

Závislost akustické pohltivosti na tloušťce vrstvy vybraných textilních materiálů.

Martina Kořenková

Bakalářská práce
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav fyziky a mater. inženýrství
akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martina KOŘENKOVÁ**
Studijní program: **B 2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Chemie a technologie materiálů**

Téma práce: **Závislost akustické pohltivosti na tloušťce vrstvy
vybraných textilních materiálů**

Zásady pro vypracování:

1. Rešerše na téma: **Akustické vlastnosti materiálů, Textilní materiály, Morfologie textilních materiálů.**
2. **Experimentální měření frekvenční závislosti koeficientu akustické pohltivosti vybraných textilních materiálů s různým počtem vrstev.**
3. **Vyhodnocení měření frekvenční závislosti koeficientu akustické pohltivosti.**



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. Nový R.: Hluk a chvění. Učební texty vysokých škol. ČVUT Praha (2000), 1-389. 2.vydání (ISBN 80-01-02246-3).
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. Staněk J.: Nauka o textilních materiálech. Část 4. Vlastnosti délkových a plošných textilií, 1988.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Dušan Fojtů, Ph.D.

Ústav fyziky a mater. inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

15. února 2010

Termín odevzdání bakalářské práce:

2. června 2010

Ve Zlíně dne 15. února 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



Mgr. Aleš Mráček, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Byly naměřeny závislosti koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci vybraných textilních materiálů při různém počtu vrstev těchto materiálů. Pro měření a vyhodnocení byly vybrány materiály vlna, fleecce, flauš, manšestr, plátno a syntetická česaná pletanina s vytlačovaným vzorem. Měření bylo provedeno na dvoumikrofonové impedanční Kundtově trubici společnosti Brüel&Kjaer v rozsahu 16 – 6400 Hz. Pro vyhodnocení a výpočet koeficientu redukce hluku bylo uvažováno frekvenční rozmezí 100 – 6400 Hz. Byla vyhodnocena závislost mezi akustickou pohltivostí a tloušťkou vrstvy.

Klíčová slova: akustika, koeficient zvukové pohltivosti, frekvence, koeficient redukce hluku, Kundtova trubice, vlna, fleecce, flauš, manšestr, plátno, pletanina

ABSTRACT

Frequency dependencies of the sound absorption coefficient was measured. Materials wool, fleecce, duffel, corduroy, line and synthetic worsted knitwear with pressed pattern were selected for measuring and evaluating. Measurements was realized on the two-microphones impedance Kundt's tube Brüel&Kjaer in the range of 16 – 6400 Hz. Frequency range 100 – 6400 Hz was used for evaluating and computing of the noise reduction coefficient. Dependency between the sound absorption and thickness was evaluated.

Keywords: acoustics, sound absorption coefficient, frequency, noise reduction coefficient Kundt's tube, wool, fleecce, duffel, corduroy, linen, knitwear

Tímto bych chtěla poděkovat svému odbornému vedoucímu Ing. Dušanu Fojtů Ph.D. za jeho pomoc, cenné rady a trpělivost při zpracování této bakalářské práce.

Chtěla bych také poděkovat své rodině a přátelům za jejich podporu po všech stránkách.

Příjmení a jméno:

Obor:

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 AKUSTIKA.....	12
1.1 ROZDĚLENÍ AKUSTIKY	12
1.2 ZVUK JAKO MECHANICKÉ VLNĚNÍ.....	12
1.2.1 Dopplerův efekt.....	15
1.3 ZÁKLADNÍ POJMY A VELIČINY AKUSTIKY	16
1.4 HLADINA INTENZITY A HLASITOSTI ZVUKU	17
1.5 SLUCHOVÝ ORGÁN.....	21
1.5.1 Zevní ucho.....	21
1.5.2 Střední ucho	22
1.5.3 Vnitřní ucho.....	22
1.6 PROSTOROVÁ AKUSTIKA	23
1.6.1 Geometrická akustika	23
1.6.2 Vlnová akustika	25
1.6.3 Statistická akustika	27
1.6.4 Pohlcování zvuku.....	30
1.6.5 Koeficient redukce hluku - NRC	32
2 PLOŠNÉ TEXTILNÍ MATERIÁLY.....	33
2.1 TYPY PLOŠNÝCH TEXTILÍ	33
2.1.1 Tkanina	33
2.1.2 Pletaniny.....	35
2.1.3 Pletanotkaniny	36
2.1.4 Netkané textilie.....	36
2.1.5 Vrstvené textilie.....	36
2.2 VLASTNOSTI PLOŠNÝCH TEXTILÍ	37
2.2.1 Tloušťka.....	37
2.2.2 Pórovitost.....	37
2.2.3 Délka vlákna.....	38
2.2.4 Jemnost vlákna	39
2.2.5 Ekvivalentní průměr vlákna.....	40
2.2.6 Tvar příčného řezu.....	40
2.2.7 Měrný (makro)povrch vláken.....	40
2.2.8 Štíhlost vlákna	41
2.2.9 Zaobloučkování či navlnění vláken	41
2.2.10 Tahové napětí ve vláknech.....	42
2.2.11 Vícekomponentní textilní vlákenné útvary	42

3	CHARAKTERISTIKA VYBRANÝCH TEXTILNÍCH MATERIÁLŮ.....	46
3.1	OVČÍ VLNA	46
3.2	FLEECE	47
3.3	FLAUŠ.....	47
3.4	PLST	47
3.4.1	Valchovaná plst	48
3.4.2	Vpichovaná plst	48
3.5	MANŠESTROVÁ TKANINA	48
3.6	PLÁTNO	49
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	50
4	MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ FREKVENČNÍ ZÁVISLOSTI KOEFIČIENTU ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI VYBRANÝCH TEXTILNÍCH MATERIÁLŮ	51
4.1	MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ	51
4.1.1	Dvoumikrofonová impedanční trubice Brüel & Kjaer typ 4206 a tříkanálový PULSE multianalyzátor Brüel & Kjaer typ 3560-B-030	51
4.1.2	Návod na obsluhu Brüel & Kjaer trubice s obslužným programem PULSE LabShop	52
4.2	PŘÍPRAVA A ROZMĚRY VZORKŮ	53
4.3	VYHODNOCENÍ FREKVENČNÍ ZÁVISLOSTI KOEFIČIENTU ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI VYBRANÝCH TEXTILNÍCH MATERIÁLŮ	55
	ZÁVĚR.....	61
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	62
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	64
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	66
	SEZNAM TABULEK	67
	SEZNAM PŘÍLOH.....	68

ÚVOD

Zvuk obecně můžeme definovat jako mechanické kmitání, které je charakterizováno parametry pohybu částic pružného prostředí nebo u vlnového pohybu parametry zvukového pole. Část zvuků se projevuje jako slyšitelný zvuk - což je akustické kmitání pružného prostředí v pásmu frekvencí od 16 Hz do 20 kHz, schopné vyvolat zvukový vjem.

Různé zvuky nás v běžném životě obklopují každý den. Některé působí na náš sluch příjemně, zatímco jiné zvuky se jeví jako rušivé a obtěžující.

Pojem, který se často zaměňuje se zvukovým útlumem, je zvuková absorpce. Zvuková absorpce je snížení zvukové energie měřené v jedné místnosti. Je to schopnost povrchu pohlcovat zvukovou energii. Zvuková absorpce je rozdíl mezi zvukovou energií dopadající na povrch a zvukovou energií odraženou od tohoto povrchu.

Absorpční vlastnosti materiálu se udávají ve stupni absorpce zvuku α (alfa) a je to poměr absorbované energie k celkové zvukové energii, která přichází k objektu. Při úplné absorpci $\alpha = 1$, při úplné reflexi $\alpha = 0$. Čím menší je tento koeficient, tím větší jsou zvukové ozvěny rezonance v prostoru.

V praxi se používají materiály absorbující zvuk všude tam, kde je třeba zabránit nežádoucím ozvěnám a reflexím (odrazům) zvuku - koncertní sály a kinosály, ale i výrobní haly a prostory.

Mezi materiály, které mohou zlepšovat akustickou pohltivost interiérových prostor, patří do jisté míry i materiály textilní.

Textilní materiály nemají sice nejlepší mechanickými vlastnostmi, neodolávají také dobře povětrnostním a biologickým vlivům, ale na druhou stranu vynikají především svou ekonomickou dostupností, dobrou zpracovatelností a představují možnost jak snížit hlučnost interiéru i v kombinaci s estetickou stránkou.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 AKUSTIKA

Definice akustiky: Akustika je obor zabývající se fyzikálními ději, které jsou spojeny se vznikem zvukového vlnění, jeho šířením a vnímáním zvuku sluchem.

1.1 Rozdělení akustiky

Důvody a cíle zájmů o akustiku jsou různé, a právě podle toho se tento obor dá rozdělit na několik částí:

1. Fyzikální akustika - studuje způsob vzniku a šíření zvuku. Dále se zabývá jeho odrazem a pohlcováním v různých materiálech.
2. Hudební akustika - zkoumá zvuky a jejich kombinace se zřetelem na potřeby hudby.
3. Fyziologická akustika - se zabývá vznikem zvuku v hlasovém orgánu člověka a jeho vnímáním v uchu.
4. Stavební akustika - zkoumá dobré a nerušené podmínky poslouchatelnosti hudby a řeči v obytných místnostech a sálech.
5. Elektroakustika - se zabývá záznamem, reprodukcí a šířením zvuku s využitím elektrického proudu[7].

1.2 Zvuk jako mechanické vlnění

Zvuk představuje z fyzikálního hlediska kmitavý pohyb malých částí pružného prostředí, šířící se mechanickým vlněním, které vnímáme svým sluchem.

Zvuk zprostředkovává člověku informace o okolním světě. Celý tento děj přenosu informací si můžeme představit jako přenosovou soustavu, která má při základní části:

- Zdroj zvuku
- Prostředí, kterým se zvuk šíří
- Přijímač zvuku, kterým je člověk a jeho sluch[1].

Mechanické kmitání je děj, při němž se kmitání šíří látkovým prostředím. Šíření vln není spojeno s přenosem látky, avšak vlněním se přenáší energie.

Mechanické vlnění vzniká v látkách všech skupenství a jeho příčinou je existence vazebných sil mezi částicemi (atomy, molekulami) prostředí, kterým se vlnění šíří. Kmitání jedné částice se vzájemnou vazbou přenáší na další částici. Současně se na tuto částici přenáší energie kmitavého pohybu. Takovému prostředí se označuje jako pružné prostředí. Přenosem kmitání mezi částicemi pružného prostředí se vytváří vlna. Jestliže hmotný bod, který je zdrojem vlnění, kmitá harmonicky, vzniká mechanická vlna sinusového průběhu. Platí zde vztah:

$$l = vT = \frac{v}{f} \quad (1)$$

λ vlnová délka (m)

v rychlost postupného vlnění ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

T perioda (s)

f frekvence kmitání (Hz).

Vlnová délka je vzdálenost dvou nejbližších bodů, které kmitají se stejnou fází.

Existují dva hlavní typy postupného mechanického vlnění[7]:

1. Postupné vlnění podélné, při kterém částice pružného tělesa kmitají ve směru shodném se směrem šíření zvukové vlny. Podélné vlnění probíhá i v pevném, kapalném a plynném prostředí.
2. Postupné vlnění příčné je vlněné, kdy částice pružného tělesa kmitají kolmo na směr šíření zvukové vlny. Je charakteristické pro pružná pevná tělesa ve tvaru tyčí, vláken.

Dále zde můžeme zařadit:

Ohybové vlnění, které vzniká v předmětech ve kterých převládá jeden nebo dva rozměry oproti ostatním, například u desek a tyčí. Jedná se o složené vlněné z vlnění podélného a příčného[1].

Rovnice pro příčné i podélné netlumené harmonické vlnění v homogenním prostředí je

$$y = y_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{l} \right) \quad (2)$$

Y	okamžitá výchylka (m)
y_m	maximální výchylka (m)
t	čas (s)
x	vzdálenost postupu vlnění (m).

Látkové prostředí, které má ve všech směrech stejné fyzikální vlastnosti, se nazývá izotropní prostředí. Jestliže je v takovém prostředí zdroj mechanického vlnění, šíří se vlnění ve všech směrech se stejně velkou rychlostí v . Body ležící na povrchu koule o poloměru $r = vt$ kmitají se stejnou fází a tvoří vlnoplochu. Směr šíření vlnění v daném bodě vlnoplochy určuje kolmice k vlnoploše, která se nazývá paprsek.

Ch. Huygens objasnil v roce 1678 způsob, jakým se šíří vlnění. Každý bod vlnoplochy, do něhož dospělo vlnění v určitém okamžiku, můžeme pokládat za zdroj elementárního vlnění, které se z něho šíří v elementárních vlnoplochách. Vlnoplocha v dalším časovém okamžiku je vnější obalová plocha všech elementárních vlnoploch ve směru, v němž se vlnění šíří. Tento jev se nazývá Huygensův princip.

Jestliže vlnění dospěje k rozměrné překážce, popř. na rozhraní mezi dvěma prostředími, z nichž se vlnění šíří různou rychlostí, pak se od překážky vlnění odráží nebo rozhraním dvou prostředí prochází. Na překážce nastává odraz a lom vlnění.

Pro odraz mechanického vlnění platí zákon odrazu. Úhel odrazu vlnění se rovná úhlu dopadu. Odražený paprsek leží v rovině dopadu.

Pro lom mechanického vlnění platí zákon lomu. Poměr sinu úhlu dopadu k sinu úhlu lomu je pro daná dvě prostředí stálá veličina a rovná se poměru rychlostí vlnění v obou prostředích. Nazývá se index lomu vlnění n pro daná prostředí. Lomený paprsek zůstává v rovině dopadu.

$$\frac{\sin a}{\sin b} = \frac{v_1}{v_2} = n \quad (3)$$

1.2.1 Dopplerův efekt

Pohybují-li se vůči sobě zdroj vlnění a pozorovatel, pak při vzájemném přibližování je frekvence přijímaného vlnění vyšší a při vzájemném oddalování naopak nižší[8].

Tento jev vysvětlil v roce 1843 rakouský fyzik Christian Andrea Doppler (1803-1853). Dopplerův jev vysvětluje a popisuje změny detekovaných frekvencí vůči pohybujícímu se zdroji zvuku. Stejný jev samozřejmě nastává i případě kdy zdroj je v klidu a pohybuje se detektor či pozorovatel nebo v případě, kdy se pohybují oba, zdroj i detektor.

Obrázek (Obr. 1) názorně ilustruje Dopplerův jev, který můžeme vyjádřit obecnou rovnicí například pro posun frekvencí:

$$f' = f \frac{c \pm v_D}{c \pm v_Z} \quad (4)$$

f' přijatá frekvence detektorem (Hz)

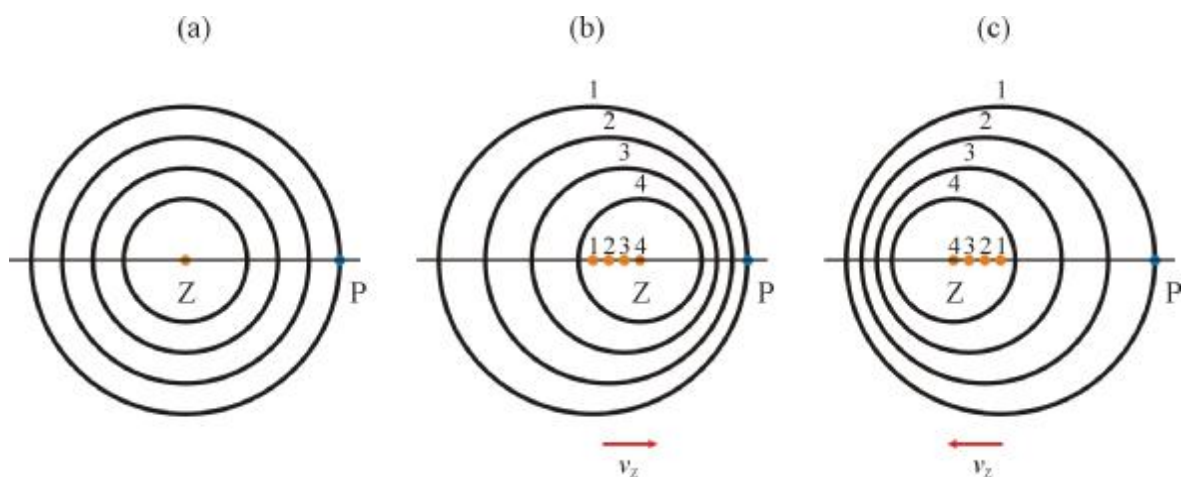
f původní frekvence (Hz)

c rychlost vlnění ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

v_D rychlost detektoru nebo pozorovatele ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

v_Z rychlost zdroje ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$).

Horní znaménka + v čitateli a – ve jmenovateli, vyjadřují fakt kdy se detektor nebo zdroj k sobě přibližují a dolní znaménka vyjadřují opačnou situaci[9].



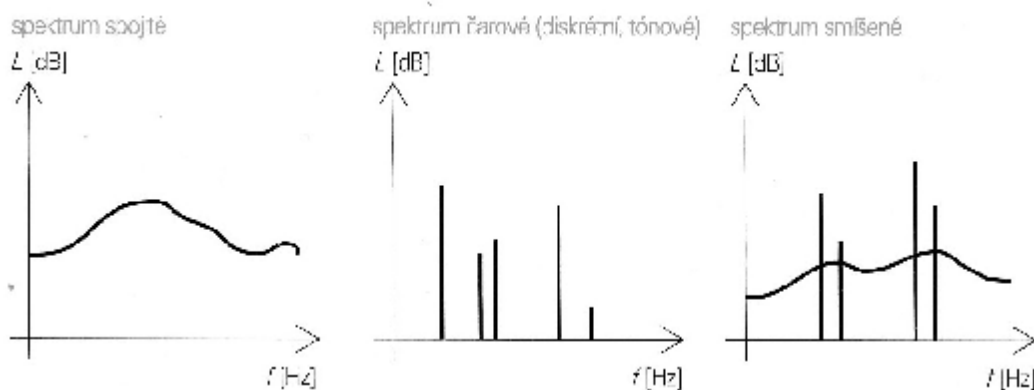
Obr. 1. Ukázka Dopplerova jevu: (a) zdroj je v klidu, (b) zdroj se pohybuje směrem k detektoru (počet vlnoploch musí zůstat stejný), (c) zdroj se pohybuje opačným směrem než vlnění[9].

1.3 Základní pojmy a veličiny akustiky

Kmitočet (frekvence) zvuku je subjektivně vnímán jako výška tónu (zvuk o různých kmitočtech je vnímán lidským uchem s nestejnou citlivostí). Z fyzikálního hlediska vyjadřuje počet kmitů za jednu sekundu. Souvisí s vlnovou délkou a rychlostí zvuku. Veličina se označuje f , vyjadřuje se v hertzech (Hz) a odvodí se ze vztahu:

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{1}{T} \quad (5)$$

Akustické spektrum poskytuje představu o charakteru zvuku z hlediska zastoupení různých kmitočtů. Jedná se o soustavu hodnot akustické veličiny (např. hladina akustického tlaku) uváděné v závislosti na kmitočtu. Většina zvuků, které známe, mají spojité spektrum, diskrétní spektrum mají hudební nástroje a smíšené spektrum, tj. spojité s výraznými tónovými složkami, mají některá strojní a technická zařízení (Obr. 2) [1].



