

Akustické vlastnosti vybraných stavebních materiálů

Jiří Julina

Bakalářská práce
2008

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav fyziky a mater. inženýrství

akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří JULINA**

Studijní program: **B 2808 Chemie a technologie materiálů**

Studijní obor: **Chemie a technologie materiálů**

Téma práce: **Akustické vlastnosti vybraných stavebních materiálů.**

Zásady pro vypracování:

1. Řešerže na téma: akustické vlastnosti materiálů, stavební materiály.
2. Experimentální měření koeficientu zvukové pohltivosti u vybraných stavebních materiálů.
3. Vyhodnocení a analýza kombinací těchto materiálů za účelem získání
4. lepších akustických vlastností stavebních materiálů.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. Jiříček O.: "Úvod do akustiky". Učební texty vysokých škol. ČVUT Praha (2002), 1 - 146. 1. vydání (ISBN 80-01-02460-1).
2. Kaňka J.: "Stavební fyzika I - Zvuk a denní světlo v architektuře". Učební texty vysokých škol. ČVUT Praha (2006), 1 - 118.
3. Vaňková M. a kol.: "Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí, část I". Učební texty vysokých škol. VUT Brno (1995), 1 - 144. 1. vydání (ISBN 80-214-0695-X)
4. Vaňková M. a kol.: "Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí, část II". Učební texty vysokých škol. VUT Brno (1996), 1 - 164. 1. vydání (ISBN 80-214-0818-9)
5. F. Alton Everest: "Master Handbook of Acoustics", McGraw-Hill Companies, Inc., USA (2001), 4. vydání (ISBN 0-07-136097-2)
6. Mišun V.: "Vibrace a hluk", FS VUT v Brně (1998), 1. vydání (ISBN 80-214-1262-3)
7. Nový R.: "Hluk a chvění.", Učební texty vysokých škol. ČVUT Praha (2000), 1 - 389. 2. vydání (ISBN 80-01-02246-3)

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Dušan Fojtů

Ústav fyziky a mater. inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

11. února 2008

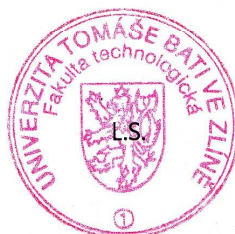
Termín odevzdání bakalářské práce:

4. června 2008

Ve Zlíně dne 11. února 2008



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



prof. Ing. Lubomír Lapčík, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá měřením závislosti koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci vybraných stavebních materiálů. Pro měření byly vybrány materiály: minerální vlna, sádrokarton a polystyren. Měření bylo provedeno na dvoumikrofonové impedanční Kundtově trubici společnosti Brüel&Kjaer v rozsahu 16 – 6300 Hz. Z těchto měření byla vyhodnocena vhodnost materiálů pro aplikaci ve stavebnictví vzhledem k akustickým vlastnostem měřených materiálů. Byla navržena kombinace těchto materiálů za účelem získání lepších tlumících charakteristik.

Klíčová slova: Koeficient zvukové pohltivosti, Kundtova trubice, Sádrokarton, Minerální vlna, Polystyren, Stavební materiály.

ABSTRACT

This work is focused on measurement of the relationship of sound absorption coefficient on frequency for selected building materials. Materials as mineral wool, plasterboard and polystyrene were selected. Measurement was realized on the dual-microphone impedance tube Brüel & Kjaer in range 16-6300 Hz. Applicability of materials for application in building industry with respect to acoustic properties was evaluated from these measurements. Combination of selected materials for purchasing of better damping characteristics was proposed.

Keywords: Sound absorption coefficient, Kundt tube, Plasterboard, Mineral wool, Polystyrene, Building materials.

Chtěl bych tímto poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Dušanovi Fojtů za odborné vedení, připomínky a cenné rady, které mi poskytoval v průběhu vypracování bakalářské práce.

A také všem co mi byli při řešení problémů týkajících se této práce nějakým způsobem nápomocni.

Tato bakalářská práce o názvu „Akustické vlastnosti vybraných stavebních materiálů“ byla vypracována na Ústavu fyziky a materiálového inženýrství Fakulty technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně za pomoci finančního zabezpečení této instituce. Je proto jejím majetkem a jakékoliv údaje v této bakalářské práci obsažené mohou být využity literárně, technicky a technologicky jen po společném souhlasu ředitele uvedeného ústavu a vedoucího bakalářské práce. V případě publikování výsledků v odborných časopisech budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně dne 25.5.2008

.....

podpis bakaláře

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 AKUSTIKA	10
1.1 AKUSTICKÉ VLNĚNÍ	10
1.1.1 Vlnová délka	11
1.1.2 Akustická rychlost.....	12
1.1.3 Akustický tlak	12
2 FYZIKÁLNÍ PODSTATA ZVUKU	14
2.1 VLNOVÁ ROVNICE	14
2.2 AKUSTICKÁ INTENZITA	19
3 VNÍMÁNÍ ZVUKU, VELIČINY AKUSTICKÉ EMISE A JEJICH HODNOTY	21
3.1 INTENZITA ZVUKU – DECIBEL.....	21
3.2 KMITOČET ZVUKU – VÁHOVÁ KOREKCE ZVUKOMĚRU	23
3.3 INFORMAČNÍ OBSAH ZVUKU A OKOLNOSTI JEHO PŮSOBENÍ - LIMITY HLUKU	26
4 ZDROJE ZVUKU V ŽIVOTNÍM A PRACOVNÍM PROSTŘEDÍ - VELIČINY AKUSTICKÉ EMISE	33
5 ZÁKLADNÍ POZNATKY O ŠÍŘENÍ ZVUKU	36
5.1 ŠÍŘENÍ ZVUKU VE VOLNÉM PROSTORU - VOLNÉ ZVUKOVÉ POLE.....	36
5.2 ŠÍŘENÍ ZVUKU VE VOLNÉM PROSTORU PŘES PŘEKÁŽKU	37
5.3 ŠÍŘENÍ ZVUKU V UZAVŘENÉM PROSTORU	39
5.3.1 Pohlcování zvuku	40
6 KONSTRUKCE NA POHLCOVÁNÍ ZVUKU	42
6.1 OBKLADY Z PÓROVITÝCH MATERIÁLŮ	42
6.2 KMITAJÍCÍ MEMBRÁNY A DESKY	43
6.3 KOMBINOVANÉ POHLCOVAČE	44
7 ZÁKLADY AKUSTIKY STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ	45
7.1 ZVUK V BUDOVÁCH.....	45
7.2 ZVUK ŠÍŘENÝ VZDUCHEM (AIRBORNE NOISE)	45
7.3 ZVUK ŠÍŘENÝ KONSTRUKCÍ (STRUCTURE BORNE NOISE)	46
II PRAKTICKÁ ČÁST	48
8 CHARAKTERISTIKA VYBRANÝCH MATERIÁLŮ POUŽÍVANÝCH VE STAVEBNICTVÍ	49
8.1 MINERÁLNÍ VLNA	49
8.1.1 Výroba minerální vlny.....	49

8.1.2	Charakteristika	49
8.1.3	Akustické vlastnosti	49
8.2	SÁDROKARTON.....	50
8.2.1	Výroba	50
8.2.2	Charakteristika	51
8.2.3	Akustické vlastnosti sádrokartonu	51
8.3	SÁDROVLÁKNITÉ DESKY	51
8.3.1	Výroba	51
8.3.2	Akustické vlastnosti	51
8.4	PĚNOVÝ POLYSTYREN EPS.....	52
8.4.1	Výroba	52
8.4.2	Charakteristika	53
8.4.3	Akustické vlastnosti	54
8.5	VLNA Z CELULÓZOVÝCH VLÁKEN Z RECYKLOVANÉHO PAPÍRU IMPREGNOVANÁ BORAXEM A KYSELINOU BORITOU	54
8.5.1	Charakteristika	54
8.5.2	Akustické vlastnosti	54
8.6	NÁSTRÍKOVÁ HMOTA NA BÁZI CELULÓZY A OHNIVZDORNÝCH MATERIÁLŮ	55
8.6.1	Akustické vlastnosti	55
9	STANOVENÍ KOEFICIENTU ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI.....	56
9.1	PŘÍPRAVA VZORKŮ - ROZMĚROVÁ ANALÝZA.....	56
9.2	MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ KOEFICIENTU ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI VYBRANÝCH STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ A JEJICH KOMBINACÍ	57
9.2.1	Měřicí zařízení	57
9.2.2	Návod na obsluhu Brüel & Kjaer trubice s obslužným programem BZ 5050.....	58
9.2.3	Vyhodnocení měření koeficientu zvukové pohltivosti vybraných stavebních materiálů.....	58
9.2.4	Vyhodnocení měření koeficientu zvukové pohltivosti kombinací stavebních materiálů.....	60
	ZÁVĚR	61
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	62
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	65
	SEZNAM OBRÁZKŮ	68
	SEZNAM TABULEK.....	69
	SEZNAM PŘÍLOH.....	70

ÚVOD

Akustika je rozsáhlý vědní obor, zabývající se komplexně zvukem od jeho vzniku, přenosu prostorem až po vnímání lidskými smysly. Má celou řadu poddisciplín, např. hudební akustika zkoumá fyzikální základy hudby, hudebních nástrojů a prostorů, stavební akustika zvukové jevy a souvislosti v uzavřeném prostoru, budovách a stavbách, prostorová akustika šíření zvuku v obecném prostoru, fyziologická akustika vznikem zvuku v hlasovém orgánu člověka a jeho vnímáním v uchu, psychoakustika vnímání zvuku v mozku atd.

Vliv hluku a jeho nežádoucí účinky na člověka byl zřejmý už dávno, ale nebyla mu věnována dostatečná pozornost. Řešení akustických problémů a hluku jako nežádoucího se začalo projevovat až v několika posledních letech. Dříve se na akustické izolace nekladl téměř žádný důraz a řešil se pouze problém izolace tepelné. V poslední době se však faktor negativního působení hluku na člověka ukázal jako velmi významný, a proto znalost akustických vlastností materiálů představuje důležitou roli při výběru pro aplikace ve stavebním průmyslu. Tento výběr ovšem také podstatně ovlivňují mechanické a tepelné vlastnosti daných materiálů. Právě pro stavební aplikace je totiž důležité, aby zvolený materiál akceptoval kompromis mezi dobrým tepelně izolačním prvkem a prvkem mechanickým.

Výběr materiálů pro tuto práci tudíž není orientován na materiály z vynikajícími akustickými vlastnostmi, ale na materiály nejrozšířeněji používané pro konstrukce stavebních příček a izolace interiérů staveb.

Fyzikální veličinou, které je v této práci věnována největší pozornost je koeficient zvukové pohltivosti. Tato veličina může nabývat hodnot 0 -1, kdy hodnota 0 znamená téměř žádné pohlcení zvuku dopadajícího na rovinnou stěnu místnosti a naopak hodnota 1 představuje úplné pohlcení hluku materiálem.

Na základě závislosti koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci, bylo vyhodnoceno, který z měřených stavebních materiálů má nejlepší tlumící vlastnosti, a který naopak.

V závěru práce je navržena optimální kombinace studovaných materiálů takovým způsobem, jaký je pro běžnou praxi nejrozšířenější.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 AKUSTIKA

Zvuk je mechanické vlnění pružného prostředí, které vnímáme sluchem. Definice zvuku tak má dvě části: fyzikální „mechanické vlnění pružného prostředí“ a fyziologickou „které vnímáme sluchem“.

Podstatou zvuku je mechanické kmitání pružného prostředí ve frekvenčním rozsahu 20 až 20000 kmitů za sekundu, které se šíří konečnou rychlostí určitým prostředím. Akustická vlna se ve vzduchu pohybuje rychlostí cca 340 m/s. Frekvenční rozsah akustického vlnění, kterým se zabývá technická akustika, odpovídá kmitočtovému rozsahu lidského ucha. Jinak akustika se zabývá mechanickými kmity v širším frekvenčním pásmu. Hovoříme potom o třech pásmech: o infrazvuku, slyšitelném pásmu a ultrazvuku.

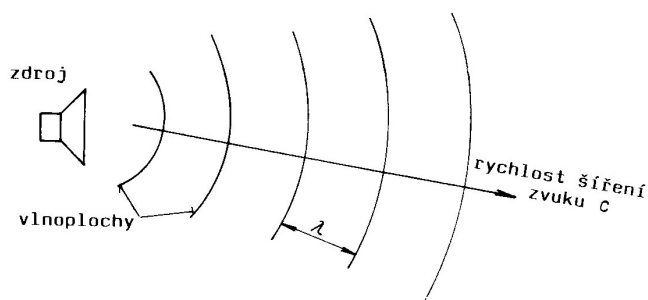
1.1 Akustické vlnění

Zvuk se může šířit v plynech, kapalinách i pevných látkách ve formě akustického vlnění. V homogenním izotropním prostředí se šíří vlnění přímočaře. Podle toho, zda částice prostředí kmitají ve směru šíření vlnění nebo kolmo k němu, dělíme vlnění na podélné a příčné. Zatímco u podélného vlnění je směr kmitů jednoznačně dán směrem šíření vlnění, u příčného vlnění musíme udávat též rovinu ve které dochází k příčným kmitům. Pokud se všechny kmity dějí v jedné rovině, říkáme o takovém vlnění, že je lineárně polarizováno.

Důležitou skutečností je, že se částice jednosměrně nepohybují se šířícím se vlněním, nýbrž kmitají pouze kolem svých rovnovážných poloh. Dalším závažným faktem je, že šíření akustického vlnění je spojeno s přenosem energie.

U plynů a kapalin se může vyskytovat pouze podélné akustické vlnění, neboť tyto látky jsou pružné pouze ve smyslu objemové stlačitelnosti. U materiálů elastických se může vyskytovat vlnění podélné i příčné, protože vykazují pružnost nejenom v tahu a tlaku, ale i smyku. Kombinací těchto namáhání vzniká kmitání ohybové.

Akustické vlnění postupuje prostředím od zdroje zvuku ve vlnoplochách, jak je ukázáno schématicky na (Obr. 1). Vlnoplocha se vyznačuje tím, že v jejích všech bodech je v daném časovém okamžiku stejný akustický stav. Kolmice na vlnoplochu se nazývá akustickým paprskem.



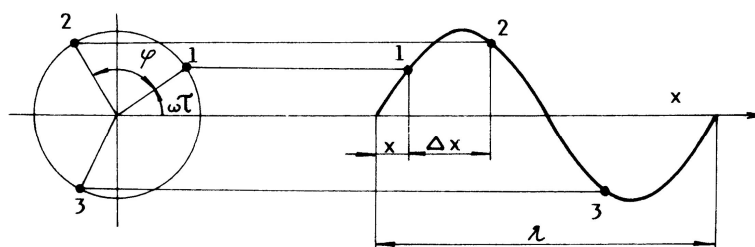
Obr. 1. Šíření zvuku od zdroje.

Mezi pevnými látkami a plyny resp. Kapalinami může docházet k přenosu kmitů. Každý hmotný element prostředí může být tzv. oscilátorem. Vychýlením hmotného bodu z jeho rovnovážné polohy se poruší rovnováha sil a začnou převládat síly, které se snaží hmotný bod vrátit do rovnovážné polohy. Z uvedeného vyplývá, že můžeme nejjednodušší fyzikální oscilátory, jako je např. struna, ladička, pružina apod. považovat za akustické generátory.

1.1.1 Vlnová délka

V (Obr. 2) je zakótována veličina λ [m], která se nazývá délkou vlny. Je to vzdálenost mezi nejbližšími dvěma body bodové řady, u nichž je v daném časovém okamžiku stejný akustický stav. Jinak lze říci, že je to vzdálenost, kterou zvuková vlna urazí za dobu jednoho kmitu T . Délka vlny je nejdůležitějším akustickým parametrem, který umožňuje modelování v akustice. Mezi délkou vlny, frekvencí a rychlostí šíření zvuku platí následující vztah:

$$\lambda f = c \quad (1)$$



Obr. 2. Akustická výchylka jako funkce vzdálenosti.

1.1.2 Akustická rychlost

Rychlost s jakou kmitají jednotlivé částice prostředí, kterým se šíří akustická vlna, nazýváme akustickou rychlostí v [m/s]. Výraz pro její výpočet získáme snadno, provedeme-li první parciální derivaci akustické výchylky (2) podle času.

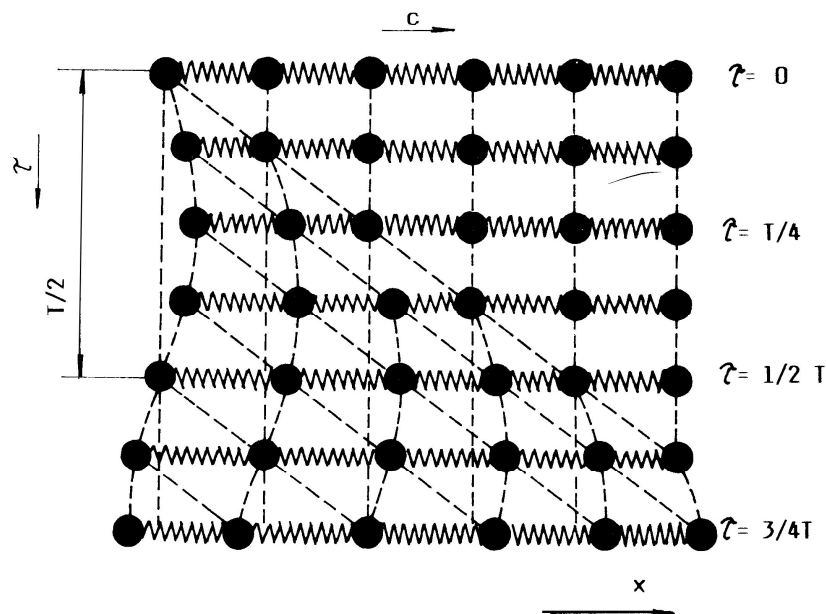
$$u = u_0 \sin \omega \left(\tau \pm \frac{x}{c} \right) \quad (2)$$

$$v = \frac{\partial u}{\partial \tau} = \omega u_0 \cos \omega \left(\tau \pm \frac{x}{c} \right) \quad (3)$$

Součin amplitudy výchylky a kruhové frekvence dává amplitudu akustické rychlosti.

$$v_0 = \omega u_0 \quad (4)$$

Porovnáme-li mezi sebou vztahy (2) a (3) zjistíme, že se výchylka od akustické rychlosti liší jak amplitudou, tak i fází. Funkce sin je proti funkci cos fázově pootočena o $\pi/2$. Akustická rychlost je jednou z nejdůležitějších akustických veličin a je jí nutno přísně odlišovat od rychlosti šíření zvuku. Její velikost je o mnoho řádů menší než rychlost šíření zvuku.



Obr. 3. Vývoj akustické vlny v bodové řadě

1.1.3 Akustický tlak

Na (Obr. 3) je mimo jiné znázorněno, že při šíření vlnění v bodové řadě lze v daném časovém okamžiku najít místa, kde dochází ke shluku většího počtu kmitajících bodů a naopak

také místa, kde je menší hustota molekul. Tomu odpovídají v plynech a kapalinách místa přetlaku a místa podtlaku. S tímto zhuštěním a zředěním částic souvisí změny celkového statického tlaku vzduchu. Na (Obr. 4) je vyznačen celkový statický tlak jako součet středního barometrického tlaku p_b a tlaku akustického p . Diagram možno také interpretovat tak, že na barometrickém tlaku je namodulován tlak akustický. Barometrický tlak je hodnota přibližně 100 000 Pa, kdežto akustický tlak je veličina o mnoho řádů nižší. Zdravé lidské ucho začíná vnímat akustické tlaky od hodnot $2 \cdot 10^{-5}$ Pa, což je v porovnání s barometrickým tlakem hodnota téměř zanedbatelná. [1]

Průběh akustického tlaku je z hlediska matematického zápisu totožný s průběhem akustické výchylky nebo akustické rychlosti. Pro harmonický signál možno psát výraz

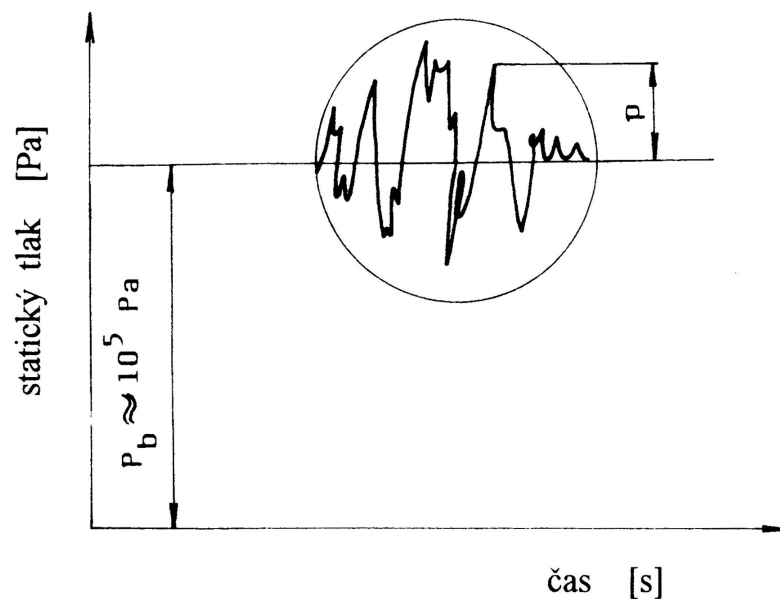
$$p = p_0 \cos \omega \left(\tau - \frac{x}{c} \right) \quad (5)$$

Resp.:

$$p = p_0 e^{j\omega \left(\tau - \frac{x}{c} \right)} \quad (6)$$

Kde je p_0 [Pa] amplituda akustického tlaku

p [Pa] komplexní hodnota akustického tlaku.

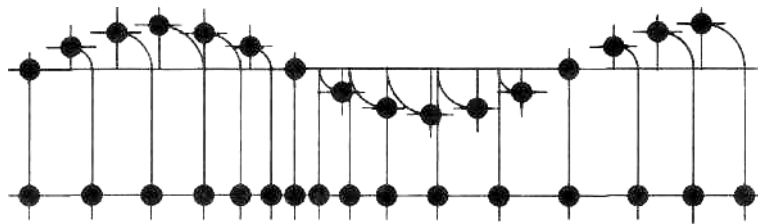


Obr. 4. Časový průběh celkového statického tlaku ve vzduchu. [1]

2 FYZIKÁLNÍ PODSTATA ZVUKU

2.1 Vlnová rovnice

V pevných látkách se může zvuk šířit podélným nebo příčným vlněním anebo jejich kombinací - např. ohybovým nebo torsním vlněním. V plynech a kapalinách však dochází pouze k podélnému vlnění. To je charakteristické tím, že směr kmitání jednotlivých dostatečně malých částí hmoty je shodný se směrem šíření vlny. Souvislost mezi příčným a podélným vlněním je naznačena na vyobrazení. Od místa vzniku vlnění (zdroje zvuku) se vlnění šíří postupně. To je příčinou toho, že sousední částice hmoty kmitají vždy s rozdílnou fází tak, jak vlnění do různých míst s různým časovým zpožděním dospělo. Výsledkem tohoto nestejného pohybu částic jsou místní a časové změny hustoty a tedy i tlaku plynu. Tyto změny popisuje vlnová rovnice.



