

Návrh a konstrukce sendvičové vrstvy na bázi textilního recyklovaného materiálu

Vojtěch Palisa

Bakalářská práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav fyziky a mater. inženýrství
akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vojtěch Palisa**
Osobní číslo: **T13325**
Studijní program: **B2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Materiálové inženýrství**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Návrh a konstrukce sendvičové vrstvy na bázi textilního recyklovaného materiálu**

Zásady pro vypracování:

1. I. Teoretická část
2. Rešerše na téma:
3. Textilní recyklované materiály.
4. Akustické vlastnosti.
5. Tepelné vlastnosti.
6. Mikroskopické metody.
7. II. Praktická část
8. Mikroskopická analýza recyklovaného materiálu.
9. Návrh sendvičové vrstvy.
10. Experimentální měření akustických vlastností navržené sendvičové vrstvy.
11. Experimentální měření tepelných vlastností navržené sendvičové vrstvy.
12. Vyhodnocení akustických a tepelných vlastností navržené sendvičové vrstvy.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tisková**

Seznam odborné literatury:

1. Mišun, V. **Vibrace a hluk**, FS VUT v Brně (1998), 1. vydání (ISBN 80-214-1262-3).
2. Schroeder M.R., **Springer Handbook of Acoustics**, Stürtz AG Würzburg (2007), ISBN 0-387-30446-5.
3. Frank J. Fahy **Foundations of Engineering Acoustic**. (2003), ISBN 0-12-24-7665-4.
4. Jicha, M. **Přenos tepla a látky**, FSI VUT v Brně (2001), ISBN 80-214-2029-4.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Dušan Fojtů, Ph.D.

Ústav fyziky a mater. inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

15. ledna 2016

Termín odevzdání bakalářské práce:

20. května 2016

Ve Zlíně dne 22. února 2016



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



doc. Mgr. Aleš Mráček, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít 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 vzdělávacího zařízení (školní dílo).

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

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

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

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

ABSTRAKT

V bakalářské práci byla provedena mikroskopická analýza recyklovaného materiálu. Recyklovaný materiál byl směs PET, pryže a polyamidového vlákna. Byla provedena mikroskopická analýza a analýza DSC. Byl proveden návrh sendvičové vrstvy. Tyto sendvičové vrstvy byly experimentálně měřeny z hlediska akusticko-izolačních vlastností se zaměřením na závislost koeficientu akustické pohltivosti na frekvenci. Byl vyhodnocen koeficient redukce hluku u měřených materiálů. Byla měřena závislost teploty na čase, z které pomocí matematického modelu byla vyhodnocena tepelná vodivost navržené sendvičové vrstvy.

Klíčová slova:

Recyklovaný materiál, koeficient akustické pohltivosti, koeficient redukce hluku, PET, pryž, PA, koeficient tepelné vodivosti, PVC, PP

ABSTRACT

In bachelor thesis was performed microscopic analysis recycled material. The recycled material was a mixture of PET, rubber and polyamide fiber. Microscopic analysis a DSC analysis were performed. It was the design of a sandwich layer. These sandwich layers were experimentally measured in terms of acoustic insulation properties with a focus on the dependence of coefficient of sound absorption capacity on frequency. He was evaluated noise reduction coefficient for the measured material. It was measured temperature versus time, from which a mathematical model was evaluated by the thermal conductivity of the proposed sandwich layer.

Keywords:

Recycled material, the acoustic absorption coefficient, noise reduction coefficient, PET, rubber, PA, coefficient of thermal conductivity, PVC, PP

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 ZÁKLADNÍ POJMY A VELIČINY CHARAKTERIZUJÍCÍ ZVUK A JEHO ŠÍŘENÍ	12
1.1 ZVUK A JEHO VLASTNOSTI.....	12
1.1.1 Vlnová rovnice a rychlost šíření akustických vln	14
1.2 HLUK	17
1.2.1 Hluk a jeho znečišťující faktor životního a pracovního prostředí.....	17
1.2.2 Škodlivost hluku a ochrana proti hluku	17
2 AKUSTICKÉ VLASTNOSTI POHLTIVÝCH MATERIÁLŮ A JEJICH APLIKACE V PRAXI	20
2.1 VLASTNOSTI MATERIÁLŮ POHLCUJÍCÍCH ZVUK	20
2.2 ČINITEL ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI.....	23
3 ABSORBCE ZVUKU A ZVUKOVÉ ABSORBÉRY	25
3.1 PŘEDSTAVENÍ.....	25
3.2 FORMY PORÓZNÍHO ZVUKOVĚ ABSORPČNÍHO MATERIÁLU	26
4 TEXTILNÍ RECYKLOVANÉ MATERIÁLY – MATERIÁL BLACKWOOL	28
4.1 POLYAMIDY	28
4.1.1 Nylon 6.....	28
4.1.1.1 Výroba	28
4.1.1.2 Vlastnosti	28
4.1.1.3 Použití	29
4.1.1.4 Fólie	29
4.1.2 Nylon 66.....	29
4.1.2.1 Výroba	29
4.1.2.2 Vlastnosti	30
4.1.2.3 Použití	30
4.2 POLYETHYLENTEREFTALÁT	30
4.2.1.1 Výroba	30
4.2.1.2 Vlastnosti	31
4.2.1.3 Použití	31
4.2.1.4 Fólie	31
4.2.1.5 Láhve	31
4.2.1.6 Vstříkované výrobky.....	31
4.3 BUTADIEN-STYRENOVÝ KAUČUK (SBR)	32
4.3.1.1 Výroba	32
4.3.1.2 Vlastnosti	32
4.3.1.3 Použití	32
4.3.1.4 Fólie	33
4.3.1.5 Láhve	33
4.3.1.6 Vstříkované výrobky.....	33
5 MIKROSKOPICKÉ METODY	34

5.1	SKENOVACÍ ELEKTRONOVÝ MIKROSKOP SEM	34
6	TEPELNÉ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ.....	35
6.1	TEPELNÁ VODIVOST	35
6.2	TEPELNÝ ODPOR.....	36
6.2.1	Tepelný odpor uzavřené vzduchové vrstvy.....	38
6.2.2	Tepelný odpor nehomogenních vrstev	39
6.3	SOUČINITEL PROSTUPU TEPLA	40
II	PRAKTICKÁ ČÁST	42
7	ANALÝZA VLÁKNITOSTI ELEKTRONOVÝM MIKROSKOPEM.....	43
7.1	UKÁZKY FOTEK ZE SKENOVACÍHO ELEKTRONOVÉHO MIKROSKOPU (SEM)	43
7.2	ANALÝZA DSC	46
8	MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ AKUSTICKO-IZOLAČNÍCH VLASTNOSTÍ	47
8.1	PŘÍPRAVA A ROZMĚRY VZORKŮ	47
8.1.1	Příprava vzorků	47
8.2	ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ FREKVENČNÍ ZÁVISLOSTI KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI	50
8.2.1	Normalizace	50
8.2.2	Měřicí zařízení	50
8.3	MĚŘENÍ FREKVENČNÍ ZÁVISLOSTI KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI VYBRANÝCH MATERIÁLŮ	52
8.4	VYHODNOCENÍ FREKVENČNÍ ZÁVISLOSTI KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI VYBRANÝCH MATERIÁLŮ A NAVRŽENÝCH SENDVIČOVÝCH VRSTEV.....	53
9	MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ TEPELNĚ IZOLAČNÍCH VLASTNOSTÍ SENDVIČOVÉ VRSTVY PA TKANINA + BLACK WOOL + PA TKANINA	56
9.1	MATEMATICKÝ MODEL MĚŘENÍ	56
9.2	VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT PROGRAMEM THERMACON	58
9.3	MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ KOEFICIENTU TEPELNÉ VODIVOSTI SENDVIČOVÉ VRSTVY PA TKANINA + BLACK WOOL + PA TKANINA.....	59
9.4	VÝPOČET TEPELNÉHO ODPORU NAVRŽENÉ SENDVIČOVÉ VRSTVY	60
9.5	VYHODNOCENÍ TEPELNĚ-IZOLAČNÍCH VLASTNOSTÍ SENDVIČOVÉ VRSTVY	61
	ZÁVĚR	62
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	63
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	65
	SEZNAM OBRÁZKŮ	67
	SEZNAM TABULEK.....	68
	SEZNAM PŘÍLOH.....	69

ÚVOD

Problematika akustických vlastností materiálů se v posledním desetiletí jeví jako velmi diskutovaná a důležitá, jelikož nepříjemný hluk má dopad jak na psychologickou stránku, tak i fyziologickou stránku každého člověka.