Obr. 2. Akustická spektra zvuku[1]

Rychlost zvuku v daném prostředí. Rychlost zvuku ve vzduchu závisí na složení vzduchu (nečistoty, vlhkost), ale nejvíce na jeho teplotě. Ve vzduchu o teplotě t v Celsiových stupních má zvuk rychlost

$$v_t = 331,82 + 0,61t. \quad (6)$$

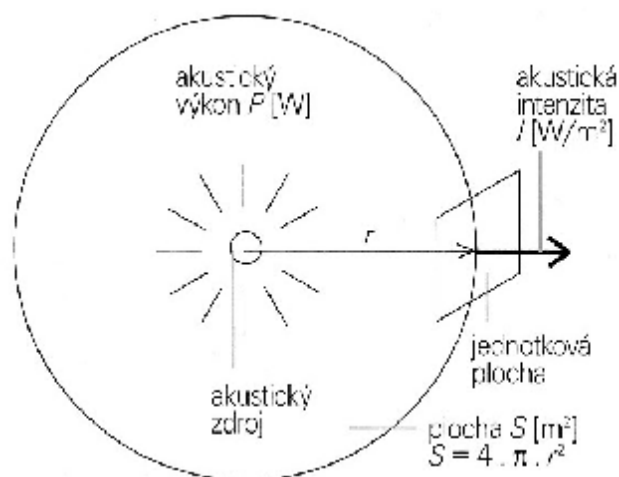
Rychlost zvuku není ovlivněna tlakem vzduchu a je stejná pro zvuková vlnění všech frekvencí. V kapalinách a pevných látkách je rychlost zvuku větší než ve vzduchu (popř. jiných plynech). Přibližné hodnoty rychlosti zvuku pro některé látky jsou uvedeny v tabulce (Tab.1) [8].

Tab. 1. Rychlosti šíření zvuku ve vybraných látkách[5].

Látka	Rychlost zvuku [m/s]
Vzduch (13,4°C)	340
Voda (25°C)	1 500
Rtuť	1 400
Beton	1 700
Led	3 200
Ocel	5 000
Sklo	5 200

1.4 Hladina intenzity a hlasitosti zvuku

Akustický výkon zdroje zvuku P ve wattech je hlavní charakteristikou zdroje zvuku. Zdroj zvuku vyzařuje energii ve formě akustických vln. Ve volném prostoru pak všechen vyzářený akustický výkon přechází jistou uzavřenou plochou S , která plně obklopuje akustický zdroj (Obr. 3).



Obr. 3. Akustický výkon zdroje

Intenzita zvuku I je akustický výkon procházející jednotkovou plochou. Udává se ve W/m^2 a lze ji stanovit za vztahu:

$$I = \frac{P}{S} \quad (7)$$

P akustický výkon zdroje (W)

S celková plocha (m^2)

Akustická intenzita zvuku ve volném prostoru od bodového zdroje ubývá se čtvercem vzdálenosti (úměrně se zvětšováním plochy povrchu koule o poloměru r).

Citlivost lidského ucha pro vnímání akustické intenzity není vždy stejná, ale s rostoucí intenzitou se snižuje. Tato vlastnost sluchu nám umožňuje vnímat i velmi slabé zvukové signály s vysokou citlivostí, ale zároveň nás chrání před zvukem vysoké intenzity. Při zkoumání této závislosti bylo zjištěno, že existuje logaritmická závislost mezi velikostí zvukového podnětu a velikost sluchového vjemu tzv. Fechner-Weberův zákon.

Hladina intenzity zvuku L_I je logaritmické vyjádření poměru mezi skutečnou intenzitou zvuku I a smluvenou hranicí intenzity zvuku $I_0=10^{-12}W/m^2$ (hodnota intenzity zvuku na prahu slyšení). Jednotkou je jeden decibel (dB), protože rozdíl 1 dB je přibližně stupněm právě uchem rozlišitelným. Hladina intenzity zvuku se stanoví za vztahu:

$$L_I = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad (8)$$

Práh slyšení je závislý na kmitočtu. Pro kmitočet 1000Hz udává hodnoty kolem 0dB, tj. intenzity právě zachytilné uchem mladého zdravého člověka. Maximální prakticky se vyskytující intenzity hluku dosahují 130-140dB. Od hodnot nad 120dB začíná člověk vnímat hluk jako bolest. Zde se nachází práh bolesti. Mezi prahem slyšení a prahem bolesti se nachází oblast slyšitelnosti neboli sluchové pole.

Tab. 2. Hlukové hladiny vyskytující se ve venkovním prostředí

Druh hluku	Řádová velikost hladiny hluku (dB)
Chvění listí	20
Noční ticho ve volné krajině – bezvětří	40
Tichá ulice ve dne	55
Rozmluva dvou osob	60
Zpěv kosa v parku (3m)	60
Splav na řece (10m)	70
Ulice s intenzivní dopravou	70 – 80
Jedoucí vlak	90
Rockový koncert	100
Start proudového letadla (300m)	120

Oblast slyšení (sluchové pole) je u člověka vymezena pásmem slyšitelných kmitočtů přibližně od 16Hz do 20kHz. Obecně platí, že s přibývajícím věkem se rychle zhoršuje slyšitelnost především v oblasti vysokých frekvencí.

Ultrazvuk je postupné podélné vlnění v pružném prostředí, jehož kmitočet je nad pásmem slyšitelných kmitočtů ($f > 20\text{kHz}$).

Infrazvuk je postupné podélné vlnění v pružném prostředí, jehož kmitočet je pod pásmem slyšitelných kmitočtů ($f < 16\text{Hz}$).

Vysokofrekvenční zvuk je slyšitelný zvuk s tónovými složkami v pásmu kmitočtů vyšších než 8kHz.

Nízkofrekvenční zvuk je slyšitelný zvuk s tónovými složkami v pásmu kmitočtů nižších než 100Hz.

Akustický tlak p je střídavá složka tlaku vlnícího se prostředí. Vyjadřuje odchylku od klidové hodnoty barometrického tlaku a jeho hodnota je v porovnání s barometrickým tlakem nepatrná. Lidské ucho vnímá akustický tlak jen v určitém rozsahu, který je závislý na zvukové frekvenci a jeho dolní hranici nazýváme práh slyšitelnosti. Jeho hodnota pro $f=1000\text{Hz}$ činí $p_0=2 \cdot 10^{-5}\text{Pa}$. Akustický tlak je střídavý (zhušťování a zředování kmitajících částic), a proto se v praxi využívá k jeho vyjádření efektivní hodnoty akustického tlaku (Pa).

Vzájemný vztah mezi intenzitou zvuku a akustickým tlakem je možné vyjádřit následovně:

$$I = \frac{p^2}{Z} \quad (9)$$

p efektivní hodnota akustického tlaku zvuku (Pa)

Z vlnový odpor prostředí (pro vzduch je $Z_0=401,2\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$).

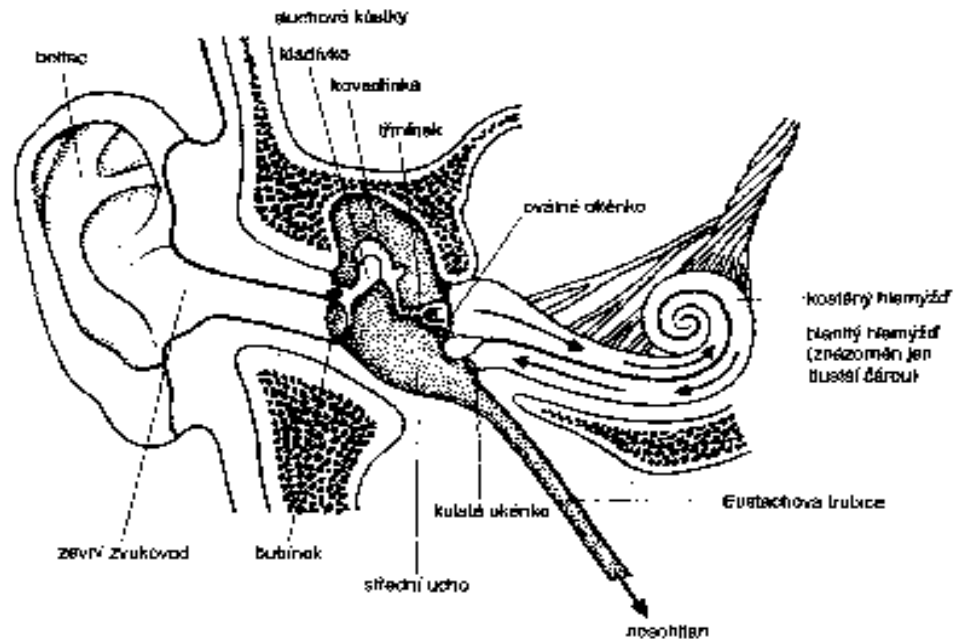
Hladina akustického tlaku L_p popisuje, jak silně na nás zvuk působí. Je vyjádřením míry akustické intenzity a odvozuje se pomocí logaritmického vyjádření poměru mezi skutečnou hodnotou akustického tlaku P a smluvenou hranicí akustického tlaku $p_0=2 \cdot 10^{-5}\text{Pa}$ (hodnota akustického tlaku zvuku na prahu slyšení). Jednotkou je jeden decibel (dB). Hladina akustického tlaku zvuku se stanoví ze vztahu:

$$L_p = 10 \cdot \log\left(\frac{P}{p_0}\right)^2 = 20 \cdot \log\left(\frac{P}{p_0}\right) \quad (\text{dB}) \quad (10)$$

Hladina akustického tlaku a hladina intenzity zvuku, sledovaná ve směru šíření zvuku, mají přibližně stejnou hodnotu: $L_I \cong L_p$ [1].

1.5 Sluchový orgán

Zvuk, se kterým přicházíme do styku, vnímáme především sluchovým ústrojím. Extrémně silné zvuky, především nižších frekvencí, můžeme vnímat i povrchem těla. Sluchový orgán z anatomického hlediska dělíme na tři části: zevní ucho, střední ucho a vnitřní ucho.



Obr. 4. Sluchový orgán

1.5.1 Zevní ucho

Zevní ucho se skládá z boltece a zvukovodu. Boltec určuje směrovou charakteristiku sluchového orgánu. Schopnost lokalizace směru, ze kterého zvuk přichází, souvisí s binaurálním vnímáním a projevuje se až od cca 500 Hz, přičemž nejlépe je možno lokalizovat zvuky s frekvencemi kolem 5 kHz. U zvířat je rozpoznávání směru, ze kterého přichází zvuk, zdomakaleno možností hýbat ušima. U lidí tato schopnost již zanikla a je nahrazena malými pohyby hlavy. Zvukovod je trubice o délce asi 25 mm a oválním průřezu s šířkou 7 až 8 mm. V něm dochází k rezonanci dopadajícího zvuku, což ovlivňuje frekvenční charakteristiku sluchového orgánu. Pro frekvence kolem 4 kHz tím dochází k nárůstu akustického tlaku před bubínkem až o 10 dB. Zvukovod není zcela přímý, avšak vhodným tahem za boltec je možné jej vyrovnat tak, až je vidět bubínek, který představuje předěl mezi zevním a středním uchem.

1.5.2 Střední ucho

Bubínek je oválná blanka z tenkého vaziva, která má tvar pláště kužele mířícího špičkou dovnitř. Vertikální průměr je 9 až 10 mm a horizontální je o něco menší. K bubínku je shora přirostlá rukojeť kladívka, které je první ze tří sluchových kůstek středního ucha: kladívka, třmínku a kovadlinky.

Kladívko vrostlé rukojetí do bubínku se na horním konci rozšiřuje do hlavičky, která je spojena s kovadlinkou. Za se rozděluje na dva výběžky. K prvnímu, kratšímu, jsou uchyceny závěsní vazy. Druhý, delší, probíhá dolů podél rukojeti kladívka a je sklouben s třetí kůstkou: třmínkem. Třmínek je zakončen oválnou ploténkou o ploše cca 3,5 mm², která je přirostlá k blance oválného okénka. Oválné okénko odděluje střední ucho od vnitřního ucha.

Do středního ucha ústí Eustachova trubice, která spojuje dutinu středního ucha s nosohltanem. V klidu je uzavřena a otevírá se při polknutí. Ve středním uchu jsou dva malé svaly: napínač bubínku, který je upnut na krček kladívka a třmínkový sval, který je napnut mezi třmínkem a stěnou středního ucha. Tyto svaly mají důležitou funkci při ochraně vnitřního ucha při přílišném hluku.

Střední ucho z hlediska technického pracuje jako pákový mechanický impedanční převodník, který umí měnit své parametry podle velikosti podnětů. Převádí kmity vzduchu dopadající na bubínek v kmity v tekutině vnitřního ucha. Středoušní svaly se reflexivně stahují při překročení hladiny cca 70 dB, čímž chrání sluchový orgán. Reflexní reakce nastupuje s jistou latencí, takže pro krátké impulsy není účinná. Proto je impulsní hluk nebezpečnější z hlediska poškození sluchu.

1.5.3 Vnitřní ucho

Vnitřní ucho se nachází v kanálcích ve skalní kosti, které se nazývají labyrint. V kostěném labyrintu je uložen blanitý labyrint, což jsou vlastně dva smyslové orgány. Prvním je tzv. vestibulární ústrojí, které se nachází ve třech polokruhovitých kanálcích a v předsíni. Pohyb tekutiny uvnitř způsobuje podněty které nám pomáhají udržovat rovnováhu. Sluchová část vnitřního ucha se nachází v hlemýždi. Hlemýžď tvoří necelé tři spirálovité závitě a je rozdělen na dvě patra: horní, a dolní vyplněná perilymfou. Mezi nimi je ještě hlemýžďová chodba přibližně trojúhelníkového průřezu vyplněná endolymfou, která má oproti perilymfě vysokou koncentraci draslíku a nízkou koncentraci sodíku, což je příčinou elektrického poten-

ciálového rozdílu mezi perilymfou a endolymfou. Hlemýžďová chodba je shora oddělená Reissnerovou membránou a zdola bacilární membránou, na které se nachází Cortiho orgán. Cortiho orgán slouží jako převodník z mechanických oscilací vnitřního ucha na signály, které mohou být zpracovány nervovým systémem. Je složen z pilířových a přibližně 20 000 vláskových buněk, jejichž vnitřní potenciál je -60mV oproti perilymfě. Při rozkmitání basilární membrány se výběžky vláskových buněk ohýbají a deformují dotykem s krycí membránou. Tím jsou vyvolány změny elektrických poměrů, které jsou na spodní straně vláskové buňky předávány do nervových zakončení sluchového nervu. Ten přivádí zvukem způsobené vzruchy do sluchové oblasti kůry velkého mozku. Zde pak dochází ke konečné analýze zvukového podnětu.

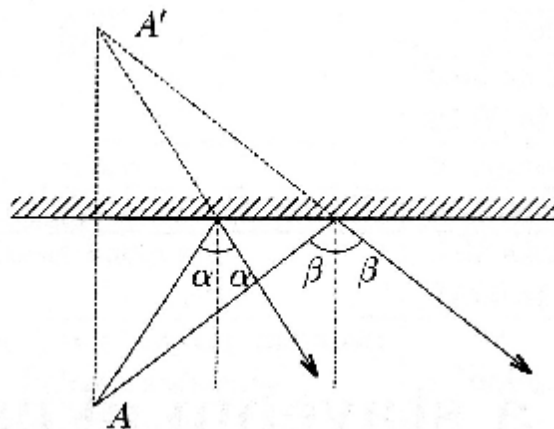
1.6 Prostorová akustika

1.6.1 Geometrická akustika

V geometrické akustice se jedná o limitní případ zvukových vln malých vlnových délek ve srovnání s rozměry místnosti a jejích stěn, tedy vysokých frekvencí. V geometrické akustice se zanedbává difrakce vlnění a základním pojmem je zvukový paprsek, který si můžeme představit jako velmi malou výseč kulové vlny vycházející z jednoho bodu vybranou malou štěrbinou. Zvukový paprsek se vzhledem ke své zanedbatelné vlnové délce odráží od libovolně velké plochy podle zákona: úhel dopadu se rovná úhlu odrazu.

Ze zanedbání difrakce vyplývá základní předpoklad geometrické akustiky a to, že zvukové paprsky jsou přímky. Dále se pak neuvažuje interference, tj. sčítáme-li v nějakém bodě dva nebo více paprsků (zvukových vln), sčítáme pouze amplitudy a jejich fáze se neuvažuje.

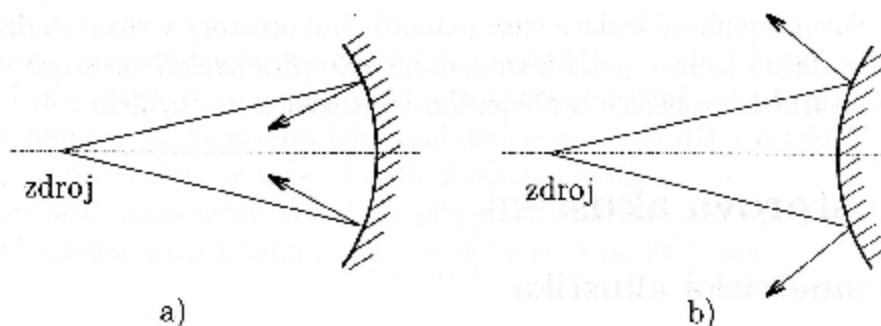
Základním postupem pro řešení šíření zvukového paprsku je zrcadlení zdrojů, které je zejména vhodné v případech, kdy odrážející plocha je rovina (Obr. 5).



Obr. 5. Odraz paprsků do rovinné stěny

V případě, že by odrazná rovina byla nekonečná, pak by výsledné pole bylo shodné s polem dvou zdrojů A a A'. Pokud ovšem bude plocha omezená, výsledkem bude omezení uhlu vyzařování zrcadlového zdroje A'.

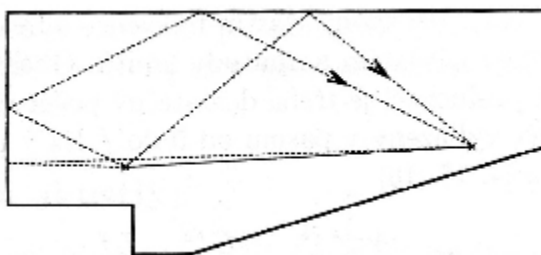
V případě, že není možné najít jeden zrcadlový zdroj, ale pro každý paprsek bychom museli hledat vlastní, platí stále zákon dopadu a odrazu. Z obrázku (Obr. 6) je patrné, že vyduté plochy soustřeďují zvuk a vypuklé plochy jej rozptylují. Soustřeďování zvukových vln je v prostorové akustice obvykle nežádoucí, naopak rozptylujících účinků vypuklých ploch se využívá pro dosažení co nejrovnoměrnějšího rozložení zvukové energie v prostoru.