Obr. 5. Souvislost mezi příčným a podélným vlněním

Barometrický tlak p_o [Pa] se mění jen zvolna v závislosti na atmosférických podmínkách. Rozdíl mezi barometrickým tlakem a skutečným tlakem plynu při akustickém ději se nazývá akustický tlak p [Pa]. Změny akustického tlaku naopak probíhají velmi rychle tak, že v tomto krátkém čase nemůže dojít k významné výměně tepla mezi jednotlivými částicemi plynu. Proto se uvedené změny považují za adiabatické. Platí stavová rovnice plynu

$$p_c \cdot V_0^\gamma = (p_c + p) \cdot (V_0 + \Delta V)^\gamma \quad (7)$$

kde p_c [Pa] je počáteční celkový tlak, V_0 [m³] je počáteční objem plynu odpovídající pouze počátečnímu tlaku. Ten se při působení akustického tlaku změní na $(V_0 + \Delta V)$. Mocninitel γ [-] je poměr měrných tepelných kapacit plynu.

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v} \quad (8)$$

c_p [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] je měrná tepelná kapacita při konstantním tlaku a c_v [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] je měrná tepelná kapacita při konstantním objemu. Pro vzduch (bez CO_2) je $\gamma = 1,4$. Po úpravě rovnice (7) se může psát

$$1 + \frac{p}{p_c} = \left(1 + \frac{\Delta V}{V_0}\right)^{-\gamma} \quad (9)$$

Protože $\frac{\Delta V}{V_0}$ je velmi malé, lze rovnici (9) aproximovat na tvar

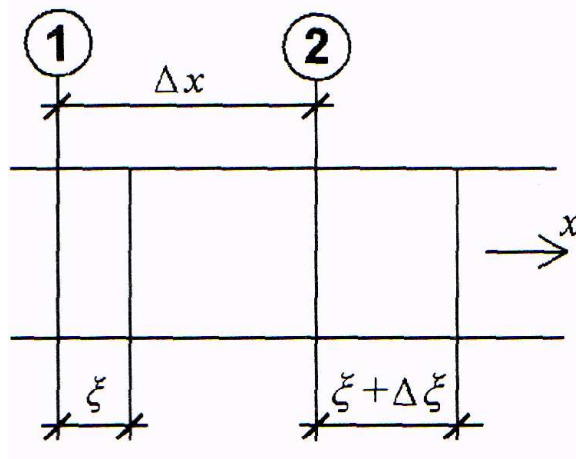
$$\frac{p}{p_c} = -\gamma \frac{\Delta V}{V_0} \quad (10)$$

Z rovnice (10) lze vyjádřit akustický tlak

$$p = -K \frac{\Delta V}{V_0} \quad (11)$$

kde $K = \gamma \cdot p_c$ [Pa] je objemový modul pružnosti plynu.

Relativně jednoduchým příkladem šíření zvuku jsou rovinné vlny. Časové a prostorové změny akustického tlaku nastávají jen ve směru x šíření zvukových vln, zatímco při změně souřadnic y a z zůstává tlak konstantní. Možným příkladem rovinných vln je šíření zvuku v přímém potrubí o jednotkové průřezové ploše $S=1$ m (viz. vyobrazení).



Obr. 6 Šíření zvuku v přímém potrubí

Částice v rovině ① mají okamžitou výchylku ζ [m] a částice v rovině ②, která je od roviny ① vzdálena Δx metrů, mají okamžitou výchylku

$$\zeta + \Delta\zeta = \zeta + \frac{\partial\zeta}{\partial x} \Delta x \quad (12)$$

Původní objem $V_0 = \Delta x$ vymezený sledovanými rovinami ① a ② vzroste o hodnotu

$$\Delta V = \frac{\partial\zeta}{\partial x} \Delta x \quad (13)$$

Poměr $\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{\partial\zeta}{\partial x}$ lze dosadit do vztahu (11)

$$p = -K \frac{\partial\zeta}{\partial x} \quad (14)$$

Jestliže v rovině ① působí akustický tlak p [Pa], pak v rovině ② působí tlak

$$p + \frac{\partial p}{\partial x} \Delta x \quad (15)$$

Rozdíl $\frac{\partial p}{\partial x} \Delta x$ tlaků způsobí pohyb plynu mezi oběma rovinami. Hmotnost vzduchu mezi oběma rovinami (plošná hmotnost, protože průřezová plocha myšleného potrubí je 1 m^2) je $m' = \rho \cdot \Delta x$ [kg·m⁻²]. Lze použít Newtonovy pohybové zákony $F = -m \cdot a$, kde

sílu lze nahradit tlakem, hmotnost plošnou hmotností a zrychlení vyjádřit jako druhou derivaci výchylky podle času.

$$\rho \cdot \Delta x \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = -\frac{\partial p}{\partial x} \cdot \Delta x \quad (16)$$

Dělením obou stran rovnice (16) Δx se obdrží pohybová rovnice

$$\rho \cdot \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = -\frac{\partial p}{\partial x} \quad (17)$$

která se dále derivuje podle x a upraví.

$$\rho \cdot \frac{\partial^3 \xi}{\partial x \partial t^2} = -\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} \quad (18)$$

Rovnici (14) lze derivovat dvakrát podle času

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = -K \frac{\partial^3 \xi}{\partial x \partial t^2} \quad (19)$$

Dosazením pravé strany rovnice (18) za odpovídající část pravé strany rovnice (19) se obdrží vlnová rovnice

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = \frac{K}{\rho} \cdot \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = c^2 \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} \quad (20)$$

kde $c = \sqrt{\frac{k}{\rho}}$ [m.s⁻¹] je rychlost zvuku. Při teplotě 0°C, běžném tlaku $p_0 = 101,325$

kPa a objemové hmotnosti vzduchu $\rho = 1,29$ kg.m⁻³ je rychlost zvuku ve vzduchu $c_0 = 331$ m.s⁻¹. Rychlost zvuku ve vzduchu se nepatrně mění s teplotou. Pro technické výpočty se používá hodnota $c_0 = 340$ m.s⁻¹ odpovídající teplotě 14,2°C.

Eliminací p lze z rovnic (14) a (17) získat vlnovou rovnici pro výchylku

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} \quad (21)$$

V pravouhlých souřadnicích x, y, z pro třírozměrný prostor má vlnová rovnice tvar

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = c^2 \left(\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} \right) \quad (22)$$

Jako řešení vlnové rovnice vyhovuje každá funkce g s argumentem $(t-x/c)$, což lze dokázat dosazením druhých parciálních derivací

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = g'' \left(t - \frac{x}{c} \right) \quad \text{a} \quad \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} g'' \left(t - \frac{x}{c} \right) \quad (23)$$

do rovnice (20). Speciálně pro harmonické (sinové nebo kosínové) vlnění lze jako řešení vlnové rovnice (20) uvažovat funkci

$$p = A \sin \omega \left(t - \frac{x}{c} \right) = A \sin(\omega t - kx) \quad (24)$$

kde A [Pa] je amplituda akustického tlaku a ω [s^{-1}] je kruhová frekvence. Ta je rovna 2π násobku kmitočtu f [Hz]. Kmitočet vyjadřuje rychlost opakování kmitavého pohybu počtem kmitů za jednu sekundu.

$$\omega = 2\pi f \quad (25)$$

Obdobně pro harmonické vlnění je řešením rovnice (21) funkce

$$\xi = U \sin \omega \left(t - \frac{x}{c} \right) = U \sin(\omega t - kx) \quad (26)$$

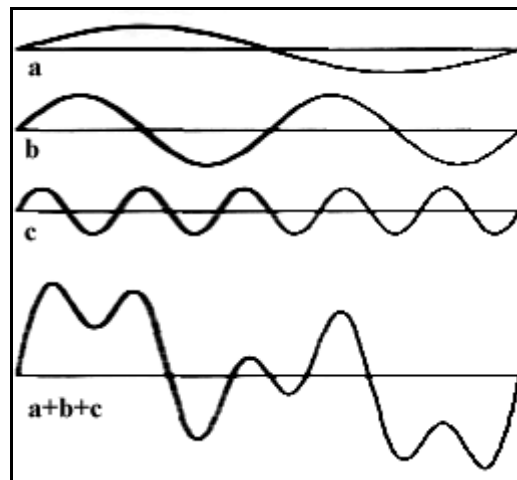
kde U [m] je amplituda výchylky.

V rovnicích (24) a (26) je $k = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{\lambda}$ [m^{-1}] vlnové číslo a λ [m] je vlnová délka tj. dráha,

kterou urazí vlna během jednoho kmitu. Vlnová délka souvisí s kmitočtem

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (27)$$

Pro analýzu zvuku má harmonické vlnění zvláštní význam. Složitější periodické pohyby částic lze totiž vždy vyjádřit jako součet konečného počtu nebo definované nekonečné řady harmonických pohybů s různými amplitudami a úhlovými rychlostmi (a tedy i různými kmitočty a vlnovými délkami). Jako příklad je na vyobrazení uvedeno vlnění, které vznikne jako součet tří vlnění harmonických.



Obr. 7. Vlnění, které vznikne jako součet tří vlnění harmonických

2.2 Akustická intenzita

Akustickou rychlost (rychlost kmitavého pohybu částice prostředí při vlnění) v $[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$ lze stanovit jako derivaci výchylky (26) podle času.

$$v = \frac{\partial \xi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \left[U \sin \omega \left(t - \frac{x}{c} \right) \right] = \omega U \cos \omega \left(t - \frac{x}{c} \right) \quad (28)$$

Do rovnice (14) se dosadí vztah (26) a v dalším se přihlédně ke vztahu (28) a k definici rychlosti zvuku v komentáři ke vztahu (20)

$$p = -K \frac{\partial}{\partial x} \left[U \sin \omega \left(t - \frac{x}{c} \right) \right] = K \frac{\omega}{c} U \cos \omega \left(t - \frac{x}{c} \right) = \frac{K}{c} v = \rho \cdot c \cdot v = c \cdot v \quad (29)$$

kde $Z = \rho \cdot c$ [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$] se nazývá vlnový odpor prostředí. Vlnový odpor vzduchu při teplotě 0°C má hodnotu $Z_0 = 1,29 \cdot 331,5 = 428 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Standardizovaná hodnota je $Z_0 = 415 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Při akustickém vlnění dochází k přenosu energie. Mírou tohoto přenosu je akustický výkon P [W].

$$P = F \cdot v = p \cdot S \cdot v \quad (30)$$

kde S [m^2] je plocha vlny. Síla F [N], akustická rychlost v [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] a akustický tlak p [Pa] jsou veličiny časově proměnné a do vztahu (30) je proto nutno dosazovat jejich efektivní hodnoty. Například efektivní hodnotu akustického tlaku lze stanovit podle vztahu

$$p_{ef}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T p^2 dt \quad (31)$$

kde $t = \frac{1}{f}$ [s] je doba jedné periody. Speciálně pro harmonické vlnění $p_{ef} = \frac{A}{\sqrt{2}}$

Akustická intenzita I [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$] je plošná hustota akustického výkonu. S přihlédnutím ke vztahu (29) lze odvodit vztah mezi akustickou intenzitou a akustickým tlakem.

$$I = \frac{P}{S} = p \cdot v = \frac{p^2}{Z} \quad (32)$$

Například prahové (tj. pro člověka nejnižší slyšitelné) hodnotě akustické intenzity $I_0 = 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ odpovídá prahová hodnota akustického tlaku $p_0 = \sqrt{428 \cdot 10^{-12}} \cong 0,00002 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$

3 VNÍMÁNÍ ZVUKU, VELIČINY AKUSTICKÉ INTENZITY A JEJICH HODNOTY

Vnímání zvuku je složitý fyziologický a psychologický proces. Sluchový orgán člověka se skládá ze zevní (boltec a zvukovod), střední (bubínek a sluchové kůstky) a vnitřní části (hlemýžď s Cortiho orgánem, který obsahuje na 20 000 vláskových buněk s nervovými zakončeními) a je spojen s mozkovou kůrou sluchovým nervem. Zvukový podnět na své cestě touto složitou strukturou prochází mnoha proměnami způsobenými rozmanitými vlivy od vlnových rezonančních jevů ve zvukovodu až po složité vzájemné vazby nervových drah, které zajišťují mimo jiné prostorové slyšení a analýzu kmitočtů. Výsledkem je specifický způsob vnímání a prožívání zvuku. Při působení zvuku na člověka se uplatňuje více vlastností zvuku. Tyto vlastnosti jsou: intenzita, kmitočet, čas, informační hodnota zvuku a okolnosti jeho působení, vztah osoby příjemce ke zdroji zvuku a ke zvuku jako takovému. Základní akustické veličiny, kritéria a přípustné limity hluku jsou proto definovány takovým způsobem, aby co nejlépe popisovaly účinek zvuku na člověka a jeho sluchový orgán právě z hlediska působení všech těchto vlivů.

3.1 Intenzita zvuku – decibel

Mírou účinku vlnění a jím přenášeného zvuku je plošná hustota akustického výkonu zvaná akustická intenzita I [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]. Prahové hodnoty akustické intenzity již byly uvedeny. Citlivost lidského sluchu při vnímání akustické intenzity není vždy stejná, ale s rostoucí

intenzitou se snižuje. Při zvyšování akustické intenzity jakoby sluchový orgán stále více ztrácel schopnost vnímat v plné hodnotě její další přírůstek. Výsledkem je logaritmická závislost mezi velikostí zvukového podnětu a velikostí sluchového vjemu.

Uvedená vlastnost sluchu není samoučelná. Umožňuje nám totiž vnímat i velmi slabé zvukové signály s vysokou citlivostí a zároveň nás chrání před zvukem vysoké intenzity. Tato vlastnost sluchu byla důvodem k zavedení logaritmické míry (decibelové stupnice) při kvantifikaci akustických veličin. Akustická intenzita I [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$] vyjádřená v decibelech se nazývá *hladina akustické intenzity* L [dB]

$$L = 10 \log \frac{I}{I_{ref}} = 10 \log \frac{P^2}{P_{ref}^2} = 20 \log \frac{P}{P_{ref}} \quad (33)$$

kde $I_{ref} = 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$ je již zmíněná prahová hodnota akustické intenzity. Podle vztahu (32) je intenzita přímo úměrná druhé mocnině akustického tlaku. Proto je ve vztahu (33) poměr intenzit nahrazen poměrem druhých mocnin akustického tlaku. Takto definovaná veličina se nazývá *hladina akustického tlaku* L [dB], kde $p_{ref} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ je prahová hodnota akustického tlaku. Obě veličiny - hladina akustické intenzity sledovaná ve směru šíření zvuku a hladina akustického tlaku - mají vždy stejnou hodnotu, protože jsou tak záměrně definovány. Rozdíl mezi nimi je však v kvalitě. Jako vektor je intenzita úzce spojena i se směrem šíření zvuku, zatímco akustický tlak jako skalární veličina jen popisuje stav prostředí v daném místě bez ohledu na směr šíření zvuku. Proto vztah (33) platí jen tehdy, jestliže plocha, na které zjišťujeme intenzitu, je kolmá na směr šíření zvuku. Sluchový orgán člověka je schopen přijímat zvuk z jakéhokoli směru. Vnímání zvuku tak více souvisí s tlakem než s intenzitou. To je hlavní důvod, proč se při popisu "síly" zvuku používá veličina: hladina akustického tlaku. Spíše pro teoretické úvahy je pak vhodná představa hladiny akustické intenzity.

Je dobré si povšimnout, že v definičním vztahu (33) se logaritmuje bezrozměrné číslo (podíl akustických intenzit resp. podíl druhých mocnin akustických tlaků). V decibelech by tak mohla být vyjádřena jakákoliv jiná fyzikální veličina (stačilo by jen stanovit její prahovou hodnotu) a v tomto smyslu má decibel obdobný charakter jako například procento.

Tab. 1. Příklady hladin akustického tlaku

akustický tlak p [Pa]	akustická intenzita I [W.m^{-2}]	hladina akustického tlaku L [dB]	příklad prostředí, kde se vyskytuje
cca 60	-cca 10	cca 130	práh bolesti
2	10^{-2}	100	diskotéka
0,2	10^{-4}	80	rušná ulice
0,02	10^{-6}	60	kancelář
0,002	10^{-8}	40	obývací pokoj
0,0002	10^{-10}	20	ložnice v noci
0,00002	10^{-12}	0	práh slyšení

Protože se při hladinovém vyjádření velikosti akustických veličin pracuje s logaritmy jejich hodnot, dochází při počítání s hladinami k některým skutečnostem, které se vymykají běžnému chápání kvantity. Projevuje se to například při sčítání hladin. Jsou známy hladiny L_1 [dB] a L_2 [dB] akustického tlaku generované dvěma různými zdroji zvuku. Úkolem je stanovit hladinu akustického tlaku při současném působení obou zdrojů. Sčítané intenzity zvuku jsou I_1 [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$] a I_2 [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$].

$$L = 10 \log \left(\frac{I_1}{I_0} + \frac{I_2}{I_0} \right) = 10 \log \left(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} \right) \quad (34)$$

Operace naznačená ve vztahu (34) se nazývá *energetický součet*.

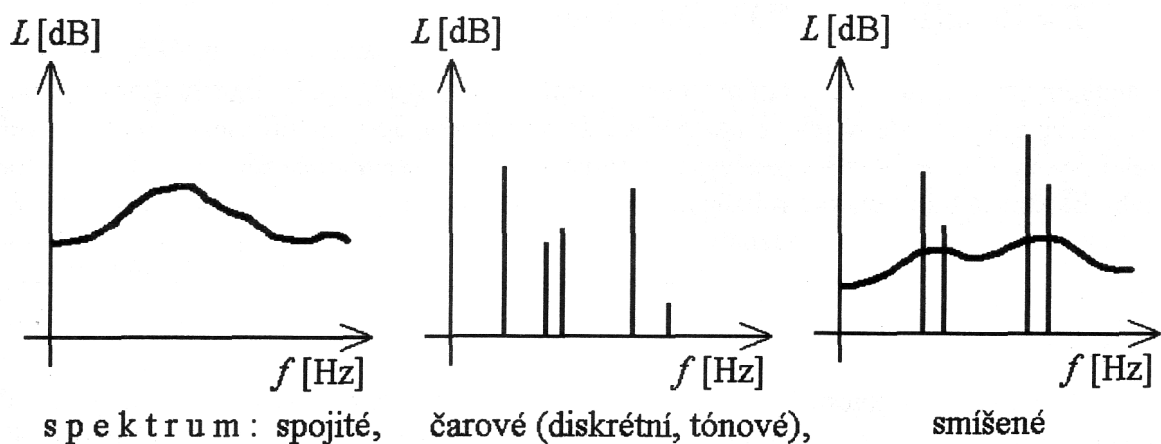
3.2 Kmitočet zvuku – váhová korekce zvukoměru

Druhou důležitou vlastností zvuku je jeho kmitočtové složení. Kmitočet zvuku je počet periodických změn akustického tlaku za sekundu. Subjektivně je vnímán jako výška tónu. Tónový zvuk obsahuje jen jeden kmitočet, kde průběh hodnot akustického tlaku v čase je harmonický tj. má tvar funkce sinus. Nejvyšší hodnota akustického tlaku A [Pa] při harmonickém průběhu se nazývá amplituda. Do vztahu (33) se však dosazuje efektivní hodnota $p_{ef} = 0,707 A$. Druhým parametrem harmonické závislosti akustického tlaku na čase je vlnová délka λ [m], která souvisí s kmitočtem podle vztahu (27).

Skutečné zvuky v prostředí jsou čistě tónové jen výjimečně. Průběh periodických změn akustického tlaku reálných zvuků je vždy složitější než průběh harmonický a případ od případu může nabývat nejrůznějších podob. Každý takový průběh však lze sestavit jako součet jistého počtu harmonických průběhů s různými amplitudami a vlnovými délkami tak, jak bylo zmíněno v kapitole 2 v souvislosti s Fourierovým rozkladem funkce. Jinými slovy: každý zvuk je směs jistého počtu tónových zvuků o různé amplitudě a kmitočtu.

Dobrou představu o charakteru zvuku z hlediska zastoupení různých kmitočtů v daném zvuku poskytuje *akustické spektrum*. Akustickým spektrem se rozumí soustava hodnot sledované akustické veličiny (např. hladiny akustického tlaku) uváděná v závislosti na kmitočtu. Často se uvádí formou grafu nebo tabulky. Sledováním změn hladiny akustického

tlaku v závislosti na kmitočtu se zabývá *kmitočtová analýza*. S *tónovými (čárovými) spektry* se můžeme setkat u hudebních nástrojů. Většina zvuků, kterými jsme obklopeni v pracovním a životním prostředí má *spojité spektrum*. Některé stroje a technická zařízení mají *spektra smíšená* tj. spojitá s výraznými tónovými složkami. Takový zvuk je našimi hygienickými předpisy hodnocen přísněji. Nejvyšší přípustné hodnoty tónového zvuku jsou o 5 dB nižší než je tomu u zvuku bez tónových složek.



Obr. 8. Druhy spekter

Pro účely sledování kmitočtového složení zvuku lze oblast slyšitelných kmitočtů rozdělit na jedenáct *oktávových pásem*, z nichž každé je charakterizováno svým středním kmitočtem. Oktáva je interval mezi dvěma kmitočty, kde druhý je dvojnásobek prvního. Každá oktáva se nazývá podle svého středního kmitočtu. Střední kmitočty oktávových pásem jsou uvedeny v (Tab. 2). Hodnota *hladiny akustického tlaku v oktávovém pásmu* L_{okt} (dB) je energetickým součtem hladin akustického tlaku zvuku všech kmitočtů, které do daného pásma spadají. Této hodnotě se pak přisoudí vlastnosti zvuku o příslušném středním kmitočtu. Oktávovou analýzou tak technická akustika nahrazuje pracnou podrobnou analýzu kmitočtů. Jako výsledek totiž obdržíme jedenáct dílčích (pseudo)tónových složek, jejichž vlnová délka je určena středním kmitočtem oktávy a amplituda hodnotou L_{okt}

Při výpočtech a měřeních se často pracuje jen s oktávovým spektrem v rozsahu 125 až 4000 Hz. Z hlediska nepříznivých účinků běžných zdrojů zvuku mají ostatní pásma zpravi-

dla menší důležitosti. Zvuk s nízkým kmitočtem (16 až 63 Hz) je totiž sluchem vnímán s poměrně malou citlivostí a zvuk o vysokých kmitočtech (8000 a 16000 Hz) je zpravidla prostředím relativně dobře tlumen. K závadám tak nejčastěji dochází v pásmech středních kmitočtů (125 až 4000 Hz). V případě potřeby větší přesnosti je možné se přiblížit více k realitě pomocí podrobnějšího dělení spektra na pásma třetinooktávová, devítinooktávová, případně jiným speciálním dělením.

