Hladina akustického výkonu L_W [dB] je definován vztahem

$$L_W = 10 \log \frac{W}{W_0} \quad (1)$$

Kde L_W hladina akustického výkonu v [dB] W je sledovaný akustický výkon [W] a W_0 je referenční akustický výkon ($W_0 = 10^{-12}$ W). Každé zvýšení hladiny akustického výkonu o 10 dB odpovídá zvýšení výkonu o jeden řád [14].

- Hladina akustického tlaku

Hladina akustického tlaku L_p [dB] je definována vztahem

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

kde L_p je hladina akustického tlaku v [dB] p je sledovaný akustický tlak [Pa] a p_0 referenční akustický tlak ($p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa) odpovídající v decibelové stupnici 0 dB. Každému zdesateronásobení akustického tlaku v [Pa] odpovídá zvýšení hladiny akustického tlaku o 20 dB.

- Hladina intenzity zvuku

Tato hladina je definována vztahem

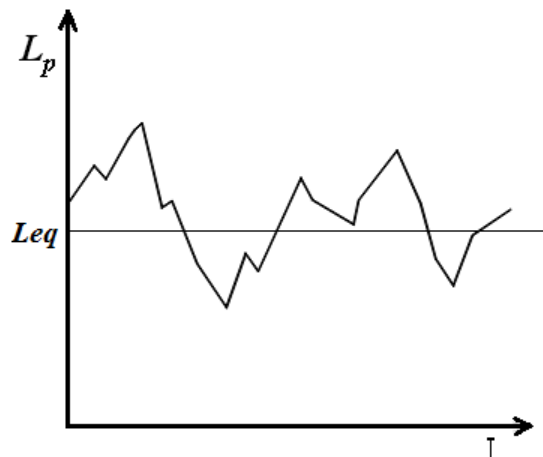
$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (3)$$

Kde L_I je hladina intenzity zvuku v [dB] I je intenzita zvuku sledovaného akustického signálu [W/m^2] a I_0 referenční hodnota intenzity zvuku ($I_0 = 10^{-12}$ W/m^2).

- Ekvivalentní hladina

Je fiktivní ustálená hladina zvolené veličiny, která má stejné účinky na člověka v daném časovém intervalu jako proměnný hluk [4] [5].

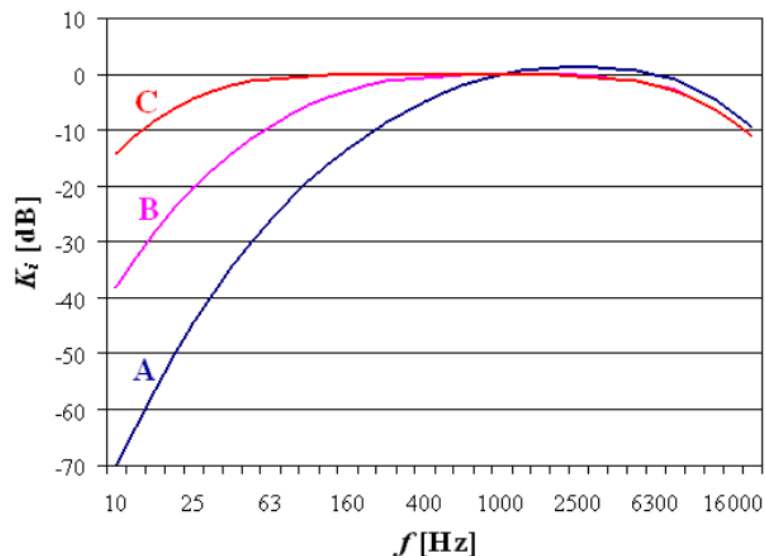
$$L_{eq} = 10 \cdot \log \left| \frac{1}{T} \cdot \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right| \quad (4)$$



Obr. 1. Příklad časového průběhu hladiny akustického tlaku a příslušné ekvivalentní hladiny [14]

2.4 Váhové filtry

Mnoho činitelů ovlivňuje subjektivní vjem zvuku lidmi. Při různých kmitočtech má lidský sluch rozdílnou citlivost. Vlastnosti lidského ucha nám přibližují váhové filtry A, B, C a D, které připodobňují kmitočtovou charakteristiku vybraným křivkám hladin stejné hlasitosti. Váhové filtry jsou nedílnou součástí zvukoměrů. Zároveň jsou u nich nastaveny korekce. Nejčastěji využíváme váhový filtr A, který průběhem filtrace signálu se shoduje s frekvenční závislostí našeho sluchu. V oblasti nízkých hladin akustického tlaku se shoduje kmitočtová charakteristika s převrácenou křivkou stejné hlasitosti. Váhový filtr B se v současnosti již nepoužívá [2].



Obr. 2. Průběh váhových křivek filtrů typu A, B a C [14]

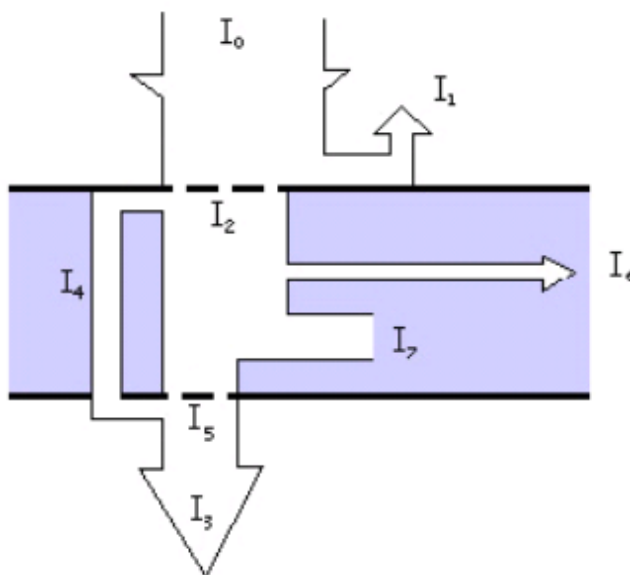
3 PASIVNÍ METODY SNIŽOVÁNÍ HLUKU

3.1 Pohlcování zvuku

Energetickou bilanci zjišťujeme při dopadu zvukové vlny na nějakou překážku (např. povrch stěny) se část zvukové vlny odrazí a část pohltí. Část zvukové vlny může ještě projít do prostoru za stěnou. Na obr. 3. je znázorněna energetická bilance při dopadu zvukové vlny na nějakou stěnu.

Akustický výkon dopadající na 1 m^2 povrchu stěny (tj. intenzita zvuku vlny dopadající na překážku) I_0 se rozdělí na následující dílčí složky [1][14]:

- I_1 – intenzita zvuku vlny odražené,
- I_2 – intenzita zvuku vlny pohlcené,
- I_3 – intenzita zvuku vlny vyzářené za stěnu celkem,
- I_4 – intenzita zvuku vlny prošlé za stěnu otvory a póry,
- I_5 – intenzita zvuku vlny, kterou stěna vyzáří v důsledku svého ohybového kmitání do druhého poloprostoru,
- I_6 – intenzita zvuku vlny, která je vedena ve formě chvění do ostatních částí přiléhajících konstrukcí,
- I_7 – intenzita zvuku přeměněná ve stěně na teplo.



Obr. 3. Energetická bilance při dopadu zvukové vlny na stěnu [14]

Činitele zvuku

Při dopadu zvukové vlny na stěnu lze definovat činitele zvuku na základě energetické bilance. Činitel zvukové pohltivosti α , je schopnost tělesa pohlcovat zvuk. Je určen poměrem energie pohlcené určitou plochou k dopadající energii na tuto plochu.

Lze ho vyjádřit rovnicí

$$\alpha = \frac{I_2}{I_0} \quad (5)$$

Činitel zvukové pohltivosti

Z pohledu zákona zachování energie je očividné, že činitel zvukové pohltivosti $\alpha \in \langle 0, 1 \rangle$. Charakterizujeme-li stěnu, na které dochází k úplnému pohlcení veškeré dopadající akustické energie, používáme činitel pohltivosti $\alpha = 1$.

$$\beta = \frac{I_1}{I_2} \quad (6)$$

Činitel zvukové odrazivosti

Obdobně jako u činitele zvukové pohltivosti, velikost činitele zvukové odrazivosti leží v intervalu $\beta \in \langle 0, 1 \rangle$. Stěnu s dokonalou odrazivostí zvuku charakterizujeme činitelem odrazivosti $\beta = 1$. Jestliže se veškerá dopadající akustická energie pohltí ve stěně, pak $\beta = 0$. Z energetického hlediska musí tedy platit následující závislost mezi činitelem zvukové pohltivosti a činitelem zvukové odrazivosti:

$$\alpha + \beta = 1 \quad (7)$$

Činitel průzvučnosti a stupeň neprůzvučnosti

Průzvučností stěny označujeme jako schopnost stěny propustit dopadající energii akustického výkonu. Kvantitativně je průzvučnost prvku charakterizována činitelem průzvučnosti [1] [6] [14].

$$\tau = \frac{P_5}{P_0} = \frac{I_5}{I_0} \quad (8)$$

3.2 Experimentální stanovení činitele zvukové pohltivosti

Experimentální měření činitele zvukové pohltivosti lze provést dvěma způsoby.

3.2.1 Měření činitele zvukové pohltivosti v dozvukové místnosti

Při všesměrovém dopadu akustických vln se měří činitel zvukové pohltivosti v dozvukové místnosti resp. komoře podle ČSN ISO 354 (73 0535). Princip této metody spočívá ve stanovení doby dozvuku v samostatné dozvukové místnosti včetně testovaného materiálového vzorku. Objem dozvukové místnosti přitom nemá být menší než 150 m^3 [15].

3.2.2 Měření činitele zvukové pohltivosti v interferometru

Interferometr slouží k měření činitele zvukové pohltivosti, lze jej aplikovat pouze při kolmém dopadu akustických vln podle ČSN ISO 10534. Měření činitele zvukové pohltivosti v interferometru se provádí metodou přenosové funkce nebo metodou poměru stojaté vlny. Daných metod se také používá zejména při vývoji nových akustických materiálů a obkladů nebo při pozorování různých materiálů a vrstvených struktur z hlediska pohlcování zvuku. Mezi výhody metody patří hlavně přesnost a malé rozměry materiálových vzorků. Metoda byla použita i v rámci této práce, díky dostupnosti přístrojů, které byly k dispozici [16].

3.3 Materiály pohlcující zvuk

Při řešení zvukové pohltivosti materiálů je nutno sledovat následující hlediska:

- a) popis klíčových fyzikálních atributů a parametrů, které způsobují pohlcování zvuku
- b) popis akustických provedení akustických pohlcovačů používaných za účelem redukce a specifického hluku
- c) akustické parametry, které dovolují kvantitativní návrh jisté konfigurace pohlcovače zvuku na základě materiálů a geometrických parametrů
- d) experimentální ověření akustických parametrů zvukově-pohltivých materiálů a akustického provedení pohlcovačů zvuku (akustických absorbérů)

Porézní materiály patří mezi nejlépe zvuk pohlcující materiály. Jsou používány ve tvaru rohoží, koberců, povlaků, desek, kartónů nebo různě tvarově předlisovaných elementů vyrobených ze skelných minerálních nebo organických vláken, dřevěných třísek, kokosových vláken nebo drceného textilu. Nejvíce používanými jsou elementy s otevřenými buňkami z pěnového polyuretanu, obsahují otevřené póry s typickými rozměry do 1 mm, jsou mnohem menší, než je délka vlny zvuku [2].

Důležitými parametry jsou:

- komplexní charakteristická impedance
- konstanta šíření zvuku

Další příčinou ztráty energie částic při nízkých frekvencích je tepelná vodivost materiálu. U vláknitých materiálů je ztráta zvláště vysoká, pokud se zvuk šíří v rovině rovnoběžné s rovinou vláken. Pórovitost, průměr vláken, faktor struktury a odpor proti proudění patří mezi základní fyzikální charakteristiky porézních materiálů.

U absorberů s velkou a rovinnou plochou lze vyšetřovat vlastní absorpci zvuku, aby tak byl vyloučen odraz a lom u hran ploch. Součinitel absorpce daného povrchu je:

$$\alpha = \frac{\text{pohlčená energie}}{\text{dopadající energie}} = 1 - |\beta|^2 \quad (9)$$

Kde β je součinitel odrazu; je definován jako podíl odražené a dopadající akustické energie na rozhraní, např. pro $\beta = 0,1$ je odpovídající $\alpha = 0,99$.

Absorpční materiály lze podle struktury rozdělit na pórovité a vláknité. Obojí musí mít dostatek otevřených vzduchových buněk, v nichž se zvukové vlny při průchodu tlumí [2] [3] [7].

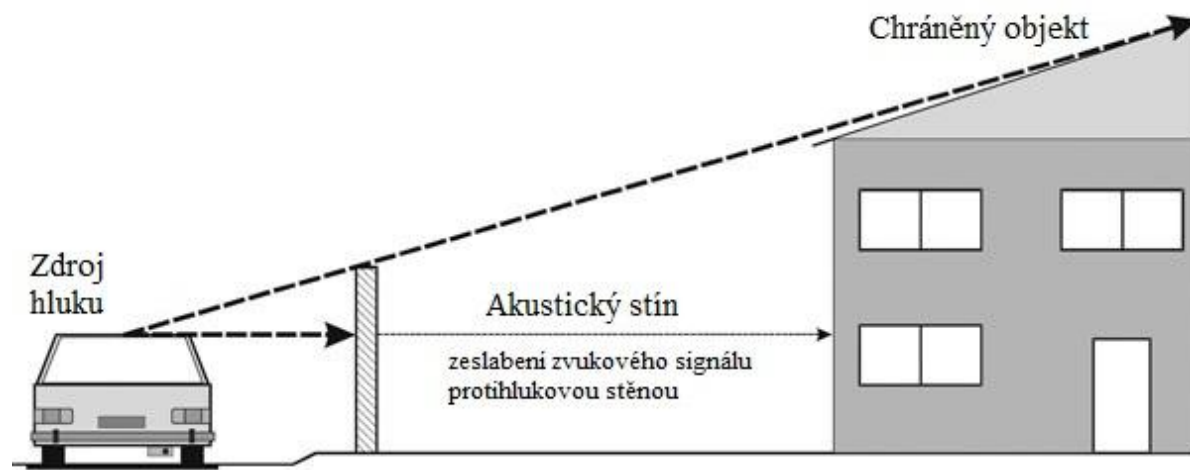
4 DOPRAVNÍ HLUK A ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

Hluk dopravních prostředků se rozděluje na hluk vnitřní a vnější. Měřený hluk uvnitř vozidla nám neslouží jako míra pro obtěžování obyvatel, ale pouze zhodnocuje kvalitu výrobku. Způsobuje ho hnací ústrojí, motor, pneumatiky, povrch vozovky a její stav. Naopak hygienickým předpisům, které stanovují přípustnou hladinu hluku, podléhá hluk vnější [1] [6].

4.1 Účel protihlukových stěn

Protihlukové stěny se zřizují pro snížení intenzity hluku v provozu na pozemních komunikacích na hodnoty předepsané příslušnými hygienickými předpisy. Úpravy jsou předpisem Ministerstva dopravy. Hlavním účelem pro konstrukci protihlukových stěn je snížení hladiny hluku z dopravy a dosažení účinku tlumícího zvuku snížením při průchodu konstrukcí jeho hladiny nejméně o 25 dB. Konstrukce protihlukových stěn umístíme co nejblíže ke zdroji hluku z důvodů zajištění maximální akustické účinnosti.

Protihlukové stěny se dělí na zemní valy, protihlukové stěny, na mostech a opěrných zdech, kombinované se zelení, polovegetační stěny, zemní valy kombinované se stěnou, gabinové (drátokamenné) konstrukce, protihlukové úpravy na objektech ohrožených hlukem [10] [17].



Obr. 4. Princip fungování protihlukové stěny [6]

4.2 Členění protihlukových stěn

Protihlukové stěny pozemních komunikací jsou tvořeny základy a stěnovými prvky zpravidla osazenými mezi vodící sloupky. Tvar a rozměry základu a třídu betonu stanoví dokumentace. Pro protihlukové stěny se převážně používají ocelové a betonové sloupky a stěnové dílce podle dokumentace a to betonové, železobetonové, z předpjatého betonu, z mezerovitého betonu, alkaliresistentního sklovláknitého betonu. PHS mohou být kombinované s kovovým pláštěm z profilovaných plechů, celodřevěnné, cementotřískové, dřevěné s pohltivou vložkou, zděnné z cihel a tvárnic, z bezpečnostního skla, polykarbonátů, z plastů nebo směsných recyklovaných plastů aj. [8] [9].

Z hlediska psychologie plní svoji funkci také povrchové úpravy bariér a také je nutno přihlídnout i ke vzdálenosti bariéry od silnice. Barva hraje velmi důležitou roli při snaze zkombinovat návrh s okolním prostředím. Barva může táhnout zrak řidiče na bariéru nebo bariéru může upozadit. Tvary protihlukových stěn mohou být svislé, šikmé, lomené, oblé, galoriové a nebo tunelové [17].

4.3 Požadované akustické vlastnosti protihlukových stěn

Akustické vlastnosti absorpčních zařízení na snížení hluku z dopravy jsou udávány zvukovou pohltivostí DL_a [dB]. Zkušební metoda posuzování laboratorních hodnot zvukové pohltivosti PHC stanovuje ČSN EN 1793-1. Úroveň zvukové pohltivosti je určena dle ČSN EN 1793-1, dle tabulky 1 [18].