Obr. 6. Odraz paprsků od a) vyduté a b) vypuklé stěny

Dopadne-li zvukový paprsek na stěnu, není odražen zcela, ale část energie se pohltí nebo projde do sousední místnosti. Ta je charakterizována činitelem zvukové pohltivosti stěny α , který je definován jako poměr energie (nebo intenzity) pohlcené ku energii dopadající. Tedy zrcadlový zdroj je zdánlivě $1-\alpha$ krát slabší.

V místnosti nebo sále se zvuk šíří od zdroje směrem k posluchači nejen přímo, ale také prostřednictvím odrazů. Ty pak mohou být jednoduché anebo vícenásobné, jak je znázorněno na obrázku (Obr. 7).



Obr. 7. Šíření paprsků v sále

Stěny uzavřených prostor však nejsou dokonale homogenní z hlediska rovnosti a pohltivosti, ale také často nelze předpokládat, že jejich rozměry jsou výrazně větší než vlnová délka dopadajícího zvuku. V takovém případě nelze uvažovat zákon dopadu a odrazu tak, jak ho známe z optiky, neboť dochází jak k ohybu paprsků, tak k jejich rozptylu. V takovém případě mluvíme o difúzním, nebo částečně difúzním odrazu. Difúzní odraz je popsán Lambertovým kosinovým zákonem, který říká: Element plochy dS , na který dopadá paprsek o intenzitě I_0 pod úhlem ν_0 , jej rozptyluje tak, že ve vzdálenosti r pod úhlem ν od elementu plochy bude intenzita rovna

$$I(r) = I_0 dS \frac{\cos J \cos J_0}{pr^2}, \quad (11)$$

přičemž tento vztah nepředpokládá absorpci energie.

Metody geometrické akustiky se využívaly pouze k předběžným odhadům zvukového pole, avšak v současnosti je na metodě sledování založena numerická metoda pro výpočet akustiky uzavřeného prostoru.

1.6.2 Vlnová akustika

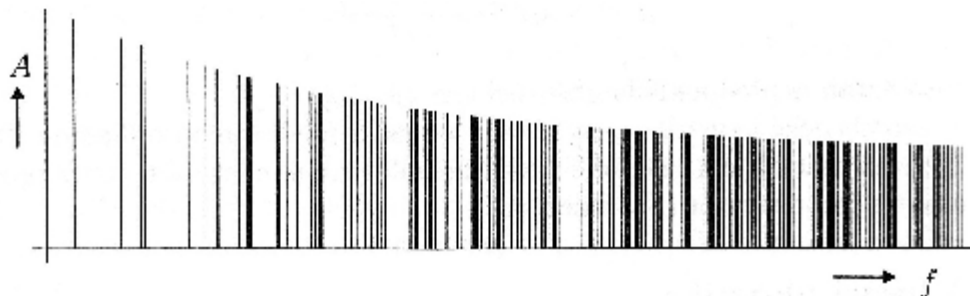
Vlnová akustika vychází z řešení vlnové rovnice včetně jejích okrajových podmínek. Ta má pro rychlostní potenciál tvar

$$\Delta\Phi - c_0^{-2} \frac{d^2\Phi}{dt^2} = 0 \quad (12)$$

Zavedením okrajových podmínek, které charakterizují vlastnosti stěn, podlahy a stropu, můžeme vyřešit zvukové pole v uzavřeném prostoru.

Pro reálné prostory je obtížné nalézt okrajové podmínky vlnové rovnice a její řešení naráží na výpočetní náročnost. Až využití numerických postupů, jako jsou metoda konečných prvků (FEM) a metoda hraničních prvků (BEM), umožnilo řešení zvukových polí na základě řešení vlnové rovnice.

Vlastní kmity uzavřeného prostoru hrají významnou roli v celkové frekvenční odezvě prostoru zejména na nízkých frekvencích, kde jsou frekvence jednotlivých módů od sebe relativně daleko.



Obr. 8. Příklad vypočtených módů pro pravoúhlý prostor

Při shodě vlastní frekvence s frekvencí buzení může dojít k rezonanci, která se projeví nárůstem amplitudy kmitů. Obecně lze říct, že pro dobrý přenos zvuku od zdroje k posluchači je třeba dostatečný počet vlastních frekvencí. Počet módů N , které mohou být vybudeny v pásmu od 0 do f Hz v prostoru tvaru kvádra je dán následujícím výrazem

$$N = \frac{4pVf^3}{3c_0^3} + \frac{pSf^2}{4c_0^2} + \frac{Lf}{8c_0}, \quad (13)$$

V objem prostoru (m^3)

S povrch stěn (m^2)

L součet všech délek hran pravoúhlého prostoru (m).

Z tohoto vztahu vyplývá, že pro vyšší kmitočty je první člen, který představuje kosé módy (všechny $n_i \neq 0$), nejvýznamnější. Tedy celkový počet módů nezávisí na tvaru prostoru, ale

pouze na jeho objemu. Pro dostatečně velké prostory se dá ukázat, že ani pravouhlý tvar není podmínkou.

Abychom mohli odhadnout počet módů, které se vyskytují v nějakém úzkém frekvenčním pásmu, zavádíme hustotu vlastních kmitů vztahem

$$\frac{dN}{df} = \frac{4pVf^2}{c_0^3} + \frac{pSf}{2c_0^2} + \frac{L}{8c_0}, \quad (14)$$

Kde se opět pro vysoké kmitočty a velké objemy prostor stačí omezit na první člen.

Pro výše uvedené vztahy jsme předpokládali dokonale tuhé stěny uzavřeného prostoru. Reálné prostory jsou však obvykle natolik složité jak svým tvarem, ale především z hlediska impedance stěn, že pouhé sestavení okrajových podmínek pro vlnovou rovnici je nereálné. Pro základní představu o akustických vlastnostech prostoru (pokud pohltivost stěn není příliš velká) obvykle stačí vyjít z prvního členu posledního vztahu a požadavku dostatečné hustoty vlastních frekvencí, která je vstupním požadavkem pro zajištění dobré difúznosti zvuku. Tu lze dále vylepšit členitostí stěn nebo přidáním dalších prvků (difuzorů), které vytvoří nepravidelné odrazy.

1.6.3 Statistická akustika

Statistickou teorii rozpracoval Sabine na počátku 20. století a vyšel z toho, že doba dozvuku charakterizuje energetickou bilanci v daném prostoru a je závislá na pohltivosti stěn a celkovém množství zvukové energie v prostoru. Předpoklady statistické akustiky můžeme shrnout do tří navzájem provázaných předpokladů:

1. Ve všech bodech uzavřeného prostoru je objemová hustota zvukové energie konstantní. Hustota zvukové energie je dána součtem energie přicházející přímo od zdroje zvuku a energie, která do daného boku dospěje díky odrazům. Objemová hustota zvukové energie je konstantní pouze v oblasti, kde převládá energie odražených vln. Ostatní oblasti však zaujímají nevýznamnou část prostoru.
2. V každém elementu uzavřeného prostoru je celková energie dána součtem středních hodnot všech energií, které do zvoleného bodu dospěly díky odrazům od stěn (překážek). Teorie se nezabývá okamžitými hodnotami energetických veličin, ale jejich středními hodnotami. Uvažujeme pouze nekoherentní zdroje zvukové energie, neboť teorie nepřipouští vliv interferenčních jevů v daném prostoru.

3. Všechny úhly dopadu zvukových vln do libovolného bodu prostoru jsou stejně pravděpodobné.

Statistická teorie vychází z energetické bilance prostoru. Ta je charakterizována zákonem zachování energie ve tvaru

$$W = V \frac{de}{dt} + W_a \quad (15)$$

W výkon vyzařovaný zdrojem (W)

W_a výkon pohlcovaný stěnami (W)

e hustota zvukové energie v prostoru.

Výkon pohlcovaný stěnami je dán vztahem

$$W_a = \alpha S \frac{ec_0}{4}, \quad (16)$$

α činitel zvukové pohltivosti

$ec_0/4$ energie dopadající na jednotku plochy za jednotku času.

Základní veličinou charakterizující prostor je doba dozvuku. Podle definice je doba dozvuku doba, za kterou hustota zvukové energie po vypnutí zdroje klesne na 10^{-6} původní hodnoty. Dosazením do předchozího vztahu a úpravách získáme

$$T = 0,161 \frac{V}{\alpha S}. \quad (17)$$

Tato závislosti platí poměrně dobře pro malé činitele pohltivosti, jen experimentálně zjištěná konstanta úměrnosti je 0,164, proto dále předpokládáme tuto hodnotu. V literatuře ji najdeme jako dobu dozvuku pole Sabina

$$T_s = \frac{0,164V}{\alpha S}. \quad (18)$$

Činitelem zvukové pohltivosti α zde charakterizuje průměrnou pohltivost všech ohraničujících ploch. Mají-li jednotlivé plochy S_i činitele pohltivosti α_i , pak průměrná hodnota je dána vztahem

$$a = \frac{\sum_i a_i S_i}{S}, \quad (19)$$

S celkový povrch stěn daný součtem všech S_i (m^2).

Vztah T_S pro dobu dozvuku podle Sabina má zjevně omezenou platnost. Bude-li pohltivost stěn nulová ($\alpha = 0$) a všechna energie se odrazí, měla by doba dozvuku být nekonečná. Tento rozpor se zkušeností vyžaduje zahrnutí útlumu zvuku při jeho šíření. Větší komplikace nastává pro dokonale pohltivé stěny ($\alpha = 1$), kdy doba dozvuku podle vztahu T_S je zjevně nenulová, i když by se měla rovnat nule. V předcházejícím odvození jsme předpokládali spojitá pokles hustoty zvukové energie, který však pro velké pohltivosti již není dobrou aproximací dějů v akustickém poli. Zvukový paprsek s intenzitou I , který dopadne na povrch s činitelem zvukové pohltivosti α bude skokově zeslaben o αI . Tuto skutečnost do svých výpočtů zahrnul Eyring a odvodil pro dobu dozvuku vztah

$$T_E = \frac{0,164V}{-S \ln(1-\alpha)} = \frac{0,164V}{\alpha_E S}, \quad (20)$$

$\alpha_E = -\ln(1-\alpha)$ Eyringův činitel zvukové pohltivosti a doba dozvuku vyjádřená tímto vztahem se nazývá doba dozvuku podle Eyringa.

Vidíme, že pro $\alpha = 1$ vychází $T_E = 0$ a Eyringův vzorec vyhovuje i pro velké pohltivosti.

I když Eyringovo odvození připouští skokovou změnu hustoty energie, stejně jako Sabine předpokládá pro všechny odrazy střední hodnotu α danou vztahem α , tj. zvukový paprsek se odráží stále od stejně pohltivé plochy nebo se od všech ploch odrazí stejněkrát. Millington předpokládal odrazy od povrchů S_i s různými činiteli pohltivosti α_i a odvodil vztah

$$T_M = \frac{0,164V}{-\sum_{i=1}^n S_i \ln(1-\alpha_i)}. \quad (21)$$

Tento vztah je znám jako doba dozvuku podle Millingtona.

Všechny tři vzorce ale nevyhovují pro $\alpha \rightarrow 0$. k tomu je třeba uvažovat útlum zvuku při šíření (způsobený disipací energie ve vzduchu), který se projeví exponenciálním úbytkem intenzity se vzdáleností

$$I = I_0 e^{-ml}, \quad (22)$$

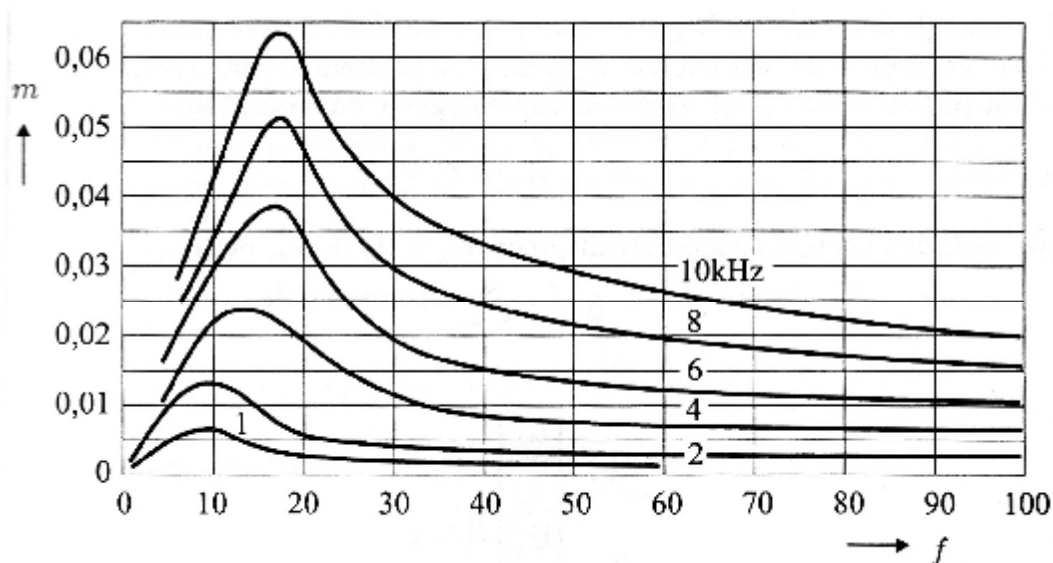
I_0 intenzita na počátku ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)

m činitel útlumu zvuku.

Zahrneme-li útlum zvuku ve vzduchu např. do Sahibova vztahu, obdržíme

$$T_s = \frac{0,164V}{aS + 4mV}, \quad (23)$$

Kde činitel útlumu m nabývá hodnot od 0,001 do 0,06 v závislosti na frekvenci a relativní vlhkosti vzduchu. Jeho průběh v závislosti na vlhkosti najdeme pro normální tlak na obrázku (Obr. 9).



Obr. 9. Závislost činitele útlumu na vlhkosti podle Knudsena

1.6.4 Pohlcování zvuku

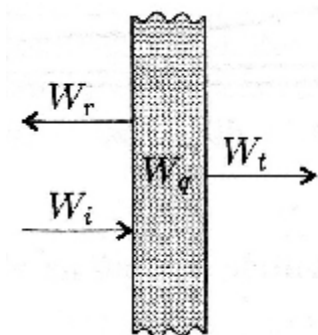
Pro popis pohlťivých vlastností ohraničujících ploch byl tedy zaveden činitel zvukové pohlťivosti jako poměr energie dopadající ku energii pohlťené

$$a = \frac{W_a}{W_i}, \quad (23)$$

W_i energie dopadající (J)

W_a energie pohlťená (J).

Energetická situace je znázorněna na obrázku (Obr. 10).



Obr. 10. Odraz a průchod zvuku stěnou

Je zřejmé, že část energie dopadající se přemění v teplo (W_q), část se odrazí (W_r) a část projde stěnou (W_t). Absorbovaná energie je dána součtem

$$W_a = W_q + W_r \quad (24)$$

A protože se žádná energie nemůže ztratit, platí

$$0 < \alpha < 1. \quad (25)$$

Pro některé účely se také hodí veličina pohltivost A , která závisí na činiteli zvukové pohltivosti a ploše stěny

$$A = aS, \quad (26)$$

Která v případě, že se stěna nebo stěny skládají z částí o různých činitelích pohltivosti, přejde na tvar

$$A_{celk} = \sum a_i S_i. \quad (27)$$

Vtalem α jsme zavedli střední činitel zvukové pohltivosti, jako podíl celkové pohltivosti a celkového povrchu stěn

$$a_{stř} = \frac{\sum a_i S_i}{\sum S_i}. \quad (28)$$

Je třeba mít stále na paměti, že činitel zvukové pohltivosti i pohltivosti jsou funkcí frekvence[2].

Tab. 3. Koeficienty absorpce pro tón 512 Hz

Materiál	Koeficient absorpce	Materiál	Koeficient absorpce
Mramor	0,010	Dřevěná podlaha	0,10
Beton	0,015	Linoleum	0,12
Sklo	0,027	Obrazy	0,28
Omítnutá stěna	0,025	Koberce	0,29
Neomítnutá stěna	0,032	Plyš	0,59
Stěna obložená dřevem	0,10	Celotex	0,64

1.6.5 Koeficient redukce hluku - NRC

Koeficient zvukové pohltivosti se mění s frekvencí. Typicky absorpční materiály jsou materiály porózní charakterizované tímto koeficientem, který se zvyšuje s frekvencí. Účinná pohltivost je tedy limitována frekvencí 250 Hz, pod níž nedochází k tak tlumivým účinkům jako nad touto frekvencí. Existují sice absorberý, které které tlumí i velmi nízké frekvence, ale touto problematikou se nebudeme zabývat. Nicméně v typických případech je vhodné pro charakteristiku akustických vlastností materiálu použít jednu veličinu, která se vyhodnocuje z více frekvencí.

Tato veličina byla definována Americkou Společností pro Testování Materiálů (ASTM) jako součást normy C423 a nazývá koeficient hlukové redukce (NRC). Tento koeficient je aritmetickým průměrem hodnot koeficientů zvukové pohltivosti při frekvencích 250, 500, 1000 a 2000 Hz zaokrouhleným nejbližše k 0,05. [3]

2 PLOŠNÉ TEXTILNÍ MATERIÁLY

2.1 Typy plošných textilií

Vlastnosti plošných textilií závisí nejen na vlastnostech samotných vláken a struktura nitě

1. vlastnosti tvaru: délková hmotnost (jemnost), průměr, zákrut, objemnost, nestejnoměrnost hmotnosti

2. mechanické vlastnosti: pevnost v tahu, v rázu, tažnost, pružnost,

ale i na

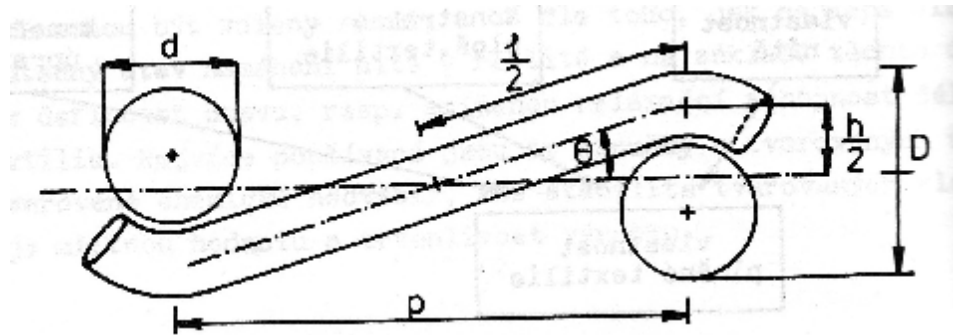
3. konečné úpravě.

Nutno ještě dodat, že ne všechny vlastnosti vláken či nití se projevují stejně. Jsou relativně zastoupeny v různých poměrech (např. sorbce vláken se projevuje zcela, nebyla-li změněna úpravou, ale pevnost vláken, se projevuje už jen zcela neznatelně). Konstrukce plošné textilie, která je v zásadě plošným útvarům (šířka o 3 řády převyšuje tloušťku) je různá podle toho, jaké technologie bylo při výrobě použito. Podle toho existuje i jejich rozdělení:

- tkaniny
- pletaniny
- pletenotkaniny
- netkané textilie
- vrstvené textilie

2.1.1 Tkanina

Je útvar, vznikající na tkalcovském stavu, který provazuje nitě dvou soustav vazební technikou a vytváří tak soustavu vazebných bodů, která je charakteristická pro tento typ plošné textilií. V nich dochází ke vzniku třecích sil a ty jsou hlavním nositelem mechanických i tvarových vlastností tkaniny (Obr. 11).