Tab. 2. Střední kmitočty oktávových pásem a hodnoty korekcí váhového filtru zvukoměru

f [Hz]	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
K_A [dB]	-56,7	-39,4	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	+1,2	+1,0	-1,1	-6,6

Při popisu zvuku a jeho účinku na člověka je třeba se vyrovnat s tou skutečností, že zvuk o různých kmitočtech je lidským sluchem vnímán s nesterjnou citlivostí. Již práh slyšení je odlišný pro různé kmitočty. Při vnímání zvuku tak dochází ke zkreslení, jehož charakter navíc závisí na velikosti akustického tlaku přijímaného zvuku. Lidský sluch je nejvíce citlivý v oblasti okolo 1000 Hz, což v podstatě odpovídá kmitočtovému obsahu lidské řeči. Relativně dobrým přiblížením k těmto vlastnostem sluchového orgánu bylo zavedení *váhových filtrů*, které v souladu s citlivostí lidského sluchu upravují citlivost zvukoměru. Z více původně navržených filtrů se v praxi ujal váhový filtr „A“. Zvukoměr měří hladinu akustického tlaku současně v jednotlivých kmitočtových pásmech (užších než jedna oktáva). Ke každé změřené hodnotě přičte korekci váhového filtru K_A [dB] a teprve takto upravené hodnoty sečte (energeticky podle pravidel počítání s hladinami). V takovém součtu je vliv některých kmitočtů potlačen, jiných zesílen - každé pásmo má tak jinou váhu - podle přidělených korekcí. Takto vzniklá veličina je označována symbolem L_A [dB] a nazývá se *hladina akustického tlaku A*. Velké písmeno „A“ je součástí názvu této veličiny. Jednotkou je opět decibel - dB. Ve starší literatuře se lze setkat s praktickou poznámkou v závorce u rozměru této veličiny L_A [dB(A)]. Váhové korekce jsou dány normou. Jejich hodnoty pro střední kmitočty oktávových pásem udává tabulka 2. Váhové korekce se neuplatní pouze při měření zvuku, ale je nutné s nimi pracovat i v akustických výpočtech. Hladina akustického tlaku A se vypočte podle vztahu

$$L_A = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_i + K_{Ai})} \quad (35)$$

kde n je počet kmitočtových (např. oktávových) pásem.

3.3 Informační obsah zvuku a okolnosti jeho působení - limity hluku

Čtvrtou vlastností zvuku je jeho informační obsah. Míra rušení zvukem nezávisí jen na fyzikálních parametrech zvuku, ale je ovlivněna i postojem lidí k danému zvuku a jeho zdroji. Uživatelé budov všeobecně více tolerují hluk přicházející do budovy zvenčí ve srovnání s hlukem vznikajícím v budově. Více je tolerován hluk ze zdrojů, které jsou obecně považovány za neutišitelné, a ze zdrojů, u kterých lze obtížně určit konkrétního původce hluku (např. silniční doprava). Naopak se lze setkat se stížnostmi i na hluboce podlimitní hluk působený jinými uživateli budovy.

Menší rozmrzelost způsobí zvuk, o němž je předem známo, že bude trvat jen určitou vymezenou dobu resp. vymezený počet opakování. Při provádění hlučných stavebních prací se vždy vyplatí předem o tom předem uvědomit okolí. Předejde se tak mnohým stížnostem na hluk.

O stupni rozmrzelosti rozhoduje i denní doba. Nejhuře je hluk snášen večer a v noci. Huře působí hluk v létě než v zimě. Horší je snášenlivost hluku v menších než ve větších bytech.

Obtěžování hlukem je tím větší, čím více hluk upoutává naši neúmyslnou pozornost tj. čím je nejen silnější, ale i odlišnější, méně známý a méně očekávaný, čím více se u něj prosazuje nutnost identifikovat a klasifikovat ho v rámci dosavadních zkušeností. Informační hodnota zvuku může být v konkrétních případech i významnější než jeho intenzita, což lze demonstrovat na známé zkušenosti, kdy zvuková kulisa indiferentního zdroje zvuku pomáhá při učení v situacích, kdy se v okolí hovoří.

Vypracovat metodu hodnocení informačního obsahu zvuku použitelnou v praxi se zatím jeví jako neřešitelný úkol. Okolnosti působení zvuku se při hodnocení uplatňují tím způsobem, že jsou stanoveny odlišné limity hluku pro různá prostředí, různou dobu a různé zdroje. Tak existují rozdílné limity pro pracovní prostředí, pro hluk ve venkovním prostoru a uvnitř budov, kde se jiným způsobem hodnotí hluk ze zdrojů umístěných vně a uvnitř budovy. Dalšího členění limitů je dosaženo pomocí korekcí základní limitní hladiny. Tyto korekce jsou stanoveny v závislosti na druhu vykonávané práce, charakteru území, způsobu

využití místností v budově, denní době a pod. Bude praktické zapamatovat si alespoň tři základní limitní hodnoty: $L_{Aeq} = 85, 65$ a 35 dB.

Při hodnocení hluku v pracovním prostředí je důležitý limit:

$$L_{Aeq}=85 \text{ dB}$$

Tato hodnota se vztahuje k časovému intervalu v délce trvání pracovní směny a je-li překročena, pak se jedná o *pracoviště rizikové* z hlediska hluku. Po dlouhodobé (dlouholeté) expozici hlukem na takovém pracovišti může dojít ke vzniku a vývoji trvalé sluchové ztráty. Při uvádění takových pracovišť do provozu musí být věrohodně doloženo, že nelze použít jiné řešení, které by zajistilo dostatečnou ochranu pracovníků před hlukem. Pracovníci na rizikových pracovištích podléhají zvláštnímu režimu, který zahrnuje:

- a) povinné používání osobních ochranných pomůcek proti hluku,
- b) snížení expozice hlukem zařazením tichých přestávek nebo vystřídáním pracovníků na hlučném místě,
- c) pravidelné lékařské prohlídky, při kterých se audiometrickým vyšetřením včas rozpozná vznikající sluchová ztráta, což musí mít za následek přeřazení pracovníka na tiché pracoviště.

Za dodržování režimu na pracovišti rizikovém z hlediska hluku je odpovědný zaměstnavatel a jeho odpovědnost je spojena s povinností vyplácet velké náhrady pracovníkům, dojde-li v důsledku nedodržení tohoto režimu k poškození jejich sluchu. Přes to je poškození sluchu u nás dosud nejčastější nemocí z povolání. Asi od

$$L_{Aeq}=65 \text{ dB}$$

může být rušena komunikace pracovníků řečí. Rušení je však závislé na vzájemné vzdálenosti pracovníků a je nižší při možnosti vizuálního kontaktu (odezírání řeči). V mimopracovním prostředí je důležitá hodnota

$$L_{Aeq}=35 \text{ dB}$$

která se považuje za limitní z hlediska rušení spánku.

Nejvyšší přípustné limity hluku stanoví nařízení vlády č. 502/2000 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.

Tab. 3. Přehled nejvyšších přípustných hodnot hluku podle nařízení vlády č. 502/2000 Sb.

pol.	druh prostředí nebo zdroje	základní hladina [dB]	hodnocená veličina	rozsah korekcí	důvod, příčina korekcí
1.	pracovní prostředí	85	L_{Aeq} za 8 hodin	0 až -45	druh práce nebo činnosti
2.	hluk z venkovních zdrojů ve chráněných místnostech staveb pro bydlení a staveb občanského vybavení	40	L_{Aeq} ve dne za 8 nejhluchnějších hodin, v noci za nejhluchnější hodinu, pro hluk z dopravy za celou denní resp. noční dobu	-15 až + 20	způsob využití místnosti a denní doba
3.	hluk ze zdrojů umístěných v budově ve chráněných místnostech staveb pro bydlení a staveb občanského vybavení	40	L_{Amax}	-15 až + 20	způsob využití místnosti a denní doba
4.	hluk ve venkovním prostoru	50	L_{Aeq} ve dne za 8 nejhluchnějších hodin, v noci za nejhluchnější hodinu, pro hluk z dopravy za celou denní resp. noční dobu	-5 až + 20	způsob využití území a denní doba
5.	hluk z leteckého provozu ve venkovním prostoru	65	L_{Aeq} za celou denní resp. noční dobu	-10 až +5	způsob využití území a denní doba

Tab. 4. Korekce pro stanovení nejvyšších přípustných hodnot hluku v pracovním prostředí (NVč. 502/2000 Sb. ve znění NV č. 88/2004 Sb.)

skupina	druh práce - činnosti		korekce [dB] *)
I.	Duševní práce koncepčního charakteru s převahou tvořivého myšlení	mimořádné nároky	-45
		běžné nároky	-40
II.	Duševní práce velmi náročná a složitá spojená s velkou zodpovědností, soustředěním s převahou reprodukčního typu	mimořádné nároky	-35
		běžné nároky	-30
III.	Duševní práce vyžadující značnou pozornost, soustředěnost, s možností snadného dorozumění řečí	mimořádné nároky	-25
		běžné nároky	-20
IV.	Duševní práce rutinní povahy s trvalým sledováním a kontrolou sluchem, práce vykonávaná na základě dílčích sluchových informací	mimořádné nároky	-15
		běžné nároky	-10 ⁺)
V.	Fyzická práce náročná na přesnost a soustředění nebo vyžadující občasné sledování a kontrolu sluchem		-5 ⁺)
VI.	Fyzická práce bez nároků na duševní soustředění, sledování a kontrolu sluchem a dorozumívání řečí (rozhodující je ochrana sluchu)		0 ⁺)

*) Korekce se přičítají k základní hodnotě $L_{Aeq} = 85$ dB.

+) Je-li hluk způsoben nevýrobním zařízením (např. vzduchotechnikou, topením aj.) nebo proniká-li ze sousedních prostorů, nahrazují se korekce na druh činnosti korekcí -15 dB.

Za *mimořádné nároky* se například považuje dorozumívání cizím jazykem nebo může-li v důsledku selhání dojít k významné škodě nebo k poškození zdraví.

Pro druh činnosti skupiny I. až IV. (duševní práce) lze používat dobu hodnocení kratší než 8 hodin. Jako doba hodnocení se v tomto případě volí doba trvání rušivého zvuku.

Tab. 5. Korekce pro stanovení hodnot hluku ve stavbách pro bydlení a ve stavbách občanského vybavení (NVč. 502/2000 Sb. ve znění NV č. 88/2004 Sb.)

druh chráněné místnosti		korekce [dB] *)
Nemocniční pokoje	6.00 až 22.00	-5
	22.00 až 6.00	-15
Lékařské vyšetřovny, ordinace	po dobu používání	-5
Operační sály	po dobu používání	0
Obytné místnosti včetně kuchyní, hotelové pokoje	6.00 až 22.00	0
	22.00 až 6.00	-10
Přednáškové sítě, učebny a ostatní místnosti škol, předškolních zařízení a školních zařízení, koncertní sítě, kulturní střediska	po dobu používání	+ 10
Čekárny, vestibuly veřejných úřadoven a kulturních zařízení, kavárny, restaurace	po dobu používání	+ 15
Prodejny, sportovní haly	po dobu používání	+ 20

*) Pro zvuky přicházející do budovy zvenčí se korekce přičítají k základní hodnotě $L_{Aeq} = 40$ dB a pro zvuky ze zdrojů umístěných v budově se korekce přičítají k základní hodnotě.

Obsahuje-li hluk výrazné tónové složky nebo má-li výrazný informační charakter, jako například elektroakusticky zesilovaná řeč, přičítá se další korekce - 5 dB.

Při provádění povolených stavebních úprav na základě stavebního povolení nebo ohlášení uvnitř budovy je v pracovních dnech v době od 7 do 21 hodin přípustná korekce + 15 dB k nejvyšší přípustné hladině akustického tlaku A.

Nejvyšší přípustná hodnota L_{Aeq} pro zvuk elektronicky zesilované hudby se stanoví pro hudební produkce při společenské zábavě na hodnoty $L_{Aeq} = 95$ dB a pro koncertní produkce elektronicky zesilované hudby hodnotou $L_{Aeq} = 100$ dB pro prostor uvnitř hlediště maximálně na dobu $T = 4$ hodiny.

Tab. 6. Korekce pro stanovení nejvyšších přípustných hodnot hluku v chráněném venkovním prostoru a v chráněných venkovních prostorech staveb (NVč. 502/2000 Sb. ve znění NV č. 88/2004 Sb.)

způsob využití území	korekce [dB] *)			
	1)	2)	3)	4)
Chráněné venkovní prostory staveb nemocnic a staveb lázní	-5	0	+5	+15
Chráněný venkovní prostor nemocnic a lázní	0	0	+5	+15
Chráněné venkovní prostory ostatních staveb a chráněné ostatní venkovní prostory	0	+5	+10	+20

*) Korekce se přičítají k základní hodnotě $L_{Aeq} = 50$ dB. Korekce uvedené v tabulce se nesčítají.

Pro noční dobu se použije další korekce - 10 dB s výjimkou hluku železnice, kde se použije korekce - 5 dB.

1) Použije se pro hluk provozoven (např. továrny, výroby, dílny, prádelny, stravovací a kulturní zařízení) a z jiných stacionárních zdrojů (např. vzduchotechnické systémy, kompresory, chladicí agregáty). Použije se i pro hluk působený vozidly, která se pohybují na neveřejných komunikacích (pozemní doprava a přeprava v areálech závodů, stavenišť apod.). Dále pro hluk stavebních strojů pohybujících se v místě svého nasazení.

2) Použije se pro hluk z pozemní dopravy na veřejných komunikacích.

3) Použije se v okolí hlavních komunikací, kde hluk z dopravy na těchto komunikacích je převažující, a v ochranném pásmu drah.

4) Použije se pro starou hlukovou zátěž z pozemních komunikací a z drážní dopravy.

Pro vysoce impulsní hluk se připočte další korekce - 12 dB. Obsahuje-li hluk výrazné tónové složky nebo má-li výrazný informační charakter, jako například elektroakusticky zesílovaná řeč, přičítá se další korekce - 5 dB.

Pro provádění povolených staveb je přípustná korekce + 10 dB v době od 7.00 do 21.00 hodin.

Tab. 7. Korekce pro stanovení hodnot hluku z leteckého provozu (NVč. 502/2000 Sb. ve znění NVč. 88/2004 Sb.)

způsob využití území	korekce [dB] ^{*)}
Chráněný venkovní prostor	0
Výrobní zóny bez bydlení ⁺⁾	+ 5

^{*)} Korekce se přičítají k základní hodnotě $L_{Aeq} = 65$ dB

Pro noční dobu se použije další korekce - 10 dB.

⁺⁾ Zóna není způsobilá pro bydlení. V případě existence nebo nutnosti výstavby ojedinělé stavby pro bydlení musí být zajištěna účinná zvukově izolační opatření tak, aby bylo vyhověno limitům podle tabulky 5 při zachování potřebného větrání.

4 ZDROJE ZVUKU V ŽIVOTNÍM A PRACOVNÍM PROSTŘEDÍ - VELIČINY AKUSTICKÉ EMISE

Jako zdroje zvuku se jeví předměty nebo vymezené oblasti prostředí, od kterých se do okolí šíří akustické vlnění. Charakter akustického vlnění v okolí zdroje zvuku je ovlivněn velikostí zdroje. Z tohoto hlediska rozlišujeme:

- 1) bodové zdroje - vlnění se šíří v kulových vlnoplochách
- 2) přímkové zdroje - převažuje jeden rozměr a vlnoplochy mají tvar válce
- 3) plošné zdroje - vlnoplochy jsou rovinné.

Normy definují bodový zdroj zvuku jako takový, jehož rozměry jsou velmi malé ve srovnání s vlnovou délkou vyzařovaného zvuku. Pro praktické úvahy je důležitá i vzdálenost zdrojem a místem příjmu zvuku. Je-li tato vzdálenost větší než 1,5 násobek největšího zdroje zvuku, lze přibližně tento zdroj již považovat za bodový.

Jiná možnost rozdělení zdrojů zvuku je členění na zdroje stacionární a mobilní, zdroje (průmyslové závody, provozovny, hřiště, stadiony, staveniště) jsou-li posuzovány z hlediska jejich hlučnosti přísněji ve srovnání se zdroji mobilními (např. zemědělské stroje). Je to dáno odlišnou reakcí obyvatelstva i možnostmi účinnějších opatření proti hluku u stacionárních zdrojů. Z časového hlediska lze rozlišovat zdroje, které působí trvale, a zdroje působící po časově omezenou dobu. U časově omezených zdrojů zvuku se známým nebo ohlášeným režimem působení (např. 1x za týden v trvání ne více než 4 hodiny ap.) lze usilovat u orgánů státní správy o výjimku z nejvyšších přípustných hodnot. Režim takového zdroje spolu s informací o jeho účelu a nezbytnosti je nutno účinným způsobem zveřejnit.

*) Vyhláška č. 13/1977 Sb. *o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací* platila do konce roku 2000 a ve své základní části (§ 8) nestanovila obecnou povinnost snížit hluk pod stanovené, ale na nejnižší možnou míru. V současně platném nařízení vlády č. 502/2000 Sb. se již tato i neobjevuje, což ale neznamená, že není správná a prospěšná.

Dosud bylo pojednáno o akustických veličinách, které charakterizují zvuk v místě jeho příjmu - o *veličinách akustické imise*. Jsou to:

- 1) L [dB] - hladina akustického tlaku (udávaná většinou v oktávových pásmech)
- 2) L_A [dB] - hladina akustického tlaku A
- 3) L_{Aeq} [dB] - ekvivalentní hladina akustického tlaku A

Veličiny akustické imise mají při hodnocení vlivu hluku na člověka a jeho zdraví a při hodnocení ochrany lidí před hlukem naprostou prioritu a až na výjimky by se jiná kritéria k těmto účelům neměla používat. Chceme-li však hodnotu některé z těchto veličin předpovědět výpočtem, musíme mít k dispozici údaje o zdroji zvuku. Tyto údaje poskytují *veličiny akustické emise*:

- 1) hladina akustického výkonu L_W [dB]
- 2) činitel směrovosti Q [-]

Akustický výkon P [W] je množství akustické energie, kterou zdroj vyzáří do okolního prostoru za jednotku času. Akustický výkon vyjádřený v logaritmické míře se nazývá *hladina akustického výkonu* L_W [dB] někdy také označovaná jako L_P [dB].

$$L_W = 10 \log \frac{P}{P_{ref}} \quad (36)$$

kde $P_{ref} = 10^{-12}$ W je referenční hodnota.

Hladina akustického výkonu různých zdrojů zvuku se přednostně udává v oktávových pásmech nebo jednočíslně jako L_{WA} dB (tj. s uplatněnou korekcí podle váhového filtru zvukoměru - viz kapitolu 3.2). Jednočíslný údaj však nevypovídá nic o kmitočtovém složení vyzařovaného zvuku a může proto pro většinu akustických výpočtů sloužit jen jako velmi hrubá orientace. Stejně tak nedostatečné může být, jestliže jsou údaje o zdroji zvuku vyjádřeny pomocí veličin akustické imise, např. pomocí hodnot hladin akustického tlaku změřených v jeho okolí. Takové údaje mohou být spolehlivé jedině tehdy, jestliže je přesně známo v jakém prostředí, v jaké vzdálenosti od zdroje, za jakých podmínek atd. se měřilo.

Činitel směrovosti Q [-] je bezrozměrné číslo, které charakterizuje směrové vyzařování zvuku zdrojem. Hodnota činitele směrovosti je ovlivněna odraznými plochami vyskytujícími se v blízkosti zdroje zvuku a souvisí s tím, do jak velké části prostoru je zvuk vyzařován. Nejčastěji je zdroj zvuku umístěn na odrazné ploše (terénu). Pak je zvuk vyzařován do poloprostoru a činitel směrovosti se přibližně rovná 2. Obdobně je-li zdroj umístěn u paty rozměrného stavebního objektu, pak je zvuk vyzařován do 1/4 prostoru a $Q = 4$ atd. Jestliže se zvuk šíří od zdroje neomezeně do všech směrů, potom $Q = 1$.

Častými zdroji zvuku v pracovním a životním prostředí jsou různé stroje a technická zařízení budov. Hodnota akustického výkonu těchto zařízení závisí nejen na jejich konstrukčním uspořádání, ale bude se měnit i v závislosti na technickém stavu, seřízení a údržbě. Díky tomu, že k vyjádření velikosti akustických veličin používáme decibelovou stupnici, nebude mít tato variabilita takový vliv na přesnost a věrohodnost akustických úvah a výpočtů, jak by se na první pohled mohlo zdát.

5 ZÁKLADNÍ POZNATKY O ŠÍŘENÍ ZVUKU

Problematiku snižování hluku můžeme rozdělit do tří základních oblastí. První oblast představují problémy, které se vztahují ke zdroji zvuku. Některé z nich byly naznačeny v předchozí kapitole. Druhá oblast se týká cest šíření zvuku od zdroje k příjemci. Třetí oblastí je (vlastní příjemce zvuku - člověk a jeho specifický způsob vnímání a prožívání hlukové situace, jak bylo popsáno v kapitole 3. Cesty šíření zvuku mají podstatný význam pro technická řešení, protože se zde může závažným způsobem omezovat intenzita šířeného zvuku. Obecně platí pravidlo: čím blíže ke zdroji se opatření proti hluku na jeho cestě provádí, tím obvykle bývá účinnější a často i technicky méně náročné a ekonomicky výhodnější.

5.1 Šíření zvuku ve volném prostoru - volné zvukové pole

Při šíření zvuku ve volném prostoru (ve *volném zvukovém poli*) se akustický výkon P rostoucí vzdáleností r [m] od zdroje (s výjimkou zdroje plošného) rozprostírá na stále větší plochu S [m²]. Tím se snižuje intenzita I [W/m²]. Od bodového zdroje se zvuk šíří v kalených vlnoplochách, kde $S = 4\pi r^2$. Odvození výpočtového vztahu (37) spočívá ve vynásobení obou stran příslušné rovnice číslem 10^{12} , v jejím logaritmování a vynásobení deseti. Dále se využije skutečnosti, že referenční akustická intenzita a referenční akustický výkon mají stejnou hodnotu 10^{-12} .

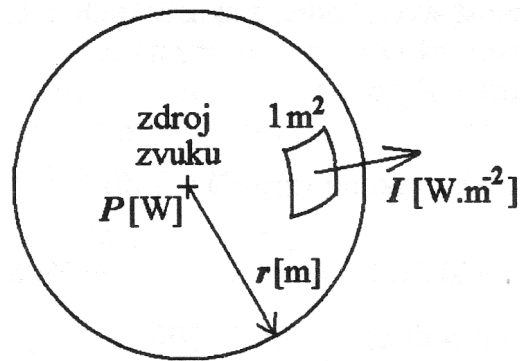
$$I = \frac{P}{S} = \frac{P}{4\pi r^2}$$

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

$$10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{P}{P_0} + 10 \log \frac{1}{4\pi r^2}$$

$$\text{kde } Q = 1$$

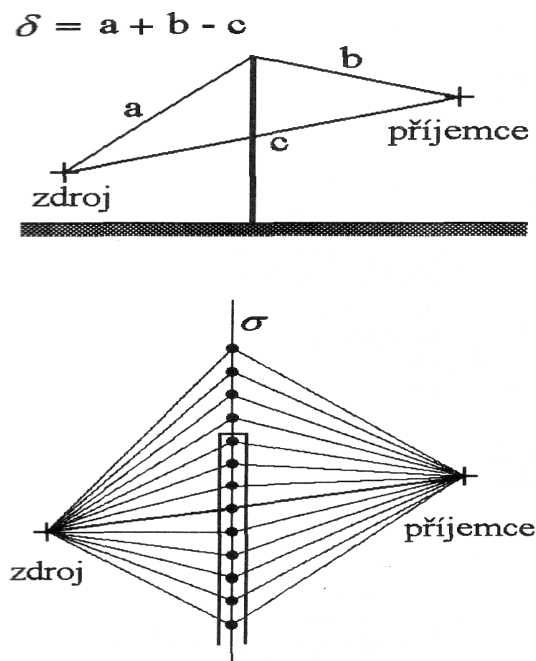
$$L = L_w + 10 \log \frac{Q}{4\pi r^2} \quad (37)$$



Obr. 9. Šíření zvuku ve volném prostoru

5.2 Šíření zvuku ve volném prostoru přes překážku

Za každou překážkou na cestě šíření zvuku, jejíž rozměry převyšují vlnovou délku, se vytváří zvukový stín, ve kterém se sníží hladina akustického tlaku, protože zvukové vlny se do prostoru za překážkou dostávají pouze ohybem.



