

Akustické vlastnosti polyuretanů a skelných tkanin v sendvičové struktuře

Bc. Veronika Struhařová

Diplomová 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 DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Veronika STRUHAŘOVÁ**

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

Studijní obor: **Materiálové inženýrství**

Téma práce: **Akustické vlastnosti polyuretanů a skelných tkanin v sendvičové struktuře**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do akustických veličin.
2. Teoretické zpracování materiálové struktury polyuretanů a skelných tkanin (vlastnosti, výhody, nevýhody a využití v praxi).
3. Charakterizace vybraných vzorků polyuretanů a skelných tkanin.
4. Měření vybraných akustických veličin za přítomnosti vybraných vzorků.
5. Vyhodnocení získaných dat a doporučení pro praktické využití.



Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. **JANČÁŘ J; Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů, Brno 2003 80-214-2443-5.**
2. **LAPČÍK L Jr.; RAAB M; Nauka o materiálech II, Zlín 2001 ISBN 80-238-6527-7.**
3. **VAVERKA J; KOZEL V; LADYŠ L; LIBERKO M; CHYBIK J; Stavební akustika 1, VUT v Brně, Brno 1998, ISBN 80-214-1283-6.**
4. **NOVÝ R; Hluk a chvění, ČVUT 2000, ISBN 80-01-02246-3.**
5. **KLEMPNER D; FRISCH K; Polymeric foams, NY, ISBN 3-446-15097-8.**

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martin Juříčka, Ph.D.

Ústav fyziky a mater. inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

15. února 2010

Termín odevzdání diplomové práce:

19. května 2010

Ve Zlíně dne 15. února 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.

děkan



Mgr. Aleš Mráček, Ph.D.

vedoucí katedry

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá novou technikou kombinací materiálů, které jsou vhodné zejména pro automobilový a letecký průmysl. Podstatou DP je realizace sendvičové struktury z materiálů na bázi polyuretanu a skelného vlákna. Pro aplikace v automobilovém a zejména v leteckém průmyslu je velmi důležitá hořlavost materiálů z hlediska bezpečnosti. Z hlediska použitelné akustické izolace jsou kombinace materiálů v dnešní době poměrně žádoucí, protože vývoj samostatného materiálu není tak nákladný. DP se zabývá jednak akustickou, ale také nehořlavou možností materiálů, které by byly kombinací polyuretanu a skelné vaty, která slouží jako velmi dobrý tepelný a žáruvzdorný izolant.

Klíčová slova:

Polyuretan, skelné vlákno, akustická pohltivost, nehořlavost

ABSTRACT

This thesis is focused in the new techniques for combination materials for automotive and aerospace industry. The basic idea of thesis is realization new type of sandwiches structure based on polyurethanes and fiber glasses. For the automotive and aerospace industry is very important is non-flammability materials according to safety. In terms of using acoustic insulation are the combinations of materials very well for new application. The research of new type materials is very expensive. The thesis is focused in the acoustics and non-flammability properties of materials and their combination based on polyurethane and fiber glasses. In this case is the fiber glasses used as anti flammable material.

Keywords:

Polyurethanes, fiber glasses, sound absorption, non-flammability

Poděkování

Ráda bych tímto poděkovala vedoucímu mé diplomové práce Ing. Martinu Juříčkovi, Ph.D. za ochotu, cenné rady a trpělivost s jakou mně při tvorbě diplomové práce vedl.

Také mé poděkování patří firmě UNIQUE Textiles, s.r.o., která mi umožnila návštěvu provozu, jeho následné nafocení a poskytla tkaniny na praktickou část.

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

Ve Zlíně

.....

Podpis studenta

Příjmení a jméno:

Obor:

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně

.....

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 vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

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

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

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo 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	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 AKUSTIKA	13
1.1 ZÁKLADNÍ POJMY V AKUSTICE	13
1.1.1 Zvuk	13
1.1.2 Hluk.....	14
1.2 ZVUK A ČLOVĚK	15
1.2.1 Vnímání zvuku	15
1.2.2 Vliv hluku na životní prostředí a na člověka.....	16
1.3 ZÁKLADNÍ VELIČINY V AKUSTICE	17
1.3.1 Vlnová délka; λ [m].....	17
1.3.2 Akustický tlak; p [Pa].....	18
1.3.3 Rychlost šíření akustických vln; c [m/s]	19
1.3.4 Akustická rychlost; v_a [m/s]	21
1.3.5 Akustický výkon; P [W].....	22
1.3.6 Akustická intenzita; I [W/m ²]	22
1.3.7 Měrná akustická impedance prostředí; Z [N.s/m ³].....	23
1.4 DECIBELOVÉ VELIČINY	24
1.5 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI ŠÍŘENÍ ZVUKU	25
1.5.1 Absorpce zvuku ve vzduchu	26
1.5.2 Zvuk na rozhraní fází	26
1.5.3 Pohlcování zvuku	30
1.5.4 Snižování hluku.....	31
1.5.5 Výpočet hladiny vnitřního hluku.....	32
1.5.6 Základní konstrukční typy zvukově a vibračně pohltivých materiálů.....	38
1.5.7 Akustické materiály ve stavbě letadel	39
2 PÓROVITÉ SOUSTAVY	41
2.1 PÓROVITÉ MATERIÁLY	41
2.1.1 Polyuretany.....	42
2.2 VLASTNOSTI PÓROVITÝCH AKUSTICKÝCH MATERIÁLŮ	45
2.2.1 Poróznost, Y [-]	47
2.2.2 Umístění vzorků v Kundtově trubici.....	48
3 PRŮMYSLOVÉ VYUŽITÍ	50
4 VÝSTUŽE (VLÁKNA, TKANINY, ROHOŽE)	51
4.1 SKLENĚNÁ VLÁKNA.....	52
4.2 KEVLAROVÉ VLÁKNA	54
5 HOŘENÍ MATERIÁLŮ	57

5.1	HOŘENÍ	57
5.2	HOŘLAVOST	57
5.2.1	Test hořlavosti	58
5.2.2	Hořlavost materiálů použitých v interiérech vozidel	58
5.2.3	Příprava vzorků a testování	58
5.3	BUNSENŮV HOŘÁK	60
II	PRAKTICKÁ ČÁST	62
6	POPIS POLYURETANŮ	63
6.1	POLYURETAN BÍLÝ CRHM - (PUR B.)	63
6.2	POLYURETAN ZELENÝ HR3836 - (PUR Z.)	63
6.3	POLYURETAN RECYKL - (PUR R.)	64
6.4	POLYURETAN PANTERA 100 - (PUR P.)	64
6.5	POLYURETAN ČERNÝ S35 - (PUR Č.)	65
7	POPIS TKANIN	66
7.1	FOTKY Z VÝROBY TKANIN FIRMY UNIQUE TEXTILES, S.R.O.	66
7.2	TKANINA ČERNÁ I. - (TK.I.)	67
7.3	TKANINA ČŽB – (TK.ČŽB.)	67
7.4	TKANINA ČERNÁ II. – (TK.II.)	67
7.5	TKANINA BÍLÁ UTE 140P/100 – (TK.140)	68
7.6	TKANINA BÍLÁ UTE 220P – (TK.220)	68
8	POPIS MĚŘENÍ	69
8.1	VZORKY MATERIÁLŮ POUŽITÉ K MĚŘENÍ	69
8.2	POUŽITÉ MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ A METODY MĚŘENÍ	71
8.2.1	Měření činitele zvukové pohltivosti	71
8.2.2	Prostředí PULSE	73
8.2.3	Vzorové hodnoty tkanin a hmotnosti tkanin	75
8.3	POSTUP MĚŘENÍ NASÁKAVOSTI POLYURETANŮ	75
8.3.1	Naměřené hmotnosti vysušených a mokrých polyuretanů	76
8.4	POSTUP MĚŘENÍ HOŘLAVOSTI S BUNSENOVÝM KAHANEM	76
8.4.1	Zkoušky ohněm	76
8.4.2	Měřicí zařízení	77
8.5	ZNAČENÍ VZORKŮ	85
8.6	NAMĚŘENÉ HODNOTY AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI A ODRAZIVOSTI	86
8.6.1	Měření koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro všechny PUR (mokrý vs. suchý)	86
8.6.2	Měření koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti bez tkaniny	89
8.6.3	Měření koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR a tkaninu ČERNÁ I.	90

8.6.4	Měření koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR a tkaninu ČŽB	91
8.6.5	Měření koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR a tkaninu ČERNÁ II	92
8.6.6	Měření koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR a tkaninu BÍLÁ UTE 140P/100.....	93
8.6.7	Měření koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR a tkaninu BÍLÁ UTE 220P	94
8.6.8	Měření kombinací zvukové pohltivosti a odrazivosti pro tkaninu ČERNÁ I	95
8.6.9	Měření kombinací zvukové pohltivosti a odrazivosti pro tkaninu ČŽB	99
8.6.10	Měření kombinací zvukové pohltivosti a odrazivosti pro tkaninu ČERNÁ II	103
8.6.11	Měření kombinací zvukové pohltivosti a odrazivosti pro tkaninu BÍLÁ UTE 140P/100.....	107
8.6.12	Měření kombinací zvukové pohltivosti a odrazivosti pro tkaninu BÍLÁ UTE 220P	111
ZÁVĚR		115
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		117
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		120
SEZNAM OBRÁZKŮ		124
SEZNAM TABULEK.....		131

ÚVOD

Polyuretany patří již několik desítek let k jednomu z nejběžnějších materiálů, co se týče využitelnosti v nábytkářském průmyslu, lékařství (rehabilitační pomůcky) nebo pro praktické aplikace v oblasti izolací. Velkou výhodou polyuretanů jako takových je jejich hmotnost, a ve spojitosti s akustickými vlastnostmi lze tento druh materiálu využít pro akustickou izolaci jak budov, tak mechanických částí různých strojů nebo dopravních prostředků. Dopravní prostředky, které jsou v dnešní době základním druhem dopravy pro lidstvo, musí vykazovat jistý komfort, ale hlavně bezpečnost. Pokud budeme uvažovat spojitost dopravních prostředků a polyuretanů, tak se jedná zejména o akustickou izolaci motorových nebo mechanických částí, ale také o polstrování interiéru. Akustická izolace musí splňovat určitá kritéria, která jsou z hlediska komfortu uvnitř kabin stěžejní pro průmyslové využití. Mezi hlavní požadavky na aplikovaný materiál patří: cena, bezpečnost (nehořlavost), akustické vlastnosti (zejména pohltivost) a hmotnost (při aplikaci v oblasti letectví).

V kombinaci s jinými materiály lze vytvořit souhrn vlastností daného materiálu za účelem zvýšení využitelnosti jednoho či druhého materiálu. Pro konkrétní aplikace v oblasti letectví je velmi oblíbená kombinace polyuretanu a skelných tkanin, které zvyšují oblast použití polyuretanů z hlediska nehořlavosti a tím i bezpečnosti uvnitř kabin letadel, ať už prostorů pro posádku nebo nákladového prostoru. Kombinací dvou existujících materiálů lze ušetřit náklady na vývoj a výzkum nového materiálu, ale lze dosáhnout také možných kombinací vlastností, které by samostatný druh materiálu nemohl poskytnout.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 AKUSTIKA

Jedním z četných oborů fyziky je akustika. Spolu s mechanikou a optikou ji řadíme k nejstarším částem. Akustika se zabývá fyzikálními ději, jako jsou mechanické kmity, vznik zvukového vlnění a jeho šíření a taky biologickými procesy [1].

1.1 Základní pojmy v akustice

1.1.1 Zvuk

Zvuk je přirozeným projevem v přírodě, tedy i v životě člověka. Zvuk vnímáme lidským uchem, který patří k pěti smyslům člověka a je jedním z informačních zdrojů. Zvuk je tak velmi účinný poplašný systém.

Mechanické vlnění se šíří v pružném prostředí ve frekvenčním rozsahu, které odpovídá kmitočtovému rozsahu lidského ucha tj. frekvenčnímu pásmu cca 16 – 20 000 kmitů za sekundu, které označujeme jako zvuk. Rychlost šíření zvuku ve vzduchu 340 m/s, ve vodě 1500 m/s, v oceli 5000 m/s od místa rozruchu [1].

Jeho základní příčinou je pohyb částic v pružném prostředí. Rozlišujeme tři pásma frekvence: infrazvuk, slyšitelné pásmo a ultrazvuk. Zdrojem zvuku je takové místo, kde vzniká akustická energie. Tato energie se zvukem šíří do okolního prostředí (kapalného i vzdušného) [2].

Dvě příčiny vzniku akustické energie jsou [2]:

- *Mechanický zvuk* - mechanické kmity povrchu stojů, stěn budov, technologických zařízení a jejich částí.
- povrchy kmitajících těles způsobují rozruchy v kapalném nebo plynném prostředí, ty svou mechanickou energii odevzdávají akustickému prostředí.
- záleží na rozměru, tvaru a povrchu jeho kmitání, které souvisí s akustickou energií.
 - *Aerodynamický zvuk* - nestacionární proudění kapalné nebo plynné látky
- neustálé proudění plynu nebo kapaliny s výraznými změnami tlaku, kde dochází k vlnění příslušného média (ventilátory, kompresory, výfuky, aj.).

Zvuk se šíří v pevných, kapalných i plynných látkách ve formě akustického vlnění. Ve volném prostoru se šíří od zdroje všemi směry. Vlnění jde od zdroje ve vlnoplochách tj.

spojnice zvukového pole, která má v daný okamžik stejné parametry. Vlny se mohou v prostoru lámat, ohýbat, odrážet nebo sčítat s jinými vlnami.

V homogenním prostředí se vlnění šíří přímočaře. Vlnění se dělí na podélné a příčné, podle toho, zda částice v prostředí kmitají ve směru šíření vlnění nebo kolmo k němu. U podélného vlnění je směr kmitů jednoznačně dán směrem šíření vln, u příčného musíme udávat také rovinu kmitů. Pokud se všechny kmity dějí v jedné rovině, jde o lineárně polarizovatelné vlnění. Částice se jednosměrně nepohybují, pouze kmitají kolem svých rovnovážných poloh.

U kapalin a plynů se vyskytuje pouze podélné vlnění, tyto látky jsou pružné ve smyslu objemové stlačitelnosti. Toto vlnění se šíří ve směru vlny a charakterizuje zředování a zhušťování prostředí. U elastických materiálů se vyskytuje jak podélné, tak i příčné vlnění. Obě tyto vlnění vykazují pružnost jak v tlaku, tak i v tahu, ale i ve smyku. Kombinací těchto deformací vzniká ohybové kmitání prutů a desek. Ve vakuu se zvuk nešíří [2].

1.1.2 Hluk

Hlukem označujeme jakýkoliv nežádoucí zvuk. Záleží na fyzickém i psychickém stavu člověka a jeho vnímání zvuku. Zvuk proto může být příjemný, který nevadí našemu uchu, ale i nepříjemný. A to nejen svou intenzitou, ale i svým charakterem. Pro jednoho člověka může být zvuk hlukem, ale pro jiné lidi může být zároveň důležitým zdrojem informací nebo může být i dokonce příjemný na poslech. Silný a zbytečný hluk ruší, nepříjemňuje pobyt a práci člověka, případně ohrožuje jeho zdravotní stav.

Mezi hluk patří i neperiodické zvuky jako vrzání, skřípání, praskot. Zvláštním případem je šum, který v podstatě doprovází všechny sluchové vjemy člověka. Jednou ze základních vlastností zvuku a samozřejmě také hluku je, že se šíří na poměrně velké vzdálenosti. Za určitých podmínek se akustické vlnění může odrážet, lomit a ohýbat [2].

Podle kolísání úrovně hluku rozeznáváme [2]:

- *Ustálený hluk* – hladina hluku se v jednom místě s časem nemění o více než 6 dB.
- *Proměnlivý hluk* – hladina hluku se mění v místě a čase o více než 6 dB.
 - *Kolisavý hluk* – hladina hluku se s časem plynule mění.

- *Přerušovaný hluk* – hladina hluku se mění náhle v trvajících časových pásmech.
- *Impulsový hluk* – hluk je vysílán jednorázově, nebo v opakujících se časových intervalech kratších než 300 ms.

V našem okolí působí několik zdrojů hluku. Obklopují nás tak, že není možné přesně určit, kde jsou tyto zdroje umístěny. Ve velkých vzdálenostech vnímáme tedy tento zvuk nebo spíše hluk jako šum. Jiným příkladem je šum v lese. Tady je šum vyvolaný nepravidelným pohybem listů všech stromů [2], [13], [14].

1.2 Zvuk a člověk

1.2.1 Vnímání zvuku

Zvuk vnímá člověk přes sluchový orgán - ucho. Zvuk používáme proto, abychom mohli získat informace o prostředí, ve kterém žijeme a které nás obklopuje. Člověk i zvířata vnímají zvuk jinak, jako třeba u dalších fyzikálních jevů jako je například teplota, osvětlení. Netopýr používá echolokaci, aby věděl, jestli má před sebou nějakou překážku nebo predátora [1].

Vnímání zvuku závisí na mnoha faktorech [3].

- *Frekvenční rozsah* – většina lidí začne vnímat zvuk od 20 Hz - 20 000 Hz, každý člověk vnímá zvuk jinak a s rostoucím věkem hranice slyšitelnosti klesá.
- *Dynamický rozsah* – rozdíl mezi nejnižším a nejhlasiťším vnímaným zvukem.
- *Frekvenční maskování* – pokud znějí dva tóny současně, může jeden z nich potlačit slyšitelnost a my vnímáme zvuk jako jeden tón.

Weber – Fechnerův fyziologický zákon popisuje kvantitativně lidské vjemy a zní takto [1]:

Hlasitost daného tónu roste aritmetickou řadou, roste-li jeho fyzikální intenzita logaritmickou řadou.

$$L_N = konst. \log \frac{I_I}{I_0} \quad (1)$$

kde: L_N – hladina hlasitosti [dB],
 I_I – intenzita vnímaného zvuku [W/m^2],
 I_0 – referenční intenzita zvuku [W/m^2].

Konstanta úměrnosti závisí na frekvenci tónu. Pro tón o kmitočtu 1000 Hz lze psát:

$$L_N = 10 \log \frac{I}{I_0} = 20 \log \frac{p_p}{p_0} \quad (2)$$

kde: L_N – hladina hlasitosti [dB],
 I_I – intenzita vnímaného zvuku [W/m^2],
 I_0 – referenční intenzita zvuku [W/m^2],
 p_p – akustický tlak v pásmu [Pa],
 p_0 – referenční akustický tlak [Pa].

Při této frekvenci jsou si číselně rovny hladina hlasitosti L_N [dB] a hladina akustického tlaku. Pro ostatní kmitočty je třeba hladinu hlasitosti stanovit v porovnání se zvukem o frekvenčním kmitočtu 1000 Hz [1].

1.2.2 Vliv hluku na životní prostředí a na člověka

Nadměrný hluk zaujímá jedno z předních míst v řadě faktorů ohrožujících naše životní prostředí. Vývoj techniky směřuje ke stálému zvyšování výkonů strojů a technologických zařízení, ale také přímo úměrně k nárůstu hlučnosti. Řešení této situace se stává jednou z priorit, stejně jako znečištění ovzduší a ochrana vodních zdrojů, v programech ochrany životního prostředí. Nejvíce se tato nepříjemná situace projevuje v pracovním a obytném prostředí člověka a také v dopravě. Nezanedbatelný vliv na hlukovou situaci má i moderní reprodukováná hudba. Aktivity různých orgánů a spolků, které věnují pozornost ochraně životního prostředí, vedly občany k většímu zájmu o tiché prostředí a k zálibě vlastnit tichá domácí zařízení.

Jednou z nejzávažnějších vlastností zvuku a také samozřejmě je, že se šíří na poměrně velké vzdálenosti. Při tom se šíří stejně dobře vzduchem i vodou nebo pevnou hmotou, např. konstrukcí stavby. V důsledku tohoto jevu působí hluk na každého, kdo je v dosahu akustické energie. Postihuje tedy nejen toho, kdo zdroj zvuku popřípadě hluku

způsobuje, ale i osoby, které nemají se zdrojem nic společného a pro něž je hluk nežádoucí a zbytečný. Nárůst hlučnosti v našem životním prostředí je cca 1 dB za rok. Nebezpečí spočívá zejména ve skutečnosti, že lidský organismus nemá prakticky proti působení hluku a s ním spojených vibrací výraznější obranné mechanismy. V dnešní době se různá pracoviště zabývají problémy snižování hluku a vibrací.

Základním parametrem hluku, určujícím jeho účinek na člověka, je intenzita, případně akustický tlak. Lidské ucho zachytí zvuky se širokým rozsahem amplitud. Člověk se necítí dobře v prostředí, kde je nízká hladina hluku. Většina lidí považuje 20 dB za hluboké ticho a taky za nepříjemný stav. Při dlouhodobém vystavení hladiny hluku 85 dB se může trvale poškodit ucho. Při hladině 130 dB se účinky hluku mění na bolest a nad 160 dB dochází k protržení bubínku.

Obtěžující účinky hluku závisí i na dalších faktorech jako jsou frekvence, doba trvání a šířka frekvenčního pásma, rozdíl mezi hlukem zdroje a hlukem pozadí, na osobních dispozicích člověka a jeho vztahu ke zdroji hluku. Nejčastějším projevem poškození sluchového orgánu je trvalý posun sluchového prahu slyšitelnosti. Mezi škodlivé účinky se řadí dále podráždění vegetativního a nervového systému, projevující se zvýšenou tepovou frekvencí srdce, zvýšením krevního tlaku, zhoršením látkové výměny, stres, poruchy spánku (hloubka, doba), narušení regeneračních pochodů v organismu, psychické poruchy, podrážděnost, apatie, nervozita, snížení pozornosti a reakčního času [1].

1.3 Základní veličiny v akustice

1.3.1 Vlnová délka; λ [m]

Vlnová délka je vzdálenost mezi dvěma nejbližšími body, které mají v daném okamžiku stejný akustický stav, nebo vzdálenost, kterou urazí zvuková vlna za dobu jednoho kmitu T . Vlnovou délku lze tedy vyjádřit rovnicí:

$$\lambda = vT = \frac{v}{f} \quad (3)$$

kde: λ – vlnová délka [m],

v - rychlost šíření vlnění v daném prostředí [m/s],

T - doba jednoho kmitu nebo periody [s],

f - frekvence vlnění [Hz].

1.3.2 Akustický tlak; p [Pa]

Při šíření vlnění v plynném nebo kapalném prostředí se celkový tlak mění. Zde také tlak kolísá okolo původního statistického nebo barometrického tlaku v ovzduší (Obr. 1.). Za zvýšení či snížení tlaku odpovídá zhušťování a zředování prostředí. Za akustický tlak je považována výchylka celkového tlaku od statického tlaku v daném prostředí. Akustický tlak při vlnění o frekvenci f a fázovém posuvu φ má tvar harmonické funkce [2]:

$$p_c = p_b + p(t) \quad (4)$$

kde: p_c - celkový tlak [Pa],

p_b - barometrický tlak [Pa],

$p(t)$ – statistický tlak [Pa].

$$p(t) = p_{00} * \cos(\omega * \tau + \varphi) \quad (5)$$

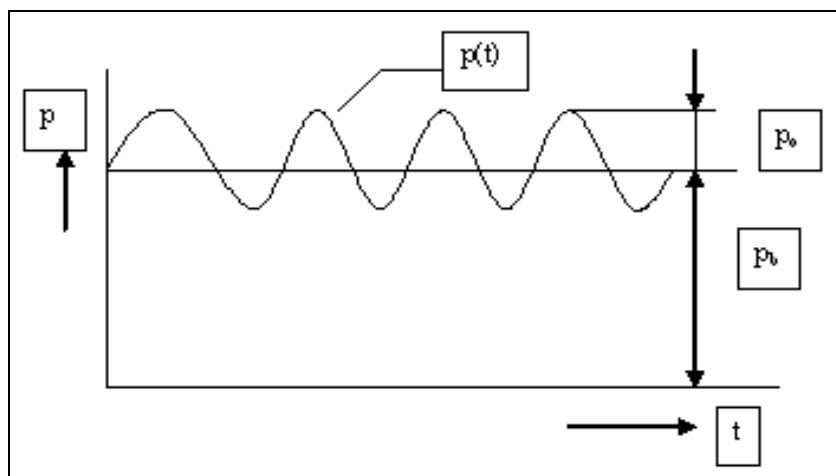
kde: $p(t)$ – statistický tlak [Pa],

p_{00} - amplituda akustického tlaku [-],

ω – úhlová frekvence [rad/s],

τ – čas [s],

φ - fázový posun [-].



Obr. 1. Kolísání akustického tlaku okolo barometrického [2]

Efektivní hodnotu akustického tlaku p_{ef} zavádíme z důvodu jeho časové proměnlivosti:

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

kde: p_{ef} - efektivní hodnota akustického tlaku [Pa],

p – akustický tlak [Pa].

Lidské ucho je tedy citlivé na změnu tlaku vzduchu i na jeho výchylky. Je-li změna tlaku s frekvencí nad 16 Hz, slyší je člověk jako zvuk. Mladý člověk zaznamená i velmi malou výchylku akustického tlaku cca 20 μ Pa. Ta je v porovnání s barometrickým tlakem, který má hodnotu přibližně $101,3 \cdot 10^3$ Pa, nepatrná [2].

1.3.3 Rychlost šíření akustických vln; c [m/s]

V kapalinách a plynech se šíří pouze vlnění podélné, které je spojeno se zhušťováním a zředováním prostředí. Tomu odpovídá proměnný akustický tlak. Pomocí indexů rozlišujeme jednotlivé rychlosti pro vlnění podélné, příčné i ohybové [1].

- c_L - vlnění podélné
- c_T - vlnění příčné
- c_B - vlnění ohybové

Ohybové vlnění je kombinací příčného a podélného vlnění a vzniká u tyčí a desek. Šíření rychlosti je závislé na elastických vlastnostech prostředí, kterým se vlnění šíří [2]:

- *pro pevné látky:*

$$c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (7)$$

kde: c_L - vlnění podélné [m/s],

E - modul pružnosti materiálu v tahu [Pa],

ρ - hustota prostředí [kg/m^3].

$$c_T = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (8)$$

kde: c_T - vlnění příčné [m/s],

G - modul pružnosti materiálu ve smyku [Pa],

ρ - hustota prostředí [kg/m³].

- *pro tekutiny:*

$$c = c_L = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (9)$$

kde: c - rychlost šíření akustických vln [m/s],

c_L - vlnění podélné [m/s],

K - modul objemové pružnosti (stlačitelnosti) tekutiny [Pa],

ρ - hustota prostředí [kg/m³].

- *pro plyny lze pak vztah upravit:*

$$c = c_L = \sqrt{\mu \frac{p_b}{\rho}} \quad (10)$$

kde: c - rychlost šíření akustických vln [m/s],

c_L - vlnění podélné [m/s],

μ - Poissonova konstanta [-],

p_b - barometrický tlak [Pa],

ρ - hustota prostředí [kg/m³].

Rovnice č. 10 se v praxi příliš nepoužívá, protože když stoupne atmosférický tlak p , úměrně stoupne hustota vzduchu ρ . Stoupne-li v určitém místě teplota, klesne v témže místě hustota vzduchu ρ , zde se barometrický tlak nemění. Z toho vyplývá, že zvýšení rychlosti zvuku je úměrné s teplotou. Proto se pro rychlost zvuku ve vzduchu používá vztahu [2]:

$$c = c_L = c_0 + k \cdot t_p \quad (11)$$

kde: c - rychlost šíření akustických vln [m/s],
 c_L - vlnění podélné [m/s],
 c_0 - rychlost zvuku při 0°C; 331,8 [m/s],
 k - koeficient změny rychlosti; 0,6 [-],
 t_p – teplota [°C].

1.3.4 Akustická rychlost; v_a [m/s]

Akustická rychlost je rychlost kmitajících jednotlivých částic v prostředí, kterým se šíří akustická vlna. Výraz výpočtu získáme parciální derivací akustické výchylky podle času:

$$v_a = \frac{\partial u}{\partial \tau} = u_0 * \cos \omega \left(\tau \pm \frac{x}{c} \right) \quad (12)$$

kde: v_a – akustická rychlost [m/s],
 u_0 – amplituda výchylky [-],
 ω – úhlová rychlost [rad/s],
 τ – čas [s],
 x – počet částic [-],
 c – rychlost šíření akustických vln [m/s].

Součin amplitudy výchylky a kruhové frekvence dává amplitudu akustické rychlosti. Tedy v_a je součinem ω a u_0 . Akustická rychlost je jednou z nejdůležitějších akustických veličin a je jí nutno odlišovat od rychlosti šíření zvuku. Její velikost je o mnoho řádů menší než rychlost šíření zvuku [2].

1.3.5 Akustický výkon; P [W]

Mechanickými kmity se přenáší energie kmitajících částic od zdroje prostřednictvím akustických vln. Každý zdroj hluku je definován akustickým výkonem. Čím větší část energie ΔE se za určitý čas τ přenese myšlenou prostorovou plochou S ze zdroje do uvažovaného místa, tím je akustický výkon vlnění větší [2].

$$P = \frac{\Delta E}{\tau} \quad (13)$$

kde: P – akustický výkon [W],

ΔE – energie [J],

τ - čas [s].

Akustický výkon zdroje je důležitým absolutním parametrem při hodnocení a srovnávání akustických zdrojů. Použití akustického výkonu k popisu zdroje zvuku je výhodnější než definování zdroje akustickým tlakem. Akustický výkon lze vyjádřit i vztahem [2]:

$$P = p \cdot v_a \cdot S \quad (14)$$

kde: P – akustický výkon [W],

v_a - akustická rychlost [m/s],

p - akustický tlak [Pa],

S - plocha [m²].

1.3.6 Akustická intenzita; I [W/m²]

Akustická veličina, která je vztažena k akustickému výkonu, je akustická intenzita zvuku. Intenzitu můžeme vyjádřit vztahem [2]:

$$I = \frac{P}{S} \quad (15)$$

kde: I – akustická intenzita [W/m²],

P - akustický výkon [W],

S - plocha [m²].

Akustická intenzita popisuje množství a směr toku akustické energie v daném místě prostředí. Můžeme ji vyjádřit jako vektorovou veličinu. Směr šíření akustického vlnění určuje směrnost. Kolmo na směr vlnění je akustická intenzita rovna nule. Akustickou intenzitu můžeme ještě vyjádřit [2]:

$$I = p_{ef} \cdot v_{ef} = \frac{P_{ef}^2}{\rho \cdot c} \quad (16)$$

kde: I – akustická intenzita [W/m^2],

p_{ef} - efektivní hodnota akustického tlaku [Pa],

v_{ef} - efektivní hodnota rychlosti kmitajících částic [m/s],

ρ - hustota prostředí [kg/m^3],

c - rychlost šíření akustické vlny [m/s].

1.3.7 Měrná akustická impedance prostředí; Z [$\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^3$]

Akustická impedance neboli vlnový odpor akustického prostředí:

$$Z = \rho \cdot c = \frac{p}{v} \quad (17)$$

kde: Z – měrná akustická impedance prostředí [$\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^3$],

ρ - hustota prostředí [kg/m^3],

c - rychlost šíření akustické vlny [m/s],

p - akustický tlak [Pa],

v – rychlost šíření v daném prostředí [m/s],

Pro rovinnou akustickou vlnu, u které je poměr mezi akustickým tlakem a akustickou intenzitou konstantní, lze akustickou impedanci vyjádřit vztahem:

$$Z = \frac{\check{p}_0}{\check{v}_0} \quad (18)$$

kde: Z – měrná akustická impedance prostředí [$\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^3$],

\check{p}_0, \check{v}_0 - komplexní amplitudy příslušných akustických veličin.

V obecném případě je tedy akustická impedance komplexní veličina [2].

1.4 Decibelové veličiny

Sluchem můžeme vnímat při referenčním kmitočtu i zvuky o velmi malém akustickém výkonu, nebo lépe o velmi malé akustické intenzitě. Práh slyšení určuje hodnota tohoto výkonu o velikosti 10^{-12}W , respektive 10^{-12}W/m^2 . Práh bolesti představují zvuky, o výkonu větším než 1W . Poměr největšího a nejmenšího akustického výkonu zvuku v oblasti největší citlivosti ucha je tedy 10^{12} , a je tedy značný. Proto se tento poměr vyjadřuje v logaritmické stupnici a v jednotkách bel - B, přestože je tato hodnota hladiny bezrozměrná. Prahu bolesti odpovídá hodnota 12B. V praxi se ale používá jednotka ještě desetkrát menší než bel a tou je decibel, dB. V decibelech vyjádříme poměr referenčního akustického výkonu W_0 daného zvuku ke sledovanému akustickému výkonu P , který určuje práh slyšení, jako hladinu akustického výkonu. Každému zvýšení akustického výkonu o jeden řád odpovídá zvýšení akustického výkonu o 10 dB [1].

$$L_w = 10 \log \frac{P}{W_0} \quad (19)$$

kde: L_w – hladina akustického výkonu [dB],

P – akustický výkon [W],

W_0 - referenční akustický výkon [W].

Práh slyšení odpovídá v této stupnici 0 dB a práh bolesti 120 dB.

Akustické hladiny jsou vlastně vyjádřením Weberova – Fechnerova zákona pro daný případ. Často používanými hladinami jsou hladina akustického tlaku a hladina akustické intenzity. Pro základní měření objektivních hladin se používá měření hladiny intenzity nebo hladiny akustického tlaku, které si jsou zcela rovnocenné a dávají stejné číselné hodnoty.

Hladina akustické intenzity je označována značkou L_I a výraz pro ni je analogický s hladinou akustického výkonu [1]:

$$L_I = 10 \log \frac{I_I}{I_0} \quad (20)$$

kde: L_I – hladina akustické intenzity [dB],

I_I – intenzita vnímaného zvuku [W/m^2],

I_0 - referenční hodnota intenzity stanovená dohodou na 10^{-12} W/m².

Dosadíme-li z rovnice č. 16 pro akustickou intenzitu, dostáváme výraz pro hladinu akustického tlaku:

$$L_p = 10 \log \frac{p_{ef}^2}{p_0^2} = 20 \log \frac{p_{ef}}{p_0} \quad (21)$$

kde: L_p – hladina akustického tlaku [dB],

p_{ef} - efektivní hodnota akustického tlaku [Pa],

p_0 - referenční akustický tlak [Pa].

<i>Charakteristika hluku</i>	<i>Akustický tlak p [Pa]</i>	<i>Hladina akust. tlaku L_p [dB]</i>
<i>Práh slyšení</i>	0,000 020	0
<i>Tichý les</i>	0,000 100	15
<i>Obývací pokoj</i>	0,002 000	40
<i>Psaní na stroji</i>	0,020 000	60
<i>Automobil</i>	0,400 000	85
<i>Pneumatická vrtačka</i>	2,000 000	100
<i>Tryskové letadlo</i>	60,000 000	130
<i>Práh bolesti</i>	100, 000 000	135

Tab. 1. Rozdíl velikostí akustického tlaku a hladin akustického tlaku v závislosti na změně prostředí

[12]

1.5 Fyzikální vlastnosti šíření zvuku

Zvuk, šířící se vlněním částic příslušného reálného prostředí, nejčastěji vzduchem, je vedle poklesu akustické intenzity se vzdáleností ovlivňován řadou dalších faktorů. Mezi ně například patří rychlostní a teplotní gradienty akustického prostředí, které mění směr akustického vlnění a jeho rychlost. Viskozita tekutiny způsobuje pohlcování části akustické energie, tedy absorpci vlnění. Vzduch tedy upravuje spektrum hluku, stejně jako snižuje jeho intenzitu a pozměňuje cestu jeho šíření [2].

1.5.1 Absorpce zvuku ve vzduchu

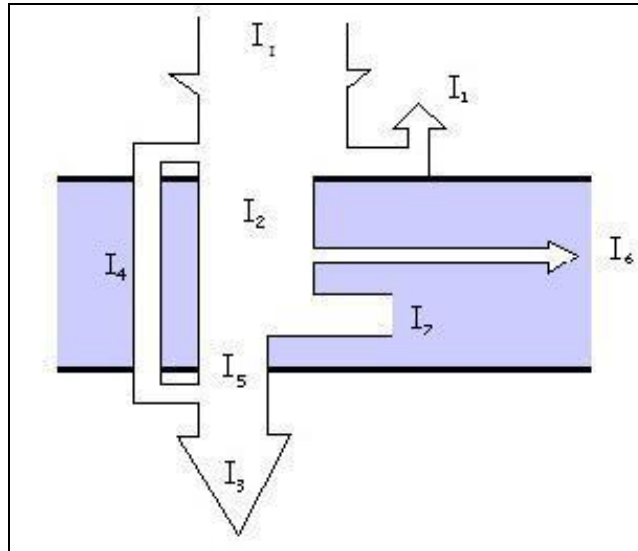
Absorpce zvuku ve vzduchu se mění s frekvencí, vlhkostí a teplotou podle poměrně složitých vztahů. Zvýšené absorpce zvuku jsou při nižších frekvencích, při zvyšující se teplotě a při vyšší relativní vlhkosti vzduchu. Maximální útlum zvuku absorpcí je při relativních vlhkostech cca 10 až 20%, tedy poměrně malý [1], [2].

1.5.2 Zvuk na rozhraní fází

Při dopadu akustické vlny na rovinnou plochu, která má ideální odrazivost, se tato vlna od roviny odráží obdobně, jako se odráží světelný paprsek od zrcadla. Důvodem, proč hudba, zpěv nebo mluvené slovo je v uzavřené místnosti silnější a srozumitelnější než v otevřeném prostoru, je skutečnost, že zvuk, který vychází ze zdroje, se po dopadu odráží od stěn a předmětů a v podstatě vyplní více či méně rovnoměrně celý prostor místnosti. Akustická energie pak neuniká do prostoru, a tudíž člověk vnímá větší hlasitost zvuku. Pokud se prostor vyplní akustickou energií rovnoměrně, vzniká homogenní akustické pole, nazývané difúzní, nebo ozvukové.

Prakticky však při každém dopadu akustické vlny na rozhraní dvou homogenních prostředí, které nejčastěji tvoří vzduch a pevné látky, dochází k neúplnému odrazu, tedy část akustické energie se odrazí a část vnikne do druhé látky.

Co se však děje s akustickou energií při dopadu na rozhraní fází je nejlépe vidět na (Obr. 2.), kde jsou jednotlivé složky zvuku vyjádřeny pomocí intenzity zvuku, tedy jako akustický výkon dopadající na 1m^2 stěny [1].



Obr. 2. Akustická vlna na rozhraní plynné a pevné fáze (rozhraní vzduch x pevná látka) [1]

Intenzita zvuku I_1 se rozdělí na tyto části [1]:

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

V relativním vyjádření zavádíme [1]:

- činitele zvukové odrazivosti r :

$$r = \frac{I_1}{I_i} \quad (22)$$

kde: r - činitel zvukové odrazivosti [-],

I_1 - intenzita zvuku vlny odražené [W/m^2],

I_1 – intenzita zvuku [W/m^2].

- činitele zvukové pohltivosti α :

$$\alpha = \frac{I_2}{I_1} \quad (23)$$

kde: α – činitel zvukové pohltivosti [-],

I_2 – intenzita zvuku vlny pohlcené [W/m^2],

I_1 – intenzita zvuku [W/m^2].

Potom musí platit, že:

$$r + \alpha = 1 \quad (24)$$

kde: r - činitel zvukové odrazivosti [-],

α – činitel zvukové pohltivosti [-].

Podíl odraženého a procházejícího vlnění závisí na úhlu dopadu vlny (úhel incidence) na rozhraní, na rychlostech zvuků a hustotách obou prostředí. Absorpce povrchu různých materiálů je funkcí mnoha parametrů a velikost činitele zvukové pohltivosti α závisí na efektivní drsnosti materiálů, jeho pórovitosti a poddajnosti. Větší pohltivost mají materiály pórovité (děrované panely, některé měkké polymery ap.). V mezním případě, kdy $\alpha = 0$, je pohltivost materiálu nulová a veškerá akustická energie se odráží zpět. V opačném případě, kdy $\alpha = 1$, je všechna akustická energie pohlcena druhým prostředím [13], [14].

Dále můžeme zavést [1]:

- činitel zvukové průzvučnosti ξ :

$$\xi = \frac{I_3}{I_1} \quad (25)$$

kde: ξ – činitel zvukové průzvučnosti [-],

I_3 – intenzita zvuku vlny vyzářené za stěnu celkem [W/m^2],

I_1 – intenzita zvuku [W/m^2].

Rozdělení dopadající akustické energie (Obr. 2.) nám definuje i další veličinu nazývanou činitel přeměny:

- činitel přeměny ε :

$$\varepsilon = \frac{I_7}{I_1} \quad (26)$$

kde: ε – činitel přeměny [-],

I_7 – intenzita zvuku přeměněná ve stěně na teplo [W/m^2],

I_1 – intenzita zvuku [W/m^2].

Ten vyjadřuje podíl mezi energií přeměněnou ve stěně na teplo a energií na stěnu dopadající. Pokud je tedy použit materiál nebo konstrukční díl, v němž je intenzita zvuku vlny, která je vedená ve formě chvění do ostatních částí přiléhajících konstrukcí nulová ($I_6=0$), můžeme psát že:

$$r + \xi + \varepsilon = 1 \quad (27)$$

kde: r - činitel zvukové odrazivosti [-],

ξ – činitel zvukové průzvučnosti [-],

ε – činitel přeměny [-].

a

$$\alpha = \varepsilon + \xi \quad (28)$$

kde: α – činitel zvukové pohltivosti [-],

ε – činitel přeměny [-],

ξ – činitel zvukové průzvučnosti [-].

Jestliže tedy nastane případ, kdy nám bude záležet na kvalitě prostorové akustiky, nemusíme se zajímat o to, co se stane s energií pohlcenou, ale o energii, která se od stěny po dopadu vrací zpět do místnosti. Ovšem při otázce snižování hluku je to právě obráceně a více nás tedy zajímá energie stěnou (látkou) pohlcená. Zde je snaha, aby tato pohlcená energie byla co nejnižší a okolní místnosti a prostory byly od hlučného prostředí izolovány [1].

Činitel pohltivosti α pro všesměrový dopad zvukových vln je větší než pro kolmý dopad zvukových vln, protože při stejné hustotě zvukové energie dopadá při všesměrovém

dopadu na tutéž plochu mnohem více zvukové energie než při dopadu kolmém a tedy i velikost pohlcené energie je větší [1], [2].

1.5.3 Pohlcování zvuku

Pojmem pohlcování zvuku je vysvětlována přeměna akustické energie v jinou, obvykle tepelnou. Akustický výkon zvukové vlny W_i , která dopadne na stěnu, z části odražen a z části pohlcen, tak jak je zobrazeno na (Obr. 2.).

Vzájemný poměr jednotlivých složek akustického výkonu závisí na mechanických vlastnostech stěny nebo konstrukce. Mechanické vlastnosti tedy ovlivňují vlastnosti akustické – zvuková pohltivost, vzduchová neprůzvučnost aj.

Schopnost konstrukce pohltit část akustického výkonu dopadající zvukové vlny popisuje činitel zvukové pohltivosti α . Činitel zvukové pohltivosti je vyjádřen poměrem akustického výkonu pohlceného k celkovému akustickému výkonu.

Každý materiál má jinou hodnotu činitele α , který je závislý i na úhlu dopadu a kmitočtu vlnění. Při odrazu akustické vlny platí, že úhel dopadu se rovná úhlu odrazu. Z důvodu dobrého pohlcování zvukové vlny je velmi důležitá pórovitost materiálu. Když zvuk pronikne do póru, začne se odrážet od jeho stěn a při každém odrazu ztratí část své energie. Tím dochází ke snižování jeho intenzity. Vedle množství pórů je důležitý jejich tvar a velikost [13], [14].

K úbytku zvukové energie dochází v podstatě trojím způsobem [15]:

- *Třením rozkmitaných částic vzduchu o stěny.*

Při jejich vnikání do pórů pohltivého materiálu dochází ke snižování kinetické energie dopadajícího zvukového pole. Vlastní tlaková ztráta třením v kanálech je úměrná kvadrátu rychlosti proudění. Efektivita tohoto procesu se zvyšuje se zvyšující se porositou absorpčního materiálu.

- *Snižováním potenciální energie zvukové vlny vnikajícím do materiálu.*

Tím dochází ke snížení akustického tlaku, což může být způsobeno výměnou tepla mezi vzduchem a skeletem pohltivého materiálu při periodických tlakových změnách. Přechod tepla, sníží teplotu vzduchu a tím i tlaku v uvažovaném místě. Další způsob relaxace tlaku se projevuje při šíření zvuku pevnými látkami, nebo pevnou kostrou porézní látky.