Obr. 11. Tkanina (plátno) v řezu

d	průměr nitě jedné soustavy (m)	l	délka nitě mezi vaznými body (m)
p	rozteč nití druhé soustavy (m)	D	tloušťka tkaniny (m)
θ	úhel provázání ($^{\circ}$)	h	výška vlny nitě (m)

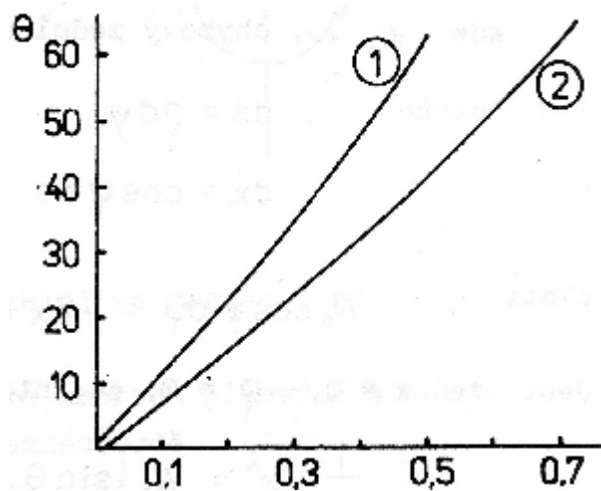
$$\begin{aligned}
 p &= (l - Dq) \cos q + D \sin q \\
 h &= (l - Dq) \sin q + D(l - \cos q) \\
 D &= h_1 + h_2
 \end{aligned}
 \tag{29}$$

Jejich vzájemný poměr h/p po úpravě má tvar

$$\frac{h}{p} = \frac{4}{3} \sqrt{\frac{l}{p} - 1} = \frac{4}{3} \sqrt{c}
 \tag{30}$$

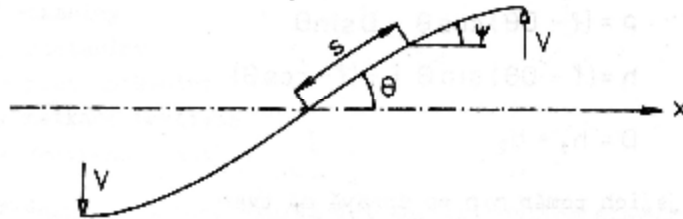
c poměr zvlnění $c=l/p-1$

Závislost mezi úhlem provázání θ poměrem h/p demonstruje obrázek (Obr.12)



Obr. 12. Závislost mezi úhlem provázání
a poměrem h/p

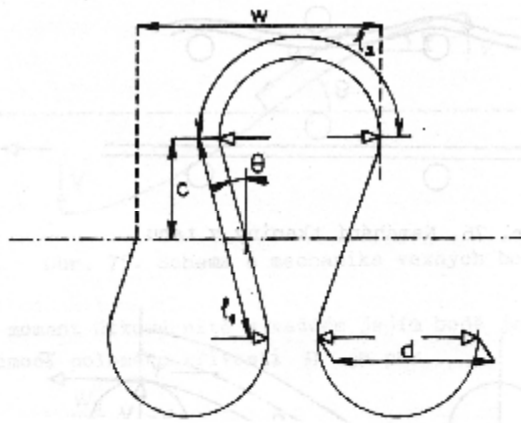
Hlavní příčiny rozdílu jsou v deformaci nití obou soustav, a to převážně v příčném směru. Reálná tkanina, která má nitě pod určitým zákrutem, se deformuje odlišně. Na základě toho se kromě úhlu provázání θ uvažuje ještě úhel ψ , který vyjadřuje sklony a zakřivení nitě v okolí vazného bodu.



Obr. 13. Vazné body

2.1.2 Pletaniny

Jsou proti tkaninám charakterizovány plošnějším vazným bodem, který má možnost posuvu, což způsobuje vyšší deformace pletatiny oproti tkanině.



Obr. 14. Tvar oka v pletanitě

Klička je tvořena úseky značně zakřivenými (délka l_2) a úseky přímějšími v nichž se nachází inflexe tvaru křivky (délka l_1). V určitých bodech působí síly, které sousední oka a při namáhání ve stejném směru to samé oko deformují. Vzdálenost l_1 závisí především na průměru nitě, vzdálenost l_2 na tuhosti nitě. Poměr d/c je odvozen z vazného bodu tkanin a je

$$\frac{d}{c} \approx \frac{4}{3} \sqrt{Z} \quad (31)$$

Z obloučkovitost nitě

Ve srovnání s nitěmi tkalcovskými jsou více otevřené, s nižším koeficientem zaplnění a vlákna jsou většinou obloučkována (přírodní) nebo jinak tvarovaná (chemická). To má důsledky nejen měkký omak a dobrou tepelnou izolaci, ale zejména deformační schopnosti, ke kterým dochází ve struktuře očka posuvem ve vazných bodech.

2.1.3 Pletanotkaniny

Vznikají kombinací obou základních technologií. Osnova je tkalcovského typu, kdežto útek (nit, která se provléká v příčném směru osnovou, tvoří s ní společnou vazbu, stabilizuje polohu osnovních nití a zaplňuje plochu textilie) je provazován pletařskou technikou, takže ve směru osnovy se vyskytují pletené proužky chemického hedvábí, které dodávají této hybridní textilií vyšší tuhost a sníženou mačkavost – celkově vyšší tvarovou stálost. Pletanotkaniny jsou používány jako dekorační textilie, obvazový materiál, lůžkoviny, nábytkové textilie.

2.1.4 Netkané textilie

Jsou to plošné útvary, kde způsob spojování vláken může být jak mechanický (technologie všíváním, vpichováním, proplétáním) nebo chemický (pomocí termoplastických vláken nebo pojiv práškových či tekutých). U první skupiny je základní vrstvou rouno, které je příčně provázáno buď samotnými vlákny nebo nití. Tvarová stálost a mechanické vlastnosti jsou tu určeny soudržností rouna a výstužnou vazbou nitě. U chemicky spojených vláken je charakter spojení a zejména jeho hustota určující vlastností textilie. Vlastnosti samotných vláken jsou mnohdy zatlačovány do pozadí. Slouží jako tepelně nebo zvukově izolační vrstvy, dále jako podlahové krytiny, filtrační vrstvy, bytové textilie.

2.1.5 Vrstvené textilie

Jsou složeny a spojeny z několika, obvykle ze dvou vrstev. Jsou tvořeny podkladovou tkaninou, kterou tvoří zpravidla tkanina nebo pletanina. Lícni vrstvu pak tvoří nánosový polymer. Vznikne tak textilie z lícni strany nepromokavá a voduodpuzející, z rubu pletanina – známý výrobek jako koženka. Jiný případ aplikace je takový, že z lícni strany je tkanina nebo pletanina, z rubní pak vrstva PUR pěny. Výsledná textilie s vysokými tepelně izolačními vlastnostmi.

Všechny uvedené druhy plošných textilií procházejí ve své konečné fázi výroby tzv. konečnou úpravou. Rozdělujeme ji na mokrou a suchou a dává textiliím jejich konečné vlastnosti,

jako je omak, hydrofobnost, nemačkovost, sníženou žmolkovitost, protiplísňovou odolnost atd. zejména úpravy mokré (chemické) ovlivňují ještě dodatečně strukturu vláken, nebo alespoň jeho povrchový reliéf, tak že dochází ke změně základních vlastností vláken.

2.2 Vlastnosti plošných textilií

2.2.1 Tloušťka

Tloušťka plošné textilie je definována jako kolmá vzdálenost mezi lícem a rubem textilie, měřená za předepsaného zatížení. To proto, že textilie je útvar stlačitelný a formovatelný i v příčném směru (odstávající vlákna, pórovitost atd.). To znamená, že měření tloušťky provádíme na pevné podložce, kde na plošnou textilií dosedá závaží o definované hmotnosti a vytváří se měrný tlak ρ_m , který v textilií vymezí tloušťku h . Odečtení této tloušťky se provede po čase určeném zkušebními podmínkami, tedy v čase, kdy reakce v textilií a měrný tlak jsou v rovnováze, tj. v čase t_r . Tato doba je stanovena na 30s. Velikost kruhové zatěžovací čelisti a měrný tlak se volí podle typu měřené plošné textilie.

Sommer ve snaze vyjádřit schopnost textilie se stlačovat při různých zatíženích, zavádí pojem stlačitelnost a definuje ji výrazem:

$$S = \frac{h_1 - h_2}{\log p_2 - \log p_1} \quad (32)$$

h_1, h_2 tloušťky při tlacích p_1, p_2 (m).

2.2.2 Pórovitost

Přesnější charakteristika, která vyjadřuje poměr vláken k mezivláknitému prostoru v textilií. Je dána vztahem:

$$P = \frac{\rho_{vlk} - \rho_v}{\rho_{vlk}} \quad (33)$$

ρ_{vlk} měrná hmotnost vláken ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

ρ_v objemová měrná hmotnost plošné textilie ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$).

Měrná hmotnost vláken je dána vztahem:

$$r_v = \frac{m}{V} = \frac{m}{Sh} = \frac{r_s}{h} \quad (34)$$

m hmotnost textilie (kg)

V objem plošné textilie (m³).

Nebo také vztahem:

$$r_{vlk} = \frac{k}{\frac{1}{r_{vls}} + \frac{k-1}{r_{H_2O}}} \quad (35)$$

k vlhkostní faktor $k=1+(V_p/10^2)$

ρ_{vls} měrná hmotnost suchých vláken (kg.m⁻³)

ρ_{H_2O} měrná hmotnost H₂O při 20°C (kg.m⁻³) [4].

2.2.3 Délka vlákna

V textilní praxi se používají vlákna buď velmi dlouhá, nebo naopak poměrně velmi krátká. Vlákna, která jsou ve skutečnosti dlouhá mnoho metrů označujeme jako vlákna nekonečná. Krátké typy textilních vláken, tj. vlákna dlouhá jen několik centimetrů či decimetrů nazýváme vlákna staplová. Jednotlivá staplová vlákna ve vlákenné surovině bývají různě dlouhá. Samostatné rozložení délek staplových vláken nebo jenom jeho vhodné charakteristiky se běžně zjišťují standardními metodami. Vyhodnocuje se buď tzv. kladený stalp, nebo váhový stalp. Bývá značen jako střední délka vláken symbolem *l*.

2.2.4 Jemnost vlákna

U vlákna je tedy jeho délka značena l , jeho plocha příčného řezu s , jeho hmotnost m a měrná hmotnost (hustota) je ρ .

Tab. 4. Hustoty vybraných vláken

Druh vláken	Měrná hmotnost ρ (kg.m ⁻³)
Balvna	1520
Vlna	1310
Přírodní hedvábí	1340
Viskózová vlákna	1500
Polyesterová vlákna	1360
Polyamidová vlákna	1140
Polypropylenová vlákna	910

Vlastní jemnost vlákna se vyjadřuje jeho délkovou hmotností, tj. podílem hmotnosti vlákna ku jeho délce.

$$t = \frac{m}{l} = \frac{s \cdot l \cdot r}{l} = s \cdot r \quad (36)$$

$$s = \frac{t}{r} \quad (37)$$

V mezinárodní soustavě fyzikálních jednotek je jednotkou jemnosti 1 Mtex = 1 kg.m⁻¹.

V praxi se ovšem nejčastěji používá jednotky milionkrát menší a platí 1 tex = 1 g.km⁻¹.

2.2.5 Ekvivalentní průměr vlákna

Pokud by vlákno mělo kruhový průřez s průměrem vlákna d , platilo by

$$s = \frac{pd^2}{4} \quad (38)$$

Veličina d však může být vypočtena z rovnice i pro vlákno s nekruhovým průřezem. Potom je nazýváme ekvivalentním průměrem vlákna.

$$d = \sqrt{\frac{4s}{p}} = \sqrt{\frac{4t}{pr}} \quad (39)$$

2.2.6 Tvar příčného řezu

Plocha vlákna s je uzavřena obvodem p . Kdyby byl průřez vlákna kruhový, platilo by $p/(\pi d)=1$. Ve všech ostatních případech je hodnota $p/(\pi d)>1$. Tvarový faktor průřezu je definovaný vztahem

$$q = \frac{p}{\pi d} - 1 \quad (40)$$

Odtud plyne pro výpočet obvodu příčného řezu vlákna výraz

$$p = \pi d(1 + q) \quad (41)$$

2.2.7 Měrný (makro)povrch vláken

Různě velký povrch vláken často významně ovlivňuje různé vlastnosti (sorpci, omak aj.) textilie. Měrný povrch vláken vyjadřuje plochu povrchu vláken ve hmotnostní jednotce materiálu. Platí

$$a = \frac{pl}{\frac{pd^2}{4}lr} = \frac{pd(1+q)}{\frac{pd^2}{4}r} = \frac{4(1+q)}{rd} \quad (42)$$

$$a = \frac{4(1+q)}{rd} = \frac{4(1+q)}{r} \sqrt{\frac{pr}{4t}} = 2\sqrt{p} \frac{1+q}{\sqrt{rt}} \quad (43)$$

2.2.8 Štíhlost vlákna

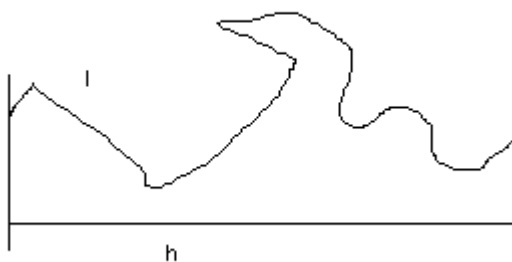
V textilií se často společně uplatňují dvě veličiny – délka vlákna l a jeho ekvivalentní průměr d . Zavádí se proto veličina štíhlost vlákna Λ

$$\Lambda = \frac{l}{d} \quad (44)$$

Tab. 5. Štíhlost vybraných vláken

Druh vlákna	Štíhlost Λ
Bavlna	1500
Vlna	3000
Len(elementární vlákno)	1250
Juta (elementární vlákno)	170
Ramie	3000

2.2.9 Zaobloučkování či navlnění vláken



Obr. 15. Vlákno

Na obrázku (obr.15) je znázorněno vlákno nebo úsek vlákna délky l , jehož koncové body leží ve vzdálenosti h . Míru zaobloučkování či navlnění lze popsat veličinou zaobloučkování. Pokud tato veličina popisuje jen část (úsek) vlákna, nazývá se navlněním.

$$I = \frac{l-h}{h} = \frac{l}{h} - 1 \quad (45)$$

2.2.10 Tahové napětí ve vlákne

V textilních technologiích se tradičně používá textilní napětí σ jako poměr síly ku jemnosti (délkové hmotnosti) textilního útvaru. Jednotkou tohoto napětí v mezinárodní soustavě jednotek SI je 1N/1Mtex. Je-li vlákno napínáno silou F , potom platí

$$S = \frac{F}{t} = \frac{F}{sR} = \frac{t}{r} \quad (46)$$

2.2.11 Vícekomponentní textilní vlákenné útvary

Nejobecnějším typem množiny vláken je vlákenná soustava. Jsou-li vlákna v soustavě navzájem v kontaktu, mluvíme o vlákenném útvaru. Je-li vlákenný útvar připraven textilní technologií, je to textilní vlákenný útvar. Je-li vlákenný útvar složen z více druhů vláken, mluvíme o vícekomponentním vlákenném útvaru. U takového útvaru se obvykle definují některé střední charakteristiky jeho vláken.

Výchozí veličiny:

Uvažujeme vlákenný útvar složený z n komponent. Každou komponentu označujeme indexem $i = 1, 2, \dots, n$. Veličiny, které se týkají jedné komponenty budou mít index i , veličiny celého vlákenného útvaru budou bez indexu. Pokud vycházíme z jednotky hmotnosti (např. 1kg) vícekomponentního vlákenného útvaru, označujeme:

g_i ...hmotnostní podíly jednotlivých komponent

ρ_i ...měrné hmotnosti vláken jednotlivých komponent ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

t_i ...jemnosti vláken jednotlivých komponent (tex)

l_i ...střední délka vláken jednotlivých komponent (m)

a_i ...měrný (makro)povrch jednotlivých komponent (m^2)

Objem i -té komponenty v jednotce hmotnosti textilního vlákenného útvaru je

$$V_i = \frac{g_i}{r_i} \quad (47)$$

Střední měrná hmotnost vláken v textilním vlákenném útvaru

$$r = \frac{1}{\sum_{i=1}^n V_i} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{g_i}{r_i} \right)} \quad (48)$$

Objemové podíly komponent

$$v_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} = \frac{\frac{g_i}{r_i}}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{g_i}{r_i} \right)} = \frac{g_i}{r_i} r = g_i \frac{r}{r_i} \quad (49)$$

Souhrnná délka vláken i-té komponenty v hmotnostní jednotce směsi

$$L_i = \frac{g_i}{t_i} \quad (50)$$

Střední jemnost vláken

$$t = \frac{1}{\sum_{i=1}^n L_i} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{g_i}{t_i} \right)} \quad (51)$$

Délkové podíly komponent

$$l_i = \frac{L_i}{\sum_{i=1}^n L_i} = \frac{\frac{g_i}{t_i}}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{g_i}{t_i} \right)} = \frac{g_i}{t_i} t = g_i \frac{t}{t_i} \quad (52)$$

$$L_i = l_i \sum_{i=1}^n L_i \quad (53)$$

Počet vláken i-té komponenty v hmotnostní jednotce směsi

$$n_i = \frac{L_i}{l_i} = \frac{l_i \sum_{i=1}^n L_i}{l_i} = \sum_{i=1}^n L_i \quad (54)$$

Celkový počet vláken v hmotnostní jednotce směsi

$$n = \sum_{i=1}^n n_i = \sum_{i=1}^n \left[\frac{l_i}{l_i} \left(\sum_{i=1}^n L_i \right) \right] = \left(\sum_{i=1}^n L_i \right) \sum_{i=1}^n \left(\frac{l_i}{l_i} \right) \quad (55)$$

Střední délka vláken

$$l = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{\left(\sum_{i=1}^n L_i \right) \sum_{i=1}^n \left(\frac{l_i}{l_i} \right)} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{l_i}{l_i} \right)} \quad (56)$$

Četnostní podíly komponent

$$v_i = \frac{n_i}{n} = \frac{\frac{l_i}{l_i} \left(\sum_{i=1}^n L_i \right)}{\left(\sum_{i=1}^n L_i \right) \sum_{i=1}^n \left(\frac{l_i}{l_i} \right)} = \frac{\frac{l_i}{l_i}}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{l_i}{l_i} \right)} \quad (57)$$

Povrch vláken i-té komponenty

$$A_i = L_i p_i = \frac{g_i}{t_i} [pd_i(1+q)] = \frac{g_i pd_i(1+q)}{s_i r_i} = \frac{g_i pd_i(1+q)}{\frac{pd_i^2}{4} r_i} = g_i \frac{4(1+q)}{d_i r_i} = g_i a_i \quad (58)$$

Střední měrný povrch

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{1} = \sum_{i=1}^n (g_i a_i) \quad (59)$$

Podíly povrchů komponent ve směsi[5].

$$a_i = \frac{A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} = \frac{g_i a_i}{\sum_{i=1}^n (g_i a_i)} = \frac{g_i a_i}{a} = g_i \frac{a_i}{a} \quad (60)$$

3 CHARAKTERISTIKA VYBRANÝCH TEXTILNÍCH MATERIÁLŮ

Podle původu lze textilní vlákna rozdělit na

- Rostlinná (balvna, len, juta, konopí,...)
- Živočišná (vlna, přírodní hedvábí,...)
- Minerální (azbest)
- Umělá : Z přírodních polymerů (viskóza, acetát,...)
 Syntetické polymery (polyester, polyakryl,...)
 Anorganické sloučeniny (sklo, měď,...) [10].