Tab. 1 Úroveň zvukové pohltivosti [18]

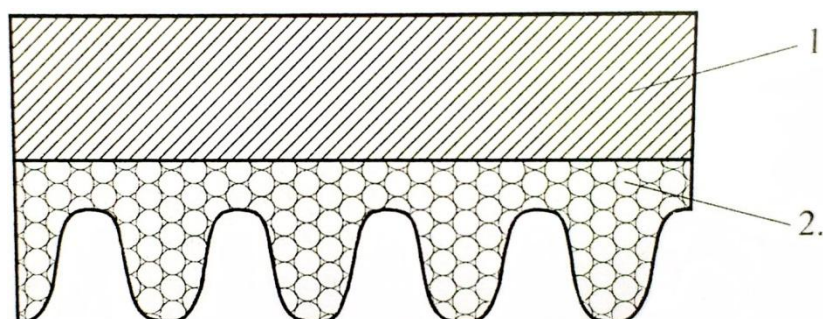
Kategorie	DL_a [dB]
A0	Neurčeno
A1	< 4
A2	4 – 7
A3	8 – 11
A4	> 11

Příznačným parametrem protihlukových stěn je vždy útlum, reprezentovaný rozdílem hladin akustických tlaků na stanoveném místě před a po výstavbě protihlukových stěn, získaný za nezměněných podmínek zdroje hluku, terénu s překážkami a podmínek meteorologických. Účinek protihlukové clony je tím větší, čím větší je efektivní výška clony a čím

hlouběji se posuzované místo nachází v oblasti zvukového stínu. Protihlukové clony musí být stabilní, rozměrově a tvarově stálé [19].

Často bývá přidán akustický materiál k betonové kostře panelu, čímž je možné dosáhnout zvukové pohltivosti třídy A3 [6].

Akustický panel Liadur obr. 5. je tvořen nosnou kostrou z hrubého betonu (1) a pohltivou vrstvou mezerovitého betonu (2). Vnější strana panelu je tvořena plastickým vzorem - vlnou, která zvyšuje pohltivou plochu panelu a tím i jeho celkovou zvukovou pohltivost DL_{α} . Vzduchovou neprůzvučnost cca 44 dB, což vyhovuje kategorii B3 a zvukovou pohltivost 7 – 8 dB, což vyhovuje kategoriím A2 – A3 [2].



Obr. 5. Průřez akustickým panelem Liadur [2]

4.4 Kvalitativní požadavky

Životnost protihlukových stěn by měla být přibližně 30 let a podle toho musejí být navrhovány všechny konstrukční prvky. Normy a všechny provedené zkoušky materiálů mají poskytnout důkaz o odolnosti při stanovených podmínkách:

- Chemické látky
- Chemické rozmrazující látky
- Znečištěná voda/prach
- Rosa (vlhkost)
- Chlad
- Horko
- UV záření
- Vibrace způsobená dopravou
- Biologický proces
- Ozon
- Voda
- Působení proudu vody mokro/sucho

U konstrukcí, ve kterých jsou použity různé kovy a materiály, se musejí provést všechna odpovídající opatření, aby se zaznamenala elektrolytická koroze, z důvodu špatného vlivu na její životnost [19].

5 SOUČASNÝ STAV STUDIÍ V OBLASTI ZVUKOVÝCH BARIÉR

V oblasti zvukových bariér vzniklo již velké množství různých studií zabývajících se nej-různější problematikou.

Jedna ze studií zkoumala činitele zvukové pohltivosti, závislé na pórovitosti materiálu. Nutné je, aby při provádění povrchových úprav nedocházelo k uzavírání pórovité struktury materiálu. Řešením bývá provedení perforovaných akustických obkladů ze dřeva, kovu nebo plastu, které dovolují pronikání zvukových vln, do akusticky pohltivého materiálu.

Sami o sobě nemohou být použity pórovité akustické materiály ve formě nosných konstrukcí vzhledem ke svým nízkým mechanickým vlastnostem.

Vzduchová mezera zlepšuje hodnotu činitele zvukové pohltivosti především v oblasti nízkých kmitočtů. Doporučuje se, aby velikost vzduchové mezery d_w [m] byla v intervalu $0,12 \lambda - 0,16 \lambda$ [4] [7].

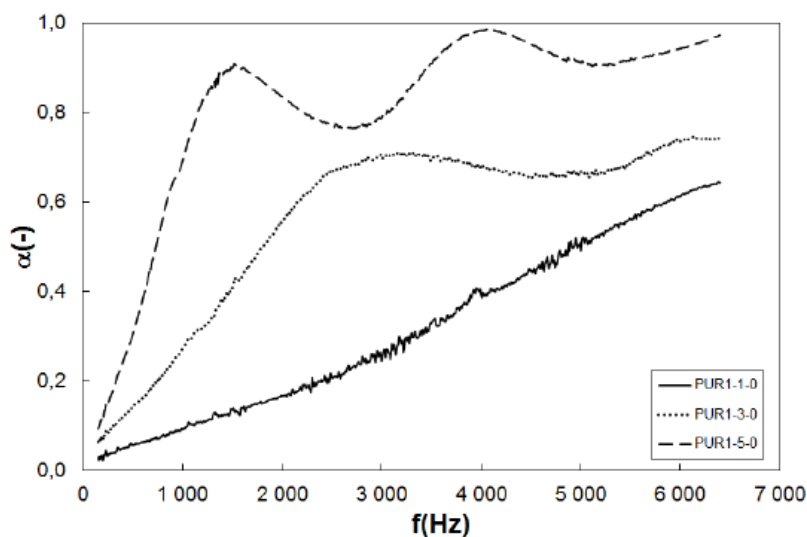
Naopak jiná studie se zabývá akustickými materiály, které mohou být charakterizovány jejich akustickou povrchovou impedancí, koeficientem odrazu zvuku nebo zvukovým absorpčním koeficientem. Absorpční koeficient je možno měřit třemi způsoby - ozvěnou, impedanční trubicí a reflexí. Nejčastěji se používá metoda reflexe. Zatímco metody přenosové funkce je použito ve frekvenční oblasti, metoda reflexe se provádí v oblasti času. Stopa odrazu byla modelována přímým signálem s impulsní odezvou mikroperforované vložené jednotky. Tato impulsní odezva obsahuje nekonečné součty zpožděné koeficienty impulsu. Impulsní koeficienty jsou funkce časové oblasti odrazu a přenosu, koeficienty přes rozhraní vzduch. Když je odražená stopa dostatečně velká, je absorpční koeficient shodný s frekvenční doménou. V důsledku toho, nízké frekvence nejsou zaznamenány. Proto metoda časové oblasti má nižší spolehlivou frekvenci přímo související s délkou okna [20].

Hlavní náplní této vědecké práce je ověření metody měření vzduchové neprůzvučnosti tak, že je možné provést průzkum bariér v lokalitách a zjistit tak jejich vlastnosti a rozsahy úniku zvuku. Toto měření využívá silniční komunikaci a její dopravu jako zdroj zvuku. Hlavním měřeným prvkem nebyla pouze intenzita zvuku, ale i rychlost s jakou zvuková energie dopadá na překážku. Intenzita zvuku dopadající na čelní fasádě byla získána z měření hladin akustického hluku na povrchu stěny. Panel byl vytvořen z dřevotřísky o tloušťce 18 mm o velikosti 90 x 90 cm pokrytý tvrdým laminátem. Pro porovnání zda je tento způsob měření objektivní se výsledky porovnali s měřením provedeným v laboratoři, které

splňují dané normy. Tyto výsledky byly porovnatelné. Pro toto měření byla zachována i teplota venkovního měření.

Z výsledků vyplývá, že došlo k zjištění nižších hodnot ve venkovním prostředí (v lokalitě) než tomu bylo v případě laboratoře a to v rozdílu 2 dB. Hodnocení se získá otestováním zvuků frekvenčního rozsahu (10 Hz až 5 kHz), což je spektrum zvuků obsažených v dopravě. Srovnáním získaných výsledků docházíme k závěru, že tato technika měření hluku šířeného vzduchem je vhodná pro venkovní měření k získání užitečných a především objektivních dat [21].

Podobnou problematikou se zabývá studie zaměřená na snižování hluku při aplikaci zvukově pohltivých pórovitých materiálů. Vyhodnocuje různé faktory ovlivňující činitele zvukové pohltivosti pórovitých materiálů a jejich vlastností. Nejvyšší zvuková pohltivost byla dosažena u polyuretanové pěny s malými póry. V tomto případě dochází k významné transformaci akustické energie v teplo v důsledku tření při pohybu vzduchu poblíž pevné stěny. Tloušťka pórovitého materiálu je velmi důležitá z hlediska tlumení zvuku. Rostoucí tloušťka materiálu polyuretanové pěny má příznivý vliv na tlumení zvuku, zejména v oblasti nízkých frekvencí obr. 6.



Obr. 6. Vliv tloušťky na zvukovou pohltivost u polyuretanové pěny s jemnými póry [22]

S rostoucí velikostí vzduchové mezery se zvyšuje zvuková pohltivost především v oblasti nízkých frekvencí. Transformace akustické energie na teplo souvisí s akustickou rychlostí. Nulová akustická rychlost vzniká na akusticky pevné stěně, na které při odrazu zvuku

vzniká uzel akustické rychlosti. Akustická rychlost postupně vzrůstá s rostoucí vzdáleností od stěny [22].

Velmi zajímavé a přínosné jsou vědecké výzkumy týkající se použitých materiálů na výrobu protihlukových stěn.

Materiály pro snižování hluku a vibrací jsou zvukově absorpční lamináty, které se vyznačují vysokou účinností útlumu při poměrně malé tloušťce vrstvy. Z těchto důvodů mají nejširší využití zejména v oblasti stavebnictví a dopravy. Lamináty se skládají z pórovitého izolačního substrátu (např. z polymerní vláknové matrice nebo z plátu pěnové polymerní gumy) a povrchové tenké vrstvy s vysokým odporem vůči průtoku vzduchu. Kompozitní vlasové smyčkové materiály tlumí rázy a zároveň izolují, protože mají zvýšený odpor vůči smykovému namáhání. Podpěrná trémová konstrukce je tvořena dvěma hliníkovými deskami a křížovými hliníkovými podpěrnými nosníky. Proměnu vibračního pohybu v tepelnou energii dosahujeme tlumením vibračního pohybu. Pro výrobu volně sypaných částicových systémů používáme např. drcenou recyklovanou pryž o různé zrnitosti, získaných z ojetých pneumatik, jejichž částice jsou spojeny vhodným pojivem. Hodnoty koeficientu zvukové pohltivosti se v závislosti na tloušťce vrstvy (25 - 90 mm) pohybují v rozmezí 0,7 - 0,9, s maximy při frekvencích 1100, 2000 a 3000 Hz. Proto je vhodné použít odpadních polymerních materiálů především drcené pryže a plastů. Tohoto však využíváme jen po mechanické úpravě a separaci podle druhu a velikosti a tvaru částic recyklátů. Zásadní je výběr vhodného pojiva např. polybutadien/polyuretanové pojivo [23].

Jeden z nových výzkumů představuje způsob, jak používat nízko-nákladový recyklovaný koks jako lehké kamenivo v cementové maltě použité na výrobu zvukových bariér. Akustické vlastnosti tohoto materiálu byly hodnoceny z vyrobené desky velkého rozměru. Získané výsledky byly porovnány s těmi, které byly experimentálně provedeny z materiálů cementu a písku. Výsledky ukázaly, že přidání koksu do směsi vede k snížení mechanických vlastností výsledné malty, nejvíce se odráží na zvýšení její pórovitosti.

Jakmile se jednou koks přidává do cementové směsi, celková pórovitost tak zůstává stejná. Získá se tedy o 60 % lehčí maltová směs, která má o 38 % vyšší hustotu výsledných kompozitu než u malty vyrobené z písku. Zvýšená pórovitost výrazně ovlivňuje mechanické vlastnosti. Vzorčky ukázaly, že ohebnost a pevnost proti tlaku je zhruba o 80 % menší než u materiálu vyrobeného z písku. Akustické testování proběhlo postupným zvyšováním od středních až vyšších frekvencí, kde se dosáhlo pozoruhodného zlepšení zvukové izolace a to v hodnotě 14 dB [24].

Mimořádně zajímavé je požití gabionů, což jsou kroucené svařované ocelové dráty, plněné kameny. Měření probíhalo laboratorně. Proto je dalším cílem v této práci prověřit účinnost hluku nízkých překážek i vysokých stěn z gabionu. Bylo nalezeno optimum impedance - okrajová podmínka na povrchu bariéry a výsledky ukázaly zlepšení o 5 dB v konfiguraci s absorpční bariérou o výšce 1 m v porovnání s pevnou bariérou. V tomto případě je odpor proudění důležitým parametrem porézního materiálu. Čtyři 1 m vysoké a 1 m široké gabionové překážky byly testovány s různými vlastnostmi. Předchozí výpočty ukázaly, že je to přiměřené, protože rozdíl v globální účinnosti mezi několika realizacemi nemají překročit 0,5 dB. Pojetí přírodních překážek gabionů, vložených do městské oblasti jako efektivní řešení pro snížení pozemního dopravního hluku. Celosvětově existují shody mezi dvěma měřicími postupy, které ukázaly, že gabionové stěny jsou účinné při odrazu i přenosu hluku. Izolační indexy se pohybují kolem 5 dB a 20 dB. Studie ukazuje, že gabionové bariéry, které se původně používaly jako opěrné konstrukce nebo hydraulická ochrana, mohou být použity jako účinné protihlukové stěny. V tomto případě je jejich realizace a údržba velmi jednoduchá [25].

Pro zvýšení efektivity vertikální překážky může být přidání pomocných hran. Výhodou je snadné začlenění do protihlukové bariéry, výhodné především u protilehlých stěn po obou stranách silnice. Zjistili jsme, že čím blíže za bariérou je další přírodní překážka např. trávník nebo nahrnutá půda, tak tím více zvuku stěna s jejich pomocí pohltí. Bylo by to neefektivní v místě akustického stínu [26].

Paralelní protihlukové stěny se používají tam, kde je největší hluk např. u dálnic. Kde není možnost výstavby paralelních stěn používá se protihlukových stěn s náklonem.

Pokus o zvýšení výšky bariéry z 2 m na 3 m - bariéra pohltila a odrazila jen o 2,7 dB. Předpokládali jsme vyšší rozdíl. U nakloněných bariér je důležitý úhel náklonu. Tam kde je vozovka širší, stačí menší úhel náklonu. Nakloněné bariéry zpravidla odráží zvuk nad sebe, což by mohl být problém např. blízko paneláků. Při použití paralelních protihlukových stěn je dokázáno, že nemusí být tak vysoké a přesto pohlcují daleko více zvuku než jedna vysoká stěna. Dvě nižší stěny dokáží zvuk daleko více pohltit a zbytek odeslat do akustického stínu na rozdíl od vysoké stěny která většinu zvuku pouze odrazí [27].

Existuje i studie, která dokládá nejlepší naměřené hodnoty při použití dřevotřískové desky, plněné skelnými vlákny nebo minerální vlnou [28].

Některé z vědeckých prací obhajují různé tvary protihlukových stěn. Nejčastěji se objevují tvary písmen T nebo Y.

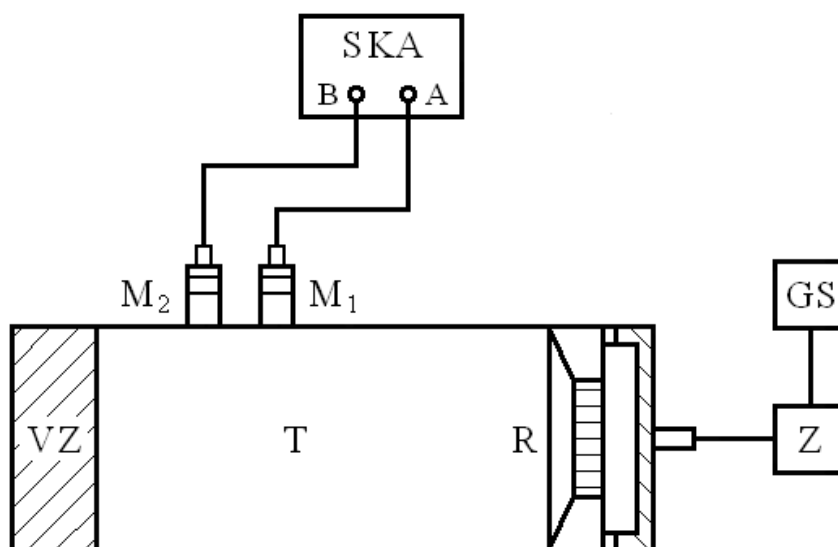
Často opomíjené problémy shrnuje výzkum, kdy použité protihlukové stěny mohou zapříčinit vyšší koncentraci znečišťujících látek, jak na silnici tak i ve vzduchu. Toto závisí na meteorologických podmínkách. V místech vystavění protihlukových stěn se výpary z vozidel více koncentrují a také znečištění vozovky je výraznější [29].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 LABORATORNÍ MĚŘENÍ NA KUNDTOVĚ TRUBICI

6.1 Měřicí zařízení

Měřicí soustava zvaná Kundtova trubice se nejčastěji používá k měření činitele zvukové pohltivosti. Na obr. 7. je znázorněno schématické zapojení Kundtovy impedanční trubice se dvěma mikrofony. Na jednom konci trubice T je umístěn testovaný vzorek VZ , na druhém konci je umístěn reproduktor R , který je napájen generátorem signálu GS . V zesilovači Z je zesílen signál. Na trubici jsou umístěny dva mikrofony M_1 a M_2 stejného typu pro snímání akustických tlaků. M_1 zaznamenává akustický tlak dopadající akustické vlny, M_2 odražené vlny. Pro měření byly aplikovány dva nástavce pro různé frekvenční rozsahy. Velká měřicí trubice - pro měření nízkých frekvencí o rozsahu 50 Hz až 1600 Hz a malá měřicí trubice - pro měření vysokých frekvencí o rozsahu 500 Hz až 6400 Hz. V systému kmitočtové analýzy SKA využíváme naměřené veličiny pro další zpracování [15].