Mění-li se například u nějaké vláknité látky průřez kostry, dochází v místech malého průřezu ke značnějšímu stoupnutí teploty. Pokud je pak tato látka dobrým tepelným vodičem s vysokým součinitelem přestupu tepla, dochází snadno k vyrovnání teploty s okolím a tím i relaxaci tlaku. Tento způsob přeměny energie nastává zejména při šíření příčného vlnění kovovými deskami, které dobře vedou teplo.

- *Nepružnou deformací vláken pohltivého materiálu.*

U látek vykazující tzv. pružnou hysterezi, dochází k přeměně energie vlivem nepružné deformace tělesa. Stlačíme-li takovou látku, určitou silou, nevrátí se tato látka do původního stavu po skončení působení této síly. Práce vynaložená na deformaci je tedy větší než práce získaná nazpět pružností tělesa návratem do výchozího stavu. Tento rozdíl je právě úbytek zvukové energie vlivem činitele vnitřního tlumení zvuku materiálu.

Většinou se na ztrátě zvukové energie uplatňují, i když v různé míře, všechny uvedené pochody.

1.5.4 Snížování hluku

Metody snižování hluku se dělí na primární a sekundární. Mezi primární metody patří především úpravy a snížení budících silových účinků a úpravy zářičů hluku (povrchy strojů). Mezi sekundární metody se řadí hlukové izolace zdrojů hluku od chráněného prostoru (kapotáže, kryty), vhodné prostorové rozmístění hlučných strojů a zařízení tak, aby výsledná hlučnost byla co nejnižší, a také správné projektování prostor se stěnami s vysoce pohltivými materiály – zvukoizolační stěny [4], [5], [6], [7].

Pro tloušťku materiálu použitelného jako vnitřní izolace se vychází z obecného vztahu, který navrhuje tloušťku nutnou pro dobrou pohltivost.

Vztah je následující [4], [5], [6], [7]:

$$h = \frac{1}{10} * \frac{c_z}{f_m} \quad (29)$$

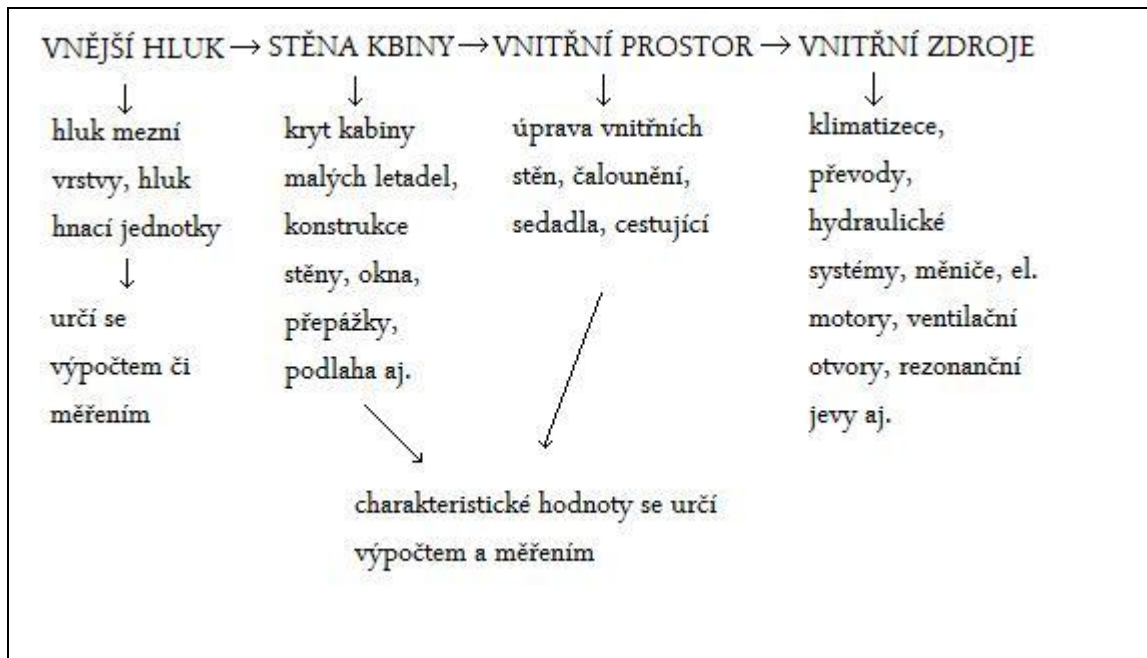
kde: h – tloušťka materiálu pro pohltivost [m],

c_z – rychlost zvuku [m/s],

f_m – nejnižší frekvence, ke které požadujeme potřebnou pohltivost [Hz].

1.5.5 Výpočet hladiny vnitřního hluku

Úroveň vnitřního hluku ovlivňuje řada faktorů, které jsou uvedeny v následujícím obrázku (Obr. 3.) [16]:



Obr. 3. Faktory ovlivňující vnitřní hluk [16]

Je zřejmé, že akustické pole zde není homogenní, existují oblasti s velmi vysokou intenzitou – např. ve směrech maximálního vyzařování vrtule, trysky, apod.

Z vnějšího prostředí se hluk šíří uvnitřního prostoru, v důsledku neprůzvučnosti stěn se intenzita zvuku zmenšuje. Akustická energie, která takto prostoupila, se dále zmenšuje vlivem pohltivosti ploch vnitřního prostoru. Výsledná úroveň vnitřního hluku se může zhoršovat působením vnitřních zdrojů.

Akustické vlastnosti stěn se dají charakterizovat součinitelem průzvučnosti ξ , resp. stupněm neprůzvučnosti R . Absorpci zvukových vln na stěně popisuje součinitel absorpce α_c .

Uvažujeme nejprve případ zcela uzavřeného prostoru, kde na vnější povrch dopadá ve všech místech konstantní akustická energie W_e , uvnitř prostoru je celková akustická energie W_i . Stěna je rovněž homogenní a je charakterizována součinitelem průzvučnosti ξ , její celková plocha je S . Akustické pole uvnitř je difúzní, vně je pole rovinných zvukových vln. Pohltivé vlastnosti vnitřní plochy stěny udává α .

Akustická intenzita na povrchu je I ($=P/S$), intenzita difúzního zvukového pole uvnitř je I_i . Můžeme tedy psát rovnici [16]:

$$\xi \cdot I \cdot S = \xi \cdot I_i \cdot S + \alpha \cdot I_i \cdot S \quad (30)$$

kde: ξ – součinitel průzvučnosti [-],

I – akustická intenzita [W/m^2],

S – plocha [m^2],

I_i – intenzita difúzního pole [W/m^2],

α – součinitel pohltivosti [-].

vyjadřující rovnost mezi akustickými energiemi vnějšího a vnitřního prostoru.

- Stupeň zvukové izolace D :

$$D = 10 \log \left(\frac{W_e}{W_i} \right) \quad (31)$$

kde: D – stupeň zvukové izolace [dB],

W_e – konstantní akustická energie [J],

W_i – celková akustická energie [J].

Uvažujeme-li vliv absorpce vnitřních stěn, tak můžeme psát rovnici:

$$D = 10 \log \left(\frac{\xi S + \alpha S}{\xi S} \right) = 10 \log \left(1 + \frac{\alpha}{\xi} \right) \quad (32)$$

kde: D – stupeň zvukové izolace [dB],

ξ – součinitel průzvučnosti [-],

S – plocha [m^2],

α – součinitel pohltivosti [-].

Stěny kabiny letadla však nejsou homogenní, obsahují konstrukční prvky, jež se od sebe liší velikostí α a ξ dosti významně (okna, stěny různého složení, kryt kabiny, apod.). Předpokládejme, že se stěna skládá z ploch S_1, S_2, \dots, S_n , jež mají různé součinitele průzvučnosti $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$ a součinitele absorpce $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ [16].

- Celková plocha stěn je [16]:

$$S = \sum_{j=1}^n S_j \quad (33)$$

kde: S – celková plocha stěn [m^2],

S_j – plocha stěn [m^2].

- Pohltivost vnitřních ploch:

$$A_w = \sum_{j=1}^n \alpha_j S_j \quad (34)$$

kde: A_w – pohltivost vnitřních stěn [m^2],

α_j – pohltivost stěn [m^2],

S_j – plocha stěn [m^2].

- Celková průzvučnost stěny kabiny ξ_c je:

$$\xi_c = \sum_{j=1}^n \xi_j S_j \quad (35)$$

kde: ξ_c – celková průzvučnost stěn [m^2],

ξ_j – průzvučnost stěn [m^2],

S_j – součet ploch stěn [m^2].

a ta vyjadřuje velikost plochy dokonale propouštějící zvuk. Rovnice se dá napsat i s použitím známějšího stupně zvukové neprůzvučnosti:

$$D = R + 10 \log \frac{A_p}{S_E} \quad (36)$$

kde: D – stupeň zvukové izolace [dB],

R – činitel neprůzvučnosti [-],

A_p – velikost plochy [m^2],

S_E – součet pohltivých ploch [m^2].

V případě homogenního vnějšího zvukového pole by rovnice udávaly snížení hladiny akustického tlaku neprůzvučnosti stěny a celkovou absorpci ve vnitřním prostoru. Stupeň neprůzvučnosti složené stěny je [16]:

$$R = 10 \log \frac{\sum_{j=1}^n S_j}{\sum_{j=1}^n \xi_j S_j} \quad (37)$$

kde: R – činitel neprůzvučnosti [-],

ξ_j – činitel průzvučnosti [-],

S_j – součet ploch stěn [m^2].

což značí, že o výsledném stupni neprůzvučnosti složené stěny rozhoduje ta část, která má nejvyšší hodnotu ξ . Proto je při konstrukci kabiny třeba v první řadě věnovat pozornost dobrému těsnění krytu kabiny (štěrbiny významně znehodnocují zvukově-izolační vlastnosti konstrukcí), oknům, dveřím a jiným slabým místům ve stěně.

V reálném případě při konstrukci letounu však nelze očekávat rovnoměrná rozložení akustické intenzity na povrchu trupu, naopak rozdíly v intenzitě dopadajících zvukových vln jsou značné. Platí zde požadavek, aby stupeň průzvučnosti v těch místech trupu, kam dopadá větší akustická energie, byl průměrně vyšší. Zásadou správné a ekonomicky řešené kabiny je, aby intenzita zvuku prošlého konstrukcí byla ve všech místech stejná.

Nedodržení této zásady i v jen malé oblasti trupu zhoršuje výsledný stupeň izolace. Změna intenzity dopadající zvukové vlny musí odpovídat změně součinitele průzvučnosti. Pro případ $J_{e1} > J_{e2}$ platí:

$$\frac{J_{e1}}{J_{e2}} = \frac{\xi_1}{\xi_2} \quad (38)$$

V místech, kde je $J_e = \text{konst.}$ J_e i $\tau = \text{konst.}$, tj. neprůzvučnost stěny i trupu v této oblasti by měla být stejná [16].

Uvedené výrazy mohou být použity jednak v konstrukční přípravě prototypu, jednak při vývoji letounu. Výsledné vypočtené hodnoty platí pro střední části kabiny (blíže u stěn se hladiny akustického tlaku zvyšují). Za základ lze hodnoty D , R získat měřením. Všechny výrazy mohou být použity pro všechna kmitočtová pásma (víme, že hodnota α , ξ ,

R a tudíž i D závisí na kmitočtu. Za příslušné výrazy můžeme dosadit střední hodnoty pro vybraný kmitočtový rozsah (500-4000 Hz) nebo lépe výpočet provádět pro každé oktavové pásmo samostatně.

Z hlediska zvuko-izolačního je hlavním předpokladem úspěšného akustického řešení trupu vysoký stupeň neprůzvučnosti, jakého nelze dosáhnout jednoduchým panelem. Pro nižší plošnou hmotnost a větší neprůzvučnost volíme raději stěny složené z více elementů (vnější potah, akustické materiály, vzduchová mezera, vnitřní potah). Použití akustických materiálů zvyšuje R hlavně v oboru vyšších kmitočtů. Výpočet akustických vlastností složených stěn je velmi obtížný a málo přesný, neboť ve výpočtech se předpokládá rovinná stěna (zakřivením stěny se R zvětšuje). Neprůzvučnost se obvykle ověřuje měřeními na dostatečně velkých vzorcích v dozvukové komoře.

Pohltivost A_c jednoho typického letadla (pro dopravní letoun) rovněž závisí na kmitočtu. Celková pohltivost více sedadel závisí na jejich počtu, pro n sedadel je to $n A_c$. Zabuďováním sedadel do kabiny vzroste původní součinitel absorpce čalouněného prostoru o hodnotu [16]:

$$\Delta\alpha_c = \frac{n A_c}{S} \quad (39)$$

kde: $\Delta\alpha_c$ – součinitel absorpce [-],

n – počet sedadel [-],

A_c – pohltivost sedadel [-],

S – celková plocha stěn [m^2].

Typické hodnoty pro $\Delta\alpha_c$ pro obsazené sedadlo jsou 0,13 (při 125 Hz) až 0,18 (při 1000 Hz) a pro neobsazené sedadlo zhruba 0,09 (při 125 Hz) až 0,12 (při 1000 Hz).

Vnitřní hluk v letadle se může zhoršovat přenosem kmitání od hnacích jednotek. Zabraňuje se mu konstrukčními úpravami (zvětšením tuhosti, pružnými elementy, aj.) resp. anti-vibračními nátěry.

Při vývoji letadla jsou víceméně zachovávány konstrukční zvyklosti a materiály. Tak např. vojenské proudové letouny nebo malé vrtulové letouny jsou ve své třídě vzájemně tvarově podobné, na kryt kabiny jsou používány shodné materiály, konstrukce stěn a použité materiály jsou rovněž podobné. Na základě toho je možno předpokládat, že uvnitř

těchto kategorií budou i akustické parametry v kabinách při ustálených podmínkách vnějšího zvukového pole přibližně stejné. Takovými ustálenými podmínkami je např. hluk od mezní vrstvy, který navíc v případě větší rychlosti letu má převládající vliv nad ostatními vnějšími zdroji.

Protože hladiny L_{lim} v kabině od mezní vrstvy představují menší hodnotu vnitřního hluku pro zvolenou rychlost letu $V_{př}$, slouží tyto hodnoty jako základ pro porovnání s eventuálními přípustnými hodnotami hluku v kabině.

Na základě uvedených podobností a provedených měření lze pak předložit empirické rovnice pro výpočet aproximativní hodnoty L_{lim} v kabinách malých vrtulových letadel a proudových vojenských letounů od mezní vrstvy, v závislosti na rychlosti, eventuálně výšce letu. Tyto formule lze použít již ve stádiu konstrukční přípravy nového typu [16].

- *Malá vrtulová letadla*

$$L_{lim} = \left[106 + 20 \log \frac{V_{př}}{100} \right] \pm 5dB \quad (40)$$

kde: L_{lim} – aproximní hodnota [-],

$V_{př}$ – zvolená rychlost letu [m/s].

Závislost platí pro běžně dosahované rychlosti a výšky letu do 2,5 km. Záporné hodnoty rozptylu (do -5 dB) platí spíše pro letouny třídy taxi, kladné korekce pro lehká sportovní letadla.

- *Proudové vojenské letouny*

$$L_{lim} = \left[93 + 40 \log \frac{V_{př}}{300} + 20 \log \left(\frac{\rho_H}{\rho_m} \right) \right] \pm 3dB \quad (41)$$

kde: L_{lim} – aproximní hodnota [-],

$V_{př}$ – zvolená rychlost letu [m/s],

ρ_H – hustota vzduchu ve výšce letu H [kg/m³],

ρ_m – hustota vzduchu pro H=0 [kg/m³].

Záporné hodnoty rozptylu vyhovují pro nadzvukové letouny, kladné hodnoty pro podzvukové cvičné letouny.

Pro vytvoření podobných rovnic pro dopravní letouny nejsou dostatečné předpoklady, neboť variabilita v akustických vlastnostech stěn trupu a ostatních konstrukčních prvků je značná.

Ke zhoršení akustických poměrů v kabině často dochází rezonancí poddajných ploch a panelů, např. zavazadelníku, nebo při špatném řešení popelníků, věšáků, stolků, apod. Rovněž hluk klimatizace je často předmětem stížností. Dále je třeba věnovat zvýšenou pozornost umístění měničů a dalších zdrojů hluku [16].

1.5.6 Základní konstrukční typy zvukově a vibračně pohltivých materiálů

- *Kompozitní vlasové smyčkové materiály*

Tyto materiály mají zvýšený odpor vůči smykovému namáhání a dvojí funkci - tlumí rázy a zároveň zvukově izolují. Do prostoru mezi vlákna poměrně tvrdých polymerů se aplikuje kapalný polymerní elastomer takovým způsobem, aby se v matrici vláken vytvořily makroskopické dutiny za současného vzniku kompaktní povrchové vrstvy. Tímto způsobem se dosahuje synergetického účinku hookovské elasticity pružných vláken tkaniny a visko-elasticity a plasticity elastomeru. Jako elastomer může být použita termoplastická kapalina, např. latex (přírodní, neoprénový, akrilonitril-butadienový, metyl-metakryl-butadienový, některé z polyakrylátových), emulze (polyvinylacetátová, etylén-vinylacetátová, polyesterová, polyuretanová, vinylová), polyvinyl chlorid, polypropylén, nebo bitumenový základ. V této oblasti je možné využití kapalného kaučuku (Kaučuk, a.s.). Jako pevná vlákna mohou být využity organické materiály jako např. dřevěná vlákna, která mohou vytvořit trojrozměrnou propletenou strukturu. V technologickém reglementu se podle použitých komponent dále využívají různé typy zušlechťovacích a stabilizačních přípravků (disperzanty, stabilizátory, antioxidanty, apod.) [15].

- *Sendvičové pěnové kompozitní systémy*

Základními konstrukčními prvky jsou: pěnový polymerní systém plněný partikulárním materiálem pohlcující zvuk, tenká bariérová vrstva. Jako podkladový materiál může (ale nemusí) být použit takový materiál (např. na bázi skleněných vláken, nylonu apod.), který jednak tlumí zvuk, jednak má např. samozhášecí nebo teplovzdorné vlastnosti. Jako bariérová vrstva byl použit tuhý PVC plněný síranem barnatým o koncentraci 60%. Jako alternativní materiály pro polymerní bariéru byly použity polyestery, polyétery, polyuretany, po-

lyamidy či polyetyleny. Vlastní polymerní pěnová matrice byla tvořena různými polyuretany, silikony, polyestery, polyétery, polyamidy nebo polyetylénem a také plněna síranem barnatým společně s dutými skleněnými mikro-kuličkami. Pro zlepšení užitečných optických vlastností mohou být obě vrstvy kompozitu přibarveny přídavkem různých pigmentů. Důležitou vlastností této pěnové matice je struktura její vnitřní porózy vyznačující se systémem otevřených a vzájemně propojených pórů.

Využití odpadních polymerních materiálů (zejména pryž a plasty) pro konstrukci široké škály zvukově a vibračně izolačních systémů je výhodné. To je však možné jenom po vhodné mechanické úpravě a separaci podle druhu, velikosti a tvaru částic recykláž. Pro přípravu vlastního vibračně nebo zvukově izolačního systému je důležitý výběr vhodného pojiva. Vhodným systémem je např. polybutadien/polyuretanové pojivo odvozené od kapalného kaučuku. Zvláštní pozornost při konstrukci a vlastní výrobě se musí věnovat také povrchové přípravě drtě vzhledem ke zvýšení vzájemné adheze pojivo-částice [15].

1.5.7 Akustické materiály ve stavbě letadel

Materiály používané ke zvukové izolaci letadla, musí splňovat zejména tyto požadavky: dokonalé akustické vlastnosti, malá hmotnost, mechanická odolnost proti vibracím, vysoký odpor ke vznícení, nízká tepelná vodivost, malá hydroskopičnost, chemická stabilita a odolnost vůči stárnutí, resp. korozi. Často je požadován estetický vzhled, možnost snadného čištění, odolnost proti plísním aj.

Těmto požadavkům vyhovuje a často se používá bavlněná a vlněná tkanina, organické sklo, dřevo, guma, plst', některé syntetické hmoty, skelná a minerální vata a další, jejichž vývoj jde zvláště na poli syntetických hmot rychle kupředu.

Přehled nejdůležitějších tuzemských akustických materiálů pro pohlcování zvuku je v (Tab. 2.).

Nejvýhodnější je skelná vata (ITAVER). Dále pro zvukovou izolaci lze výjimečně použít pěnový polystyren (desky – objem. váha 30 kg/m^3 , 80°) nebo lehčená pryskyřice (10 kg/m^3), které lze stříkat do dutin. Ve výjimečných případech (velké vibrace podlahy) je používána pěnová pryž (200 kg/m^3). Podrobnější data o materiálech je nutno vyžádat u výrobce nebo u specializovaných výzkumných pracovišť.

Absorpční materiály se na stěnu lepí nebo upevňují mechanicky. Vhodnější je však zachovat mezi stěnou a absorpčním materiálem vzduchovou mezeru, neboť akustická rychlost, na jejíž velikosti závisí pohlcování zvuku, je u stěny nulová. Maximum akustické rychlosti je ve vzdálenosti $d=\lambda/4$, kde λ je vlnová délka. Vzdálenost vrstvy materiálu od stěny je tudíž vhodné volit s ohledem na kmitočtové složení zvuku, tak je váha akustického materiálu lépe využita [16].

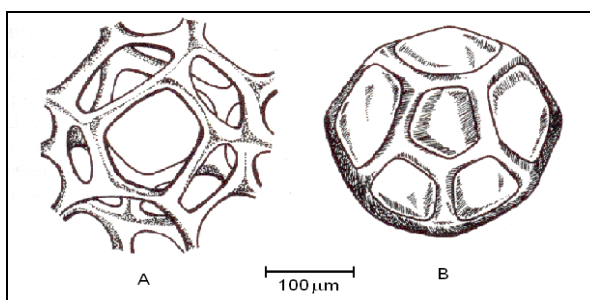
<i>Materiál</i>	<i>Tloušťka vrstvy [mm]</i>	<i>Objemová hmotnost [kg/m³]</i>	<i>Plošná hmotnost [kg/m²]</i>	<i>Přípustná teplota [°C]</i>
<i>Skleněný základ Ø 12</i>	50	70 - 100	5	-
<i>Skleněná mikrovlnka Ø 1</i>	15	36	0,54	-
<i>ITAVER Ø 1 : 3</i>	25	11,2	0,28	300
<i>ITAVER Ø 1 : 3</i>	25	21,7	0,54	300
<i>ROTAFLEX Ø 2,4</i>	30	30	0,9	350 : 450
<i>Minerální plst' - rohož, Ø 7</i>	20	120	2,4	700
<i>ISOMA Strusková vlna</i>	30:40:00	120	4,25	-
<i>Čedičová vlákna Ø 7</i>	20	-	-	700 – 1000
<i>Polyuretan (MOLITAN)</i>	20	35	0,7	80
<i>Pěnový PVC</i>	100	-	-	80

Tab. 2. Materiály pro pohlcování zvuku a jejich technické údaje (Ø značí průměr vlákna v µm) [16]

2 PÓROVITÉ SOUSTAVY

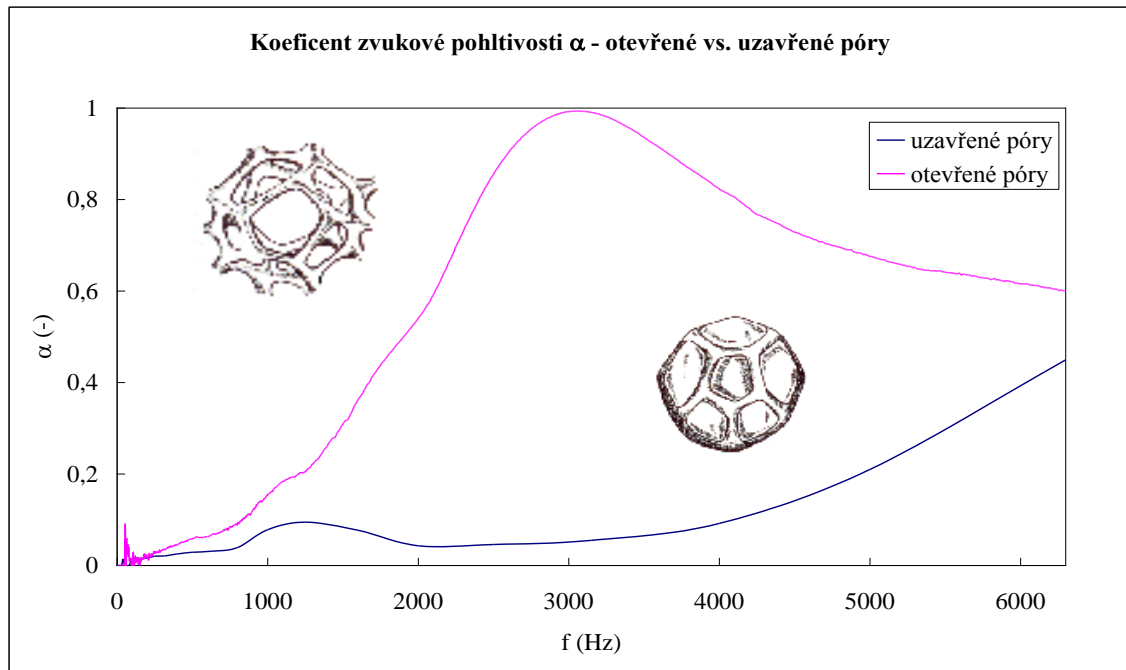
2.1 Pórovité materiály

Tento materiál je typický velkým množstvím pórů. Je charakteristický svou strukturou, která může být buď velmi měkká, nebo tuhá. Kostra obsahuje kanálky nebo vzájemně propojené póry, kterými se pohybují vzduchové částice. Existují zde také „slepé“ dutiny, v nichž za ustálených podmínek nedochází k pohybu částic. Pórovité materiály mohou být přírodního charakteru jako třeba korky, dřevo, pemza, anebo syntetického charakteru jako polyuretany, polystyreny a polyamidy. Polymery mohou obsahovat dvě dominantní formy pórů podle chemického složení, a to buď buňky otevřené, nebo uzavřené. Toto má základní vliv na konečné vlastnosti a použití polymeru. Otevřené póry mají vyšší absorpční schopnost pro vodu vlhkost, větší propustnost plynů a par, nižší izolační schopnost tepla, ale vyšší schopnost pohlcovat a tlumit zvuk. Následující (Obr. 4.) ukazuje, jaký je rozdíl mezi póry otevřenými a uzavřenými [8], [9], [10], [11].



Obr. 4. Schematická ukázka otevřených a uzavřených pórů [12]

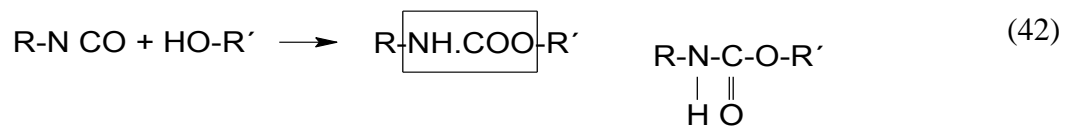
Následující (Obr. 5.) ukazuje rozdíl mezi koeficientem zvukové pohltivosti pro materiál s uzavřenými póry a materiál s otevřenými póry. Rozdíl mezi těmito dvěma druhy materiálů je značný v průběhu křivky pohltivosti ve frekvenčním pásmu od 16 – 6 400 Hz. Stejný rozdíl jako u křivky s otevřenými a uzavřenými póry je i rozdíl mezi velkým pórem, který má určitý objem a malými póry o určitém počtu „n“, které mají stejný celkový objem jako samostatný pór [4], [5], [6].



Obr. 5. Pohltivost otevřených a uzavřených pórů [12]

2.1.1 Polyuretany

Polyuretany vznikají reakcí více-funkčních izokyanátů s alkoholy, uretany = estery kyseliny karbamové:

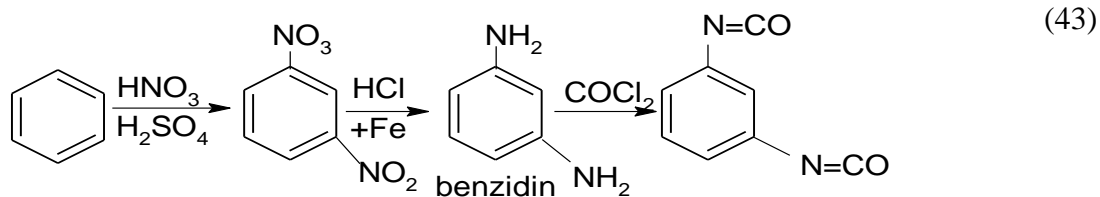


V praxi musí reakce izokyanátů s polyhydroxisloučeninami provádět v bezvodém prostředí, neboť může dojít k odštěpení CO_2 a ke vzniku močovinových vazeb. Reakce probíhají za teploty 20°C kvantitativně, za silného tepelného zbarvení, kde nevznikají žádné vedlejší produkty. Kombinací různých polyisokyanátů s polyalkoholy se dají připravit produkty nejrůznějších vlastností [10].

Základní surovinami pro výrobu PUR jsou polyisokyanáty, polyoly, extendery a katalyzátory [10].

- *Polyisokyanáty, diisokyanáty*

Z 95% jsou aromatické – jsou reaktivnější a levnější než alifatické, nevýhodou aromatických diisokyanátů je žloutnutí vlivem světla a kyslíku.



Nejdůležitějšími typy jsou [10]:

- diisokyanatotoluen TDI, který se používá prvovýrobu měkkých pěn a zčásti elastomerů.
- diisokyanatodifenylmethan MDI, který slouží pro přípravu elastomerů, polotvrdých a tvrdých integrálních pěn.
- diisokyanatonaftalen – nevysoce reaktivní a používá se pro mechanicky náročné elastomery.

Isokyanáty jsou dráždivé jedy, protože snadno reagují se sloučeninami obsahující aktivní vodík, také s tkáněmi lidského těla. Dráždivé účinky se projevují na kůži jako alergie nebo dermatózy, dále mohou pálit nebo slzet oči, dráždit ke kašli, který může předcházet plicním otokům.

- *Polyoly*

V praxi používáme hlavně polyesteralkoholy a polyetheralkoholy.

- polyesteralkoholy se vyrábí polyesterifikací dikarboxylových kyselin a přebytku diolu, produkty mají vyšší tvrdost a jsou odolné vůči povětrnostním vlivům a zvýšené teplotě.
- polyetheralkoholy se připravují polymerací propylenoxidu nebo jeho směsí s ethylenoxidem, slouží pro přípravu nátěrových hmot.

- *Extendery*

Ovlivňují povahu a hustotu fyzikálního i chemického zesíťení, hrají důležitou roli v konečných vlastnostech PUR. Reaktivnější jsou aromatické diaminy, které se používají v kombinaci s méně reaktivními předpolymery na bázi TDI. Naproti od hydroxysloučenin, ty jsou méně reaktivní a používají se v kombinaci s reaktivnějšími produkty na bázi MDI.

- *Katalyzátory*

Použitím vhodných katalyzátorů můžeme ovlivnit nejen rychlost reakce, ale i poměr rychlostí reakcí vedoucích k prodloužení lineárních řetězců, které uvolňují CO₂ pro tvorbu pěny [10].

Výroba polymeru se liší se podle druhu výrobků [10]:

- *Lehčené hmoty*

- *měkké* – z celkového objemu výroby tvoří asi 50%, téměř 90% z nich se připravuje v blocích, jako hydroxylovou složku můžeme použít lineární nebo slabě rozvětvené polyestery kyseliny adipové a diethylenglykol, nebo polyestery, které dávají stálější výrobek. Připravují se kontinuálně v pracujících zpěňovacích strojích s míchací hlavou, do které se přivádí všechny potřebné látky včetně pomocných. Zde se míchadlem za vysokých otáček vytvoří homogenní kapalina, která se lije do forem, kde bez přívodu tepla napění vzniklým CO₂. Zvětšování objemu probíhá krátce (1-2 minuty), ale výrobek může být z formy vyjmut až po 10 – 20 min. – vzniká „MOLITAN“.
- *tvrdé* – z celkového objemu výroby tvoří 30%, hydroxylová složka je silně rozvětvená. Připravují se v uzavřených nebo v otevřených formách. Mají uzavřené póry, vzhledem k rychlejší výstavbě polymerní sítě. Pracuje se dvoustupňově – napřed se připraví předpolymer, který se může omezeně skladovat. Později se vypěňuje přidáním H₂O (nebo taky fyzikálně přísadkou CClF₃).
- *polotvrde* – připravují se v blocích o hustotě 100 – 150 kg/m³, používají se jako izolační desky (řezané bloky).

- *Integrální* – jako nadouvadlo používáme CClF₃. Mezi teplotou formy a vnitřkem pěny dochází k rozdělení pórů, tzn. čím je nižší teplota formy, tím tlustší je kůra.

- *Vlákna a filmy z lineárních PU (termoplasty)*

DIK: hexametylendiizokyanát

Hydroxylová složka: 1,4 butandiol

} 1:1 přesně!

\overline{M} = 7.000 – 9.000

Polyadice probíhá buď přímo v bloku (vytlačuje se pásek), nebo v rozpouštědle (polymer vypadne ve formě bílého prášku) [10].

2.2 Vlastnosti pórovitých akustických materiálů

Pod pojmem porézní látka máme v akustice většinou na mysli pevnou látku, v jejímž objemu se nacházejí jemné kapilární póry vyplněné vzduchem. Poměr objemu těchto dutinek k celkovému objemu látky je 60 – 95 %. Materiál, tvořící kostru látky je buď vláknitý, nebo má strukturu ztuhlé pěny. Pohlcování zvuku probíhá mnohem lépe v látkách, jejichž póry jsou navzájem spojeny tak, aby se jimi zvuk mohl šířit látkou dále, respektive, aby mohl vzduch při akustickém kmitání proudit. Jedině tak bude možno využít prvního principu přeměny akustické energie vlivem tření. Póry nemusejí být spojeny u látek, jejichž kostra je velmi poddajná, elastická, takže zvuk do ní snadno z pórů přechází. Příkladem takových látek jsou pěněné měkké umělé hmoty.

Většina stavebních materiálů je velmi pórovitých, proto jsou schopny svojí porézní strukturou absorbovat dopadající akustickou energii. Děje se tak díky násobným odrazům akustického paprsku v pórech materiálu, tření vzduchu, který nese akustickou energii, o stěny pórů a přeměně akustické energie na expanzní práci periodicky stlačovaného vzduchu v pórech [1].

Podle struktury se dělí porézní materiály do tří skupin [1], [2].:

- *Vláknité* – dřevovláknité desky, minerální vlna, minerální rohože.
- *Partikulární* – jsou tvořeny anorganickými částicemi kameniva, které jsou lepeny organickými i anorganickými pojivy. Například sem patří akustické desky z mezerovitého betonu a mezerovité polymer betony.
- *Pěnové* – pěnový polyuretan a ostatní pórovité plastické hmoty.

Vláknité materiály jsou v praxi označovány a zahrnovány do skupiny pórovitých materiálů. Je to z toho důvodu, že i tyto materiály, zejména v oblasti akustických aplikací, velmi často obsahují velký objem vzduchu ve svém objemu a i jejich struktura odpovídá definici pórovitého materiálu.

Akustické materiály jsou používány obvykle k jednomu ze dvou účelů. Slouží buď k potlačování stojatých vln v uzavřeném prostoru a tím ke zkrácení doby dozvuku, nebo

jako překážky, která snižuje intenzitu zvuku na jeho cestě mezi dvěma místy. Některé materiály mohou sloužit k oběma účelům najednou, ale v praxi se častěji používá zvláštních materiálů k účinnějšímu splnění jednoho z obou úkolů [1], [2].

Pórovité materiály používané ve formě desek zeslabují zvuk jednak tím, že působí jako odrazivé plochy (stejně jako tuhé stěny) a jednak vlivem viskózních ztrát na rozhraních. V obecném případě se účastní kostra i vzduch v pórech přenosu zvukové vlny.

Pokud je pohltivý materiál umístěn přímo na nosnou konstrukci (stěnu, strop), dochází ke zpětnému odrazu zvukové vlny. Proto se akustický materiál od konstrukce odsazuje, čímž vznikne vzduchová mezera a dojde ke zvýšení hodnoty činitele zvukové pohltivosti. Vzduchová mezera působí také akusticky pohltivě, a tudíž lze použít porézní materiál menší tloušťky. Ten však musí být od konstrukce umístěn ve vzdálenosti lichých násobků $\frac{\lambda}{4}$ zvukového signálu. Pokud by ale byl umístěn v sudých násobcích, docházelo by naopak k poklesu hodnoty činitele zvukové pohltivosti.

Z hlediska fyzikálního můžeme u porézních látek s tuhou kostrou stanovit jejich pohltivé vlastnosti[1].

Při studiu akustických vlastností těchto materiálů se v praxi dává přednost údajům, které byly získány měřením. Na základě měření měrné akustické impedance pohltivého materiálu získáme činitel pohltivosti α pro kolmý dopad akustických vln ze vztahu [1]:

$$\alpha = \frac{1}{0,5 + 0,25 \left(\frac{x_r}{\rho \cdot c} + \frac{\rho \cdot c}{x_r} \right)} \quad (44)$$

kde: α – činitel zvukové pohltivosti [-],

x_r – reálná složka měrné akustické impedance [N.s/m³],

ρ – hustota prostředí [kg/m³],

c – rychlost šíření akustické vlny [m/s].

Maximální hodnota činitele pohltivosti tedy nastává při $x = \rho \cdot c$ a jeho hodnota je $\alpha = 1$. Pokud bychom chtěli určit činitele pohltivosti pro všesměrový dopad, mohli bychom zvolit reprezentativní hodnotu, kterou by poskytoval úhel dopadu 45°. Vlnový odpor pro-

středí by pak byl vynásoben odmocninou ze dvou a maximální činitel pohltivosti dosáhneme při podmínce $x_r = \sqrt{2} \cdot \rho \cdot c$ [1].

kde: x_r – reálná složka měrné akustické impedance [N.s/m³],

ρ – hustota prostředí [kg/m³],

c – rychlost šíření akustické vlny [m/s].

2.2.1 Poróznost, Y [-]

Poróznost neboli mezerovost je vlastně poměr objemů pórů V_a k celkovému objemu látky V_m [1].

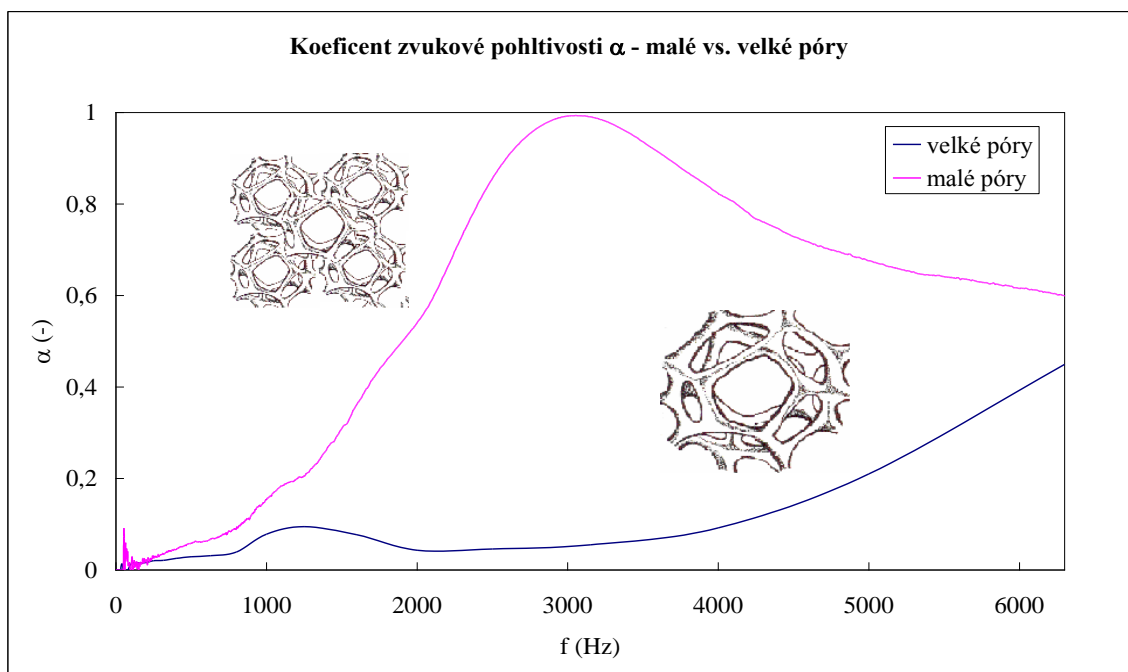
$$Y = \frac{V_a}{V_m} \quad (45)$$

kde: Y – poróznost [-],

V_a – objem vzduchu v dutinách [m³],

V_m – celkový objem zkoušeného materiálu [m³].

Hodnota poróznosti je také používána jako hlavní kritérium k určování pórovitosti materiálů. Poróznost má zásadní vliv na akustickou pohltivost. Následující (Obr. 6.) ukazuje rozdíl mezi velkým a malým množstvím pórů v objemové jednotce.



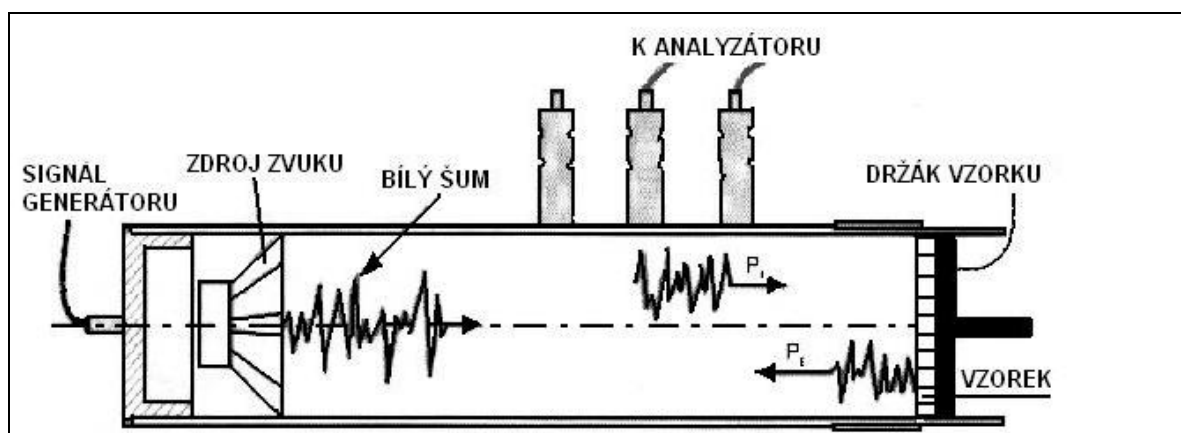
Obr. 6. Pohltivost malých a velkých pórů [12]

2.2.2 Umístění vzorků v Kundtově trubici

Při umístění porézních pohltivých látek nastávají v zásadě dva případy [1] :

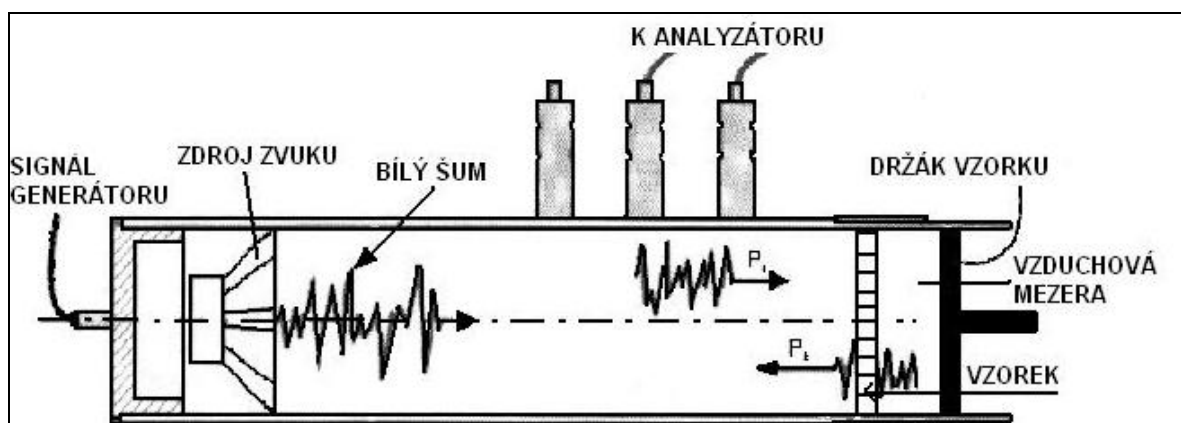
- Zkoumaný vzorek je upevněn na pevné, akusticky tvrdé stěně.
- Mezi zkoušeným vzorkem a stěnou se nachází vzduchová mezera.