Obr. 10. Šíření zvuku ve volném prostoru
přez překážku

Útlum D [dB] zvuku závisí na hodnotě *Fresnelova čísla* N [-], které v sobě zahrnuje jednak vliv rozdílu δ [m] mezi dráhou zvuku přes překážku a přímou dráhou zvuku a jednak vliv kmitočtu zvuku resp. jeho vlnové délky λ [m].

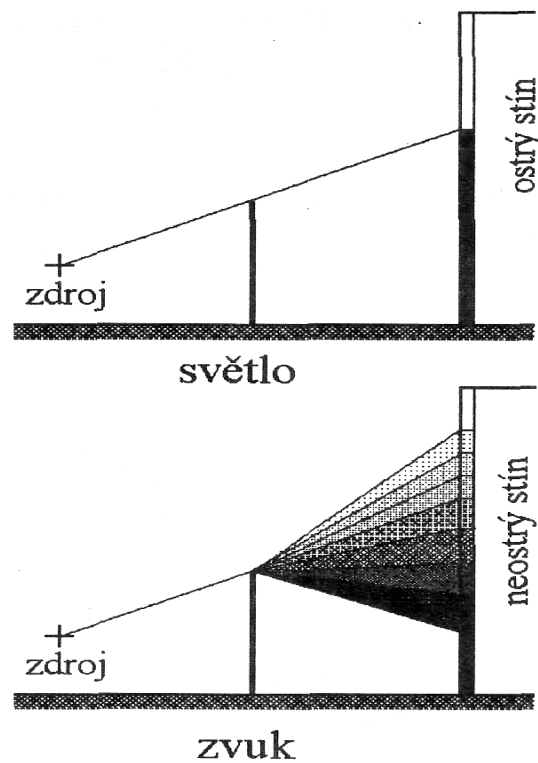
$$N = \frac{2\delta}{\lambda} \quad (38)$$

Analytické vyjádření závislosti útlumu zvuku na Fresnelově čísle by mělo zahrnovat i vliv tvaru překážky, její konečné šířky a vliv okolního terénu před i za překážkou a předpokládá řešení Fresnelo-vých integrálů.

Od bodového zdroje se zvukové vlny šíří všemi směry a postupně zasáhnou všechny body roviny σ . Každý bod této roviny kmitá s jinou fází tak, jak k němu vlnění s různým časovým zpožděním dospělo. Každý z těchto bodů je zároveň elementárním zdrojem vlnění pro příjemce zvuku. Celý soubor elementárních zdrojů zvuku v rovině σ musí mít v místě příjmu stejný účinek, jako původní zdroj. Přes různé body roviny σ přichází vlnění do místa příjmu po jiné dráze a tedy s jiným fázovým zpožděním.

Vlnění přicházející z místa původního zdroje přímou cestou se skládá s vlněním z jiných směrů, přičemž příspěvky od různých elementárních zdrojů v rovině σ přicházejí do místa příjmu v různé míře se shodnou fází nebo ve fázi opačné a způsobují tak buď zesílení nebo zeslabení přímého signálu. Účinek příspěvků od různých elementárních zdrojů roviny σ se tak navzájem ruší a při koincidenci vlnění v místě příjmu dominuje jen přímá cesta zvuku. Tato rovnováha se poruší, postaví-li se do cesty vlnění překážka. Část elementárních zdrojů roviny σ včetně přímé cesty zvuku je vyřazena z provozu a dochází k útlumu zvuku ohybem.

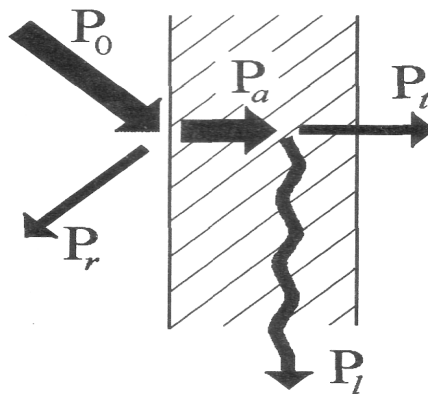
Zajímává srovnání mezi ohybem světla a ohybem zvuku. Vlnová délka světla je $3,8 \cdot 10^{-7}$ až $7,8 \cdot 10^{-7}$ m a hodnota Fresnelova čísla N vychází proto velmi vysoká již při nepatrném rozdílu drah δ (m). U zvuku, jehož vlnová délka při šíření ve vzduchu se pohybuje v rozmezí 0,02 až 20 m, je hodnota Fresnelova čísla N v porovnání se světlem malá a menší je proto i útlum, který překážka způsobuje. Zvukové vlny zejména nízkého kmitočtu se snáze ohýbají přes překážku a zvukový stín je podstatně méně ostrý. Útlum zvuku lze zaznamenat dokonce i v místech se zápornou hodnotou dráhového rozdílu δ (m) a tedy i zápornou hodnotou Fresnelova čísla N tj. v místech, kam světelné vlny dopadají bez omezení, takže zdroj zvuku lze z těchto míst přes překážku pozorovat.



Obr. 11. Srovnání mezi ohybem světla a ohybem zvuku

5.3 Šíření zvuku v uzavřeném prostoru

V uzavřeném prostoru (v místnosti) dochází k odrazu akustické energie od stěn, stropu a podlahy zpět směrem ke zdroji. To má za následek zvýšení hladiny akustického tlaku v porovnání se stavem, který by vznikl ve volném prostoru. Významnou roli zde hraje pohltivost zvuku povrchů, které ohraničují uzavřený prostor.



Obr. 12. Šíření zvuku v uzavřeném prostoru

5.4 Pohlcování zvuku

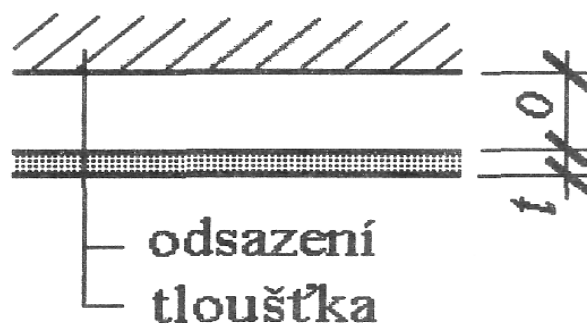
Při dopadu zvuku o akustickém výkonu P_0 [W] na překážku se část tohoto výkonu P_r [W] odrazí a část P_a [W] pohltí. Pohlcený výkon se pak rozdělí na část výkonu P_l [W], která se ztratí (je odvedena konstrukcí mimo sledované místo nebo se promění v jiný druh energie) a na část P_t [W], která projde stěnou a je vyzářena do vedlejšího prostoru. Lze definovat

činitele odrazu $\rho = \frac{P_r}{P_0}$, činitele pohltivosti $\alpha = \frac{P_a}{P_0}$ a činitele prostupu (průzvučnosti)

ti) $\tau = \frac{P_t}{P_0}$. Tito tři činitelé jsou bezrozměrná čísla, která mohou nabývat hodnot od nuly do

jedné.

Zvuková pohltivost A_i [m²] povrchu konstrukce (i-tého povrchu) je dána součinem plochy povrchu S_i [m²] a činitele pohltivosti α_i [-]. Celková zvuková pohltivost místnosti A [m²] je součtem zvukové pohltivosti všech ploch, které tuto místnost ohraničují, případně též zvukové pohltivosti předmětů a osob, které se v místnosti nacházejí. Je nutno poznamenat, že činitel pohltivosti α [-] a tudíž i pohltivost A [m²] jsou veličiny závislé na kmitočtu zvuku, a proto všechny jevy související se zvukovou pohltivostí je nutno sledovat a počítat v jednotlivých kmitočtových pásmech obvykle oktávových.



Obr. 13. Odsazení materiálu a jeho tloušťka

Pohltivost zvuku nezávisí jen na materiálu a jeho tloušťce, ale i na odsazení (tloušťce vzduchové mezery) od tvrdého povrchu stropu nebo stěny.

Tab. 8. Hodnoty činitele pohltivosti zvuku α [-] vybraných povrchů a konstrukcí

konstrukce (tloušťka [mm] / odsazení [mm])	kmitočty/[Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
Beton hutný	0,010	0,016	0,019	0,023	0,035	0,05
Beton vylehčený	0,20	0,22	0,23	0,25	0,21	0,26
Beton s olejovým nátěrem	0,01	0,014	0,016	0,017	0,018	0,02
Čalouněné křeslo zvuková pohltivost v m ² najeden kus	0,15	0,20	0,20	0,25	0,30	0,30
Čalouněné křeslo obsazené zvuková pohltivost v m ² najeden kus	0,25	0,30	0,40	0,45	0,45	0,40
Dřevěné křeslo zvuková pohltivost v m ² najeden kus	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05
Dřevěné křeslo obsazené zvuková pohltivost v m ² najeden kus	0,20	0,25	0,30	0,35	0,35	0,35
Dřevotřísková deska (20/50 až 150)	0,30	0,25	0,10	0,08	0,05	0,04
Dřevotřísková deska (odsazení = 0 mm)	0,08	0,08	0,09	0,10	0,10	0,10
Dřevovláknitá měkká deska (15/0)	0,10	0,15	0,55	0,52	0,50	0,45
Deska z pěnového polystyrénu (18 až 32/0)	0,02	0,02	0,03	0,08	0,14	0,29
Koberec bouclé (5/0)	0,08	0,10	0,10	0,21	0,43	0,78
Koberec kokosový (6/0)	0,17	0,06	0,11	0,19	0,37	0,80
Koberec plyšový (10/0)	0,13	0,11	0,15	0,30	0,63	0,90
Linoleum (-/0)	0,02	0,025	0,03	0,035	0,04	0,04
Okenní otvor zasklený	0,30	0,20	0,15	0,10	0,06	0,04
Omítka malovaná hlinkou (-/0)	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
Omítka s olejovým nátěrem (-/0)	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Otvor jeviště s dekoracemi	0,20	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Publikum v hledišti (plocha obsazená publikem)	0,41	0,48	0,54	0,57	0,56	0,53
Překližka laťová (18/70)	0,27	0,08	0,11	0,09	0,09	0,20
Sádrokartonová deska (9,5/100)	0,11	0,13	0,05	0,02	0,02	0,03
Vlasy dřevěné (-/0)	0,03	0,04	0,06	0,12	0,10	0,17
Vodní hladina	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Zdivo cihelné režné (-/0)	0,024	0,025	0,032	0,042	0,049	0,07

6 KONSTRUKCE NA POHLCOVÁNÍ ZVUKU

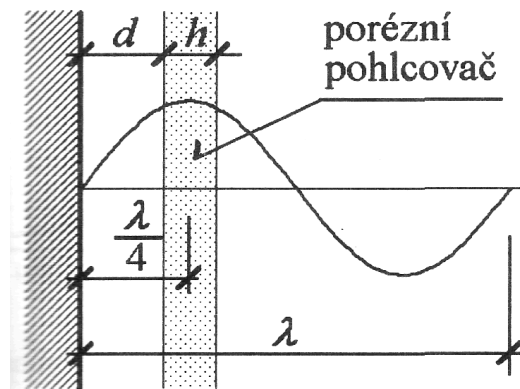
Činitelé pohltivosti α [-] některých běžných povrchů jsou pro střední kmitočty oktávových pásem 125 až 4000 Hz uvedeny v (Tab. 8) Účelové pohlcovače jsou konstrukce, kterými se formou obkladu zvyšuje činitel pohltivosti stropu nebo stěn místnosti, což má za následek nejen snížení hladiny akustického tlaku v poli odražených vln, ale i změnu dalších důležitých akustických vlastností místnosti v důsledku zvýšení její celkové zvukové pohltivosti. Dnes je k dispozici poměrně široká nabídka těchto úprav poskytovaná tuzemskými i zahraničními firmami. Při jejich výběru je třeba zvážit i jiná než akustická hlediska, zejména hlediska provozní, estetická, požární, hlediska zdravotní nezávadnosti a hlediska ekonomická.

Podle konstrukčního uspořádání a principu jejich funkce lze účelové pohlcovače dělit na:

- 1) porézní pohlcovače
- 2) kmitající membrány a desky
- 3) dutinové rezonátory
- 4) kombinované pohlcovače

6.1 Obklady z pórovitých materiálů

Jedná se o materiály vysoké pórovitosti, jejichž kostru tvoří vlákna nebo ztuhlá pěna. Póry musí být navzájem propojené a otevřené do volného prostoru. Používají se zejména rohože a desky z minerálních nebo organických vláken. Materiály typu pěnový polystyrén nejsou pro tyto účely vhodné pro uzavřenost jejich pórů. Póry se také nesmí uzavřít nevhodnou povrchovou úpravou (např. olejovým nátěrem).



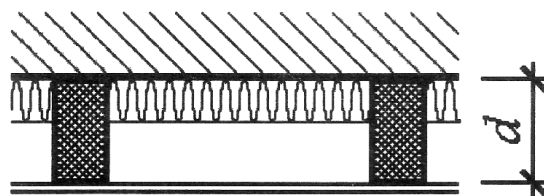
Obr. 14. Porézní pohlcovač

Naopak přípustné je zakrýt porézní pohlcovač tkaninou, sítí nebo deskovým materiálem s otvory (např. děrovaný plech) s procentem děrované plochy 25 % a více. Porézní pohlcovače jsou nejvíce účinné, jsou-li přítomny ve vzdálenosti alespoň $\frac{1}{4}$ vlnové délky zvuku od tvrdého povrchu stropu nebo stěny. Pohlcují proto převážně ve vysokých kmitočtech, kde vlnová délka je malá.

Pohlcující vlastnosti porézního obkladu je možno regulovat jeho tloušťkou h [m] případně odsazením d [m] desky pórovitého materiálu od obkládaného povrchu stropu nebo stěny.

6.2 Kmitající membrány a desky

Kmitající membrána je tenká deska nebo fólie připevněná na dřevěný nebo kovový rošt, který určuje tloušťku d [m] vzduchové dutiny mezi pevným povrchem a membránou. K výrobě membrán se používá například koženka nebo novodurová, polyetylenová aj. fólie. Takováto konstrukce pohlcuje zvuk v relativně úzkém pásmu zpravidla nízkých kmitočtů v okolí *rezonančního kmitočtu* f_r [Hz], který je ovlivněn plošnou hmotností m' [kg.m⁻²] membrány a tloušťkou vzduchové mezery d [m].



Obr. 15. Kmitající membrány a desky –
tloušťka vzduchové mezery

6.3 Kombinované pohlcovače

Mezi *kombinované pohlcovače* řadíme vícenásobné rezonanční soustavy tvořené několika rezonančními prvky řazenými za sebou a akustická tělesa, což jsou prostorové útvary vyrobené většinou z pórovitého materiálu krytého pletivem nebo tkaninou a mající tvar jednoduchých geometrických těles. Tyto předměty se zavěšují pod stropní konstrukci. Kombinované pohlcovače poskytují nejlepší efekt tj. nejvyšší hodnoty činitele pohltivosti α [-] v rozsahu co možná nejširšího pásma kmitočtů.

7 ZÁKLADY AKUSTIKY STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ

Akustika stavebních konstrukcí se zabývá studiem a aplikací poznatků o šíření zvuku z hlediska zvukové izolace, tj. z hlediska ochrany vnitřního prostředí budov před cizím hlukem. Z tohoto pohledu sleduje zejména akustické vlastnosti stavebních materiálů a konstrukcí.

7.1 Zvuk v budovách

Z hlediska hodnocení podle [7] je nutno rozlišit hluk ze zdrojů mimo budovu (venkovní hluk) a hluk ze zdrojů uvnitř budovy - viz kapitolu 3.3. Ochrana proti venkovnímu hluku metodami akustiky stavebních konstrukcí se prakticky shoduje s tím, co jsme v urbanistické akustice nazývali pasivní ochranou. Spočívá ve zvyšování zvukově izolačních vlastností obvodového pláště budov, zejména oken jako jeho nejslabšího prvku.

Zvuk vznikající uvnitř budovy lze dělit dvojitým způsobem:

- | | |
|---------------------------|-------------------------|
| 1) zvuk šířený vzduchem | a) definovatelný zvuk |
| 2) zvuk šířený konstrukcí | b) nedefinovatelný zvuk |

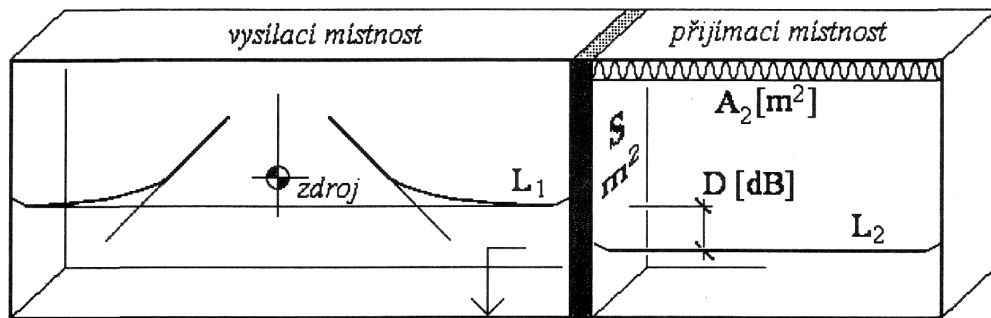
7.2 Zvuk šířený vzduchem (airborne noise)

Příkladem zvuku, který se v budově šíří vzduchem, je hlasitý hovor osob, reprodukováná hudba, hra na hudební nástroje ap. Vytvoří se pole přímých a pole odražených vln. Při průchodu zvuku dělicí konstrukcí (příčkou, stropem) do sousední místnosti se jeho intenzita sníží. Označí-li se hladina akustického tlaku v poli odražených vln v místnosti zdroje (*vysílací místnosti*) L_1 [dB] a hladina akustického tlaku v *sousední přijímací místnosti* L_2 [dB], pak na rozdíl hladin $D = L_1 - L_2$ [dB] budou mít rozhodující vliv zvukově izolační vlastnosti dělicí konstrukce charakterizované *činitelem průzvučnosti* τ [-], ale uplatní se též plocha S [m²] dělicí konstrukce a celková pohltivost A_2 [m²] přijímací místnosti. Při hodnocení izolace proti zvuku, který se šíří vzduchem, se používá veličina *neprůzvučnost* R [dB].

$$R = 10 \log \frac{1}{\tau} \quad (39)$$

Pomocí této veličiny lze stanovit hladinu akustického tlaku v přijímací místnosti. Výpočet je však nutno provádět v kmitočtových pásmech, protože neprůzvučnost je závislá na kmitočtu.

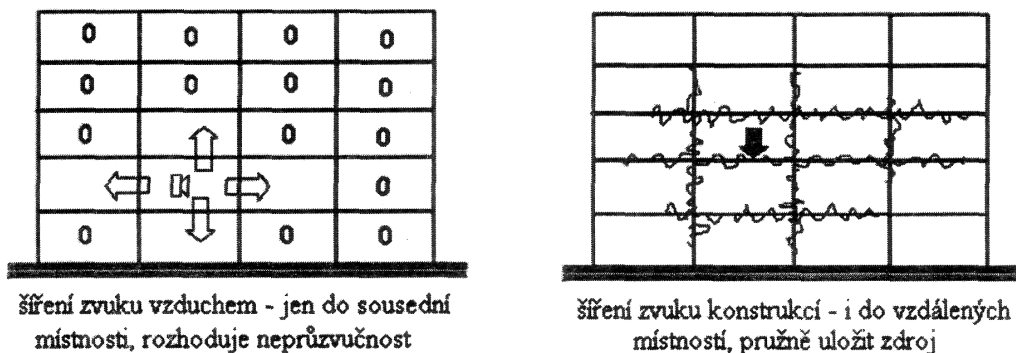
$$L_2 = L_1 - R + 10 \log \left(\frac{S}{A_2} \right) \quad (40)$$



Obr. 16. Zvuk šířitelný vzduchem – vysílací a přijímací místnost

7.3 Zvuk šířený konstrukcí (structure borne noise)

Vibracemi se označuje pohyb pružného tělesa nebo prostředí, jehož jednotlivé částice mechanicky kmitají. Na rozdíl od zvuku, který se šíří vzduchem jsou vibrace přenášeny na člověka především z pevných konstrukcí. Chvěním se označují vibrace, při kterých částice kmitají v rozsahu slyšitelných kmitočtů tj. 16 až 16000 Hz. Chvějící se pevné konstrukce způsobují i chvění vzduchu ve svém okolí a stávají se tak zdrojem zvuku.



Obr. 17. Ššíření zvuku vzduchem a konstrukcí

V porovnání se zvukem šířeným vzduchem se při šíření zvuku konstrukcí jedná o zcela jinou mechaniku vzniku a šíření zvuku v budově. Zdrojem může být např. výtahový stroj. Chvění stroje se přenáší jeho kotvením do podlahy a je nosnou konstrukcí stropu a dále i svislými konstrukcemi šířeno po budově. Zdrojem zvuku v chráněných místnostech jsou pak ve smyslu vyzařování zvukových vln do vzduchu až chvějící se stavební konstrukce. Tento zdroj je tím vydatnější, čím jsou dynamické budicí síly stroje větší, čím nižší je přenosový útlum chvění od místa buzení k místu vyzařování do chráněné místnosti a zejména čím větší je plocha konstrukcí vyzařujících zvuk. Omezování zvuku šířeného konstrukcí proto představuje vždy omezování šíření chvění zejména do rozměrných stavebních konstrukcí budovy. [2]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

8 CHARAKTERISTIKA VYBRANÝCH MATERIÁLŮ POUŽÍVANÝCH VE STAVEBNICTVÍ

8.1 Minerální vlna

8.1.1 Výroba minerální vlny

Minerální vlna vzniká tavením čediče v kupolové peci při teplotě nad 1500°C. Vznikne láva, která se při vytékání na rotující válce změní odstředivou silou na malé kapky, které odlétávají do usazovací komory. Kapky lávy se vlivem velké rychlosti natáhnou a tím vznikne jemné vlákno - základ izolace. Do tohoto vlákna se vstříkuje pojivo, vodoodpudivé přísady (hydrofobizační olej), protiplísňové a další přísady. Vlákno se rovnoměrně usadí na pás a pokračuje do vytvrzovací pece, kde se spolu s pojivem a všemi přísadami teplem vytvrzuje. Z vytvrzovací pece vychází pás minerální vlny přes přítlačné zařízení, které spolu s rychlostí posuvu pásu a intenzitou přísunu vláken zajišťuje požadovanou objemovou hmotnost a tloušťku konkrétního výrobku. Přes chladicí komoru se nekonečný pás minerální vlny dostává k diamantové pile, která má naprogramovány požadované rozměry konkrétního výrobku. Nařezané výrobky jdou buď jako polotovary na speciální linku pro speciální výrobky (potrubní pouzdra, kaširované desky, lamelové rohože apod.)