Obr. 7. Kundtova trubice se dvěma mikrofony pro měření činitele zvukové pohltivosti [15]

6.1.1 Vzorky pro měření koeficientu zvukové pohltivosti

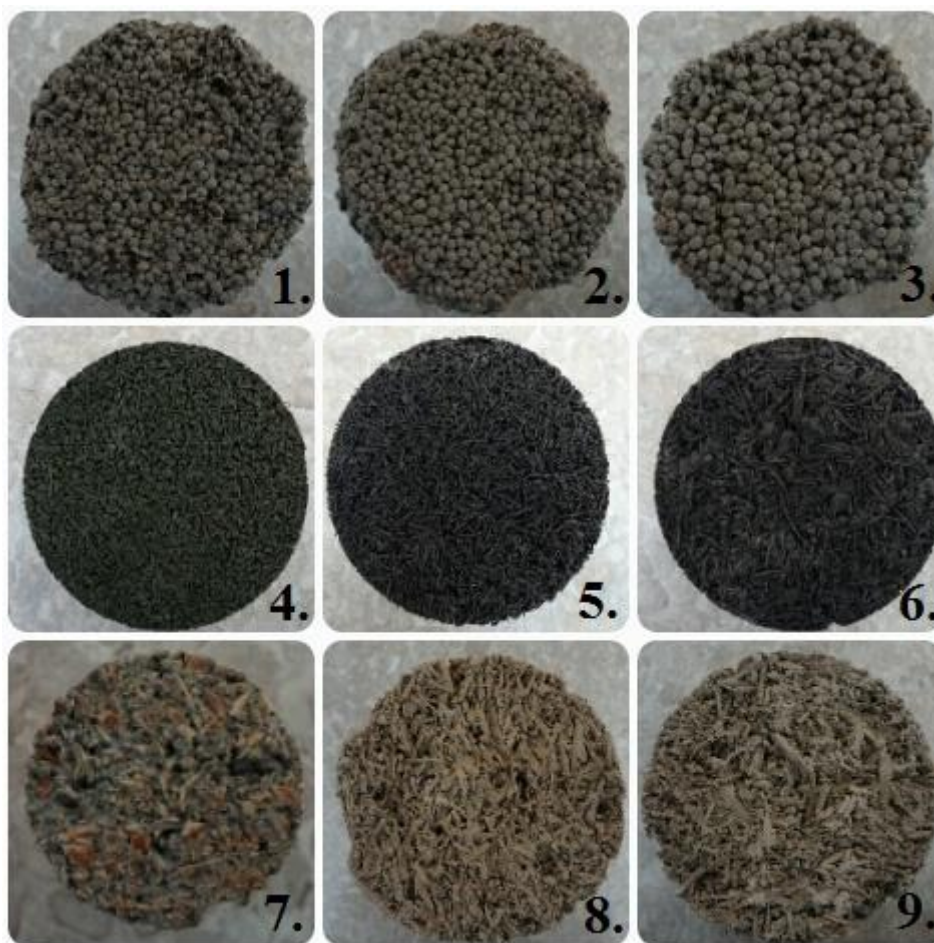
Měření proběhlo v Kundtově impedanční trubici. Při zkoušení akustických obkladů nebo heterogenních materiálů, musí mít vzorek skladbu odpovídající skladbě při skutečném zabudování do konstrukce. Protihlukový materiál potřebný k měření poskytly firmy, které se zabývají stavbou PHS. Vzorky musely být upraveny na požadovaný tvar válce o průmě-

ru 30 mm pro malou trubici a o průměru 100 mm pro velkou trubici. Výroba vzorků byla realizována řezáním pomocí vodního paprsku. Některé vzorky musely být na obvodu utěsněny plastelínou. Následně jsou blíže specifikovány materiály použité pro měření v Kundtově impedanční trubici.

Lehké mezerovité keramické betony Liapor na obr. 8. jsou vzorky 1, 2 a 3. Díky pórovitým zrnům keramického kameniva Liapor, tvoří podstatnou součást Liaporbetonů. Betony mají nižší pevnost, ale také velmi nízkou objemovou hmotnost a dobré izolační vlastnosti charakterizují mezerovité lehké betony. Používají se zpravidla pro konstrukce s vyššími akustickými nároky - vzduchovou neprůzvučností a zvukovou pohltivostí. Od firmy Liapor byly poskytnuty tyto tři vzorky s různou velikostí kuliček – hrubé, střední a jemné.

Na měření byly použity tři vzorky recyklované pryže od tří různých firem. Na obr. 8. jsou vzorky 4, 5 a 6. Panely jsou tvořeny ze železobetonových prefabrikátů se souvislou vrstvou pohltivého materiálu a deskami z pohltivé pryže o rozměrech 500 x 500 x 50 mm s profilovaným povrchem. Desky jsou vyrobeny z gumového granulátu v černé, červené a zelené barvě dle požadavku zákazníka. Vždy se trošku od sebe lišily např. velikostí částic granulátu, ale i profilovaným povrchem čtverce nebo vlnky. Jedná se o akustické panely podobných vlastností jako panely plastové. Jako suroviny bývá použito odpadní pryže (ojeté pneumatiky, gumové pásy,...), která je dále upravována a barvena. Tyto panely mají vysokou životnost, ale jsou velmi finančně nákladné. Akustické parametry pryžových protihlukových panelů jsou velmi dobré. Podle tloušťky pohltivé vrstvy vyhovují třídám A2 – A3.

Tři vzorky dřevocementových tvárnic od tří různých firem, tj. jiná struktura, jiný poměr štěpky a cementu (viz obr. č. 8), jsou vzorky 7, 8 a 9. Dřevocementové tvárnice jsou stěnové díly velkého formátu. Smícháním dřevní štěpky, cementu, speciálních přísad a vody vznikne dřevobeton, který se potom v ocelové formě tvaruje. Dřevocementové tvárnice jsou určeny pro povrchovou úpravu protihlukových stěn. Stavební stěnové díly jsou velmi šetrné k životnímu prostředí a to jak při výrobě, tak při samotném stavění.



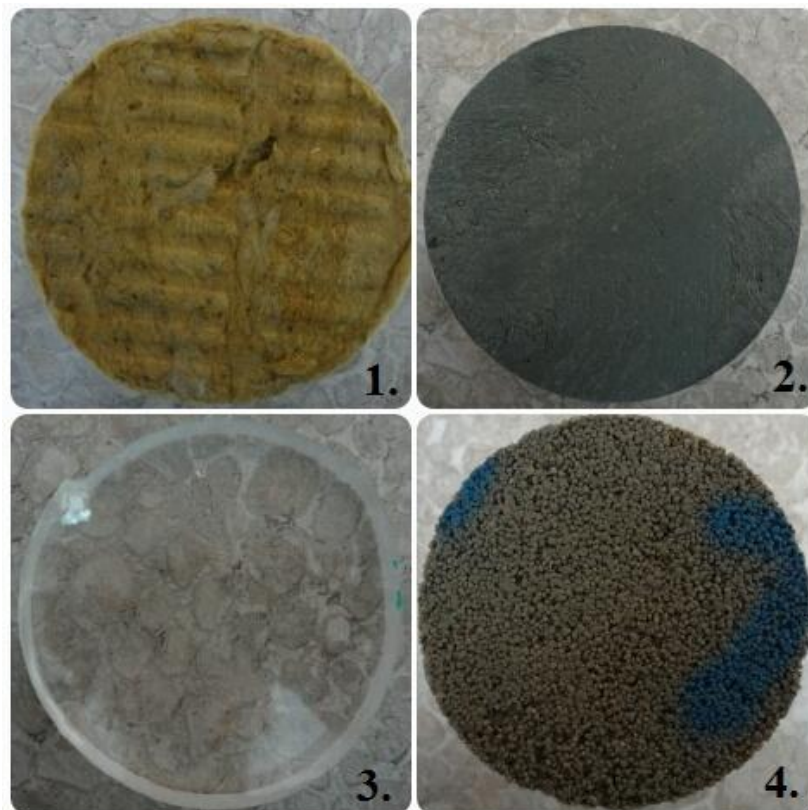
*Obr. 8. Srovnání struktury vzorků materiálů 1. – 3. lehčený beton
o různé zrnitosti, 4. – 6. pryž, 7. – 9. dřevocement*

Vzorek skelné vaty pro měření koeficientu zvukové pohltivosti je vidět na obr. 9 u vzorku 1. Skelná vata je stavební výrobek z minerální vlny Nobasil, určený pro tepelnou, zvukovou i protipožární izolaci budov.

Lehčený plast na obr. 9, vzorek 2, jehož bližší specifikace materiálu není známa. Pravděpodobně se jedná o polypropylen, duroplast nebo nejspíše o polyetylen - ten je univerzálním konstrukčním materiálem, k jeho přednostem patří nízká hustota, vysoká houževnatost i velmi dobré mechanické vlastnosti.

Plexisklo bylo dalším použitým materiálem k měření (viz obr. 9) se vzorkem 3. Používají se transparentní skleněné panely převážně z tepelně tvrzeného skla. Oproti nim stojí polykarbonátové (PC) panely nebo dnes častěji používané polymethylmetakrylátové panely (PMMA – plexisklo). Mají vynikající optické vlastnosti, odolnost proti působení UV záření a povětrnostním vlivům.

K měření byl použit kuličkový beton od firmy Skanska obr. 9 vzorek 4.



Obr. 9. Použité vzorky k měření na Kundtově trubici

1. skelná vata, 2. lehčený plast, 3. plexisklo, 4. kuličkový beton

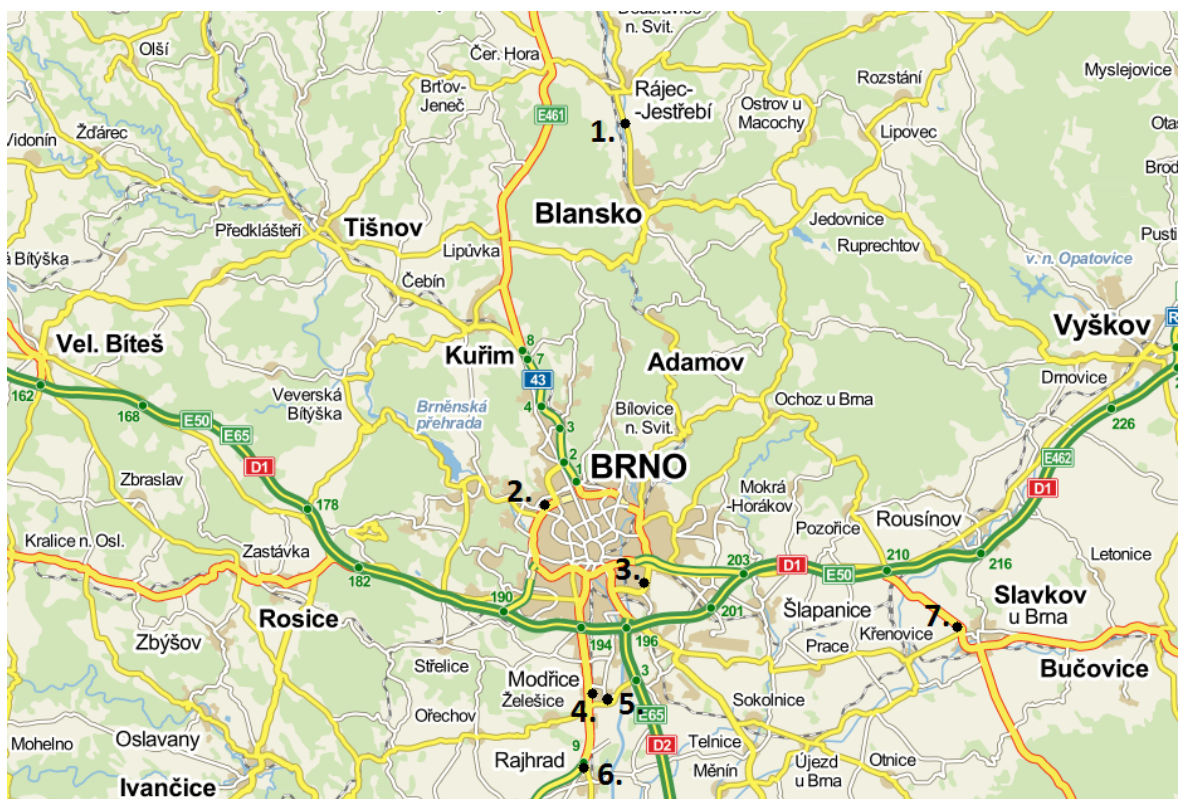
7 MĚŘENÍ PROTIHLUKOVÝCH BARIÉR V TERÉNU

Předmětem měření byl hluk z automobilové dopravy a měření účinnosti protihlukových stěn. Zdrojem hluku na komunikaci byla doprava. Charakter hluku byl proměnlivý. Měření byla prováděna s umístěním mikrofону 0,5 m před stěnou a 0,5 m za stěnou, bylo dodržováno u všech měření stejně. Výška obou mikrofónů byla 1,5 m nad zemí. Měření probíhalo vždy souběžně. Orientace mikrofónu byla vodorovná vůči vozovce. Klimatické podmínky byly vždy měřeny na začátku měření, v polovině měření a na konci měření. Naměřená data akustického tlaku následně zpracovány pomocí programu Bz-5503 Measurement Partner Suite. Podle metodiky měření bylo prováděno sčítání dopravy do daného formuláře.

Metodika měření:	ČSN ISO 1996-1 akustika, Popis a měření hluku prostředí, část 1: Základní veličiny a postupy. ČSN ISO 1996-2 akustika, Popis a měření hluku prostředí, část 2: Získávání údajů souvisejících s využitím území.
Použité přístroje:	Mikrofon Brüel & Kjær, typ 4189, v.č. 2795343, včetně předzesilovače ZC 0032, id. n. 16487, Mikrofon Brüel & Kjær, typ 4189, v.č. 27918153, včetně předzesilovače ZC 0032, id. n. 16492, Zvukový analyzátor, Brüel & Kjær, typ 2270, s.n. 3001050 Zvukový analyzátor, Brüel & Kjær, typ 2250, s.n. 3000490 Mikrofonní kalibrátor, Brüel & Kjær, typ N 4231, v.č. 3001757 Anemometr Airflow, typ WP4ask, v. č. DD 1814-9701 Termohygrobarometr, Airflow typ C4130, v. č. 00900111
Pomocné vybavení:	2x Tripod GT1340-2018 (stativy typ UA0801), ochranné kryty mikrofónů proti větru, svinovací metr ocelový e.č. 3/02, pásmo GR-750 tufmic 50m, laserová vodováha LUX, All Wether Case Brüel & Kjær typ 3535-A s.n. 0610175, All Wether Case Brüel & Kjær typ 3535-A s.n. 0610176, prodlužovací mikrofonní kabel - Brüel & Kjær, typ AO 0697-D-100 2011W23 délka 10m, prodlužovací mikrofonní kabel - Brüel & Kjær, typ AO 0441-D-200 2011W42 délka 20m

Na mapě jsou zakresleny všechna místa měření PHS.

1. Silnice č. 374 - Ráječko
2. Silnice č. 42, Brno - ulice Žabovřeská
3. Silnice č. 374, Brno - ulice Černovická
4. Silnice R52 – Brno - ulice Vídeňská
5. Silnice č. 152 - Modřice
6. Silnice R52 – Rajhrad
7. Silnice č. 50, Slavkov u Brna - ulice Čsl. Červeného kříže



Obr. 10. Mapa s vyznačenými místy měření

7.1 Silnice č. 374 - Ráječko

Datum:	17. 4. 2013
Čas měření:	9:00 – 10:00
Měřená lokalita:	silnice č. 374 u Ráječka
Popis situace:	maximální povolená rychlost 90 km/h PHS byla umístěna z obou stran mimořádná situace měřeno v den velikonočních prázdnin
Charakteristika PHS:	výška PHS 2,6 m ocelové sloupky, do dutin lamel se vkládá pozinkový profil, absorpční výplň z minerální vaty a tlumicí a krycí lišty s otvory

Tab. 2. Klimatické podmínky měření u Ráječka, silnice č. 374

	Teplota vzduchu [°C]	Rychlost větru [m/s]	Relativní vlhkost [%]	Atmosférický tlak [hPa]	Popis oblačnosti [-]
1.	8,4	3 - 4	50,7	990,7	polojasno
2.	9,4	2 - 3	51,1	990,2	polojasno
3.	10,4	2 - 3	46,1	989,8	polojasno



Obr. 11. Umístění mikrofonu silnice č. 374 u Ráječka směr Blansko

Tab. 3. Intenzita dopravy silnice č. 374 u Ráječka

JÍZDNÍ PRUH SMĚR RÁJEC JESTŘEBÍ								
čas měření	osobní automobily	nákladní automobily				autobusy	traktory	motoriky
		lehké*	střední*	těžké*	návěsové soupravy			
9:00 - 9:15	69	2	0	0	2	0	0	0
9:15 - 9:30	53	6	4	0	3	0	1	1
9:30 - 9:45	61	4	1	1	1	1	0	0
9:45 - 10:00	71	2	2	3	0	0	1	0
celkem	254	14	7	4	6	1	2	1
JÍZDNÍ PRUH SMĚR BLANSKO								
čas měření	osobní automobily	nákladní automobily				autobusy	traktory	motoriky
		lehké*	střední*	těžké*	návěsové soupravy			
9:00 - 9:15	70	3	5	1	1	0	0	0
9:15 - 9:30	93	6	0	0	1	1	0	0
9:30 - 9:45	68	3	1	2	0	0	0	0
9:45 - 10:00	72	1	2	0	0	0	0	2
celkem	303	13	8	3	2	1	0	2