Proto je tato práce malým řešením této problematiky, jelikož se zabývá akustickou pohltivostí, která je nedílnou součástí při návrzích konstrukcí staveb a dosahuje k rovině legislativy České republiky a dále i k legislativě celé Evropské Unie. V současné době, je problémem s plastovým odpadem velice vážný a svět bije na poplach. Je lidskou povinností, abychom využili svých obsáhlých znalostí a technologií a svým zapříčiněním odlehčili už tak přetížené planety. S recyklovaným materiálem se zachází leccjak, ale povětšinou končí v kotlích spaloven, nebo v menšině případů ve směsích asfaltu. Aktivní podíl v komerčních vodách není. Je otázka, jestli by tato část vůbec měla smysl zapojit se do aktivního dění světa.

Z pohledu vizionářského by se o tom mělo důsledně přemýšlet a představit si, co všechno by se mohlo z těchto materiálů dělat a jakým způsobem by se tyto recyklované materiály uplatnily v různých aplikacích a pokud možno byly jimi nahrazeny komerční materiály současné doby. Je jen otázkou času, kdy se dostaví další procesní návrhy na zpracování a kdy tato problematika bude řešena celou řadou nejenom vědecko-výzkumných institucí, ale také významnými průmyslovými partnery ať už tuzemského, tak také zahraničního nebo nad národnostního rozsahu.

Tato práce je malým příspěvkem k řešení celé této obsáhlé problematiky recyklace plastových a pryžových materiálů, kdy testování akustických a tepelných vlastností je jen kapkou v moři možností, jakým způsobem by se daný recyklovaný materiál mohl zkoumat a následně zpracovat pro další komerční využití.

Budoucnost dalšího vývoje syntetických materiálů se právě opírá o možnost recyklace těchto materiálů, i s ohledem na fakt existence biopolymerních materiálů a systémů, kde recyklace bývá mnohem jednodušší a energeticky poměrně nenáročná, neboť tento faktor při výběru materiálu pro nejrůznější průmyslové aplikace je velmi významný vzhledem k přímému dopadu na ekonomickou stránku finálního řešení.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ZÁKLADNÍ POJMY A VELIČINY CHARAKTERIZUJÍCÍ ZVUK A JEHO ŠÍŘENÍ

1.1 Zvuk a jeho vlastnosti

Zvukem rozumíme všechno mechanické vlnění, které se šíří přesně od zdroje ve vlnoplochách jakýmkoli prostředí, fázovou rychlostí závislou na fyzikálních vlastnostech prostředí. Kmitáním částic pružného prostředí, které na sebe působí vzájemně elastickými silami, vzniká zvuk. Zvuk je zvláštní případ tzv. elastických vln. Rozruch je šířen ze zdroje fázovou rychlostí, prostředí, které ho přenáší, se nepohybuje, ale částice kmitají kolem rovnovážných poloh. Dalším velice důležitým faktem je, že přenos energie je úzce spojeno se šířením zvuku.

Důležitým parametrem je *vlnová délka*, která je definovaná vztahem

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

λ	vlnová délka	m
c	fázová rychlost	ms^{-1}
T	perioda	s
f	kmitočet	

Je-li kmitočet zvuku v rozsahu slyšitelnosti lidského ucha, tj. od 16 Hz do 20 kHz, přijímáme zvuk sluchem. Akustické vlnění o kmitočtu vyšším než 20 kHz nazýváme ultrazvuk. Naopak kmitočet o nižší hodnotě než 16 Hz nazýváme infrazvuk.

Jeví-li se zvuk jako rušivý element a je nežádoucí, ba nepříjemný, označujeme ho jako *hluk*. Hlukem může být označován i čistý tón, ale většinou se jedná o směsici zvuků o různých frekvencích.

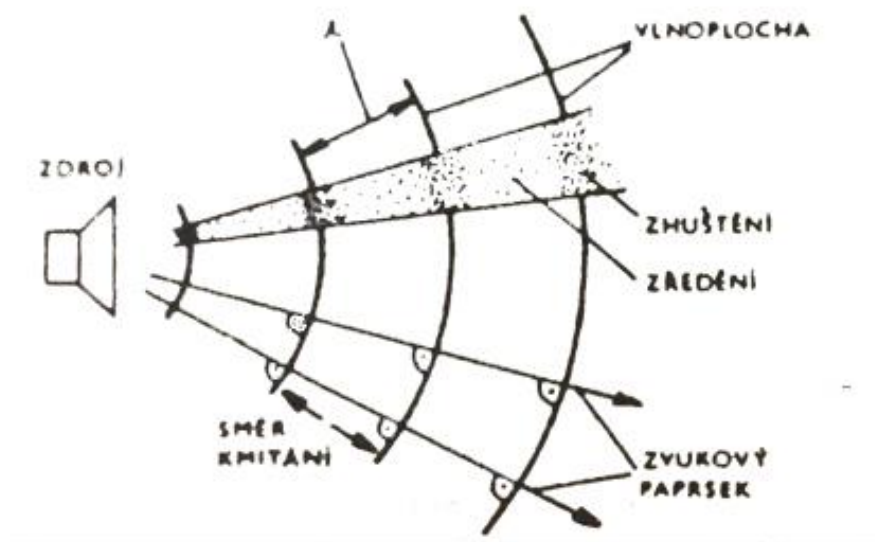
Akustické vlnění se šíří od místa rozruchu na všechny strany. Je-li prostředí izotropní, putuje rozruch všemi směry stejnou rychlostí. Pozice, do nichž dospělo vlnění v tutéž dobu, se nachází na spojitě ploše, tzv. *vlnoploše*.

Vlnoplochou můžeme nazvat geometrické místo bodů, které kmitají v daném okamžiku se stejnou fází. V obecných případech mohou mít vlnoplochy různorodý tvar. Ty nejdůležitěj-

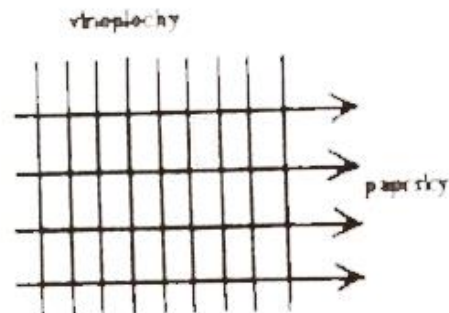
ší jsou:

Vlnoplochy kulové – vznikají při šíření vlnění z bodového zdroje, je-li zdroj rozruchu menší než vlnová délka vzniklého vlnění

Vlnoplochy rovinné – při šíření z plošných zdrojů vznikají právě tyto vlny, je-li zdroj rozruchu o mnoho větší než vlnová délka vzniklého vlnění. Velice přibližně se kulové vlnoplochy v obrovské vzdálenosti od zdroje označují za rovinné. Tyto vlny se dají číselně daleko lépe zpracovat, a proto většinu úkonů provádíme právě pro tento typ vlnoploch.