V (Obr. 7.) je zaznamenána metodika měření činitele pohltivosti pro porézní látku upevněnou na pevné stěně. Mezi vzorkem a stěnou Kundtovy impedanční trubice není žádný vzduch a vzorek je umístěný přímo na držáku vzorku.



Obr. 7. Kundtova trubice bez vzduchu, vzorek je umístěn na držáku [vlastní zpracování]

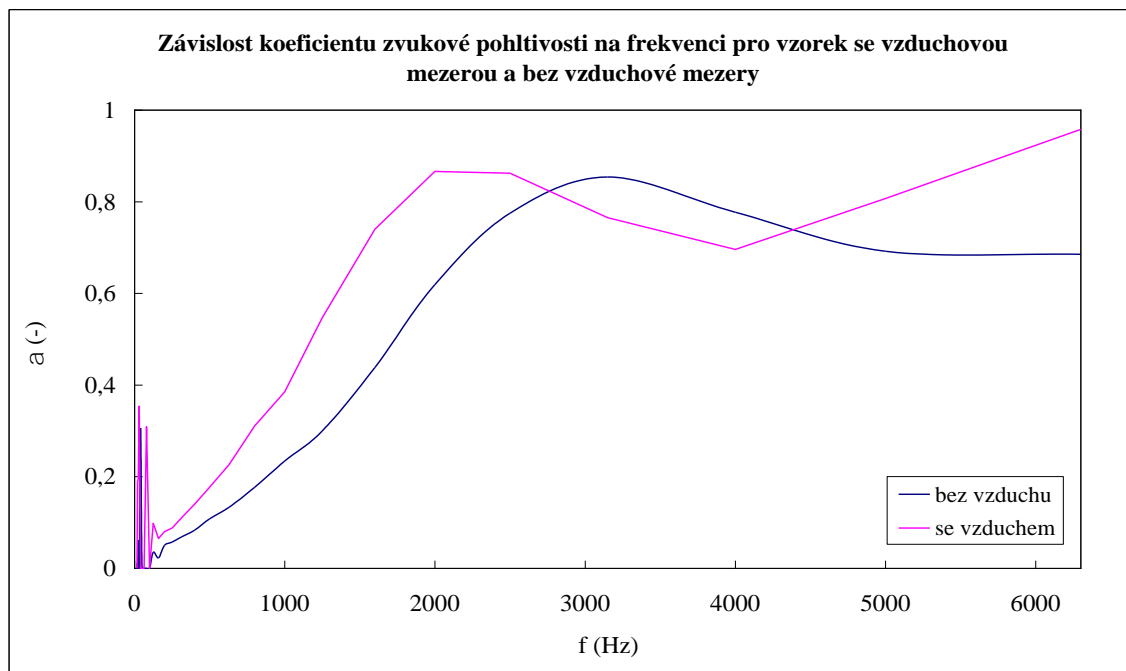
Následující (Obr. 8.) ukazuje, jak je vzorek umístěn se vzduchovým polštářem uvnitř impedanční trubice. Akustická pohltivost stoupá se zvyšující se šířkou vzduchové mezery mezi stěnou a vzorkem [1].



Obr. 8. Kundtova trubice se vzduchem [vlastní zpracování]

Z (Obr. 9.) vyčteme, že pohltivost je nízká v oblasti nízkých frekvencí a zvyšuje se směrem k vyšším frekvencím. V závislosti na činiteli poréznosti dosahuje určité maximální hodnoty. Čím vyšší poróznost, tím většího činitele pohltivosti dosáhneme. Při nižších frek-

venčích rozhoduje o pohltivosti především tloušťka materiálu. Velikost pohybové energie přeměněné v teplo je totiž závislá na amplitudě akustické rychlosti, která je při odrazu na tvrdé stěně rovna nule. Vzniká zde uzel akustické vlny. Se zvyšující se vzdáleností tato amplituda roste a maxima nabývá v místě kmitny, která je od stěny vzdálena o $\frac{1}{4}$ vlnové délky λ . Při nízkých kmitočtech je tedy vlnová délka větší a pohltivý materiál začne zvuk výrazněji pohlcovat teprve počínaje kmitočtem, jemuž náležící čtvrtina vlnové délky je rovna tloušťce porézní látky. V praxi se proto užívá uspořádání, kdy je pohltivý materiál umístěn v určité vzdálenosti od stěny. Nejlépe je-li střed desky z pohltivého materiálu umístěn od akusticky tvrdé stěny ve vzdálenosti $\frac{1}{4}$ vlnové délky příslušící kmitočtu zvuku, který má být pohlcován [1].



Obr. 9. Ukázka pohltivosti se vzduchovou mezerou a bez vzduchové mezery [12]

3 PRŮMYSLOVÉ VYUŽITÍ

Možné eventuelní využití materiálů na bázi polyuretanů a skelných vláken má velmi široký záběr z hlediska jak samostatných aplikací, tak kombinací s jinými materiály nebo dokonce kombinací těchto dvou materiálů samotných. Velkou předností obou materiálů z hlediska „konstruktéra“ je jejich nízká hustota. Polymerní základ polyuretanů je velmi dobrý pro nízkou tepelnou vodivost, ale hlavně porézní struktura nabízí speciální využití v automobilovém, kolejovém nebo leteckém průmyslu. Naproti tomu skelné vlákna mají odolnost proti širokému spektru chemikálií, nízká tepelná vodivost (300x nižší než u hliníku), elektroizolační vlastnosti a vysoký útlum zvukových vln (ve formě vaty). V poslední době rostou nové varianty využití zejména u skelných vláken ve formě tkanin v oblasti svařování (bezpečnost proti ožehu a žhavé strusce) nebo požární ochrany.

Zaměření na oblast využití se také nabízí pro letecké aplikace, ve kterých je důležitý faktor bezpečnosti pro cestující, ale také komfort cestování na dlouhé vzdálenosti. Ideální kombinací je kompozitní struktura vybrané tkaniny a velmi pohltivého polyuretanu s otevřenými póry z hlediska akustické pohltivosti, ale také ochrany proti hoření. Zkoušení tohoto „kompozitu“ je v současné době na vzestupu a eventuelní aplikace do letadel specifického typu budou v budoucnu poměrně žádoucí, protože vývoj a výzkum materiálu jako samostatného celku pro konkrétní využití je velmi nákladný. V tomto duchu se nabízí kombinace již existujících materiálů s jedinečnými vlastnostmi, které mohou mít v případě instalace do trupu letadel lepší parametry než materiál samotný.

V neposlední řadě jsou nutné zkoušky, které přiblíží možnosti materiálové kombinace a také její schopnosti vůči mechanickému opotřebením, hořlavosti, akustické pohltivosti nebo odrazivosti.

4 VÝSTUŽE (VLÁKNA, TKANINY, ROHOŽE)

Nejčastěji používanou výztuží ve vláknových kompozitech vyráběných tažením, navíjením nebo jinými technikami jsou skleněná vlákna. První zmínka o skleněných vláknech pochází z knihy Antonia Neri, publikované ve Florencii v roce 1612. Už tehdy byly překvapivé jejich neobvyklé vlastnosti, především vysoká pevnost ve srovnání se sklem tabulovým, i přes velmi podobné chemické složení. Příčinu vysoké pevnosti skelných vláken ve srovnání s masivním sklem poprvé interpretoval Griffith, který tak položil základ velmi mladé a perspektivní disciplíny – lineární elastické lomové mechaniky (LEFM).

Pevnost tuhého tělesa je na rozdíl od modulu pružnosti, který je termodynamickou fenomenologickou veličinou náhodnou. Rozhoduje o ní distribuce a velikost defektů. Je – li v tělese daného materiálu přítomen defekt kritické velikosti, dojde při působení i velmi malých vnějších napětí ke katastrofickému lomu tělesa v důsledku lokálního překonání meze pevnosti koncentrací napětí na defektu. Kromě termodynamického stavu materiálu bude o pevnost rozhodovat geometrie tělesa a zatěžování.

Pravděpodobnost existence kritického nebo nadkritického defektu snižujícího pevnost je mnohem nižší v tenkých vláknech než ve skleněných tělesech o vyšší tloušťce. V důsledku toho mají vlákna zhruba 20krát vyšší pevnost v tahu než např. skleněná tyčovina či tabulové sklo. Průmyslově vyráběná skleněná vlákna, jejichž průměr je v rozmezí 5–20 μm (nejčastěji 12–15 μm), tvoří v kompozitech součást nesoucí zatížení a dodávají kompozitu tuhost a pevnost (proto „výztuž“). Matrice (pojivo, pryskyřice) tato vlákna pouze chrání proti vlivům prostředí a manipulaci, pojí je dohromady do požadovaného tvaru a přenáší na ně zatížení působící na kompozitní dílec. Přes velmi dobré mechanické vlastnosti a nízkou cenu mají skleněná vlákna i některé nedostatky, jako je relativně nízký modul pružnosti (72 GPa u E-skla a 85 GPa u S2-skla), navíc jsou poměrně křehká, což znesnadňuje manipulaci a omezuje některé aplikace.

Vláknové výztuže prodělaly poměrně bouřlivý rozvoj především v 60. a 70. letech, kdy byla na trh uvedena první komerční uhlíková vlákna (vysoký modul pružnosti až 600 GPa). Na konci 70. let se začala objevovat i další vlákna, která mají vysoký modul pružnosti v tahu (120–190 GPa) a navíc nejsou křehká. Mezi tato vlákna patří aramidová vlákna (aromatické polyamidy – KEVLAR) a vlákna z ultra-vysokomolekulárního polyetyleny, komerčně nazývaná DYNEEMA v Evropě a SPECTRA v USA [17].

4.1 Skleněná vlákna

Nejběžnější skleněná vlákna se vyrábějí především ze skloviny označované jako sklo E. Základem E skla je soustava oxidů $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$. Dříve se vlákna vyráběla dvou-stupňově, nejprve se ze sklářského kmenu vytvořily tavením při teplotě 1550°C kuličky o průměru 10 – 20 nm, které se dále tavily v platinových kelímcích, ze kterých se vytahovalo vlákno. Nověji jsou v provozu kontinuální technologie, tzn., na jednom konci pece se sází sklářský kmen a na druhém se z platinových vaniček vytahuje vlákno. Toto vlákno má průměr nejčastěji od 3,5 do 20 μm . Najednou se táhne 51 až 408 vláken. Vytažený pramenec vláken se navíjí na buben. Ještě před samotným navinutím je vlákno, které je samo o sobě velmi abrazivní a lámavé, opatřeno lubrikací a apreturou. Samotná lubrikace je pro použití v kompozitech nevhodná, protože sice zlepšuje manipulovatelnost vlákny. Vlákna však mají prakticky nulovou adhezi k polymerní matici. Proto se již přímo ve výrobě vláken opatřují tzv. apretační vrstvou, která zlepší vazbu mezi vláknem a pryskyřicí.

Jedná se nejčastěji o organické silany s charakteristickou strukturou X-R-SiY_3 .

R je většinou alifatický uhlovodíkový řetězec o různé délce, X je vhodná koncová skupina (amino, vynil, atd.) schopná potenciálně reagovat s pryskyřicí, Y je nejčastěji ethoxy skupina, methoxy skupina nebo chlor. Vazba Si-Y je snadno hydrolyzovatelná a pomocí vzniklých silanolů může dojít k povrchové kondenzaci tenké adhezní vrstvy vázané k povrchu vláken siloxanovými vazbami (hydrolytická nestabilita). Komerčně se vlákna charakterizují podobně jako textilní vlákna délkovou hmotností (hmotnost na jednotku délky), která se udává v jednotkách tex, vyjadřující hmotnost jednoho kilometru vláken v gramech. Běžně se používají skleněné rovingy s tex 1000 – 4000 [17].

<i>Typ skla</i>	<i>E - sklo</i>	<i>C - sklo</i>	<i>S - sklo</i>
<i>Složení [%]</i>			
SiO_2	52,4	64,4	64,4
$Al_2O_3 + Fe_2O_3$	14,4	4,1	25,0
CaO	17,2	13,4	-
MgO	4,6	3,3	10,3
$Na_2O + K_2O$	0,8	9,6	0,3
B_2O_3	10,6	4,7	-
BaO	-	0,9	-
<i>Vlastnosti</i>			
$\rho [Mg/m^3]$	2,60	2,49	2,48
$K [W/mK]$	13	13	13
$\alpha [10^{-6} K]$	4,9	7,2	5,6
$\sigma [GPa]$	3,45	3,30	4,60
$E [GPa]$	76	69	85,5
$T_{max} [^\circ C]$	550	600	650

Tab. 3. Složení různých typů skel [17]

<i>Sklo</i>	<i>E</i>	<i>S</i>	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>L</i>
<i>Hustota [kg/m³]</i>	2540	2490	2160	2490	4300
<i>Pevnost v tahu [GPa]</i>	3,5	4,65	2,45	2,8	1,68
<i>Modul pružnosti v tahu [GPa]</i>	73,5	86,8	52,5	70	51,1
<i>Poměrné prodloužení do mezi pevnosti [%]</i>	4,8	5,4	4,7	-	-
<i>Dielektrická konstanta, 20°C, 10⁶ [Hz]</i>	5,8	4,53	3,56	6,24	9,49

Tab. 4. Vlastnosti jednotlivých druhů skel [17]

Ostatní typy skelných vláken [17]:

- *Sklo typu S* - (vojenské účely) a jeho komerční verze S2 (Advanced Glassfiber Yarns, LLC, Belgie) či R (Vetrotex, Francie), jehož základem je soustava $SiO_2 * Al_2O_3 * CaO * MgO$. Toto sklo má vyšší pevnost v tahu a vyšší modul pružnosti ve srovnání s E-sklem. Pevnost v tahu je vyšší o 33%, modul pružnosti o 12%. Tato vlákna se používají v letecké a raketové technice. Největšího využití dosahují pro konstrukci listů rotoru helikoptér (Sikorski, UTC). Jeho použití pro extrémní podmínky (náhrada uhlíkových vláken) omezuje snižování pevnosti v tahu při vyšších teplotách nad 600°C.

- *Sklo typu D* - má mechanické vlastnosti horší než sklo typu E, avšak hlavně se používá pro svoji nízkou dielektrickou konstantu. Využití je především v elektrotechnice, elektronice, energetice.

- *Sklo typu C* - je chemicky odolné sklo v soustavě $\text{SiO}_2 \cdot \text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{Na}_2\text{O}_2 \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. Oproti sklu E vykazuje vysokou odolnost proti kyselinám, jeho mechanické vlastnosti však za E-sklem rovněž pokulhávají.

- *Sklo typu L* - je speciální sklo s vysokým obsahem olova. Olovo především zvyšuje nepropustnost vyrobeného laminátu rentgenovému záření. Aplikace tohoto typu skla najdeme v lékařství, vědeckých přístrojích a vojenství.

V praxi se využívá celá řada skelných tkanin, které se využívají ke komerčním účelům jako polotovary pro výrobu kompozitních výrobků. Mezi těmito tkaninami je zásadní rozdíl ve vlastnostech založených na tkané struktuře, které jsou uvedeny níže v (Tab. 5.). Tabulka zobrazuje tkaniny, jež jsou nejběžnější pro komerční využití [25].

<i>Kód výrobku</i>	<i>Šíře</i>	<i>Hmotnost [g/m²]</i>	<i>Dostava osnovy [1/cm]</i>	<i>Dostava útku [1/cm]</i>	<i>Materiál osnova [Tex]</i>	<i>Materiál útek [Tex]</i>	<i>Vazba</i>
<i>UTE80P</i>	100 cm	86	12	11,5	EC 6-34	EC 6-34	Plátno
<i>UTE110P</i>	100 cm	105	16	15	EC 6-34	EC 6-34	Plátno
<i>UTE110P</i>	120 cm	105	16	15	EC 6-34	EC 6-34	Plátno
<i>UTE140P</i>	100 cm	146	7,5	6,4	EC 11-102	EC 11-102	Plátno
<i>UTE163P</i>	100 cm	166	12	11,5	EC 9-68	EC 9-68	Plátno
<i>UTE165P</i>	127 cm	172	14	10,2	EC 9-68	EC 9-68	Plátno
<i>UTE195P</i>	100 cm	195	8	6	EC 13-136	EC 13-136	Plátno
<i>UTE200P</i>	100 cm	201	16,8	12,8	EC 9-68	EC 9-68	Plátno
<i>UTE220P</i>	100 cm	224	12	4,8	EC 11-102	EC 11-204	Plátno
<i>UTE280P</i>	100 cm	282	8	6	EC 11-204	EC 11-204	Plátno
<i>UTE390P</i>	100 cm	390	7,5	6,8	EC 13-272	EC 11-272	Plátno

Tab. 5. Přehled výrobků tkanin [25]

4.2 Kevlarová vlákna

Materiál, vyvinutý firmou DuPont v roce 1971, původně jako náhrada za ocel pro výtuhy pneumatik. Ukázalo se, že jeho možnosti využití jsou mnohem širší. Dnes se používá všude tam, kde je třeba mimořádně vysoké pevnosti a výjimečné teplotní stability. Z kevlaru se vyrábějí např. části letounů a raketoplánů, části brzd a podvozků, vesty chránící proti střelám, boty proti nášlapným minám, převodové řemeny, optické a telekomunikační kabely, ochranné přilby, různé druhy sportovního vybavení a řada dalšího. Kevlar je aramid, což je označení pro aromatické polyamidy.

Aramidové vlákno je vyrobené z polyamidu s dlouhým uhlovodíkovým řetězcem, jehož alespoň 85% peptidických vazeb spojuje dvě aromatická jádra. Vyrábí se navíjením pevného vlákna z kapalného roztoku, což je umožněno iontovou složkou reakční směsi (chlorid vápenatý), která se váže na vodíkové můstky amidové skupiny, a volbou organického rozpouštědla (N-methylpyrrolidon). Chemicky řečeno se kevlar syntetizuje z monomeru 1,4-phenylene-diamine (para-phenylenediaminu) a terephthaloyl chloridu kondenzační reakcí za vzniku kyseliny chlorovodíkové jako vedlejšího produktu. Výsledkem je materiál s vlastnostmi tekutého krystalu s polymerovými řetězci orientovanými ve směru vlákna, který se zvláknuje přes trysku, vlákna potom ztuhnou a při průchodu spřádací lázní se suší a dluží při teplotě 300 – 400°C .

Hexamethylphosphoramid (HMPA) byl první polymerizační roztok, ale toxikologické testy ukázaly, že má karcinogenní účinky, takže DuPont jej nahradil N-methylpyrrolidinem a roztokem chloridu vápenatého. Výroba kevlaru je nákladná díky obtížím spojenými s použitím jedovaté koncentrované kyseliny sírové, která je zapotřebí k tomu aby udržela vodou nerozpustný polymer v roztoku v průběhu syntézy a soukání.

Vlastnosti aramidového vlákna – je citlivý na ultrafialové záření, vlhkost a salinitu, je odolný vůči odření, teplu a organickým rozpouštědlům, je nevodivý, bez teploty tání, špatně zápalný, dobře zpracovatelný v továrnách při zvýšených teplotách, má vysokou pevnost a vysoký Youngův modul pružnosti, je obtížně barvitelný - většinou se barví ještě rozpuštěná forma.

Když se kevlar stočí výsledné vlákno má vysokou pevnost v tahu (cca 3000 MPa), relativní hustotu 1,44 g/cm³ a nekoroduje. Když se použije jako tkaný materiál, dá se použít na kotvící lana a další aplikace pod vodou [27], [28].

Existují 3 typy kevlaru [27]:

- *Kevlar* - používá se tradičně jako výztuha do pneumatik a ostatních gumařských výrobků.
- *Kevlar 29* – se používá na průmyslové aplikace, tj. kabely, náhrady asbestu, brzdící šňůry a ochranný prvek v oděvech.
- *Kevlar 49* - má největší pevnost v tahu ze všech aramidů a používá se jako plastické zpevnění trupů lodí, na letadla i cyklistická kola.

<i>Stupeň</i>	<i>Hustota</i> [g/cm ³]	<i>Modul tažnosti</i> [GPa]	<i>Modul pevnosti</i> [GPa]	<i>Tažnost</i> [%]
29	1,44	83	3,6	4,0
49	1,44	131	3,6 – 4,1	2,8
149	1,47	186	3,4	2,0

Tab. 6. Tabulka vlastností různých stupňů kevlarů [27]

Nejčastější průmyslové užití je na ohnivzdorné oblečení, ochranné oblečení a helmy, neprůstřelné vesty, kompozitní materiály, náhražky azbestu, horkovzdušné filtrování, výztuže pneumatik a jiných gumových výrobků, provazy a kabely, plachty lodí, sportovní pomůcky, blány bubnů, blány reproduktorů, kánoe a jiné lodě.

Vlákna kevlaru se skládají z dlouhých molekulových řetězců sestávajících z poly-paraphenylene terephthalamide. Je zde také mnoho mezi-řetězcových vazeb což dělá materiál extrémně pevným. Kevlar získává svou pevnost částečně také z vodíkových vazeb mezi karbonylovými skupinami a protony na sousedních polymerových řetězci a částečně také z π vazby mezi nahromaděnými vlákny. Přítomnost solí a dalších nečistot obzvláště přítomnost vápníku se může prolínat s mezi-vláknennými vazbami, proto se při výrobě kevlaru dbá velkou čistotou a opatrností, aby se roztok neznečistil. Struktura kevlaru se skládá z relativně pevných molekul, které mají snahu ukládat se do spíše planární listové struktury.

Má velmi dobrou odolnost proti vysokým teplotám, zachovává si svou pevnost a pružnost i ke kryogenickým teplotám (-196°C); dokonce je o něco pevnější při nízkých teplotách. Při vysokých teplotách je pevnost v tahu snížena o 10-20%, a již po několika hodinách se pevnost nadále snižuje. Například při 160°C se snížení pevnosti o 10% projeví po 500 hodinách. Při 260°C se snížení pevnosti o 50% projeví po 70 hodinách. Při teplotě 450°C kevlar sublimuje [27], [28].

<i>Vlákno</i>	<i>Obchodní značka</i>	<i>Specifická hmotnost</i> [g/cm ³]	<i>Tažná pevnost</i> [N/tex]	<i>Tažnost</i> [%]
<i>m-aramid</i>	<i>Nomex</i>	1,38	4,7	22
<i>p-aramid</i>	<i>Kevlar</i>	1,44	19	2,4
<i>uhlíkové vlákno</i>	<i>T1000G</i>	1,81	20	1,5
<i>polyesterové vlákno</i>	<i>Trevira</i>	1,38	8	15

Tab. 7. Porovnání vlastností kevlarů s dalšími materiály [28]

5 HOŘENÍ MATERIÁLŮ

5.1 Hoření

Hoření je fyzikálně chemická oxidační reakce, při které hořlavá látka reaguje vysokou rychlostí s oxidačním prostředkem za vzniku tepla a světla. Je to reakce exotermická.

K tomu aby došlo k hoření je zapotřebí přítomnosti [18]:

- hořlavé látky
- oxidačního prostředku
- zdroje zapálení s dostatečným množstvím energie a vysokou teplotou

Typy hoření [18]:

- *Dokonalé hoření* - hoření, při kterém nevznikají zplodiny a to jsou oxid uhličitý a vodní páry. Příkladem může být požár plynu unikajícího z potrubí na volných prostranstvích.
- *Nedokonalé hoření* - hoření, při kterém vznikají zplodiny schopné dalšího hoření. Příkladem může být požár ve sklepě, kdy zplodiny hoření dokážou často vytvořit výbušné koncentrace. Častým produktem nedokonalého hoření u organických hmot je oxid uhelnatý (CO), je jedovatý a ve směsi se vzduchem také výbušný, kyanovodík, různé ultra-jedy, karcinogenní a mutagenní látky atd.
- *Explozivní hoření* - může probíhat i formou výbuchu. Výbuch je rychlá fyzikálně-chemická reakce provázená okamžitým uvolňováním velkého množství energie.

5.2 Hořlavost

Hořlavost je snadnost, s jakou se substance vznítí a způsobí žár či hoření. Materiály, které se vznítí při určité teplotě, jsou považovány za hořlavé, přičemž nutná teplota je definována pevně. Teplota vznícení je důležitou charakteristikou. Teplota vznícení pod 100 °F (37,8 °C) je regulována ve Spojených státech jako potenciální nebezpečí na pracovišti. Příklady hořlavých tekutin jsou benzín, etanol a aceton. Nafta je jednou z nejméně regulovaných hořlavých kategorií a bionafta je považována za nehořlavou, má teplotu hoření obvykle pod 300 °F (150 °C), i přes to, že bionafta hoří v dieslových motorech [19].

5.2.1 Test hořlavosti

Zahrnuje zkoušku nekovových konstrukčních materiálů, jejich charakter a rychlost hoření materiálu (chování při zapálení, rychlost a charakter hoření po trase, projevy materiálu při hoření, samozhášení, úkapy hořící taveniny). Provedení testu je odkazováno na národní či mezinárodní normy a proto jsou výsledky tohoto testu poměrně objektivní a dobře porovnatelné [20].

5.2.2 Hořlavost materiálů použitých v interiérech vozidel

Chování při hoření autodoplňků se zkouší podle normy ČSN ISO 3795 (30 0577) resp. jejich odvozenin, kterou každá automobilka upravuje zejména výpočet výsledků a hodnocení. Provádění zkoušky je ve všech známých případech shodné a odpovídá postupu již výše zmíněné normy. Norma stanoví metodu pro určení vodorovné rychlosti hoření materiálů používaných v prostoru pro cestující silničních vozidel (např. osobních automobilů, nákladních automobilů kombi, autobusů) traktorů, zemědělských strojů a strojů pro lesní práce po vystavení malému plameni [21].

Odolnost proti ohni v letadlech potom stanovují normy typové řady ČSN EN, které definují hořlavosti jednotlivých komponent, ze kterých se skládá pilotní kabina, ale také prostor pro osádku letounu nebo nákladové prostory. Problematika vzniku požáru uvnitř letadel je velmi přísná je nutné se řídit normami, které jsou doporučeny pro konstrukční postupy vnitřní izolace, která musí být jednak nehořlavá v horším případě samozhášivá a musí mít potřebné akustické, mechanické, anti-vibrační, tepelné a jiné vlastnosti důležité pro schopnost letounu dodávat cestujícím dostatečný komfort a bezpečí. Hořlavost v našem případě byla testována dle normy pro tkaniny, které jsou součástí interiéru, a které mají stejné požadavky na polstrování v rámci interiéru kabin letadel [29], [30].

5.2.3 Příprava vzorků a testování

Pro zkoušky bylo vybráno 15 kusů dle šablony (v našem případě byla vytvořena šablona pro polyuretany – 150 x 50 mm a pro skelnou tkaninu 100 x 100 mm). Jelikož se jedná o homogenní materiál bez příměsí, tak není důležitá strana, ze které se vzorek zkoušel proto hořlavosti. V případě nehomogenního materiálu by se prováděly navíc zkoušky odlišné hořlavosti (což v našem případě nebylo nutné). Pro relevantní výsledky je nutné

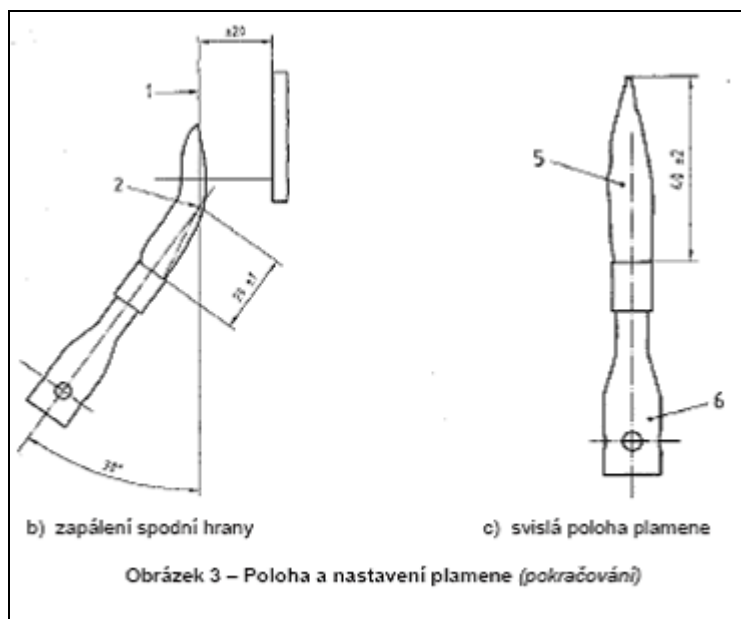
absolvovat alespoň na 10 kusech vzorků předepsané zkoušky. U materiálů majících různé rychlosti hoření v různých směrech (podélný a příčný směr pro tkaniny, kde závisí na tkaní ve směru osnovy a útku – pro polyuretany směr není stanoven) se odebere již zmíněných 15 vzorků a umístí se do zkušebního zařízení, tak aby se měřila nejvyšší rychlost hoření [29], [30].

- *Podstata zkoušky*

Vzorek je uchycen ve vodorovné poloze v držáku tvaru U a je vystaven účinku definovaného nízkoenergetického plamene po dobu 15 s ve spalovací komoře, přičemž plamen působí na volném konci vzorku. Kahan se před zkouškou vyhřívá 2 minuty dle postupu v normě. Zkouška určuje, zda a kdy plamen zhasne, nebo dobu, za níž plamen urazí měřenou vzdálenost. Umístění je v kulatém rámu, nikoliv v obdélníkovém [29], [30].

- *Vyjádření výsledků*

Výsledky a jejich prezentace je v souladu s normou ČSN EN ISO 6940 pro tkané textilie. V našem případě se jedná o zkoušku textilie skelné, která bude použita jako textilie látková (pro výzkumnou část a dalšího využití se použila skelná textilie firmy UNIQUE Textiles, s.r.o.). Pokud vzorek nezačne hořet nebo nepokračuje v hoření po vypnutí hořáku, nebo když plamen zhasne před dosažením prvního měřicího bodu tak, že doba hoření nebyla měřena, uvede se ve zkušební zprávě, že rychlost hoření je 0 mm/min. Měření doby hoření začíná v okamžiku, kdy plamen dosáhne prvního měřicího bodu. Měří se rychlost hoření až ke druhému měřicímu bodu. Z hodnot času a dráhy se vypočítá rychlost hoření v mm/min [21].



Obr. 10. Poloha kahanu při zkoušce [29], [30]

5.3 Bunsenův hořák

Vynalezl v roce 1855 německý chemik a fyzik Robert Wilhelm Eberhard von Bunsen. Je předchůdcem hořáku plynu a plynové pece.

Vynalezl jej k výrobě tepla, který neprodukuje kouř a odstraňuje všechny mikroorganismy a bakterie. Je to malý plynový hořák s nastavitelným plamenem, který si řídí množství plynu a vpouštěného vzduchu do hořáku. Je určen jako laboratorní zařízení pro ohřev chemických látek, sterilizaci a spalování.

Skládá se z kovové trubky, která je opatřena přívodem plynu na spodním konci trubice, který má nastavitelný regulační ventil. Otvory po stranách trubice lze regulovat límcem, podle toho, kolik požadujeme vzduchu. Směs vzduchu a plynů bývá optimální (asi 1 díl plynu na 3 části vzduchu). Směs je dotlačena do horní část trubice, kde je zapálena. Kahan hoří světle modrým plamenem (primární plamen), viděný jako malý vnitřní kužel a sekundárním plamenem, téměř bezbarvý plamen, viděný jako větší, vnější kužel, jehož zbývající plyn zcela oxiduje s okolním vzduchem.

Mimo laboratoř, je Bunsen hořák široce používaný v průmyslu, v plynových pecích i v každodenním životě. Mnohé laboratoře nyní přechází na elektrické varné desky, které mají více nastavitelné teplo [22], [23].

3 typy plamenů:

- *Bezpečnostní plamen* – je žluto – oranžové barvy, má přibližně 300°C a používá se na vytápění.
- *Modrý plamen* – střední nebo neviditelný plamen, je obtížné jej vidět v dobře osvětlené místnosti, je nejpoužívanější a dosahuje teploty 500°C.
- *Řvoucí modrý plamen* – nejžhavější plamen, má uprostřed modrý trojúhelník, který dělá hluk, dosahuje teploty až 700°C [24].



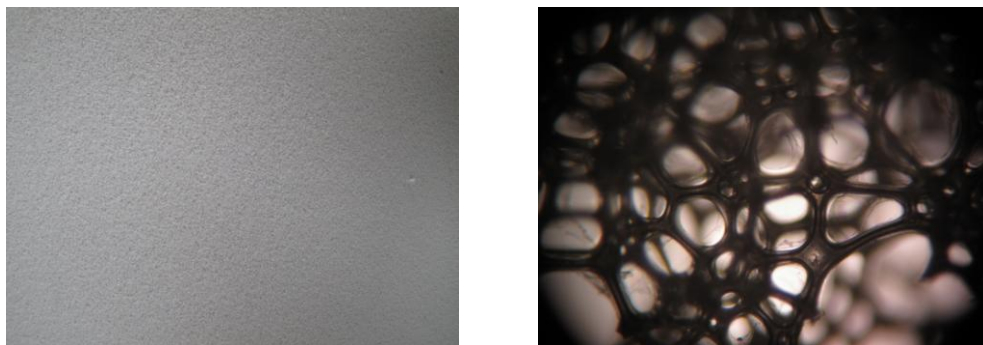
Obr. 11. Tři typy plamenů (bezpečnostní, modrý a řvoucí modrý plamen) [24]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 POPIS POLYURETANŮ

6.1 Polyuretan BÍLÝ CRHM - (PUR B.)

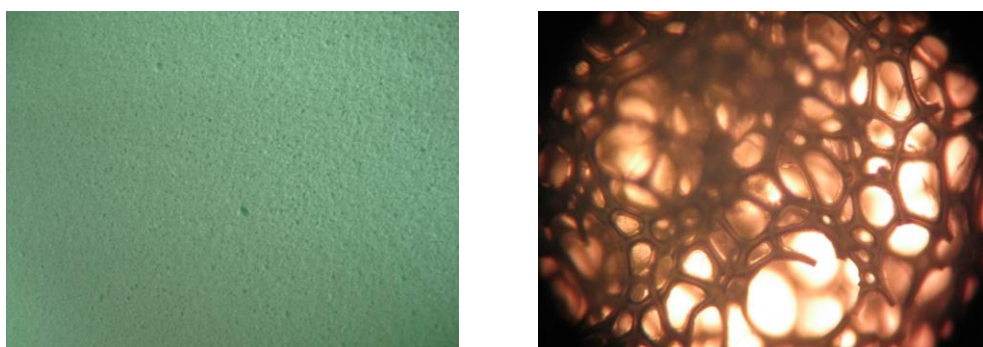
Tento polyuretan je používán na díly s požadavkem na sníženou hořlavost (polyuretanová pěna se sníženou hořlavostí).



Obr. 12. Povrch PUR BÍLÝ CRHM viditelný lidským okem (CANON PowerShot G10), póry PUR BÍLÝ CRHM viditelné pod mikroskopem (rozlišení 4x/0.10) [vlastní zpracování]

6.2 Polyuretan ZELENÝ HR3836 - (PUR Z.)

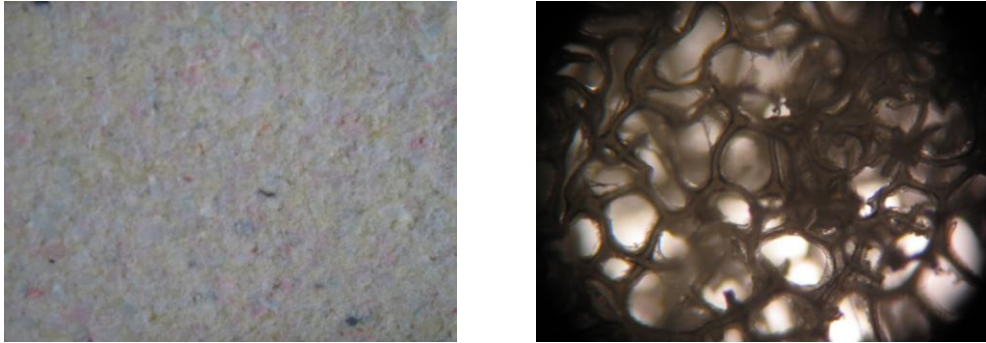
Tento polyuretan se používá k výrobě čalounických dílů pro luxusní sedací soupravy a tam, kde jsou požadavky na vysokou elasticitu (vysoko-elastická polyuretanová pěna).



Obr. 13. Povrch PUR ZELENÝ HR3836 viditelný lidským okem (CANON PowerShot G10), póry PUR ZELENÝ HR3836 viditelné pod mikroskopem (rozlišení 4x/0.10) [vlastní zpracování]

6.3 Polyuretan RECYKL - (PUR R.)

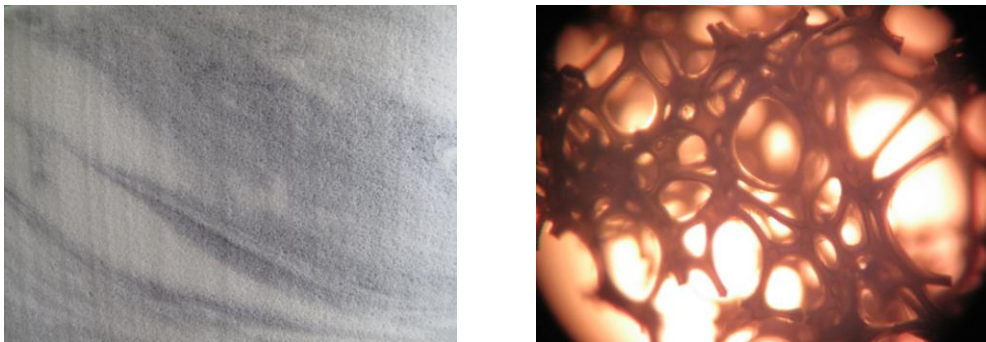
Tento polyuretan je směs pěnové drtě z více druhů polyuretanů, které se používají zejména do matrací jako základní část sendvičové struktury.



Obr. 14. Povrch PUR RECYKL viditelný lidským okem (CANON PowerShot G10), póry PUR RECYKL viditelné pod mikroskopem (rozlišení 4x/0.10) [vlastní zpracování]

6.4 Polyuretan PANTERA 100 - (PUR P.)

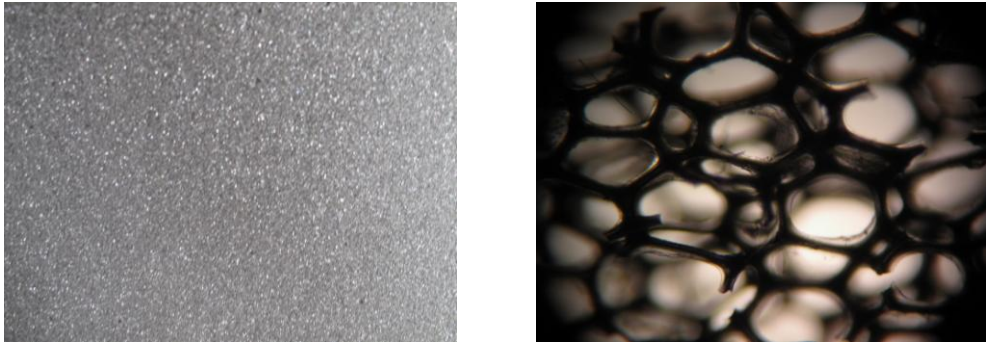
Tento polyuretan je novým typem polyuretanu, který má vykazovat nehořlavost a je charakterizován vysokým podílem latexu.



Obr. 15. Povrch PUR PANTERA 100 viditelný lidským okem (CANON PowerShot G10), póry PUR PANTERA 100 viditelné pod mikroskopem (rozlišení 4x/0.10) [vlastní zpracování]

6.5 Polyuretan ČERNÝ S35 - (PUR Č.)

Tento polyuretan je používán na desky, tvarované výrobky, automobilový průmysl, spotřební zboží a zvukovou izolaci. Vykazuje samozhášivost a má dobré mechanické vlastnosti.



Obr. 16. Povrch PUR ČERNÝ S35 viditelný lidským okem (CANON PowerShot G10), póry PUR ČERNÝ S35 viditelné pod mikroskopem (rozlišení 4x/0.10) [vlastní zpracování]

7 POPIS TKANIN

Všechny tkaniny byly odebrány od firmy UNIQUE Textiles, s.r.o., která se zabývá úpravou skelných vláken a jejich samotným tkaním do konečného stavu plátna. Vlastnosti těchto pláten jsou definovány v (Tab. 5.). Následující obrázky ukazují fotky z výroby tkanin firmy UNIQUE Textiles, s.r.o., strukturu a tvar použitých tkanin pro praktické měření.