* tj. o nosnosti do 3,5 t

** tj. o nosnosti od 3,5 t do 10 t včetně

*** tj. o nosnosti nad 10 t

7.2 Silnice č. 42 – Brno, ulice Žabovřeská

Datum: 7. 4. 2013

Čas měření: 14:45 – 15:45

Měřená lokalita: silnice č. 42 - Brno, ulice Žabovřeská

Popis situace: maximální povolená rychlost 60 km/h

PHS z obou stran

Charakteristika PHS: výška PHS 3,5 m

železobetonové sloupy, lehčený mezerovitý kuličkový beton směrem do silnice, z druhé strany betonové panely, tvrzené sklo ($\pm 1,5$ m), které je umístěno nad tím

záznam měření intenzity dopravy silnice č. 42 v příloze P IV

Tab. 4. Klimatické podmínky měření ul. Žabovřeská, silnice č. 42

	Teplota vzduchu [°C]	Rychlost větru [m/s]	Relativní vlhkost [%]	Atmosférický tlak [hPa]	Popis oblačnosti [-]
1.	23,8	0 - 1	38,6	991,7	polojasno
2.	21,3	0 - 1	46,2	991,4	zataženo
3.	22,7	0 - 1	42,3	990,9	polojasno



Obr. 12. Umístění mikrofonu silnice č. 42 ulice Žabovřeská,
směr Brno – Pisárky

7.3 Silnice č. 374 – Brno, ulice Černovická

Datum:	17. 4. 2013
Čas měření:	11:05 – 12:05
Měřená lokalita:	silnice č. 374 - Brno, ul. Černovická
Popis situace:	maximální povolená rychlost 80 km/h mimořádná situace měřeno v den velikonočních prázdnin PHS pouze na jedné straně
Charakteristika PHS:	výška PHS $\pm 7-8$ m do valů jsou používány veškeré druhy zemin a hornin, oseté travním semenem, doplněné křovinami a dřevinami záznam měření intenzity dopravy silnice 374 v příloze P V

Tab. 5. Klimatické podmínky měření ul. Černovická, silnice č. 374

	Teplota vzduchu [°C]	Rychlost větru [m/s]	Relativní vlhkost [%]	Atmosférický tlak [hPa]	Popis oblačnosti [-]
1.	10,8	3 - 4	40,2	996,0	polojasno
2.	11,4	3 - 4	39,1	995,5	polojasno
3.	11,4	3 - 4	38,0	995,2	polojasno



Obr. 13. Zobrazení místa měření silnice č. 374 ulice Černovická, směrem do části Brno - Komárov

7.4 Silnice R52 – Brno, ulice Vídeňská

Datum: 7. 4. 2013

Čas měření: 10:40 – 11:40

Měřená lokalita: silnice R52 – Brno, ulice Vídeňská

Popis situace: maximální povolená rychlost 90 km/h

Charakteristika PHS: výška PHS 3,35 m

použitý materiál železobetonové panely s lící absorpční vrstvou z dřevocementových tvarovek

záznam měření intenzity dopravy silnice R52 v příloze P VI

Tab. 6. Klimatické podmínky měření ul. Vídeňská, silnice R52

	Teplota vzduchu [°C]	Rychlost větru [m/s]	Relativní vlhkost [%]	Atmosférický tlak [hPa]	Popis oblačnosti [-]
1.	15,6	0 - 1	60,0	995,2	jasno
2.	15,8	0 - 1	59,7	995,1	jasno
3.	16,4	0 - 1	58,3	995,1	jasno



Obr. 14. Umístění mikrofonu u R52 směr Brno

7.5 Silnice č. 152 - Modřice

Datum:	7. 4. 2013
Čas měření:	9:00 – 10:00
Měřená lokalita:	silnice č. 152 u Modřic
Popis situace:	maximální povolená rychlost 70 km/h PHS je umístěna z jedné strany mimořádná situace – zpěv ptáků
Charakteristika PHS:	výška PHS 3,75 m dílce z kompozitního materiálu – sklovláknobeton z alkali- vzdorného skleněného vlákna ve formě vláken a síťoviny, další složky cement, slévárenský písek, mikrosilika, super- plastifikátor, odpěňovač a voda záznam měření intenzity dopravy silnice 152 v příloze P VII

Tab. 7. Klimatické podmínky měření – Modřice, silnice č. 152

	Teplota vzduchu [°C]	Rychlost větru [m/s]	Relativní vlhkost [%]	Atmosférický tlak [hPa]	Popis oblačnosti [-]
1.	11,3	0 - 1	66,7	997,2	jasno
2.	12,2	1 - 2	66,6	997,3	jasno
3.	13,0	0 - 1	64,9	997,4	jasno



Obr. 15. Umístění mikrofonu silnice č. 152 u Modřic

7.6 Silnice R52 - Rajhrad

Datum:	7. 4. 2013
Čas měření:	13:00 - 14:00
Měřená lokalita:	silnice R52 – u Rajhradu
Popis situace	maximální povolená rychlost 130 km/h PHS umístěna z jedné strany v blízkosti za stěnou umístěn billboard
Charakteristika PHS:	výška PHS 2,5 m dřevěná PHS, ze smrkového dřeva a vnitřní vložky minerální vlny záznam měření intenzity dopravy R52 v příloze P VIII

Tab. 8. Klimatické podmínky měření R52, Rajhrad

	Teplota vzduchu [°C]	Rychlost větru [m/s]	Relativní vlhkost [%]	Atmosférický tlak [hPa]	Popis oblačnosti [-]
1.	21,0	0 - 1	40,7	993,1	jasno
2.	21,0	0 - 1	42,0	992,8	jasno
3.	21,0	0 - 1	41,3	992,6	jasno



Obr. 16. Umístění mikrofону - R52 u Rajhradu směr Brno

7.7 Silnice č. 50 - Slavkov u Brna, ulice Čsl. Červeného kříže

Datum:	17. 4. 2013
Čas měření:	13:40 – 14:40
Měřená lokalita:	silnice č. 50, Slavkov u Brna, ulice Čsl. Červeného kříže
Popis situace:	maximální povolená rychlost 50 km/h PHS pouze z jedné strany mimořádná situace měřeno v den velikonočních prázdnin
Charakteristika PHS:	výška PHS 4,45 m ocelové sloupky s plastovými trámy, vyztužené železobetonovým trámem, výplň minerální plst' orsil, přes kterou je přetažena ochranná síťovina, kterou chrání lamely z replastu záznam měření intenzity dopravy silnice č. 50 v příloze P IX

Tab. 9. Klimatické podmínky měření silnice č. 50, Slavkov u Brna, ul. Čsl. Červeného kříže

	Teplota vzduchu [°C]	Rychlost větru [m/s]	Relativní vlhkost [%]	Atmosférický tlak [hPa]	Popis oblačnosti [-]
1.	13,0	2 - 3	38,4	996,0	polojasno
2.	13,9	1 - 2	40,1	995,6	polojasno
3.	14,0	1 - 2	40,1	995,2	polojasno



Obr. 17. Umístění mikrofonu – silnice č. 50, ulice Čsl. Červeného kříže, směrem do Slavkova

8 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

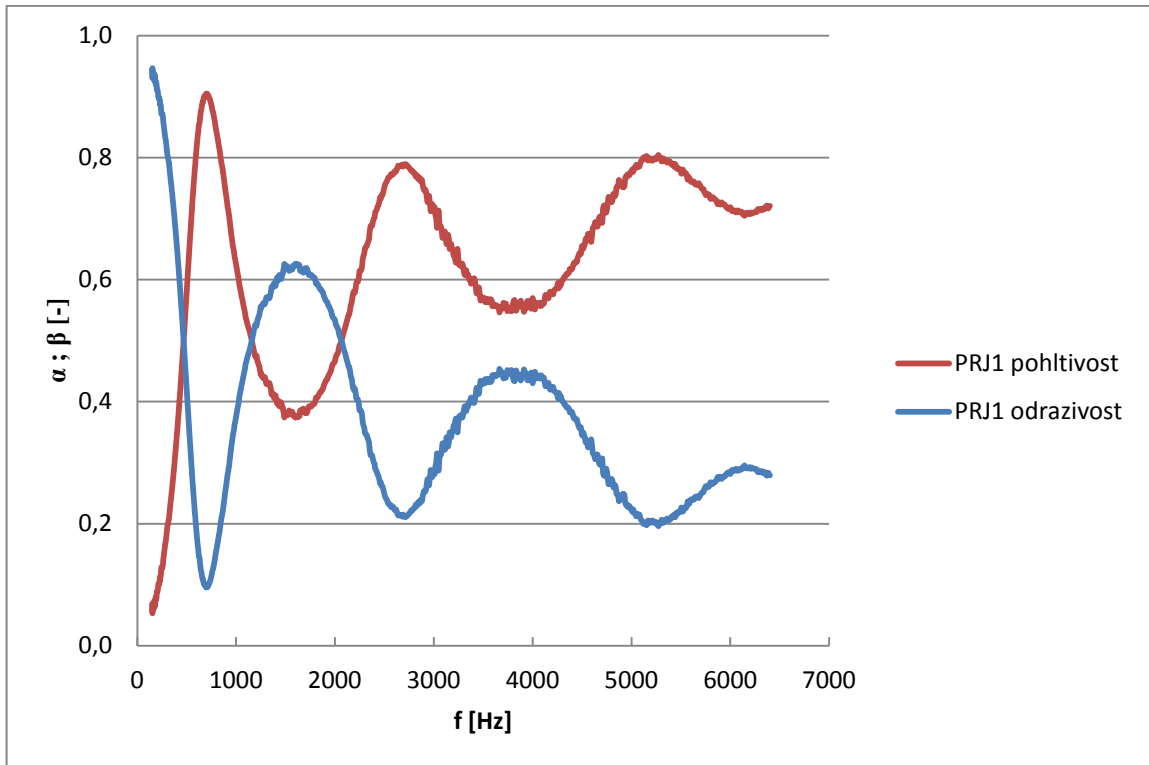
8.1 Laboratorní měření

Ze získaných laboratorních dat byla zobrazena závislost koeficientu zvukové odrazivosti β na frekvenci, takto je vyobrazen celý frekvenční rozsah. Součet činitelů zvukové pohltivosti a zvukové odrazivosti musí být z energetického hlediska závislost $\alpha + \beta = 1$, zobrazeno na obr. 18 - porovnání zvukové pohltivosti a odrazivosti pro jemnou pryž se vzduchovou mezerou 1.

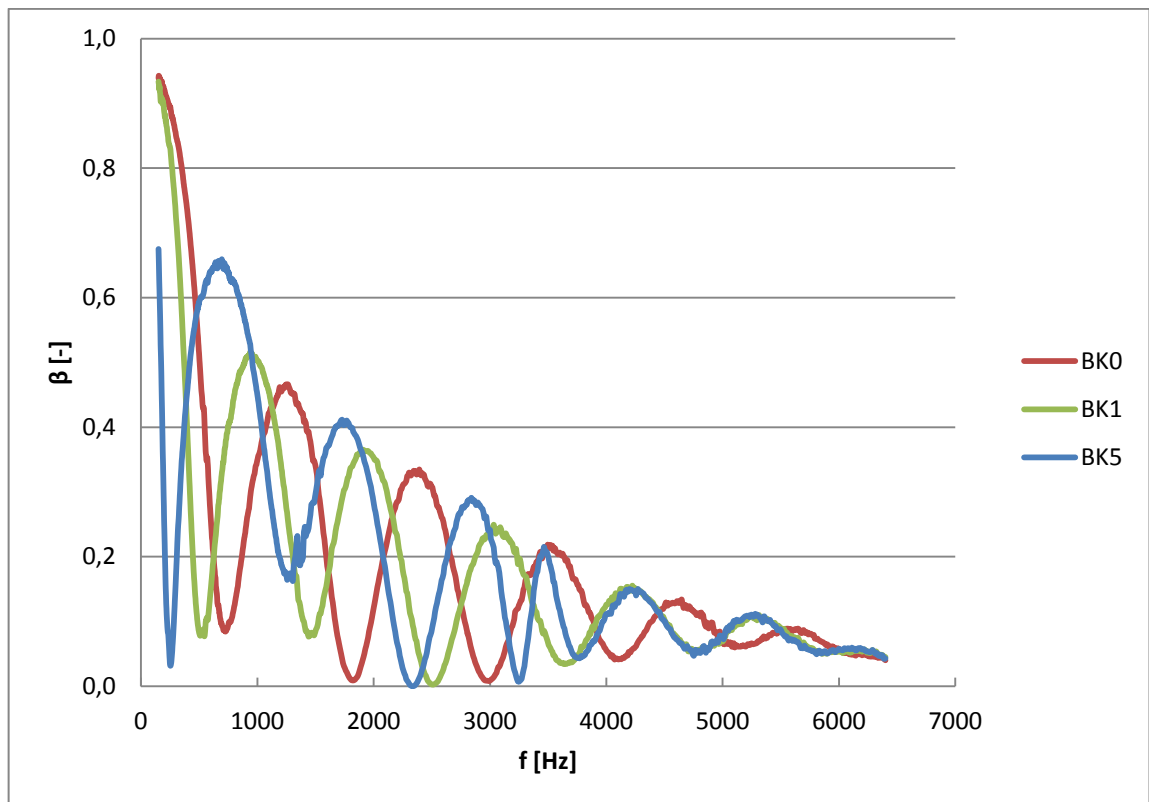
Hodnoty frekvence byly použity až od 150 Hz, hodnoty před tím jsou často nepřesné. Data z velké a malé měřicí trubice se sloučily, některé vzorky např. kuličkového betonu o různé velikosti zrn byly měřeny pouze na velké měřicí trubici s malým frekvenčním rozsahem 50 Hz až 1600 Hz.

Tab. 10. Vysvětlivky značení vzorků použité v grafech

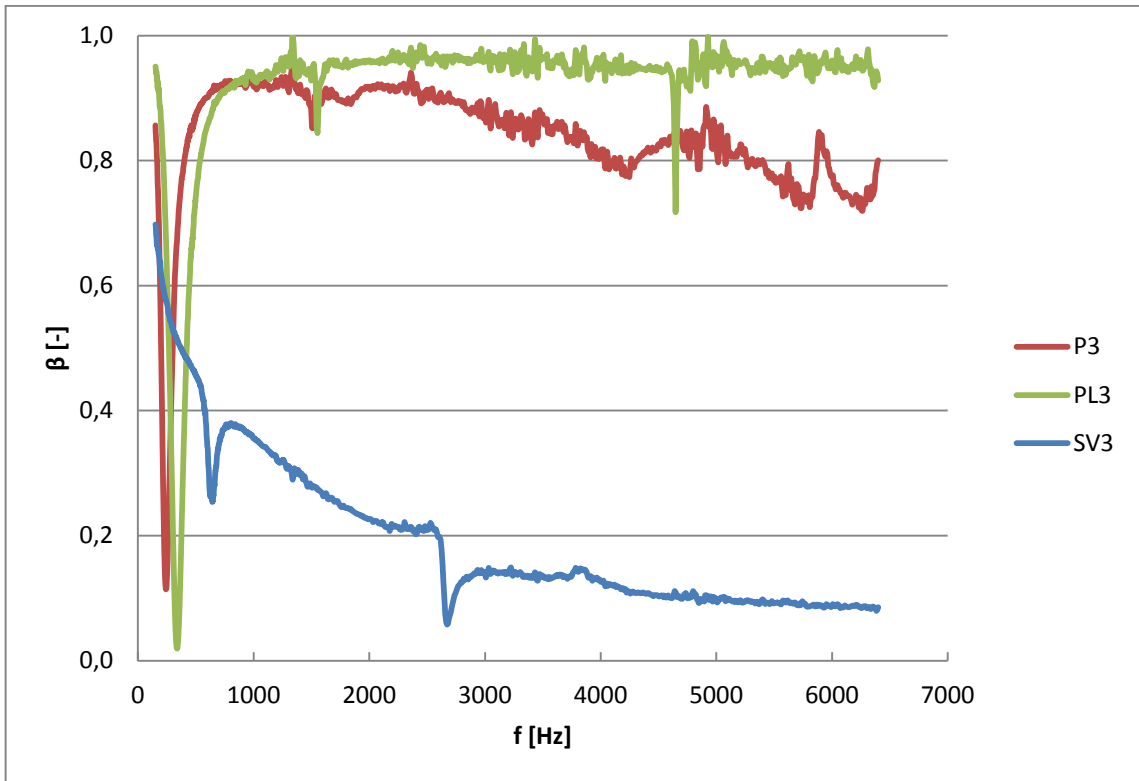
Symbol	Vysvětlivka
BH	beton kuličkový hrubý
BJ	beton kuličkový jemný
BK	beton kuličkový
BS	beton kuličkový střední
DC	dřevocement (měřeno na malé trubici pouze)
DCI	dřevocement od firmy Intertech plus
DCP	dřevocement od firmy Prefa Brno
P	plast
PL	plexisklo
PRH	pryž recyklovaná hrubá
PRJ	pryž recyklovaná jemná
PRS	pryž recyklovaná střední
SV	skelná vata
0, 1, 3, 5, 10	velikost vzduchové mezery v centimetrech
_VZ	vzorek umístěn profilem směrem k reproduktoru