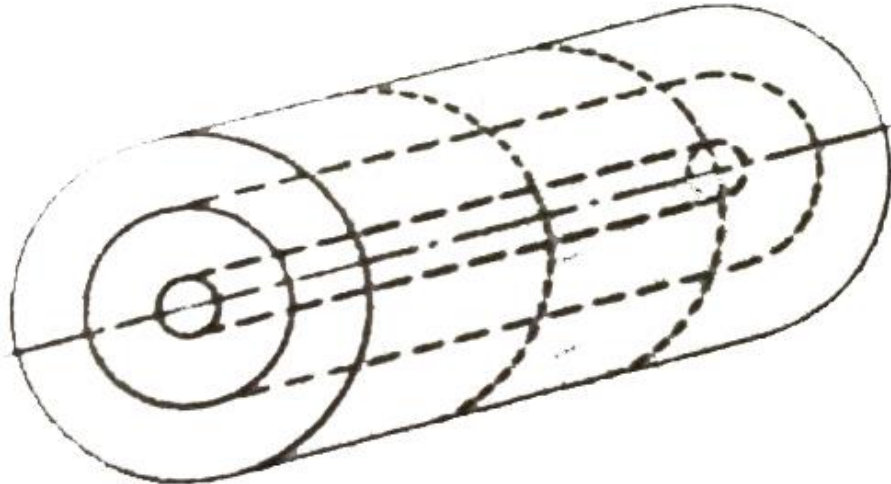


Obr. 1. Kulová vlnoplocha

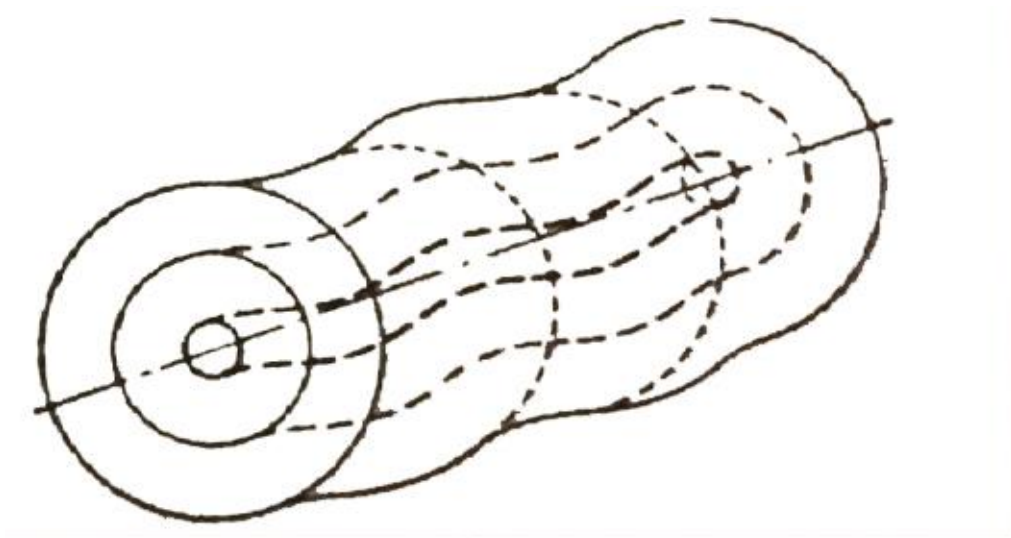


Obr. 2. Rovinná vlnoplocha

Vlnoplochy složitější povahy např. *válcové* vznikají při šíření vlnění z liniového zdroje zvuku. Jsou de facto přechodným typem mezi kulovou a rovinou plochou. Při nerovnoměrném vyzařování v radiálním směru vzniká dvojrozměrná válcová vlnoplocha.



Obr. 3. Jednorozměrná válcová vlnoplocha



Obr. 4. Dvojrozměrná válcová vlnoplocha

1.1.1 Vlnová rovnice a rychlost šíření akustických vln

Průběh kmitání částic prostředí, kterým se šíří akustické vlnění závisí na jejich poloze v prostoru. Prostorové vlnění popisuje tzv. *vlnová rovnice*:

$$\frac{\partial^2 \vec{u}}{\partial^2 x^2} + \frac{\partial^2 \vec{u}}{\partial^2 y^2} + \frac{\partial^2 \vec{u}}{\partial^2 z^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{u}}{\partial^2 t^2} \quad (2)$$

Jejím řešením je rovnice pro okamžitou výchylku částic z rovnovážné polohy:

$$\vec{u} = \vec{f}(x, y, z, t) \quad (3)$$

Jelikož se v prostoru může šířit mnoho vln odlišných tvarů, je nutné řešit vlnovou rovnici v každém případě zvlášť s přihlédnutím k vlastnostem zdroje různým podmínkám. Úplně analytické řešení je možné pouze v jednoduchých případech.

Řešením (2.2) pro rovinné vlny, které postupují např. ve směru osy x vychází ve tvaru:

$$u = f_1\left(t - \frac{x}{c}\right) + f_2\left(t + \frac{x}{c}\right) \quad (4)$$

U kulových vln v izotropním prostředí:

$$u = \frac{1}{r} \left[f_1\left(t - \frac{x}{c}\right) + f_2\left(t + \frac{x}{c}\right) \right] \quad (5)$$

Kde $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ je vzdálenost od společného středu kulových ploch. Člen $\frac{1}{r}$ v rovnici (2.5) ukazuje, že amplituda u kulových vln klesá úměrně se vzdáleností od počátku rozruchu, zatímco u vln rovinných zůstává konstantní.

Podrobná řešení vlnové rovnice mají význam pro základní teoretické výpočty. Tady budeme používat už odvozené a pro technickou praxi upravené výpočetní vztahy.

Využitím rovnice (2.2) získáme různé vztahy pro *fázovou rychlost šíření vlny* podle toho, o jaký druh vlnění se přesně jedná, zda se šíří v kapalném prostředí nebo v plynném či v pevném. A také podle toho, jestli je prostor, kterým se vlna šíří, omezen anebo ne.

V kapalinách a plynech se může šířit pouze *vlnění podélné*, popisované zhuštěním a zředěním, kdy hodnota celkového tlaku p_s kolísá okolo hodnoty barometrického tlaku b .

$p_s = b + p$, kde tlak p je tzv. *okamžitý akustický tlak*, představují rozdíl mezi okamžitým tlakem a statickým tlakem v určitém bodě prostředí. Tyto hodnoty jsou řádově srovnatelné s hodnotami okamžitých výchylek kmitání jednotlivých bodů prostředí.

Pro *fázovou rychlost šíření podélných vln v kapalinách* vychází:

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (6)$$

K modul objemové pružnosti Pa

P objemová hmotnost prostředí kg.m^{-3}

U plynů je situace obtížnější, protože hodnota modulu K závisí na stavu změny, která v plynu probíhá. Pro všechna vlnění o kmitočtech nad 20 Hz jsou změny okamžitého akustického tlaku velice rychlé a stavovou změnu považujeme vlastně za adiabatickou. Využitím Poissonova zákona pro adiabatický děj, popřípadě další nezbytné úpravy rovnice pro ideální plyn, získáme vztah pro výpočet *fázové rychlosti šíření podélných vln v plynech* ve tvaru:

$$c = \sqrt{\frac{\kappa p_s}{\rho}} = \sqrt{\frac{\kappa RT}{M}} \quad (7)$$

P_s celkový statický tlak Pa

κ Poissonova konstanta -

ρ objemová hmotnost plynného prostředí kg.m^{-3}

M kilomolová hmotnost plynu kg.kmol^{-1}

R univerzální plynová konstanta $\text{J kmol}^{-1} \text{K}^{-1}$

T absolutní teplota K

[1]

1.2 Hluk

1.2.1 Hluk a jeho znečišťující faktor životního a pracovního prostředí

Hlukem označujeme veškerý nežádoucí zvuk, který je typickým negativním produktem civilizačního procesu. Rostoucí požadavky na vyšší počet výkonnějších strojů, dopravních prostředků a současné požadavky na vylehčování stavebních a strojních konstrukcí a úsporu materiálu mají za následek rostoucí znečišťování životního a pracovního prostředí hlukem. V programech ochrany prostředí, jež realizují nejvyspělejší státy světa, se řadí hluk z pravidla hned za znečištění ovzduší.