3.1 Ovčí vlna

Ovčí vlna je textilní surovina ze srsti ovce domácí. Vlna se obvykle stříhá jednou nebo dvakrát do roka. Ostříhaná vlna se ukládá jako celistvé rouno, jehož různé části se později zařazují do určitých kvalitativních tříd.

Čisté vlákno sestává z keratinu, pigmentu a chemicky vázané vlhkosti. Z chemických prvků je 50% zastoupen uhlík, s dalšími 40% kyslík a dusík. Povrch vláken je šupinovitý.

Zvláštní struktura řetězové molekuly dává vláknu vynikající pružnost a ohebnost (E-modul). Vlna je proto téměř nemačková, ale tím také méně pevná než jiná textilní vlákna a za mokra ztrácí dalších 10-20% pevnosti.

Prakticky celá produkce vlněných vláken se zpracovává dvěma základními technologiemi:

- Česaná příze: hlavní výrobní stupně
 Mísení – mykání – česání – předpřádání – dopřádání.
- Mykaná příze: postup výroby je podstatně kratší. Z mykacího stroje vzchází přást, který se předkládá dopřádacímu stroji [11].

3.2 Fleece

Tento druh textilie se objevil na trhu v posledních letech. Je to syntetický materiál, který se svými vlastnostmi podobá vlně. Pro výrobu těchto materiálů se nejčastěji používá 100% polyester, který se zpracovává do krouceného vlákna (na jeho výrobu se používají i recyklované PET láhve). To se následně splétá a povrch textilie se drátěným kartáčem upravuje do vlasu. Takto upravený materiál má velmi dobré izolační vlastnosti jak za sucha tak i za mokra. V posledních letech se do těchto polyesterových tkanin začaly přidávat i další materiály, které zaručí pružnost (eleastomery) nebo odolnost větru a vodě (různé membrány) [12].

3.3 Flauš

Flauš je tkanina z mykané vlny s objemným, zdrsňeným vlasovým povrchem.

Vyrábí se vzájemným protkáváním dvou osnov nebo dvou útků nad sebou. Vlasový povrch se dosáhne tím, že se vlákna vyčnívající po zdrsňení nad povrchem ukládají a fixují jedním směrem na ploše tkaniny.

Tkaniny se používají na klasický dámské a panské pláště, módní saka a bundy.

Některé flauše se mylně považují za (netkané) plsti, protože povrch obou textilií je velmi podobný [13].

3.4 Plst

Plst(filc) je plošná textilie ze vzájemně zaklesnutých vláken. Prolnutí a propojení vláken se dá dosáhnout:

- Válchováním (plstění za mokra)
- Vpichováním (suchým plstěním)

Pro svoji šupinatou strukturu a pružnost jsou k plstění nejvhodnější živočišná vlákna. Umělá vlákna se zplstňují ve směsi s vlnou nebo jen vpichováním.

Plsti se vyrábějí z vlákenného rouna jako netkaná textilie nebo zplstěním povrchu tkanin a pletanin.

3.4.1 Valchovaná plst

Vlákné rouno se napouští parou, aby získalo určitou vlhkost a teplotu a potom se plstí na válcovém nebo plotýnkovém stroji. Po dosažení dostatečné hustoty se rouno valchuje. Vlastní valchování je zhušťování a zplstňování povrchu textilií tlakem, tlučením, vlhkostí a teplem na valchovacím stroji.

Způsoby valchování:

- Neutrální valchování se provádí v alkalickém prostředí mýdlem a uhličitanem sodným.
- Na kyselou valchu se používá kyselina mravenčí, octová nebo sírová. Tento postup je vhodný pro silné zplstnění, které zakryje strukturu vazby textilie.

Textilie se může valchováním srazit až o 40%.

3.4.2 Vpichovaná plst

Do rouna z textilních vláken se vpichují jehly zvláštního tvaru. Jehly jsou konstruovány tak, aby při každém vniknutí do rouna zachytily vlákna a protáhly je kolmo nebo šikmo ke směru průchodu materiálu, aby se vlákna vzájemně zauzli. Při výstupu jehel z rouna se z nich vlákna vyseknou, takže se jehly bez odporu vrátí do původní polohy. Rouno se pak případně dále zpevňuje účinkem chemikálií nebo páry.

Touto technologií se v současné době vyrábí téměř všechny plsti, protože je podstatně levnější než valchování. Jako surovina se dá použít i vlákna bez šupinatého povrchu, proto je u velké části výrobků vlna nahrazena chemickými vlákny[14].

3.5 Manšestrová tkanina

Manšestr je útkový samet stříhaný kotoučovými noži naráz po celé šířce zboží tak, že se ve směru osnovy vytváří proužky z odstávajících konců nití. Jejich hustota bývá 2-4 na centimetr.

Podkladová tkanina je většinou z bavlny. U jemných manšestrů bývá osnova také ze skané příze a vlasový útek z dlouhovlákné bavlny. Tím se dosáhne i u kratšího stříhu stejnoměrný hustý vlas.

Elastické manšestry se vyrábí s příměsí 3-5% elastenu v osnově. Jako vlasový materiál se používá také vlněná příze[15].

3.6 Plátno

Plátno je textilie, tkaná tou nejjednodušší plátěnou vazbou, prostým křížením osnovy a útku. Tuhé plátno se vyrábělo hlavně ze lnu i z konopí, dnes většinou z bavlny a z umělých vláken. Plátno bylo dlouho jediná běžně dostupná tkanin, z níž se šily šaty i prádlo. Dnes se užívá například na ložní prádlo, na výrobu stanů a plachet a také jako malířské plátno.[16]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ FREKVENČNÍ ZÁVISLOSTI KOEFICIENTU ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI VYBRANÝCH TEXTILNÍCH MATERIÁLŮ

4.1 Měřicí zařízení

4.1.1 Dvouvokonová impedanční trubice Brüel & Kjaer typ 4206 a tříkanálový PULSE multianalyzátor Brüel & Kjaer typ 3560-B-030

Dvouvokonová trubice Brüel & Kjaer se používá ke zjišťování koeficientu zvukové pohltivosti, koeficientu zvukové odrazivosti pro malé vzorky. Skládá se ze dvou trubic o průměru 100 a 30 mm umožňující měření ve frekvenčním rozsahu od 0 Hz do 1,6 kHz a od 500 Hz do 6,4 kHz. Pro samotnou analýzu využívá dvoukanálový signální analyzátor Brüel & Kjaer typ 2034. Tříkanálový PULSE multianalyzátor Brüel & Kjaer je přenosný přístroj umožňující zpracování a analýzu signálů v reálném čase ve frekvenčním rozsahu od 0 Hz do 25,6 kHz. V kombinaci s dvouvokonovou trubicí Brüel & Kjaer 4206 se používá k měření absorpčních charakteristik materiálů. V kombinaci se zdrojem vibrací Brüel & Kjaer 4810 slouží ke zjišťování přenosového útlumu, komplexního modulu pružnosti a činitele vnitřních ztrát. Používá se taky jako analyzátor hladiny zvuku.



Obr. 16. Měřicí zařízení

4.1.2 Návod na obsluhu Brüel & Kjaer trubice s obslužným programem PULSE LabShop

V prvním kroku se spustí program PULSE LabShop. Dále se v programu otevře PROJECT ve složce C:PULSE\. Zde lze spustit položku PROJECT SETUP a nastavit v programu trubicí – pro malou (small). Na trubicí je potřeba přepnout polohovač pro snímání na high-pass, případně pro velkou (large) trubicí na linear.

Druhým krokem je kalibrace měření, kdy je nutné spustit TRANSFER FUNCTION CALIBRATION. Po nastavení INVERT MIKROPHONE POSITIONS je potřeba přehodit na Kundtově trubicí mikrofony do opačných pozic a spustit START. Po ukončení této fáze kalibrace je nutné vrátit mikrofony do původních pozic a nastavit NORMAL MIKROPHONE POSITIONS a opět spustit START.

Třetím krokem je vlastní měření. Po kliknutí na MEASUREMENT je nezbytné si pojmenovat měření v položce NAME, klepnout na tlačítko ADD, což přidá měření do seznamu všech ostatních měření a spustit START. Po každém měření se důrazně doporučuje celý projekt uložit.

Čtvrtým krokem je zpracování naměřených hodnot pomocí položky POST PROCESSING, kde je možno kombinovat naměřená data na malé i velké trubicí, jelikož velká trubice měření frekvenční závislost koeficientu zvukové pohltivosti v rozmezí 0-1600 Hz a malá trubice měří tuto závislost v rozmezí 500-6400 Hz. Kombinace měření se provádí pomocí položky COMBINE a zprůměrování celkových měření jednoho materiálu je možno realizovat díky položce AVERAGE.

Pátým krokem je uložení jednotlivých závislostí do textového souboru. To se dá provést tak, že v položce MEASUREMENT, kde se zobrazují grafické závislosti jednotlivých měření se klikne pravým tlačítkem myši na požadovanou křivku a tato se uloží do textového souboru [6].

4.2 Příprava a rozměry vzorků

Pro měření závislosti koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci byly vybrány následující materiály:

- Vlna
- Fleece
- Flauš
- Manšestr
- Plátno
- Syntetická česaná pletanina s vytlačeným vzorem

Vzorky jednotlivých materiálů byly vyseknuty ocelovým nožem a bylo připraveno pět vzorků každého materiálu o průměru 100 mm a 30 mm. V dalším textu jsou uváděny průměrné hodnoty jednotlivých měření.

Tab. 6. Rozměry a hustoty vzorků

Materiál	Tloušťka vzorku (mm)	Hustota vzorku ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
Vlna	1,15	271,1
Fleece	4,07	67,4
Flauš	3,15	138,4
Manšestr	0,63	355,1
Plátno	0,42	471,9
Česaná pletanina	1,48	302,5



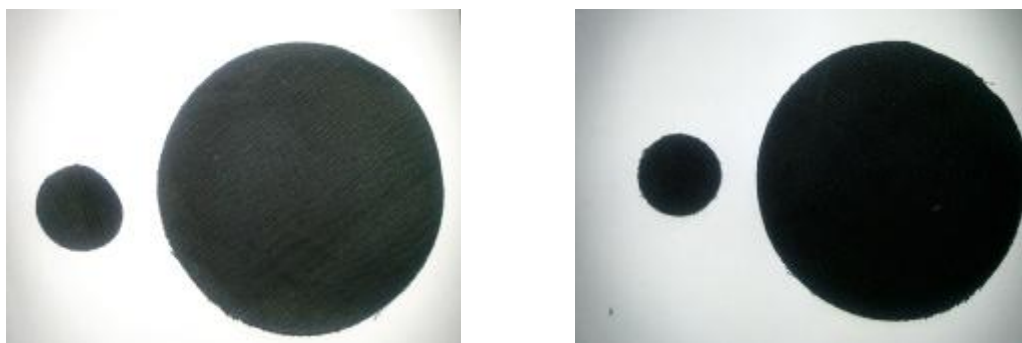
Obr. 17. Materiál vlna



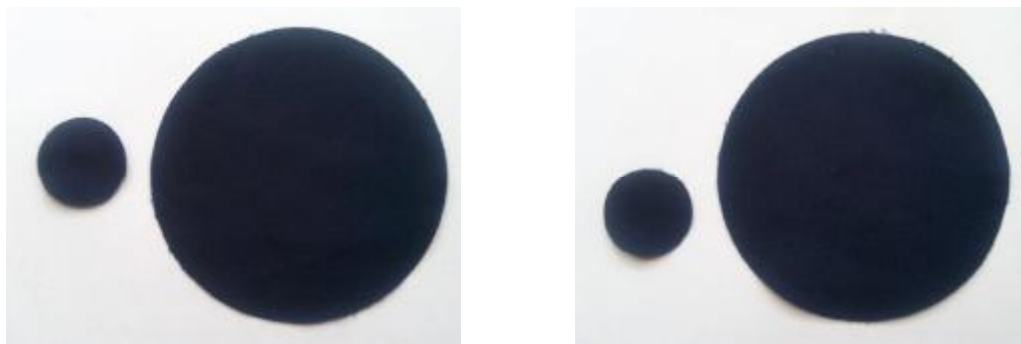
Obr. 18. Materiál fleece



Obr. 19. Materiál flauš



Obr. 20. Materiál manšestr



Obr. 21. Materiál plátno



Obr. 22. Materiál česaná pletanina

4.3 Vyhodnocení frekvenční závislosti koeficientu zvukové pohltivosti vybraných textilních materiálů

Měření koeficientu zvukové pohltivosti bylo provedeno na dvoumikrofonové impedanční trubici Brüel & Kjaer typ 4206.

Naměřené závislosti koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci jednotlivých měřených materiálů při různých tloušťkách jsou uvedeny v přílohách (Přílohy PI – PXIII).

Pro vyhodnocení akustických vlastností měřených materiálů byla uvažována frekvenční oblast 100 – 6400 Hz. Srovnání koeficientů redukce hluku jednotlivých materiálů při různých tloušťkách jsou uvedena v Tab. 7 a Tab. 8.

Tab. 7. Hodnoty NRC měřených materiálů seřazené podle materiálu

Materiál	Počet vrstev	α_{\max} [-]	NRC [-]
Vlna	1	0,167	0,03
Vlna	2	0,440	0,05
Vlna	3	0,746	0,08
Vlna	4	0,957	0,11
Vlna	5	0,979	0,15
Fleece	1	0,416	0,07
Fleece	2	0,882	0,13
Fleece	3	0,993	0,22
Fleece	4	0,995	0,33
Fleece	5	0,996	0,43
Flauš	1	0,271	0,05
Flauš	2	0,793	0,05
Flauš	3	0,989	0,17
Flauš	4	0,994	0,25
Flauš	5	0,995	0,34
Manšestr líc	1	0,390	0,04
Manšestr líc	2	0,537	0,05
Manšestr líc	3	0,696	0,08
Manšestr líc	4	0,683	0,12
Manšestr líc	5	0,682	0,16
Manšestr rub	1	0,500	0,05
Manšestr rub	2	0,594	0,06
Manšestr rub	3	0,705	0,08
Manšestr rub	4	0,671	0,12
Manšestr rub	5	0,636	0,17
Plátno	1	0,275	0,03
Plátno	2	0,417	0,04
Plátno	3	0,455	0,05
Plátno	4	0,471	0,06
Plátno	5	0,454	0,07
Česaná pletanina líc	1	0,220	0,04
Česaná pletanina líc	2	0,707	0,07
Česaná pletanina líc	3	0,984	0,11
Česaná pletanina líc	4	0,985	0,17
Česaná pletanina líc	5	0,986	0,25
Česaná pletanina rub	1	0,430	0,04
Česaná pletanina rub	2	0,859	0,08
Česaná pletanina rub	3	0,984	0,13
Česaná pletanina rub	4	0,985	0,20
Česaná pletanina rub	5	0,986	0,27

Tab. 8. Hodnoty NRC měřených materiálů seřazené podle počtu vrstev

Materiál	Počet vrstev	α_{\max} [-]	NRC [-]
Vlna	1	0,167	0,03
Plátno	1	0,275	0,03
Česaná pletanina lic	1	0,220	0,04
Česaná pletanina rub	1	0,430	0,04
Manšestr lic	1	0,390	0,04
Manšestr rub	1	0,500	0,05
Flauš	1	0,271	0,05
Fleece	1	0,416	0,07
Plátno	2	0,417	0,04
Vlna	2	0,440	0,05
Flauš	2	0,793	0,05
Manšestr lic	2	0,537	0,05
Manšestr rub	2	0,594	0,06
Česaná pletanina lic	2	0,707	0,07
Česaná pletanina rub	2	0,859	0,08
Fleece	2	0,882	0,13
Plátno	3	0,455	0,05
Vlna	3	0,746	0,08
Manšestr lic	3	0,696	0,08
Manšestr rub	3	0,705	0,08
Česaná pletanina lic	3	0,984	0,11
Česaná pletanina rub	3	0,984	0,13
Flauš	3	0,989	0,17
Fleece	3	0,993	0,22
Plátno	4	0,471	0,06
Vlna	4	0,957	0,11
Manšestr lic	4	0,683	0,12
Manšestr rub	4	0,671	0,12
Česaná pletanina lic	4	0,985	0,17
Česaná pletanina rub	4	0,985	0,20
Flauš	4	0,994	0,25
Fleece	4	0,995	0,33
Plátno	5	0,454	0,07
Vlna	5	0,979	0,15
Manšestr lic	5	0,682	0,16
Manšestr rub	5	0,636	0,17
Česaná pletanina lic	5	0,986	0,25
Česaná pletanina rub	5	0,986	0,27
Flauš	5	0,995	0,34
Fleece	5	0,996	0,43

Na základě naměřených závislostí lze říci, že nejvyšších hodnot koeficientu akustické pohltivosti v celém frekvenčním spektru vykazují materiály Fleece, Flauš a Pletanina. Lze tedy říci u těchto materiálů, že patří mezi velmi dobré akusticko-izolační materiály. Materiály Vlna a Manšestr dosahují charakteristik dobrého akusticko-izolačního a nejhorším materiálem z pohledu pohlcování akustické energie je na základě naměřených hodnot materiál Plátno.

Významným faktorem u naměřených charakteristik je tloušťka vrstvy. Proto v následujících tabulkách jsou srovnány materiály s ohledem na podobnou tloušťku tlumící vrstvy.