8.1.2 Charakteristika

Izolační desky vyrobené z minerální plsti. Výroba je založena na metodě rozvlákňování taveniny směsi hornin a dalších příměsí a přísad. Vytvořená minerální vlákna se v rámci výrobní linky zpracují do finálního tvaru desek. Vlákna jsou po celé délce hydrofobizována. Desky je nutné v konstrukci chránit vhodným způsobem (separační PE fólie).

8.1.3 Akustické vlastnosti

Koeficienty zvukové pohltivosti při různých frekvencích (viz. Tab. 9).

Tab. 9. Akustické vlastnosti minerální vlny [12]

Součinitel zvukové pohltivosti α pro kolmý dopad vln	Frekvence		Hz	125	250	5050	50500	2000	4000
	Tloušťka	25	mm	0,05	0,23	0,43	0,78	0,87	0,85
40		mm	0,08	0,15	0,35	0,69	0,94	0,91	
60		mm	0,13	0,29	0,68	0,95	0,97	0,99	
120		mm	0,36	0,73	0,97	0,94	0,99	0,99	
160		mm	0,54	0,88	0,91	0,93	0,98	0,99	
Střední činitel zvukové pohltivosti v pásmu 250 – 4000 Hz $\alpha_{stř}$	Tloušťka	60	mm	0,63					
		80	mm	0,80					
		100	mm	0,94					
		120	mm	0,94					

8.2 Sádrokarton

8.2.1 Výroba

Hlavní surovinou při výrobě sádrokartonu je sádra, která se získává ze sádrovce. Ten se rozdělí na dvě části, kdy se první část pomocí kalcinace vaří tak dlouho, než se z ní odpaří voda. Druhá část se vysušuje a pak se tato suchá směs smíchá se sádrou a vodou a vzniká suspenze, která se na výrobním pásu rovnoměrně rozprostírá na odvíjející papír

Pevnost papíru, který se pro výrobu používá, určuje z cca 85% pevnost sádrokartonové desky.

Vysoce pevný papírový karton se zahnutím okrajů směrem nahoru a přilepením dalšího (rubového) papíru formuje do tvaru nekonečného pásu desky. Nařezané desky se poté vysušují.

8.2.2 Charakteristika

Sádrokartonová deska je vyráběna ze štukové sádry a přídavných látek do sádrových zrněk a z vysoce kvalitního kartonu. Je rychlým a snadným řešením dělení jakéhokoliv prostoru v místnosti.

8.2.3 Akustické vlastnosti sádrokartonu

Použitím sádrokartonových technologií lze zabezpečit velký rozsah hodnot R_{wr} . U příček je to od 45 dB do 65 dB. Toho lze dosáhnout vhodnou skladbou použitých materiálů. Jednak počtem vrstev a tloušťkou sádrokartonových desek. [13]-[15]

8.3 Sádrovláknité desky

8.3.1 Výroba

Vytřídněný papír se zpracuje v mlýnech na celulósová vlákna, která se za sucha smíchají se sádrou v poměru 20 % papíru a 80 % sádry.

Vlákna ve směsi vytvářejí pevnou vazbu, obdobně jako u železobetonu armovací pruty. Tímto jednoduchým způsobem se sádra zpevní, a to nejen na povrchu, ale v celém svém průřezu. Materiál je tak tvrdší, má vyšší objemovou hmotnost, vyšší požární odolnost a lepší akustické parametry - to vše bez dalších chemických přísad.

Proces výroby sádrovláknitých desek pokračuje po promíchání sádry a papírových vláken nanášením této suché směsi na výrobní pás za kontinuálního provlhčování. Lisováním směsi za tlaku 600 atm a následným vysušením v sušicích boxech při 200 °C, následuje impregnace prováděná další přírodní surovinou - bramborovým škrobem. Výroba končí oříznutím na potřebné formáty.

8.3.2 Akustické vlastnosti

Rozhodující pro správnou volbu děrovaných desek jsou vedle celkového architektonického vzhledu také jejich akustické vlastnosti. Zvuková pohltivost je ovlivňována podílem děrování desek, velikostí a tvarem otvorů, akusticky účinnou textilií (vlies) na rubu desky a výškou svěšené podhledu. Povrch desek je možno natírat bez ovlivnění akustických vlast-

ností. Barvy však nesmí být stříkány, aby nedošlo ke znehodnocení akusticky účinné textilie.

Základní vlivy na zvukovou pohltivost akustických podhledů:

- Podíl otvorů - velký podíl plochy otvorů zlepšuje zvukově pohltivé vlastnosti ve vysokých frekvencích.
- Velikost otvorů - při stejném podílu otvorů má deska s větším množstvím malých otvorů ve vyšších frekvencích lepší pohltivost.
- Akusticky účinná textilie (vlies) - perforované desky jsou z rubové strany opatřeny akusticky účinnou textilií (vlies). Tato úprava zvyšuje zvukově pohltivé vlastnosti materiálu.
- Výška svěšení - akustická účinnost perforovaných podhledů je závislá i na výšce svěšení podhledu. Změnou výšky svěšení lze "ladit" zvukovou pohltivost v různých oblastech frekvencí. [16] a [17]

8.4 Pěnový polystyren EPS

8.4.1 Výroba

Základní surovinou je zpěňovatelný polystyren ve formě perlí, obsahujících zpravidla 6–7 % pentanu jako nadouvadla. Tyto perle se vyrábějí suspenzní polymerací monomeru styrenu a jsou dodávány výrobcům pěnového polystyrenu v několika velikostních skupinách od 0,3 do 2,8 mm v závislosti na konkrétní aplikaci.

Vstupní surovinou pro výrobu pěnového polystyrenu jsou asi milimetr velké bílé kuličky polystyrenu. Pro další zpracování se rozhoduje, jak moc mají kuličky nabobtnat, aby splňovaly požadavky finálního výrobku. Tyto kuličky se umístí do násypky šnekového dopravníku, odkud putují do tzv. předpěňovacího zařízení, což je asi 5 metrů vysoký uzavřený válec. Zde na ně začíná působit vodní pára. Kuličky vlivem horka měknou, a protože obsahují nadouvadlo, začínají pomalu růst. Každá kulička výrazně zvětší svůj objem, a to dvacetkrát až padesátkrát.

Teplota páry a doba jejího působení ovlivňují konečné vlastnosti pěnového polystyrenu. Předpěněné kuličky dále putují do fluidního lože, kde se musí prosušit, aby získaly větší pevnost. Zabrání se tak jejich možnému mechanickému poškození při dalším transportu. Nakonec se polystyrenové kuličky – perle – dlouhým potrubím dopraví z fluidního lože do vysokých sil.

Polystyrenové desky se vyrábí tak, že perle ze sil putují potrubím do obrovské kovové blokové formy. Pak se tato forma uzavře a parními tryskami ve stěnách se opět vpustí sytá vodní pára. Doposud velikostně stabilní perle již podruhé měknou a opět začínají růst. Uzavřený prostor formy jim dovolí vytvořit kompaktní blok navařením jednotlivých drobných kuliček vzájemně na sebe a vznikne polystyrenový kvádr, který se následně nechá vychladit.

Pomocí teplého řezacího drátu se kvádr systematicky naporcuje na hladké desky s přesnými rozměry.

8.4.2 Charakteristika

Svojí pevností v tlaku, v tahu a ve smyku při minimální hmotnosti patří EPS k nejvýkonnějším materiálům. Pevnost EPS je využita mnoha způsoby:

Pevnost v tlaku – běžné desky vykazují pevnosti v rozmezí 70–200 kPa při 10% deformaci (tj. 7–20 tis. kg/m²) a je možno je navrhovat také pro vysoce zatížené konstrukce (terasy, průmyslové podlahy).

Pevnost v tahu – pevnosti v tahu, která je běžně přes 100 kPa, se využívá především u fasádních systémů. Díky takto vysokým hodnotám se nemusí používat zesílené speciální kotvení jako u některých jiných méně pevných materiálů.

Pevnost ve smyku – tato vlastnost nabývá na důležitosti především se vzrůstající tloušťkou izolace. U lepených izolačních desek tloušťky nad 100 mm, které nemají dobrou smykovou pevnost, po čase dochází k mírnému posunu omítkových vrstev směrem dolů, což má za

následek vznik vln a nerovností na fasádě. Z pěnového polystyrenu je možné spolehlivě provádět izolace tloušťky přes 200 mm.

Pěnový polystyren lze kombinovat téměř se všemi běžnými stavebními materiály, jako je sádra, dřevo, cement, beton nebo asfalt. Výrobky z EPS nejsou odolné vůči organickým rozpouštědlům.

ESP je vynikajícím materiálem co do jednoduchosti tvarování. Tvarovky, přířezy a obaly z pěnového polystyrenu se hojně používají v různých odvětvích průmyslu od stavebního či elektrotechnického až po potravinářský.

8.4.3 Akustické vlastnosti

Pro konstrukce s vysokými požadavky na útlum zvuku byl vyvinut tzv. Elastifikovaný polystyren s velmi nízkou dynamickou tuhostí. Např. plastifikovaný polystyren, určený pro kročejovou izolaci podlah, dokáže v konstrukci těžké plovoucí podlahy zajistit snížení hladiny kročejového zvuku o vynikajících 30–35 dB. [18] – [20]

8.5 Vlna z celulóзовých vláken z recyklovaného papíru impregnovaná boraxem a kyselinou boritou

8.5.1 Charakteristika

Tepelně a akusticky izolační vlna z celulóзовých vláken odolná ohni, plísním a škůdcům vyráběná v kanadské licenci z novinového papíru americkou bezodpadovou technologií. Volně nafoukaná vrstva tl. 120 mm vyhoví ČSN 73 0540 - 2. Stříkaná s vodou nebo pojivem vhodná i pro odvětrávané pláště budov. Odpuzuje hlodavce a hmyz.

8.5.2 Akustické vlastnosti

Koeficienty zvukové pohltivosti při různých frekvencích (viz. Tab. 10).

Tab. 10. Akustické vlastnosti vlny z celulóзовých vláken [21]

kmítočet (Hz)	Souč. zvuk. pohltivosti α (tl. izol. 50 mm)	Souč. zvuk. pohltivosti α (tl. izol. 100 mm)
250	0,45	0,67
500	0,71	0,87
2000	0,57	0,83

8.6 Nástřiková hmota na bázi celulózy a ohnivzdorných materiálů

Skládá se z 85% celulózy a z 15% nenavlhajících ohnivzdorných materiálů.

Rozptýlená vláknitá struktura papíru propůjčuje tomuto druhu materiálu výborné vlastnosti akustické i tepelné izolace. Ochrana staveb při požáru je zaručena protipožárními látkami.

8.6.1 Akustické vlastnosti

Koeficienty zvukové pohltivosti při různých frekvencích (viz. Tab. 11).

Tab. 11. Akustické vlast. nástřikové hmoty na bázi celulózy a ohnivzdorných materiálů [22]

kmitočet (Hz)	Souč. zvuk. pohltivosti α (tl. izol. 50 mm)	Souč. zvuk. pohltivosti α (tl. izol. 100 mm)
250	0,55	0,73
500	0,78	0,89
2000	0,67	0,85

9 STANOVENÍ KOEFICIENTU ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI

Pro měření koeficientu zvukové pohltivosti byly vybrány následující stavební materiály:

- Sádrokarton
- Extrudovaný polystyren
- Minerální vlna

Jednotlivé vzorky byly připraveny pomocí ocelových vysekávacích nožů o průměrech 30 a 100 mm. Pro každý stavební materiál bylo vyrobeno 10 vzorků, v následujícím textu jsou uváděny průměrné hodnoty jednotlivých měření.

9.1 Příprava vzorků - rozměrová analýza

Tab. 12. Rozměry vzorků pro velkou trubici – 100 mm

Materiál	Tloušťka vzorku (mm)	Průměr vzorku (mm)	Hustota vzorku (kg · m ⁻³)
Sádrokarton	9,54 ±0,05	99,86 ±0,09	764,7
Extrudovaný polystyren (7)	7,00 ±0,04	98,52 ±0,25	17,05
Extrudovaný polystyren (30)	29,23 ±0,05	98,56 ±0,22	12,02
Extrudovaný polystyren (60)	59,51 ±0,06	99,46 ±0,13	12,69
Minerální vlna	39,76 ±0,12	99,69 ±0,08	10,41

Tab. 13. Rozměry vzorků pro malou trubici – 30 mm

Materiál	Tloušťka vzorku (mm)	Průměr vzorku (mm)	Hustota vzorku (kg · m ⁻³)
Sádrokarton	9,57 ±0,10	29,51 ±0,06	764,7
Extrudovaný polystyren (10)	6,89 ±0,06	29,13 ±0,14	17,05
Extrudovaný polystyren (30)	29,58 ±0,14	29,43 ±0,11	12,02
Extrudovaný polystyren (60)	59,54 ±0,05	29,46 ±0,12	12,69
Kamenná vata	39,79 ±0,09	29,28 ±0,13	10,41

9.2 Měření a vyhodnocení koeficientu zvukové pohltivosti vybraných stavebních materiálů a jejich kombinací

9.2.1 Měřicí zařízení

Měření probíhalo na zařízení společnosti Brüel&Kjaer – dvoumikrofonová impedanční Kundtova trubice Brüel & Kjaer typ 4206, která se používá ke zjišťování koeficientu zvukové pohltivosti pro malé vzorky. Skládá se ze dvou trubic o průměru 100 a 30 mm umožňující měření ve frekvenčním rozsahu od 16 Hz do 1.6 kHz pro velkou trubici (100 mm) a od 50 Hz do 6.3 kHz pro malou trubici (30 mm). Pro samotnou analýzu využívá dvoukanálový signální analyzátor Brüel & Kjaer typ 2034 a aplikační software BZ5050 zabezpečující jednoduchou obsluhu prostřednictvím PC.

Výsledkem měření je textový soubor obsahující údaje o závislosti koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci.



Obr. 18. Zařízení Brüel & Kjaer typ 4206

9.2.2 Návod na obsluhu Brüel & Kjaer trubice s obslužným programem BZ 5050

- Na počítači vejít do složky: E:\BZ 5050
- Spustit program: VELKATR.BAT (pro velkou trubicí – 100 mm) , MALATR.BAT (pro malou trubicí – 30 mm)
- V programu spustit: SET-UP
- V SET-UP zvolit: LARGE TUBE STANDART (pro velkou trubicí – 100 mm), SMALL TUBE STANDART (pro malou trubicí – 30 mm)
- V programu spustit: F3 - CALIBRATION
- Na trubicí vložit mikrofon A do otvoru 3, mikrofon B do otvoru 2
- Do trubice vložit standartní kalibrační vzorek
- V SET-UP zvolit:
pro velkou trubicí - LINEAR,
Na trubicí přepnout přepínač na: LINEAR
pro malou trubicí – HIGH-PASS
Na trubicí přepnout přepínač na: HIGH-PASS
- V SET-UP zvolit: POCET PRUMERU 50
- V programu spustit: F4 - měření
- Na trubicí vložit mikrofon A do otvoru 2, mikrofon B do otvoru 3
- V programu spustit: F4 - měření
- V programu uložit kalibraci
- Do trubice vložit vzorek
- V programu spustit: F4 - měření (v rozsahu 16-1600Hz - pro velkou, 50 – 6300 Hz – pro malou)
- V programu uložit měření
- V programu spustit: PRINT
- V PRINT zvolit: SELECTED BUFFERS
- V SELECTED BUFFERS zvolit:měření, které chceme uložit
- V SELECTED BUFFERS změnit výstup na ASCII
- vytisknout jako ASCII FILE (měření se uloží na HDD PC v souboru typu *.prn zpracovatelném dále v MS Excel)

Na zařízení Brüel & Kjaer typ 4206 (obr. 21) byly stanoveny činitele zvukové pohltivosti.

9.2.3 Vyhodnocení měření koeficientu zvukové pohltivosti vybraných stavebních materiálů

Měřené závislosti koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci jednotlivých stavebních materiálů jsou zobrazeny v příloze (viz. příloha P I - P XIV).

Pro vyhodnocení tlumících vlastností vybraných materiálů je ze závislosti koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci uvažována oblast od 100 Hz do 6300 Hz.

Ze závislosti koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro sádrokarton (viz. příloha P I a P II) lze vyhodnotit, že tento stavební materiál dosahuje největšího útlumu $\alpha = 0,42$ při frekvenci 2500 Hz.

Minerální vlna (viz. příloha P III a P IV) dosahuje lepších hodnot koeficientu zvukové pohltivosti, přičemž nejvyšší tohoto koeficientu $\alpha = 0,86$ byla naměřena při frekvenci 2500 Hz. U extrudovaného polystyrenu absorpce zvuku závisí také na tloušťce vzorku.

Extrudovaný polystyren tloušťky 7 mm (viz. příloha P V a P VI) dosahoval nejvyšší hodnoty koeficientu zvukové pohltivosti $\alpha = 0,29$ při frekvenci 6300 Hz. Polystyren o tloušťce 30 mm (viz. příloha P VII a P VIII) dosahoval maximální hodnoty koeficientu $\alpha = 0,37$ při frekvenci 6300 Hz. Polystyren o tloušťce 60 mm (viz. příloha P IX a P X) dosahoval největší hodnoty koeficientu $\alpha = 0,53$ při frekvenci 6300 Hz.

Měření probíhalo při teplotě okolí $t = 23^\circ\text{C}$.

Ze získaných měření lze vyhodnotit, že z použitých materiálů je materiálem s nejlepšími akustickými vlastnostmi minerální vlna, kdy koeficient zvukové pohltivosti nabýval při středních a vyšších frekvencích větších hodnot než u ostatních měřených materiálů.

Koeficient zvukové pohltivosti sádrokartonu nedosahuje tak vysokých hodnot, ale pro svoje mechanické vlastnosti představuje při konstrukci stavebních příček ve velké míře krycí vrstvu.

U extrudovaného polystyrenu je z měření koeficientu zvukové pohltivosti patrné, že hodnota tohoto koeficientu závisí na tloušťce materiálu. S rostoucí tloušťkou koeficient zvukové pohltivosti roste. Z naměřených charakteristik lze tento materiál vyhodnotit jako materiál ne zcela vhodný pro odhlučnění, ale pro jeho tepelné vlastnosti a užitné vlastnosti (nízká měrná hmotnost, zpracovatelnost, atd.) je pro aplikace ve stavebnictví poměrně široce používán.

9.2.4 Vyhodnocení měření koeficientu zvukové pohltivosti kombinací stavebních materiálů

Na základě výše uvedených výsledků koeficientu zvukové pohltivosti pro vybrané stavební materiály byly navrženy kombinace tak, aby splňovaly jak požadované akustické tak i mechanické vlastnosti stavebních konstrukcí.

Byla navržena kombinace:

- minerální vlna + sádrokarton
- extrudovaný polystyren (tl. 60 mm) + sádrokarton.

Ze závislosti koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro kombinaci extrudovaný polystyren + sádrokarton (viz. příloha P XIII a P XIV) lze vyhodnotit, že tato kombinace stavebních materiálů dosahovala největšího útlumu $\alpha = 0,45$ při frekvenci 6300 Hz.

Pro kombinaci minerální vlna + sádrokarton (viz. příloha P XI a P XII) byl vyhodnocen nejvyšší koeficient zvukové pohltivosti $\alpha = 0,65$ při frekvenci 6300 Hz.

Z těchto výsledků lze konstatovat, že pro akustickou izolaci je vhodnější kombinace minerální vlna a sádrokarton.

ZÁVĚR

Tato práce se zabývá akustickými vlastnostmi vybraných stavebních materiálů.

V teoretické části byla zpracována problematika základních akustických veličin, problematika šířením zvuku ve volném prostoru a základy akustiky stavebních konstrukcí.

Praktická část se dělí na dvě části. V první části byly zpracovány současné poznatky o vybraných stavebních materiálech – minerální vlny, sádrokartonu a extrudovaného polystyrenu – se zaměřením na výrobu, charakteristiku a akustické vlastnosti těchto materiálů.

V druhé části byly experimentálně stanoveny hodnoty koeficientu zvukové pohltivosti při frekvenci 100 – 6300 Hz pro výše uvedené materiály a byla vyhodnocena vhodnost pro aplikace ve stavebnictví. Jako materiál s nejlepšími akustickými vlastnostmi byla vyhodnocena minerální vlna.

Dále byly experimentálně stanoveny hodnoty koeficientu zvukové pohltivosti kombinací vybraných stavebních materiálů s ohledem na požadované jak akustické tak i mechanické vlastnosti těchto materiálů. Nejlepší akustické vlastnosti byly vyhodnoceny pro kombinaci sádrokarton + minerální vlna.

V praxi zvolené materiály pro tento příspěvek patří mezi nejběžněji používané pro akustickou a tepelnou izolaci staveb. U většiny staveb se již při návrhu klade důraz spíše na tepelnou izolaci než na akustickou s cílem dosažení co nejlepší pevnosti konstrukce s ohledem na minimalizaci nákladu, tzn. tloušťky stěny.

Ne ve všech případech, zvláště při realizaci velkých bytových sídlišť, je možné používat speciální akustické obklady pro dosažení co nejlepších tlumících parametrů celé stavby.

Z těchto důvodů je tato práce zaměřena na nejběžněji dostupné materiály s hledáním jejich optimální kombinací tak, aby splňovaly jak tepelné a mechanické požadavky, ale také zvukově izolační.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Monografie:

- [1] NOVÝ R.: “*Hluk a chvění*”, Učební texty vysokých škol. ČVUT Praha (2000), 1-389. 2.vydání (ISBN 80-01-02246-3).
- [2] KAŇKA J.: “*Stavební fyzika I – Zvuk a denní světlo v architektuře*”. Učební texty vysokých škol. ČVUT Praha (2006), 1-118, (ISBN 80-01-02645-0). /
- [3] JIŘÍČEK O.: “*Úvod do akustiky*”. Učební texty vysokých škol. ČVUT Praha (2002), 1-146. 1. vydání (ISBN 80-01-02460-1).
- [4] VAŇKOVÁ M. a kol.: “*Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí, část I*”. Učební texty vysokých škol. VUT Brno (1995), 1-144, 1.vydání (ISBN 80-214-0695-X).
- [5] VAŇKOVÁ M. a kol.: “*Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí, část II*”. Učební texty vysokých škol. VUT Brno (1996), 1-164, 1.vydání (ISBN 80-214-0818-9).
- [6] MIŠUN V.: “*Vibrace a hluk*”, FS VUT v Brně (1998), 1.vydání (ISBN 80-214-1262-3).
- [7] Nařízení vlády č. 502/2000 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.