Dnes, s rozvojem dopravy a technickou vyspělostí všech odvětví, zasahuje hluk do všech oblastí našeho života. Hlavní důvody zvyšování hlučnosti se můžeme pokusit shrnout do těchto bodů:

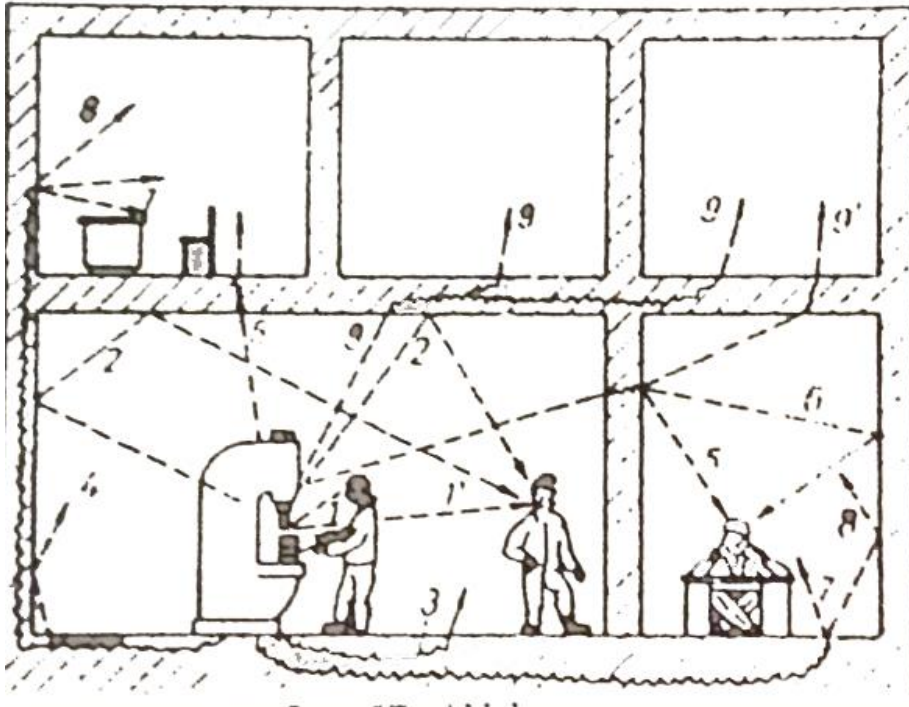
- Vývoj techniky směřuje ke stálému navyšování výkonu strojů a technologických zařízení. Přestože mechanický výkon je přímo úměrný výkonu akustickému. Z toho plyne i nárůst hlučnosti.
- Technický pokrok nám přináší změny principu funkce strojů. Např.: Parní lokomotivy jsou nahrazeny za daleko hlučnější lokomotivy s diesellovým agregátem.
- Tendence vylehčování konstrukce strojů, zařízení a staveb vedou často ke ztrátě zvukoizolačních vlastností.
- Nové druhy strojních zařízení uvnitř budov způsobují zvýšené znečištění zvukem.

1.2.2 Škodlivost hluku a ochrana proti hluku

Zvuk je přirozeným projevem přírodních jevů a také aktivity člověka. Sluch je jeden z nejvýraznějších smyslů člověka a je jedním z nejbohatších zdrojů informací. Jednou z největších a nejzávažnějších vlastností zvuku je ta, že se šíří poměrně do velkých vzdáleností, a to vzduchem, kapalinou i pevnou látkou.

Distribuce zvukových vln od zdroje zvuku do sledovaného místa se děje těmito způsoby:

- a) Vzduchem – zvukové vlny utvářejí nepříznivé hlukové poměry nejen v okolí zdroje, ale i ve vzdálenějších místech.
- b) Pevnou konstrukcí v podobě chvění a následným vyzářením do prostoru. Část vyzářených vibrací s frekvencemi v oboru slyšitelných kmitočtů se v chráněném prostoru může ukázat jako rušivý zvuk. (Obr. 5.)



Obr. 5. Cesty šíření hluku

Nebezpečí hluku, jako každého nežádoucího zvuku, je hlavně z toho důvodu, že lidský organismus nemá prakticky žádné ochranné funkce, aby se bránil.

Hluk je mimořádně škodlivý po stránce:

- Biologické: Působí na nervovou soustavu, vyvolává neurovegetativní poruchy, zvýšení krevního tlaku. Zvláštní odvětví činí poškození zvukového ústrojí při dlouhodobém pobytu ve hlučném prostředí.
- Ekonomické: nadměrný hluk snižuje produktivitu a velice zvyšuje procento nemocných.

Zaručení akustické pohody velmi působí se životním standardem, zejména v domácnosti a při rekreaci. Boj proti hluku není zdaleka boj proti zvuku vůbec, ale bojem proti nepříjemným a rušivým elementům zvuku, kteří znepříjemňují a znehodnocují bytí a práci člověka.

Z pohledu ochrany životního prostředí před nadměrným hlukem a také z pohledu pracovního si musíme všimnout konstrukce a výroby strojů a zařízení, pracovního prostředí, venkovního prostoru, vnitřku budov a také staveb. Způsoby využívané na snížení hlučnosti v pracovním a životním prostředí můžeme rozdělit do několika metod:

- a) *Metoda redukce* spočívá v úplném odstranění zdroje hluku anebo ve snížení jeho hlučnosti. Tato metoda je jedna z nejvýznamnějších z hlediska hluko-

vého opatření, ale i z hlediska ekonomického. Měla by být uplatňována vždy na prvním místě.

- b) *Metoda dispozice* spočívá ve vhodném nastavení zdroje hluku vzhledem k chráněným prostorům. Na tyto věci je potřeba dbát při územním plánování.
- c) *Metoda zvukové izolace* - zdroj hluku oddělíme od chráněného prostoru ohraničujícími prvky z dobrého hlukotěsného materiálu. Tato metoda je důležitá ze stavebně technického hlediska.
- d) *Metoda zvukové pohltivosti* se zakládá na vlastnosti některých látek akustický ruch pohlcovat a následně ji měnit např. v energii tepelnou. Používá se při snižování hlučnosti uvnitř prostorů.
- e) *Používání osobních ochranných pomůcek* – tato metoda se využívá vždy jako poslední možnost ochrany a to jen v případě jestli předcházející metody nebylo možné použít.

Uvedené metody redukce hluku je nutno využívat komplexně v kombinaci, kdy pro daný problém vedou k tomu nejlepšímu použití. Ekonomickou zásadou při řešení protihlukového systému je, aby se při každém novém projektu počítalo s touto závažnou otázkou hlukové obrany. Tam kde tato otázka byla opomenuta, se náklady na pozdější realizaci značně navyšuje. Snižování hluku je nutno mít na zřeteli stále a často. [1]

2 AKUSTICKÉ VLASTNOSTI POHLTIVÝCH MATERIÁLŮ A JEJICH APLIKACE V PRAXI

Pohlcování zvukové energie a její následná přeměna v jinou, nejvíce v tepelnou energii, je významným prostředkem k řešení akustických problémů v jakémkoli uzavřeném prostoru. V oblasti prostorové akustiky se využívá pohltivosti k úpravě doby dozvuku v místnostech a prostorech, které jsou určeny pro kulturní akce; v koncertních sálech, divadlech, kinosálech atd., aby co nejdokonaleji sloužily svému účelu. Pro tuto oblast použití se nejvíce hodí akustické materiály konstrukce úzko - pásmové s frekvenční charakteristikou zvukové pohltivosti ve tvaru rezonanční křivky. Technická akustika využívá zvuko - pohltivých materiálů ke snížení hladiny akustického tlaku v prostorech, kde je umístěn zdroj hluku nebo do kterých hluk přichází odjinud. Jedná se o průmyslové haly, sportovní haly, kryté plovárny a telefonní ústředny. Pro tyto účely jsou dosti vhodné materiály a konstrukce se širokopásmovým účinkem. Akustické materiály mohou být účinné ve velmi široké oblasti slyšitelného spektra. Značně to závisí na jejich struktuře, tloušťce, povrchu, úpravě, na typu konstrukce a na montáži.

Z hlediska uspořádání a typické frekvenční závislosti činitele zvukové pohltivosti je možno rozdělit materiály a konstrukce pro absorpci zvuku na:

- Materiály: pórovité a vláknité
- Konstrukce: pohltivé obklady
konstrukce typu Helmholtzových rezonátorů
akustická tělesa

2.1 Vlastnosti materiálů pohlcujících zvuk

Materiály, které pohlcují zvuk, mají často porézní strukturu. Jsou to látky pórovité nebo vláknité, v jejichž objemu se nacházejí póry vyplněné vzduchem a jejichž povrchová úprava umožňuje průchod zvukové vlny ze vzduchu dovnitř pohltivého materiálu. Použití pohltivého materiálu nebo pohltivé konstrukce se podaří snížit zvukovou energii odražející se od stropu, podlahy a stěn v místnosti a také hladinu akustického tlaku v prostoru. Obvyklými pórovitými materiály jsou např. polyuretanové pěny (molitan), které se hodí k užití v prostorech, kde není nebezpečí požáru. Vláknité materiály jsou produkovány z mikrovláken ze skla, minerálních plstí apod. Používají se tam, kde musí odolávat

vysokým teplotám. V porézních látkách dochází k nevratné proměně zvukové energie v tepelnou energii třemi hlavními způsoby:

- Třením
- Relaxací akustického tlaku
- Nepružnou deformací.