7.1 Fotky z výroby tkanin firmy UNIQUE Textiles, s.r.o.



Obr. 17. Tkací stroj a mechanismus tkaní (pro útkovou nit vzduchový mechanismus) (CANON PowerShot G10)

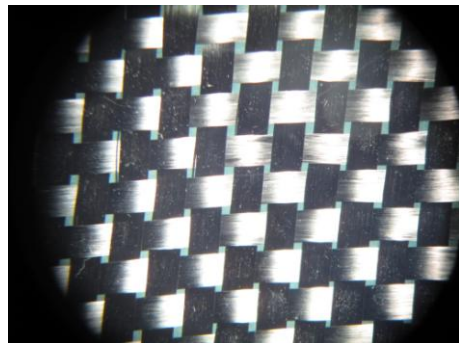
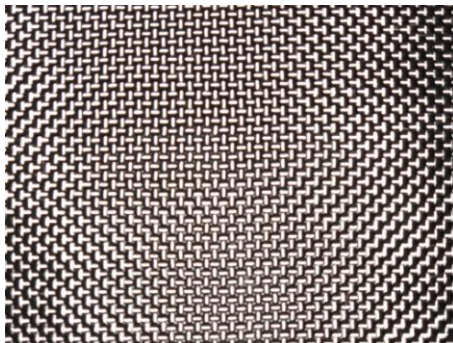


Obr. 18. Neseťkaná tkanina na roli a na vstupu do tkaného vzoru (CANON PowerShot G10)



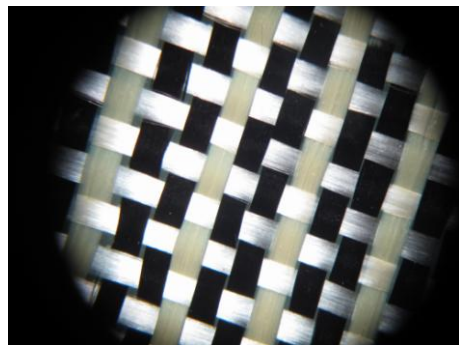
Obr. 19. Horní role pro osnovní nit, dolní role pro hotovou tkaninu a skladování tkanin (CANON PowerShot G10)

7.2 Tkanina ČERNÁ I. - (tk.I.)



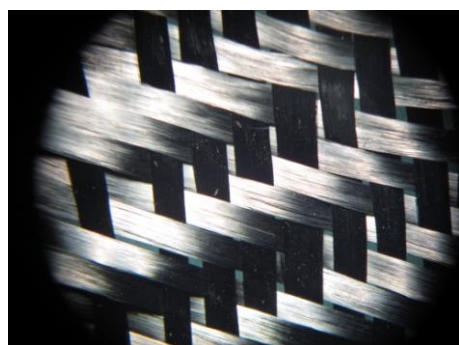
Obr. 20. Povrch tkaniny ČERNÁ I. viditelný lidským okem (CANON PowerShot G10) a pod mikroskopem (přiblížení 1,25) [vlastní zpracování]

7.3 Tkanina ČŽB – (tk.ČŽB.)



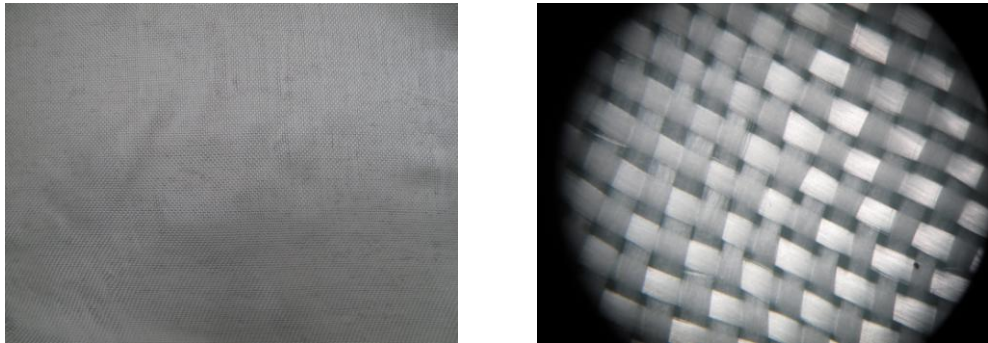
Obr. 21. Povrch tkaniny ČŽB viditelný lidským okem (CANON PowerShot G10) a pod mikroskopem (přiblížení 1,25) [vlastní zpracování]

7.4 Tkanina ČERNÁ II. – (tk.II.)



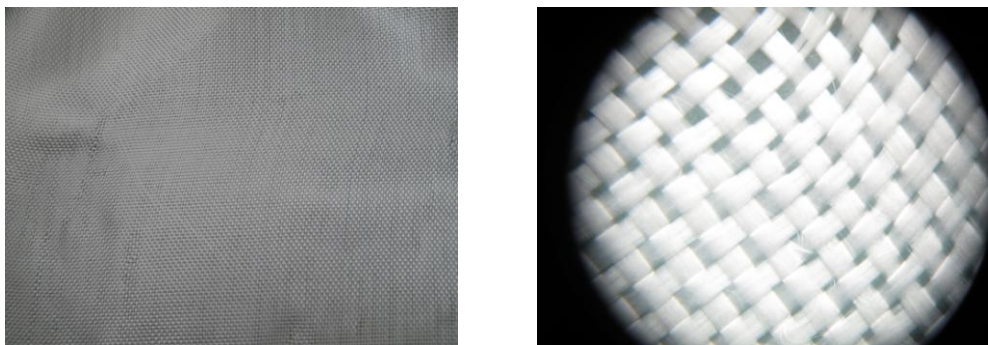
Obr. 22. Povrch tkaniny ČERNÁ II. viditelný lidským okem (CANON PowerShot G10) a pod mikroskopem (přiblížení 1,6) [vlastní zpracování]

7.5 Tkanina BÍLÁ UTE 140P/100 – (tk.140)



Obr. 23. Povrch tkaniny BÍLÁ UTE 140P/100 viditelný lidským okem (CANON PowerShot G10) a pod mikroskopem (přiblížení 1,25) [vlastní zpracování]

7.6 Tkanina BÍLÁ UTE 220P – (tk.220)



Obr. 24. Povrch tkaniny BÍLÁ UTE 220P viditelný lidským okem (CANON PowerShot G10) a pod mikroskopem (přiblížení 1,25) [vlastní zpracování]

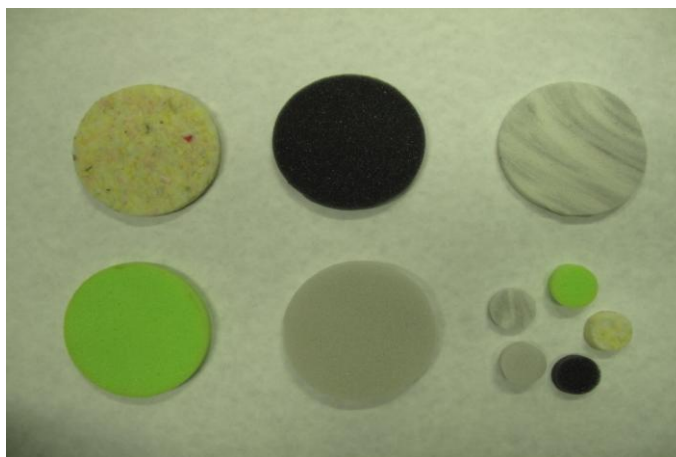
8 POPIS MĚŘENÍ

V následujících krocích jsou popsány měřené veličiny, které byly zvoleny pro praktickou část:

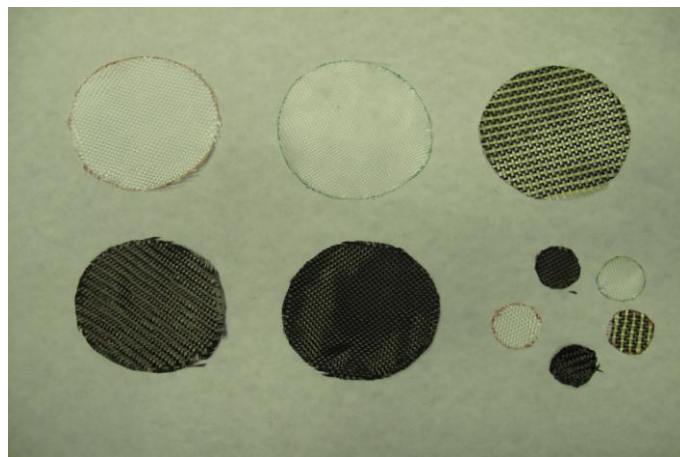
1. Měření vybraných akustických veličin - k základním měřeným akustickým veličinám zmíněných v této kapitole patří koeficient zvukové pohltivosti, koeficient zvukové odrazivosti. Všechny tyto veličiny byly definovány v předchozích kapitolách.
2. Měření tepelné stability nad Bunsenovým kahanem - v tomto měření bude zkoušena skápanost materiálu v plameni nad Bunsenovým kahanem a prohořívání předepsaných vzorků polyuretanů samostatných a s tkaninou.
3. Měření nasákavosti polyuretanu - v tomto měření bude zkoušena nasákavost vody v sendvičové struktuře a následné měření v Kundtově trubici.

8.1 Vzorky materiálů použité k měření

Pro praktickou část byly použity tyto druhy polyuretanu, skelné a kevlarové tkaniny, které jsou zobrazeny na následujících obrázcích jako vzorky pro měření v Kundtově impedanční trubici a pro zkoušky hořlavosti.



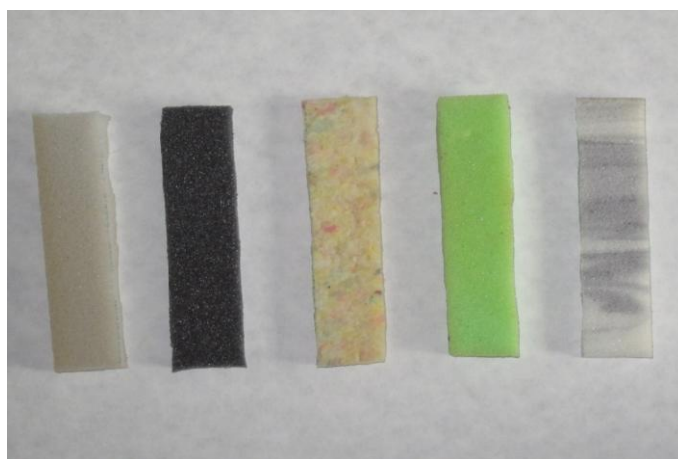
Obr. 25. Vzorky PUR pro měření na Kundtově impedanční trubici (CANON PowerShot G10)



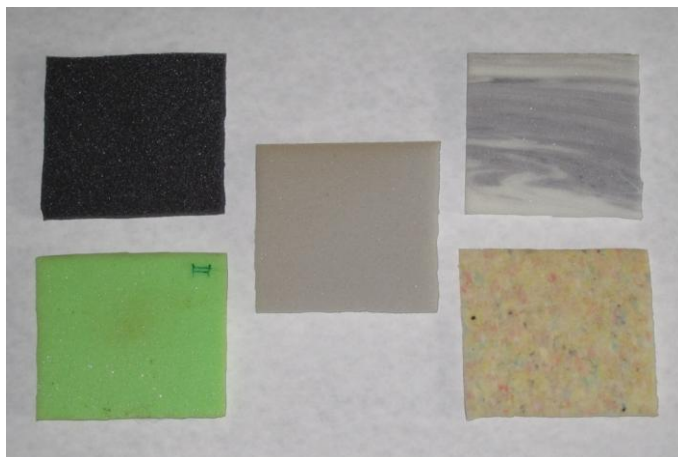
Obr. 26. Vzorky tkanin pro měření na Kundtové impedanční trubici (CANON PowerShot G10)



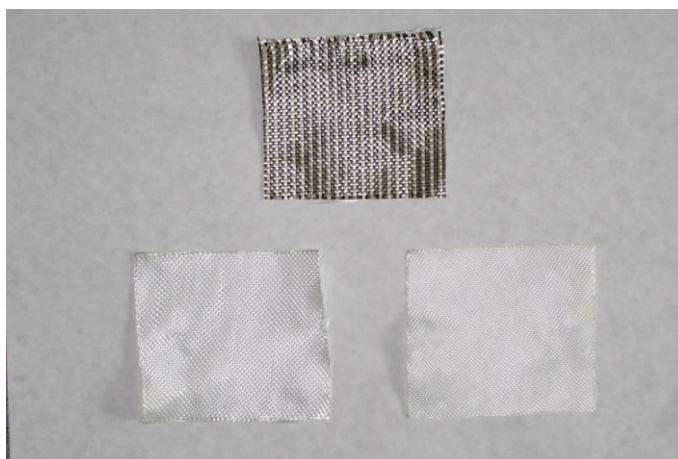
Obr. 27. Šablony pro vysekání vzorků na měření (CANON PowerShot G10)



Obr. 28. Vzorky PUR pro měření nad Bunsenovým kahanem (CANON PowerShot G10)



Obr. 29. Vzorky PUR pro měření nad Bunsenovým kahanem (CANON PowerShot G10)



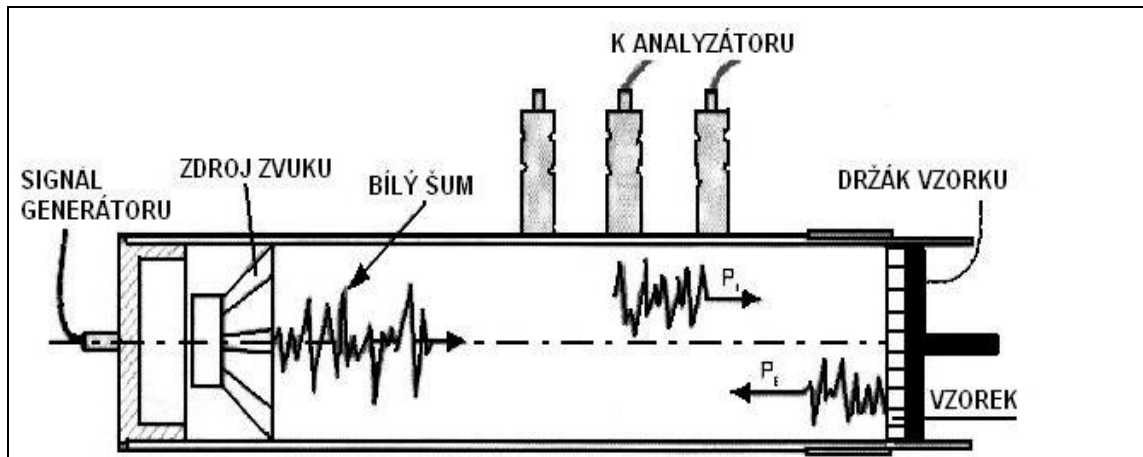
Obr. 30. Vzorky tkanin pro měření nad Bunsenovým kahanem (CANON PowerShot G10)

8.2 Použité měřicí zařízení a metody měření

8.2.1 Měření činitele zvukové pohltivosti

K získání hodnot činitele zvukové pohltivosti α měřených vzorků materiálů byla použita dvou-mikrofonová impedanční trubice, která je zkonstruována pro měření ve frekvenční oblasti 16 Hz až 6,4 kHz.

Při této metodě se používá rozkladu akustického signálu generovaného zdrojem uvnitř trubice na dopadající a odraženou složku, tyto složky jsou dány vztahem mezi akustickými tlaky působícími ve dvou místech na stěnu trubice.



Obr. 31. Schematické znázornění dvou-mikrofonové impedanční trubice [12]

Tato impedanční trubice se sestává z těchto částí:

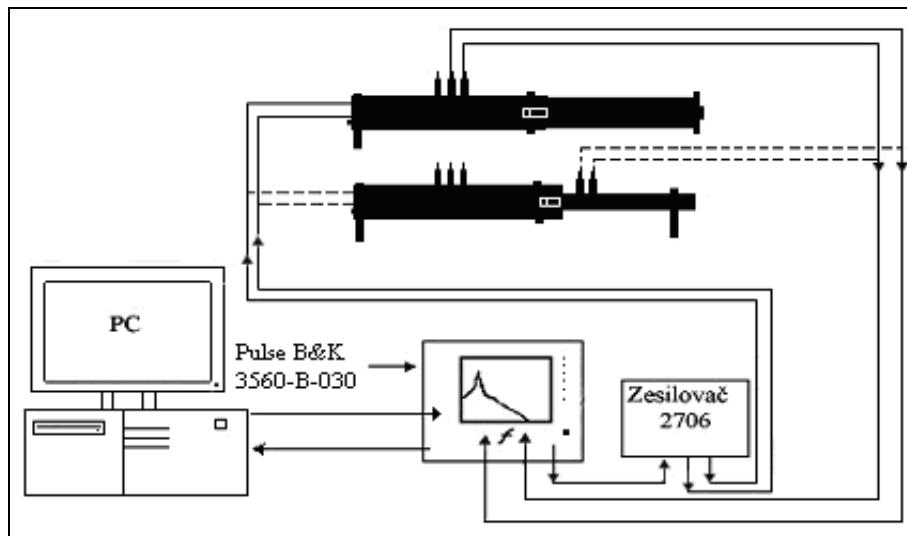
- velká měřicí trubice, která je určena pro měření ve frekvenční (kmitočtové) oblasti 16 Hz – 1,6 kHz. Tato trubice je vybavena zdrojem zvuku, dále obvodem pro vyvažování frekvencí a obsahuje tři pozice pro montáž mikrofonů
- malá měřicí trubice, jež je zkonstruována pro měření v oblasti frekvencí 64 Hz – 6,4 kHz a která obsahuje dvě pozice určené pro montáž mikrofonů.
- malý a velký držák vzorku, tyto držáky obsahují akusticky tvrdou zadní desku spojenou s pohyblivým pístem.



Obr. 32. Kundtova impedanční trubice a vzorky pro měření koeficientu zvukové pohltivosti [26]

Na dalším (Obr. 33.) je znázorněno zapojení aparatury s velkou a malou měřicí trubicí. Sestava obsahovala dvoukanálový analyzátor, PULSE B&K 3560-B-030 a zesilovač

B&K 2706. Pro snadnější obsluhu analyzátoru a zpracování dat je k analyzátoru připojen PC s aplikačním programem BZ 5050.



*Obr. 33. Zapojení aparatury s velkou a malou měřicí trubicí (sériové zapojení s generátorem signálu B&K 2706 a dvoukanalovým analyzáto-
torem PULSE B&K 3560-B-030) [26]*

8.2.2 Prostředí PULSE

Pro měření koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti byl použit analyzátor firmy, B&K PULSE typ 3560-B-030 a softwarové rozhraní spojené s analyzáto-
rem.

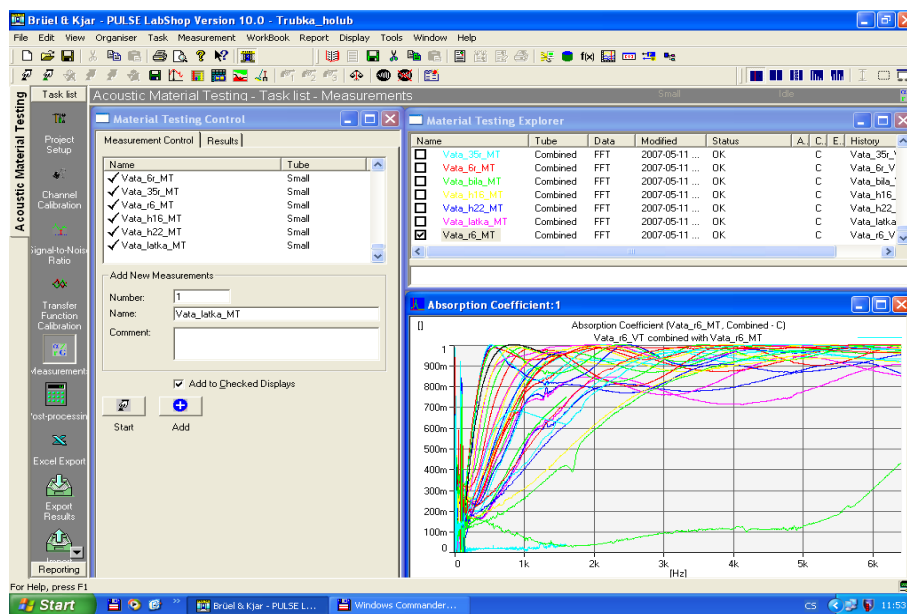


Obr. 34. PULSE typ 3560-B-030 [26]

Přenosný přístroj umožňující zpracování a analýzu signálů v reálném čase ve frek-
venčním rozsahu od 0 Hz do 25 kHz. V kombinaci s dvou-mikrofonovou trubicí Brüel &

Kjaer 4206 se používá k měření absorpčních a odrazových charakteristik materiálů. Používá se taky jako analyzátor hladiny zvuku.

Pro vlastní měření a vyhodnocení dat z analyzátoru PULSE slouží program LabShop, který je poskytován pro jednotlivé aplikace analyzátoru pomocí připojeného počítače. Prostředí programu ukazuje následující (Obr. 35.) pro měření koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti, ve kterém se měří jednotlivé metody impedanční trubice (malá trubice a velká trubice), kombinují se výsledná data a exportují do xls formátu (MS Office - Excel).



Obr. 35. Prostředí LabShop[26]

8.2.3 Vzorové hodnoty tkanin a hmotnosti tkanin

- Naměřené tloušťky a hmotnosti tkanin:

Číslo Měření	Tkaniny – Tloušťka [mm]				
	ČERNÁ I.	ČŽB	ČERNÁ II.	BÍLÁ UTE 140P/100	BÍLÁ UTE 220P
1.	0,250	0,240	0,247	0,123	0,167
2.	0,252	0,245	0,249	0,123	0,170
3.	0,246	0,237	0,247	0,125	0,163
4.	0,253	0,242	0,251	0,126	0,169
5.	0,250	0,239	0,250	0,124	0,167
6.	0,255	0,241	0,247	0,125	0,171
7.	0,258	0,238	0,249	0,124	0,170
8.	0,252	0,240	0,245	0,125	0,167
9.	0,253	0,243	0,251	0,123	0,165
10.	0,250	0,243	0,249	0,123	0,163
<i>Průměr</i>	0,252	0,241	0,249	0,124	0,167
<i>Chyba měření</i>	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001
<i>Směr. Odchylka</i>	0,003	0,002	0,002	0,001	0,003

Tab. 8. Naměřené tloušťky tkanin [vlastní zpracování]

Tkanina	Hmotnost - m [g]
ČERNÁ I.	1,966
ČŽB	2,090
ČERNÁ II.	1,927
BÍLÁ UTE 140P/100	1,564
BÍLÁ UTE 220P	2,193

Tab. 9. Naměřené hmotnosti tkanin o rozměru 10x10 cm [vlastní zpracování]

8.3 Postup měření nasákavosti polyuretanů

V tomto měření byly nejprve zváženy na analytických vahách (Obr. 36.) polyuretany, které můžeme vidět na (Obr. 25.). Poté byly dány vzorky do sušárny na 30 min při 62°C. Po 30 minutách byly vzorky vytáhnuty ze sušárny a následně zváženy a vloženy do exsikátoru, aby nepřijímaly vlhkost od okolí. Vysušené vzorky byly měřeny na Kundtově impedanční trubici.

Po naměření vysušených vzorků, byly vzorky namočený do destilované vody a přebytečná voda z nich byla vymačkána. Mokrý vzorky byly zváženy a naměřeny na Kundtově impedanční trubici.

8.3.1 Naměřené hmotnosti vysušených a mokrých polyuretanů

- **Hmotnost vzorků vysušených a mokrých polyuretanů:**

Vzorek	Hmotnost vzorku - m [g]			Hmotnost vzorku - m [g]		
	Velký	Vysušený	Mokrý	Malý	Vysušený	Mokrý
PUR - BÍLÝ CRHM	3,992	3,982	9,054	0,338	0,326	0,750
PUR - ZELENÝ HR3836	4,152	4,142	5,950	0,315	0,306	0,680
PUR – RECYKL	7,099	7,002	16,897	0,633	0,625	1,649
PUR – PANTERA 100	3,321	3,318	5,950	0,315	0,3078	0,680
PUR - ČERNÝ S35	2,665	2,660	5,613	0,235	0,228	0,543

Tab. 10. Hmotnosti vysušených a mokrých vzorků polyuretanů

[vlastní zpracování]

8.4 Postup měření hořlavosti s Bunsenovým kahanem

8.4.1 Zkoušky ohněm

- Vkládání proužků do plamene – na toto měření byly použity polyuretanové vzorky o rozměru 15x3x1 cm (Obr. 28.), které byly opětovně vkládány a vytahovány z plamene. Časy jednotlivých vzorků polyuretanů jsou zaznamenány v následující (Tab. 11.).
- Prohořívání čtverců v plameni – na toto měření byly použity polyuretanové vzorky o rozměrech (13x13x1 cm) - (Obr. 29.) a skelné tkaniny o rozměrech (13x13 cm) - (Obr. 30.), které byly položeny na trojnožku nad Bunsenův kahan. V (Tab. 12.), (Tab. 13.), (Tab. 14.), (Tab. 15.) a (Tab. 16.) jsou zaznamenány jednotlivé vzorky polyuretanů i s tkaninami. Dále jsou zaznamenány hmotnosti před vložením do plamene, hmotnosti po prohoření vzorku, časy a procentní zůstatek vzorků.
- Doba shoření 10 cm u proužků – v tomto měření byly použity polyuretanové vzorky o rozměrech (15x3x1 cm). Vzorky byly rozděleny na dvě části, tj. 5 cm a 10 cm. Do plamene byl vložen vzorek a sledoval se uplynulý čas shoření 10 cm v plameni. Pro jednotlivé polyuretany jsou hmotnosti, časy a procenta zaznamenány v (Tab. 17.), (Tab. 18.), (Tab. 19.), (Tab. 20.) a (Tab. 21.).

8.4.2 Měřicí zařízení

Na měření zkoušek ohněm, byly použity tyto přístroje:

- Analytické váhy, které váží s přesností na 4 desetinné místa



*Obr. 36. Analytické váhy RADWAG
AS 220/C/2 (CANON PowerShot G10)*

- Pravítko, nůžky, fixy, lepicí páska, plech o rozměrech 14x11 cm, kleště na držení vzorku, držák, trojnožka, alobal, plynová bomba, zápalky, stojan na držák
- Bunsenův hořák



*Obr. 37. Aparatura pro měření zkoušek v ohni
(CANON PowerShot G10)*

- Vkládání proužků do plamene o rozměru 15x3x1 cm

Počet měření	POLYURETANY				
	BÍLÝ CRHM	ZELENÝ HR3836	RECYKL	PANTERA 100	ČERNÝ S35
	Čas - t [s]	Čas - t [s]	Čas - t [s]	Čas - t [s]	Čas - t [s]
1.	2,09	32,26	63,44	1,47	1,00
2.	4,15	32,78	62,18	3,50	0,59
3.	1,28	32,15	65,43	2,18	1,21
4.	2,72	34,10	68,13	3,88	2,59
5.	1,83	36,08	62,15	3,25	1,02
6.	2,15	32,15	68,19	3,15	5,97
7.	0,90	38,16	68,20	4,10	1,83
8.	1,10	28,58	69,13	5,12	2,05
9.	0,56	31,15	69,93	2,00	2,72
10.	0,52	32,10	75,13	4,88	3,47
11.	1,15	33,23	79,15	3,13	2,43
12.	1,65	31,10	65,13	2,90	1,83
Průměr	1,68	32,82	68,02	3,30	2,23
Směr.odchylka	0,98	2,35	4,86	1,05	1,38
Chyba měření	0,30	0,71	1,47	0,29	0,38

Tab. 11. Vložení vzorků do plamene o rozměru 15x3x1 cm [vlastní zpracování]

- Prohořívání čtverců v plameni o rozměru 13x13x1 cm

PUR BÍLÝ CRHM				
Číslo měření	Hmotnost vzorku - m [g]	Čas t [s]	Hmotnost prohořeného vzorku - m [g]	Procentní zůstatek* [%]
1. bez tkaniny	8,538	3,37	8,004	93,22
2. s tk. ČŽB	8,474	21,03	7,861	92,76
3. s tk. UTE 140P/100	8,558	12,62	8,042	93,97
4. s tk. UTE 220P	8,562	74,23	8,316	97,13

Tab. 12. Hodnoty prohořených bílých polyuretanových čtverců s tkaninou i bez tkaniny o rozměru 13x13x1 cm [vlastní zpracování]

* procentní zůstatek definuje, kolik materiálu zůstalo po prohoření vzorku bez porušení ohněm

PUR ZELENÝ HR3836				
Číslo měření	Hmotnost vzorku - m [g]	Čas t [s]	Hmotnost prohořeného vzorku - m [g]	Procentní zůstatek* [%]
1. bez tkaniny	4,769	6,75	4,533	95,05
2. s tk. ČŽB	5,710	30,66	5,549	97,17
3. s tk. UTE 140P/100	5,344	10,46	4,308	80,61
4. s tk. UTE 220P	5,186	9,07	4,481	86,40

Tab. 13. Hodnoty prohořených zelených HR3836 polyuretanových čtverců s tkaninami i bez tkaniny o rozměru 13x13x1 cm [vlastní zpracování]

PUR RECYKL				
Číslo měření	Hmotnost vzorku - m [g]	Čas t [s]	Hmotnost prohořeného vzorku - m [g]	Procentní zůstatek* [%]
1. bez tkaniny	15,584	3,65	15,300	93,22
2. s tk. ČŽB	15,453	41,91	14,733	95,34
3. s tk. UTE 140P/100	13,372	21,85	12,497	93,46
4. s tk. UTE 220P	15,846	33,21	14,951	94,35

Tab. 14. Hodnoty prohořených recykl polyuretanových čtverců s tkaninou i bez tkaniny o rozměru 13x13x1 cm [vlastní zpracování]

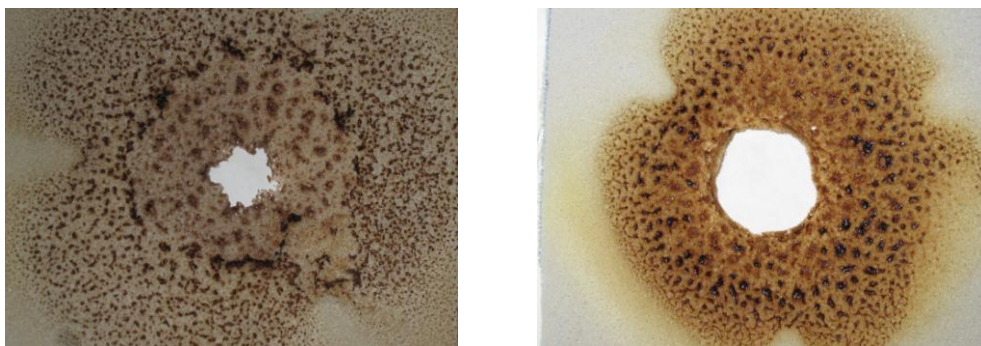
PUR PANTERA 100				
Číslo měření	Hmotnost vzorku - m [g]	Čas t [s]	Hmotnost prohořeného vzorku - m [g]	Procentní zůstatek* [%]
1. bez tkaniny	7,708	2,15	7,185	93,22
2. s tk. ČŽB	7,850	36,04	7,561	96,32
3. s tk. UTE 140P/100	7,391	23,81	6,835	92,48
4. s tk. UTE 220P	7,876	18,25	5,229	66,40

Tab. 15. Hodnoty prohořených pantera 100 polyuretanových čtverců s tkaninou i bez tkaniny o rozměru 13x13x1 cm [vlastní zpracování]

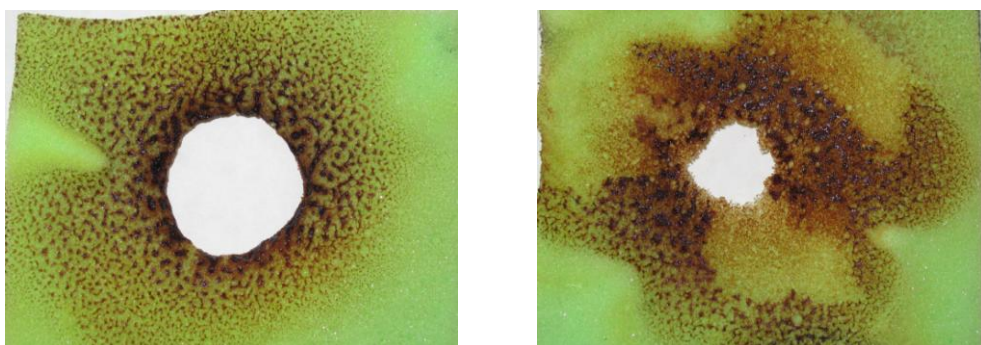
<i>PUR ČERNÝ S35</i>				
<i>Číslo měření</i>	<i>Hmotnost vzorku - m [g]</i>	<i>Čas t [s]</i>	<i>Hmotnost prohořeného vzorku - m [g]</i>	<i>Procentní zůstatek* [%]</i>
<i>1. bez tkaniny</i>	6,103	6,78	5,544	93,22
<i>2. s tk. ČŽB</i>	5,738	16,81	5,399	94,09
<i>3. s tk. UTE 140P/100</i>	5,952	14,41	5,156	86,64
<i>4. s tk. UTE 220P</i>	5,813	17,72	5,421	93,26

Tab. 16. Hodnoty prohořených černých S35 polyuretanových čtverců s tkaninou i bez tkaniny o rozměru 13x13x1 cm [vlastní zpracování]

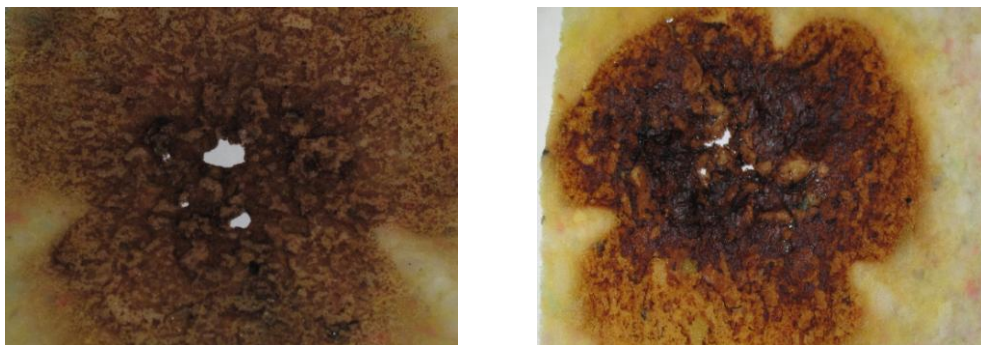
- **Fotky prohořených čtverců v plameni o rozměru 13x13x1 cm**



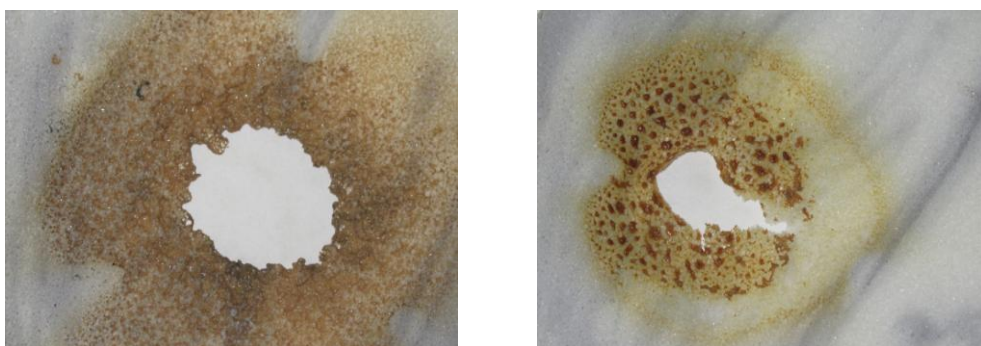
Obr. 38. Prohořený čtverec PUR BÍLÝ CRHM bez tkaniny a prohořelý čtverec PUR BÍLÝ CRHM s tkaninou ČŽB (CANON PowerShot G10)



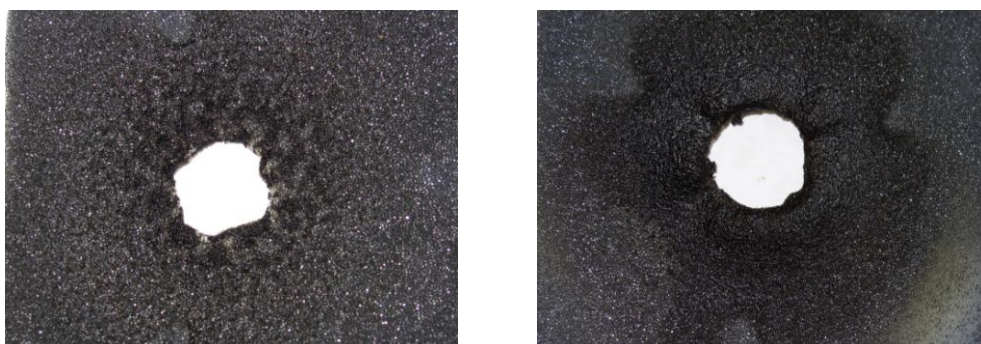
Obr. 39. Prohořený čtverec PUR ZELENÝ HR3836 bez tkaniny a prohořelý čtverec PUR ZELENÝ HR3836 s tkaninou UTE 220P (CANON PowerShot G10)



Obr. 40. Prohořený čtverec PUR RECYKL bez tkaniny a prohořelý čtverec PUR RECYKL s tkaninou UTE 140P/100 (CANON PowerShot G10)



Obr. 41. Prohořený čtverec PUR PANTERA 100 bez tkaniny a prohořelý čtverec PUR PANTERA 100 s tkaninou UTE 140P/100 (CANON PowerShot G10)



Obr. 42. Prohořený čtverec PUR ČERNÝ S35 bez tkaniny a prohořelý čtverec PUR ČERNÝ S35 s tkaninou UTE 140P/100 (CANON PowerShot G10)

Doba shoření 10 cm proužků o rozměrech 15x3x1 cm

PUR BÍLÝ CRHM				
Číslo měření	Hmotnost vzorku - m[g]	Čas t [s]	Hmotnost vzorku po shoření - m[g]	Procentní zůstatek* [%]
1.	2,271	50,78	0,703	30,96
2.	2,257	57,25	0,745	33,01
3.	2,201	41,25	0,729	33,10
4.	2,256	49,25	0,797	35,33
5.	2,254	38,16	0,767	34,02
6.	2,274	45,97	0,768	33,79
<i>Průměr</i>	2,252	47,11	0,751	33,37
<i>Směr. Odchylka</i>	0,024	6,28	0,030	
<i>Chyba měření</i>	0,011	2,81	0,014	

Tab. 17. Hodnoty shořených bílých CRHM polyuretanových proužků o rozměru 15x3x1 cm [vlastní zpracování]

* procentní zůstatek definuje, kolik materiálu zůstalo po shoření 10 cm/za uplynulý čas, který vidíme v tabulce

PUR ZELENÝ HR3836				
Číslo měření	Hmotnost vzorku - m [g]	Čas t [s]	Hmotnost vzorku po shoření - m[g]	Procentní zůstatek* [%]
1.	2,722	48,75	0,940	34,55
2.	2,970	42,37	0,929	31,28
3.	2,734	36,47	0,859	31,40
4.	2,704	41,5	1,062	39,27
5.	2,622	41,41	1,025	39,10
6.	2,697	41,19	0,995	36,91
<i>Průměr</i>	2,741	41,95	0,968	35,33
<i>Směr. Odchylka</i>	0,108	3,59	0,067	
<i>Chyba měření</i>	0,048	1,61	0,030	

Tab. 18. Hodnoty shořených zelených HR3836 polyuretanových proužků o rozměru 15x3x1 cm [vlastní zpracování]

PUR RECYKL				
Číslo měření	Hmotnost vzorku - m [g]	Čas t [s]	Hmotnost vzorku po shoření - m [g]	Procentní zůstatek* [%]
1.	3,776	35,81	1,249	33,07
2.	3,811	34,57	1,368	35,89
3.	4,414	28,56	1,464	33,15
4.	4,116	36,18	1,599	38,85
5.	4,190	34,40	1,731	41,32
6.	4,006	32,05	1,378	34,40
<i>Průměr</i>	4,052	33,60	1,465	36,15
<i>Směr. Odchylka</i>	0,220	2,61	0,160	
<i>Chyba měření</i>	0,098	1,38	0,085	

Tab. 19. Hodnoty shořených recykl polyuretanových proužků o rozměru 15x3x1 cm [vlastní zpracování]

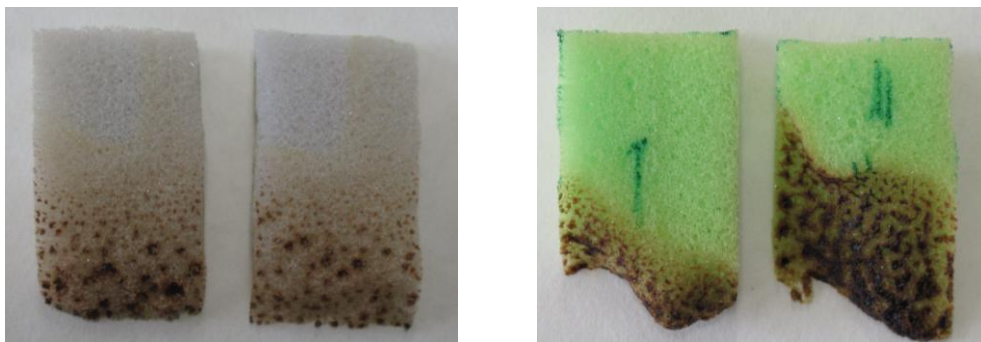
PUR PANTERA 100				
Číslo měření	Hmotnost vzorku - m [g]	Čas t [s]	Hmotnost vzorku po shoření - m [g]	Procentní zůstatek* [%]
1.	2,384	29,57	0,850	35,64
2.	2,002	23,22	0,730	36,47
3.	1,931	29,81	0,573	29,69
4.	1,972	26,5	0,580	29,39
5.	1,991	32,37	0,631	31,67
6.	2,052	30,88	0,525	25,57
<i>Průměr</i>	2,055	28,73	0,648	31,53
<i>Směr. Odchylka</i>	0,151	3,03	0,110	
<i>Chyba měření</i>	0,068	1,35	0,049	

Tab. 20. Hodnoty shořených pantera 100 polyuretanových proužků o rozměru 15x3x1 cm [vlastní zpracování]

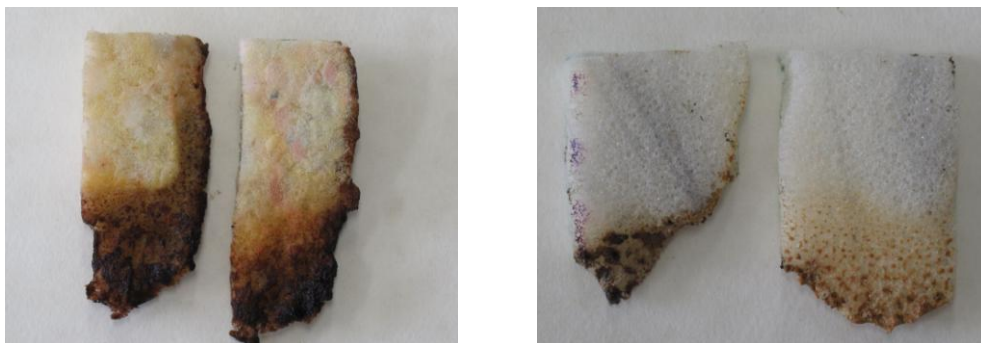
<i>PUR ČERNÝ S35</i>				
<i>Číslo měření</i>	<i>Hmotnost vzorku - m [g]</i>	<i>Čas t [s]</i>	<i>Hmotnost vzorku po shoření - m [g]</i>	<i>Procentní zůstatek* [%]</i>
1.	1,579	50,78	0,703	44,53
2.	1,613	57,25	0,745	46,20
3.	1,632	41,25	0,729	44,65
4.	1,613	49,25	0,797	49,39
5.	1,658	38,16	0,767	46,25
6.	1,716	45,97	0,768	44,78
<i>Průměr</i>	1,635	47,11	0,751	45,96
<i>Směr. Odchylka</i>	0,043	6,3	0,030	
<i>Chyba měření</i>	0,019	2,81	0,014	

Tab. 21. Hodnoty shořených černých S35 polyuretanových proužků o rozměru 15x3x1 cm [vlastní zpracování]

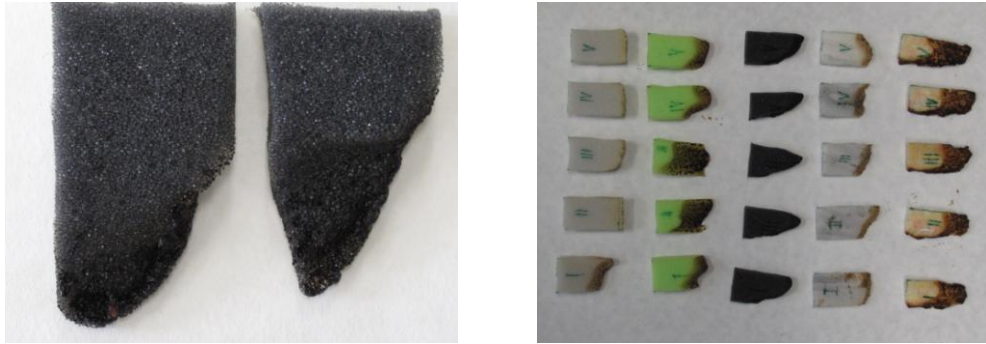
- **Fotky shořených proužků v plameni o rozměru 15x3x1 cm**



Obr. 43. Shoření 10 cm proužků pro PUR BÍLÝ CRHM a PUR ZELENÝ HR3836 (CANON PowerShot G10)



Obr. 44. Shoření 10 cm proužků pro PUR RECYKL a PUR PANTERA 100 (CANON PowerShot G10)



Obr. 45. Shoření 10 cm proužků pro PUR ČERNÝ S35 a fotka všech shořených 10 cm proužků (CANON PowerShot G10)

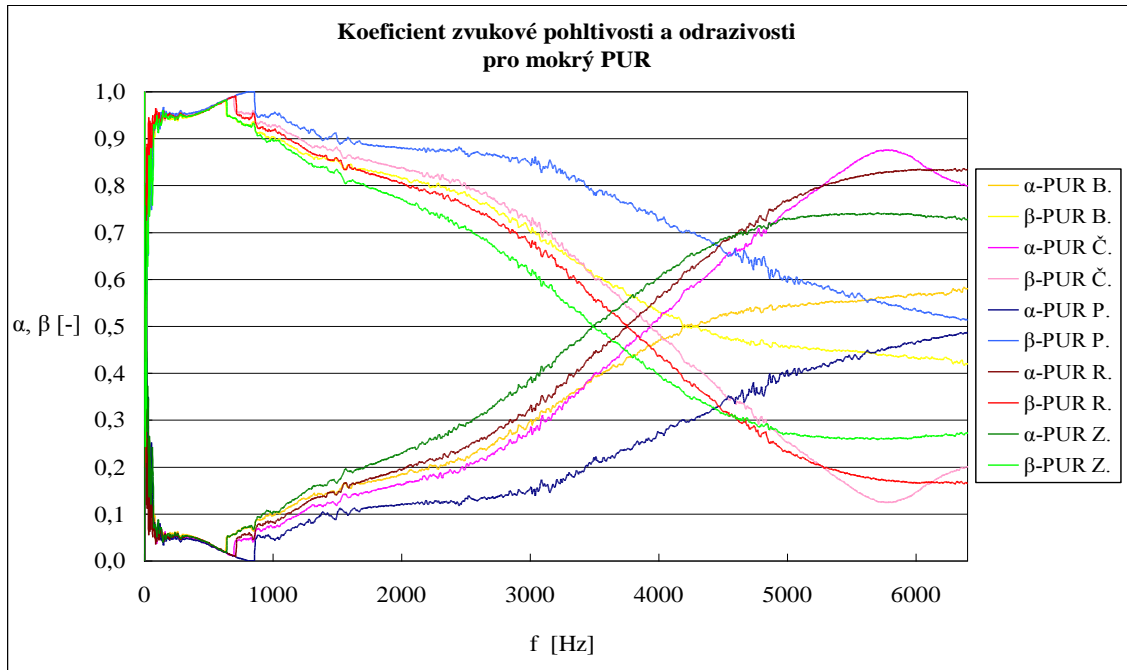
8.5 Značení vzorků

V grafech, které ukazují jednotlivé křivky koeficientu akustické pohltivosti a odrazivosti jsou uvedeny následující termíny a jejich vysvětlení:

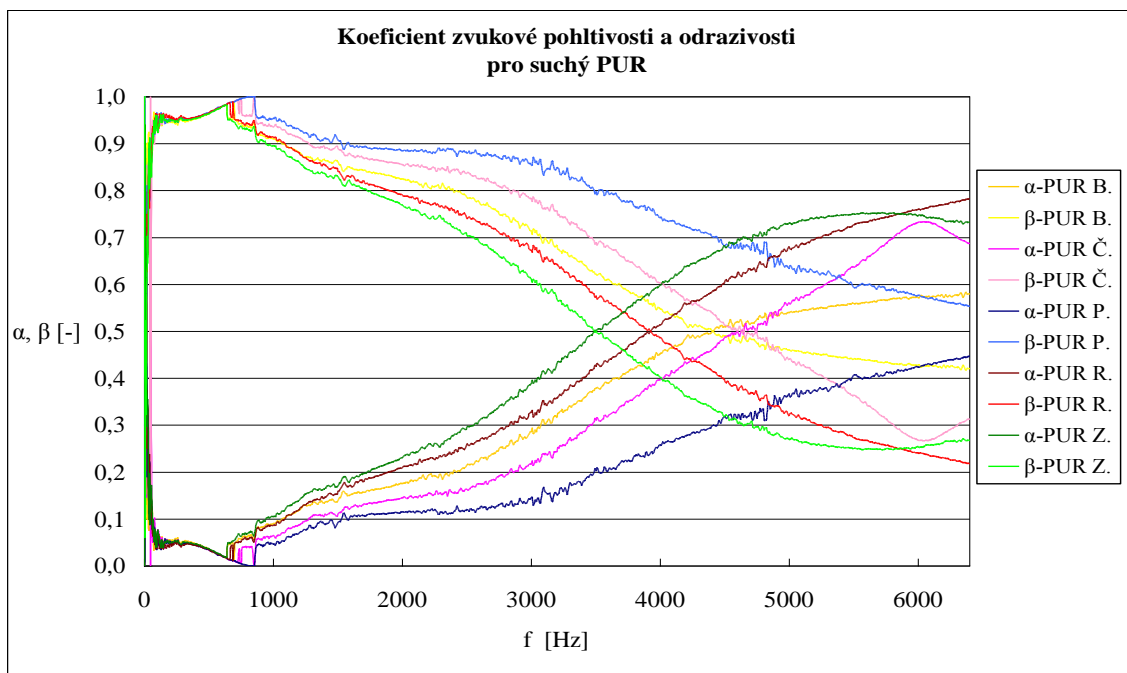
- α , β – koeficient zvukové pohltivosti, odrazivosti
- **Mokrý** – mokrý povrch materiálu
- **Suchý** – vysušený povrch materiálu v sušárně
- **PUR B., PUR Č., PUR R., PUR P., PUR Z.** – typy vzorků polyuretanů
- **tk.I., tk.ČŽB., tk.II., tk.140, tk.220** – typy skelných a kevlarových tkanin
- Značení v legendě grafu popisuje vzorek např. takto: „ α – **tk.I/PUR B.**“, kde první symbol označuje koeficient pohltivosti nebo odrazivosti, druhé místo označuje uspořádání na Kundtově trubici ve směru k signálu. Tj. tkanina černá I. je první od signálu a polyuretan bílý je vložen za ní, takže je druhý od signálu.