Internetové zdroje:

- [8] *Sdružení EPS ČR, článek - obaly*, [online]. [cit. 2007-4-15]. Dostupné z WWW: <http://www.epscr.cz/text.php?text=obaly/vlastnosti&nadpis=03>
- [9] *eStav.cz – stavební katalog, Rigips-podlahy a stropy*, [online]. [cit. 2007-4-15]. Dostupné z WWW: <http://www.rigips.cz/pages/customerService/literature/srcData/p5.pdf>
- [10] *eStav.cz – stavební katalog*. [online]. [cit. 2007-4-15]. Dostupné z WWW: <http://www.estav.cz/nomen/katlisty.asp?id=54>

- [11] *eStav.cz – stavební katalog*, tepelná a akustická izolace Climatizer plus [online].
[cit. 2007-4-18]. Dostupné z WWW:
<<http://www.estav.cz/nomen/katlisty.asp?id=54>>
- [12] *Rockwool – tepelné a protipožární izolace: výroba minerální vlny*. [online].
[cit. 2007-4-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.rockwool.cz/sw50559.asp>>
- [13] *Rigips magazín -Výroba sádrokartonových desek - reportáž ze závodu*, [online].
[cit. 2007-4-23]. Dostupné z WWW:
<<http://www.rigips.cz/pages/about/plate.aspx>>
- [14] *Jiho.ČESKÉSTAVBY.cz, Článek*, rubrika: Stavební materiály / Sádrokartony, [online].
[cit. 2007-4-23]. Dostupné z WWW:
<<http://jiho.ceskestavby.cz/clanky/index.html?id=03.14>>
- [15] *Blogspot – nábytek, článek-Akustické vlastnosti sádrokartonu*, [online].
[cit. 2007-4-23]. Dostupné z WWW:
<<http://nabytek.blogspot.com/2006/12/akustick-vlastnosti-sdrokartonu.html>>
- [16] *eStav.cz – stavební katalog*, článek – Návštěva továrny na výrobu sádrovláknitých desek FERMACEL, [online]. [cit. 2007-5-17] Dostupné z WWW:
<<http://www.rigips.cz/pages/customerService/literature/srcData/p5.pdf>>
- [17] *AGO.cz – Publikace, Opláštění a sádrokartonové desky – akustické sádrokartony*, [online]. [cit. 2007-5-17]. Dostupné z WWW:
< http://www.ago.cz/cs/construction/oplasteni.html#akusticke_sadrokartony >
- [18] *Thermomur Praha, Technologie*, [online]. [cit. 2007-5-17]. Dostupné z WWW:
< <http://www.thermomur.cz/technologie.html> >
- [19] *Rigips magazín – Jak se rodí pěnový polystyren - reportáž ze závodu*, [online].
[cit. 2007-5-17]. Dostupné z WWW:
<[http://www.sadrovesterky.cz/pages/customerService/literature/srcData/mag0507.p
df](http://www.sadrovesterky.cz/pages/customerService/literature/srcData/mag0507.pdf)>

- [20] *Izolace.cz – Průmyslové a stavební izolace*, článek – Vlastnosti a možnosti pěnového polystyrenu, [online]. [cit. 2007-5-17]. Dostupné z WWW:
<<http://www.izolace.cz/index.asp?module=ActiveWeb&page=WebPage&DocumentID=2159>>
- [21] *eStav.cz – Výrobky a materiály*, Izolace tepelná a akustická, [online].
[cit. 2007-5-17]. Dostupné z WWW:
<<http://www.estav.cz/ciur-as/vyrobek.asp?id=1>>
- [22] *ENROLL.cz – Výrobky*, akustické izolace, [online]. [cit. 2007-5-17]. Dostupné z WWW:
<<http://vyrobky.estrechy.cz/i-308-TEMPELAN>>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

λ	Délka vlny (m)
T	Doba jednoho kmitu (s)
v	Akustická rychlost ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
f	Frekvence kmitu (Hz)
u	Akustická výchylka (m)
ω	Kruhová frekvence ($\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$)
u_0	Amplituda výchylky (m)
v_0	Amplituda akustické rychlosti ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
p_b	Střední barometrický tlak (Pa)
p	Akustický tlak (Pa)
p_0	Amplituda akustického tlaku (Pa)
p_c	Počáteční celkový tlak (Pa)
V_0	Počáteční objem plynu (m^3)
γ	Poměr měrných tepelných kapacit plynu
c_p	Měrná tepelná kapacita při konstantním tlaku ($\text{J}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
c_v	Měrná tepelná kapacita při konstantním objemu ($\text{J}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
K	Objemový modul pružnosti plynu (Pa)
ζ	Okamžitá výchylka (m)
m'	Plošná hmotnost ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)
F	Síla (N)
m	Hmotnost (Kg)
a	Zrychlení ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)
t	Čas (s)
c	Rychlost zvuku ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

p_0	Objemová hmotnost vzduchu ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
C_0	Rychlost zvuku ve vzduchu ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
A	Amplituda akustického tlaku (Pa)
U	Amplituda výchylky (m)
k	Vlnové číslo (m^{-1})
λ	Vlnová délka (m)
Z	Vlnový odpor prostředí ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
Z_0	Vlnový odpor vzduchu ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
P	Akustický výkon (W)
S	Plocha vlny (m^2)
p_{ef}	Efektivní hodnota akustického tlaku (Pa)
t	Doba jedné periody (s)
I	Akustická intenzita (dB)
I_0	Prahová hodnota akustické intenzity ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)
p_0	Prahová hodnota akustického tlaku (Pa)
L	Hladina akustické intenzity (dB)
I_{ref}	Prahová hodnota akustické intenzity (tlaku) (dB)
p_{ref}	Prahová hodnota akustického tlaku (dB)
L_{okt}	Hladiny akustického tlaku v oktávovém pásmu (dB)
K_A	Korekce váhového filtru zvukoměru
L_A	Hladina akustického tlaku A (dB)
n	Počet kmitočtových (např. oktávových) pásem
L_{Aeq}	Ekvivalentní hladina akustického tlaku A
L_W	Hladina akustického výkonu (dB)
Q	Činitel směrovosti

D	Útlum zvuku
δ	Vliv rozdílu mezi dráhou zvuku přes překážku a přímou dráhou zvuku (m)
N	Fresnelovo číslo
P_r	Odrazená část akustického výkonu (W)
P_a	Pohlčená část akustického výkonu (W)
P_l	Pohlčený výkon odvedený konstrukcí mimo sledované místo nebo proměněný v jiný druh energie (W)
P_t	Akustický výkon prošlý stěnou a vyzářený do vedlejšího prostoru (W)
p	Činitel odrazu
α	Činitel pohltivosti
τ	Činitel prostupu (průzvučnosti)
A_i	Zvuková pohltivost i-tého povrchu (m^2)
h	Tloušťka porézního obkladu (m)
d	Odsazení desky pórovitého materiálu od obkládaného povrchu stropu nebo stěny (popř. tloušťka vzduchové mezery) (m)
f_r	Rezonanční kmitočet (Hz)
L_1	Hladina akustického tlaku v poli odražených vln v místnosti zdroje (dB)
L_2	Hladina akustického tlaku v sousední přijímací místnosti (dB)
A_2	Celková pohltivost přijímací místnosti (m^2)
R	Neprůzvučnost (dB)

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Šíření zvuku od zdroje.</i>	11
<i>Obr. 2. Akustická výchylka jako funkce vzdálenosti.</i>	11
<i>Obr. 3. Vývoj akustické vlny v bodové řadě</i>	12
<i>Obr. 4. Časový průběh celkového statického tlaku ve vzduchu.</i>	13
<i>Obr. 5. Souvislost mezi příčným a podélným vlněním</i>	14
<i>Obr. 6 Šíření zvuku v přímém potrubí</i>	16
<i>Obr. 7. Vlnění, které vznikne jako součet tří vlnění harmonických</i>	19
<i>Obr. 8. Druhy spekter</i>	24
<i>Obr. 9. Šíření zvuku ve volném prostoru</i>	37
<i>Obr. 10. Šíření zvuku ve volném prostoru přes překážku</i>	37
<i>Obr. 11. Srovnání mezi ohybem světla a ohybem zvuku</i>	39
<i>Obr. 12. Šíření zvuku v uzavřeném prostoru</i>	39
<i>Obr. 13. Odsazení materiálu a jeho tloušťka</i>	40
<i>Obr. 14. Porézní pohlcovač</i>	43
<i>Obr. 15. Kmitající membrány a desky – tloušťka vzduchové mezery</i>	43
<i>Obr. 16. Zvuk šířitelný vzduchem – vysílací a přijímací místnost</i>	46
<i>Obr. 17. Šíření zvuku vzduchem a konstrukcí</i>	46
<i>Obr. 18. Zařízení Brüel & Kjaer typ 4206</i>	57

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Příklady hladin akustického tlaku</i>	<i>22</i>
<i>Tab. 2. Střední kmitočty oktávových pásem a hodnoty korekcí váhového filtru zvukoměru.....</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 3. Přehled nejvyšších přípustných hodnot hluku podle nařízení vlády č. 502/2000 Sb.</i>	<i>28</i>
<i>Tab. 4. Korekce pro stanovení nejvyšších přípustných hodnot hluku v pracovním prostředí (NVč. 502/2000 Sb. ve znění NV č. 88/2004 Sb.).....</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 5. Korekce pro stanovení hodnot hluku ve stavbách pro bydlení a ve stavbách občanského vybavení (NVč. 502/2000 Sb. ve znění NV č. 88/2004 Sb.)</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 6. Korekce pro stanovení nejvyšších přípustných hodnot hluku v chráněném venkovním prostoru a v chráněných venkovních prostorech staveb (NVč. 502/2000 Sb. ve znění NV č. 88/2004 Sb.).....</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 7. Korekce pro stanovení hodnot hluku z leteckého provozu (NVč. 502/2000 Sb. ve znění NVč. 88/2004 Sb.).....</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 8. Hodnoty činitele pohltivosti zvuku a [-] vybraných povrchů a konstrukcí.....</i>	<i>41</i>
<i>Tab. 9. Akustické vlastnosti minerální vlny</i>	<i>50</i>
<i>Tab. 10. Akustické vlastnosti vlny z celulózových vláken</i>	<i>54</i>
<i>Tab. 11. Akustické vlast. nástřikové hmoty na bázi celulózy a ohnivzdorných materiálů</i>	<i>55</i>
<i>Tab. 12. Rozměry vzorků pro velkou trubici – 100 mm</i>	<i>56</i>
<i>Tab. 13. Rozměry vzorků pro malou trubici – 30 mm.....</i>	<i>56</i>

SEZNAM PŘÍLOH

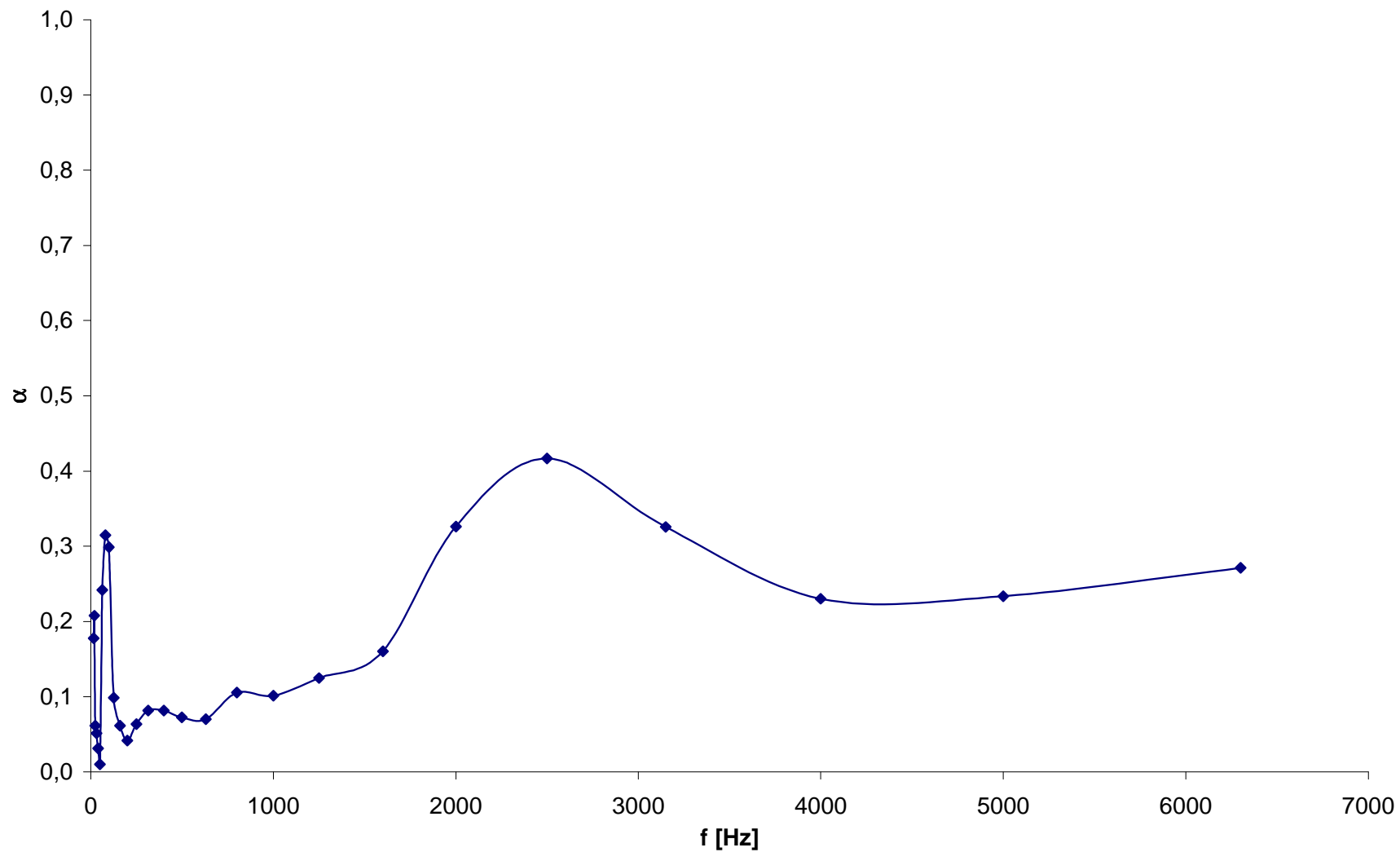
P I	Tabulka hodnot koeficientu zvukové pohltivosti a frekvence pro sádrokarton (tl. 10 mm)
P II	Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro sádrokarton (tl. 10 mm)
P III	Tabulka hodnot koeficientu zvukové pohltivosti a frekvence pro minerální vlnu (tl. 40 mm)
P IV	Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro minerální vlnu (tl. 40 mm)
P V	Tabulka hodnot koeficientu zvukové pohltivosti a frekvence pro extrudovaný polystyren (tl. 7 mm)
P VI	Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro extrudovaný polystyren (tl. 7 mm)
P VII	Tabulka hodnot koeficientu zvukové pohltivosti a frekvence pro extrudovaný polystyren (tl. 30 mm)
P VII	Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro extrudovaný polystyren (tl. 30 mm)
P IX	Tabulka hodnot koeficientu zvukové pohltivosti a frekvence pro extrudovaný polystyren (tl. 60 mm)
P X	Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro extrudovaný polystyren (tl. 60 mm)
P XI	Tabulka hodnot koeficientu zvukové pohltivosti a frekvence pro kombinaci minerální vlna + sádrokarton
P XII	Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro kombinaci minerální vlna + sádrokarton
P XIII	Tabulka hodnot koeficientu zvukové pohltivosti a frekvence pro kombinaci extrudovaný polystyren (tl. 60 mm) + sádrokarton

P XIV	Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro kombinaci extrudovaný polystyren (tl. 60 mm) + sádrokarton
-------	--

**PŘÍLOHA P I: TABULKA HODNOT KOEFICIENTU ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI A FREKVENCE PRO
SÁDROKARTON (TL. 10 MM)**

Sádrokarton																
f [Hz]	Velká trubice							Malá trubice							x	σ _x
	Koeficient zvukové pohltivosti α															
	Vz.č.1	Vz.č.2	Vz.č.3	Vz.č.4	Vz.č.5	Vz.č.6	Vz.č.7	Vz.č.8	Vz.č.9	Vz.č.10	Vz.č.11	Vz.č.12	Vz.č.13	Vz.č.14		
16	0,005	0,540	0,110	0,078	0,165	0,075	0,272	-	-	-	-	-	-	-	0,178	0,068
20	0,436	0,241	0,143	0,161	0,258	0,072	0,143	-	-	-	-	-	-	-	0,208	0,045
25	0,124	0,038	0,032	0,086	0,046	0,044	0,061	-	-	-	-	-	-	-	0,062	0,012
31,5	0,015	0,076	0,034	0,036	0,098	0,040	0,060	-	-	-	-	-	-	-	0,051	0,011
40	0,024	0,018	0,026	0,024	0,037	0,051	0,038	-	-	-	-	-	-	-	0,031	0,004
50	0,018	0,008	0,002	0,014	0,006	0,009	0,015	-	-	-	-	-	-	-	0,010	0,002
63	0,012	0,030	0,014	0,004	0,012	0,016	0,024	0,400	0,662	0,504	0,385	0,504	0,231	0,586	0,242	0,068
80	0,011	0,025	0,022	0,002	0,005	0,026	0,030	0,303	0,758	0,194	0,456	0,800	0,933	0,842	0,315	0,098
100	0,039	0,043	0,038	0,027	0,030	0,044	0,042	0,513	0,625	0,483	0,499	0,456	0,635	0,709	0,299	0,075
125	0,032	0,051	0,046	0,039	0,040	0,043	0,045	0,373	0,255	0,193	0,082	0,041	0,098	0,040	0,098	0,028
160	0,039	0,051	0,049	0,057	0,061	0,040	0,041	0,038	0,038	0,068	0,042	0,055	0,137	0,145	0,062	0,009
200	0,041	0,055	0,053	0,097	0,104	0,037	0,040	0,014	0,025	0,011	0,025	0,046	0,017	0,017	0,042	0,008
250	0,043	0,060	0,058	0,182	0,191	0,036	0,041	0,050	0,043	0,041	0,037	0,035	0,038	0,033	0,063	0,014
315	0,042	0,063	0,064	0,294	0,307	0,037	0,039	0,051	0,045	0,045	0,046	0,034	0,040	0,038	0,082	0,025
400	0,042	0,072	0,073	0,263	0,274	0,037	0,040	0,061	0,051	0,050	0,051	0,040	0,049	0,041	0,082	0,021
500	0,041	0,079	0,081	0,159	0,163	0,038	0,041	0,076	0,066	0,062	0,060	0,051	0,057	0,043	0,073	0,011
630	0,038	0,086	0,086	0,098	0,100	0,037	0,041	0,101	0,077	0,073	0,070	0,055	0,066	0,055	0,070	0,006
800	0,035	0,199	0,205	0,069	0,068	0,128	0,135	0,143	0,099	0,087	0,084	0,067	0,087	0,069	0,105	0,013
1000	0,037	0,077	0,077	0,058	0,056	0,084	0,085	0,209	0,145	0,129	0,120	0,098	0,134	0,109	0,101	0,012
1250	0,055	0,070	0,069	0,136	0,142	0,062	0,062	0,266	0,187	0,163	0,142	0,105	0,172	0,115	0,125	0,016
1600	0,163	0,072	0,072	0,127	0,131	0,053	0,050	0,333	0,221	0,259	0,212	0,151	0,251	0,152	0,161	0,023
2000	-	-	-	-	-	-	-	0,339	0,331	0,356	0,372	0,317	0,282	0,288	0,326	0,013
2500	-	-	-	-	-	-	-	0,261	0,338	0,303	0,642	0,724	0,225	0,424	0,417	0,073
3150	-	-	-	-	-	-	-	0,213	0,231	0,241	0,584	0,473	0,189	0,348	0,326	0,057
4000	-	-	-	-	-	-	-	0,224	0,174	0,275	0,314	0,205	0,189	0,232	0,230	0,019
5000	-	-	-	-	-	-	-	0,290	0,172	0,308	0,245	0,154	0,235	0,232	0,234	0,021
6300	-	-	-	-	-	-	-	0,384	0,228	0,283	0,326	0,162	0,259	0,258	0,271	0,027

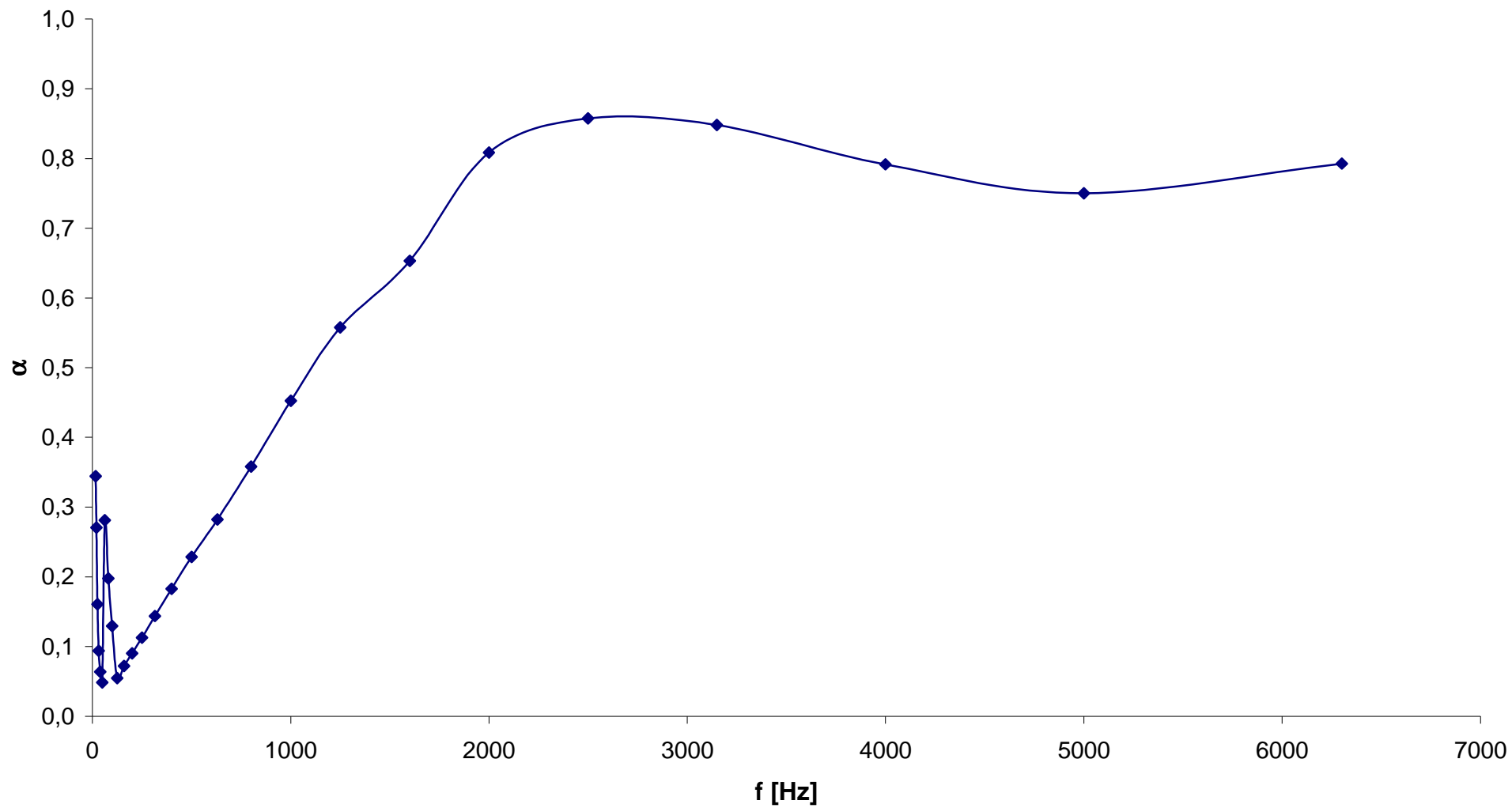
PŘÍLOHA P II: GRAFICKÁ ZÁVISLOST KOEFICIENTU ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI NA FREKVENCI PRO SÁDROKARTON (TL. 10 MM)