K proměně akustické energie vlivem tření dochází při pohybu částic vzduchu póry pohltivého materiálu. Počet pohlcené energie záleží na rozměrech a seřazení pórů a na tloušťce materiálu, protože styčné plochy mezi částicemi vzduchu a materiálem jsou u vláknitých pórovitých materiálů relativně velké a tak dochází ke značné proměně kinetické energie zvukových vln v tepelnou energii.

K relaxaci akustického tlaku v určitém místě materiálu může dojít. Šíří-li se zvuková vlna látkou, dostaví se v místech zhuštění částic vzduchu v pórech zvýšení akustického tlaku a tím také dojde v těchto místech ke zvýšení teploty. Protože soustava póru není od kostry materiálu tepelně izolována, tak teplo přejde ze vzduchu do kostry. Změna tepla má za následek snížení teploty vzduchu a také pokles tlaku, kterému odpovídá snížení potenciální energie zvukové vlny. Další způsob relaxace tlaku dojde při šíření zvuku stavbou materiálu. V místech zmenšení průřezu stavby materiálu nastane zvýšení teploty, a jestli je látka dobrým vodičem tepla, tak dojde k vyrovnání teplot s okolím a tím znova k relaxaci tlaku.

Ke změnám zvukové energie vlivem nepružné deformace dochází u látek, jež vykazují tzv. nepružnou hysterezi. Stlačíme-li takovou látku jistou silou, tak se tato látka nevrátí do prvotního stavu, přestane-li síla působit. Práce vynaložená na deformaci je větší než práce dosáhnutá pružností tělesa při návratu do prvotního tvaru a jejich rozdíl představuje úbytek zvukové energie vlivem nedokonalé pružnosti.

Základními fyzikálními vlastnostmi pórovitých materiálů, ovlivňující jejich pohltivé vlastnosti, jsou:

- Poréznost
- Měrná akustická impedance
- Odpor proti proudění vzduchu
- Činitel struktury
- Činitel udávající typ termodynamických pochodů v pórech materiálu

Poréznost Y je definována jako poměr objemu póru V_p k celkovému objemu materiálu V_c , tj.:

$$Y = \frac{V_p}{V_c} \quad (8)$$

Za pórovité se považují látky, které mají poréznost minimálně 60%.

Měrná akustická impedance (charakteristická impedance) je definována jako poměr akustického tlaku a akustické rychlosti částic na vstupní ploše materiálu, na které dopadá rovinná zvuková vlna kolmo:

$$Z_s = \frac{p}{v} \quad (9)$$

Z_s	měrná akustická impedance materiálu	Pa s m^{-1}
p	akustický tlak	Pa
v	akustická rychlost	m s^{-1}

Na povrchu materiálu není akustický tlak a akustická rychlost ve fázi. Měrná akustická impedance je potom komplexní číslo vyjádřené vztahem:

$$Z_s = r + ix \quad (10)$$

r reálná složka měrné akustické impedance nazývaná též měrný akustický odpor nebo činný odpor Pa s m^{-1}

x imaginární měrné akustické impedance, někdy zvaná měrná akustická reaktance
 Pa s m^{-1}

Odpor proti proudění vzduchu je definována podle (5), (23) jako poměr rozdílu tlaku vzduchu před a za vrstvou porézního materiálu a objemové rychlosti proudění vzduchu do vrstvy:

$$R = \frac{\Delta p}{q} \quad (11)$$

R	odpor proti proudění vzduchu	Pa s m^{-3}
Δp	Rozdíl akustického tlaku před a za vrstvou akustického materiálu	Pa
$q = uS$	objemová rychlost vzduchu proudícího do vrstvy	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
u	rychlost proudění vzduchu do vrstvy	m s^{-1}
S	velikost plochy kolmé na směr proudění	m^2

Odpor materiálu proti proudění vzduchu závisí na průměru vláken, na jejich orientaci a na pórovitosti materiálu.

Činitel struktury je vždy větší než 1, který udává vliv pórů v kostře materiálu na akustické vlastnosti a závisí na vzájemném uspořádání kostry látky a pórů.

Činitel udávající typ termodynamických pochodů v pórech materiálu n udává, zda stlačování a zředování vzduchu při šíření zvuku póry materiálu probíhá adiabaticky, izotermicky nebo polytropicky. Při velmi nízkých frekvencích, kdy je dostatek času pro výměnu tepla mezi kostrou materiálu a celkovým objemem vzduchu v dutinách ve kterém probíhá děj izotermicky, tj. $n = 1$. Při vysokých kmitočtech se akustický tlak velmi rychle mění a doba jedné periody je pro výměnu tepla moc krátká. Zředování a stlačování vzduchu v pórech probíhá adiabaticky, tj. $n = 1.4$. V úzkém pásmu středně vysokých frekvencí je děj stlačování a zředování vzduchu polytropicky a hodnota n se pohybuje mezi 1 a 1.4.

2.2 Činitel zvukové pohltivosti

Způsobilost materiálu nebo nějakého tělesa pohlcovat zvuk a účinnost tohoto pohlcování sděluje činitel zvukové pohltivosti α , způsobilost tělesa odrazet zvuk sděluje činitel zvukové odrazivosti β . Jejich velikost se pohybuje od 0 do 1.

Odráží-li stěna dokonale dopadající zvukovou vlnu, je $\alpha = 0$, $\beta = 1$, je-li všechna dopadající energie pohlcena, je $\alpha = 1$, $\beta = 0$. Za dobře pohltivé považujeme materiály, pro které α je vyšší než 0,60. Jsou to materiály, jejichž vnitřní struktura je přizpůsobena jak ke změně akustické energie v teplo, tak přenosu energie ze vzduchu do pohltivého materiálu, tj. materiál, jehož činný odpor (reální složka měrné akustické impedance) se přibližuje vlnovému

odporu vzduchu $\rho_0 c$. Činitel zvukové pohltivosti je závislý na frekvenci včetně směru dopadu zvukové vlny. Při kolmém dopadu zvukové vlny jej označujeme α_N a měříme v interferometru analýzy stojatých vln. Pro všerozměrný dopad se označuje α_S (Sabinův) a měření se provádí v dozvukové komoře. Výhodněji se měří a uvádí činitel pohltivosti pro střední frekvence třetinooktávových pásem v oblasti 125 Hz až 6300 Hz.

Známe-li měrnou akustickou impedanci materiálu, je tedy možné určit α_N pro kolmý dopad zvuku zhruba výpočtem:

$$\alpha_N = \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{1}{4} \left(\frac{r}{\rho_0 c} + \frac{\rho_0 c}{r} \right)} \quad (12)$$

r reálná složka měrné akustické impedance materiálu

$\rho_0 + c = 400 \text{ Pa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$ vlnový odpor vzduchu za obvyklých podmínek.

Je očividné, že $\alpha_N = 1$ pro $r = \rho_0 c$.

Pro všesměrový dopad můžeme reprezentovat dopad zvukové vlny úhlem $= 45^\circ$ a počítat α_S podle upraveného vztahu:

$$\alpha_S = \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{1}{4} \left(\frac{r}{\rho_0 + c\sqrt{2}} + \frac{\rho_0 + c\sqrt{2}}{r} \right)} \quad (13)$$

Při použití pohltivých materiálu v praxi dáváme vždy přednost změřeným výsledkům.