8.6 Naměřené hodnoty akustické pohltivosti a odrazivosti

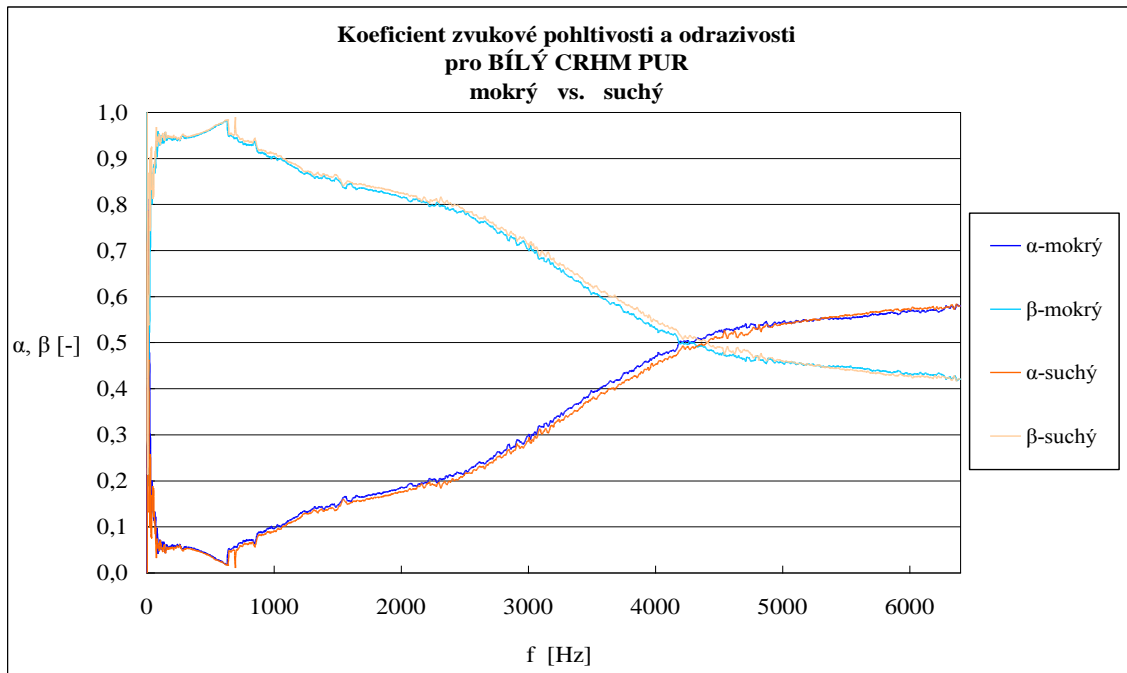
8.6.1 Měření koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro všechny PUR (mokřý vs. suchý)



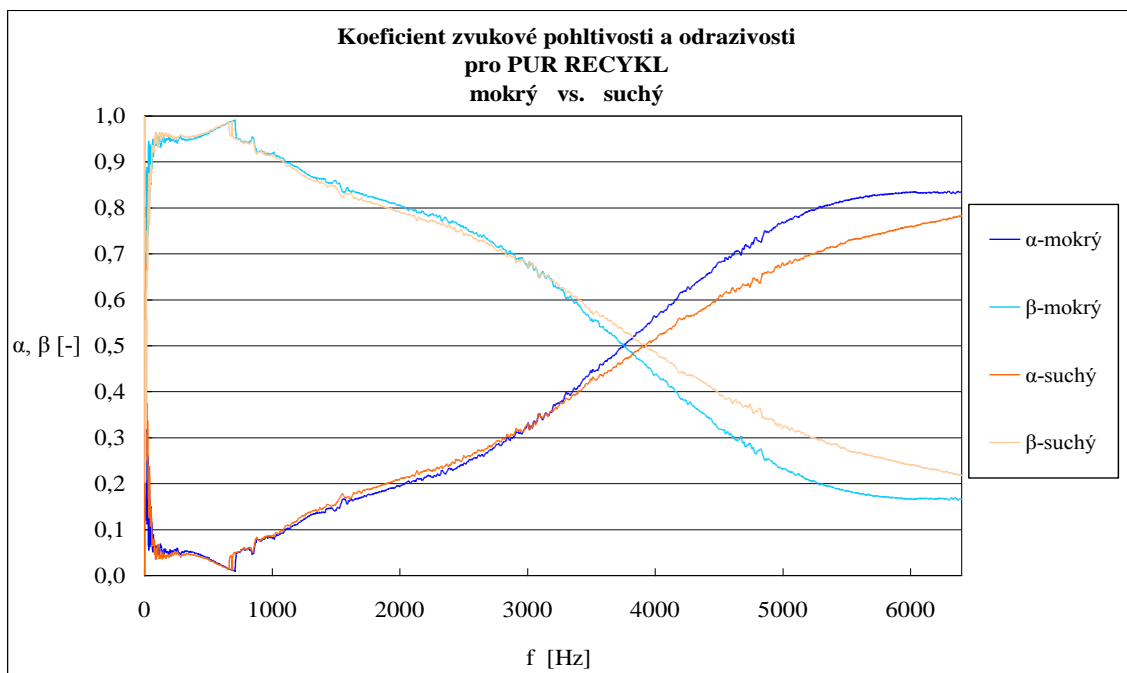
Obr. 46. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro mokřý PUR [vlastní zpracování]



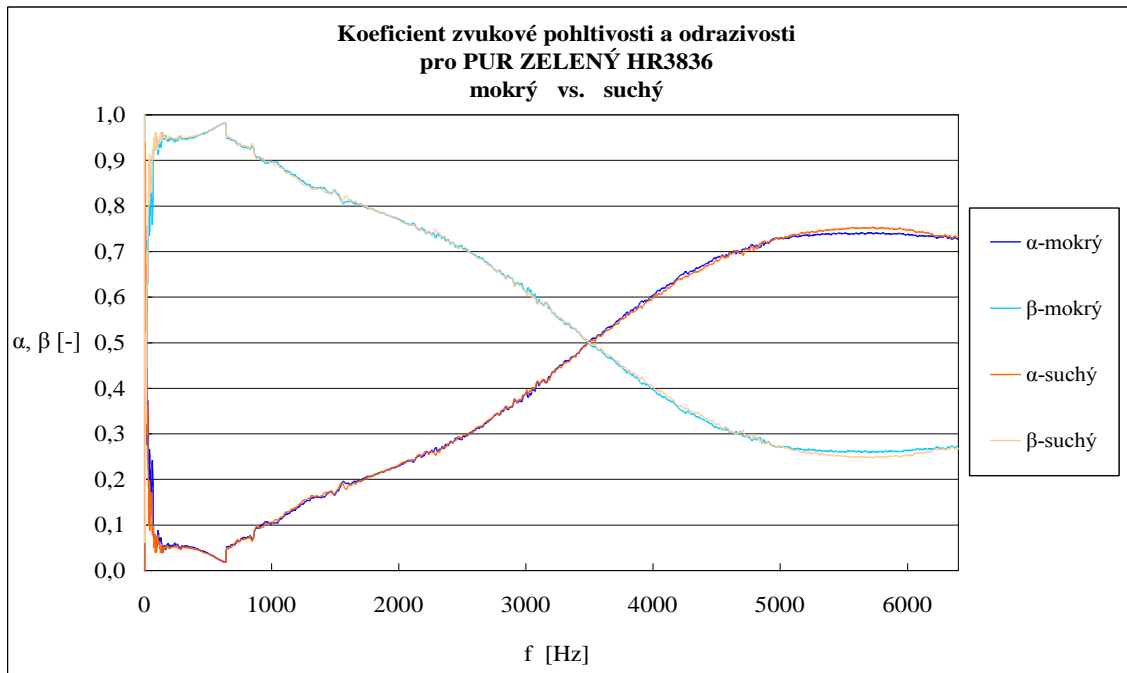
Obr. 47. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro suchý PUR [vlastní zpracování]



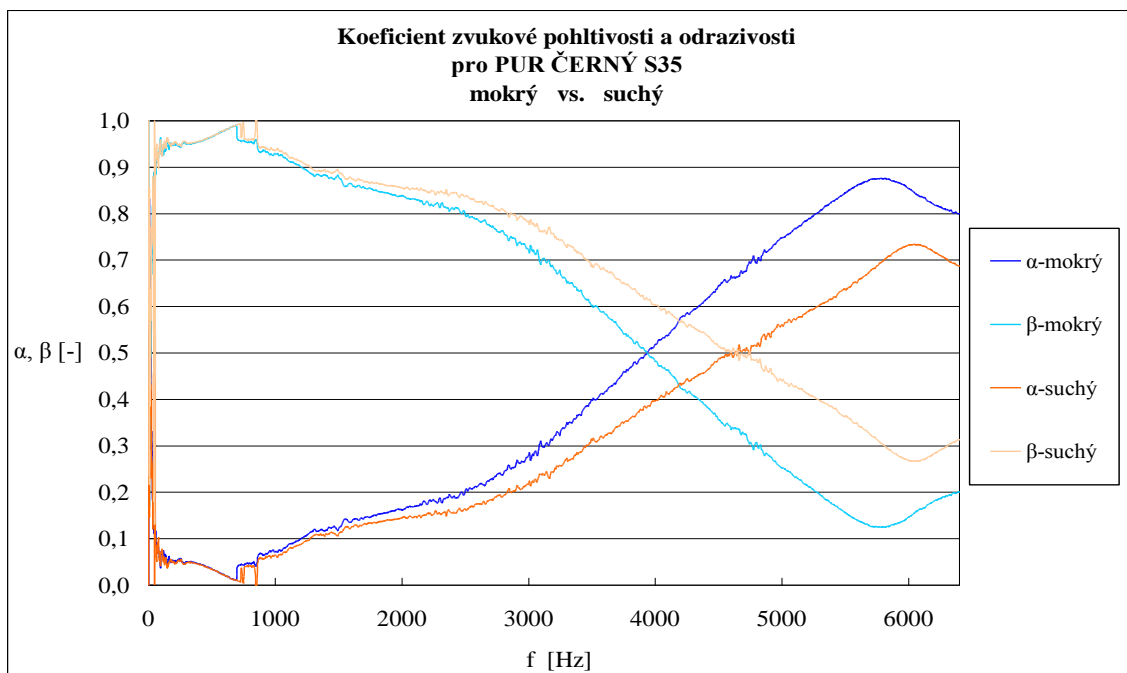
Obr. 48. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR BÍLÝ CRHM (mokrý vs. suchý) [vlastní zpracování]



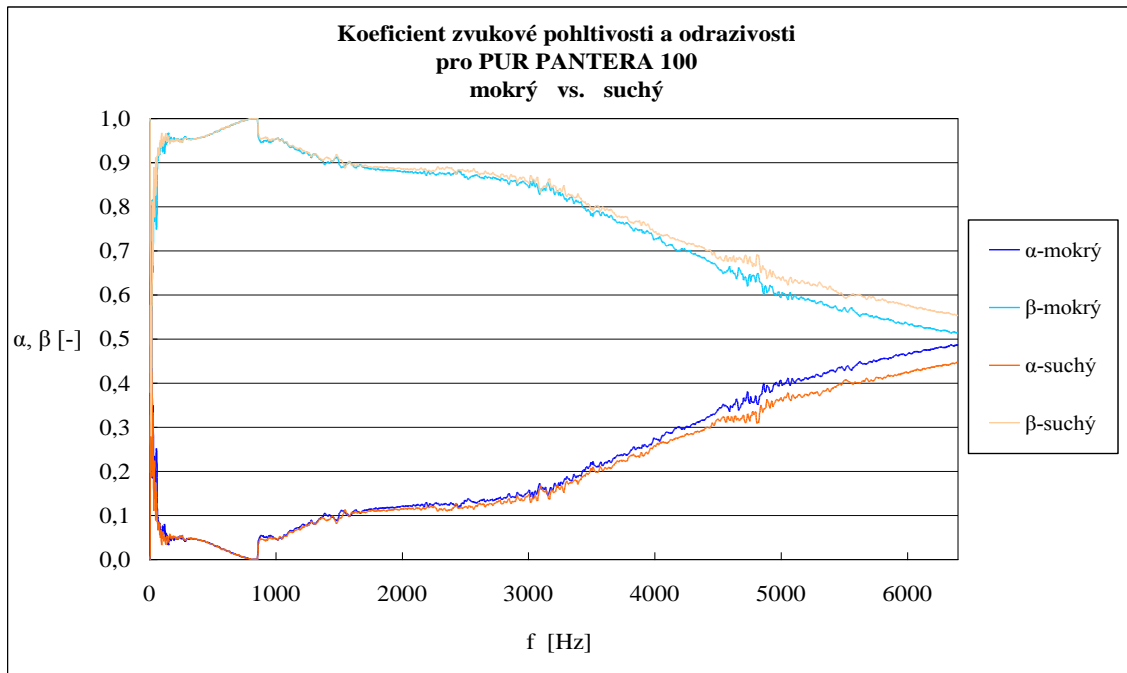
Obr. 49. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR RECYKL (mokrý vs. suchý) [vlastní zpracování]



Obr. 50. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR ZELENÝ HR3836 (mokrý vs. suchý) [vlastní zpracování]

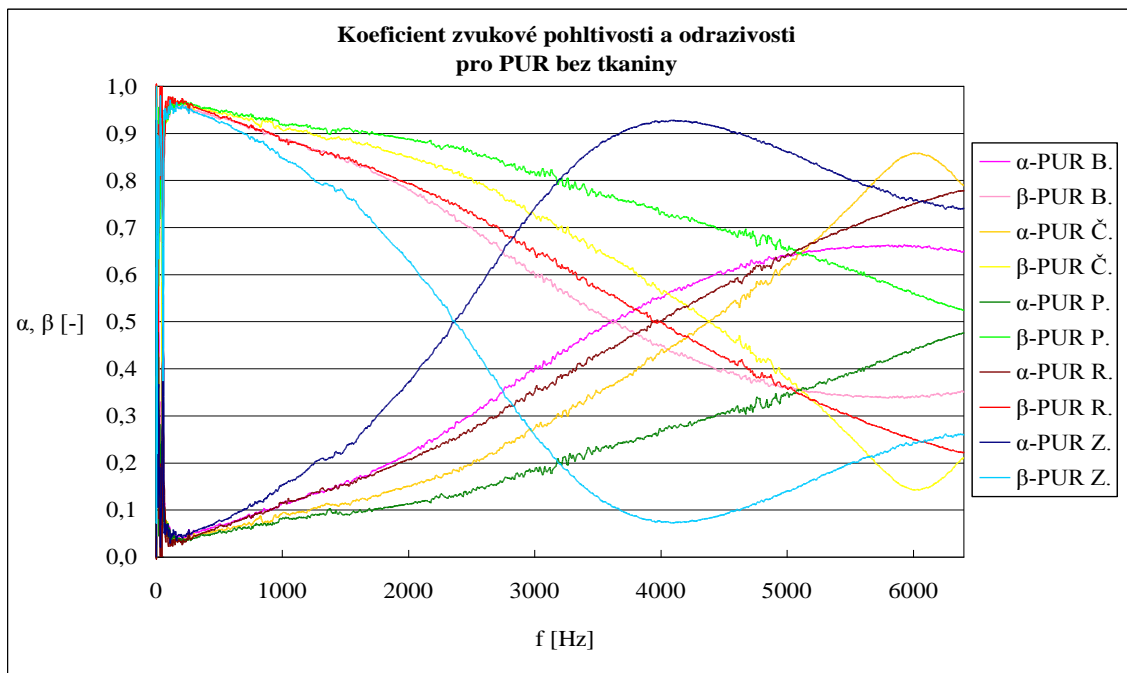


Obr. 51. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR ČERNÝ S35 (mokrý vs. suchý) [vlastní zpracování]



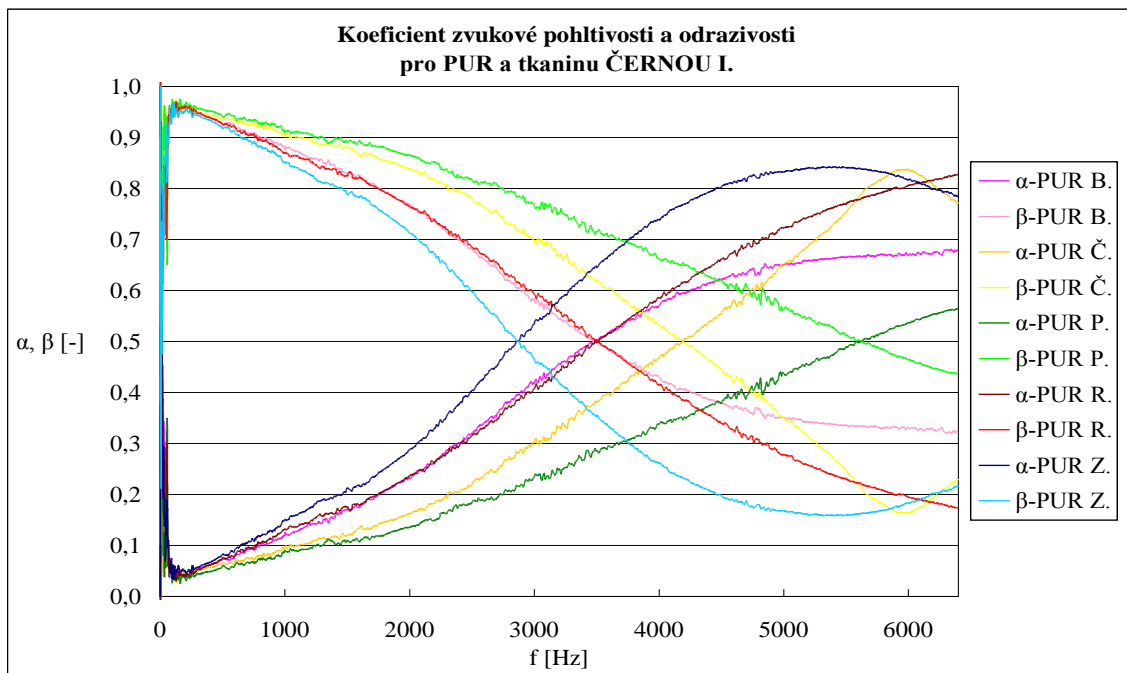
Obr. 52. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR PANTERA 100 (mokrý vs. suchý) [vlastní zpracování]

8.6.2 Měření koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti bez tkaniny

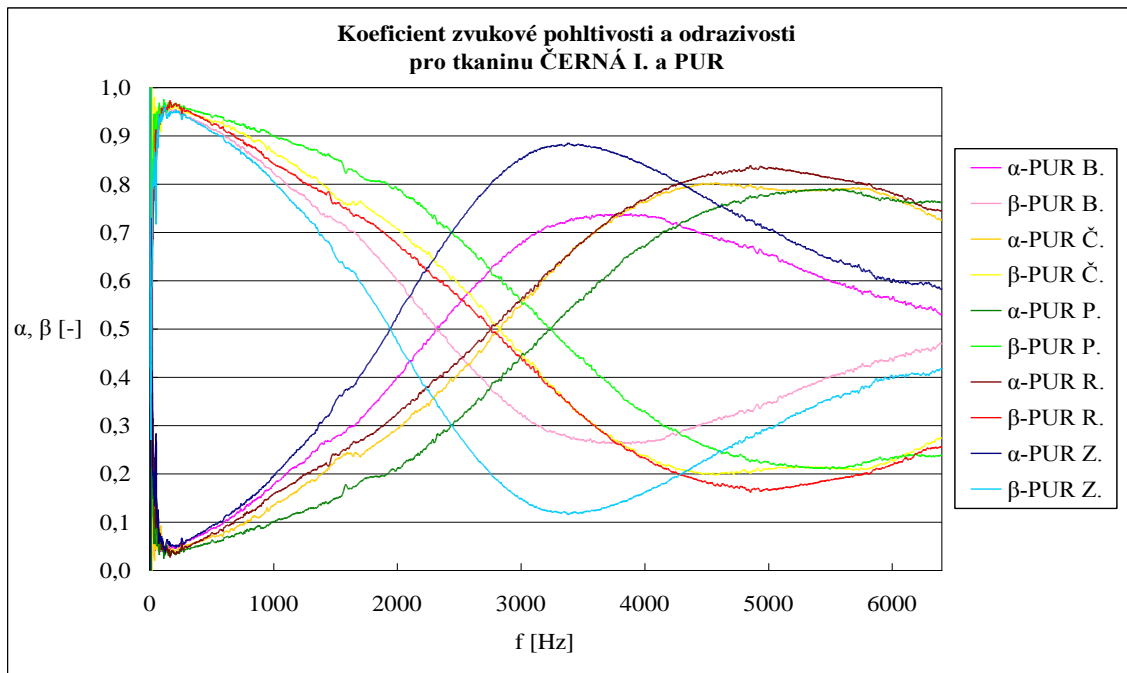


Obr. 53. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR bez tkaniny [vlastní zpracování]

8.6.3 Měření koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR / tkaninu
ČERNÁ I. a naopak

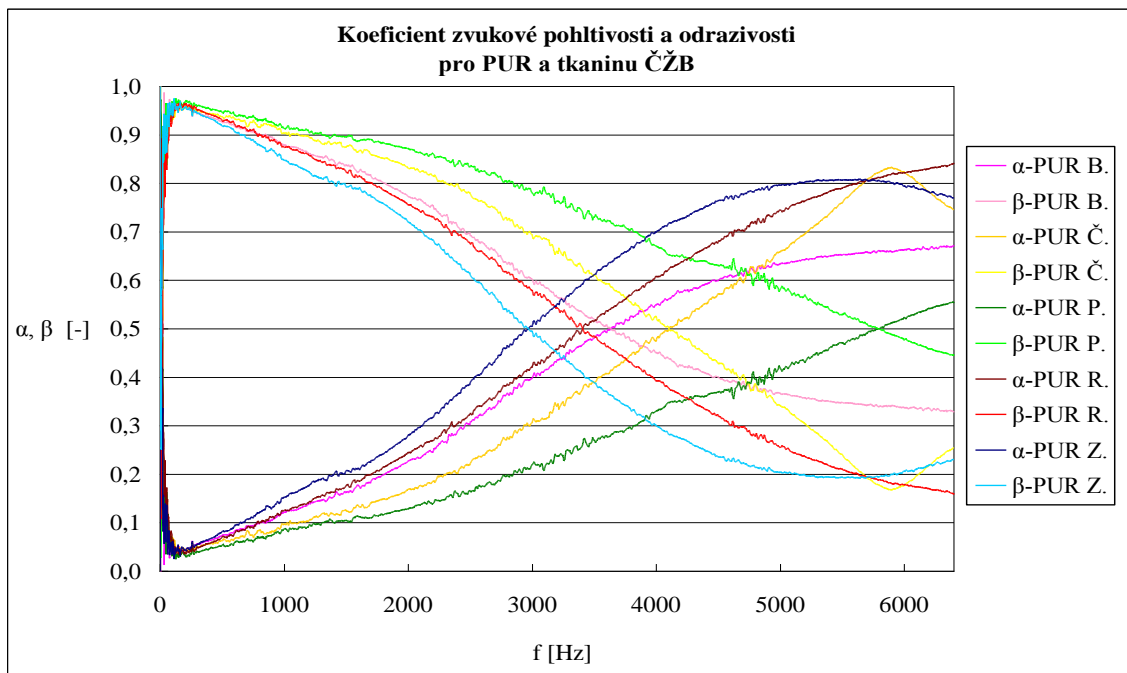


Obr. 54. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR a tkaninu ČERNÁ I. [vlastní zpracování]

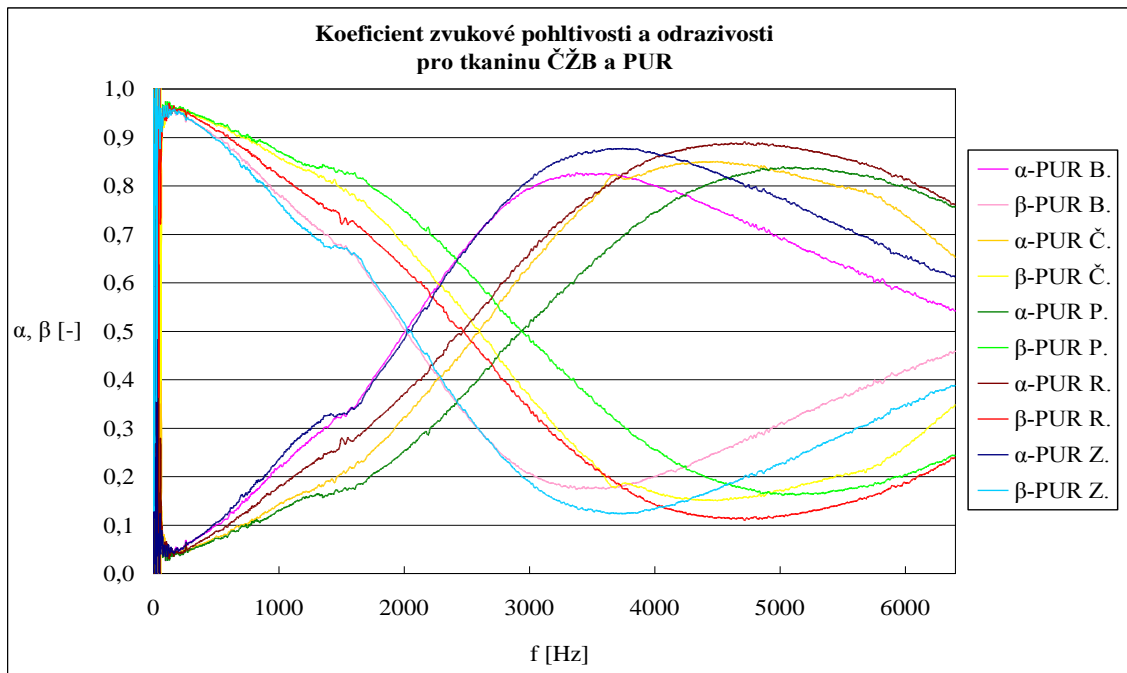


Obr. 55. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro tkaninu ČERNÁ I. a PUR [vlastní zpracování]

8.6.4 Měření koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR / tkaninu ČŽB a naopak

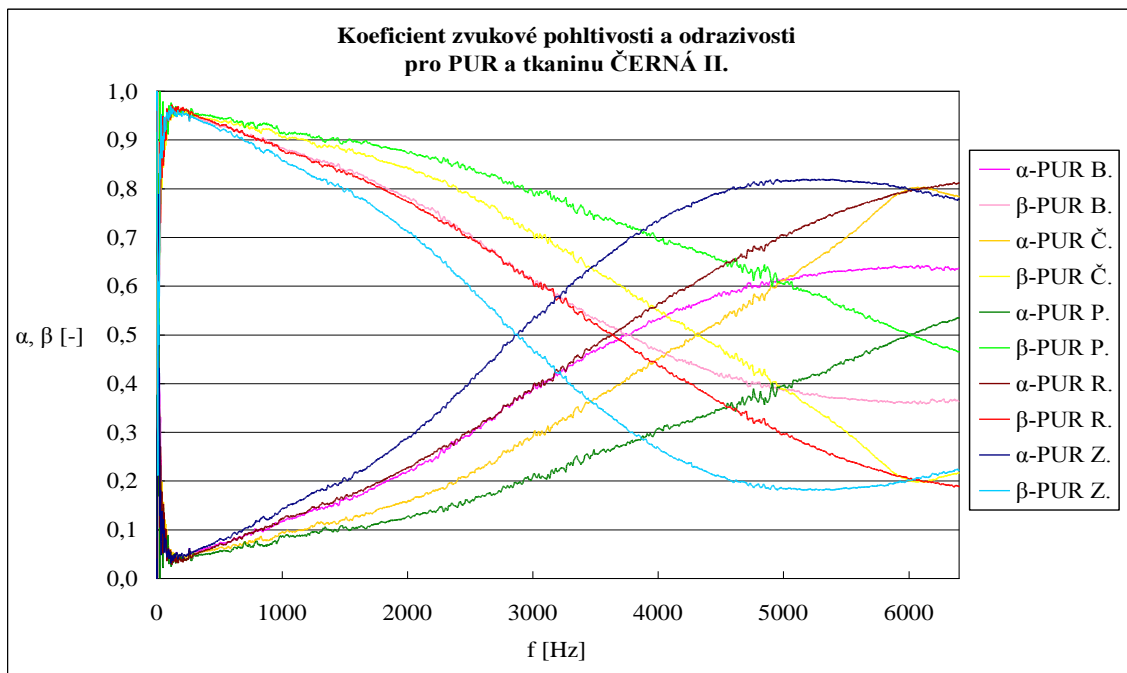


Obr. 56. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR a tkaninu ČŽB [vlastní zpracování]

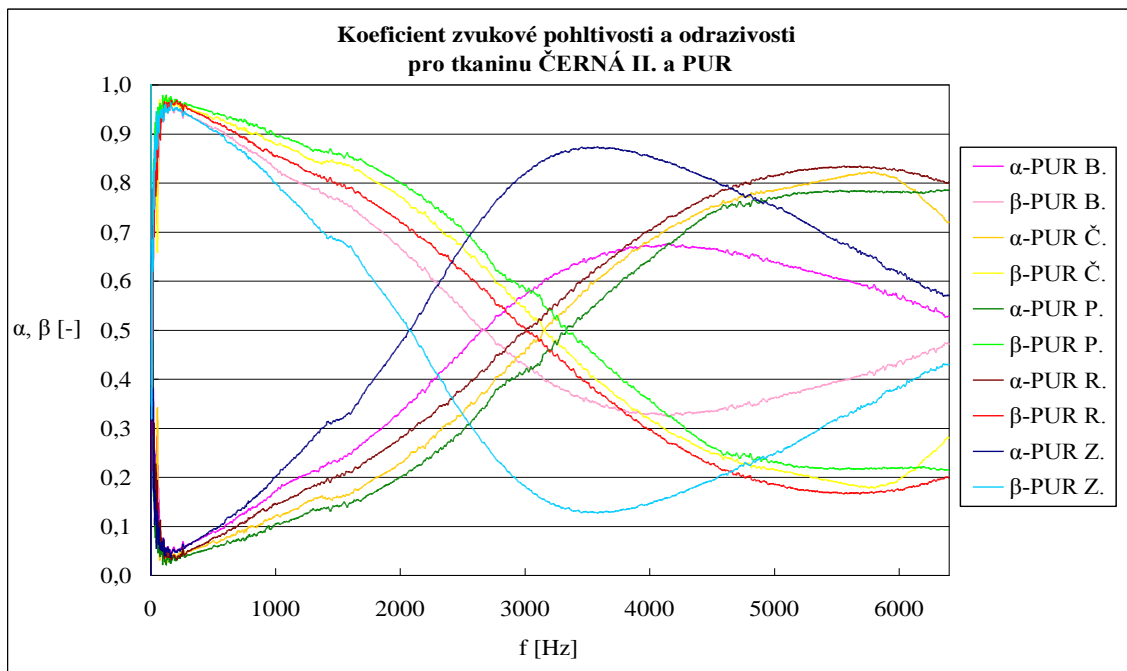


Obr. 57. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro tkaninu ČŽB a PUR [vlastní zpracování]

8.6.5 Měření koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR / tkaninu ČERNÁ II. a naopak

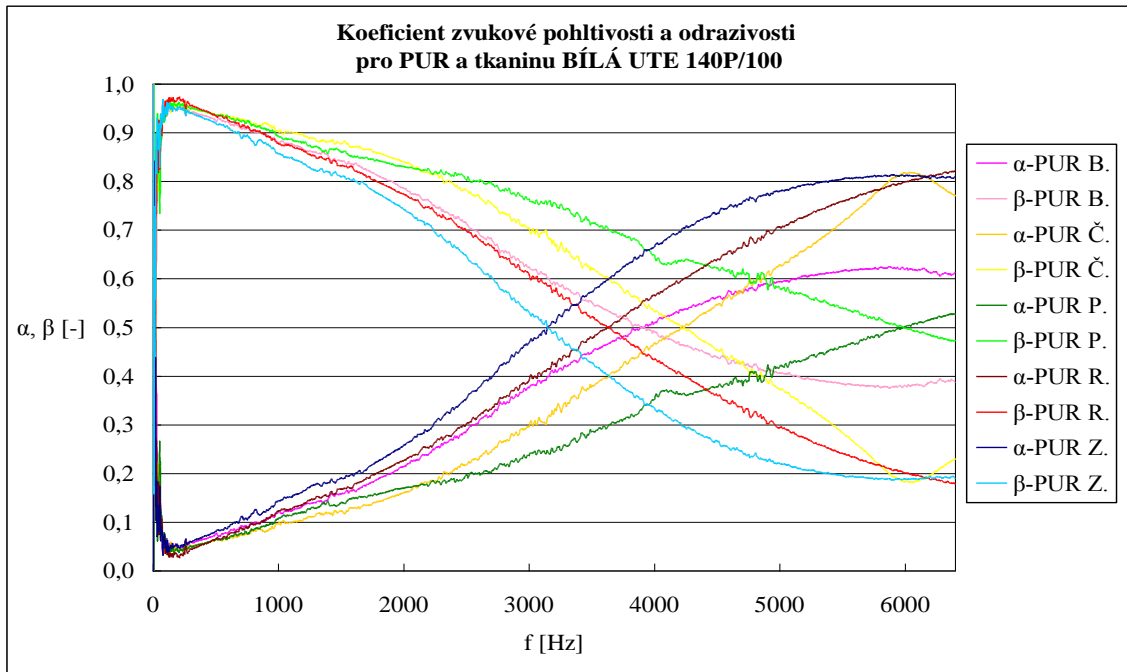


Obr. 58. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR a tkaninu ČERNÁ II. [vlastní zpracování]

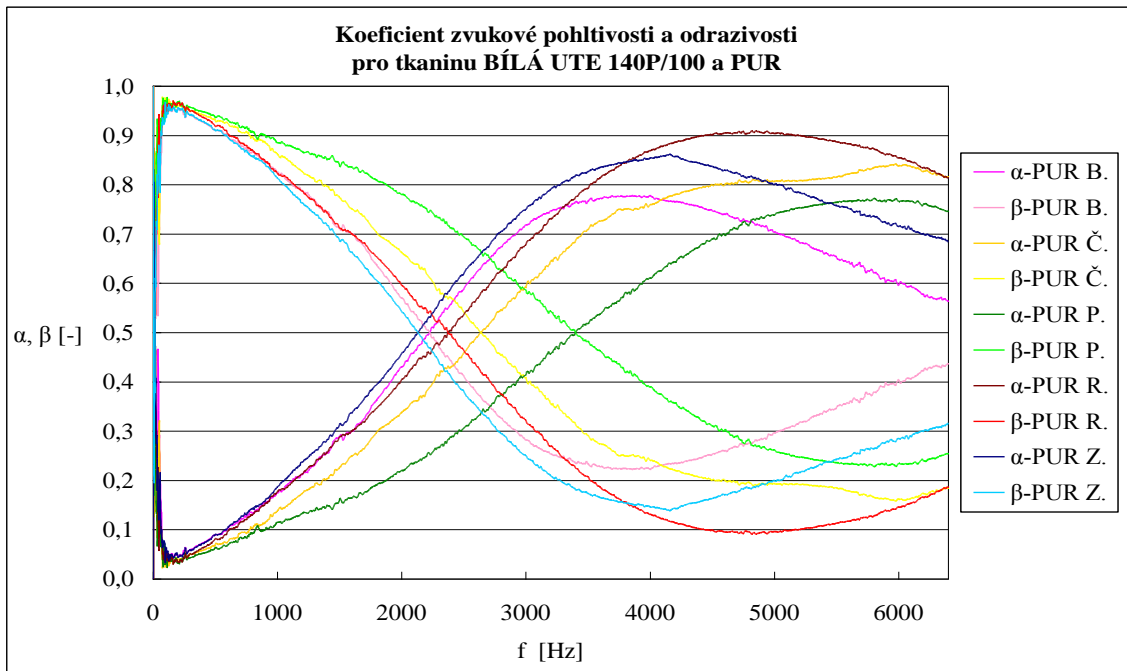


Obr. 59. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro tkaninu ČERNÁ II. a PUR [vlastní zpracování]

8.6.6 Měření koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR / tkaninu BÍLÁ UTE 140P/100 a naopak

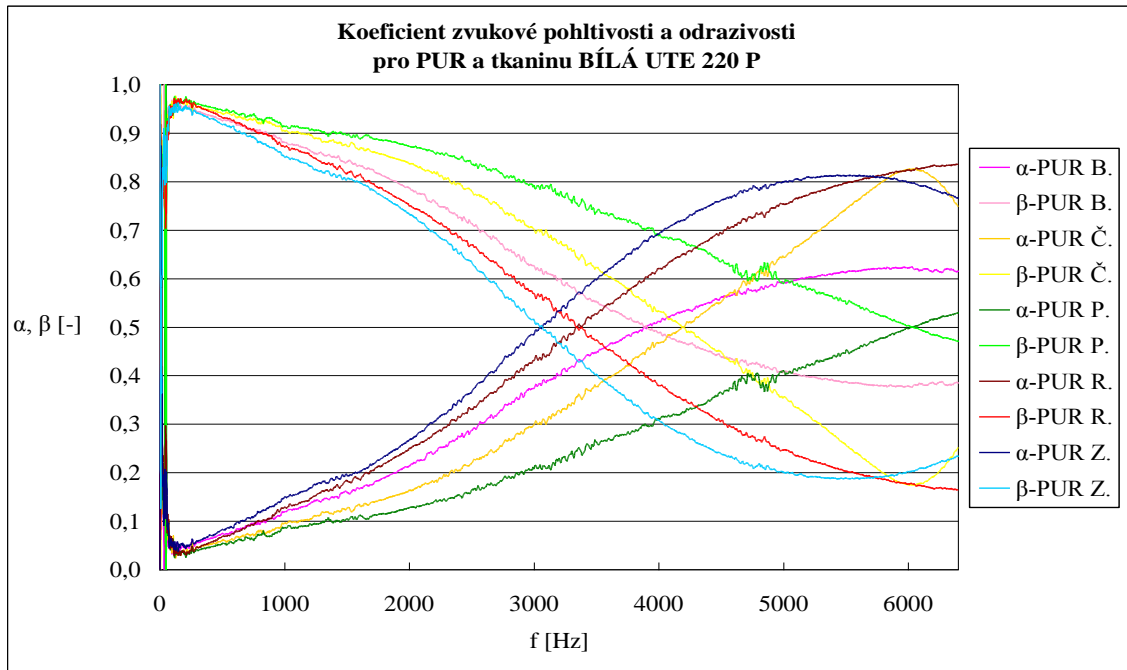


Obr. 60. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR a tkaninu BÍLÁ UTE 140P/100 [vlastní zpracování]

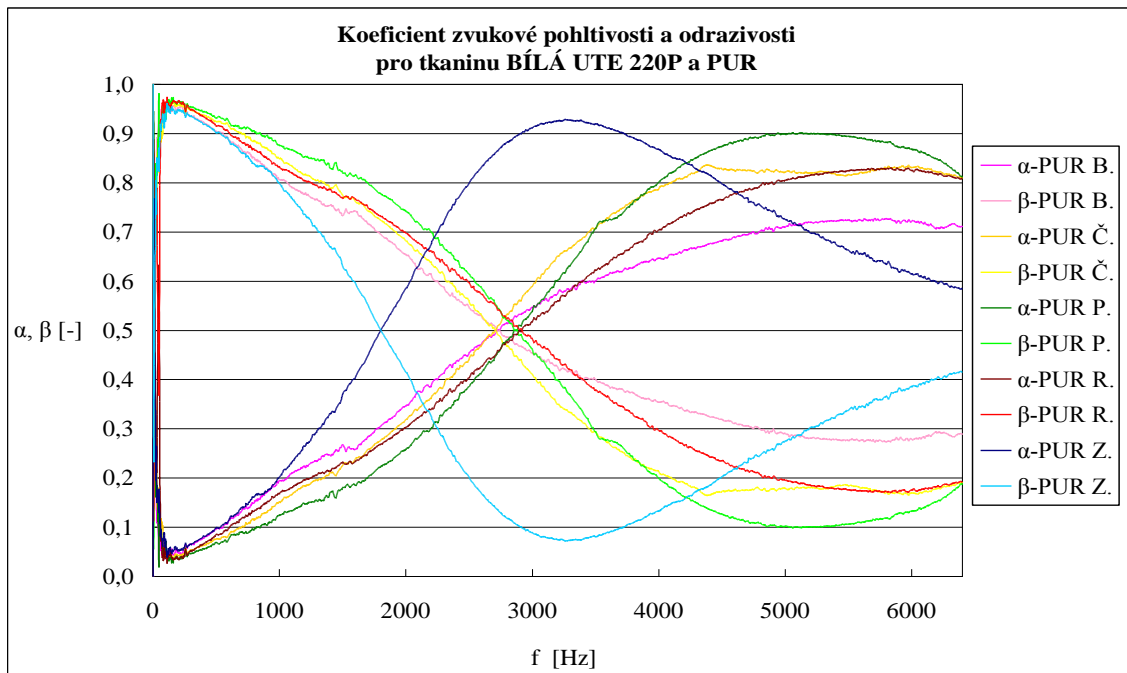


Obr. 61. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro tkaninu BÍLÁ UTE 140P/100 a PUR [vlastní zpracování]