Tab. 9. Hodnoty NRC měřených materiálů pro tloušťku v rozmezí 1,48 – 2,3 mm

Materiál	Počet vrstev	Tloušťka vrstvy [mm]	NRC [-]
Manšestr	3	1,89	0,08
Plátno	5	2,1	0,07
Vlna	2	2,3	0,05
Pletanina	1	1,48	0,04

Tab. 10. Hodnoty NRC měřených materiálů pro tloušťku v rozmezí 2,96 – 3,45 mm

Materiál	Počet vrstev	Tloušťka vrstvy [mm]	NRC [-]
Manšestr	5	3,15	0,16
Vlna	3	3,45	0,08
Pletanina	2	2,96	0,08
Flauš	1	3,15	0,05

Tab. 11. Hodnoty NRC měřených materiálů pro tloušťku v rozmezí 5,75 – 8,14 mm

Materiál	Počet vrstev	Tloušťka vrstvy [mm]	NRC [-]
Pletanina	4	5,92	0,18
Vlna	5	5,75	0,15
Fleece	2	8,14	0,13
Flauš	1	6,3	0,05

Tab. 12. Hodnoty NRC měřených materiálů pro tloušťku v rozmezí 6,3 – 8,14 mm

Materiál	Počet vrstev	Tloušťka vrstvy [mm]	NRC [-]
Pletanina	5	7,4	0,26
Fleece	2	8,14	0,13
Flauš	1	6,3	0,05

Z uvedených výsledků vyplývá, že pro tloušťku v rozmezí 1,48 – 2,3 mm (Tab. 9) nejvyšší hodnoty koeficientu redukce hluku má materiál Manšestr, který při tloušťce 1,89 mm měl hodnotu NRC 0,08. Pro tloušťku v rozmezí 2,96 – 3,45 mm (Tab. 10) vykazoval nejvyšší hodnotu koeficientu redukce hluku také materiál Manšestr, kdy pro tloušťku vrstvy 3,15 mm měl hodnotu NRC 0,16. Pro tloušťku v rozmezí 5,75 – 8,14 mm (Tab. 11.) dosahoval nejvyšší hodnotu koeficientu redukce hluku materiál Pletanina, který při tloušťce vrstvy 5,92 mm měl hodnotu NRC 0,18. Pro tloušťku v rozmezí 6,3 – 8,14 mm (Tab. 12) vykazoval nejvyšší hodnotu koeficientu redukce hluku také materiál Pletanina, kdy pro tloušťku vrstvy 7,4 mm měl hodnotu NRC 0,26.

Z pohledu tloušťky vrstvy materiálu lze tedy konstatovat, že materiál Manšestr vykazuje nejlepší akusticko-izolační vlastnosti ve frekvenčním spektru od 250-2000 Hz, což je pro

lidský sluch nejvýznamnější oblast. Při pohledu na celou frekvenční oblast (Přílohy PIII a PIV) je u materiálu Manšetr patrné, že při pohlcování akustické energie se nemění výrazně závislost koeficientu akustické energie na frekvenci podle počtu vrstev, ale rozhodujícím faktorem je morfologie povrchu tohoto materiálu.

Studované materiály nepatří v běžné praxi mezi typicky akusticko-izolační, ale spíše se používají pro dekorativní účely v interiérech. Významným aspektem při aplikaci textilních materiálů je jejich dobrá zpracovatelnost, lehkost a v mnoha případech ekonomická dostupnost.

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývá závislostí akustické pohltivosti na tloušťce vrstvy vybraných textilních materiálů.

V teoretické části je zpracována problematika rozdělení akustiky, sluchového orgánu a problematika akustického vlnění se zaměřením na akustiku prostorovou. Dále je v této části věnována celá kapitola plošným textilním materiálům, kde jsou zpracovány poznatky z oblasti typů plošných textilií a vlastnosti plošných textilií. V poslední kapitole teoretické části jsou charakterizovány jednotlivé textilní materiály, které byly vybrány pro měření a vyhodnocení.

Pro měření a vyhodnocení byly vybrány materiály vlna, fleece, flauš, manšestr, plátno a syntetická česaná pletanina s vytlačovaným vzorem. Měření bylo provedeno na dvoumikrofonové impedanční Kundtově trubici společnosti Brüel&Kjaer v rozsahu 16 – 6400 Hz. Pro vyhodnocení a výpočet koeficientu redukce hluku bylo uvažováno frekvenční rozmezí 100 – 6400 Hz. Byla vyhodnocena závislost mezi akustickou pohltivostí a tloušťkou vrstvy.

Na základě naměřených závislostí lze říci, že nejvyšších hodnot koeficientu akustické pohltivosti v celém frekvenčním spektru vykazují materiály Fleece, Flauš a Pletanina. Lze tedy říci u těchto materiálů, že patří mezi velmi dobré akusticko-izolační materiály. Materiály Vlna a Manšestr dosahují charakteristik dobrého akusticko-izolačního a nejhorším materiálem z pohledu pohlcování akustické energie je na základě naměřených hodnot materiál Plátno.

Významným faktorem u naměřených charakteristik je tloušťka vrstvy. Z pohledu tloušťky vrstvy materiálu lze tedy konstatovat, že materiál Manšestr vykazuje nejlepší akusticko-izolační vlastnosti ve frekvenčním spektru od 250-2000 Hz, což je pro lidský sluch nejvýznamnější oblast. U materiálu Manšetr je patrné, že při pohlcování akustické energie se nemění výrazně závislost koeficientu akustické energie na frekvenci podle počtu vrstev, ale rozhodujícím faktorem je morfologie povrchu tohoto materiálu.

Studované materiály nepatří v běžné praxi mezi typicky akusticko-izolační, ale spíše se používají pro dekorativní účely v interiérech. Významným aspektem při aplikaci textilních materiálů je jejich dobrá zpracovatelnost, lehkost a v mnoha případech ekonomická dostupnost.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Monografie:

- [1] Skotnicová I., Řezáč M., Vaverka J.: Stavíme, odhlučnění staveb. Brno (2006). 1. vydání. (ISBN 80-7366-070-9).
- [2] Jirůček O.: Úvod do akustiky. Učební texty vysokých škol. ČVUT Praha (2002), 1-146. 1. vydání. (ISBN 80-01-02460-1).
- [3] Schroeder M.R., *Springer Handbook of Acoustics*, Stürtz AG Würzburg (2007), ISBN 0-387-30446-5
- [4] Staněk J.: Nauka o textilních materiálech. Část 4. Vlastnosti délkových a plošných textilií, 1988.
- [5] Neckář B.: Morfologie a strukturní mechanika obecných vláknitých útvarů. Technická univerzita v Liberci (2001). 2. vydání. (ISBN 80-7083-473-0).
- [6] Hostačná P.: „*Studium akustických vlastností vybraných textilních materiálů*“. Bakalářská práce FT UTB 2008, 70 stran.

Internetové odkazy:

- [7] Wikipedia: Akustika, [online], [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Akustika>
- [8] Seminární práce: Akustika [online], [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: <http://www.steiner.cz/david/akustika/#mechv>
- [9] Přednášky Fyzika UTB [online], [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: http://fyzika.ft.utb.cz/prednasky/F2_04%20akustika.pdf
- [10] Wikipedia: Textilie, [online], [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Textilie>
- [11] Wikipedia: Ovčí vlna, [online], [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Ov%C4%8D%C3%AD_vlna
- [12] Příroda: Fleece, [online], [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: <http://www.priroda.cz/clanky.php?detail=306>

- [13] Wikipedia: Flauš, [online], [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Flau%C5%A1>
- [14] Wikipedia: Plst, [online], [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Plst>
- [15] Wikipedia: Manšestrová tkanina, [online], [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Man%C5%A1estr>
- [16] Wikipedia: Plátno, [online], [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A1tno>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

λ	vlnová délka (m)
v	rychlost postupného vlnění ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
T	perioda (s)
f	frekvence kmitání (Hz)
Y	okamžitá výchylka (m)
y_m	maximální výchylka (m)
t	čas (s)
x	vzdálenost postupu vlnění (m)
n	index lomu (-)
c	rychlost vlnění ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
P	akustický výkon zdroje (W)
S	celková uzavřená plocha, povrch stěn (m^2)
I	intenzita zvuku ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)
L_I	hladina intenzity zvuku (dB)
p	efektivní hodnota akustického tlaku zvuku (Pa)
Z	vlnový odpor prostředí ($\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$)
V	objem prostoru (m^3)
W	výkon vyzařovaný zdrojem (W)
W_a	energie pohlcovaná stěnami (J)
e	hustota zvukové energie v prostoru
α	činitel zvukové pohltivosti
I_0	intenzita na počátku ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)
W_i	energie dopadající (J)
d	průměr nitě jedné soustavy (m)

p	rozteč nití druhé soustavy (m)
θ	úhel provázání ($^{\circ}$)
l	délka nitě mezi vaznými body (m)
D	tloušťka tkaniny (m)
h	výška vlny nitě (m)
C	poměr zvlnění (-)
Z	obloučkovitost nitě
ρ_{vlk}	měrná hmotnost vláken ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
ρ_v	objemová měrná hmotnost plošné textilie ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
m	hmotnost textilie (kg)
$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$	měrná hmotnost H_2O při 20°C ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
t	jemnost vlákna (Mtex)
d	ekvivalentní průměr vlákna (m)
a	měrný povrch vláken (m^2)
Λ	štíhlost vlákna (m)
λ	zaobloučkování
σ	Tahové napětí ve vlákně (N/m)

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Ukázka Dopplerova jevu: (a) zdroj je v klidu, (b) zdroj se pohybuje směrem k detektoru (počet vlnoploch musí zůstat stejný), (c) zdroj se pohybuje opačným směrem než vlněn.</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 2. Akustická spektra zvuku.....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 3. Akustický výkon zdroje</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 4. Sluchový orgán</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 5. Odraz paprsků do rovinné stěny</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 6. Odraz paprsků od a) vyduté a b)vypuklé stěny.....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 7. Šíření paprsků v sále</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 8. Příklad vypočtených módů pro pravoúhlý prostor</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 9. Závislost činitele útlumu na vlhkosti podle Knudsena.....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 10. Odraz a průchod zvuku stěnou.....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 11. Tkanina (plátno) v řezu</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 12. Závislost mezi úhlem provázání.....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 13. Vazné body.....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 14. Tvar oka v pletanité.....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 15. Vlákno.....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 16. Měřicí zařízení</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 17. Materiál vlna</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 18. Materiál fleece</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 19. Materiál flauš</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 20. Materiál manšestr</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 21. Materiál plátno</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 22. Materiál česaná pletanina.....</i>	<i>55</i>

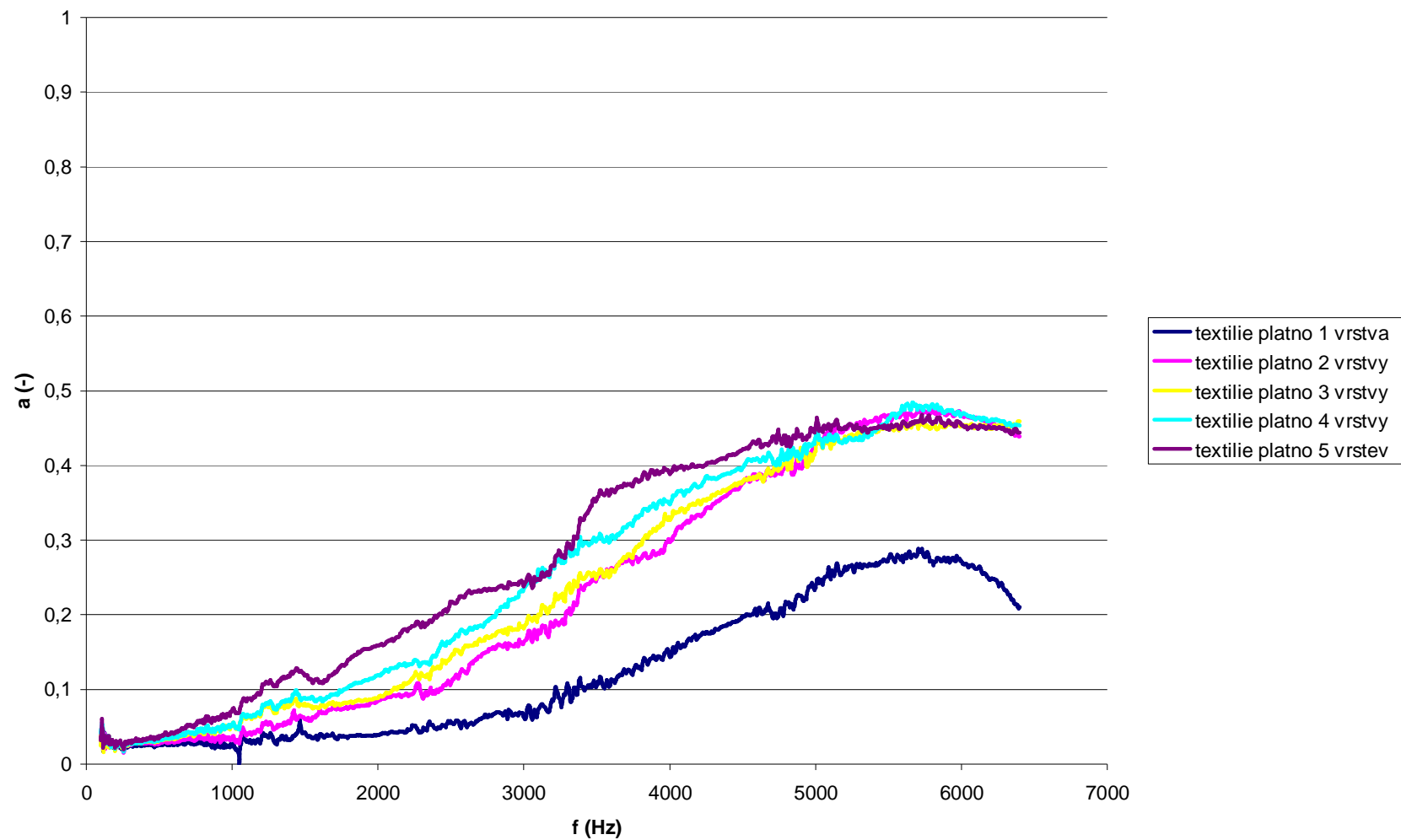
SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Rychlosti šíření zvuku ve vybraných látkách</i>	17
<i>Tab. 2. Hlukové hladiny vyskytující se ve venkovním prostředí</i>	19
<i>Tab. 3. Koeficienty absorpce pro tón 512 Hz.....</i>	32
<i>Tab. 4. Hustoty vybraných vláken.....</i>	39
<i>Tab. 5. Štíhlost vybraných vláken</i>	41
<i>Tab. 6. Rozměry a hustoty vzorků</i>	53
<i>Tab. 7. Hodnoty NRC měřených materiálů seřazené podle materiálu</i>	56
<i>Tab. 8. Hodnoty NRC měřených materiálů seřazené podle počtu vrstev.....</i>	57
<i>Tab. 9. Hodnoty NRC měřených materiálů pro tloušťku v rozmezí 1,48 – 2,3 mm.....</i>	58
<i>Tab. 10. Hodnoty NRC měřených materiálů pro tloušťku v rozmezí 2,96 – 3,45 mm.....</i>	58
<i>Tab. 11. Hodnoty NRC měřených materiálů pro tloušťku v rozmezí 5,75 – 8,14 mm.....</i>	59
<i>Tab. 12. Hodnoty NRC měřených materiálů pro tloušťku v rozmezí 6,3 – 8,14 mm.....</i>	59

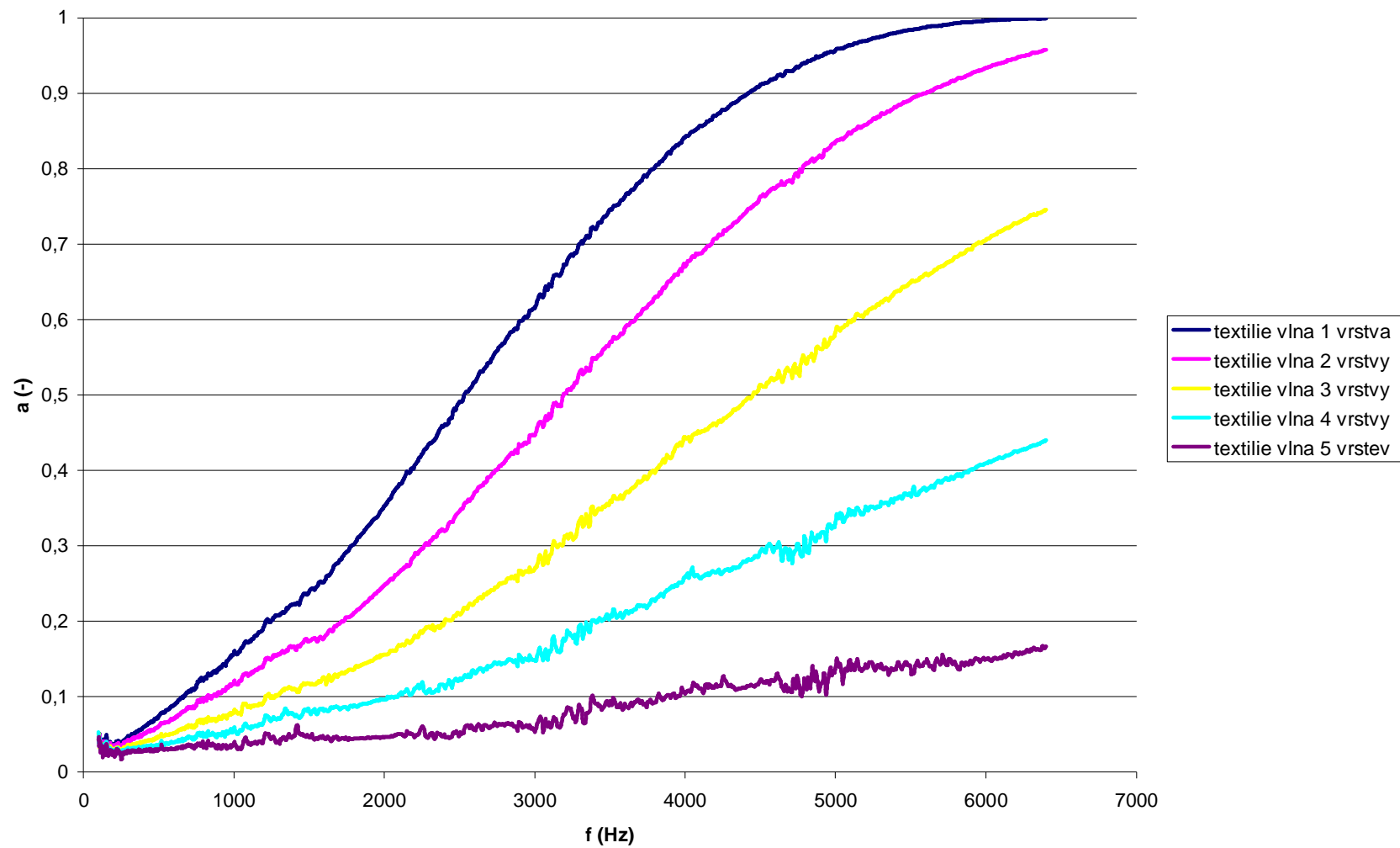
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro materiál plátno.....	69
Příloha P II: Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro materiál vlna.....	70
Příloha P III: Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro materiál manšestr lic	71
Příloha P IV: Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro materiál manšestr rub.....	72
Příloha P V: Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro materiál pletanina lic.....	73
Příloha P VI: Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro materiál pletanina rub	74
Příloha P VII: Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro materiál flauš.....	75
Příloha P VIII: Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro materiál fleece	76
Příloha P IX: Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro všechny vybrané materiály: 1 vrstva.....	77
Příloha P X: Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro všechny vybrané materiály: 2 vrstvy.....	78
Příloha P XI: Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro všechny vybrané materiály: 3 vrstvy.....	79
Příloha P XII: Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro všechny vybrané materiály: 4 vrstvy.....	80
Příloha P XIII: Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro všechny vybrané materiály: 5 vrstev	81