**PŘÍLOHA P III: TABULKA HODNOT KOEFICIENTU ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI A FREKVENCE PRO
MINERÁLNÍ VLNU (TL. 40 MM)**

Minerální vlna																						
f [Hz]	Velká trubice										Malá trubice										x	σ _x
	Koeficient zvukové pohltivosti α																					
	Vz.č.1	Vz.č.2	Vz.č.3	Vz.č.4	Vz.č.5	Vz.č.6	Vz.č.7	Vz.č.8	Vz.č.9	Vz.č.10	Vz.č.11	Vz.č.12	Vz.č.13	Vz.č.14	Vz.č.15	Vz.č.16	Vz.č.17	Vz.č.18	Vz.č.19	Vz.č.20		
16	0,344	0,431	0,467	0,068	0,427	0,241	0,344	0,175	0,170	0,775	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,344	0,063
20	0,134	0,074	0,665	0,056	0,756	0,225	0,115	0,152	0,091	0,440	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,271	0,081
25	0,181	0,233	0,240	0,121	0,218	0,158	0,126	0,071	0,121	0,142	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,161	0,018
31,5	0,090	0,087	0,005	0,174	0,071	0,056	0,130	0,003	0,197	0,125	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,094	0,020
40	0,093	0,048	0,061	0,030	0,082	0,034	0,150	0,107	0,022	0,010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,064	0,014
50	0,005	0,029	0,093	0,045	0,034	0,033	0,058	0,094	0,031	0,064	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,049	0,009
63	0,046	0,054	0,034	0,045	0,055	0,068	0,055	0,041	0,056	0,040	0,400	0,418	0,016	0,095	0,747	0,746	0,500	0,611	0,610	0,987	0,281	0,070
80	0,052	0,054	0,052	0,051	0,056	0,053	0,043	0,073	0,041	0,042	0,444	0,185	0,157	0,027	0,177	0,309	0,854	0,351	0,413	0,523	0,198	0,049
100	0,047	0,054	0,051	0,050	0,055	0,050	0,050	0,054	0,042	0,043	0,272	0,203	0,156	0,336	0,195	0,150	0,206	0,242	0,267	0,068	0,130	0,022
125	0,050	0,051	0,051	0,061	0,055	0,058	0,050	0,061	0,051	0,052	0,045	0,044	0,020	0,120	0,005	0,025	0,220	0,025	0,025	0,025	0,055	0,010
160	0,072	0,072	0,070	0,073	0,067	0,075	0,069	0,078	0,067	0,065	0,086	0,073	0,073	0,050	0,066	0,107	0,066	0,092	0,069	0,052	0,072	0,003
200	0,087	0,091	0,087	0,090	0,087	0,092	0,088	0,103	0,083	0,081	0,090	0,094	0,102	0,082	0,086	0,109	0,083	0,086	0,082	0,103	0,090	0,002
250	0,112	0,121	0,112	0,115	0,106	0,117	0,108	0,131	0,105	0,101	0,112	0,114	0,114	0,106	0,107	0,121	0,118	0,105	0,106	0,120	0,113	0,002
315	0,142	0,156	0,141	0,145	0,131	0,146	0,136	0,167	0,128	0,127	0,143	0,148	0,151	0,137	0,136	0,156	0,153	0,143	0,141	0,154	0,144	0,002
400	0,182	0,200	0,179	0,181	0,162	0,183	0,170	0,212	0,157	0,157	0,187	0,192	0,187	0,175	0,174	0,202	0,194	0,186	0,184	0,197	0,183	0,003
500	0,223	0,250	0,220	0,222	0,195	0,224	0,206	0,264	0,189	0,189	0,235	0,245	0,235	0,223	0,211	0,255	0,247	0,245	0,241	0,257	0,229	0,005
630	0,278	0,313	0,273	0,276	0,239	0,278	0,254	0,328	0,230	0,230	0,302	0,295	0,280	0,256	0,254	0,311	0,303	0,318	0,298	0,329	0,282	0,007
800	0,352	0,395	0,346	0,347	0,293	0,348	0,312	0,414	0,281	0,283	0,393	0,389	0,368	0,344	0,325	0,393	0,382	0,390	0,387	0,417	0,358	0,009
1000	0,436	0,489	0,430	0,430	0,369	0,435	0,390	0,510	0,351	0,353	0,488	0,505	0,457	0,454	0,428	0,503	0,497	0,506	0,499	0,520	0,453	0,012
1250	0,534	0,597	0,528	0,526	0,457	0,535	0,481	0,619	0,435	0,439	0,605	0,617	0,558	0,563	0,531	0,618	0,610	0,632	0,626	0,642	0,558	0,015
1600	0,616	0,681	0,610	0,604	0,531	0,614	0,556	0,698	0,507	0,513	0,724	0,730	0,670	0,673	0,635	0,731	0,721	0,746	0,740	0,760	0,653	0,018
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,829	0,827	0,770	0,769	0,737	0,830	0,816	0,834	0,834	0,841	0,809	0,011
2500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,890	0,874	0,830	0,818	0,794	0,888	0,868	0,869	0,873	0,870	0,857	0,010
3150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,903	0,860	0,839	0,807	0,791	0,894	0,866	0,836	0,849	0,835	0,848	0,011
4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,871	0,795	0,805	0,747	0,731	0,858	0,823	0,752	0,774	0,761	0,792	0,015
5000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,832	0,744	0,774	0,706	0,676	0,820	0,783	0,710	0,719	0,735	0,750	0,016
6300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,840	0,795	0,806	0,752	0,724	0,839	0,806	0,787	0,776	0,803	0,793	0,011

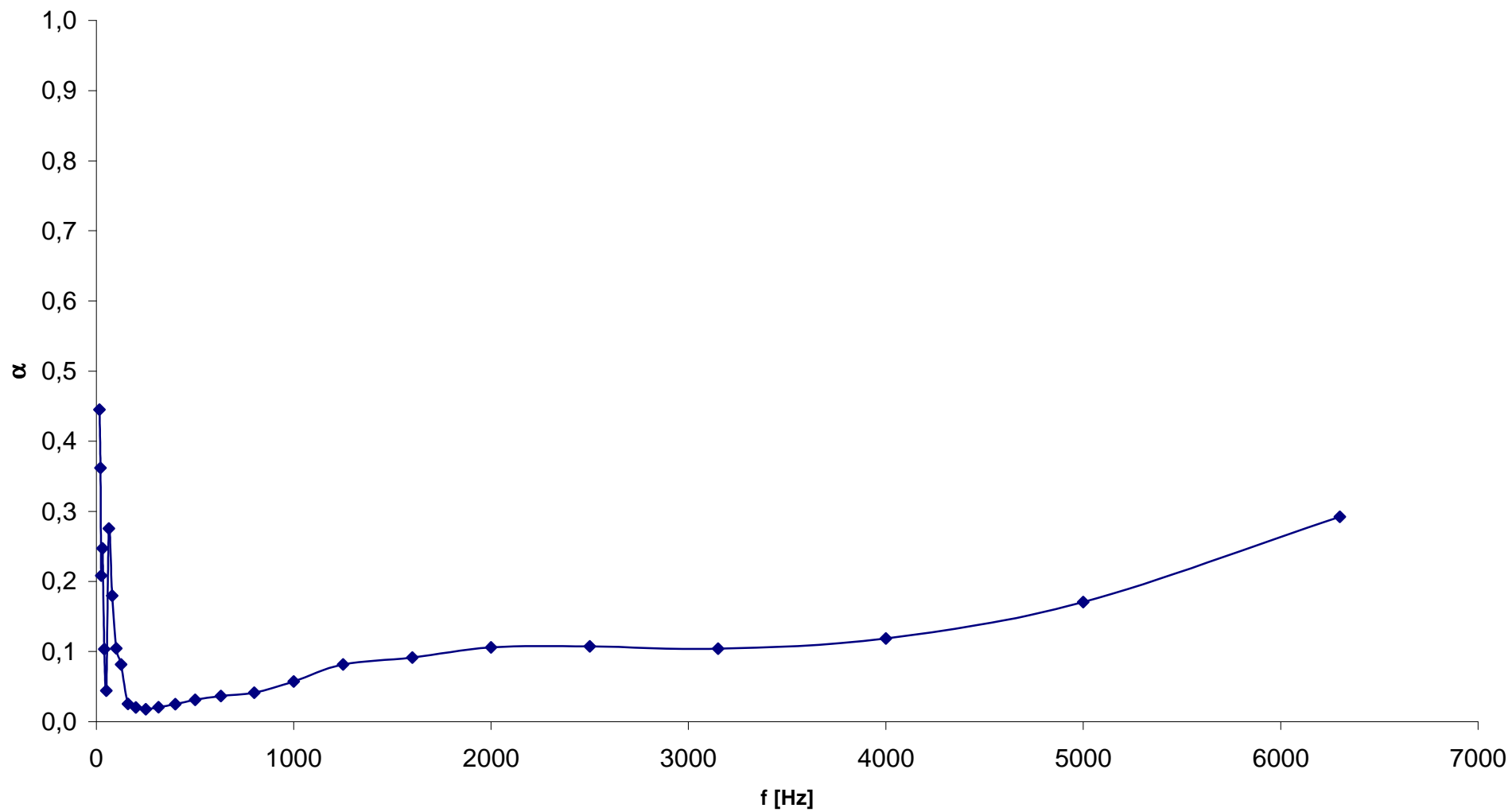
**PŘÍLOHA P IV: GRAFICKÁ ZÁVISLOST KOEFICIENTU ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI NA FREKVENCÍ PRO
MINERÁLNÍ VLNU (TL. 40 MM)**



**PŘÍLOHA P V: TABULKA HODNOT KOEFICIENTU ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI A FREKVENCE PRO
EXTRUDOVANÝ POLYSTYREN (TL. 7 MM)**

Extrudovaný polystyren (7)																							
Velká trubice											Malá trubice												
Koeficient zvukové pohltivosti α																							
f [Hz]	Vz.č.1	Vz.č.2	Vz.č.3	Vz.č.4	Vz.č.5	Vz.č.6	Vz.č.7	Vz.č.8	Vz.č.9	Vz.č.10	Vz.č.11	Vz.č.12	Vz.č.13	Vz.č.14	Vz.č.15	Vz.č.16	Vz.č.17	Vz.č.18	Vz.č.19	Vz.č.20	x	σ_1	
16	0,470	0,497	0,699	0,302	0,906	0,098	0,479	0,307	0,453	0,238	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,445	0,073	
20	0,593	0,739	0,460	0,500	0,113	0,141	0,141	0,141	0,141	0,651	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,362	0,079	
25	0,003	0,288	0,450	0,030	0,334	0,363	0,208	0,198	0,125	0,085	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,208	0,047	
31,5	0,657	0,197	0,197	0,527	0,179	0,145	0,239	0,136	0,064	0,130	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,247	0,060	
40	0,026	0,238	0,026	0,026	0,026	0,157	0,153	0,137	0,155	0,089	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,103	0,024	
50	0,011	0,043	0,166	0,011	0,045	0,036	0,037	0,034	0,048	0,010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,044	0,014	
63	0,042	0,013	0,078	0,069	0,029	0,032	0,030	0,071	0,081	0,026	0,762	0,512	0,235	0,828	0,942	0,235	0,333	0,424	0,235	0,534	0,276	0,066	
80	0,048	0,001	0,025	0,039	0,030	0,036	0,032	0,023	0,027	0,041	0,252	0,477	0,414	0,262	0,158	0,315	0,158	0,378	0,158	0,724	0,180	0,044	
100	0,049	0,002	0,059	0,021	0,019	0,026	0,046	0,035	0,029	0,029	0,151	0,442	0,300	0,241	0,073	0,077	0,163	0,035	0,094	0,194	0,104	0,025	
125	0,011	0,003	0,002	0,014	0,014	0,018	0,021	0,009	0,013	0,016	0,304	0,236	0,172	0,124	0,028	0,080	0,026	0,394	0,102	0,047	0,082	0,025	
160	0,016	0,013	0,007	0,016	0,020	0,015	0,019	0,014	0,011	0,016	0,016	0,057	0,067	0,033	0,004	0,042	0,072	0,023	0,032	0,016	0,025	0,004	
200	0,020	0,016	0,018	0,021	0,021	0,022	0,029	0,017	0,020	0,019	0,028	0,018	0,019	0,021	0,024	0,023	0,013	0,005	0,029	0,023	0,020	0,001	
250	0,017	0,014	0,013	0,019	0,017	0,019	0,024	0,019	0,018	0,018	0,020	0,011	0,019	0,018	0,022	0,020	0,018	0,016	0,015	0,021	0,018	0,001	
315	0,019	0,014	0,013	0,019	0,019	0,020	0,026	0,018	0,017	0,019	0,030	0,019	0,029	0,022	0,018	0,023	0,024	0,016	0,027	0,024	0,021	0,001	
400	0,020	0,017	0,015	0,022	0,021	0,022	0,028	0,022	0,019	0,022	0,031	0,025	0,035	0,030	0,027	0,030	0,029	0,020	0,034	0,030	0,025	0,001	
500	0,025	0,024	0,021	0,028	0,026	0,028	0,034	0,027	0,024	0,028	0,040	0,032	0,043	0,038	0,030	0,039	0,035	0,022	0,040	0,037	0,031	0,002	
630	0,030	0,028	0,027	0,032	0,030	0,032	0,037	0,031	0,028	0,032	0,048	0,035	0,048	0,047	0,037	0,045	0,041	0,028	0,051	0,046	0,037	0,002	
800	0,032	0,029	0,029	0,034	0,033	0,035	0,038	0,031	0,030	0,033	0,063	0,045	0,048	0,055	0,044	0,057	0,045	0,034	0,057	0,053	0,041	0,002	
1000	0,036	0,034	0,035	0,040	0,038	0,042	0,043	0,040	0,038	0,040	0,096	0,077	0,063	0,079	0,070	0,087	0,067	0,054	0,083	0,084	0,057	0,005	
1250	0,069	0,076	0,075	0,110	0,076	0,097	0,072	0,089	0,071	0,072	0,118	0,096	0,055	0,072	0,076	0,108	0,072	0,055	0,081	0,095	0,082	0,004	
1600	0,080	0,091	0,166	0,083	0,089	0,074	0,077	0,065	0,050	0,084	0,156	0,131	0,052	0,065	0,075	0,154	0,092	0,070	0,078	0,092	0,091	0,008	
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,178	0,145	0,048	0,058	0,060	0,186	0,134	0,107	0,069	0,073	0,106	0,016	
2500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,163	0,127	0,050	0,060	0,053	0,164	0,166	0,167	0,063	0,061	0,107	0,017	
3150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,147	0,109	0,060	0,073	0,064	0,135	0,137	0,177	0,070	0,068	0,104	0,013	
4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,171	0,108	0,084	0,108	0,115	0,124	0,119	0,140	0,101	0,114	0,118	0,007	
5000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,192	0,102	0,099	0,149	0,326	0,120	0,131	0,130	0,167	0,292	0,171	0,025	
6300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,188	0,103	0,106	0,203	0,745	0,153	0,218	0,193	0,304	0,711	0,292	0,075	

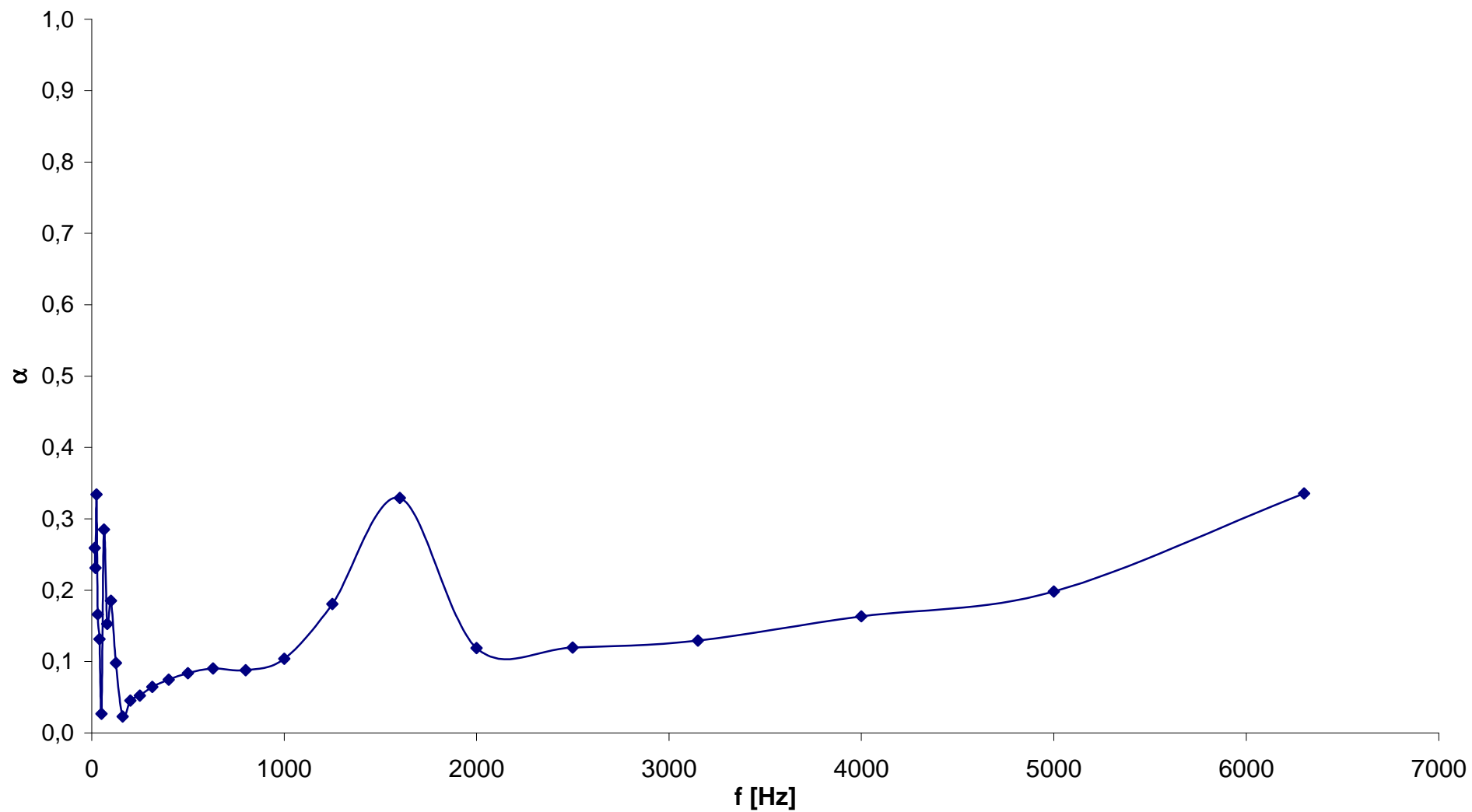
**PŘÍLOHA P VI: GRAFICKÁ ZÁVISLOST KOEFICIENTU ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI NA FREKVENCÍ PRO
EXTRUDOVANÝ POLYSTYREN (TL. 7 MM)**



**PŘÍLOHA P VII: TABULKA HODNOT KOEFICIENTU ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI A FREKVENCE PRO
EXTRUDOVANÝ POLYSTYREN (TL. 30 MM)**

Extrudovaný polystyren (30)																						
Velká trubice											Malá trubice											
Koeficient zvukové pohltivosti α																						
f [Hz]	Vz.č.1	Vz.č.2	Vz.č.3	Vz.č.4	Vz.č.5	Vz.č.6	Vz.č.7	Vz.č.8	Vz.č.9	Vz.č.10	Vz.č.11	Vz.č.12	Vz.č.13	Vz.č.14	Vz.č.15	Vz.č.16	Vz.č.17	Vz.č.18	Vz.č.19	Vz.č.20	α	σ_1
16	0,173	0,058	0,333	0,164	0,164	0,131	0,274	0,136	0,851	0,307	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,259	0,071
20	0,235	0,235	0,235	0,235	0,198	0,235	0,235	0,235	0,235	0,235	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,231	0,004
25	0,358	0,391	0,746	0,366	0,548	0,061	0,111	0,254	0,251	0,254	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,334	0,064
31,5	0,222	0,160	0,117	0,110	0,164	0,159	0,126	0,284	0,265	0,055	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,166	0,023
40	0,108	0,128	0,127	0,084	0,121	0,088	0,124	0,201	0,100	0,234	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,132	0,015
50	0,052	0,012	0,011	0,009	0,016	0,028	0,013	0,010	0,039	0,077	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,027	0,007
63	0,061	0,053	0,017	0,073	0,065	0,038	0,044	0,057	0,042	0,046	0,203	0,528	0,155	0,641	0,479	0,567	0,203	0,792	0,898	0,737	0,285	0,067
80	0,034	0,025	0,033	0,037	0,047	0,051	0,028	0,025	0,053	0,030	0,477	0,195	0,079	0,079	0,430	0,289	0,079	0,079	0,940	0,041	0,153	0,051
100	0,044	0,039	0,039	0,039	0,042	0,035	0,047	0,034	0,036	0,036	0,750	0,049	0,109	0,068	0,559	0,181	0,275	0,351	0,691	0,281	0,185	0,052
125	0,031	0,033	0,021	0,032	0,026	0,026	0,028	0,017	0,031	0,020	0,046	0,115	0,059	0,005	0,057	0,272	0,459	0,392	0,051	0,235	0,098	0,030
160	0,034	0,031	0,026	0,032	0,030	0,027	0,027	0,028	0,035	0,022	0,050	0,033	0,009	0,025	0,001	0,005	0,009	0,016	0,009	0,014	0,023	0,003
200	0,048	0,046	0,038	0,045	0,046	0,043	0,043	0,040	0,050	0,036	0,047	0,045	0,044	0,052	0,042	0,025	0,021	0,057	0,090	0,046	0,045	0,003
250	0,055	0,055	0,043	0,049	0,056	0,053	0,049	0,046	0,062	0,048	0,054	0,044	0,050	0,043	0,064	0,042	0,043	0,051	0,070	0,068	0,052	0,002
315	0,060	0,069	0,047	0,050	0,063	0,066	0,054	0,054	0,072	0,060	0,079	0,064	0,054	0,069	0,072	0,062	0,063	0,070	0,081	0,077	0,064	0,002
400	0,057	0,072	0,046	0,050	0,061	0,071	0,053	0,057	0,073	0,067	0,104	0,101	0,067	0,088	0,087	0,067	0,114	0,076	0,090	0,090	0,075	0,004
500	0,055	0,067	0,048	0,052	0,058	0,067	0,052	0,056	0,069	0,063	0,126	0,145	0,069	0,096	0,088	0,070	0,230	0,078	0,088	0,093	0,084	0,010
630	0,054	0,061	0,050	0,054	0,053	0,061	0,051	0,054	0,064	0,057	0,131	0,170	0,073	0,095	0,083	0,069	0,385	0,075	0,083	0,085	0,090	0,017
800	0,057	0,060	0,060	0,062	0,054	0,060	0,055	0,059	0,064	0,056	0,122	0,161	0,070	0,089	0,077	0,069	0,322	0,084	0,084	0,088	0,088	0,014
1000	0,086	0,081	0,101	0,093	0,083	0,079	0,081	0,089	0,099	0,080	0,129	0,158	0,087	0,103	0,092	0,093	0,210	0,115	0,109	0,109	0,104	0,007
1250	0,255	0,211	0,298	0,243	0,284	0,180	0,210	0,249	0,357	0,244	0,122	0,152	0,089	0,097	0,080	0,087	0,132	0,118	0,103	0,103	0,181	0,019
1600	0,617	0,576	0,488	0,504	0,644	0,433	0,520	0,486	0,591	0,574	0,137	0,167	0,101	0,102	0,078	0,093	0,107	0,142	0,115	0,113	0,329	0,050
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,154	0,189	0,113	0,097	0,070	0,091	0,099	0,148	0,119	0,109	0,119	0,011
2500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,137	0,205	0,134	0,101	0,063	0,085	0,112	0,136	0,121	0,100	0,119	0,012
3150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,125	0,193	0,178	0,122	0,061	0,074	0,165	0,133	0,139	0,101	0,129	0,014
4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,140	0,230	0,155	0,183	0,088	0,090	0,216	0,188	0,208	0,135	0,163	0,016
5000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,141	0,267	0,120	0,239	0,094	0,075	0,504	0,187	0,239	0,116	0,198	0,040
6300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,241	0,724	0,201	0,575	0,171	0,120	0,595	0,203	0,386	0,140	0,336	0,069