8.6.7 Měření koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR / tkaninu BÍLÁ UTE 220P a naopak

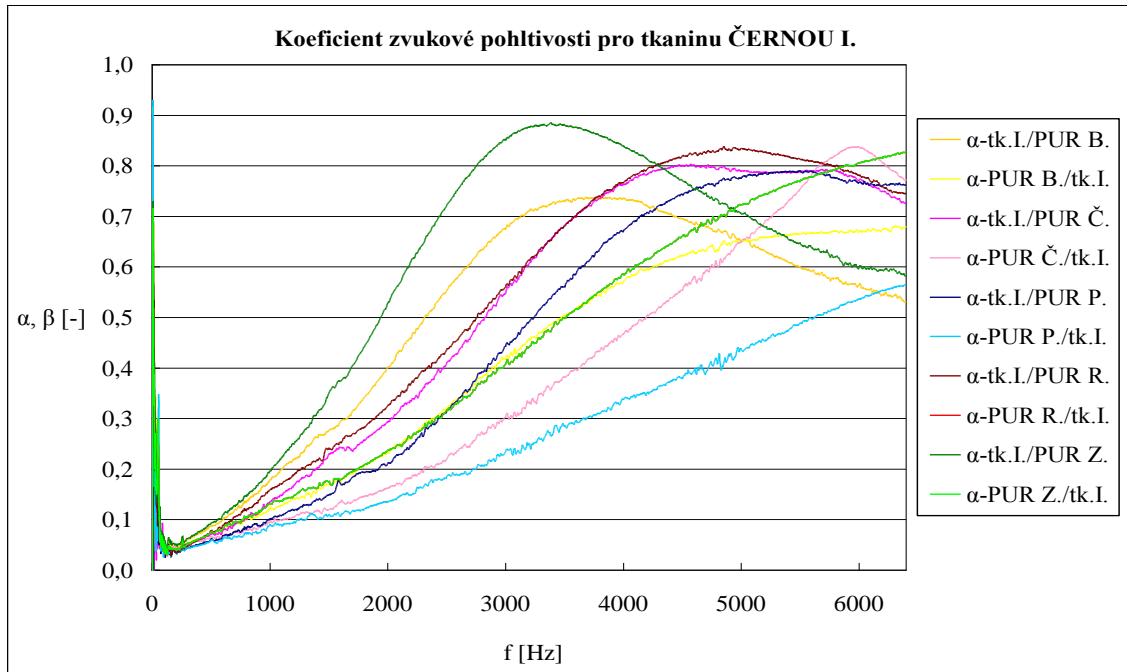


Obr. 62. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR a tkaninu BÍLÁ UTE 220P [vlastní zpracování]

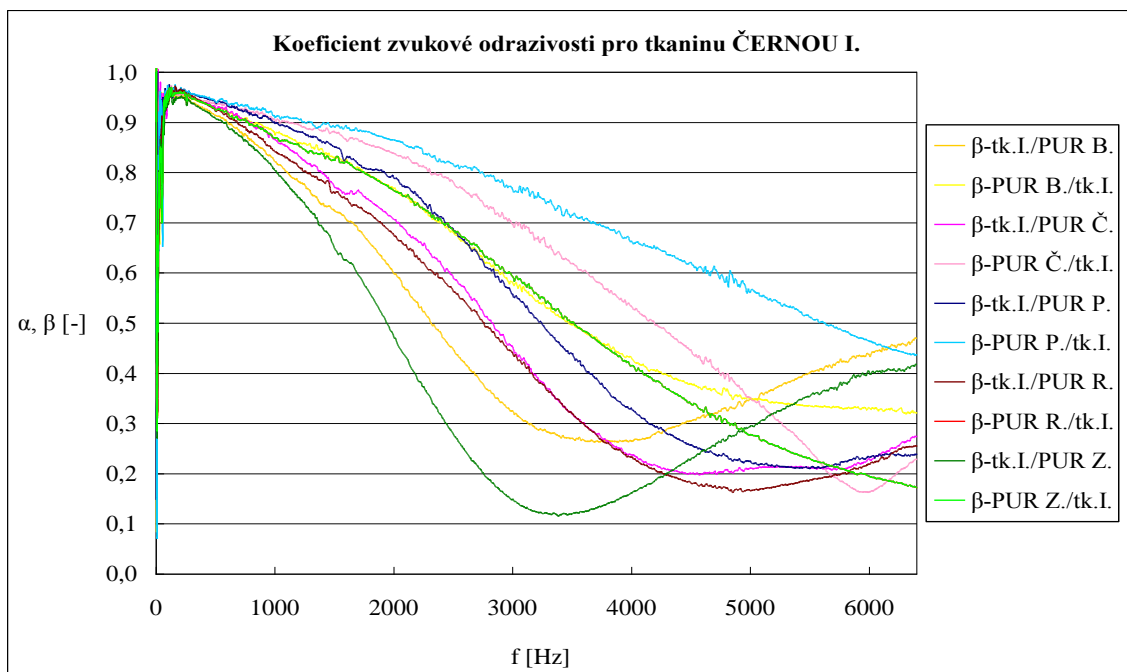


Obr. 63. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro tkaninu BÍLÁ UTE 220P a PUR [vlastní zpracování]

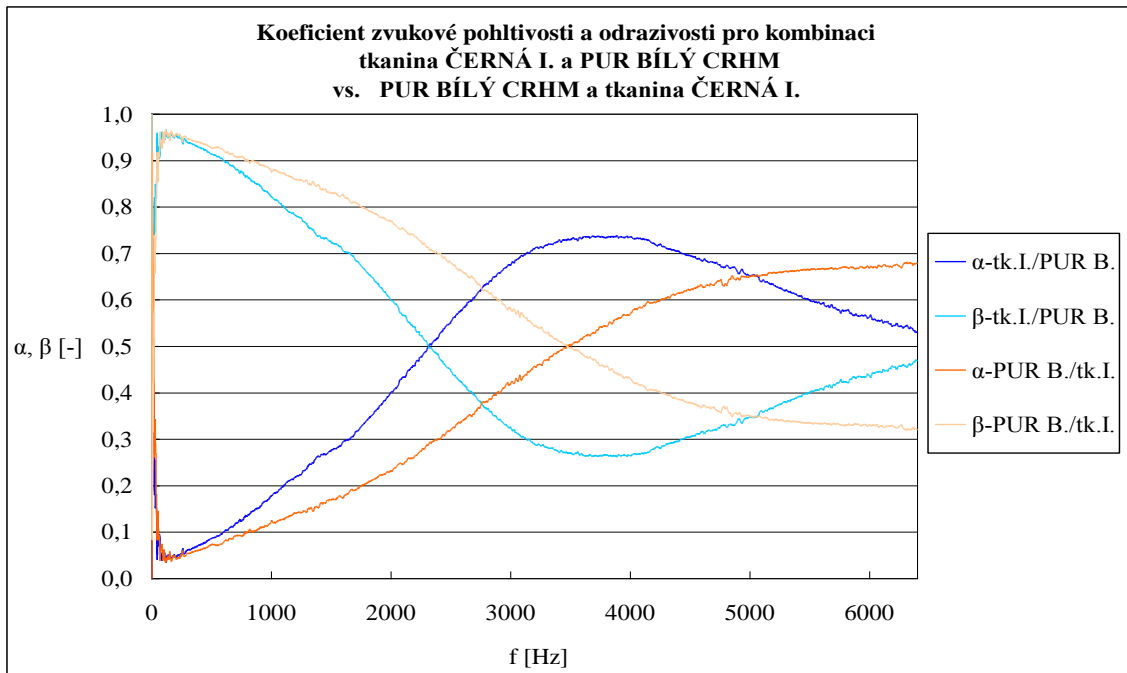
8.6.8 Měření kombinací zvukové pohltivosti a odrazivosti pro tkaninu ČERNÁ I.



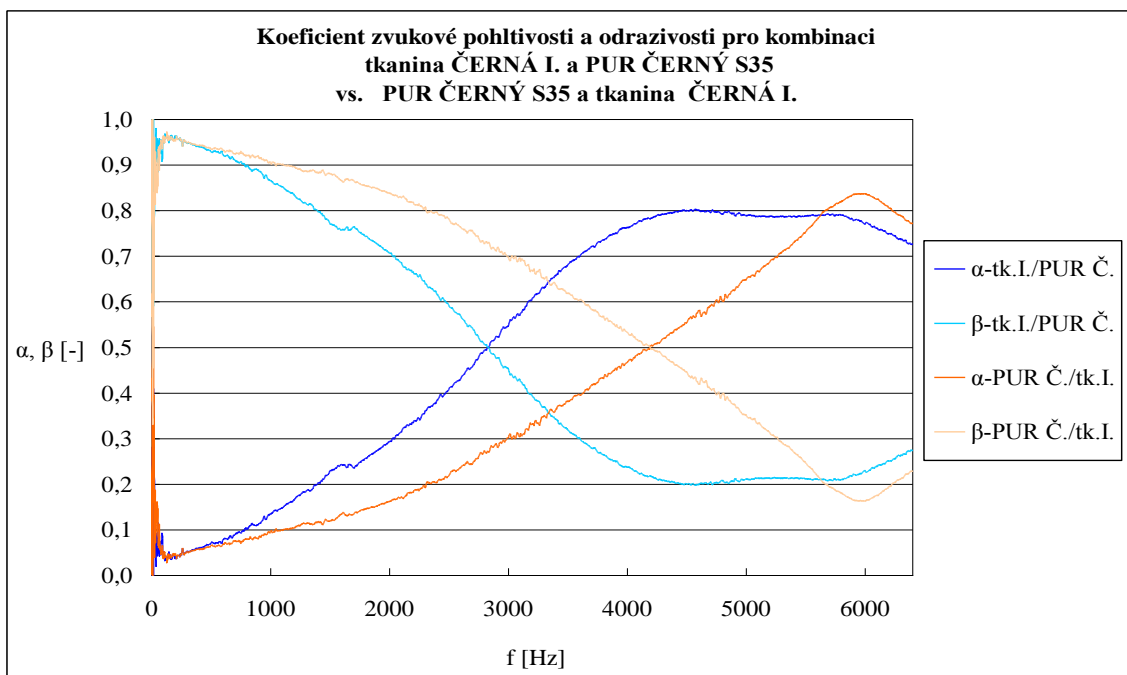
Obr. 64. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti pro kombinaci tkaniny ČERNÁ I. / PUR a naopak [vlastní zpracování]



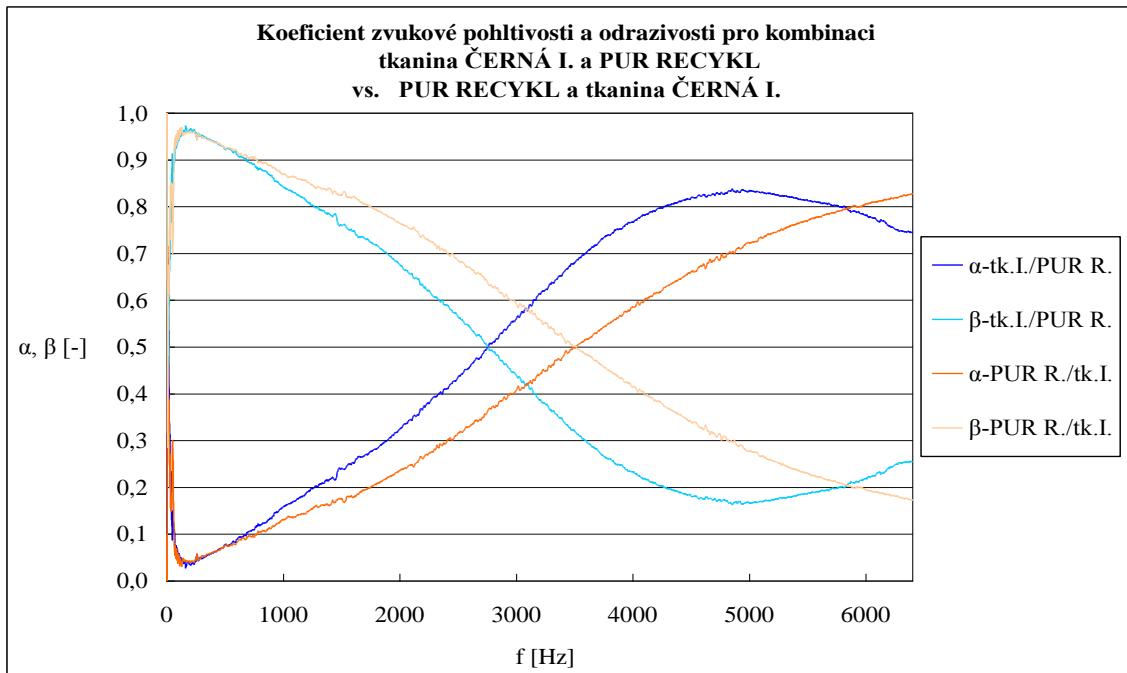
Obr. 65. Zobrazení koeficientu zvukové odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČERNÁ I. / PUR a naopak [vlastní zpracování]



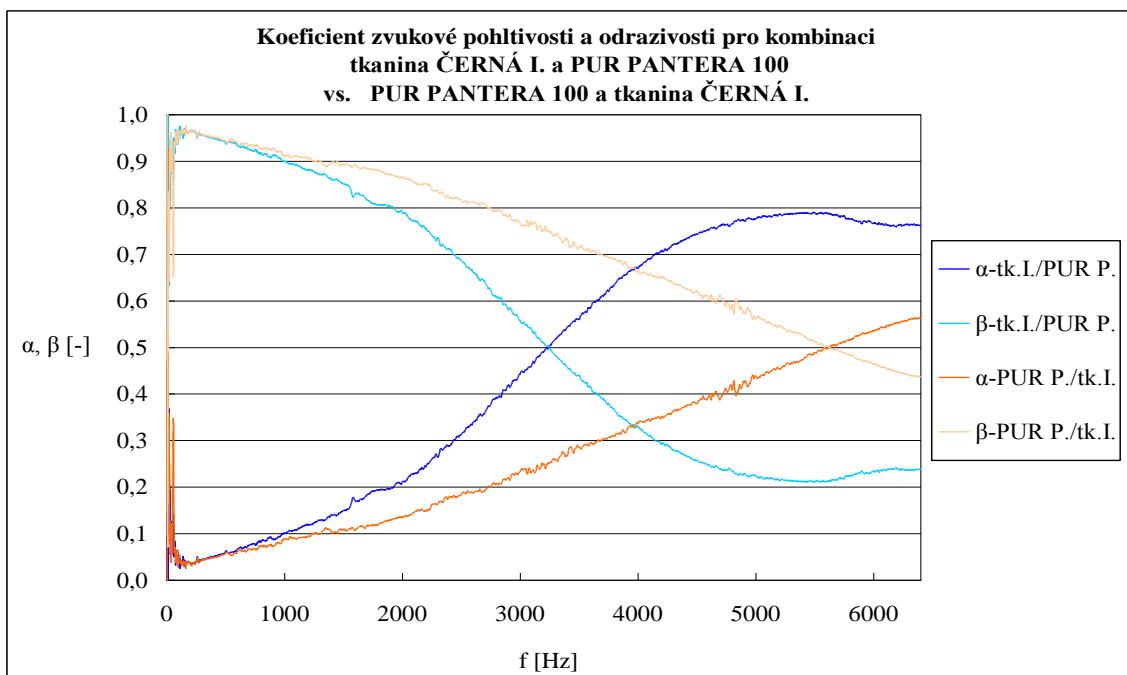
Obr. 66. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČERNÁ I. / PUR BÍLÝ CRHM a naopak [vlastní zpracování]



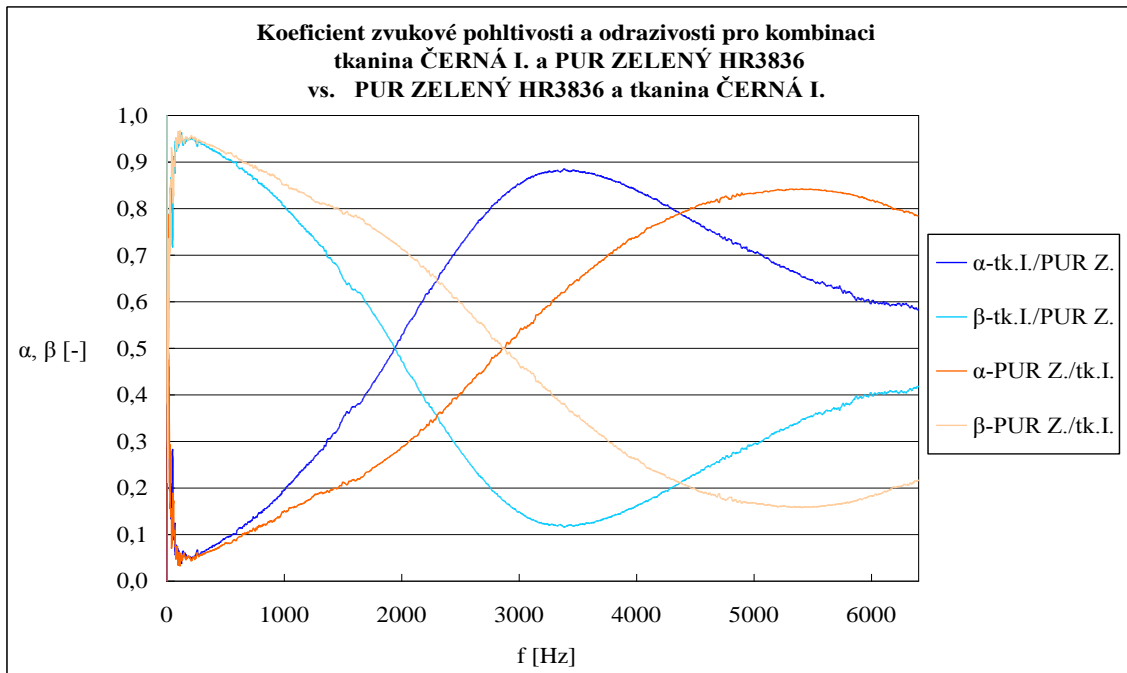
Obr. 67. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČERNÁ I. / PUR ČERNÝ S35 a naopak [vlastní zpracování]



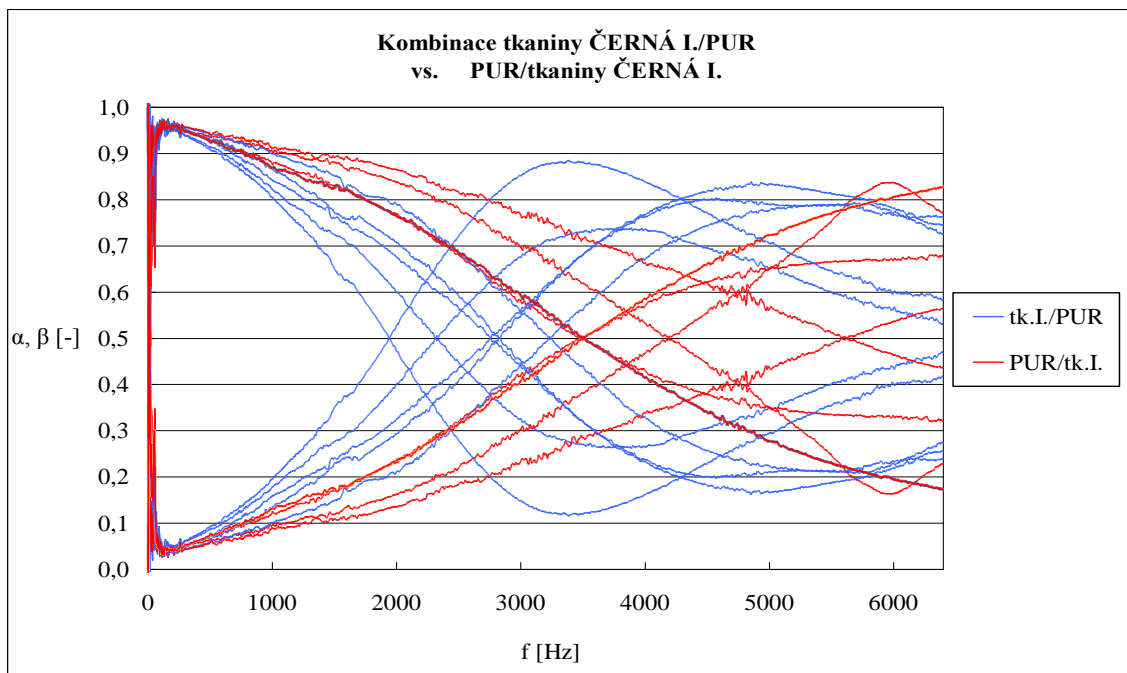
Obr. 68. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČERNÁ I. / PUR RECYKL a naopak [vlastní zpracování]



Obr. 69. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČERNÁ I. / PUR PANTERA 100 a naopak [vlastní zpracování]

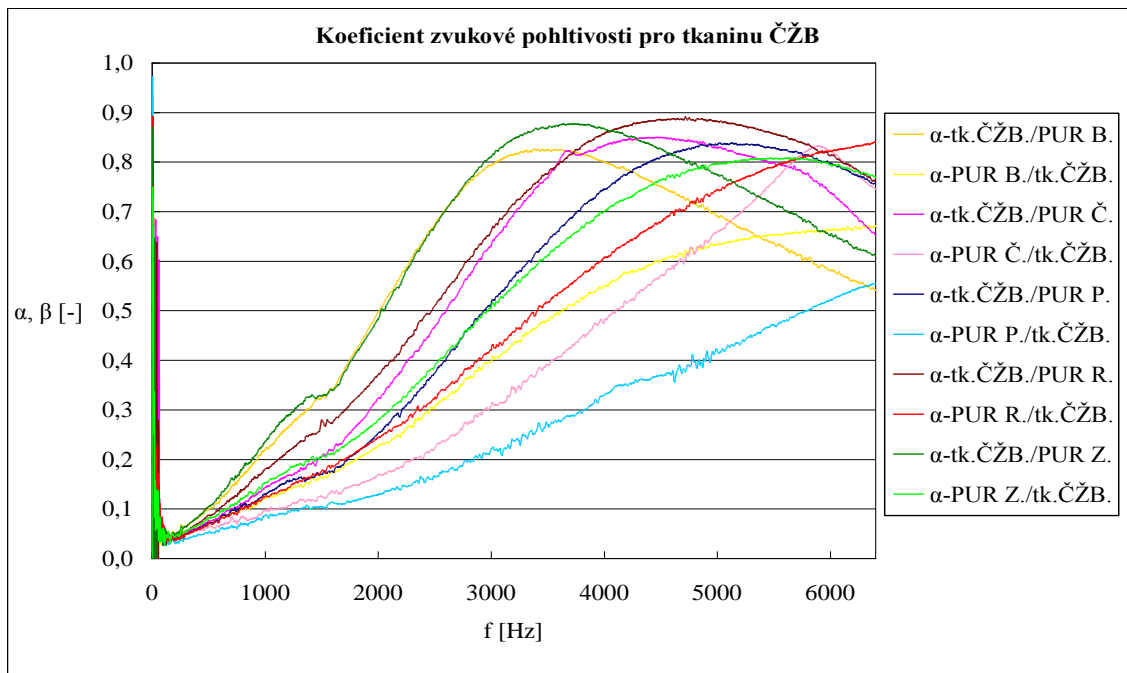


Obr. 70. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČERNÁ I. / PUR ZELENÝ HR3836 a naopak [vlastní zpracování]

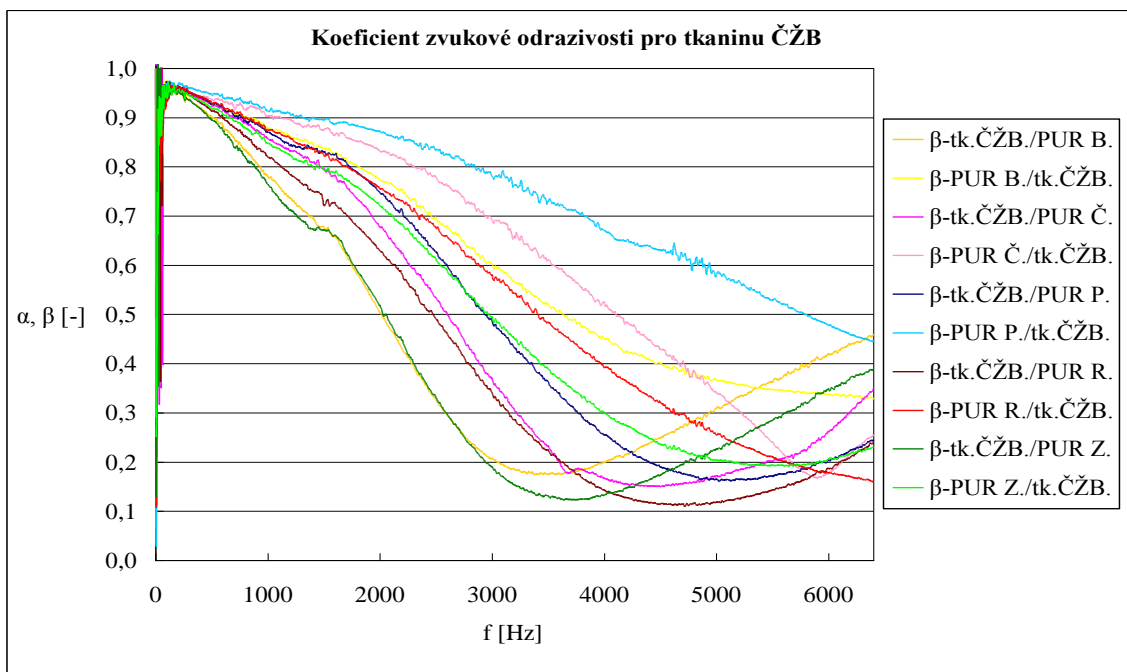


Obr. 71. Shrnutí kombinací pro tkaninu ČERNÁ I. / všechny PUR a naopak [vlastní zpracování]

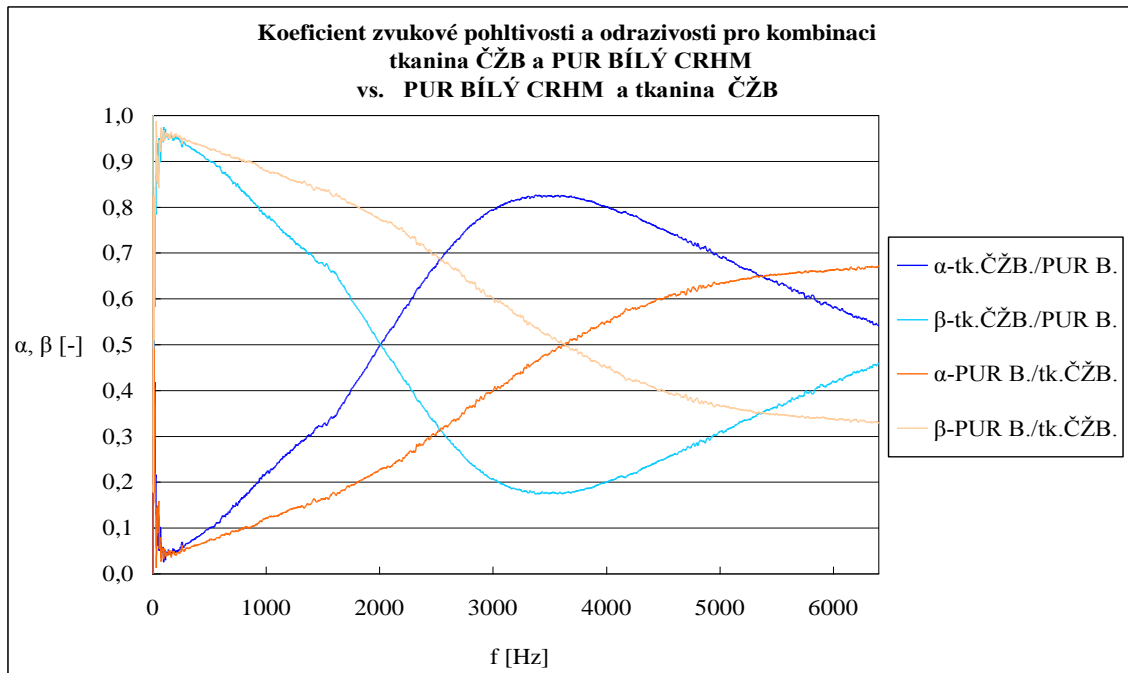
8.6.9 Měření kombinací zvukové pohltivosti a odrazivosti pro tkaninu ČŽB



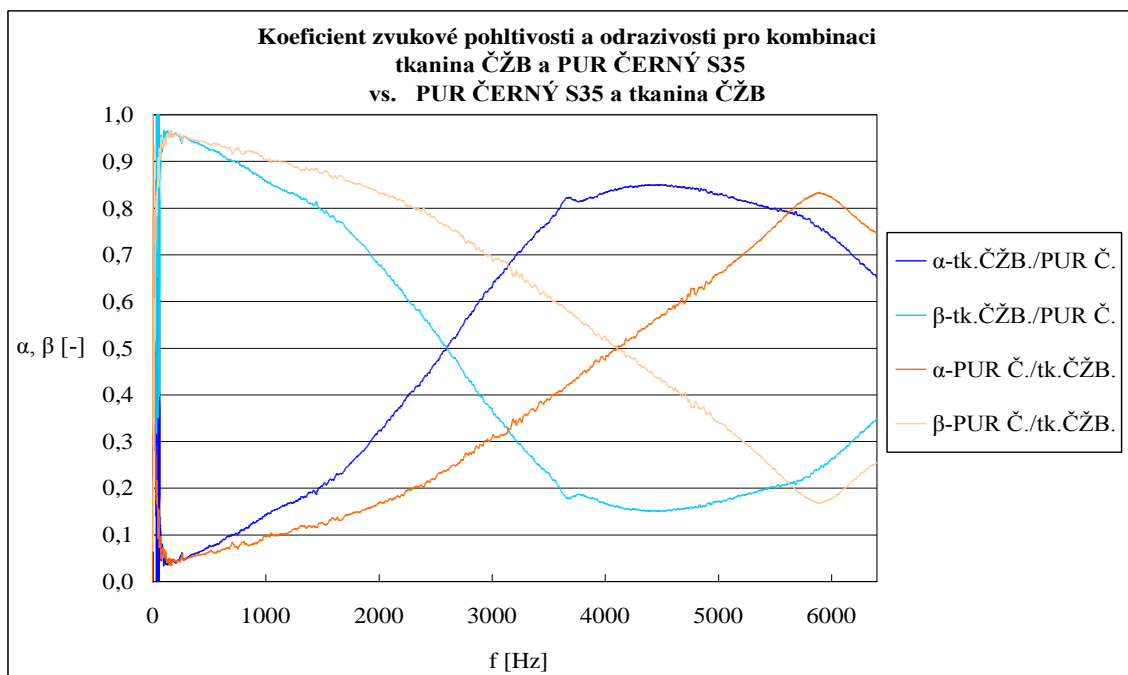
Obr. 72. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti pro kombinaci tkaniny ČŽB / PUR a naopak [vlastní zpracování]



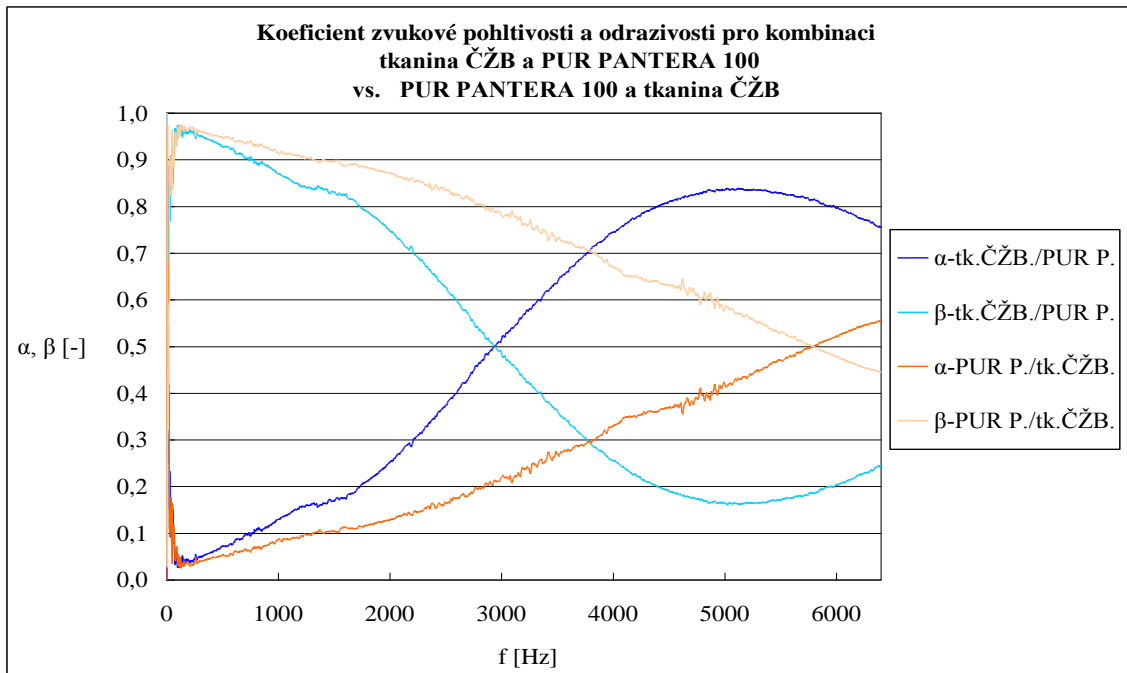
Obr. 73. Zobrazení koeficientu zvukové odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČŽB / PUR a naopak [vlastní zpracování]



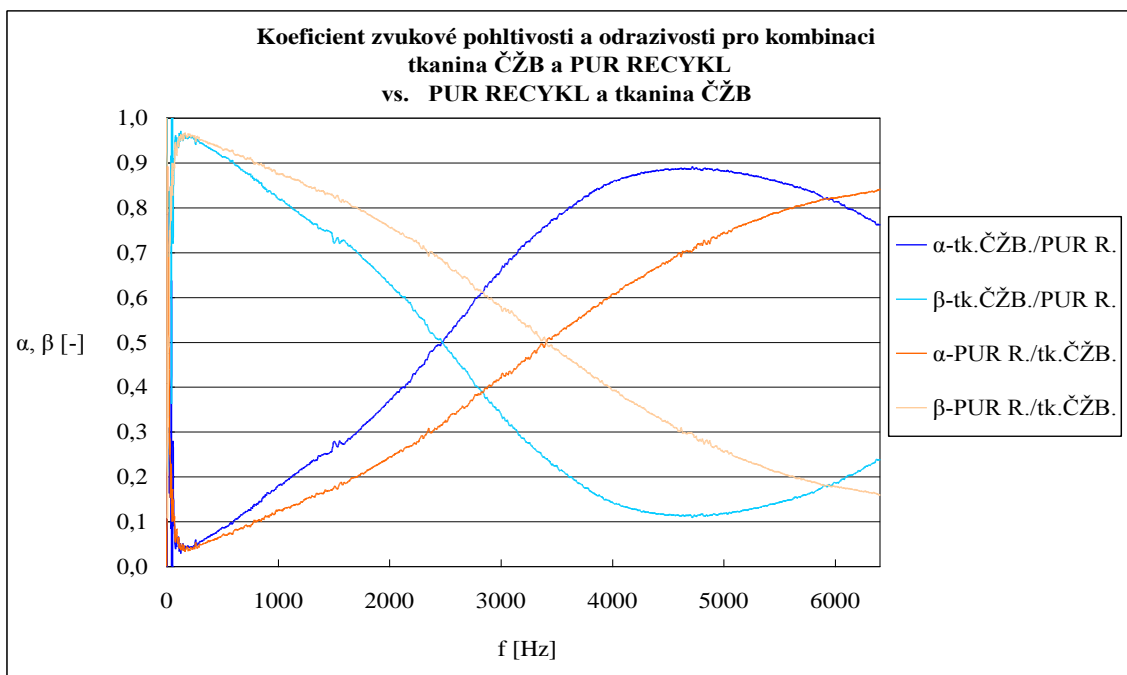
Obr. 74. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČŽB / PUR BÍLÝ CRHM a naopak [vlastní zpracování]



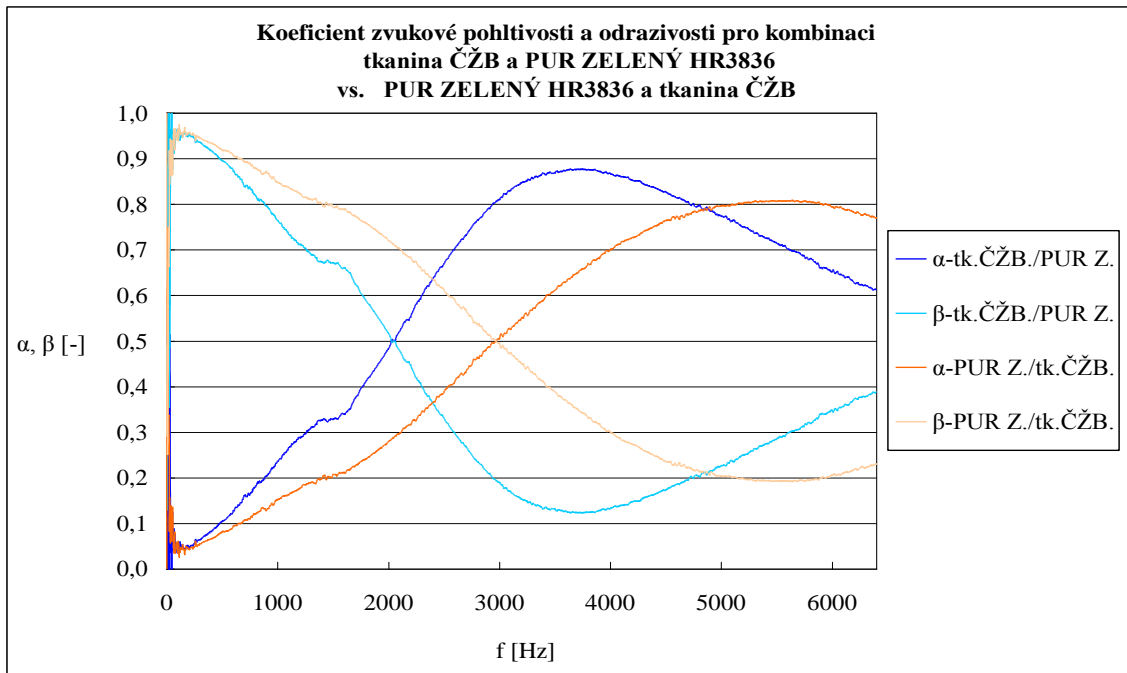
Obr. 75. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČŽB / PUR ČERNÝ S35 a naopak [vlastní zpracování]



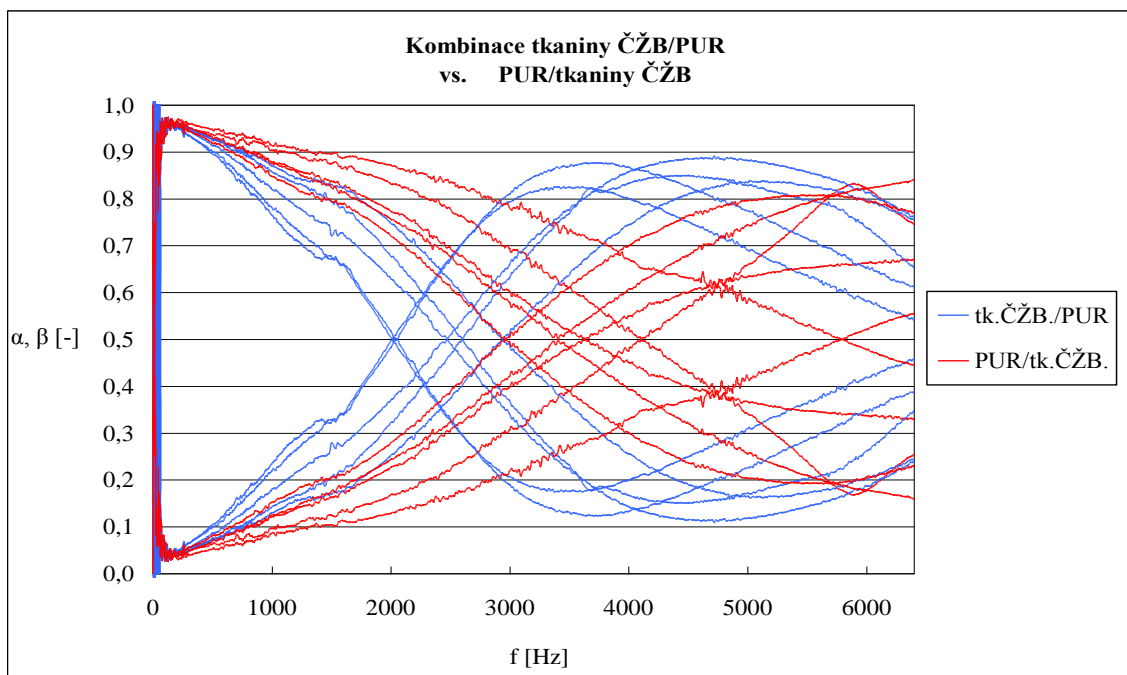
Obr. 76. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČŽB / PUR PANTERA 100 a naopak [vlastní zpracování]



Obr. 77. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČŽB / PUR RECYKL a naopak [vlastní zpracování]

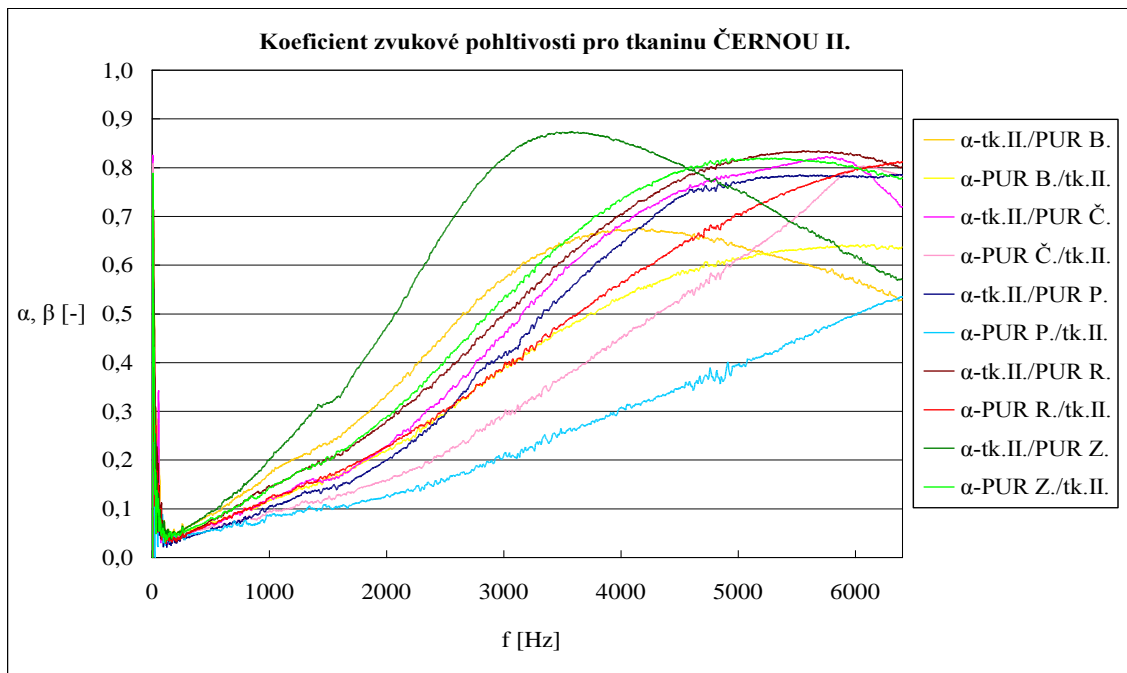


Obr. 78. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČŽB / PUR ZELENÝ HR3836 a naopak [vlastní zpracování]

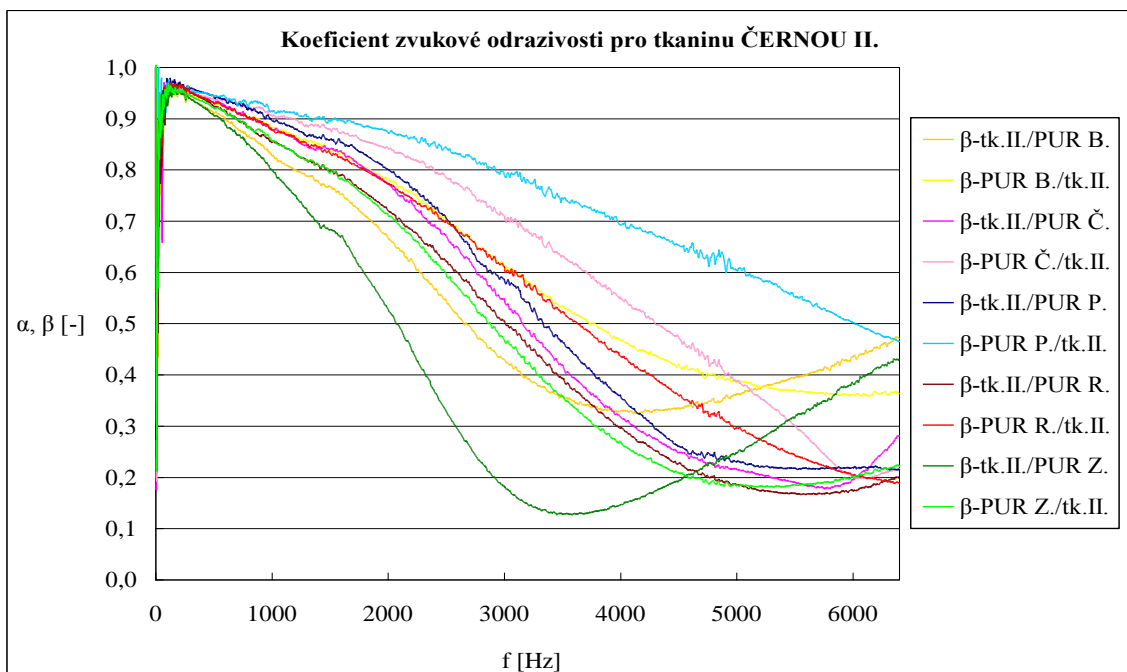


Obr. 79. Shrnutí kombinací pro tkaninu ČŽB / všechny PUR a naopak [vlastní zpracování]

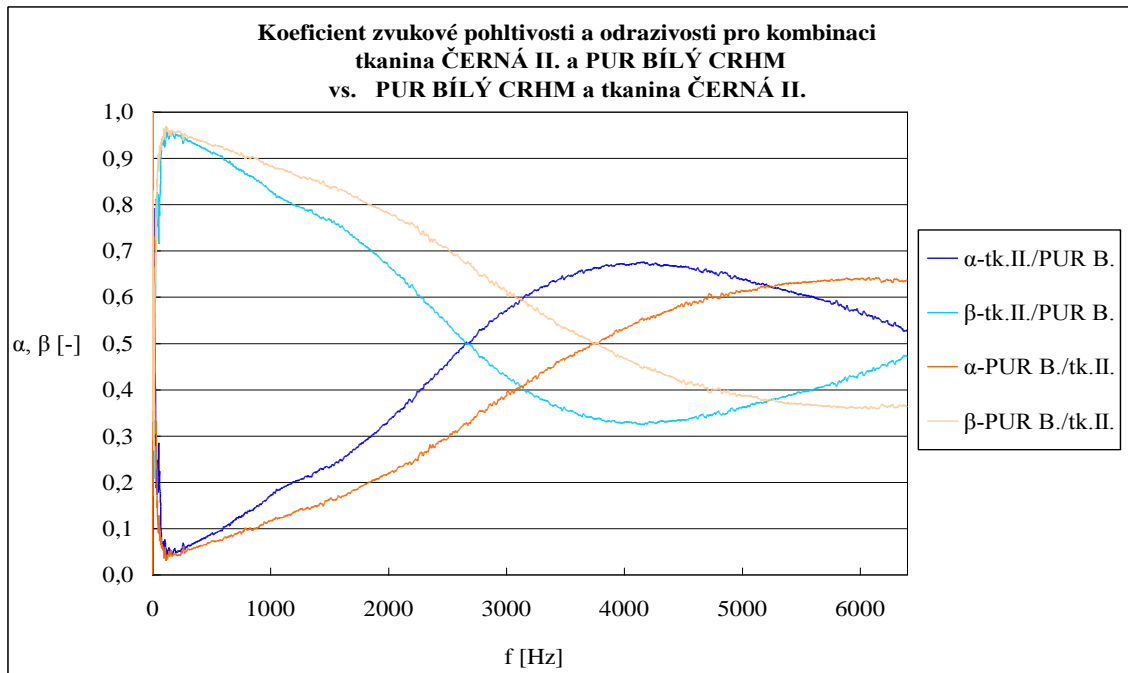
8.6.10 Měření kombinací zvukové pohltivosti a odrazivosti pro tkaninu ČERNÁ II.