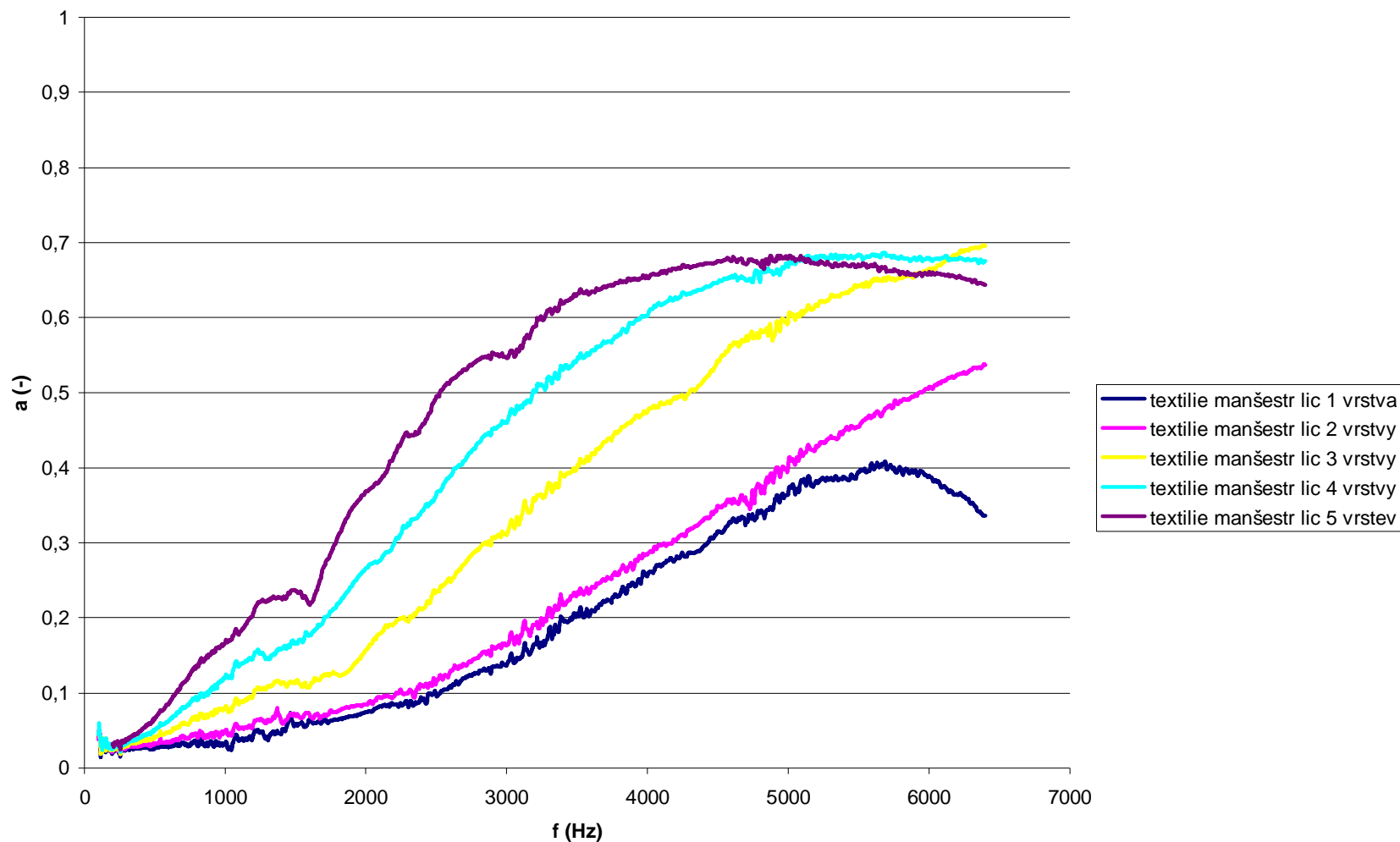
Příloha P I: Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro materiál plátno



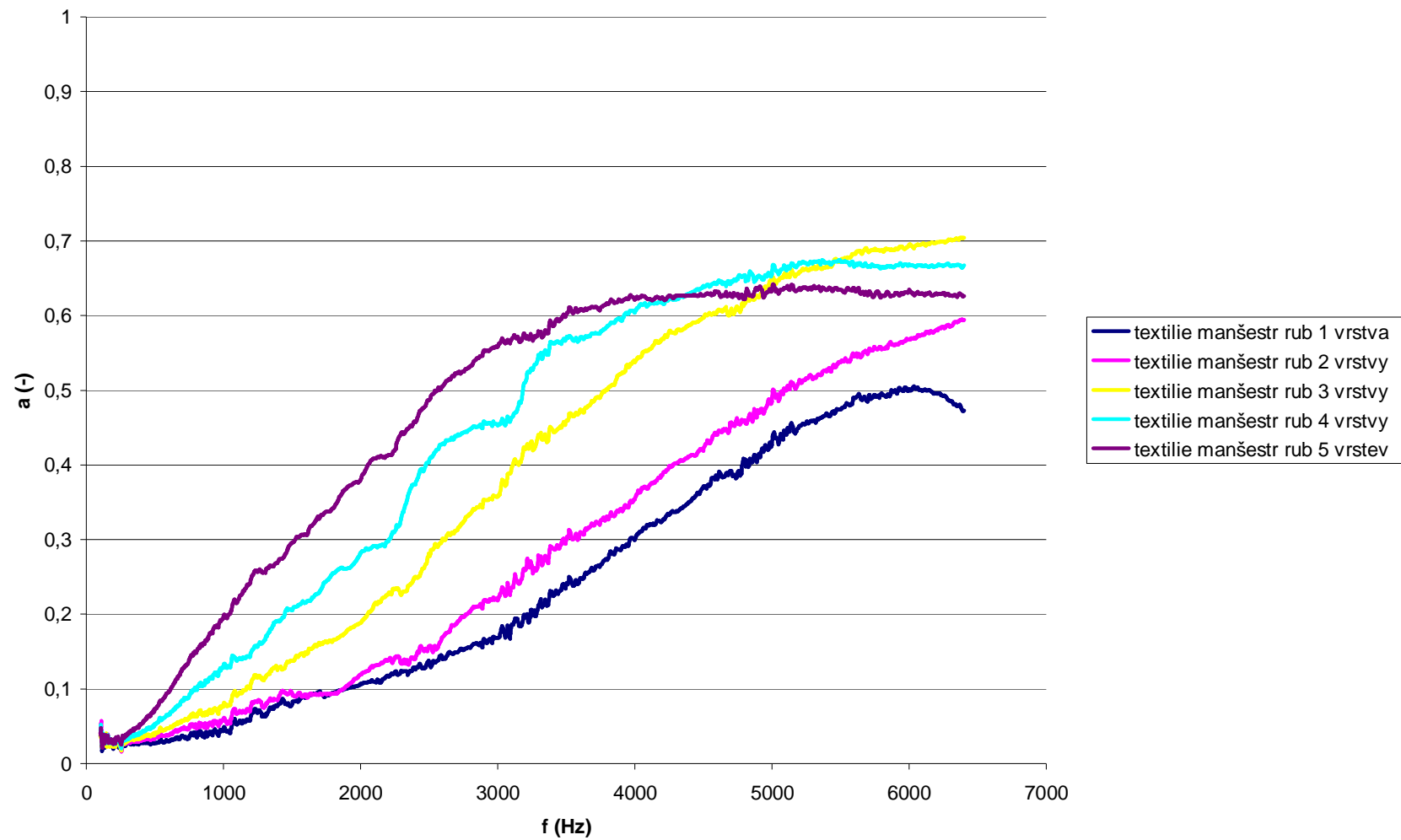
Příloha P II: Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro materiál vlna



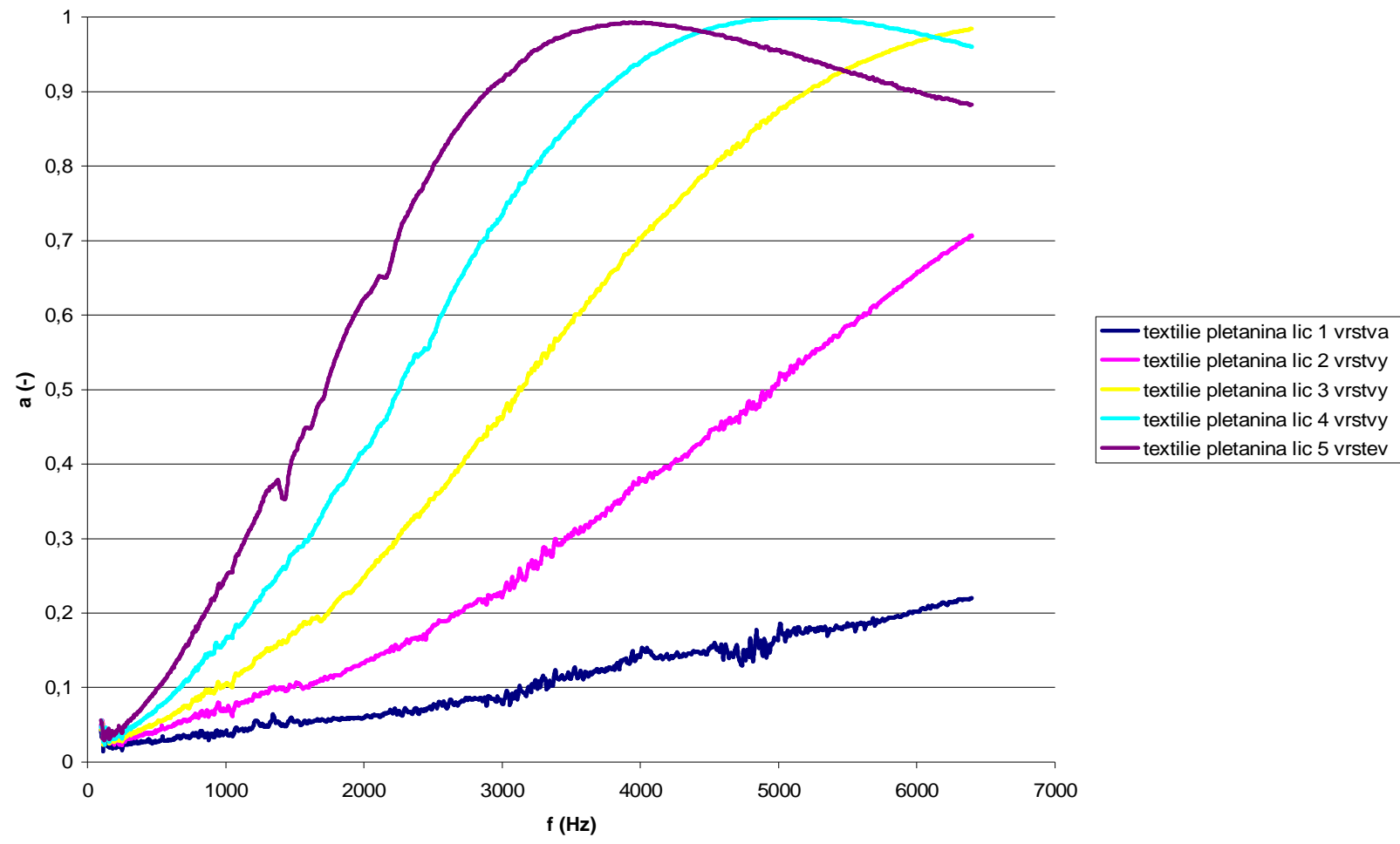
Příloha P III: Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro materiál manšestr lic



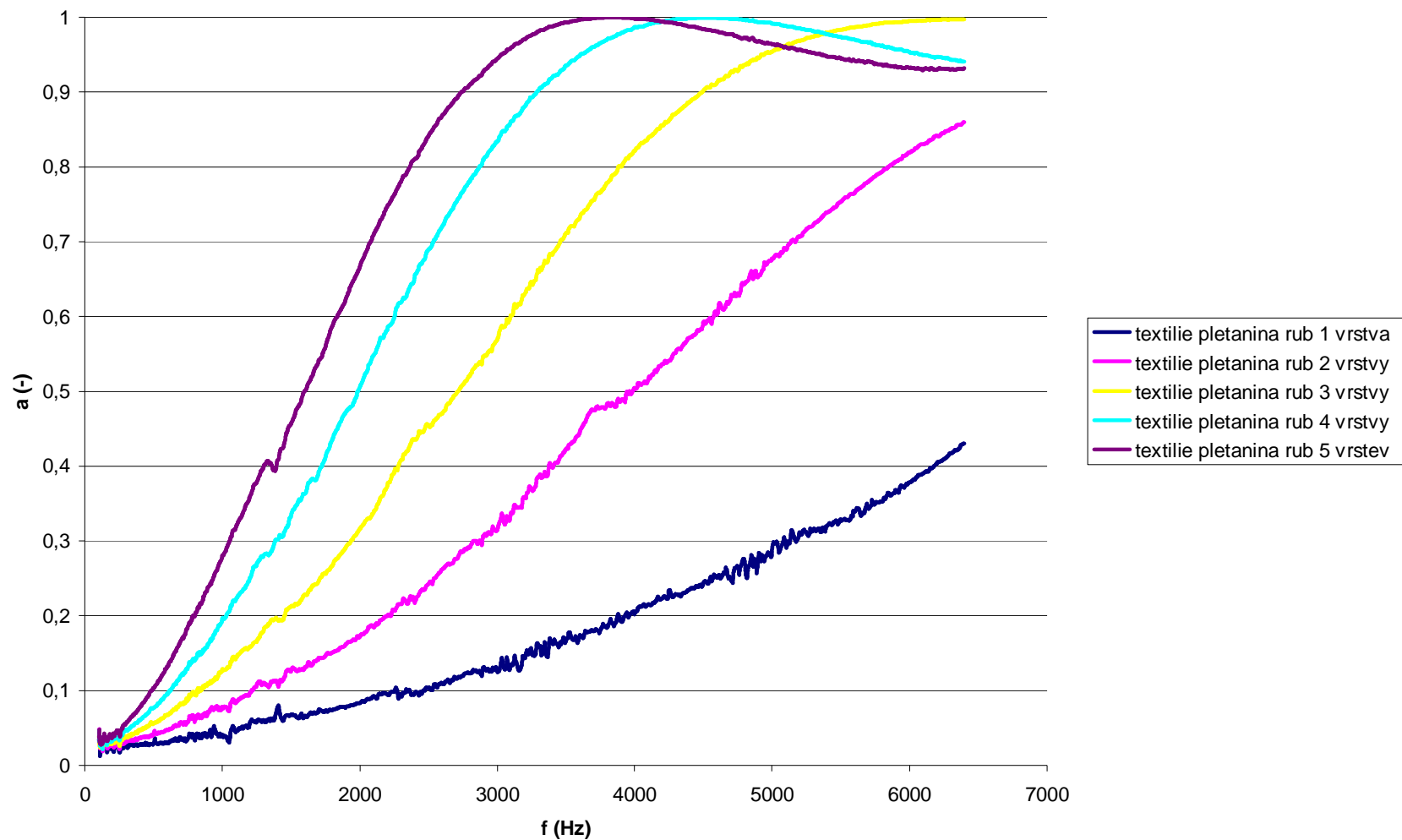
Příloha P IV: Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro materiál manšestr rub



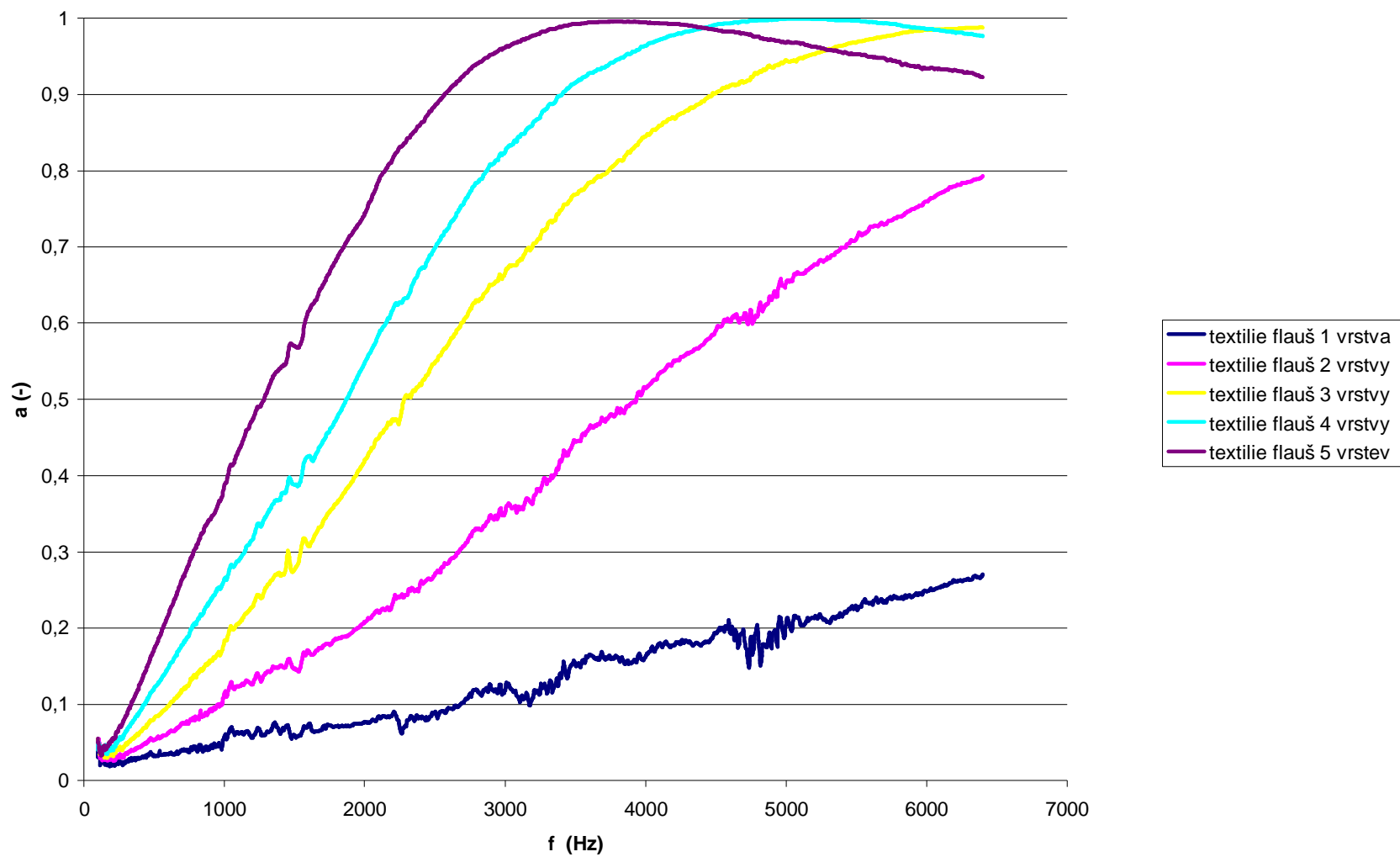
Příloha P V: Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro materiál pletanina lic