[2]

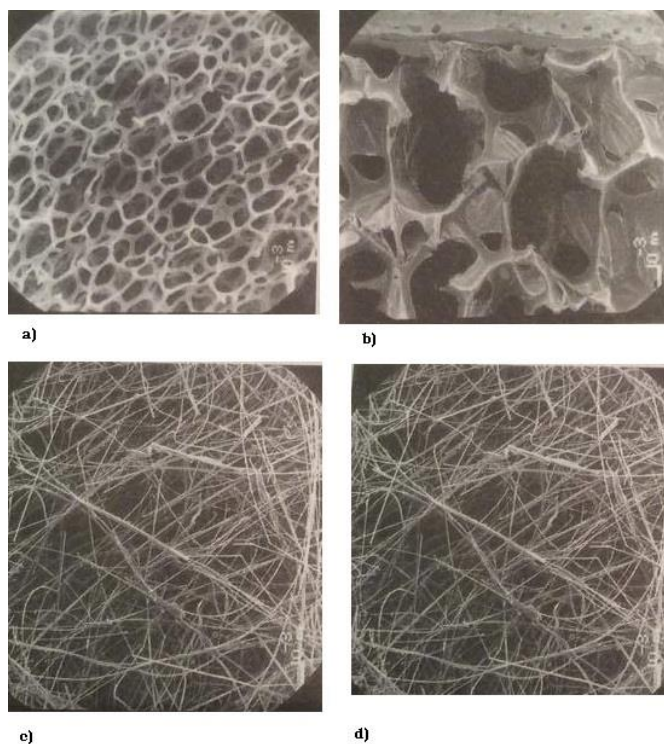
3 ABSORBCE ZVUKU A ZVUKOVÉ ABSORBÉRY

3.1 Představení

Různé procesy, pomocí nichž organizovaný pohyb, zvuk, je převeden do neuspořádaného pohybu tepla, mají zásadní význam pro inženýrské návrhy akustických materiálů. Jsou využívány v mnoha protihlukových systémech včetně výbavy vozidla, potrubních tlumičů pro průmyslové závody a podniky, lehkých dvojitých stěn v budovách a protihlukových krytů pro průmyslové stroje a zařízení. Ty se používají ke snížení hladiny nežádoucího hluku v kancelářích a ke kontrole dozvuku, který zvětšuje riziko poškození sluchu v průmyslových pracovních prostorách a je častým úkazem a nepříjemným rysem bytových schodišť, jídelen, bazénů a mnoha dalších. Zvukové absorbéry mohou být použity ke zlepšení uměleckého vystoupení, jakožto stabilizátor a usměrňovač zvuku, což má vliv na charakter sluchového vjemu, srozumitelnost řeči a kvalitu hudebních projekcí. Zvuková pohltivost porézního povrchu plochy poskytuje značný a vítaný útlum silničního a železničního provozu.

3.2 Formy porózního zvukově absorpčního materiálu

Následující obrázky ukazují příklady struktury řady typických komerčních porézních, buňčnatých a vláknitých zvukově absorpčních materiálů. Porézní plastové pěny mohou být buď plně mřížkované tenké membrány, oddělující buňky, které byly odstraněny, nebo jen částečně, takže tenké membránové klapky pokrývají jeden nebo více aspektů buněk.



Obr. 6. a) Celosítovaná pěna, zvětšení 14x b) Parciálně síťovaná na, zvětšení 14x, c) Skelné vlákno, zvětšení 14x, d) Minerální vlna, zvětšení 14x

V porézních sádrokartonových a sádrovláknitých deskách jsou větší dutiny spojeny úzkými kanály. Za prvé, rozměr v příčném řezu propojovacích průchodů se mění nepravidelně, takže libovolný výběr typické hodnoty je problematický. Za druhé, v materiálech takové minerální vlny a porézního plastu se model kanálů zdá být neudržitelný. Obsažený plyn je umístěn uprostřed shluku vláken a pojivových nití, a diskrétní kanály neexistují. Za třetí, mezní vrstvy na vláknech a filamentech z tohoto materiálu formy 'krouží' kolem tenkých pevných částic, spíše než 'uvnitř' kanálů, a tyto geometrické rozdíly se zdají být významné.

Přestože značný počet idealizovaných geometrických modelů byl navržen pro modelování různých aspektů chování zvuku v porézních materiálech, komplexní teoretické řešení tohoto problému je třeba ještě rozvíjet. Topologická složitost většiny reálných materiálů nás

nutí k jejich charakterizaci, pokud jde o hrubé vlastnosti, které mohou být určeny na základě měření provedených na vzorcích, které obsahují velmi velký počet pórů / vláken / buněk. Nicméně, tento model trubice se nabízí jako základ pro výběr non-dimenzionálního parametru, na který se přenesou empirická data na jediné otočce, spolu s různým stupněm fyzického vzhledu do formy výsledků, jak je popsáno v následující části.

Tlakové a rychlostní kolísání plynu, obsaženého uvnitř kostry pevných částic, ukládají normální a smyková napětí na molekulách a přispívá k jejich vibracím. To má zásadní vliv na akustické a vibrační chování velmi lehkých, pružných materiálů, zejména při nižších frekvencích, kde setrvačná impedance pevného materiálu je malá. Kompletní model šíření vln ve vzorku vyžaduje znalost materiálových vlastností pevné látky, společně s reprezentací dynamického spojení mezi kapalnou a pevnou fází. Takové "poroelastické" modely přece existují. [8]

4 TEXTILNÍ RECYKLOVANÉ MATERIÁLY – MATERIÁL BLACKWOOL

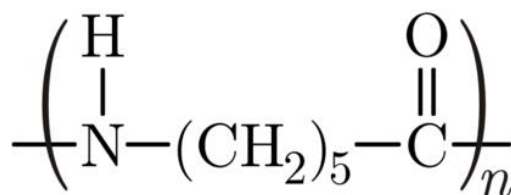
4.1 Polyamidy

Jsou lineární polymery obsahující amidovou skupinu (CONH) v hlavním řetězci.

Vyrábí těmito možnými postupy:

- 1) Polykondenzací dikarboxylových kyselin a diaminů (PA 66, PA 610).
- 2) Polykondenzací ϵ - aminokarboxylových kyselin (PA 11).
- 3) Polymerací cyklických laktamů (PA 6 a PA 12).

4.1.1 Nylon 6



Nylon 6

Obr. 7. Strukturální vzorec Nylon 6

4.1.1.1 Výroba

- Monomer: kyselina 6 - aminokapronová, resp. ϵ -kaprolaktam
- výroba z benzenu přes cyklohexan a dále cyklohexanon (83 %);
- další možností z fenolu (16 %), z toluenu a recyklátu PA.

4.1.1.2 Vlastnosti

- Teplota tání $T_m = 215\text{—}220\text{ }^\circ\text{C}$.
- Hustota: $1,13\text{ g/cm}^3$.
- Modul pružnosti $E = 2800\text{ MPA}$.
- Mez pevnosti 70 MPa .
- Rozsah teplot použití, dlouhodobě: $-30\text{ až }100\text{ }^\circ\text{C}$.
- Tvrdý, houževnatý, odolný proti oděru.

- Je navlhavý (absorbuje až 3 % vody) – před zpracováním se musí sušit na obsah vody menší než 0,15.
- Sušení ve vakuu při 70 až 120 °C, podtlak 1013 hPa, čas sušení 4až 48 hodin.
- Dá se sušit i proudícím horkým vzduchem při stejné teplotě, avšak teplota vyšší než 95 °C může způsobit změnu barvy.

4.1.1.3 Použití

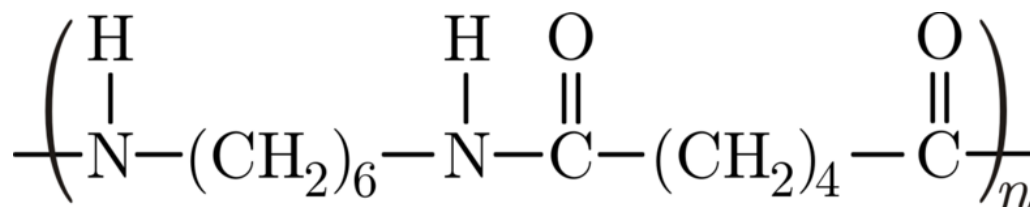
- Textilní vlákna, technická vlákna
- Konstrukční materiál
- Náhrada kovů v dopravních prostředcích
- Elektronika
- Průmyslové aplikace jako ložiska, ozubená kola
- Vytlačované profily
- Dále např. stavebnictví
- Často se plní, zejména 30 % skleněných vláken.

4.1.1.4 Fólie

- - dobré bariérové vlastnosti vůči kyslíku – obaly na potraviny
- - biaxiálně orientované, vícevrstvé a prosté fólie.