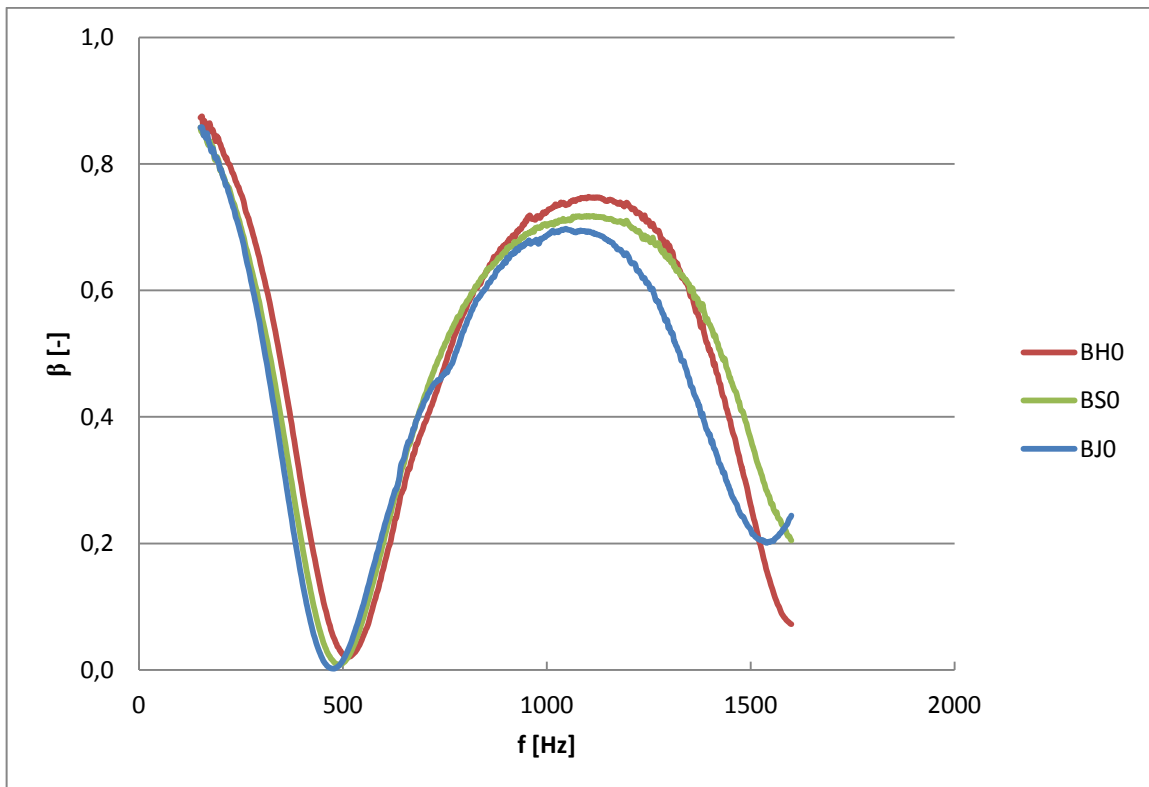
Obr. 18. Porovnání zvukové pohltivosti a odrazivosti pro jemnou pryž se vzduchovou mezerou 1 cm



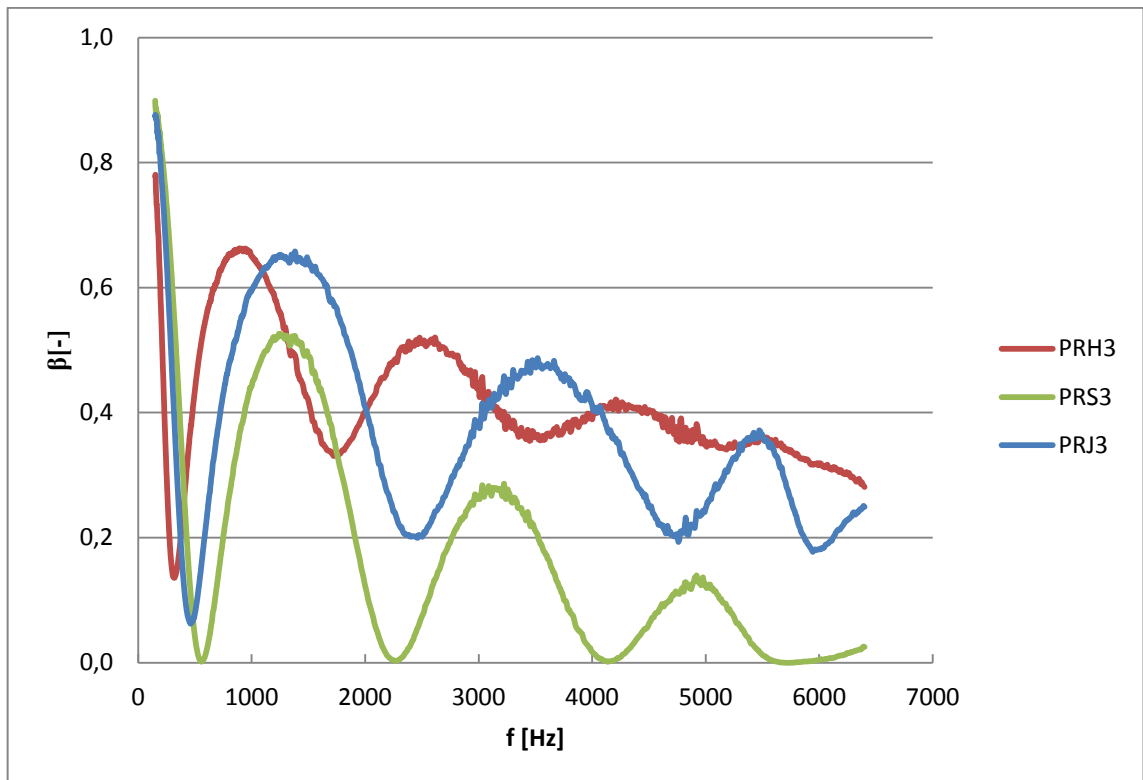
Obr. 19. Porovnání zvukové odrazivosti pro kuličkový beton se vzduchovou mezerou 0, 1 a 5 cm



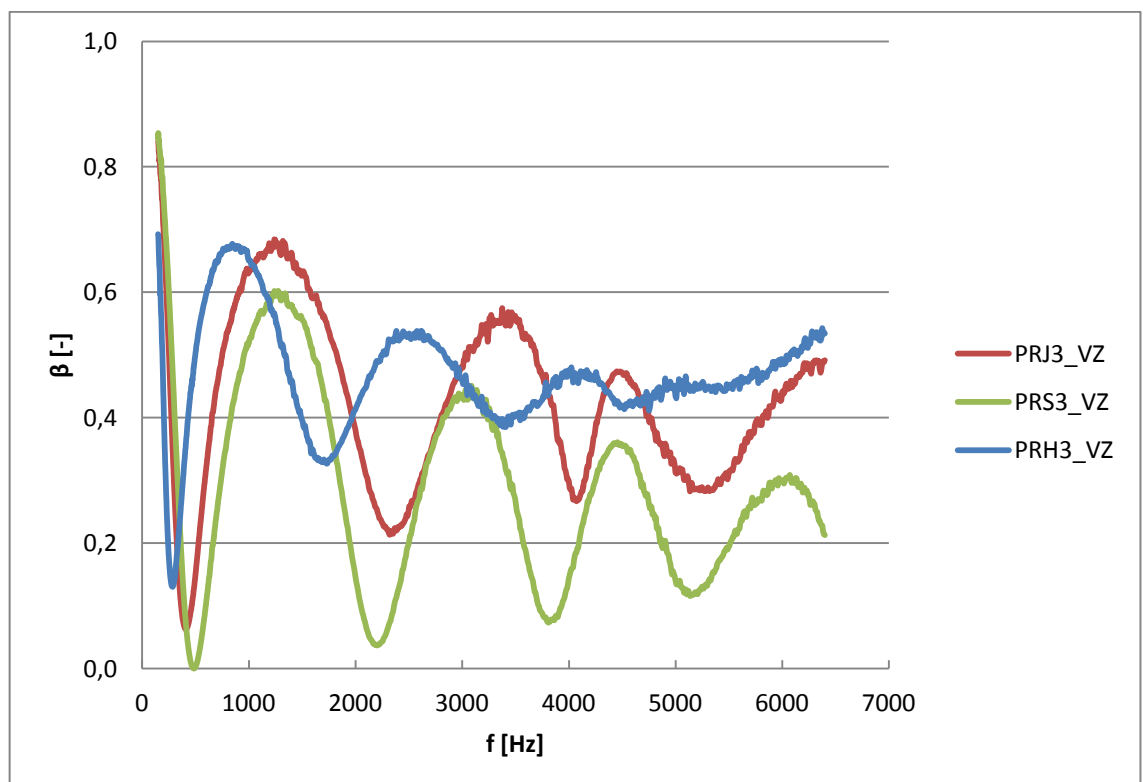
Obr. 20. Porovnání zvukové odrazivosti pro plast, plexisklo a skelnou vatu se vzduchovou mezerou 3 cm



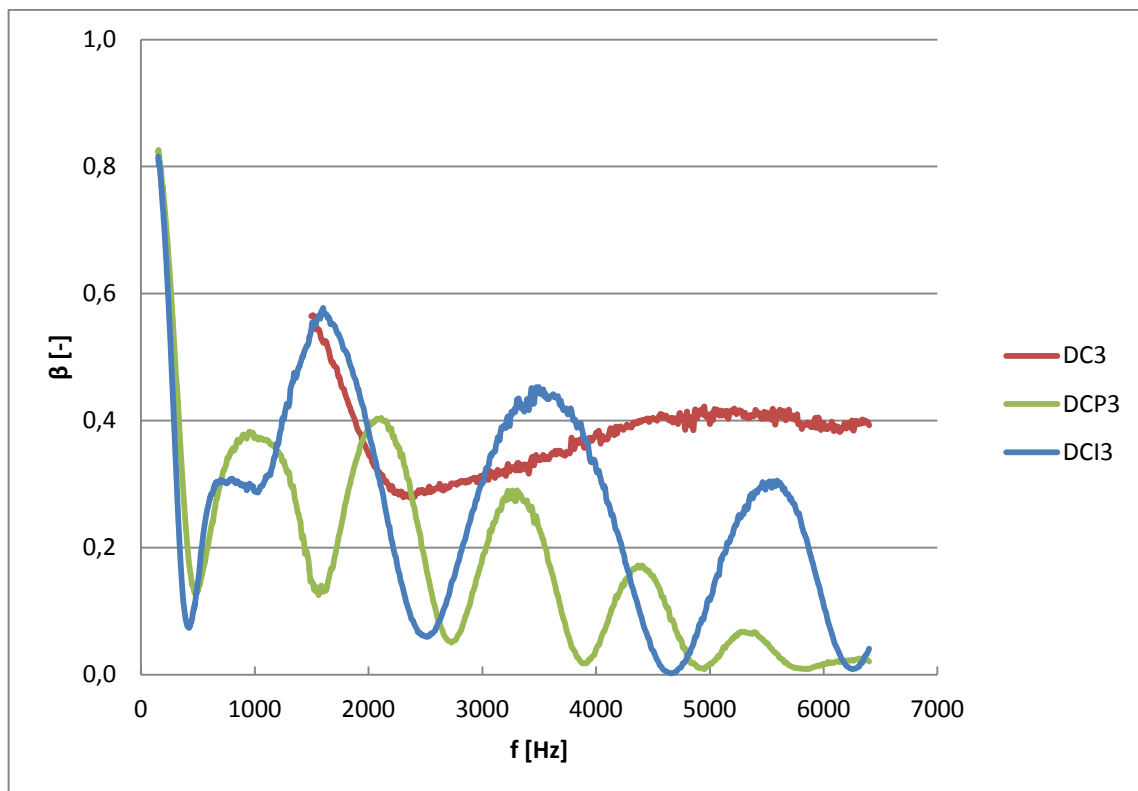
Obr. 21. Porovnání zvukové odrazivosti pro kuličkový beton jemný, střední a hrubý se vzduchovou mezerou 0 cm



Obr. 22. Porovnání zvukové odrazivosti pro recyklovanou pryž jemnou, střední a hrubou zrnitostí se vzduchovou mezerou 3 cm



Obr. 23. Porovnání zvukové odrazivosti pro recyklovanou pryž jemnou, střední a hrubou zrnitostí se vzduchovou mezerou 3 cm, měřenou vzorkem směrem k reproduktoru



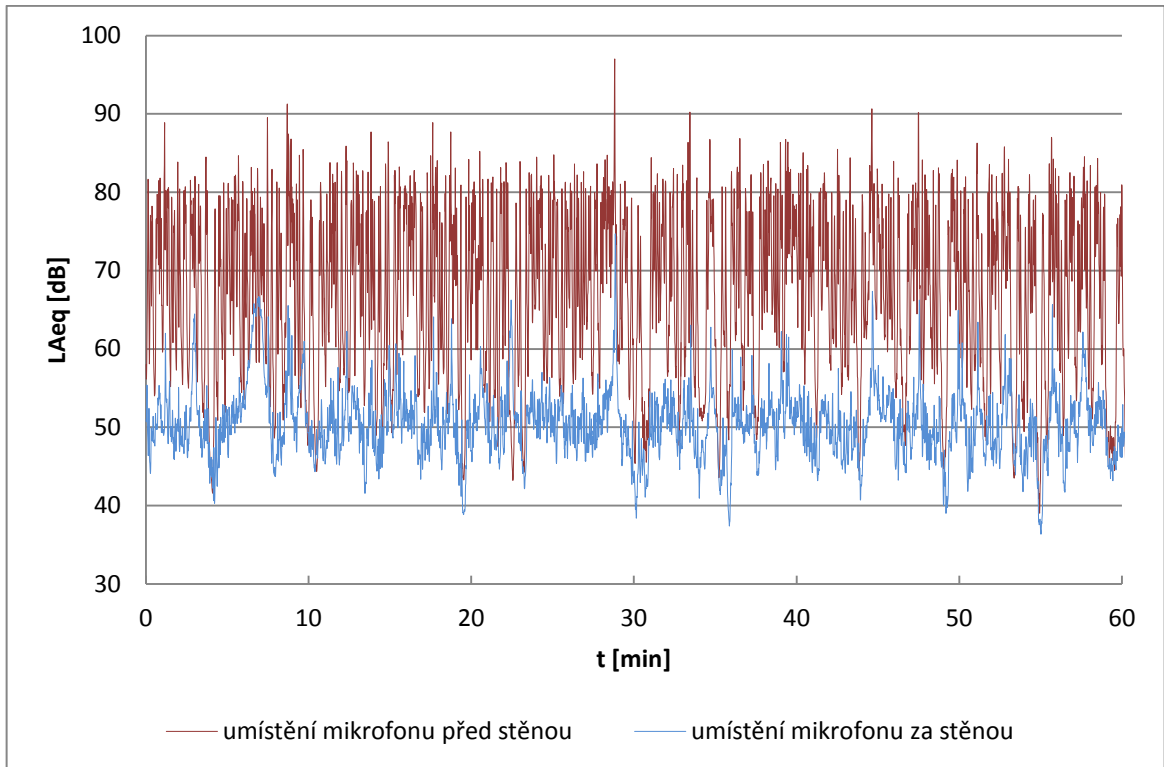
Obr. 24. Porovnání zvukové odrazivosti pro dřevocement od různých firem podobného složení se vzduchovou mezerou 3 cm

8.2 Měření v terénu

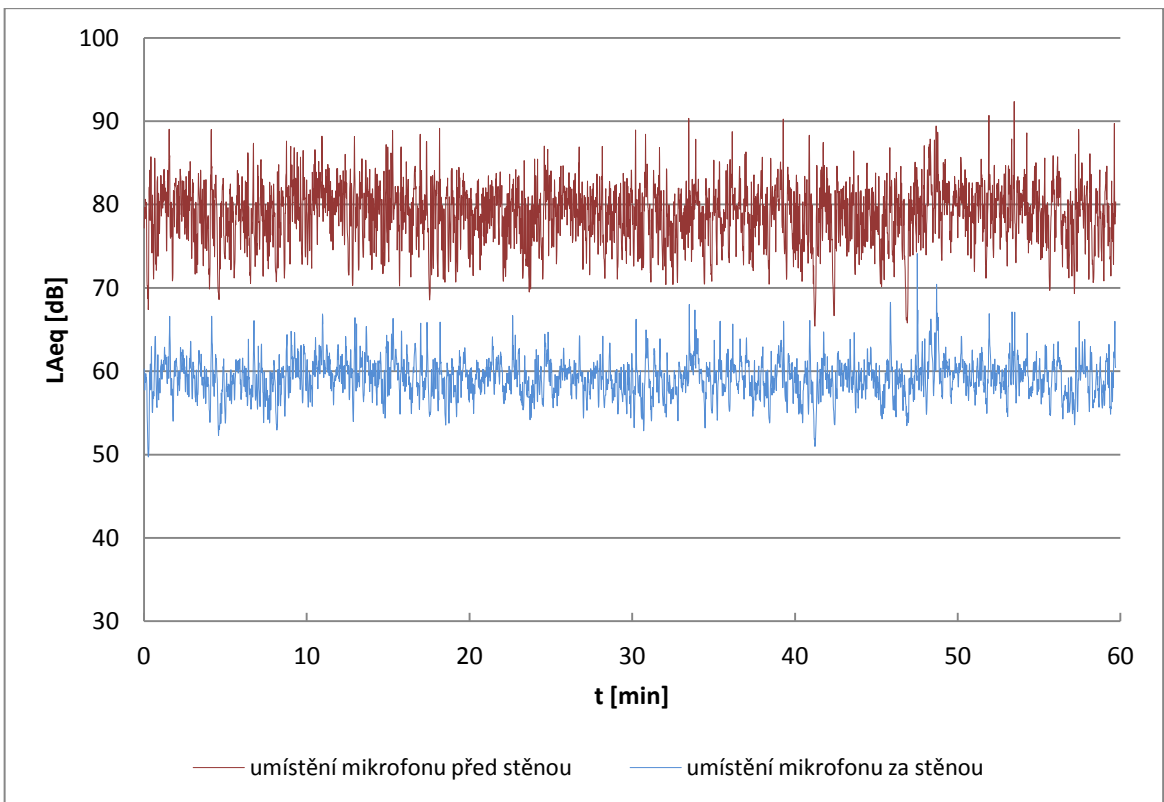
Pro měření v terénu je nezbytně nutné brát v potaz několik důležitých aspektů, které mají vliv na celé měření. Zásadním faktorem je výška protihlukové stěny. Podstatná je maximální povolená rychlost na dané komunikaci. Nikdy neovlivníte intenzitu a složení dopravy, proto se prování sčítání dopravy do sčítacího listu. S vyšší rychlostí je i vyšší hluk. Dalším z faktorů je vzdálenost protihlukových stěn od svodidel, umístění únikových východů, billboardy případně zvuk ptáků. V některých lokacích jsme se s těmito problémy setkali, např. štěkající pes za protihlukovou stěnou. Bylo nutné si zaznamenat čas a poté hodnoty vyřadit a přepočítat, nebo pokud lze, danému problému předejít. Pro nás podstatné výsledky byly zaznamenány do tab. 11.