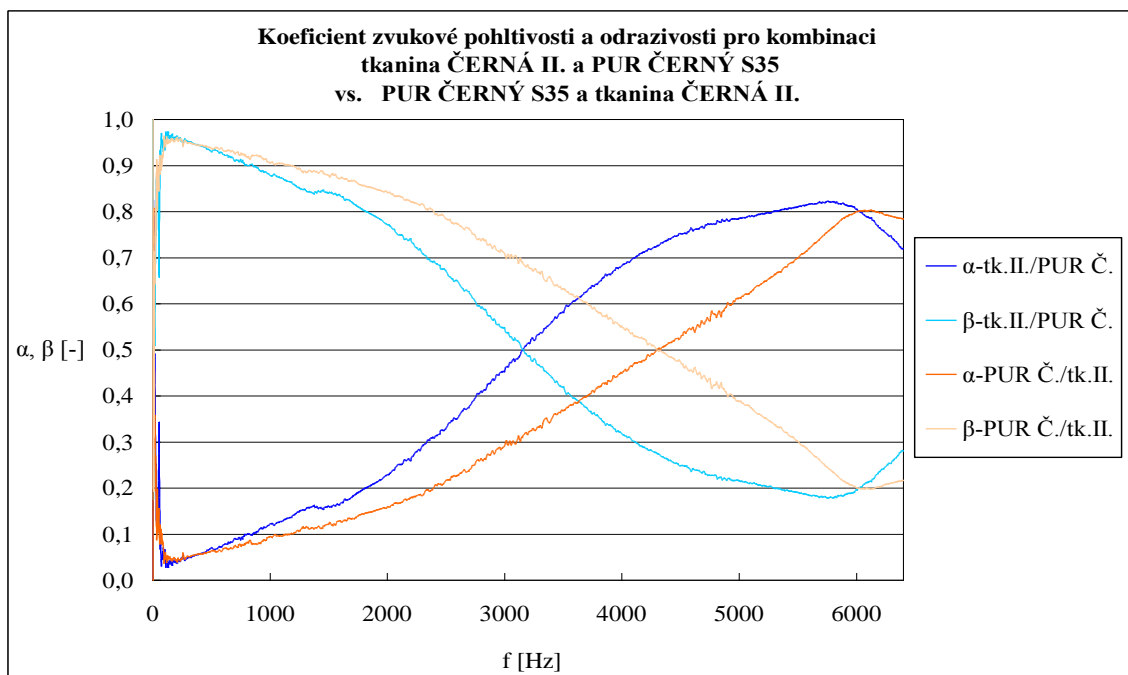
Obr. 80. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti pro kombinaci tkaniny ČERNÁ II. / PUR a naopak [vlastní zpracování]



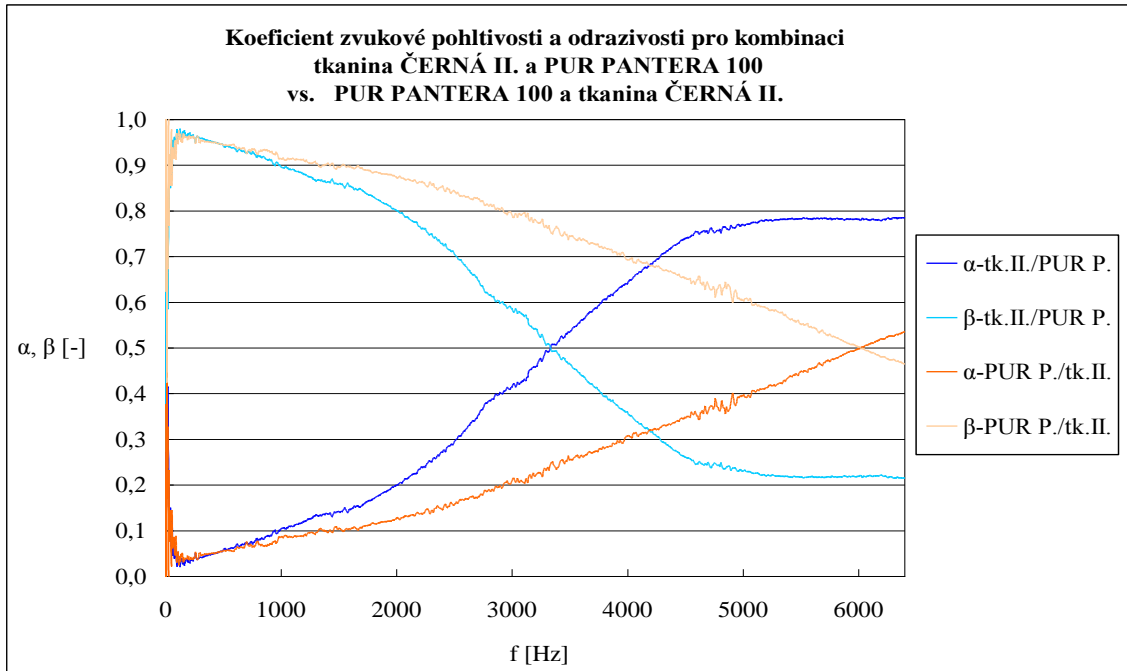
Obr. 81. Zobrazení koeficientu zvukové odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČERNÁ II. / PUR a naopak [vlastní zpracování]



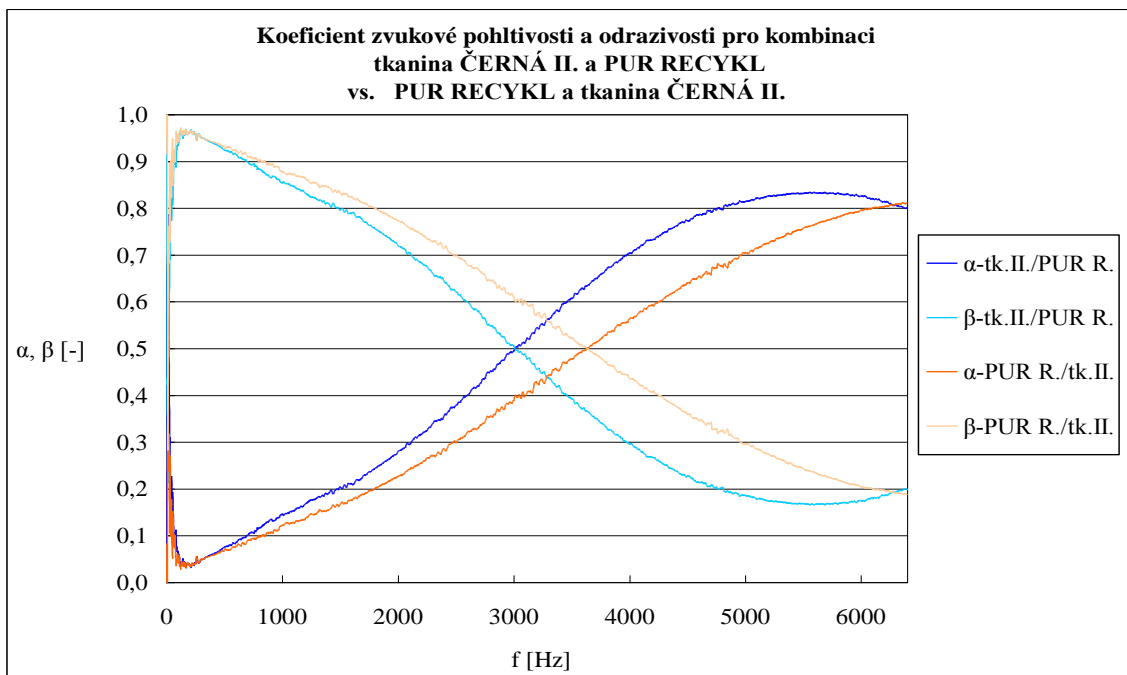
Obr. 82. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČERNÁ II. / PUR BÍLÝ CRHM a naopak [vlastní zpracování]



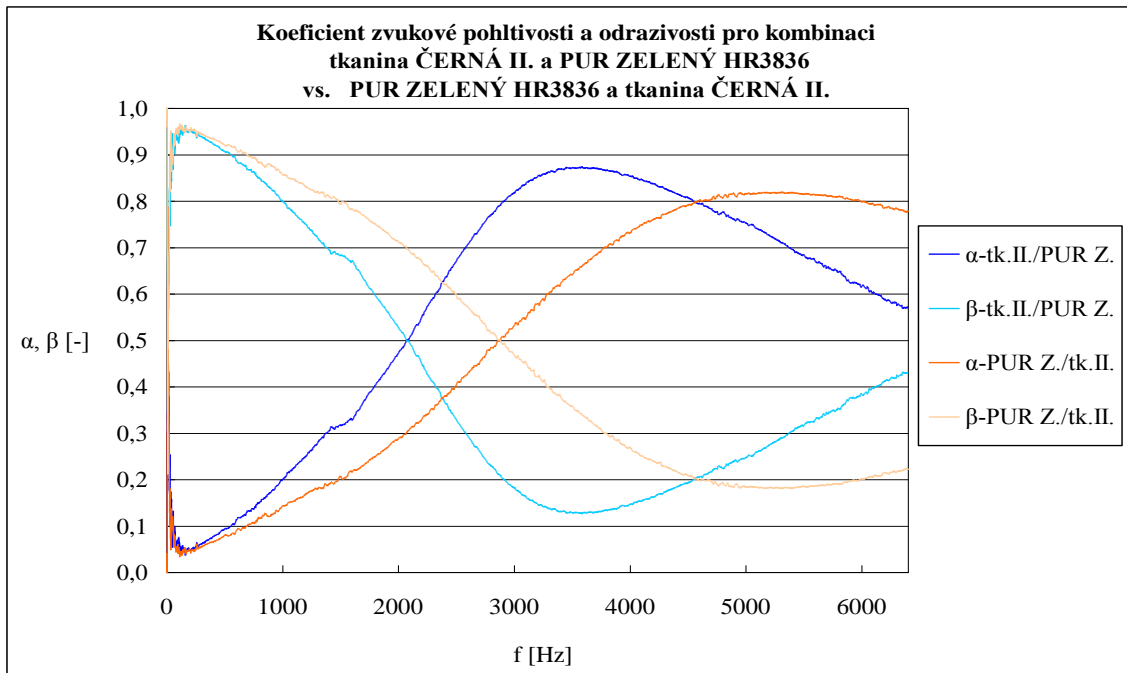
Obr. 83. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČERNÁ II. / PUR ČERNÝ S35 a naopak [vlastní zpracování]



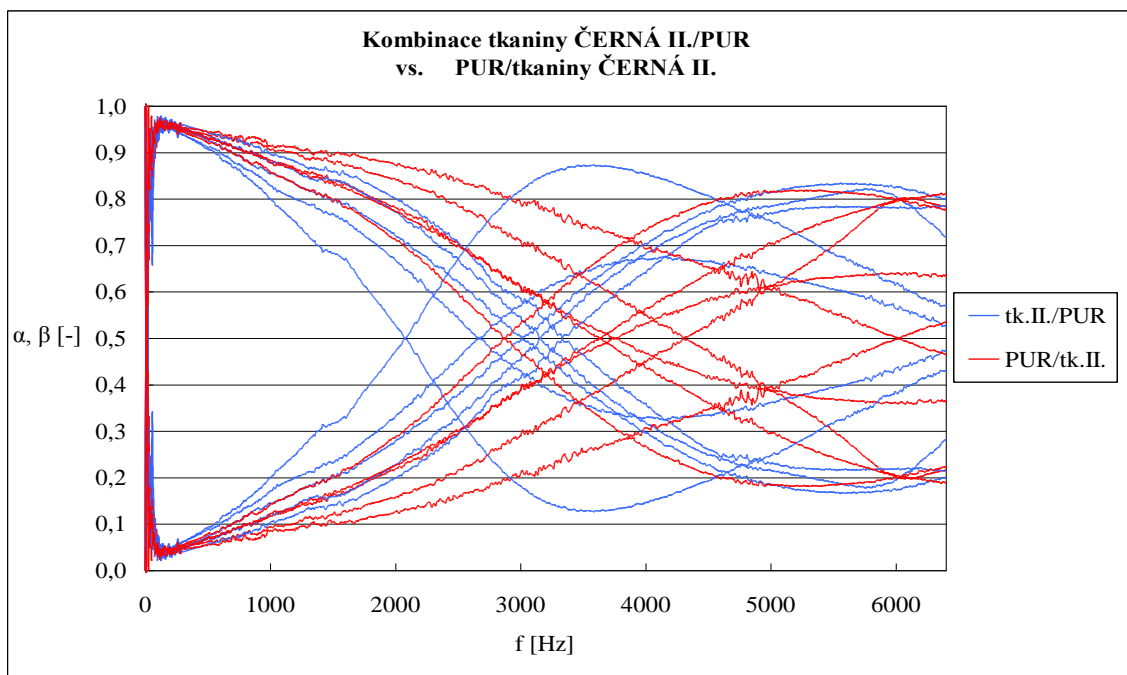
Obr. 84. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČERNÁ II. / PUR PANTERA 100 a naopak [vlastní zpracování]



Obr. 85. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČERNÁ II. / PUR RECYKL a naopak [vlastní zpracování]

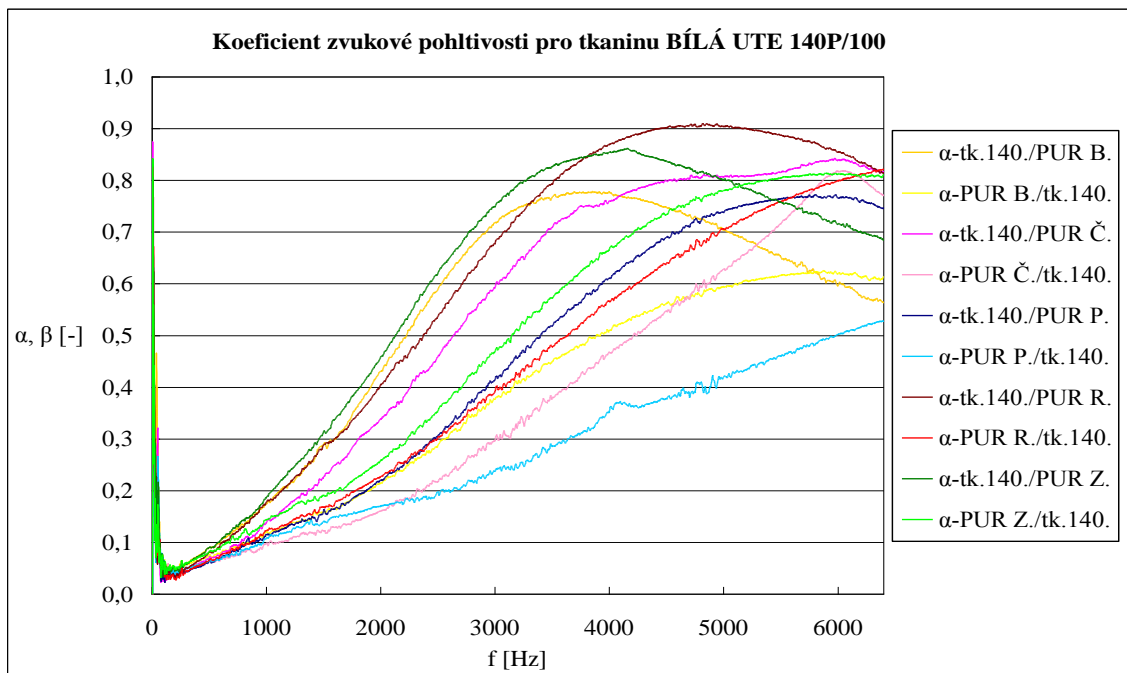


Obr. 86. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČERNÁ II. / PUR ZELENÝ HR3836 a naopak [vlastní zpracování]

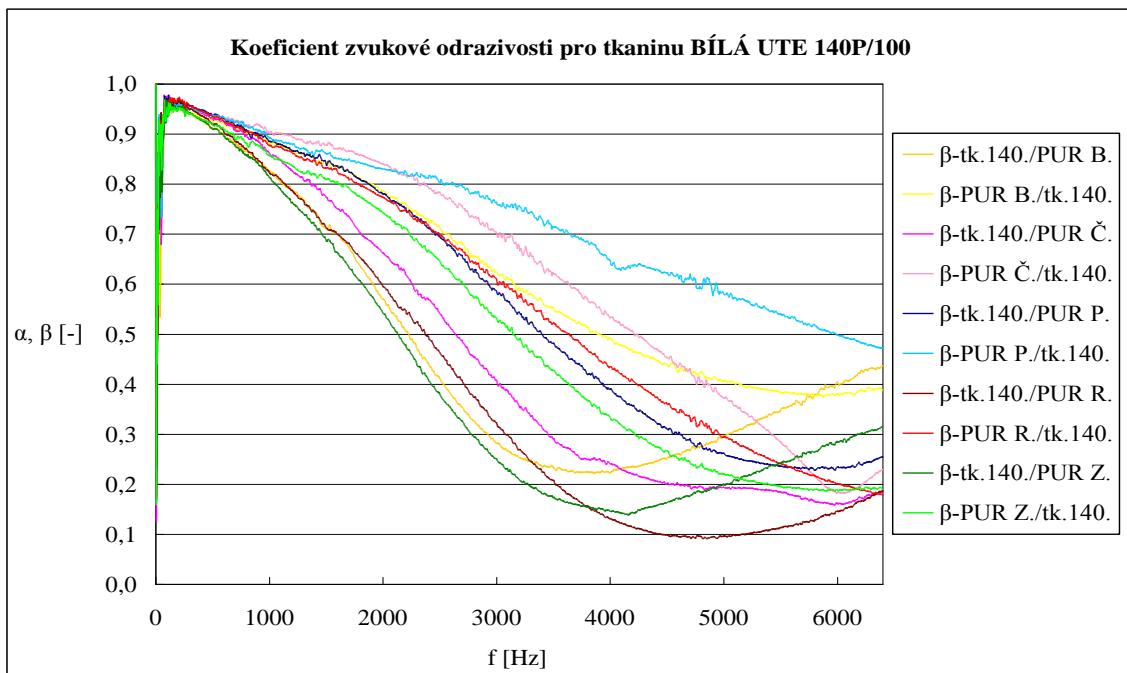


Obr. 87. Shrnutí kombinací pro tkaninu ČERNÁ II. / všechny PUR a naopak [vlastní zpracování]

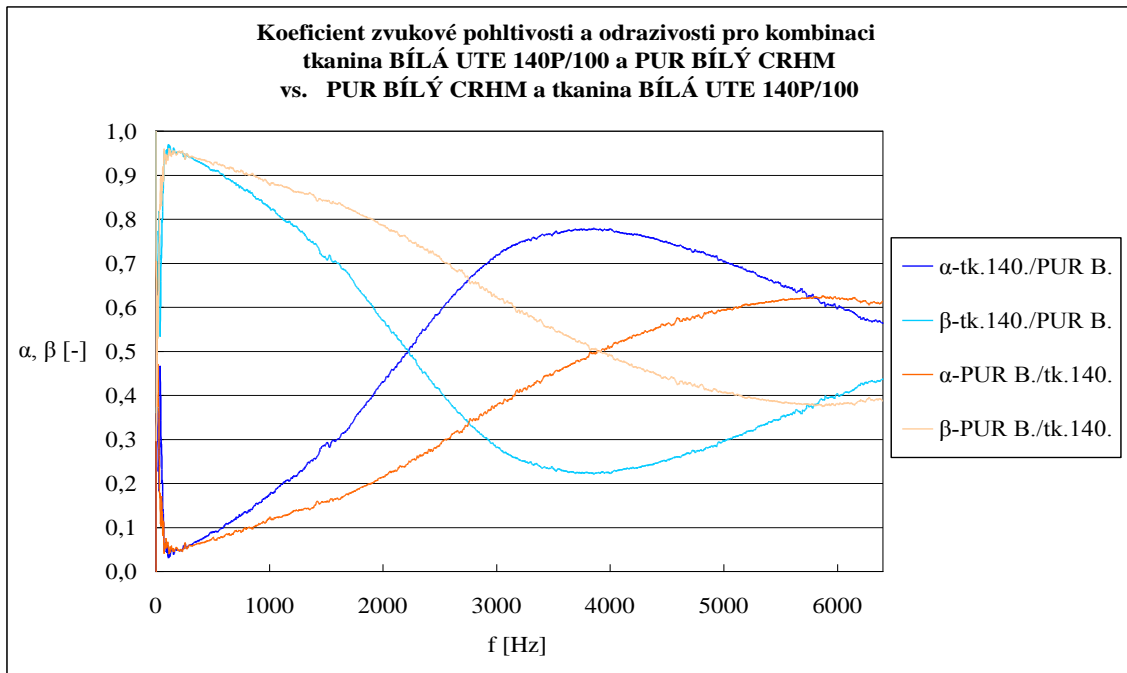
8.6.11 Měření kombinací zvukové pohltivosti a odrazivosti pro tkaninu BÍLÁ UTE 140P/100



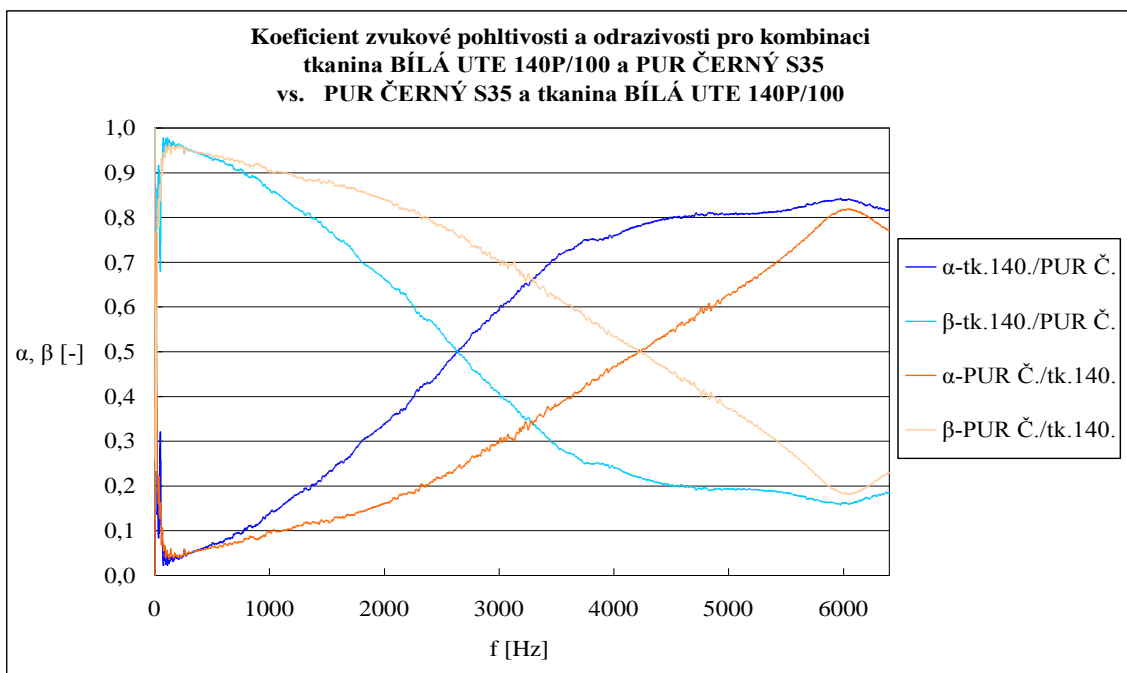
Obr. 88. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti pro kombinaci tkaniny BÍLÁ UTE 140P/100 / PUR a naopak [vlastní zpracování]



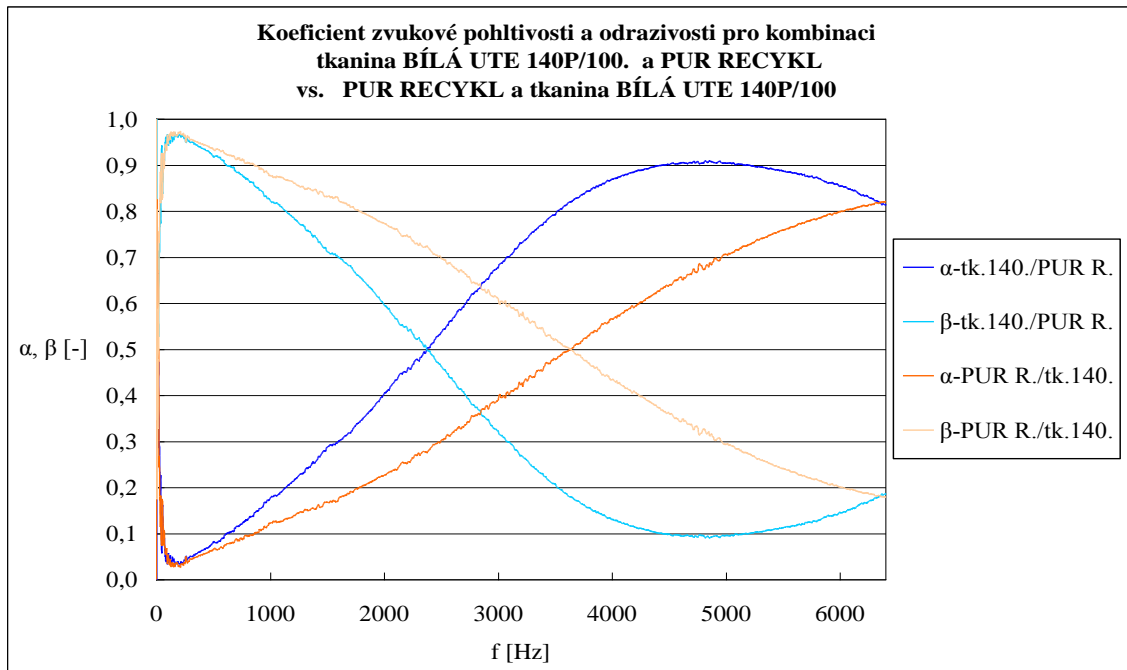
Obr. 89. Zobrazení koeficientu zvukové odrazivosti pro kombinaci tkaniny BÍLÁ UTE 140P/100 / PUR a naopak [vlastní zpracování]



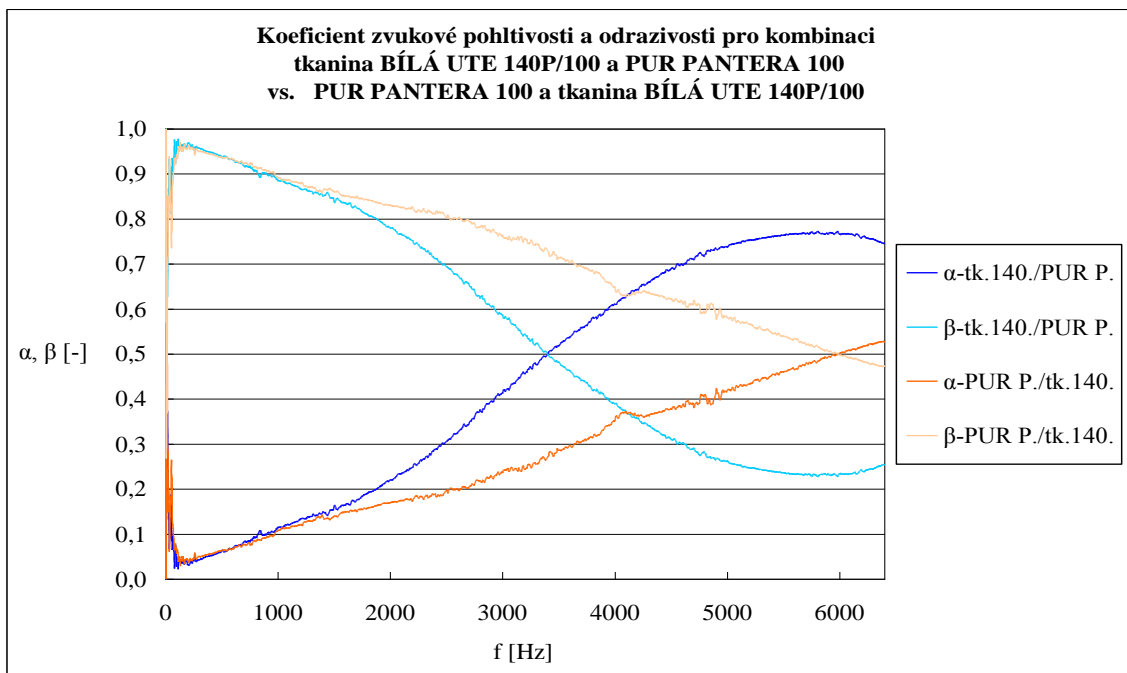
Obr. 90. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny BÍLÁ UTE 140P/100 / PUR BÍLÝ CRHM a naopak [vlastní zpracování]



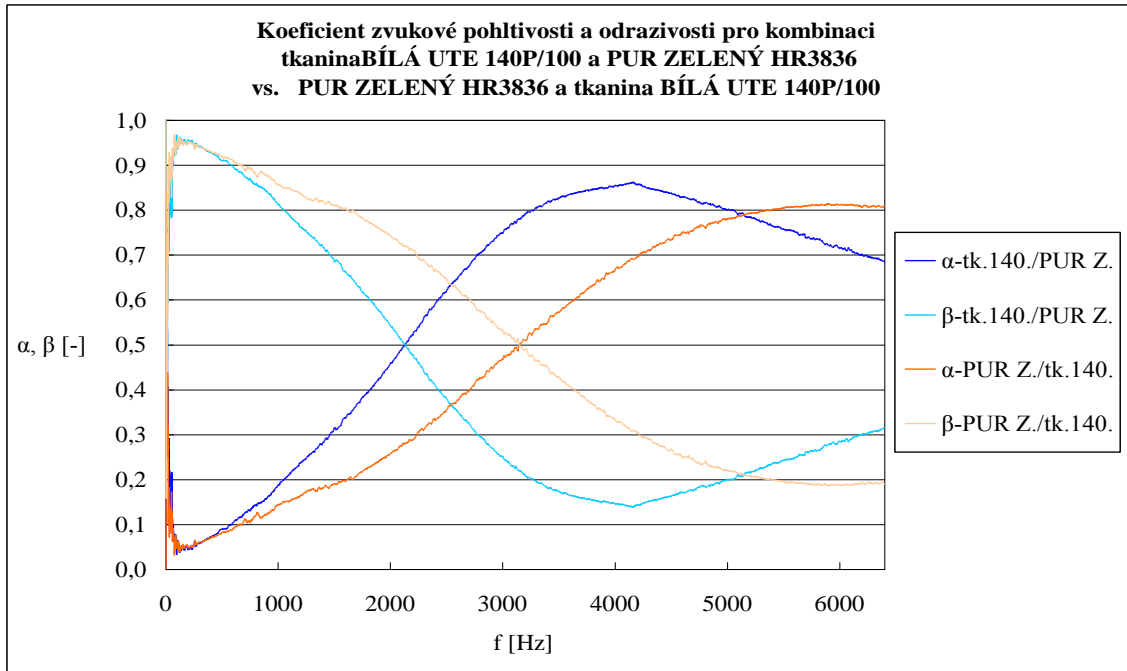
Obr. 91. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny BÍLÁ UTE 140P/100 / PUR ČERNÝ S35 a naopak [vlastní zpracování]



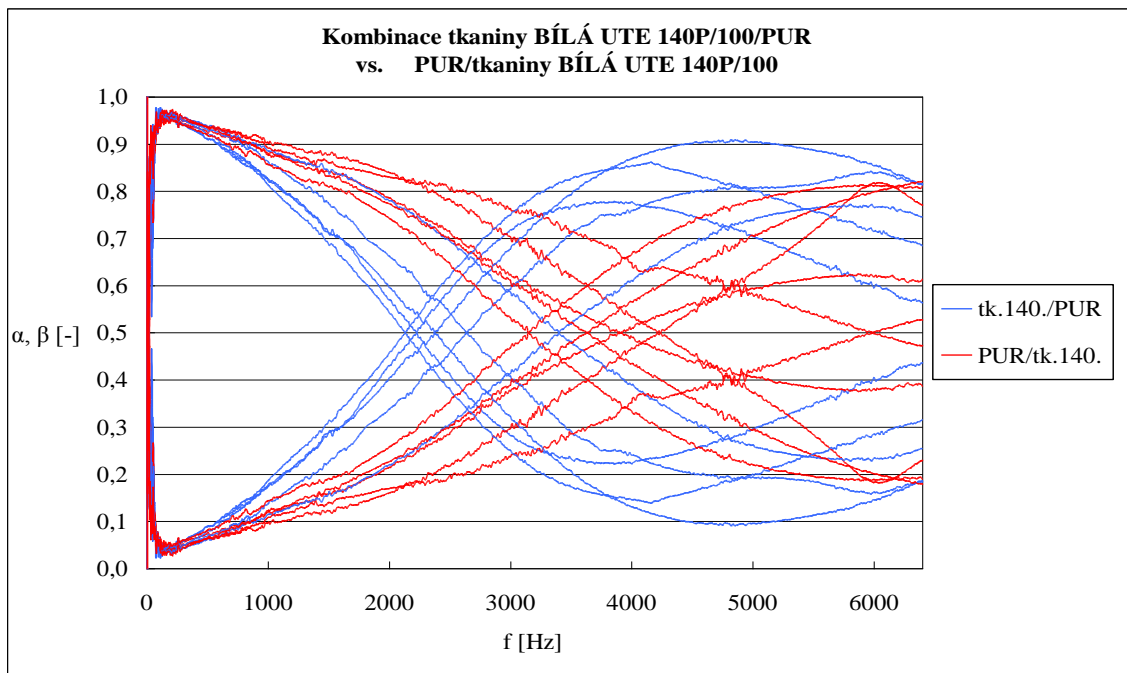
Obr. 92. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny BÍLÁ UTE 140P/100 / PUR RECYKL a naopak [vlastní zpracování]



Obr. 93. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny BÍLÁ UTE 140P/100 / PUR PANTERA 100 a naopak [vlastní zpracování]

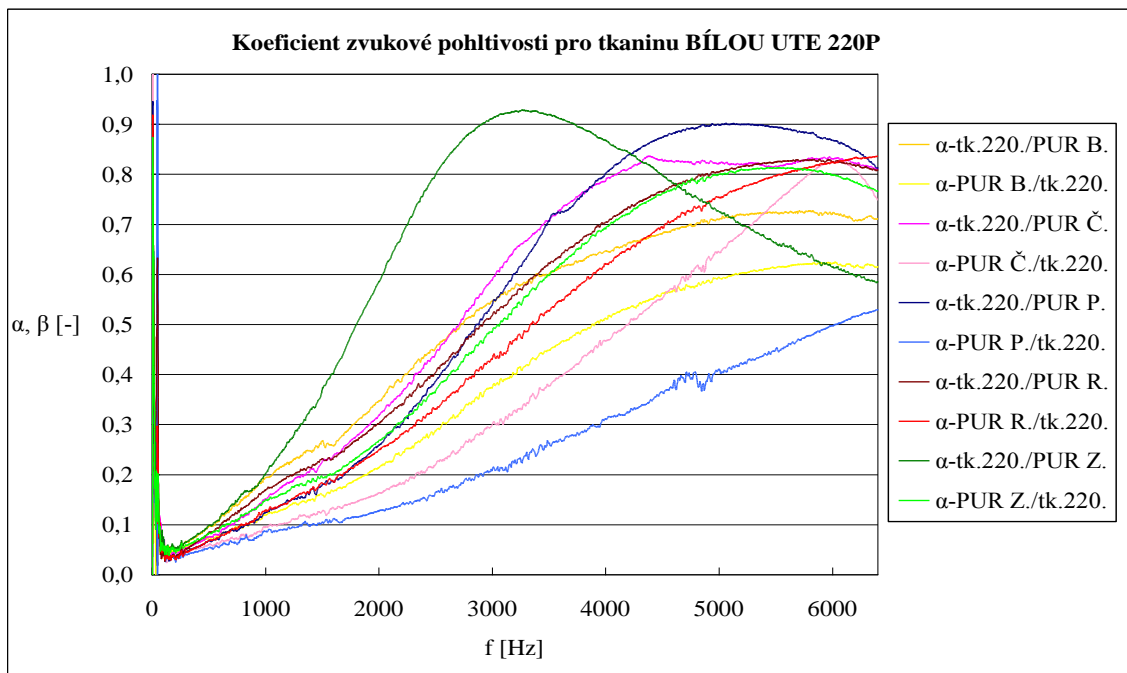


Obr. 94. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny BÍLÁ UTE 140P/100 / PUR ZELENÝ HR3836 a naopak [vlastní zpracování]

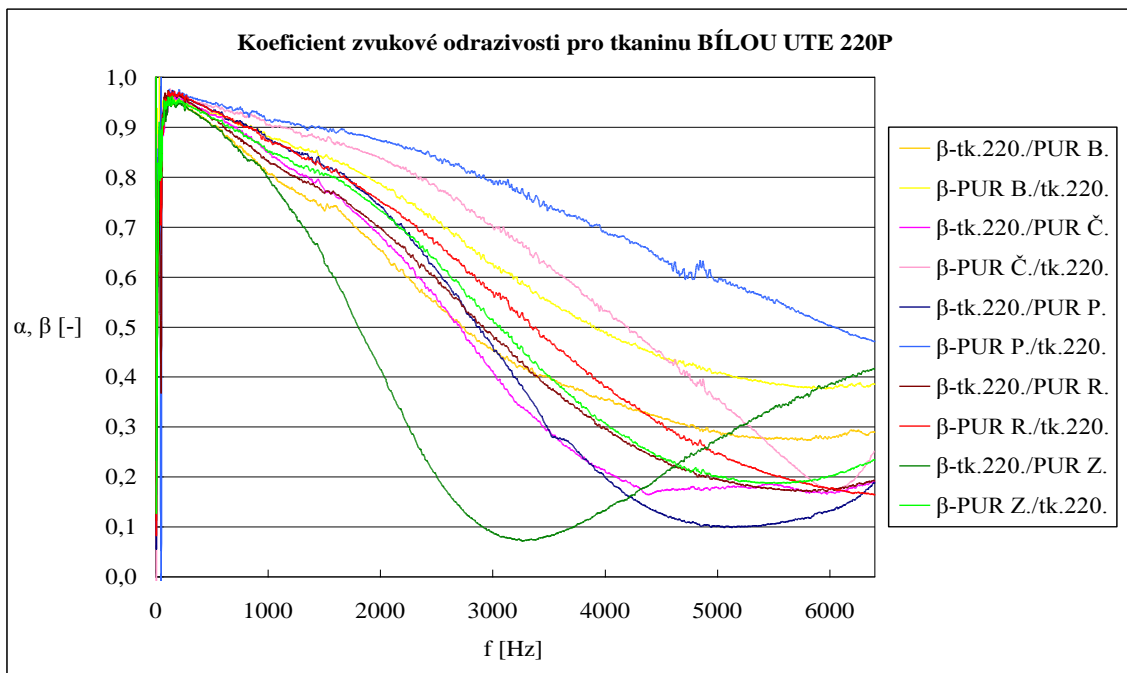


Obr. 95. Shrnutí kombinací pro tkaninu BÍLÁ UTE 140P/100 / všechny PUR a naopak [vlastní zpracování]

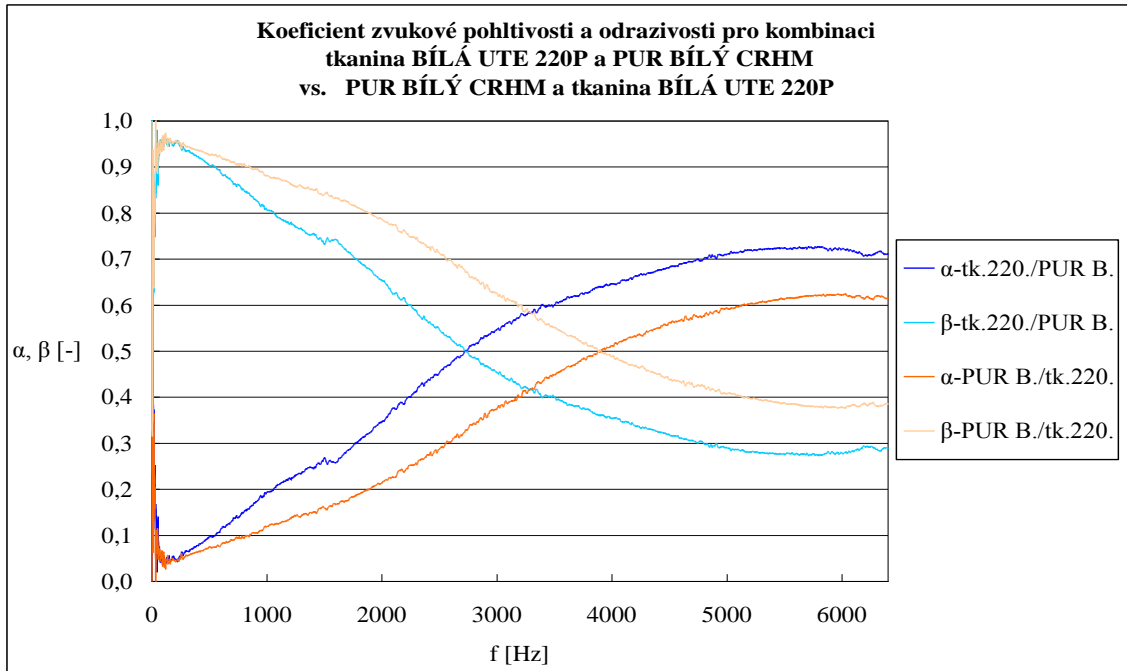
8.6.12 Měření kombinací zvukové pohltivosti a odrazivosti pro tkaninu BÍLÁ UTE 220P