[4,5]

4.1.2 Nylon 66



Nylon 66

Obr. 8. Strukturální vzorec Nylon 66

4.1.2.1 Výroba

- Monomer: kyselina adipová, hexametylendiamin

- polykondenzace probíhá ve dvou stupních: 1. krystalická nylonová sůl 2. vlastní polykondenzace

4.1.2.2 Vlastnosti

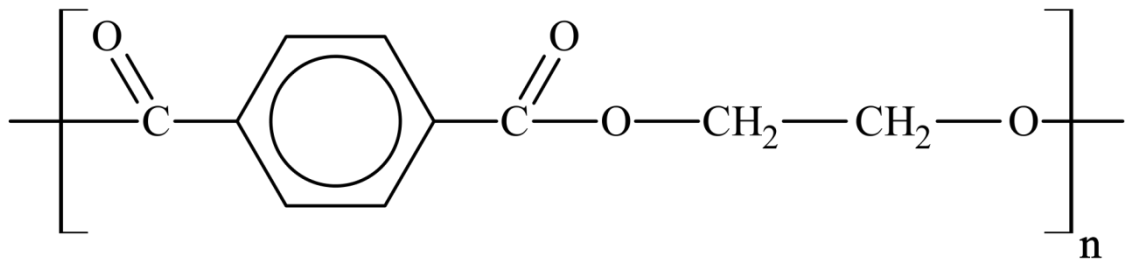
- Teplota tání $T_m = 260 \text{ }^\circ\text{C}$
- Hustota: $1,14 \text{ g/cm}^3$
- Modul pružnosti $E = 3\,000 \text{ MPA}$
- Mez pevnosti 70 MPa
- Rozsah teplot použití, dlouhodobě: $-30 \text{ až } 120 \text{ }^\circ\text{C}$
- Tvrdý, středně houževnatý
- Méně navlhavý než PA 6 ($2,8 \text{ \% vody} - 3 \text{ \% PA 6}$) – rovněž se před zpracováním suší.

4.1.2.3 Použití

- Obecné použití, hlavně na vlákna a fólie
- Dobře se zpracovává všemi běžnými způsoby: vstřikování, vytlačování, vyfukování
- Různou modifikací se upravují typy pro daná použití, zejména použitím přísad jako plniva, nukleační činidla, maziva, retardéry hoření atd.

[4,5]

4.2 Polyethylentereftalát



Obr. 9. Strukturální vzorec PET

4.2.1.1 Výroba

- Monomer: kyselina tereftalová (její dimetylester) a etylenglykol
- Typ polymerace: polykondenzace (dvoustupňová) za vzniku vody (metanolu)

4.2.1.2 *Vlastnosti*

- $T_m = 264\text{ °C}$
- $T_g = 80\text{ °C}$ (semikrystalický), 67 °C (amorfní)
- Hustota amorfní $1,32\text{—}1,35\text{ g/cm}^3$
- Hustota: semikrystalický $1,5\text{ g/cm}^3$
- Modul pružnosti $E = 2300\text{ MPA}$
- Mez pevnosti 60 MPa
- Rozsah teplot použití: $-60\text{ až }130\text{ °C}$
- Vhodný na dloužení
- PET krystalizuje velmi pomalu a při prudkém zchlazení vzniká amorfní plast, který je průhledný. Pro urychlení krystalizace se používají nukleační činidla.

4.2.1.3 *Použití*

- zvlákňování z taveniny, dlouží se nad T_g , mají průměr zpravidla $10\text{ až }50\text{ }\mu\text{m}$
- používají se na oblečení, bytový textil, kordy, lana, hadice, síť.

4.2.1.4 *Fólie*

- vytlačování a biaxiální orientace;
- použití jako obalové fólie (potiskovatelné), také v elektronice a jako plátna pro tisk.

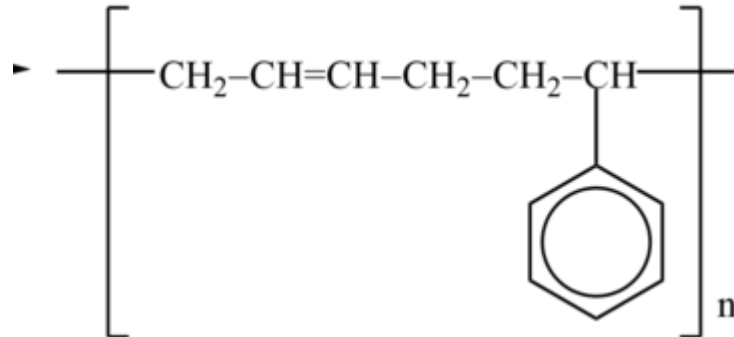
4.2.1.5 *Láhve*

- vstřikovací vyfukování
- levné, lehké, dobré bariérové vlastnosti, zejména pro potravinové účely, ale i pro kosmetiku či čisticí prostředky pro domácnosti.

4.2.1.6 *Vstřikované výrobky*

- často plněné skleněným vláknem
- konstrukční účely.
- Orientované pásy: monoorientovaná fólie rozdělená na pásy, vázací pásy.

4.3 Butadien-styrenový kaučuk (SBR)



Obr. 10. Strukturální vzorec SBR

4.3.1.1 Výroba

- aniontová nebo radikálová polymerace

4.3.1.2 Vlastnosti

- $T_m = 264 \text{ }^\circ\text{C}$
- $T_g = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ (semikrystalický), $67 \text{ }^\circ\text{C}$ (amorfní)
- Hustota amorfní 1,32—1,35 g/cm³
- Hustota semikrystalický 1,5 g/cm³
- Modul pružnosti $E = 2300 \text{ MPA}$
- Mez pevnosti 60 MPa
- Rozsah teplot použití: -60 až 130 °C
- Vhodný na dloužení
- PET krystalizuje velmi pomalu a při prudkém zchlazení vzniká amorfní plast, který je průhledný. Pro urychlení krystalizace se používají nukleační činidla.

4.3.1.3 Použití

- zvlákňování z taveniny, dlouží se nad T_g , mají průměr zpravidla 10 až 50 μm
- používají se na oblečení, bytový textil, kordy, lana, hadice, sítě.

4.3.1.4 Fólie

- vytlačování a biaxiální orientace;
- použití jako obalové fólie (potiskovatelné), také v elektronice a jako plátna pro tisk.

4.3.1.5 Láhve

- vstřikovací vyfukování
- levné, lehké, dobré bariérové vlastnosti, zejména pro potravinové účely, ale i pro kosmetiku či čisticí prostředky pro domácnosti.

4.3.1.6 Vstřikované výrobky

- často plněné skleněným vláknem
- konstrukční účely.
- Orientované pásy: mono orientovaná fólie rozdělená na pásy, vázací pásy.

[4,5]

5 MIKROSKOPICKÉ METODY

5.1 Skenovací elektronový mikroskop SEM

Skenovací elektronový mikroskop (dále SEM) je přístroj určený k pozorování povrchů nejrůznějších objektů. Je ho možné do jisté míry považovat za analogii světelného mikroskopu v dopadajícím světle, na rozdíl od něho je výsledný obraz tvořen pomocí sekundárního signálu - odražených nebo sekundárních elektronů. Díky tomu je zobrazení v SEM považováno za nepřímou metodu. Velkou předností SEM v porovnání se světelným mikroskopem je jeho velká hloubka ostrosti, v důsledku které lze z dvojrozměrných fotografií ze SEM nalézt jistý trojrozměrný aspekt. Další předností těchto mikroskopů je, že v komoře preparátů vzniká při interakci urychlených elektronů s hmotou vzorku kromě výše zmíněných signálů ještě řada dalších, např. rtg záření, Augerovy elektrony, katodoluminiscence, které nesou mnoho dalších informací o vzorku. Při jejich detekci je možné určit např. prvkové složení preparátu v dané oblasti a při porovnání s vhodným standardem určit i kvantitativní zastoupení jednotlivých prvků. V literatuře se kromě názvu skenovací používá i označení rastrovací nebo český název řádkovací elektronový mikroskop, který naznačuje, že při práci mikroskopu se primární svazek pohybuje po určité ploše preparátu. [3]



Obr. 11. Skenovací elektronový mikroskop

6 TEPELNÉ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ

6.1 Tepelná vodivost

Izolační schopnost materiálů je nejjednodušeji charakterizována konstantou - tepelnou vodivostí λ . Součinitel tepelné vodivosti λ je fyzikálním parametrem látky, který závisí na chemickém složení, tepelného toku q dělená gradientem teploty. Tato skutečnost platí pro homogenní izotropní látky.