Tab. 11. Naměřené hladiny zvuku u jednotlivých bariér

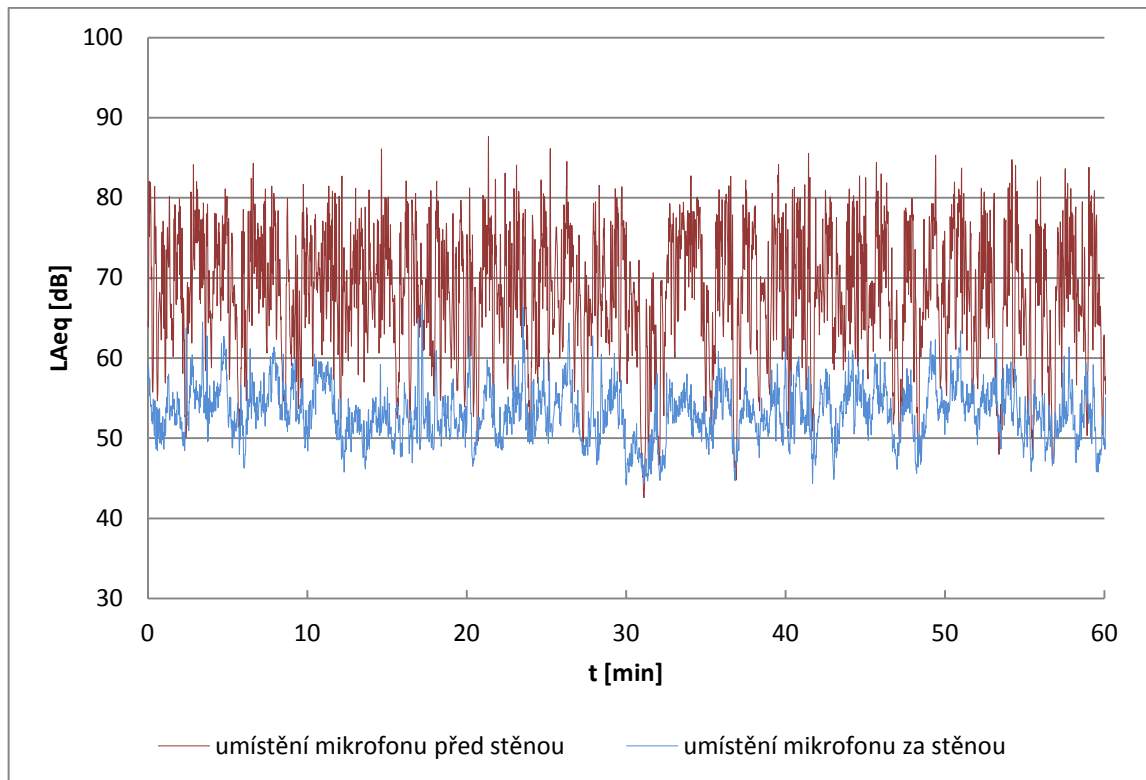
p.č.	Název komunikace	Umístění	LA _{eq} [dB]	LAF _{min} [dB]	LAF _{max} [dB]	LN ₉₀ [dB]
1.	Silnice č. 374 u Ráječka	před stěnou	75,48	38,58	100,25	52,17
		za stěnou	53,60	35,68	77,42	45,14
		rozdíl	21,88			
2.	Silnice č. 42, ulice Žabovřeská	před stěnou	80,23	64,89	96,36	73,44
		za stěnou	59,93	49,14	78,51	56,09
		rozdíl	20,30			
3.	Silnice č. 374, ulice Černovická	před stěnou	73,40	42,08	90,20	56,64
		za stěnou	54,91	43,47	73,74	48,70
		rozdíl	18,49			
4.	Silnice R52 – ulice Vídeňská	před stěnou	79,31	54,80	97,95	65,21
		za stěnou	60,93	48,63	76,63	56,06
		rozdíl	18,38			
5.	Silnice č. 152 u Modřic	před stěnou	78,79	34,73	99,01	46,54
		za stěnou	56,23	38,68	69,06	47,72
		rozdíl	22,56			
6.	Silnice R52 – u Rajhradu	před stěnou	78,57	44,63	94,26	64,70
		za stěnou	62,35	44,90	76,51	54,50
		rozdíl	16,22			
7.	Silnice č. 50, ulice Čsl. Červeného kříže	před stěnou	78,73	46,29	99,27	62,55
		za stěnou	58,92	43,82	83,05	52,11
		rozdíl	19,81			



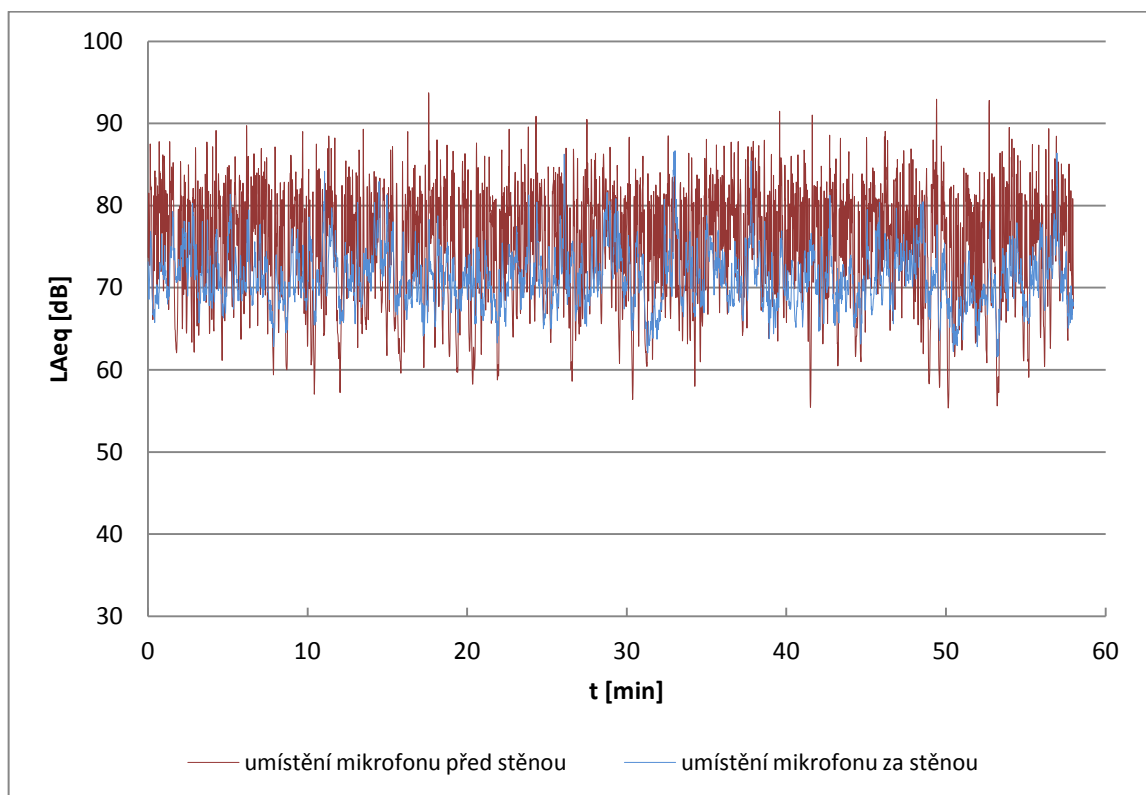
Obr. 25. Porovnání ekvivalentní hladiny hluku silnice č. 374 u Ráječka



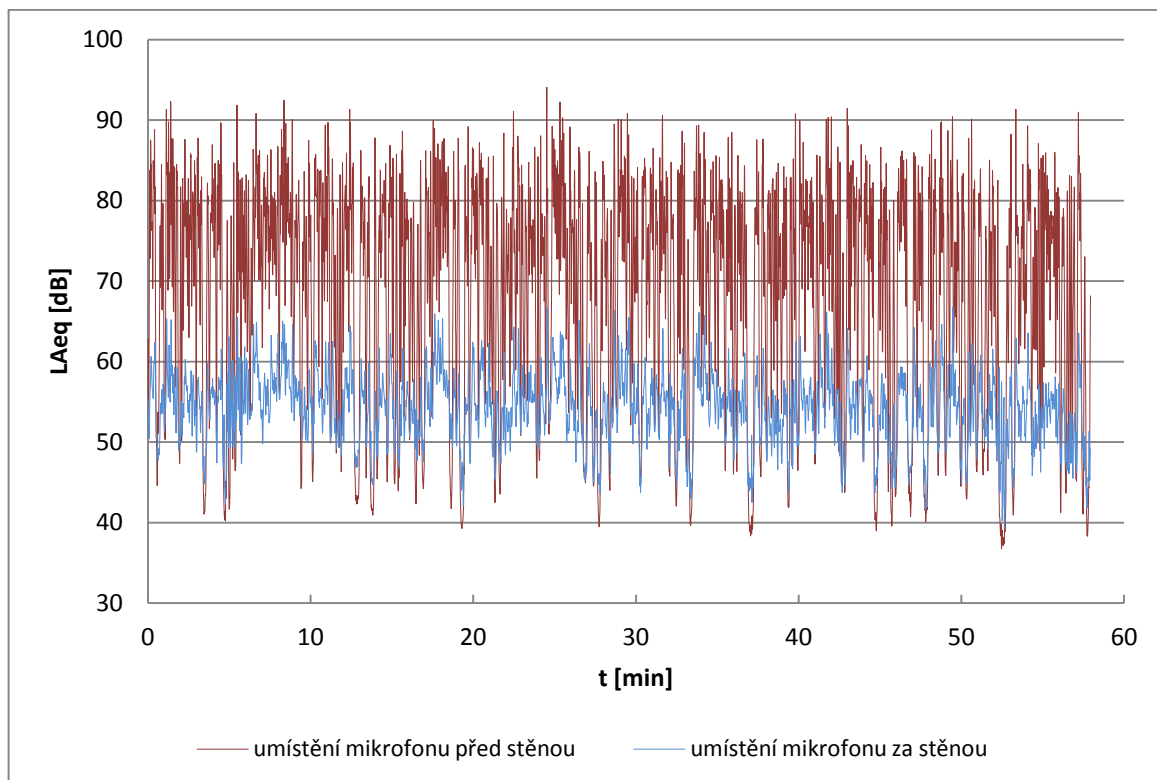
Obr. 26. Porovnání ekvivalentní hladiny hluku silnice č. 42, Brno - ulice Žabovřeská



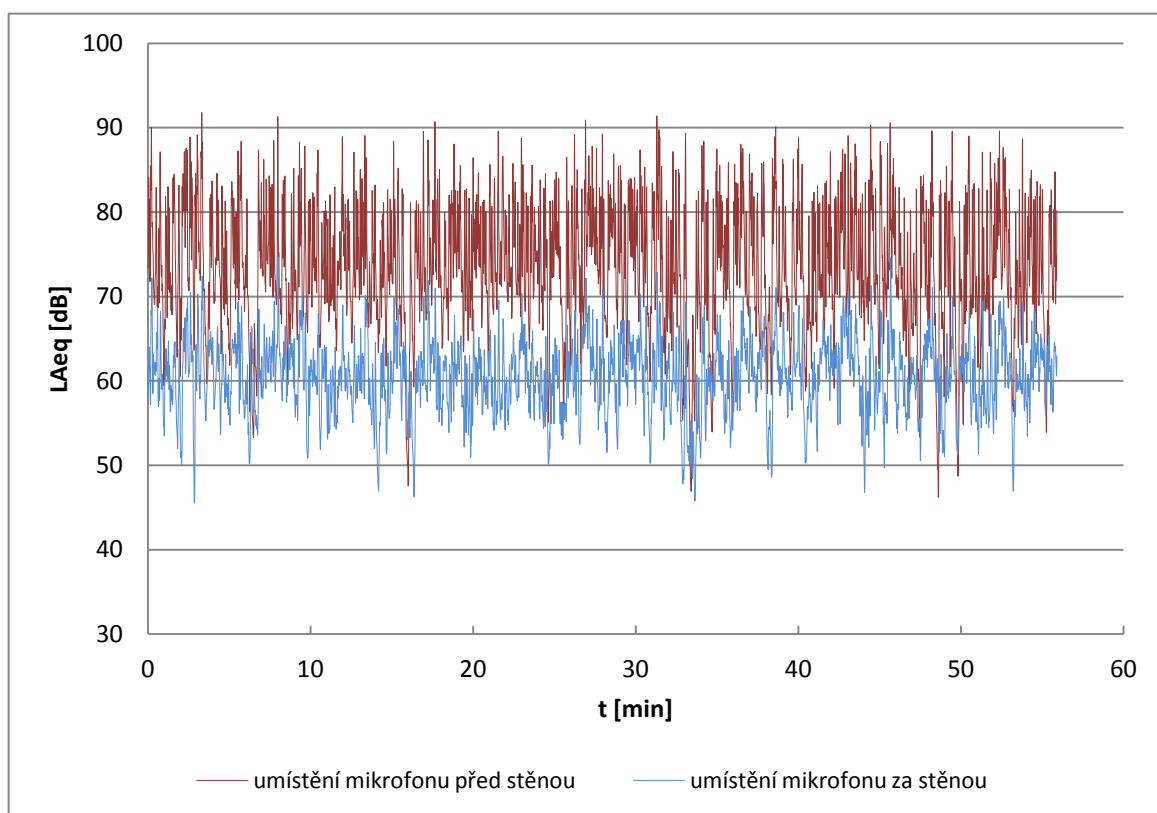
Obr. 27. Porovnání ekvivalentní hladiny hluku silnice č. 374, Brno - ulice Černovická



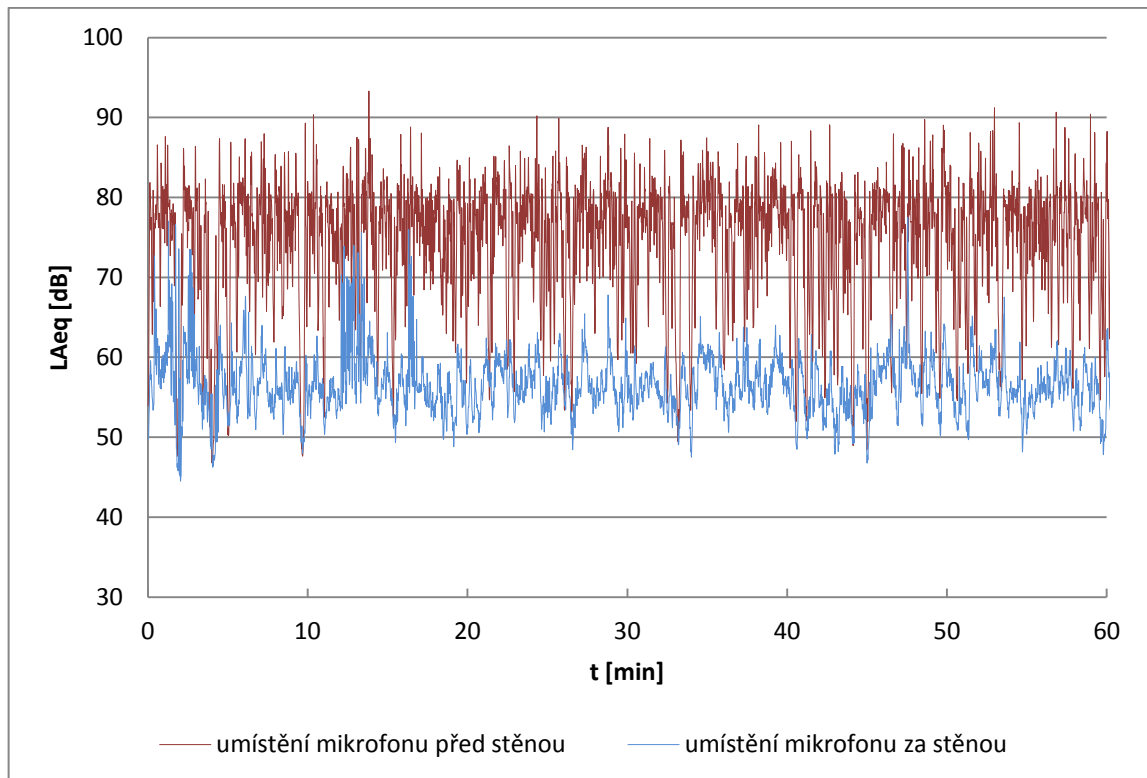
Obr. 28. Porovnání ekvivalentní hladiny hluku silnice R52, Brno - ulice Vídeňská



Obr. 29. Porovnání ekvivalentní hladiny hluku silnice č. 152 u Modřic



Obr. 30. Porovnání ekvivalentní hladiny hluku silnice R52 – u Rajhradu



Obr. 31. Porovnání ekvivalentní hladiny hluku silnice č. 50,
Slavkov u Brna, ulice Čsl. Červeného kříže

9 DISKUZE

Známým faktem je, že zvuk je lépe pohlcován v případě menších zrn. V případě větších zrn se však zvuk více odráží. Obecně s nižší frekvencí roste pohltivost a klesá odrazivost s rostoucí vzduchovou mezerou. Zvuková mezera zlepšuje hodnotu činitele zvukové pohltivosti, stejně jako má velký vliv tloušťka daného materiálu. To je potvrzeno na obr. 19., kde je porovnání zvukové odrazivosti pro kuličkový beton se vzduchovou mezerou 0, 1 a 5 cm. K podobným výsledkům došlo i u ostatních materiálů, proto jsme pro ostatní vzorky materiálů grafy neuváděli, ale porovnávali jsme spíše různé druhy materiálů spolu.