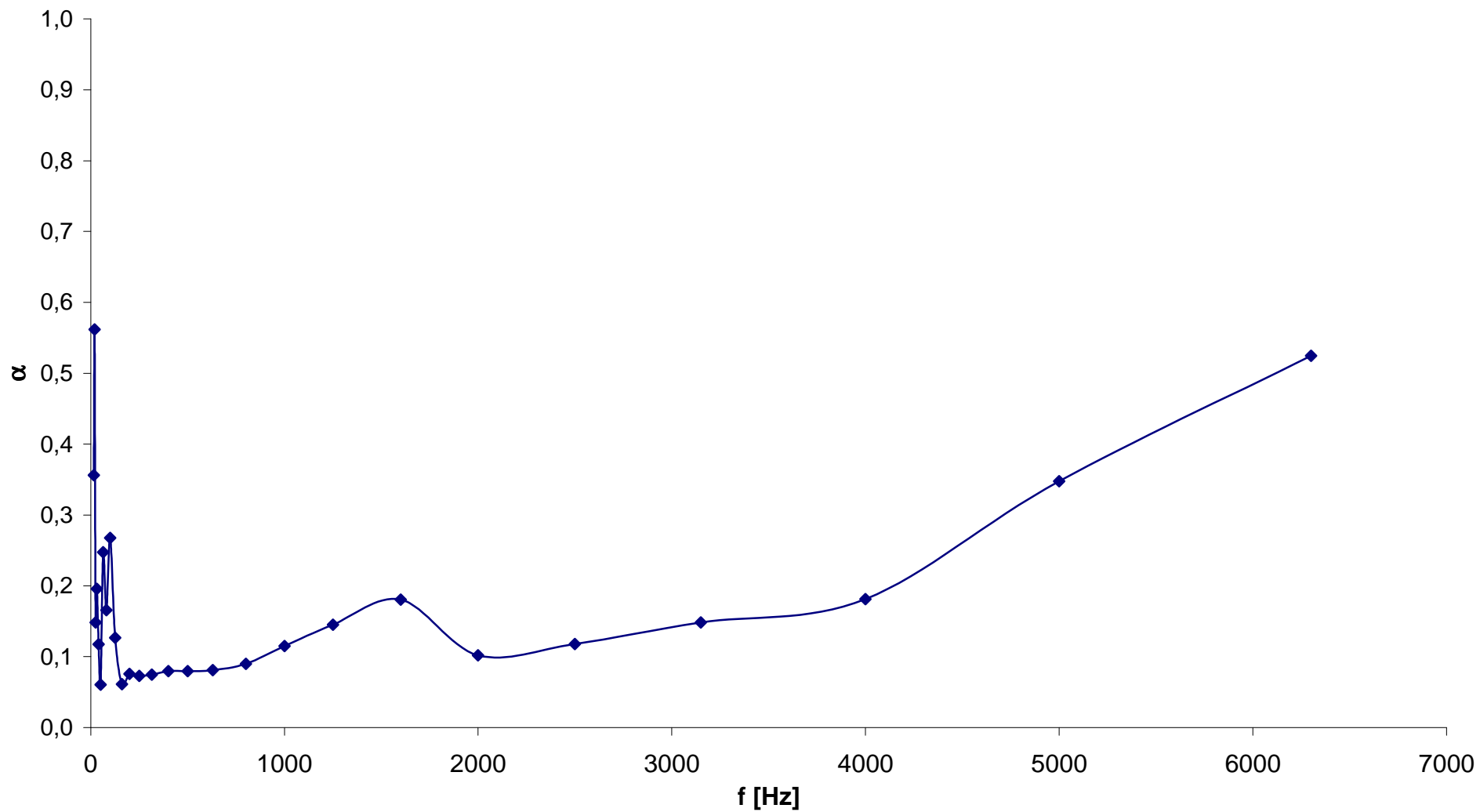
**PŘÍLOHA P VIII: GRAFICKÁ ZÁVISLOST KOEFICIENTU ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI NA FREKVENCÍ PRO
EXTRUDOVANÝ POLYSTYREN (TL. 30 MM)**



**PŘÍLOHA P IX: TABULKA HODNOT KOEFICIENTU ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI A FREKVENCE PRO
EXTRUDOVANÝ POLYSTYREN (TL. 60 MM)**

Extrudovaný polystyren (60)																						
Velká trubice											Malá trubice											
Koeficient zvukové pohltivosti α																						
f [Hz]	Vz.č.1	Vz.č.2	Vz.č.3	Vz.č.4	Vz.č.5	Vz.č.6	Vz.č.7	Vz.č.8	Vz.č.9	Vz.č.10	Vz.č.11	Vz.č.12	Vz.č.13	Vz.č.14	Vz.č.15	Vz.č.16	Vz.č.17	Vz.č.18	Vz.č.19	Vz.č.20	α	σ_1
16	0,658	0,037	0,037	0,037	0,401	0,527	0,471	0,336	0,523	0,535	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,356	0,075
20	0,320	0,400	0,473	0,386	0,772	0,772	0,640	0,311	0,772	0,772	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,562	0,064
25	0,052	0,040	0,040	0,309	0,040	0,008	0,428	0,075	0,170	0,321	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,148	0,048
31,5	0,120	0,188	0,123	0,480	0,336	0,123	0,049	0,123	0,177	0,241	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,196	0,040
40	0,119	0,070	0,095	0,002	0,234	0,105	0,184	0,040	0,177	0,149	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,118	0,022
50	0,052	0,094	0,046	0,019	0,059	0,019	0,038	0,039	0,216	0,021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,060	0,019
63	0,020	0,057	0,070	0,016	0,033	0,026	0,057	0,075	0,046	0,018	0,135	0,002	0,528	0,506	0,741	0,382	0,291	0,936	0,506	0,506	0,248	0,063
80	0,055	0,041	0,054	0,079	0,046	0,049	0,047	0,035	0,039	0,021	0,468	0,137	0,213	0,058	0,014	0,778	0,360	0,794	0,014	0,014	0,166	0,054
100	0,071	0,070	0,050	0,065	0,051	0,077	0,067	0,062	0,068	0,074	0,484	0,565	0,224	0,616	0,562	0,899	0,419	0,316	0,135	0,479	0,268	0,057
125	0,057	0,063	0,033	0,054	0,063	0,065	0,061	0,049	0,065	0,070	0,079	0,144	0,028	0,114	0,022	0,646	0,131	0,022	0,520	0,245	0,127	0,037
160	0,056	0,073	0,037	0,049	0,079	0,073	0,068	0,058	0,067	0,069	0,004	0,040	0,015	0,027	0,053	0,266	0,089	0,033	0,033	0,034	0,061	0,012
200	0,058	0,080	0,039	0,053	0,090	0,083	0,074	0,066	0,077	0,079	0,028	0,076	0,018	0,088	0,038	0,337	0,103	0,060	0,032	0,032	0,076	0,015
250	0,053	0,075	0,037	0,049	0,086	0,078	0,073	0,068	0,076	0,079	0,033	0,181	0,037	0,090	0,061	0,113	0,106	0,085	0,045	0,030	0,073	0,008
315	0,049	0,070	0,039	0,046	0,078	0,074	0,070	0,067	0,075	0,075	0,028	0,327	0,040	0,082	0,059	0,055	0,096	0,081	0,050	0,034	0,075	0,014
400	0,050	0,069	0,041	0,046	0,073	0,071	0,067	0,069	0,074	0,072	0,034	0,339	0,046	0,073	0,059	0,135	0,087	0,099	0,051	0,036	0,080	0,015
500	0,061	0,077	0,050	0,054	0,079	0,074	0,071	0,076	0,079	0,074	0,040	0,212	0,051	0,070	0,064	0,174	0,087	0,095	0,057	0,044	0,079	0,009
630	0,082	0,095	0,060	0,064	0,095	0,083	0,084	0,091	0,089	0,081	0,045	0,131	0,055	0,064	0,067	0,138	0,091	0,097	0,059	0,045	0,081	0,006
800	0,111	0,125	0,076	0,080	0,129	0,097	0,108	0,113	0,108	0,097	0,055	0,100	0,060	0,070	0,076	0,073	0,101	0,093	0,068	0,055	0,090	0,005
1000	0,116	0,147	0,097	0,120	0,167	0,120	0,144	0,155	0,138	0,136	0,079	0,111	0,081	0,098	0,103	0,083	0,123	0,110	0,092	0,078	0,115	0,006
1250	0,148	0,208	0,122	0,188	0,232	0,251	0,238	0,216	0,194	0,222	0,063	0,104	0,065	0,094	0,098	0,106	0,106	0,101	0,084	0,062	0,145	0,015
1600	0,217	0,293	0,114	0,207	0,276	0,447	0,364	0,248	0,237	0,265	0,058	0,125	0,061	0,097	0,104	0,124	0,109	0,125	0,088	0,056	0,181	0,025
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,050	0,160	0,054	0,104	0,106	0,139	0,130	0,139	0,089	0,049	0,102	0,013
2500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,051	0,180	0,055	0,115	0,114	0,203	0,182	0,134	0,093	0,050	0,118	0,018
3150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,063	0,274	0,064	0,141	0,149	0,227	0,267	0,127	0,107	0,061	0,148	0,026
4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,082	0,276	0,080	0,232	0,318	0,210	0,257	0,154	0,125	0,081	0,182	0,028
5000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,155	0,441	0,121	0,540	0,764	0,253	0,533	0,344	0,154	0,171	0,348	0,068
6300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,541	0,289	0,415	0,590	0,533	0,567	0,556	0,544	0,643	0,569	0,525	0,032

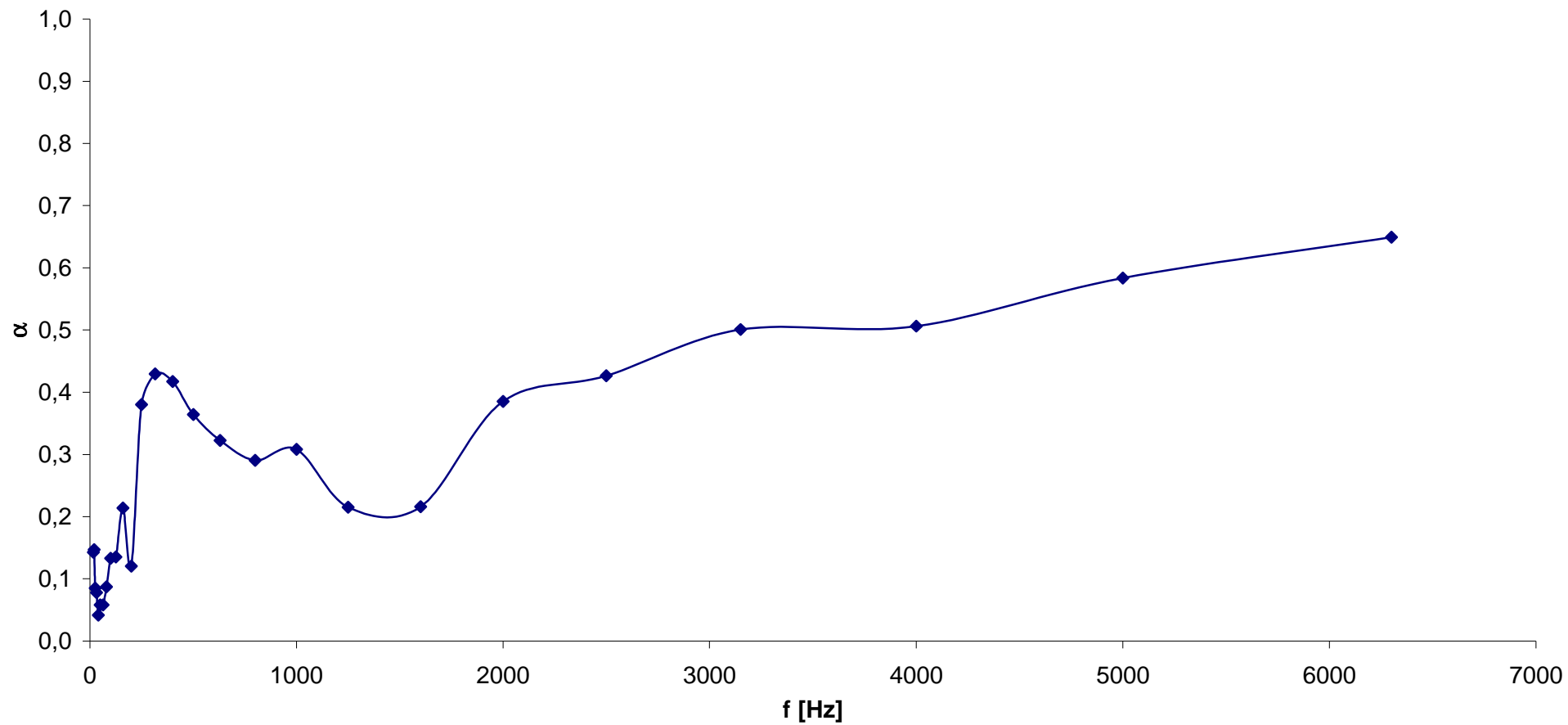
PŘÍLOHA P X: GRAFICKÁ ZÁVISLOST KOEFICIENTU ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI NA FREKVENCI PRO EXTRUDOVANÝ POLYSTYREN (TL. 60 MM)



**PŘÍLOHA P XI: TABULKA HODNOT KOEFICIENTU ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI A FREKVENCE PRO
KOMBINACI MINERÁLNÍ VLNA (TL. 40 MM) + SÁDROKARTON (TL. 10 MM)**

Kombinace minerální vlna - sádrokarton												
f [Hz]	Velká trubice					Malá trubice					x	σ _x
	Koeficient zvukové pohltivosti α											
	Vzorek.č.1	Vzorek.č.2	Vzorek.č.3	Vzorek.č.4	Vzorek.č.5	Vzorek.č.6	Vzorek.č.7	Vzorek.č.8	Vzorek.č.9	Vzorek.č.10		
16	0,227	0,037	0,100	0,078	0,270	-	-	-	-	-	0,142	0,045
20	0,028	0,113	0,203	0,183	0,207	-	-	-	-	-	0,147	0,034
25	0,059	0,072	0,083	0,116	0,095	-	-	-	-	-	0,085	0,010
31,5	0,109	0,074	0,125	0,066	0,014	-	-	-	-	-	0,078	0,019
40	0,007	0,082	0,042	0,055	0,022	-	-	-	-	-	0,042	0,013
50	0,052	0,080	0,061	0,060	0,038	-	-	-	-	-	0,058	0,007
63	0,049	0,056	0,048	0,041	0,032	0,059	0,047	0,131	0,052	0,067	0,058	0,009
80	0,055	0,064	0,076	0,066	0,040	0,120	0,113	0,086	0,154	0,096	0,087	0,011
100	0,087	0,092	0,089	0,090	0,044	0,234	0,176	0,007	0,474	0,034	0,133	0,043
125	0,087	0,088	0,088	0,087	0,058	0,156	0,140	0,166	0,256	0,225	0,135	0,021
160	0,089	0,091	0,089	0,088	0,083	0,298	0,341	0,331	0,329	0,400	0,214	0,043
200	0,086	0,086	0,087	0,086	0,105	0,194	0,199	0,085	0,191	0,082	0,120	0,016
250	0,085	0,086	0,087	0,087	0,134	0,670	0,667	0,649	0,649	0,688	0,380	0,095
315	0,082	0,081	0,081	0,082	0,172	0,771	0,769	0,755	0,753	0,747	0,429	0,110
400	0,078	0,078	0,078	0,079	0,236	0,731	0,731	0,730	0,730	0,699	0,417	0,104
500	0,073	0,073	0,073	0,073	0,316	0,600	0,602	0,607	0,611	0,612	0,364	0,084
630	0,071	0,071	0,071	0,070	0,408	0,465	0,471	0,486	0,497	0,615	0,323	0,070
800	0,086	0,084	0,085	0,085	0,470	0,371	0,372	0,406	0,403	0,542	0,290	0,058
1000	0,179	0,178	0,179	0,179	0,521	0,365	0,371	0,373	0,383	0,356	0,308	0,038
1250	0,066	0,066	0,066	0,065	0,606	0,239	0,242	0,249	0,254	0,299	0,215	0,053
1600	0,055	0,056	0,055	0,055	0,681	0,203	0,205	0,224	0,233	0,393	0,216	0,062
2000	-	-	-	-	-	0,381	0,379	0,475	0,373	0,317	0,385	0,025
2500	-	-	-	-	-	0,468	0,469	0,379	0,430	0,386	0,426	0,019
3150	-	-	-	-	-	0,604	0,511	0,412	0,523	0,455	0,501	0,033
4000	-	-	-	-	-	0,501	0,421	0,536	0,644	0,429	0,506	0,041
5000	-	-	-	-	-	0,503	0,594	0,605	0,693	0,524	0,584	0,034
6300	-	-	-	-	-	0,649	0,664	0,590	0,729	0,614	0,649	0,024

PŘÍLOHA P XII: GRAFICKÁ ZÁVISLOST KOEFICIENTU ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI NA FREKVENCÍ PRO KOMBINACI MINERÁLNÍ VLNA (TL. 40 MM) + SÁDROKARTON (TL. 10 MM)



PŘÍLOHA P XIII: TABULKA HODNOT KOEFICIENTU ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI A FREKVENCE PRO KOMBINACI EXTRUDOVANÝ POLYSTYREN (TL. 60 MM) + SÁDROKARTON (TL. 40 MM)

Kombinace polystyren - sádrokarton												
f [Hz]	Velká trubice					Malá trubice					x	σ _x
	Koeficient zvukové pohltivosti α											
	Vzorek.č.1	Vzorek.č.2	Vzorek.č.3	Vzorek.č.4	Vzorek.č.5	Vzorek.č.6	Vzorek.č.7	Vzorek.č.8	Vzorek.č.9	Vzorek.č.10		
16	0,132	0,197	0,019	0,161	0,140	-	-	-	-	-	0,130	0,030
20	0,049	0,056	0,030	0,086	0,047	-	-	-	-	-	0,054	0,009
25	0,100	0,060	0,063	0,097	0,024	-	-	-	-	-	0,069	0,014
31,5	0,000	0,083	0,071	0,079	0,067	-	-	-	-	-	0,060	0,015
40	0,004	0,025	0,020	0,017	0,010	-	-	-	-	-	0,015	0,004
50	0,022	0,028	0,003	0,015	0,015	-	-	-	-	-	0,017	0,004
63	0,020	0,005	0,001	0,006	0,007	0,064	0,062	0,042	0,043	0,570	0,082	0,055
80	0,017	0,012	0,014	0,012	0,024	0,086	0,160	0,023	0,050	0,097	0,050	0,016
100	0,038	0,040	0,034	0,036	0,035	0,210	0,110	0,204	0,078	0,242	0,103	0,027
125	0,039	0,037	0,033	0,038	0,042	0,114	0,056	0,205	0,051	0,392	0,101	0,037
160	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,280	0,253	0,089	0,055	0,162	0,105	0,030
200	0,042	0,041	0,043	0,041	0,045	0,363	0,375	0,208	0,168	0,238	0,156	0,043
250	0,047	0,047	0,047	0,046	0,048	0,383	0,385	0,293	0,269	0,306	0,187	0,048
315	0,049	0,048	0,048	0,048	0,049	0,340	0,339	0,320	0,309	0,317	0,187	0,046
400	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,242	0,243	0,262	0,254	0,249	0,149	0,034
500	0,047	0,046	0,046	0,047	0,047	0,306	0,312	0,224	0,201	0,234	0,151	0,036
630	0,049	0,049	0,048	0,048	0,048	0,510	0,519	0,240	0,192	0,301	0,200	0,060
800	0,071	0,070	0,069	0,068	0,068	0,455	0,463	0,234	0,194	0,280	0,197	0,050
1000	0,152	0,153	0,153	0,154	0,154	0,186	0,186	0,209	0,207	0,201	0,176	0,008
1250	0,105	0,105	0,104	0,105	0,106	0,409	0,409	0,330	0,316	0,350	0,234	0,044
1600	0,068	0,068	0,070	0,071	0,071	0,538	0,541	0,407	0,375	0,450	0,266	0,067
2000	-	-	-	-	-	0,369	0,371	0,375	0,377	0,376	0,374	0,002
2500	-	-	-	-	-	0,319	0,338	0,290	0,290	0,289	0,305	0,010
3150	-	-	-	-	-	0,304	0,307	0,277	0,264	0,281	0,287	0,008
4000	-	-	-	-	-	0,348	0,352	0,302	0,286	0,312	0,320	0,013
5000	-	-	-	-	-	0,376	0,320	0,261	0,375	0,323	0,331	0,021
6300	-	-	-	-	-	0,463	0,462	0,473	0,394	0,462	0,451	0,014

PŘÍLOHA P XIV: GRAFICKÁ ZÁVISLOST KOEFICIENTU ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI NA FREKVENCI PRO KOMBINACI EXTRUDOVANÝ POLYSTYREN (TL. 60 MM) + SÁDROKARTON (TL. 10 MM)