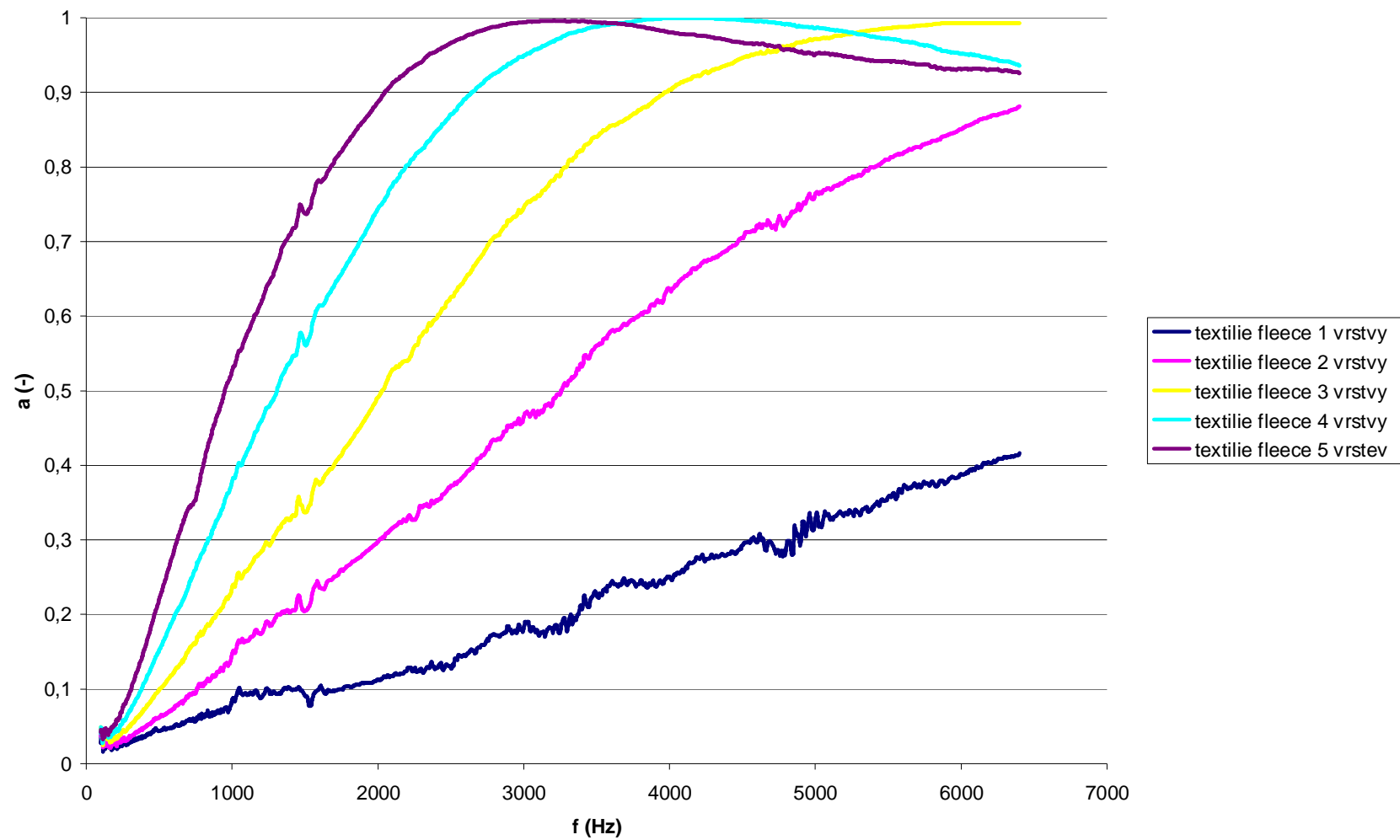
Příloha P VI: Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro materiál pletanina rub



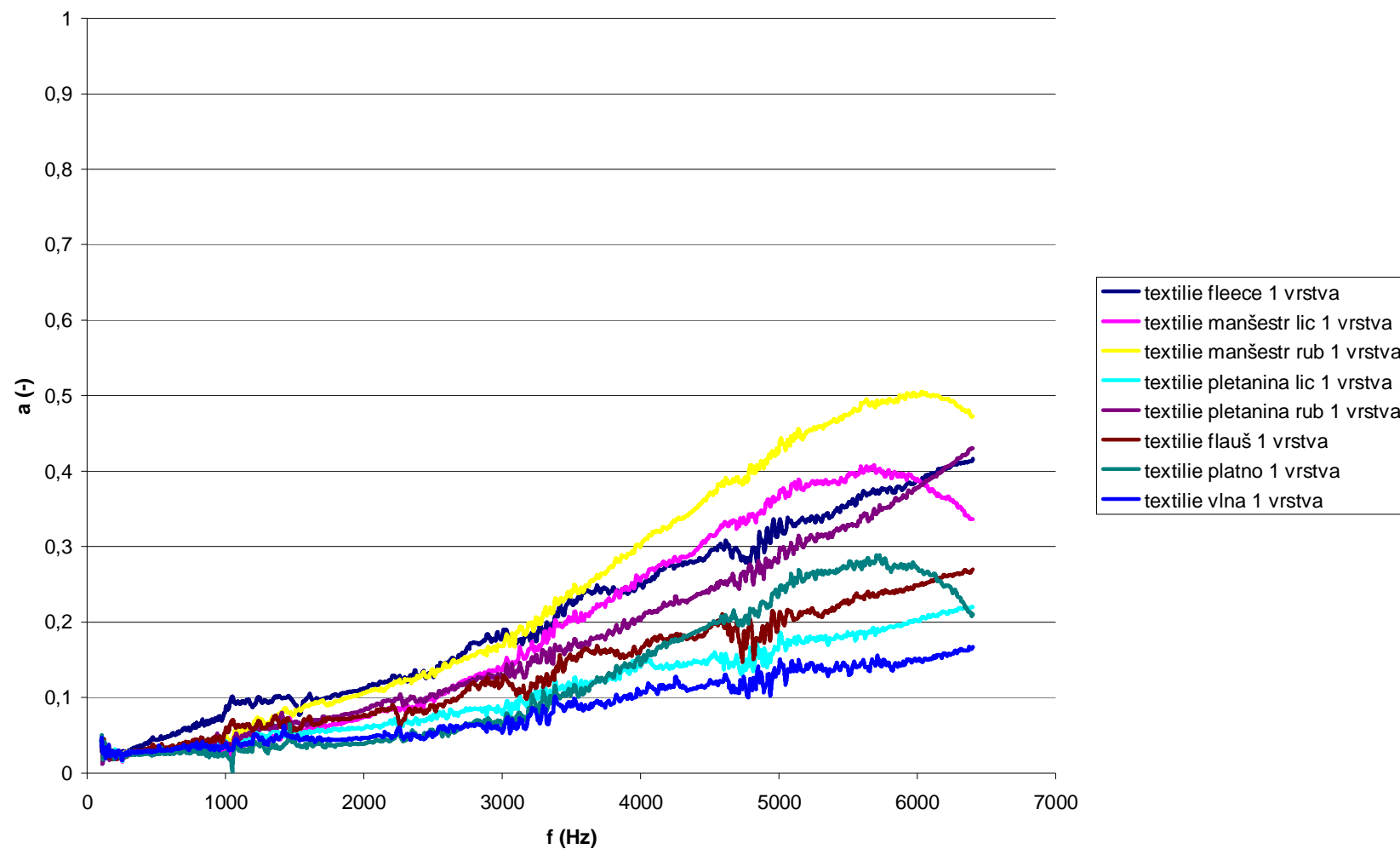
Příloha P VII: Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro materiál flauš



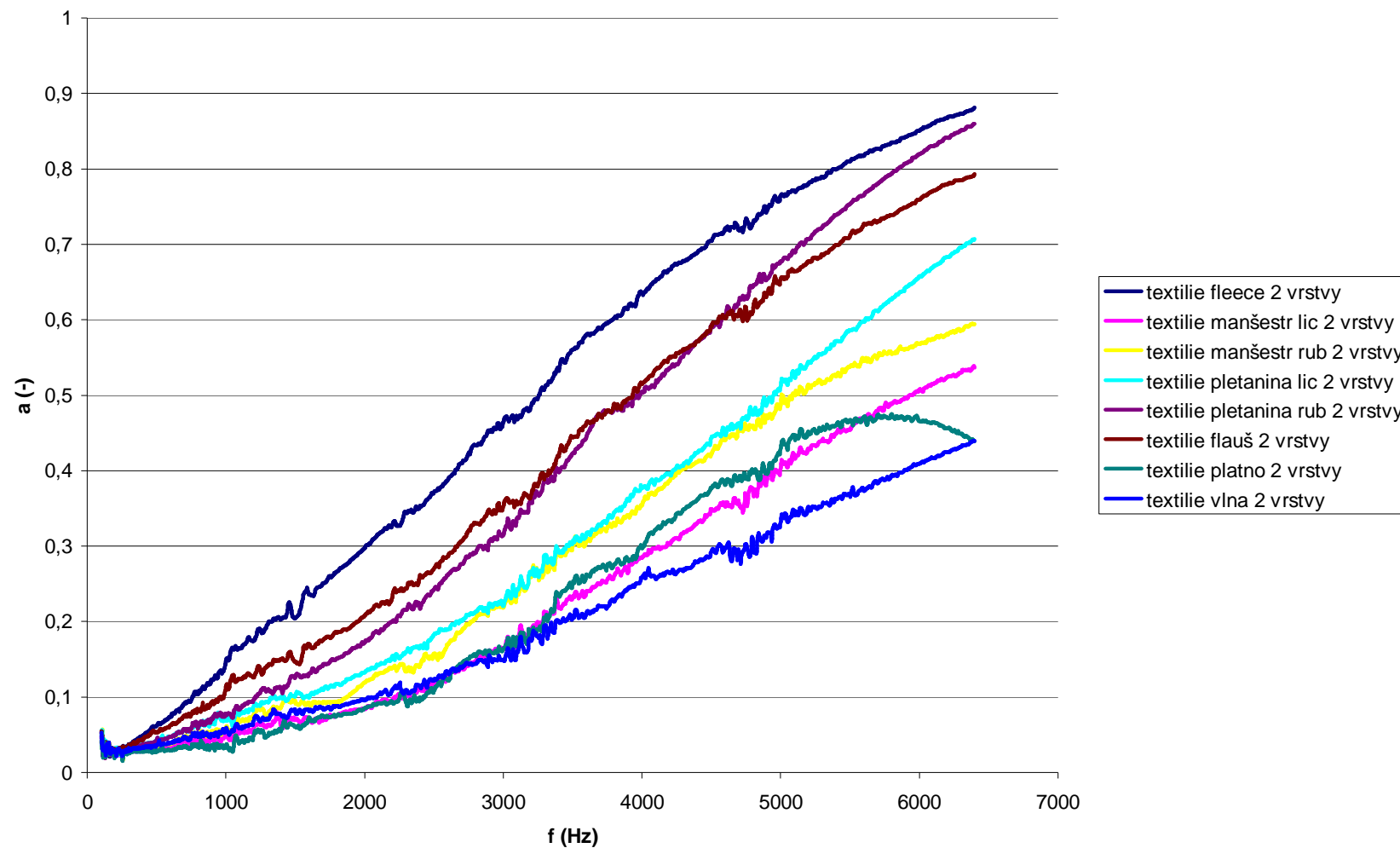
Příloha P VIII: Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro materiál fleecce



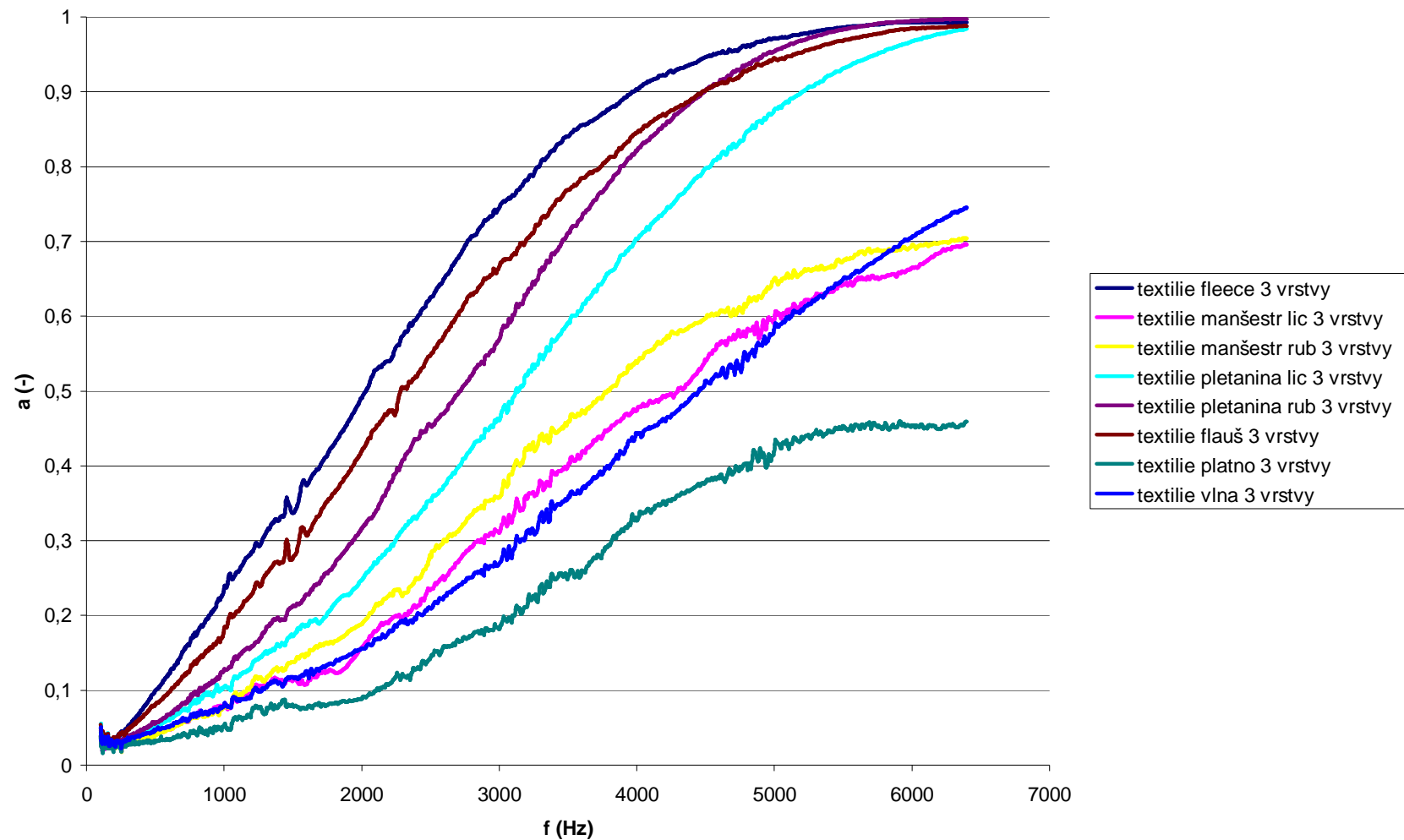
Příloha P IX: Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro všechny vybrané materiály: 1 vrstva



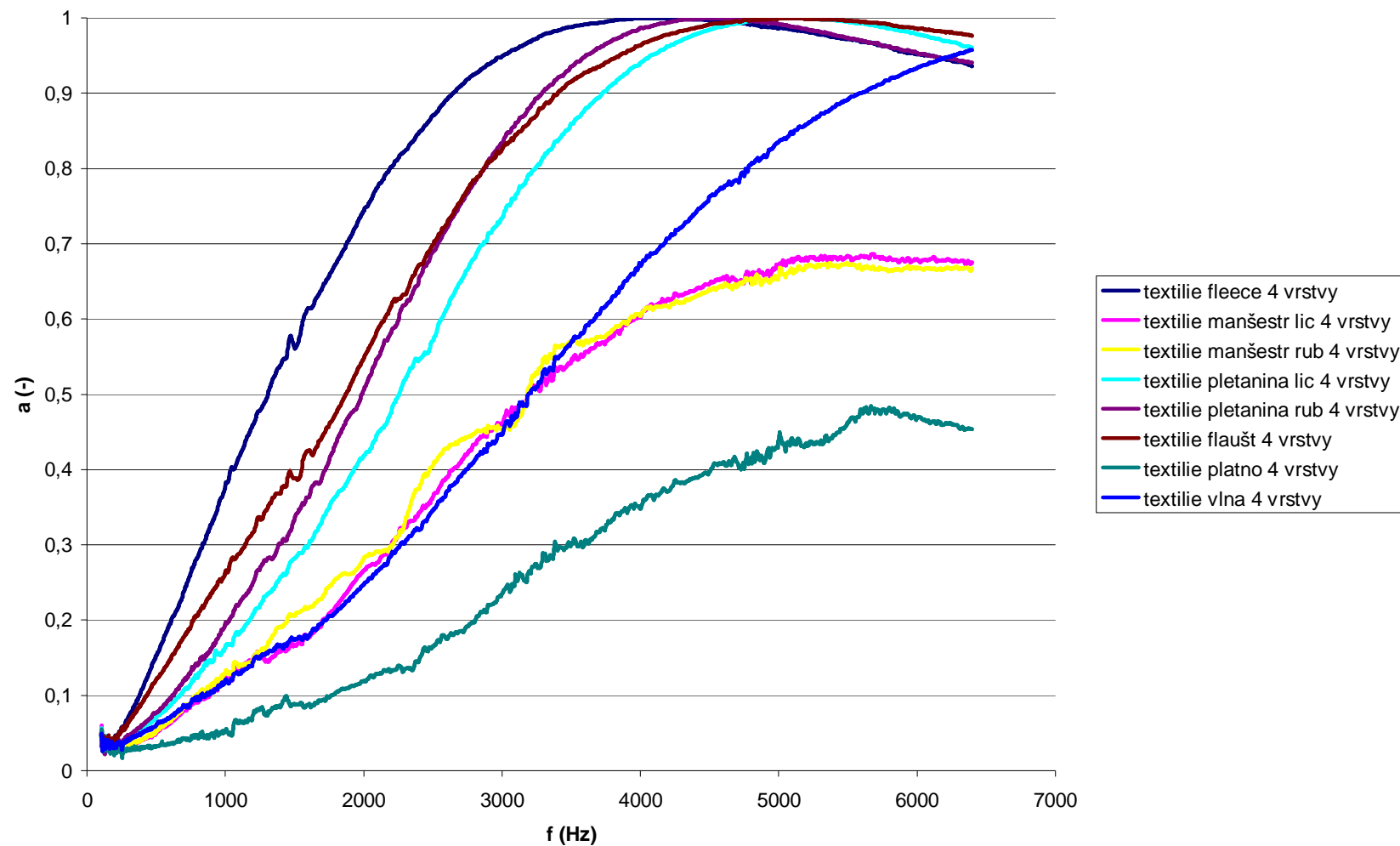
Příloha P X: Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro všechny vybrané materiály: 2 vrstvy



Příloha P XI: Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro všechny vybrané materiály: 3 vrstvy



Příloha P XII: Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro všechny vybrané materiály: 4 vrstvy



Příloha P XIII: Grafická závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro všechny vybrané materiály: 5 vrstev