Na obr. 20. je porovnání zvukové odrazivosti pro plast, plexisklo a skelnou vatu se vzduchovou mezerou 3 cm. Skelná vata málo odráží, výborně pohlcuje a to z důvodů pórovitosti. Celkově nejlépe nám dopadlo plexisklo z hlediska odrazivosti a nejmenší pohltivosti. V místě, kde dopadají akustická vlnění o vysoké frekvence, si můžeme být jistí, že se nám více než 90 % zvuku odráží, a stěnou projde jen velmi malé množství zvuku, z čehož plyne, že dobře izoluje obytné domy apod.

Porovnání zvukové odrazivosti pro kuličkový beton jemný, střední a hrubý se vzduchovou mezerou 0 cm obr. 21. Z těchto tří různých zrnitostí vykázal nejlepší odrazivost hrubý kuličkový beton, následně střední a nejmenší odrazivost jemný kuličkový beton. Nebyl však mezi nimi až tak velký rozdíl. Kmitání je dané pórovitou strukturou, čím více se vzduchová mezera zvětšuje, tím se nám i zhušťuje kmitání.

Zhodnocení zvukové odrazivosti pro recyklovanou pryž jemnou, střední a hrubou zrnitostí se vzduchovou mezerou 3 cm obr. 22. Nejlepší odrazivost dosáhla - pryž s hrubou zrnitostí a nejhorší odrazivost překvapivě - pryž se střední zrnitostí. Nemusí vždy platit čím jemnější zrnitost - tím lepší pohltivost.

V případě otočení vzorku recyklované pryže uvnitř trubice profilem směrem k reproduktoru se nám odrazivost materiálu změnila obr. 23. Nejlepší odrazivost dosáhla recyklovaná pryž s jemnou zrnitostí, následuje s hrubou zrnitostí a nejhorší se potvrdila opět střední zrnitost recyklované pryže. Vliv by měl mít i tvar povrchu na odrazivost zvuku, který se nám ale dle výsledků nějak zvláště neprojevil.

Vzorek recyklované pryže bohužel nemohl být změřen v terénu, protože tyto stěny jsou umístěny u železničních tratí, což není náplní mé diplomové práce, proto byl změřen pouze laboratorně. Nemohly být změřeny samostatně skleněné nebo plastové protihlukové stěny.

Tyto stěny jsou umístovány především na mosty z důvodů hmotnosti, a proto nešlo v praxi umístit mikrofon za tuto stěnu, tudíž měření neproběhlo, změřeny byly pouze laboratorně.

Porovnání zvukové odrazivosti pro dřevocement od různých firem podobného složení se vzduchovou mezerou 3 cm obr. 24. V podstatné části frekvenčního pásma dosáhl nejlepší odrazivosti dřevocement. Dřevocement od firmy Intertech plus byl druhý se svojí odrazivostí a nejhůrší se nám projevil dřevocement od firmy Prefa Brno. Jako ideální se jeví dřevobeton oproti klasickému hutnému kamenivu, protože disponuje poměrně velkým množstvím jemných i velkých pórů, podle již provedené studie.

Hladiny zvuku naměřené u jednotlivých bariér, z nichž je jasně patrná účinnost protihlukových stěn v Brně a jeho okolí, jsou uvedeny v tabulce 11.

Z naměřených terénních hodnot vyplynulo, že jako nejefektivnější nám vyšla protihluková stěna u Modřic – silnice č. 152, kde před protihlukovou stěnou bylo naměřeno 78,79 dB a za protihlukovou stěnou 56,23 dB. Rozdíl těchto hodnot byl 22,56 dB.

Jako druhá nejlepší byla protihluková stěna u silnice č. 374 u Ráječka, kde před protihlukovou stěnou bylo naměřeno 75,48 dB a za protihlukovou stěnou 53,60 dB. Rozdíl těchto hodnot byl 21,88 dB.

Třetí protihluková stěna byla silnice č. 42 na ulici Žabovřeská, kde před protihlukovou stěnou bylo naměřeno 80,23 dB a za protihlukovou stěnou 59,93 dB, s rozdílem hodnot 20,30 dB.

Čtvrtá protihluková stěna byla silnice č. 50 ve Slavkově u Brna na ulici Čsl. Červeného kříže, před protihlukovou stěnou bylo naměřeno 78,7, dB a za protihlukovou stěnou 58,92 dB, jejichž rozdíl byl 19,81 dB. Protihluková stěna u Slavkova bohužel nedopadla v měření moc dobře, ačkoliv jsme předpokládali jiný výsledek, vzhledem k výborným výsledkům plastu při laboratorním měření. Mohla by plnit svůj účel o mnoho lépe, kdyby byla jinak navržena. Při příjezdu po silnici č. 50 začíná protihluková stěna pozdě. Je umístěna v zatáčce a část hluku se tedy odráží přímo na stěnu, ale z druhé strany přímo na rodinné domky. Místní obyvatelé si stěžovali, že když protihluková stěna nestála, tak byl hluk menší, než je tomu dnes. Hluk odcházel dál a neodrážel se přímo na domy.

Pátá byla silnice č. 374 na ulici Černovická, kde před protihlukovou stěnou bylo naměřeno 73,40 dB a za protihlukovou stěnou 54,91 dB - rozdíl těchto hodnot byl 18,49 dB.

Šestá byla protihluková stěna na ulici Vídeňská silnice R52, kde před protihlukovou stěnou bylo naměřeno 79,31 dB a za protihlukovou stěnou 62,35 dB, jejichž rozdíl hodnot 17,38 dB.

Sedmá a jednoznačně nejhorší byla vyhodnocena protihluková stěna na silnici R52 u Rajhradu, kde před protihlukovou stěnou bylo naměřeno 78,57 dB a za protihlukovou stěnou 62,35 dB - rozdíl těchto hodnot byl 16,22 dB.

ZÁVĚR

Z laboratorního měření nám nejlépe vyšel materiál z plastu nejspíše polyetylen. Tuhé, tvrdé, nepórovité materiály dobře odrážely zvuk, výborně odráží zvuk i plexisklo. Dále je dobrý kuličkový beton a následně recyklovaná pryž, které jsou spíše vhodné pro pohlcování zvuku a na transformaci na teplo v pórech, bohužel nevýhodou je, že prochází zvuk i za daný materiál případně protihlukovou stěnu. Dřevocement patří mezi ty méně vhodné materiály pro odrazivost zvuku. Skelná vata je však lepší na pohltivost, než na odrazivost zvuku.

Čím vyšší odrazivost, tím více se nám hluk vrátí před stěnu tj. tam, kde není ochrana před hlukem a tím je vyšší expozice. Na určitých místech materiál rezonuje, řešením je kombinace materiálů, změnou tloušťek a vhodnou kombinací lze potlačit celé spektrum. Nutností je potlačit určité frekvence, podle toho se pak zvolí materiál.

Je zřejmé, že s rostoucí tloušťkou pórovitého materiálu klesá hodnota frekvence, od které začíná materiál dobře pohlcovat hluk. Tloušťka materiálu má příznivý vliv na tlumení zvuku zejména v oblasti nízkých frekvencí. S rostoucí vzduchovou mezerou se zvyšuje zvuková pohltivost především v oblasti nízkých frekvencí.

Z naměřených terénních hodnot vyplynulo, že jako nejefektivnější nám vyšla protihluková stěna u Modřic – silnice č. 152, kde byl naměřen rozdíl hodnot 22,56 dB. Jako nejvíce účinná se ukázala stěna z kompozitního materiálu – sklovláknobeton z alkalivzdorného skleněného vlákna ve formě vláken a síťoviny a další složky, které obsahují cement, slévárenský písek, mikrosilika, superplastifikátor, odpěňovač a voda. Deklarovaná životnost je 35 let.

Jednoznačně nejhorší byla vyhodnocena protihluková stěna na silnici R52 u Rajhradu s rozdílem hodnot 16,22 dB. Protihluková stěna je ze smrkového dřeva a vnitřní vložky minerální vlny. Pohltivost těchto panelů je nižší, třída A1 - A2. Vyznačují se především nízkou cenou, která je ovšem spojena s poměrně nízkou životností. Pravděpodobně tyto špatné výsledky byly způsobeny stářím a již špatným stavem protihlukové stěny a zároveň i nejvyšší povolenou rychlostí ze všech měření.

Pokud srovnáme laboratorní a terénní měření vyplývá překvapivé zjištění, že spolu nekorepondují nebo jen velmi málo.

Výplňové panely z bezpečnostního skla mají životnost až 50 let naopak výplňové panely ze směsných recyklovaných plastů 25 let. Životnost pryžových pohltivých povrchů je 25 let a povrchy z polymerních kompozitů 50 let, gabiony s nekorodujícími sítěmi dokonce životnost až 100 let.

V posledních letech bylo investováno mnoho úsilí do nalezení nejlepšího způsobu pro opětovné použití různých zdrojů ve výrobě lehkých materiálů. Dvě hlavní výhody jsou redukce nákladů na suroviny a vyvarování se likvidace opětovně použitého odpadového materiálu.

Hygienické limity jsou závazným právním předpisem stanoveným pro Českou republiku a jsou právně vymahatelné, zatímco pro Evropskou unii jsou právně nevymahatelné ale pouze doporučené. Přesto jsou v územním plánování dodržovány. Překročení imisních limitů neznamená akutní poškození zdraví, lze je považovat za mez přijatelného rizika, jedná se o společenský kompromis.

Získané výsledky mohou pomoci k správné volbě protihlukové stěny v konkrétním daném místě. Dají se využít pro další výzkum, aplikace jiných materiálů, instalace nových bariér. Začíná se často využívat recyklovaných materiálů, což má kladný vliv na životní prostředí a proto jsou to materiály budoucnosti. Zároveň je důležitý faktor jak ekonomický tak i estetický.

10 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BERAN, Vlastimil. *Chvění a hluk*. 1. vyd. V Plzni: Západočeská univerzita, 2010, 202 s. ISBN 978-80-7043-916-6.
- [2] MIŠUN, Vojtěch. *Vibrace a hluk*. Vyd. 1. Brno: PC-DIR, 1998, 177 s. ISBN 80-214-1262-3.
- [3] NOVÝ, Richard. *Hluk a chvění*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000, 389 s. ISBN 80-01-02246-3.
- [4] JIŘÍČEK, Ondřej. *Úvod do akustiky*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002, 146 s. ISBN 8001024601.
- [5] SMETANA, Ctirad. *Hluk a vibrace: měření a hodnocení*. 1. vyd. Praha: Sdělovací technika, 1998, 188 s. ISBN 80-901936-2-5.
- [6] ŠŤASTNÍK, Stanislav. *Stavební akustika a zvukoizolační materiály*. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-214-2117-7.
- [7] ŠŤASTNÍK, Stanislav. *Zkoušení izolačních materiálů*. Brno: CERM, 2002, 95 s. ISBN 80-214-2253-X.
- [8] NĚMEC, Jaroslav, Jiří RANSDORF a Milan ŠNĚDRLE. *Hluk a jeho snižování v technické praxi*. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1970, 338 s.
- [9] KOTZEN, *Benz Environmental Noise Barriers: A guide to their visual and acousitic Design*, E & FN Spon (2003), ISBN 0-419-23180-3
- [10] CENTER, H. I. T. E. *Guidelines for evaluating the performance of highway sound barriers*. Washington, DC: CERF , 1996. ISBN 0-7844-0199-3.
- [11] FOJTEK, Alois a Jaroslav FOUKAL. 1992. *Tabulky vybraných fyzikálních a technických veličin: určeno pro posl. 1. a 2. roč. hornicko-geologické fak..* 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská, 114 s. ISBN 80-707-8149-1.
- [12] ČESKO. *Narižení vlády 272/2011 Sb. ze dne 24. srpna 2011 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací*. 2011. In: . částka 97, s. 3338-3348. Dostupné také z: <http://www.google.cz/url?sa=t>

- [13] HLUK&EMISE. *Ekologický právní servis, hluk a emise* [online]. 2007 [cit. 2014-02-19]. Dostupné z: <http://hluk.eps.cz/>
- [14] ÚSTAV FYZIKY A MATERIÁLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ. *Environmentální fyzika* [online]. [cit. 2014-02-19]. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/index.php?page=env_fyzika
- [15] VAŠINA, M. *Studium materiálů z hlediska tlumení zvuku a vibrací*. Brno: 2010. Habilitační práce na Stavební fakultě Vysokého učení technického v Brně.
- [16] SVOBODA, Lukáš. *Stavební hmoty*. 3. vyd. Praha 2013. 950s. ISBN 978-80-260-4972-2
- [17] MINISTERSTVO DOPRAVY. *Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací* [online]. 2009 [cit. 2014-02-19]. Dostupné z: http://www.pjpk.cz/TKP_25.pdf
- [18] JEDLIČKA, J. Centrum dopravního výzkumu. *Protihlukové stěny* [online]. 2010 [cit. 2014-02-19]. Dostupné z: <http://www.cdv.cz/file/seminar-skanska-protihlukove-steny/>
- [19] MINISTERSTVO DOPRAVY, *Odbor infrastruktury: Technické podmínky: Protihlukové clony pozemních komunikací* [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://uloz.to/xzba3Mr/tp104-protihlukove-steny-pk-pdf>
- [20] COBO, P. *A model comparison of the absorption coefficient of a Microperforated Insertion Unit in the frequency and time domains* [online]. 2006 [cit. 2014-02-19]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X06001678>
- [21] WATTS, G. R. *In Situ method for determining the transmission loss of noise barriers* [online]. 1998 [cit. 2014-02-19]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X96000655>
- [22] VAŠINA, M. a L. LAPČÍK. *Akustické listy: Studium zvukové pohltivosti pórovitých materiálů* [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://www.czakustika.cz/listy/casopis/18-234.pdf>
- [23] LAPČÍK, Lubomír. *Chemické listy: Materiály pro snižování hluku a vibrací* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/archiv/2000-PDF/02-PDF/117-122.pdf>

- [24] OLMEDA, J. et al. *Recycling petroleum coke in blended cement mortar to produce lightweight material for Impact Noise ...* [online]. 2012 [cit. 2014-02-19]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946512001230>
- [25] KOUSSA, F. et al. Web of ScienceDirect. *Acoustic performance of gabions noise barriers: Numerical and experimental approaches* [online]. 2012 [cit. 2014-02-19]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X12002496>
- [26] SALOMONS, E.M. *Noise barriers in a refracting atmosphere* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: http://www.researchgate.net/publication/243350243_Noise_barriers_in_a_refracting_atmosphere
- [27] WATTS, G.R. *Acoustic performance of parallel traffic noise barriers* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: http://www.researchgate.net/profile/GR_Watts/publication/222361376_Acoustic_performance_of_parallel_traffic_noise_barriers/links/54d51a7f0cf25013d02a8315.pdf
- [28] GRUBLIAUSKAS, R. a D. BUTKUS. *Chamber investigation and evaluation of acoustic properties of materials* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3846/1648-6897.2009.17.97-105>
- [29] BALDAUF, R., E. THOMA a A. KHLYSTOV. *Atmospheric Environment: Impacts of noise barriers on near-road air quality* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231008005311>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

EU	Evropská unie
dB	decibel
DL_a	zvuková pohltivost absorpčních zařízení [dB]
d_w	vzduchové mezery [m]
f	frekvence [Hz]
GS	generátor signálu
I	intenzita zvuku [$W \cdot m^{-2}$]
I_0	referenční hodnota intenzity zvuku [$W \cdot m^{-2}$]
I_1	intenzita zvuku vlny odražené [$W \cdot m^{-2}$]
I_2	intenzita zvuku vlny pohlcené [$W \cdot m^{-2}$]
I_3	intenzita zvuku vlny vyzářené za stěnu celkem [$W \cdot m^{-2}$]
I_4	intenzita zvuku vlny prošlé za stěnu otvory a póry [$W \cdot m^{-2}$]
I_5	intenzita zvuku vlny, kterou stěna vyzáří v důsledku svého ohybového kmitání do druhého poloprostoru [$W \cdot m^{-2}$]
I_6	intenzita zvuku vlny, která je vedena ve formě chvění do ostatních částí přiléhajících konstrukcí [$W \cdot m^{-2}$]
I_7	intenzita zvuku přeměněná ve stěně na teplo [$W \cdot m^{-2}$]
$L_{Aeq, 8h}$	ekvivalentní hladina akustického tlaku A během časového intervalu 8 hodin [dB]
$L_{Aeq, 16h}$	ekvivalentní hladina akustického tlaku A během časového intervalu 16 hodin [dB]
L_{eq}	ekvivalentní hladina akustického tlaku [dB]
LAF_{min}	minimální hladina akustického tlaku [dB]
LAF_{max}	maximální hladina akustického tlaku [dB]
L_I	hladina intenzity zvuku [dB]
L_{N90}	hladina akustického tlaku A překročená v 90 % doby z měřeného časového intervalu (hladina hluku prostředí – praktické pozadí) [dB]
L_p	hladina akustického tlaku [dB]

L_W	hladina akustického výkonu [dB]
$M_{1,2}$	mikrofony 1 a 2
NRC	koeficientu hlukové redukce [Hz]
p	akustický tlak [Pa]
p_0	referenční akustický tlak [Pa]
PHS	protihluková stěna
R	reproduktor
SEL	hladina expozice hluku
T	čas [s]
T	trubice
VZ	vzorek
W	sledovaný akustický výkon [W]
W_0	referenční akustický výkon [W]
Z	zesilovač
α	koeficient zvukové pohltivosti [-]
β	koeficient zvukové odrazivosti [-]
τ	činitel zvukové průzvučnosti [-]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Příklad časového průběhu hladiny akustického tlaku a příslušné ekvivalentní hladiny [14]	17
Obr. 2. Průběh váhových křivek filtrů typu A, B a C [14]	17
Obr. 3. Energetická bilance při dopadu zvukové vlny na stěnu [14]	18
Obr. 4. Princip fungování protihlukové stěny [6]	22
Obr. 5. Průřez akustickým panelem Liadur [2]	24
Obr. 6. Vliv tloušťky na zvukovou pohltivost u polyuretanové pěny s jemnými póry [22]	26
Obr. 7. Kundtova trubice se dvěma mikrofony pro měření činitele zvukové pohltivosti [15]	31
Obr. 8. Srovnání struktury vzorků materiálů 1. – 3. lehčený beton o různé zrnitosti, 4. – 6. pryž, 7. – 9. dřevocement	33
Obr. 9. Použité vzorky k měření na Kundtově trubici 1. skelná vata, 2. lehčený plast, 3. plexisklo, 4. kuličkový beton	34
Obr. 10. Mapa s vyznačenými místy měření	36
Obr. 11. Umístění mikrofону silnice č. 374 u Ráječka směr Blansko	37
Obr. 12. Umístění mikrofону silnice č. 42 ulice Žabovřeská, směr Brno – Pisárky	39
Obr. 13. Zobrazení místa měření silnice č. 374 ulice Černovická, směrem do části Brno – Komárov	40
Obr. 14. Umístění mikrofону u silnice R52 směr Brno	41
Obr. 15. Umístění mikrofону silnice č. 152 u Modřic	42
Obr. 16. Umístění mikrofону - silnice R52 u Rajhradu směr Brno	43
Obr. 17. Umístění mikrofону – silnice č. 50, ulice Čsl. Červeného kříže, směrem do Slavkova	44