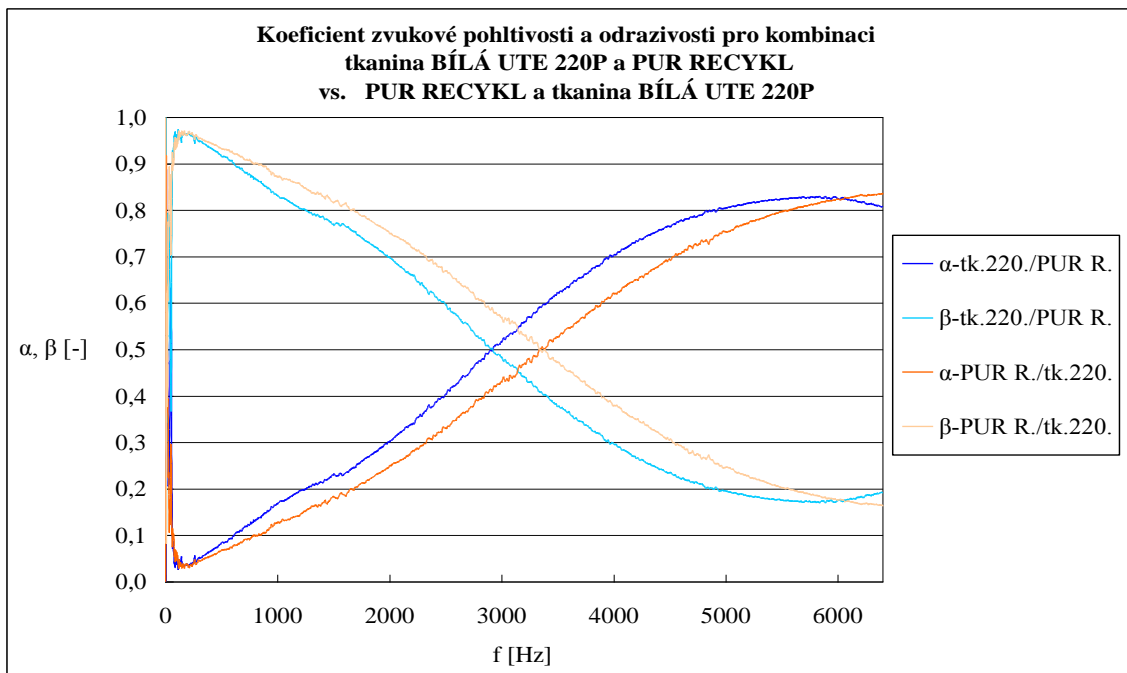
Obr. 96. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti pro kombinaci tkaniny BÍLÁ UTE 220P / PUR a naopak [vlastní zpracování]



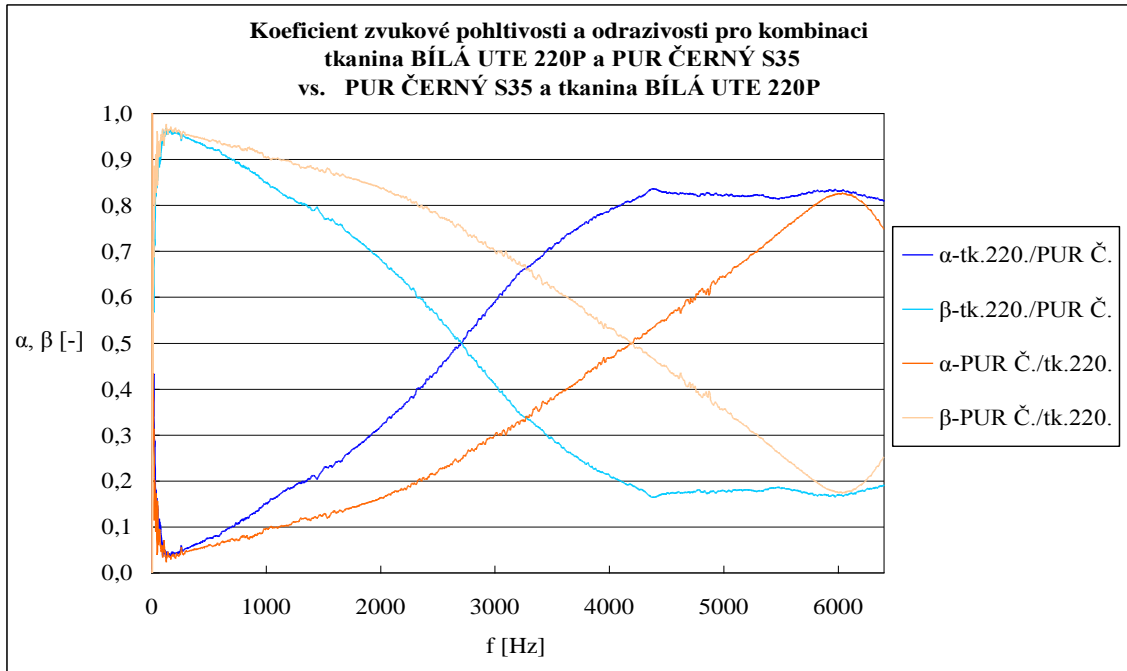
Obr. 97. Zobrazení koeficientu zvukové odrazivosti pro kombinaci tkaniny BÍLÁ UTE 220P / PUR a naopak [vlastní zpracování]



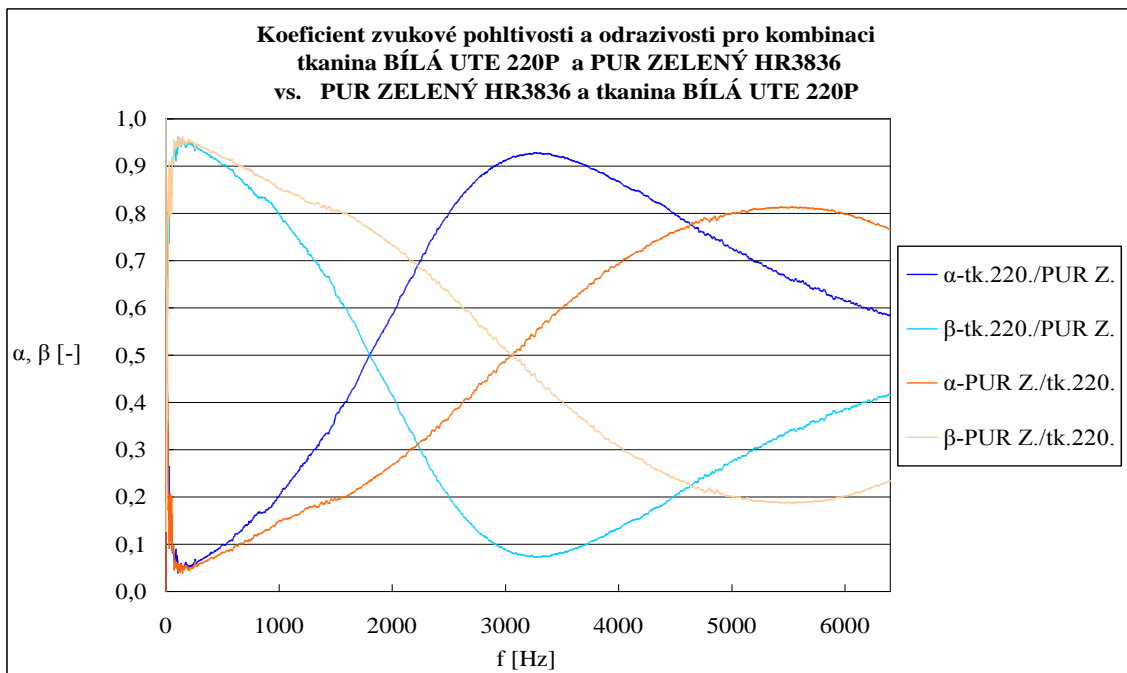
Obr. 98. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny BÍLÁ UTE 220P / PUR BÍLÝ CRHM a naopak [vlastní zpracování]



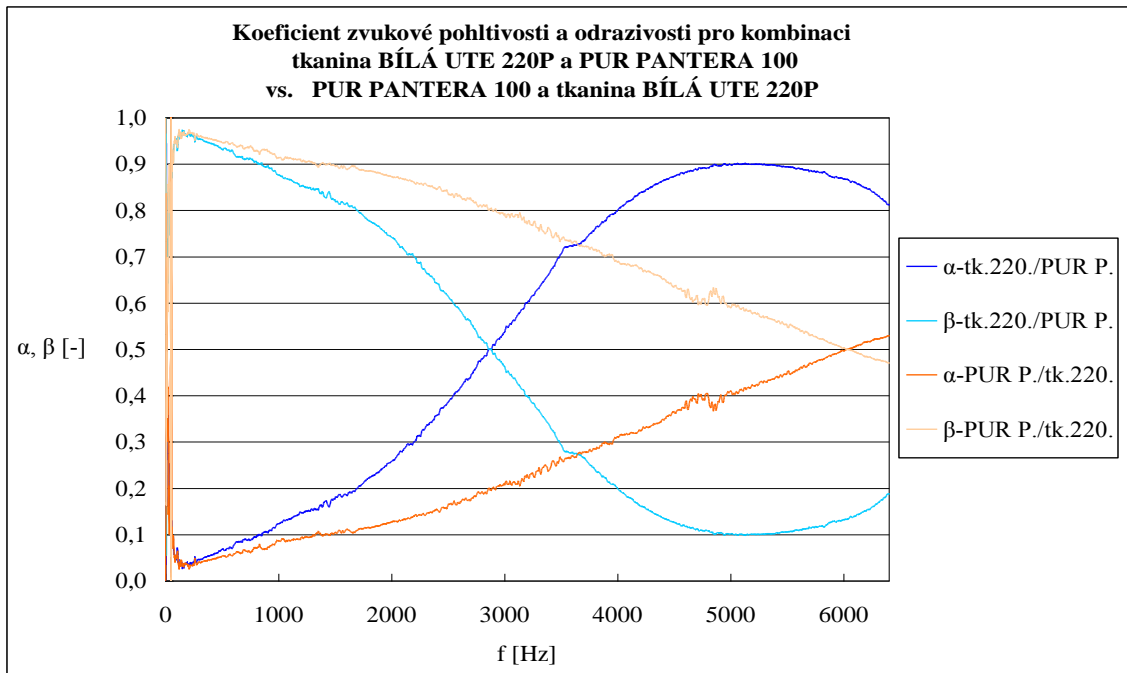
Obr. 99. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny BÍLÁ UTE 220P / PUR RECYKL a naopak [vlastní zpracování]



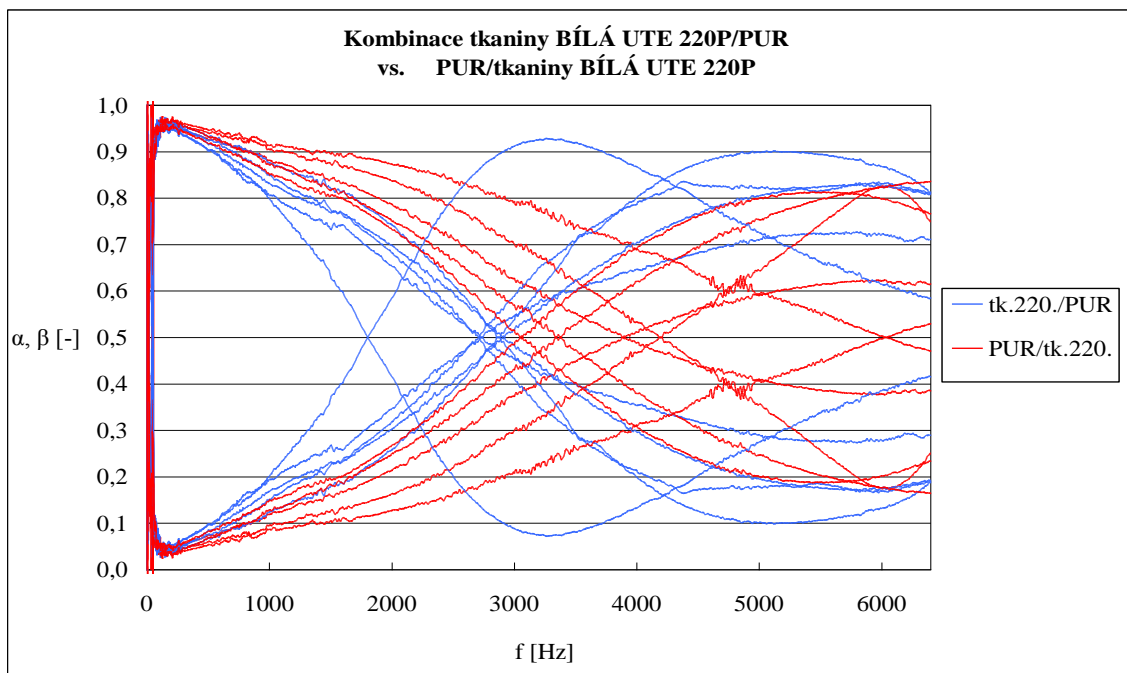
Obr. 100. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny BÍLÁ UTE 220P / PUR ČERNÝ S35 a naopak [vlastní zpracování]



Obr. 101. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny BÍLÁ UTE 220P / PUR ZELENÝ HR3836 a naopak [vlastní zpracování]



Obr. 102. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny BÍLÁ UTE 220P / PUR PANTERA 100 a naopak [vlastní zpracování]



Obr. 103. Shrnutí kombinací pro tkaninu BÍLÁ UTE 220P / všechny PUR a naopak [vlastní zpracování]

ZÁVĚR

Shrneme-li výsledky z tohoto měření, můžeme konstatovat, že pórovité materiály na polyuretanové bázi spolu s tkaninami pohlcují zvukovou energii jako jedny z nejlepších. Jednak proto, že se jedná o porézní materiály ve dvou formách. Prvně o porézní materiál ve formě polyuretanu, který má otevřené póry a za druhé o skelnou tkaninu (případně vatou), která tvoří díky jednotlivým vláknům specifickou porézní stavbu o níž lze také říci, že je tvořena póry otevřenými. Pohltivost je závislá i na tom, jak je případná matrice, vytvořená z PUR a tkaniny, složena. Zda je tkanina mezi polyuretanem a zvukovým zdrojem nebo v druhém případě pokud je umístěna od zdroje zvuku za polyuretanem. Toto upořádání má zásadní vliv na případnou pohltivost, protože i v konstrukčním řešení se musí vycházet z konkrétního zadání, na které straně má docházet k pohltivosti a která strana je vystavena případnému požáru. Z výsledků je patrné, že výhodnější kombinace pro akustickou pohltivost a také vzhledem k ochraně před ohněm je umístění tkaniny mezi zdroj a polyuretan. Tkanina prvotní nárazovou zvukovou vlnu zředí prostřednictvím mikro-pórů a nano-pórů vytvořených z jednotlivých vláken, a teprve potom je zvuk pohlcen a přeměněn na teplo, díky téměř homogenní porézní struktuře polyuretanů. Tyto poznatky jsou vidět i ve shrnutí a grafickém vyhodnocení a to na obrázcích v kapitole 8.6.8 (Obr. 71.), v kapitole 8.6.9 (Obr. 79.), v kapitole 8.6.10 (Obr. 87.), v kapitole 8.6.11 (Obr. 95.) a v kapitole 8.6.12 (Obr. 103.). Modré křivky nám vykazují lepší pohltivost a jsou v oblasti od 2 000 Hz do 3 000 Hz, zatímco červené křivky mají posunutou oblast pohltivosti od 3 000 Hz do 4 000 Hz. Tento posun záleží hlavně na tkanině i na polyuretanu, který byl vložen do měřícího zařízení.

Z grafů můžeme taky vyčíst, že křivky akustické pohltivosti mají stoupající charakter zejména v oblasti od 500 do 2 000 Hz. Mezi 500 Hz a 2 000 Hz je tzv. přechodové pásmo, které je posunuto více či méně k 500 Hz nebo 2 000 Hz, a to v závislosti na polyuretanu.

Další závěr, který můžeme vyslovit je, že případná vlhkost uvnitř izolačních vrstev, ve kterých by mohlo dojít ke kondenzaci par, a tudíž k vlhkosti nemá zásadní vliv na koeficient zvukové pohltivosti. Tento závěr je důležitý z hlediska aplikací v relativně vysokých vlhkostech, protože pokud bude polyuretan ochráněn vrstvou tkaniny (tkanina a její povrch je lubrikován látkami, které jsou odolné proti vlhkosti, plísním nebo různým chemikáliím), tak se nabízí další široké spektrum využitelnosti v průmyslové praxi. Většina polyuretanů,

kteřé byly měřeny a testovány za sucha měly vyšší pohltivost než vlhčené polyuretany. V některých případech byl ale zjištěn významný poznatek a to ten, že vyšší pohltivost lze sledovat u některých druhů polyuretanů, které byly vlhčeny. Lze si to vysvětlit zejména lepším přestupem tepla z důvodu přeměny akustické energie na teplo mezi prostředím (ve kterém se šíří akustická vlna) a polyuretanem nebo prostředím, destilovanou vodou a polyuretanem. Nejlepší akustickou pohltivost i odrazivost z těchto zkoumaných vzorků nám vykazuje polyuretan zelený HR3836 a nejhorší zase pantera 100.

Celkově lze zhodnotit výsledky měření sendvičové struktury tvořené polyuretanem a skelnou tkaninou jako vyhovující z hlediska akustické pohltivosti a také odolnosti vůči ohni. Je zřejmé, že odolnost vůči ohni je lepší pro polyuretan krytý skelnou tkaninou, která má své nepochybné výhody. Výsledkem těchto získaných dat je možná aplikace do motorových letadel malého typu nebo automobilů, ve kterých je možný vznik požáru ale zároveň je kladen důraz na relativní komfort prostředí.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] NOVÝ, R. *Hluk a chvění*, Praha: ČVUT, 2000, ISBN 80-01-02246-3
- [2] MIŠUN, V. *Vibrace a hluk*, Brno: PC-DIR Real, spol. s.r.o., 1998. ISBN 80-214-1262-3
- [3] WIKIPEDIA.ORG - vnímání zvuku [online]. [cit. 2010-05-01], dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Zvuk>>
- [4] BRŮHA, O. *Aeromechanika, výkony letadel – letecký průvodce 3*. Praha: SNTL, 1957. DT 629.135 533.6 Bez ISBN
- [5] MADEJEWSKI, B. *Aeroakustika, základy teorie a aplikace na konstrukci letadel*. Brno: VUT Brno, 1986. ISBN 55-587/1-86
- [6] ŠULC, J. *Konstrukce a pevnost letadel, Technická akustika II. A III. část (obrazová část)*, VA ZA – jen pro potřeby posluchačů, VA ZA 1973, skripta. Bez ISBN
- [7] SWIFT, M. J., BRIŠ, P., HOROSHENKOV, K.V. *Applied Acoustics 57*. 203, 1999
- [8] MEISSNER, B. *Fyzikální vlastnosti polymerů – část 1*. Praha: VŠCH Praha, 1971. ISBN 440-33985
- [9] JANČÁŘ, J. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*, Brno: VUT Brno, Fakulta chemická, 2003. ISBN 80-214-2443-5
- [10] MLEZIVA, J., ŠŇUPÁREK, J. *Polymery – výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2 přepracované vydání, Praha, Sobotáles 2002, ISBN 80-85920-72-7
- [11] KLEMPNER, D., FRISCH, C. *Handbook of polymeric foams and foam technology*. Hanser Publishers, Munich Vienna New York Barcelona, 1991. ISBN 3-446-15097-8
- [12] JUŘIČKA M., *Materiály pro tlumení hluku a vibrací v leteckém průmyslu na bázi polyuretanů*, Disertační práce, UTB Zlín, Zlín 2008
- [13] ČECHURA J., *Stavební fyzika 10: akustika stavebních konstrukcí*, Praha, 1. vydání, ČVUT Praha 1997, ISBN 80-01-01593-9

- [14] ŠŤASTNÍK S., ZACH J., *Stavební akustika a zvukoizolační materiály*, Brno, akademické nakladatelství CERM, 2002, ISBN 80-214-2117-7
- [15] LAPČÍK L., RAAB M., *Nauka o materiálech II*, Zlín, UTB Zlín, 2004, ISBN 80-7318-229-7
- [16] ŠULC, J. *Konstrukce a pevnost letadel, Technická akustika II. A III. část, HLUK LETADEL (textová část)*, VA ZA – jen pro potřeby posluchačů, VA ZA 1972, skripta. Bez ISBN
- [17] Prof. RNDr. JANČÁŘ J., CSc., *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů.*, Ústav chemie materiálů, FCH VUT Brno, Brno 2003, ISBN 80-214-2443-5
- [18] GOOGLE.COM – proces hoření.pdf [online]. [cit. 2010-05-01], dostupné z: <www.hzscr.cz/soubor/1-1-01-proces-horeni-pdf.aspx>
- [19] Všechno o hoření a hořlavých materiálech, [online]. [cit. 2010-05-01], dostupné z: <<http://cs.affenknecht.com/vsechno-o-horeni-a-horlavych-meterialech/>>
- [20] ANALYTICKÉ LAORATOŘE PLZEŇ a.s., Zkoušky materiálů pro automobilový průmysl, [online]. [cit. 2010-05-01], dostupné z: <<http://www.alplzen.cz/?goto=news&tid=4&lng=cz>>
- [21] TEXTILNÍ ZKUŠEBNÍ ÚSTAV, Hořlavost materiálů použitých v interiérech vozidel, [online]. [cit. 2010-05-01], dostupné z: <http://www.tzu.cz/get_dokument.php?ID=1025>
- [22] ENCYKLOPEDIA Britannica.com - Bunsen Burner, [online]. [cit. 2010-05-01], dostupné z: <<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/84759/Bunsen-burner>>
- [23] ANSWERS.COM – What is a Bunsen burner and how is it used, [online]. [cit. 2010-05-01], dostupné z: <http://wiki.answers.com/Q/What_is_a_Bunsen_burner_and_how_is_it_used>
- [24] LABORATORY TECHNIQUES, Using a Bunsen Burner, [online]. [cit. 2010-05-01], dostupné z: <<http://www.mr-damon.com/experiments/bunsen/>>
- [25] UNIQUE.CZ – přehled výrobků tkanin, [online]. [cit. 2010-05-01], dostupné z: <http://www.unique.cz/?/vyrobky>

- [26] Přístrojové a softwarové vybavení pro akustické měření na Ústavu fyziky a materiálového inženýrství, Fakulty technologické, Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, [online]. [cit. 2010-05-02], dostupné z: <http://www.ft.utb.cz/czech/ufmi/vybaveni.html>
- [27] ODETKA - specifikace materiálu: kevlar, [online]. [cit. 2010-05-02], dostupné z: http://www.odetka.cz/net20/cz/hitech_snury_specmat_kevlar.aspx
- [28] WIKIPEDIA.ORG – aramidová vlákna, [online]. [cit. 2010-05-01], dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Aramidov%C3%A1_vl%C3%A1kna
- [29] ČSN EN 6940. *Textilie – Hořlavost – Zjišťování snadnosti zapálení svisle umístěných zkušebních vzorků*. VÚLV spol. s.r.o., Šumperk, 2004, 20 s.
- [30] ČSN EN 6941. *Textilie – Hořlavost – Měření rychlosti šíření plamene u svisle umístěných zkušebních vzorků*. VÚLV spol. s.r.o., Šumperk, 2003, 19 s.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

α	-	činitel zvukové pohltivosti
α_c	-	součinitel absorpce
A_c	m^2	pohltivost sedadel
A_p	m	velikost plochy
A_w	m^2	pohltivost vnitřních ploch
c	m/s	rychlost šíření akustické vlny
c_0	m/s	rychlost zvuku při 0°C
c_B	m/s	ohybové vlnění
c_L	m/s	podélné vlnění
c_T	m/s	příčné vlnění
c_z	m/s	rychlost zvuku
D	dB	stupeň zvukové izolace
h	m	tloušťka materiálu
E	Pa	modul pružnosti v tahu
ΔE	J	energie
ε	-	činitel přeměny
ξ	-	činitel zvukové průzvučnosti
ξ_c	m^2	celková průzvučnost vnitřních stěn
f	Hz	frekvence vlnění
f_m	Hz	nejnižší frekvence
G	Pa	modul pružnosti ve smyku
I	W/m^2	akustická intenzita
I_i	W/m^2	intenzita difúzního pole
I_l	W/m^2	intenzita vnímaného zvuku

I_0	W/m^2	referenční intenzita zvuku
I_1	W/m^2	intenzita zvuku vlny odražené
I_2	W/m^2	intenzita zvuku vlny pohlcené
I_3	W/m^2	intenzita zvuku vlny vyzářené za stěnu
I_7	W/m^2	intenzita zvuku přeměněná ve stěně na teplo
K	Pa	modul objemové pružnosti (stlačitelnosti)
k	m/s^2	koeficient změny rychlosti
L_I	dB	hladina akustické intenzity
L_{lim}	-	aproximní hodnota
L_N	dB	hladina hlasitosti
L_P	dB	hladina akustického tlaku
L_W	dB	hladina akustického výkonu
n	-	počet sedadel
μ	-	Poissonova konstanta
π	-	Ludolfovo číslo – konstanta
P	W	akustický výkon
p	Pa	akustický tlak
p_b	Pa	barometrický tlak
p_c	Pa	celkový tlak
p_{ef}	Pa	efektivní hodnota akustického tlaku
p_p	Pa	akustický tlak v pásmu
p_0	Pa	referenční akustický tlak
p_{00}	-	amplituda akustického tlaku
\tilde{p}_0	-	komplexní amplituda
$p(t)$	Pa	statický tlak

ρ	kg/m^3	hustota prostředí
ρ_H	kg/m^3	hustota vzduchu ve výšce letu H
ρ_m	kg/m^3	hustota vzduchu pro H=0
r, β	-	činitel zvukové odrazivosti
R	-	činitel neprůzvučnosti
S	m^2	plocha
S_E	m^2	součet pohltivých ploch
t_p	$^{\circ}\text{C}$	teplota
T	s	doba kmitu nebo periody vlnění
τ, t	s	čas
φ	-	fázový posun
u_0	-	amplituda výchylky
V_a	m^3	objem vzduchu v dutinách
V_m	m^3	celkový objem zkoušeného materiálu
$\tilde{V}_{př}$	m/s	zvolená rychlost letu
v	m/s	rychlost šíření v daném prostředí
v_a	m/s	akustická rychlost
v_{ef}	m/s	efektivní hodnota rychlosti kmitajících částic
\tilde{v}_0	-	komplexní amplituda
W_0	W	referenční akustický výkon
W_e	J	konstantní akustická energie
W_i	J	celková akustická energie
x	-	počet částic
x_r	Ns/m^3	reálná složka měřené akustické impedance
λ	m	vlnová délka

ω	rad/s	úhlová rychlost/frekvence
Y	-	porózita
Z	Ns/m ³	měrná akustická impedance prostředí

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Kolísání akustického tlaku okolo barometrického [2]</i>	18
<i>Obr. 2. Akustická vlna na rozhraní plynné a pevné fáze (rozhraní vzduch x pevná látka) [1]</i>	27
<i>Obr. 3. Faktory ovlivňující vnitřní hluk [16]</i>	32
<i>Obr. 4. Schematická ukázka otevřených a uzavřených pórů [12]</i>	41
<i>Obr. 5. Pohltivost otevřených a uzavřených pórů [12]</i>	42
<i>Obr. 6. Pohltivost malých a velkých pórů [12]</i>	47
<i>Obr. 7. Kundtova trubice bez vzduchu, vzorek je umístěn na držáku [vlastní zpracování]</i>	48
<i>Obr. 8. Kundtova trubice se vzduchem [vlastní zpracování]</i>	48
<i>Obr. 9. Ukázka pohltivosti se vzduchovou mezerou a bez vzduchové mezery [12]</i>	49
<i>Obr. 10. Poloha kahanu při zkoušce [29], [30].....</i>	60
<i>Obr. 11. Tři typy plamenů (bezpečnostní, modrý a řvoucí modrý plamen) [24]</i>	61
<i>Obr. 12. Povrch PUR BÍLÝ CRHM viditelný lidským okem (CANON PowerShot G10), póry PUR BÍLÝ CRHM viditelné pod mikroskopem (rozlišení 4x/0.10) [vlastní zpracování].....</i>	63
<i>Obr. 13. Povrch PUR ZELENÝ HR3836 viditelný lidským okem (CANON PowerShot G10), póry PUR ZELENÝ HR3836 viditelné pod mikroskopem (rozlišení 4x/0.10) [vlastní zpracování]</i>	63
<i>Obr. 14. Povrch PUR RECYKL viditelný lidským okem (CANON PowerShot G10), póry PUR RECYKL viditelné pod mikroskopem (rozlišení 4x/0.10) [vlastní zpracování].....</i>	64
<i>Obr. 15. Povrch PUR PANTERA 100 viditelný lidským okem (CANON PowerShot G10), póry PUR PANTERA 100 viditelné pod mikroskopem (rozlišení 4x/0.10) [vlastní zpracování].....</i>	64
<i>Obr. 16. Povrch PUR ČERNÝ S35 viditelný lidským okem (CANON PowerShot G10), póry PUR ČERNÝ S35 viditelné pod mikroskopem (rozlišení 4x/0.10) [vlastní zpracování].....</i>	65
<i>Obr. 17. Tkací stroj a mechanismus tkaní (pro útkovou nit vzduchový mechanismus) (CANON PowerShot G10).....</i>	66

<i>Obr. 18. Nesetkaná tkanina na roli a na vstupu do tkaného vzoru (CANON PowerShot G10)</i>	66
<i>Obr. 19. Horní role pro osnovní nit, dolní role pro hotovou tkaninu a skladování tkanin (CANON PowerShot G10).....</i>	66
<i>Obr. 20. Povrch tkaniny ČERNÁ I. viditelný lidským okem (CANON PowerShot G10) a pod mikroskopem (přiblížení 1,25) [vlastní zpracování]</i>	67
<i>Obr. 21. Povrch tkaniny ČŽB viditelný lidským okem (CANON PowerShot G10) a pod mikroskopem (přiblížení 1,25) [vlastní zpracování]</i>	67
<i>Obr. 22. Povrch tkaniny ČERNÁ II. viditelný lidským okem (CANON PowerShot G10) a pod mikroskopem (přiblížení 1,6) [vlastní zpracování]</i>	67
<i>Obr. 23. Povrch tkaniny BÍLÁ UTE 140P/100 viditelný lidským okem (CANON PowerShot G10) a pod mikroskopem (přiblížení 1,25) [vlastní zpracování].....</i>	68
<i>Obr. 24. Povrch tkaniny BÍLÁ UTE 220P viditelný lidským okem (CANON PowerShot G10) a pod mikroskopem (přiblížení 1,25) [vlastní zpracování].....</i>	68
<i>Obr. 25. Vzorky PUR pro měření na Kundtově impedanční trubici (CANON PowerShot G10)</i>	69
<i>Obr. 26. Vzorky tkanin pro měření na Kundtově impedanční trubici (CANON PowerShot G10)</i>	70
<i>Obr. 27. Šablony pro vysekání vzorků na měření (CANON PowerShot G10).....</i>	70
<i>Obr. 28. Vzorky PUR pro měření nad Bunsenovým kahanem (CANON PowerShot G10).....</i>	70
<i>Obr. 29. Vzorky PUR pro měření nad Bunsenovým kahanem (CANON PowerShot G10).....</i>	71
<i>Obr. 30. Vzorky tkanin pro měření nad Bunsenovým kahanem (CANON PowerShot G10).....</i>	71
<i>Obr. 31. Schematické znázornění dvou-mikrofonové impedanční trubice [12]</i>	72
<i>Obr. 32. Kundtova impedanční trubice a vzorky pro měření koeficientu zvukové pohltivosti [26]</i>	72
<i>Obr. 33. Zapojení aparatury s velkou a malou měřicí trubicí (sériové zapojení s generátorem signálu B&K 2706 a dvoukanálovým analyzátozem PULSE B&K 3560-B-030) [26]</i>	73
<i>Obr. 34. PULSE typ 3560-B-030 [26]</i>	73

<i>Obr. 35. Prostředí LabShop[26]</i>	74
<i>Obr. 36. Analytické váhy RADWAG AS 220/C/2 (CANON PowerShot G10)</i>	77
<i>Obr. 37. Aparatura pro měření zkoušek v ohni (CANON PowerShot G10)</i>	77
<i>Obr. 38. Prohořený čtverec PUR BÍLÝ CRHM bez tkaniny a prohořelý čtverec PUR BÍLÝ CRHM s tkaninou ČŽB (CANON PowerShot G10)</i>	80
<i>Obr. 39. Prohořený čtverec PUR ZELENÝ HR3836 bez tkaniny a prohořelý čtverec PUR ZELENÝ HR3836 s tkaninou UTE 220P (CANON PowerShot G10)</i>	80
<i>Obr. 40. Prohořený čtverec PUR RECYKL bez tkaniny a prohořelý čtverec PUR RECYKL s tkaninou UTE 140P/100 (CANON PowerShot G10)</i>	81
<i>Obr. 41. Prohořený čtverec PUR PANTERA 100 bez tkaniny a prohořelý čtverec PUR PANTERA 100 s tkaninou UTE 140P/100 (CANON PowerShot G10)</i>	81
<i>Obr. 42. Prohořený čtverec PUR ČERNÝ S35 bez tkaniny a prohořelý čtverec PUR ČERNÝ S35 s tkaninou UTE 140P/100 (CANON PowerShot G10)</i>	81
<i>Obr. 43. Shoření 10 cm proužků pro PUR BÍLÝ CRHM a PUR ZELENÝ HR3836 (CANON PowerShot G10)</i>	84
<i>Obr. 44. Shoření 10 cm proužků pro PUR RECYKL a PUR PANTERA 100 (CANON PowerShot G10)</i>	84
<i>Obr. 45. Shoření 10 cm proužků pro PUR ČERNÝ S35 a fotka všech shořených 10 cm proužků (CANON PowerShot G10)</i>	85
<i>Obr. 46. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro mokrý PUR [vlastní zpracování]</i>	86
<i>Obr. 47. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro suchý PUR [vlastní zpracování]</i>	86
<i>Obr. 48. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR BÍLÝ CRHM (mokrý vs. suchý) [vlastní zpracování]</i>	87
<i>Obr. 49. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR RECYKL (mokrý vs. suchý) [vlastní zpracování]</i>	87
<i>Obr. 50. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR ZELENÝ HR3836 (mokrý vs. suchý) [vlastní zpracování]</i>	88
<i>Obr. 51. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR ČERNÝ S35 (mokrý vs. suchý) [vlastní zpracování]</i>	88
<i>Obr. 52. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR PANTERA 100 (mokrý vs. suchý) [vlastní zpracování]</i>	89

Obr. 53. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR bez tkaniny [vlastní zpracování]	89
Obr. 54. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR a.....	90
Obr. 55. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro tkaninu ČERNÁ I. a PUR [vlastní zpracování]	90
Obr. 56. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR a tkaninu ČŽB [vlastní zpracování]	91
Obr. 57. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro tkaninu ČŽB a PUR [vlastní zpracování]	91
Obr. 58. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR a.....	92
Obr. 59. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro tkaninu ČERNÁ II. a PUR [vlastní zpracování]	92
Obr. 60. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR a.....	93
Obr. 61. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro tkaninu BÍLÁ UTE 140P/100 a PUR [vlastní zpracování]	93
Obr. 62. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro PUR a.....	94
Obr. 63. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro tkaninu BÍLÁ UTE 220P a PUR [vlastní zpracování]	94
Obr. 64. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti pro kombinaci tkaniny ČERNÁ I. / PUR a naopak [vlastní zpracování]	95
Obr. 65. Zobrazení koeficientu zvukové odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČERNÁ I. / PUR a naopak [vlastní zpracování]	95
Obr. 66. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČERNÁ I. / PUR BÍLÝ CRHM a naopak [vlastní zpracování]	96
Obr. 67. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČERNÁ I. / PUR ČERNÝ S35 a naopak [vlastní zpracování]	96
Obr. 68. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČERNÁ I. / PUR RECYKL a naopak [vlastní zpracování]	97
Obr. 69. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČERNÁ I. / PUR PANTERA 100 a naopak [vlastní zpracování]	97
Obr. 70. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČERNÁ I. / PUR ZELENÝ HR3836 a naopak [vlastní zpracování]	98
Obr. 71. Shrnutí kombinací pro tkaninu ČERNÁ I. / všechny PUR a naopak.....	98

Obr. 72. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti pro kombinaci tkaniny ČŽB / PUR a naopak (tk./PUR a PUR/tk.) [vlastní zpracování]	99
Obr. 73. Zobrazení koeficientu zvukové odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČŽB / PUR (tk./PUR a PUR/tk.) [vlastní zpracování]	99
Obr. 74. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČŽB / PUR BÍLÝ CRHM a naopak [vlastní zpracování]	100
Obr. 75. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČŽB / PUR ČERNÝ S35 a naopak [vlastní zpracování]	100
Obr. 76. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČŽB / PUR PANTERA 100 a naopak [vlastní zpracování]	101
Obr. 77. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČŽB / PUR RECYKL a naopak [vlastní zpracování]	101
Obr. 78. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČŽB / PUR ZELENÝ HR3836 a naopak [vlastní zpracování]	102
Obr. 79. Shrnutí kombinací pro tkaninu ČŽB / všechny PUR a naopak	102
Obr. 80. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti pro kombinaci tkaniny ČERNÁ II. /PUR (tk./PUR a PUR/tk.) [vlastní zpracování]	103
Obr. 81. Zobrazení koeficientu zvukové odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČERNÁ II. /PUR (tk./PUR a PUR/tk.) [vlastní zpracování]	103
Obr. 82. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČERNÁ II. / PUR BÍLÝ CRHM a naopak [vlastní zpracování]	104
Obr. 83. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČERNÁ II. / PUR ČERNÝ S35 a naopak [vlastní zpracování]	104
Obr. 84. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČERNÁ II. / PUR PANTERA 100 a naopak [vlastní zpracování]	105
Obr. 85. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČERNÁ II. / PUR RECYKL a naopak [vlastní zpracování]	105
Obr. 86. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny ČERNÁ II. / PUR ZELENÝ HR3836 a naopak [vlastní zpracování]	106
Obr. 87. Shrnutí kombinací pro tkaninu ČERNÁ II. / všechny PUR a naopak	106
Obr. 88. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti pro kombinaci tkaniny BÍLÁ UTE 140P/100 a naopak (tk./PUR a PUR/tk.) [vlastní zpracování]	107

Obr. 89. Zobrazení koeficientu zvukové odrazivosti pro kombinaci tkaniny BÍLÁ UTE 140P/100 a naopak (tk./PUR a PUR/tk.) [vlastní zpracování]	107
Obr. 90. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny BÍLÁ UTE 140P/100 / PUR BÍLÝ CRHM a naopak [vlastní zpracování]	108
Obr. 91. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny BÍLÁ UTE 140P/100 / PUR ČERNÝ S35 a naopak [vlastní zpracování] ...	108
Obr. 92. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny BÍLÁ UTE 140P/100 / PUR RECYKL a naopak [vlastní zpracování]	109
Obr. 93. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny BÍLÁ UTE 140P/100 / PUR PANTERA 100 a naopak [vlastní zpracování]	109
Obr. 94. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny BÍLÁ UTE 140P/100 / PUR ZELENÝ HR3836 a naopak [vlastní zpracování]	110
Obr. 95. Shrnutí kombinací pro tkaninu BÍLÁ UTE 140P/100 / všechny PUR a naopak [vlastní zpracování]	110
Obr. 96. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti pro kombinaci tkaniny BÍLÁ UTE 220P / PUR a naopak [vlastní zpracování]	111
Obr. 97. Zobrazení koeficientu zvukové odrazivosti pro kombinaci tkaniny BÍLÁ UTE 220P / PUR a naopak [vlastní zpracování]	111
Obr. 98. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny BÍLÁ UTE 220P / PUR BÍLÝ CRHM a naopak [vlastní zpracování]	112
Obr. 99. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny BÍLÁ UTE 220P / PUR RECYKL a naopak [vlastní zpracování]	112
Obr. 100. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny BÍLÁ UTE 220P / PUR ČERNÝ S35 a naopak [vlastní zpracování]	113
Obr. 101. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny BÍLÁ UTE 220P / PUR ZELENÝ HR3836 a naopak [vlastní zpracování]	113
Obr. 102. Zobrazení koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti pro kombinaci tkaniny BÍLÁ UTE 220P / PUR PANTERA 100 a naopak [vlastní zpracování]	114

*Obr. 103. Shrnutí kombinací pro tkaninu BÍLÁ UTE 220P / všechny PUR a naopak
[vlastní zpracování]*

114

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Rozdíl velikostí akustického tlaku a hladin akustického tlaku v závislosti na změně prostředí [12]</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 2. Materiály pro pohlcování zvuku a jejich technické údaje (Ø značí průměr vlákna v μm) [16]</i>	<i>40</i>
<i>Tab. 3. Složení různých typů skel [17]</i>	<i>53</i>
<i>Tab. 4. Vlastnosti jednotlivých druhů skel [17]</i>	<i>53</i>
<i>Tab. 5. Přehled výrobků tkanin [25]</i>	<i>54</i>
<i>Tab. 6. Tabulka vlastností různých stupňů kevlarů [27]</i>	<i>56</i>
<i>Tab. 7. Porovnání vlastností kevlarů s dalšími materiály [28]</i>	<i>56</i>
<i>Tab. 8. Naměřené tloušťky tkanin [vlastní zpracování]</i>	<i>75</i>
<i>Tab. 9. Naměřené hmotnosti tkanin o rozměru 10x10 cm [vlastní zpracování]</i>	<i>75</i>
<i>Tab. 10. Hmotnosti vysušených a mokrých vzorků polyuretanů</i>	<i>76</i>
<i>Tab. 11. Vložení vzorků do plamene o rozměru 15x3x1 cm [vlastní zpracování]</i>	<i>78</i>
<i>Tab. 12. Hodnoty prohořených bílých polyuretanových čtverců s tkaninou i bez tkaniny o rozměru 13x13x1 cm [vlastní zpracování]</i>	<i>78</i>
<i>Tab. 13. Hodnoty prohořených zelených polyuretanových čtverců s tkaninami i bez tkaniny o rozměru 13x13x1 cm [vlastní zpracování]</i>	<i>79</i>
<i>Tab. 14. Hodnoty prohořených recykl polyuretanových čtverců s tkaninou i bez tkaniny o rozměru 13x13x1 cm [vlastní zpracování]</i>	<i>79</i>
<i>Tab. 15. Hodnoty prohořených pantera 100 polyuretanových čtverců s tkaninou i bez tkaniny o rozměru 13x13x1 cm [vlastní zpracování]</i>	<i>79</i>
<i>Tab. 16. Hodnoty prohořených černých polyuretanových čtverců s tkaninou i bez tkaniny o rozměru 13x13x1 cm [vlastní zpracování]</i>	<i>80</i>
<i>Tab. 17. Hodnoty shořených bílých polyuretanových proužků o rozměru 15x3x1 cm [vlastní zpracování]</i>	<i>82</i>
<i>Tab. 18. Hodnoty shořených zelených polyuretanových proužků o rozměru 15x3x1 cm [vlastní zpracování]</i>	<i>82</i>
<i>Tab. 19. Hodnoty shořených recykl polyuretanových proužků o rozměru 15x3x1 cm [vlastní zpracování]</i>	<i>83</i>
<i>Tab. 20. Hodnoty shořených pantera 100 polyuretanových proužků o rozměru 15x3x1 cm [vlastní zpracování]</i>	<i>83</i>

Tab. 21. Hodnoty shořených černých polyuretanových proužků o rozměru 15x3x1 cm

[vlastní zpracování] 84