Obr. 18. Porovnání zvukové pohltivosti a odrazivosti pro jemnou pryž se vzduchovou mezerou 1 cm	46
Obr. 19. Porovnání zvukové odrazivosti pro kuličkový beton se vzduchovou mezerou 0, 1 a 5 cm	46
Obr. 20. Porovnání zvukové odrazivosti pro plast, plexisklo a skelnou vatu se vzduchovou mezerou 3 cm	47
Obr. 21. Porovnání zvukové odrazivosti pro kuličkový beton jemný, střední hrubý se vzduchovou mezerou 0 cm	47
Obr. 22. Porovnání zvukové odrazivosti pro recyklovanou pryž jemnou, střední a hrubou zrnitostí se vzduchovou mezerou 3 cm	48
Obr. 23. Porovnání zvukové odrazivosti pro recyklovanou pryž jemnou, střední a hrubou zrnitostí se vzduchovou mezerou 3 cm, měřenou vzorkem směrem k reproduktoru	48
Obr. 24. Porovnání zvukové odrazivosti pro dřevocement od různých firem podobného složení se vzduchovou mezerou 3 cm	49
Obr. 25. Porovnání ekvivalentní hladiny hluku komunikace 374 u Ráječka	51
Obr. 26. Porovnání ekvivalentní hladiny hluku komunikace 42, ulice Žabovřeská	51
Obr. 27. Porovnání ekvivalentní hladiny hluku komunikace 374, ulice Černovická	52
Obr. 28. Porovnání ekvivalentní hladiny hluku silnice R52 – ulice Vídeňská	52
Obr. 29. Porovnání ekvivalentní hladiny hluku silnice 152 u Modřic	53
Obr. 30. Porovnání ekvivalentní hladiny hluku silnice R52 – u Rajhradu	53
Obr. 31. Porovnání ekvivalentní hladiny hluku komunikace č. 50, ulice Čsl. Červeného kříže	54

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Úroveň zvukové pohltivosti [18]	23
Tab. 2. Klimatické podmínky měření u Ráječka, silnice č. 374	37
Tab. 3. Intenzita dopravy silnice č. 374 u Ráječka	38
Tab. 4. Klimatické podmínky měření ul. Žabovřeská, silnice č. 42	39
Tab. 5. Klimatické podmínky měření ul. Černovická, silnice č. 374	40
Tab. 6. Klimatické podmínky měření ul. Vídeňská, silnice R52	41
Tab. 7. Klimatické podmínky měření – Modřice, silnice č. 152	42
Tab. 8. Klimatické podmínky měření silnice R52, Rajhrad	43
Tab. 9. Klimatické podmínky měření silnice č. 50, ul. Čsl. Červeného kříže	44
Tab. 10. Vysvětlivky značení vzorků použité v grafech	45
Tab. 11. Naměřené hladiny zvuku u jednotlivých bariér	50

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha P I: ČINITELE ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI NĚKTERÝCH MATERIÁLŮ
- Příloha P II: KATEGORIE ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI POUŽÍVANÝCH MATERIÁLŮ U PROTIHLUKOVÁCH STĚN
- Příloha P III: KATEGORIE VZDUCHOVÉ NEPRUŮZVUČNOSTI NĚKTERÝCH POUŽÍVANÝCH MATERIÁLŮ
- Příloha P IV: ZÁZNAM MĚŘENÍ INTENZITY DOPRAVY SILNICE Č. 42 – SMĚR BRNO - PISÁRKY
- Příloha P V: ZÁZNAM MĚŘENÍ INTENZITY DOPRAVY SILNICE Č. 374 BRNO, ULICE ČERNOVICKÁ, SMĚREM DO KOMÁROVA
- Příloha P VI: ZÁZNAM MĚŘENÍ INTENZITY DOPRAVY R52, BRNO – ULICE VÍDEŇSKÁ, SMĚREM DO BRNA
- Příloha P VII: ZÁZANM MĚŘENÍ INTENZITY DOPRAVY SILNICE Č. 152
- Příloha P VIII: ZÁZANM MĚŘENÍ INTENZITY DOPRAVY R52 U RAJHRADU, SMĚREM DO BRNA
- Příloha P IX: ZÁZANM MĚŘENÍ INTENZITY DOPRAVY SILNICE Č. 50, SLAVKOV U BRNA, ULICE ČSL. ČERVENÉHO KŘÍŽE

PŘÍLOHA P I: ČINITELE ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI NĚKTERÝCH MATERIÁLŮ

Materiál	d	α (-) při frekvenci f					
		f (10 ³ Hz)					
	10 ⁻³ m	0,125	0,25	0,5	1	2	4
azbest	25	0,25	0,60	0,65	0,60	0,60	0,61
beton		0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
deska akustická absorpční s dřevěných hoblin s přídavkem struskové vaty a pojidla	25	0,08	0,24	0,55	0,78	0,78	0,74
deska akustická absorpční (speciálně upravená)	25	0,22	0,51	0,89	0,98	0,71	0,66
kámen leštěný		0,01		0,01			0,02
koberec tkaný (na betonovém podkla- du)	9,5	0,09	0,08	0,21	0,26	0,27	0,37
písek (suchý)	100	0,15	0,35	0,40	0,50	0,55	0,80
plst	25	0,12	0,32	0,51	0,62	0,60	0,56
překližka dřevěná (trojvrstvá)	3	0,20	0,28	0,26	0,09	0,12	0,11
sníh	25	0,15	0,40	0,65	0,75	0,80	0,85
	100	0,45	0,75	0,90	0,95	0,95	0,95
škvára	280	0,90	0,90	0,75	0,80		
vata skelná (nelisovaná)	25	0,24	0,30	0,57	0,69	0,70	
	51	0,38	0,49	0,84	0,91	0,76	
vata strusková	25	0,26	0,45	0,61	0,72	0,75	
zeď cihlová		0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07

* α - činitel zvukové pohltivosti, d – tloušťka, f – frekvence

**PŘÍLOHA P II: KATEGORIE ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI
POUŽÍVANÝCH MATERIÁLŮ U PROTIHLUKOVÝCH STĚN**

Druh materiálu	DL _a [dB]	Kategorie zvukové Pohltivosti
ROCKWOOL RAW deska z minerálních vláken tl. 100 mm	20,00	A4
ROTAFLEX deska ze skleněných vláken	11,56	A4
DUROSIL tvárnice	4,87	A2
AKULIT	2,77	A1
AKULIT na vzduchovém polštáři tl. 70 mm	4,72	A2
AKULIT KK/SM panel s pohltivou vláknitou hmotou	4,40	A2
AKULIT PP/SM panel s akulitovou deskou s děrováním na lící	5,01	A2
AKUPLAT dřevovláknitá deska na vzduchovém polštáři tl. 70 mm	4,89	A2
AKUTVAR V akusticky tvarovaná kazeta	1,62	A1
LAR panel se zkosenými deskami a vláknitou výplní	3,90	A1
ERLUS AKUSTIK panel zděný z děrované cihly	20,00	A4
SONIT DV 30 na vzduchovém polštáři tl. 40 mm	10,15	A3
SOUNDBLOX trojkomorová akustická tvárnice	20,00	A4
MP 5 panel s děrovanou lícovou deskou	6,71	A2
NOBAKU G akustické desky z čedičové vlny tl. 15 mm	1,50	A1
SOUNDSOAK panel z lisovaných minerálních vláken tl. 18 mm	4,46	A2
Rostliny 1m ³	0,51	A1

**PŘÍLOHA P III: KATEGORIE VZDUCHOVÉ NEPRŮZVUČNOSTI
NĚKTERÝCH POUŽÍVANÝCH MATERIÁLŮ**

Druh materiálu	M [kg/m²]	DL_R[dB]	Kategorie vzduchové neprůzvučnosti
Siporex 0,2 m	127,2	38,98	B3
Siporex 0,25 m	163,8	42,04	B3
Drátové sklo 7 mm	15,9	26,53	B3
Tabulové sklo 5 mm	12,1	27,16	B3
Tabulové sklo 7 mm	8,7	24,74	B3
Copilit jednoduchý	19,0	25,13	B3
Copilit dvojitý	38,0	29,25	B3
DURISOL tvárnice	-	28,71	B3
Ocelový plech 1 mm	7,7	6,98	B1

PŘÍLOHA P IV: ZÁZNAM MĚŘENÍ INTENZITY DOPRAVY
SILNICE Č. 42 – SMĚR BRNO – PISÁRKY

PRAVÝ JÍZDNÍ PRUH								
čas měření	osobní automobily	nákladní automobily				autobusy	traktory	motorky
		lehké*	střední**	těžké***	Návěsové soupravy			
14:45 - 15:00	131	7	0	0	0	0	0	2
15:00 - 15:15	115	3	0	0	0	0	0	1
15:15 - 15:30	101	5	1	0	5	0	0	0
15:30 - 15:45	133	9	1	0	1	0	0	0
Celkem	480	24	2	0	6	0	0	3
STŘEDNÍ JÍZDNÍ PRUH								
čas měření	osobní automobily	nákladní automobily				autobusy	traktory	motorky
		lehké*	střední**	těžké***	Návěsové soupravy			
14:45 - 15:00	219	7	6	0	14	2	0	2
15:00 - 15:15	196	16	2	1	7	2	0	0
15:15 - 15:30	167	3	4	1	6	2	0	5
15:30 - 15:45	189	15	8	0	13	0	0	5
Celkem	771	41	20	2	40	6	0	12
LEVÝ JÍZDNÍ PRUH								
čas měření	osobní automobily	nákladní automobily				autobusy	traktory	motorky
		lehké*	střední**	těžké***	Návěsové soupravy			
14:45 - 15:00	114	6	0	0	0	0	0	0
15:00 - 15:15	101	0	0	0	0	0	0	0
15:15 - 15:30	85	0	0	0	0	0	0	0
15:30 - 15:45	119	5	0	0	0	0	0	0
Celkem	419	11	0	0	0	0	0	0

* tj. o nosnosti do 3,5 t

** tj. o nosnosti od 3,5 t do 10 t včetně

*** tj. o nosnosti nad 10 t

**PŘÍLOHA P V: ZÁZNAM MĚŘENÍ INTENZITY DOPRAVY
SILNICE Č. 374 BRNO ULICE ČERNOVICKÁ, SMĚREM DO
KOMÁROVA**

PRAVÝ JÍZDNÍ PRUH								
čas měření	osobní automobily	nákladní automobily				autobusy	traktory	motorky
		lehké*	střední*	těžké*	návěsové soupravy			
11:05 - 11:20	95	16	22	1	1	0	0	1
11:20 - 11:35	86	13	21	1	6	0	0	0
11:35 - 11:50	42	5	13	1	4	0	0	0
11:50 - 12:05	87	7	18	6	3	0	0	0
Celkem	310	41	74	9	14	0	0	1
LEVÝ JÍZDNÍ PRUH								
čas měření	osobní automobily	nákladní automobily				autobusy	traktory	motorky
		lehké*	střední*	těžké*	návěsové soupravy			
11:05 - 11:20	40	0	0	0	0	0	0	0
11:20 - 11:35	39	2	1	0	0	0	0	1
11:35 - 11:50	55	1	1	0	0	0	0	0
11:50 - 12:05	45	1	1	0	0	0	0	0
Celkem	179	4	3	0	0	0	0	1

* tj. o nosnosti do 3,5 t

** tj. o nosnosti od 3,5 t do 10 t včetně

*** tj. o nosnosti nad 10 t

**PŘÍLOHA P VI: ZÁZNAM MĚŘENÍ INTENZITY DOPRAVY R52,
BRNO – ULICE VÍDEŇSKÁ, SMĚREM DO BRNA**

PRAVÝ JÍZDNÍ PRUH								
čas měření	osobní automobily	nákladní automobily				autobusy	traktory	motorky
		lehké*	střední**	těžké***	návěsové soupravy			
10:40 - 10:55	126	15	18	2	30	1	0	2
10:55 - 11:10	114	11	10	9	17	0	0	1
11:10 - 11:25	130	27	13	17	11	0	1	0
11:25 - 11:40	107	24	16	17	18	0	0	0
celkem	477	77	57	45	76	1	1	3
LEVÝ JÍZDNÍ PRUH								
čas měření	osobní automobily	nákladní automobily				autobusy	traktory	motorky
		lehké*	střední**	těžké***	Návěsové soupravy			
10:40 - 10:55	85	6	0	0	2	0	0	2
10:55 - 11:10	85	1	1	0	0	1	0	0
11:10 - 11:25	75	2	2	3	0	0	0	2
11:25 - 11:40	79	11	0	0	0	0	0	0
celkem	324	20	3	3	2	1	0	4

* tj. o nosnosti do 3,5 t

** tj. o nosnosti od 3,5 t do 10 t včetně

*** tj. o nosnosti nad 10 t

**PŘÍLOHA P VII: ZÁZNAM MĚŘENÍ INTENZITY DOPRAVY
SILNICE Č. 152**

JÍZDNÍ PRUH SMĚR CHRVICE								
čas měření	osobní automobily	nákladní automobily				autobusy	traktory	motorky
		lehké*	střední**	těžké***	Návěsové soupravy			
9:00 - 9:15	94	16	8	8	1	0	0	0
9:15 - 9:30	98	13	6	4	2	0	1	1
9:30 - 9:45	71	24	8	8	4	0	1	1
9:45 -10:00	89	18	4	8	3	0	0	0
celkem	352	71	26	28	10	0	2	2
JÍZDNÍ PRUH SMĚR ULICE VÍDEŇSKÁ								
čas měření	osobní automobily	nákladní automobily				autobusy	traktory	motorky
		lehké*	střední**	těžké***	Návěsové soupravy			
9:00 - 9:15	73	14	9	3	1	0	0	1
9:15 - 9:30	66	9	10	7	2	0	1	0
9:30 - 9:45	63	18	12	9	1	0	0	0
9:45 -10:00	66	18	8	5	0	0	0	0
celkem	268	59	39	24	4	0	1	1

* tj. o nosnosti do 3,5 t

** tj. o nosnosti od 3,5 t do 10 t včetně

*** tj. o nosnosti nad 10 t

**PŘÍLOHA P VIII: ZÁZNAM MĚŘENÍ INTENZITY DOPRAVY R52 U
RAJHRADU, SMĚREM DO BRNA**

PRAVÝ JÍZDNÍ PRUH								
čas měření	osobní automobily	nákladní automobily				autobusy	traktory	motorky
		lehké*	střední**	těžké***	návěsové soupravy			
13:00 – 13:15	75	12	6	3	17	2	0	0
13:15 – 13:30	83	8	2	2	11	0	0	0
13:30 – 13:45	61	17	10	9	23	1	0	0
13:45 – 14:00	76	21	7	12	21	0	0	0
celkem	295	58	25	26	72	3	0	0
LEVÝ JÍZDNÍ PRUH								
čas měření	osobní automobily	nákladní automobily				autobusy	traktory	motorky
		lehké*	střední**	těžké***	návěsové soupravy			
13:00 – 13:15	26	1	0	0	0	0	0	0
13:15 – 13:30	29	1	0	0	0	0	0	0
13:30 – 13:45	27	6	0	0	0	0	0	0
13:45 – 14:00	26	5	2	0	0	0	0	0
celkem	108	13	2	0	0	0	0	0

* tj. o nosnosti do 3,5 t

** tj. o nosnosti od 3,5 t do 10 t včetně

*** tj. o nosnosti nad 10 t

**PŘÍLOHA P IX: ZÁZNAM MĚŘENÍ INTENZITY DOPRAVY
SILNICE Č. 50, SLAVKOV U BRNA, ULICE ČSL. ČERVENÉHO
KŘÍŽE**

JÍZDNÍ PRUH SMĚR SLAVKOV - CENTRUM								
čas měření	osobní automobily	nákladní automobily				autobusy	traktory	motorky
		lehké*	střední**	těžké***	návěsové soupravy			
13:40 - 13:55	143	6	10	1	11	0	0	0
13:55 - 14:10	161	17	11	1	11	1	0	1
14:10 - 14:25	144	7	6	1	16	1	0	0
14:25 - 14:40	203	5	5	3	15	3	0	0
celkem	651	35	32	6	53	5	0	1
JÍZDNÍ PRUH SMĚR BRNO								
čas měření	osobní automobily	nákladní automobily				autobusy	traktory	motorky
		lehké*	střední**	těžké***	návěsové soupravy			
13:40 - 13:55	113	9	6	1	5	2	0	0
13:55 - 14:10	98	14	16	1	5	0	0	0
14:10 - 14:25	104	5	6	4	4	3	0	3
14:25 - 14:40	144	1	11	1	7	1	0	0
celkem	459	29	39	7	21	6	0	3

* tj. o nosnosti do 3,5 t

** tj. o nosnosti od 3,5 t do 10 t včetně

*** tj. o nosnosti nad 10 t