Intenzita ustáleného tepelného toku je množství tepla prošlého za jednotkový čas τ jednotkovou plochou F kolmou ke směru toku:

$$q = \frac{Q}{F \cdot \tau} \quad (14)$$

Gradient teploty je pokles teploty na malé délce dl ve směru tepelného toku, vztažený na jednotku tloušťky. Pro určitou tloušťku δ je tedy součinitel tepelné vodivosti dán vztahem:

$$\lambda = \frac{Q}{F \cdot \tau} \cdot \frac{d\delta}{dt} \quad (15)$$

Součinitel tepelné vodivosti hmoty, jakožto její schopnost vést teplo, udává množství tepla ve W , které projde při ustáleném stavu zkoušenou deskou jednotkové plochy a tloušťky za 1 s při teplotním gradientu $1 \text{ K}\cdot\text{m}^{-1}$.

Již z tohoto vztahu plyne, že ztráty tepla vedením jsou tím větší, čím menší je tloušťka a čím větší je tepelná vodivost daného materiálu při stejném teplotním gradientu. Z ekonomického i technického hlediska je výhodné používat materiálů, které mají velkou tloušťku. Tloušťka materiálu je většinou dána již celkovou konstrukcí, a proto směrodatnou hodnotou pro minimum tepelných ztrát je tepelná vodivost.

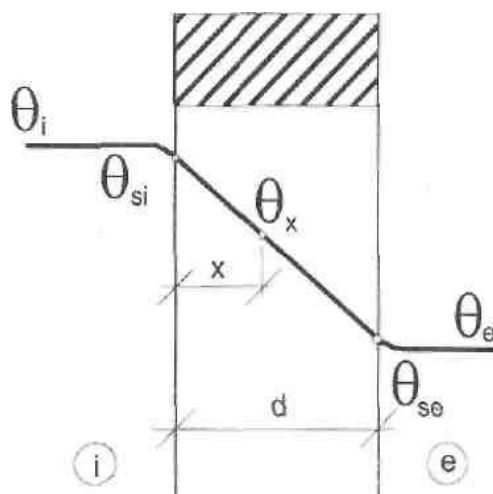
Veškeré heterogenní příměsi mohou tepelnou vodivost značně změnit. Největší vliv má vzduch. Porézní materiály mají vodivost vždy podstatně menší než materiály hutné. Vyplyvá to z nízké hodnoty tepelné vodivosti vzduchu. Proto izolační materiály jsou obvykle porézní. Tepelná vodivost se na základě molekulárně kinetické teorie vysvětluje jako šíření tepelných vln. U polymerů prochází tepelné vlny střídavě oblastmi s dobrými a se špatnými-

mi podmínkami šíření. U krystalických materiálů tepelné vlny způsobují vibraci prostorových mřížek. V případě čistě amorfních materiálů jsou podmínky šíření tepelných vln daleko horší. Tepelné vlny jsou vlivem vnitřní nepravidelné struktury silně rozptylovány a také odráženy. Cizí látky v polymeru, které v tomto případě působí jako přídavná rozptylová centra, tepelnou vodivost u polymerů snižují. Z tohoto důvodu mají krystalické polymery součinitel tepelné vodivosti větší než polymery amorfní.

Zjišťování součinitele tepelné vodivosti lze provést v podstatě několika způsoby, které jsou především určeny tepelným režimem, v němž se dané měření uskutečňuje. Nejčastěji se měření provádí ve stacionárním nebo nestacionárním režimu. Pro každý z těchto způsobů bylo v praxi vypracováno několik konkrétních metod, které se úspěšně používají v praxi. Obecně lze říci, že pro materiály dobře tepelně vodivé postačí stacionární metody a pro tepelné izolanty jsou vhodnějšími metodami metody nestacionární.

6.2 Tepelný odpor

Pojem tepelného odporu stavební konstrukce je odvozen pro jednorozměrné teplotní pole za předpokladu ustáleného teplotního stavu. Předpokládejme tedy, že jednovrstvá stavební konstrukce rozděluje dvě prostředí s různými, ale konstantními teplotami. Rozdělení teplot v konstrukci musí být též konstantní a libovolný bod v konstrukci lze jednoznačně popsat pomocí jedné jeho souřadnice, to je souřadnice x .



Obr. 12. Schéma konstrukce pro odvození tepelného odporu

Vzhledem k tomu, že předpokládáme šíření tepla vedením, použijeme k odvození pojmu tepelného odporu první a druhý Fourierův zákon.

$$q = -\lambda \frac{d\theta}{dx} \quad (16)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = a \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \quad (17)$$

Úpravou druhého Fourierova zákona pro podmínky ustáleného teplotního stavu a jedno-rozměrného teplotního pole pak získáme vztah:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = 0 \rightarrow \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} = 0 \quad (18)$$

Dosažením okrajových podmínek a řešením diferenciální rovnice získáme vztah pro určení teploty v libovolném místě konstrukce:

$$\theta = \theta_{si} - \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{d} x \quad (19)$$

z něhož je zřejmé, že teplota v konstrukci je lineárně závislá na souřadnici x , že se tedy jedná o rovnici přímky, jejíž směrnice je:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{d} \quad (20)$$

Lze tedy psát:

$$q = \lambda \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{d} = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{\frac{d}{\lambda}} = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R} \quad (21)$$

Kde je:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (22)$$

tepelný odpor konstrukce

$\text{m}^2 \text{K W}^{-1}$

Platí pro jednovrstvou konstrukci za předpokladu homogenity této vrstvy a její kolmosti ke směru tepelného toku. Za stejného předpokladu lze vyčíslit i tepelný odpor vícevrstvé konstrukce, kdy vzhledem k tomu, že tepelný odpor je aditivní veličina, lze napsat:

$$R = \sum_{j=1}^{j=n} R_j = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_{j=1}^{j=n} \frac{d_j}{\lambda_j} \quad (23)$$

6.2.1 Tepelný odpor uzavřené vzduchové vrstvy

Z výše uvedeného je zřejmé, že pojem tepelného odporu je odvozen pro případ, kdy dochází k šíření tepla vedením. Tento předpoklad je splněn prakticky u všech stavebních materiálů a konstrukcí, výjimku však tvoří konstrukce, jejíž součástí je uzavřená vzduchová vrstva. V tomto případě totiž dochází i k šíření tepla prouděním a sáláním, takže klasické vztahy pro výpočet tepelného odporu nelze v této situaci použít.

I když je možné přesně vyčíslit tepelný odpor konstrukce s uzavřenou vzduchovou vrstvou především v závislosti na pohltivosti vnitřních povrchů konstrukcí, obklopujících vzduchovou mezerou a na tloušťce této mezery, v technické praxi se běžně používá tabelárních hodnot tepelných odporů uzavřených vzduchových vrstev (viz tab. 1), stanovených za předpokladu užití běžných materiálů a standardních okrajových podmínek.

Tab. 1. Tepelný odpor uzavřených vzduchových vrstev dle ČSN EN ISO 6946[1]

R [m ² KW ⁻¹]			
tloušťka vzduchové vrstvy [mm]	směr tepelného toku		
	nahoru	vodorovně	dolů
0	0,00	0,00	0,00
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,16	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

6.2.2 Tepelný odpor nehomogenních vrstev

Jestliže konstrukce obsahuje nehomogenní vrstvu, určí se pro tuto vrstvu náhradní hodnota součinitele tepelné vodivosti jako vážený průměr součinitelů vodivosti jednotlivých materiálů, obvykle podle poměru jejich plošného zastoupení ve vrstvě. S takto získanou hodnotou součinitele tepelné vodivosti nehomogenní vrstvy Nv se pracuje standardním způsobem.

$$\lambda_{NV} = \frac{\lambda_1 A_1 + \lambda_2 A_2 + \dots + \lambda_n A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (24)$$

Kde

$\lambda_1 \dots \lambda_n$ jsou součinitele tepelné vodivosti jednotlivých materiálů vrstvy $Wm^{-1}K^{-1}$

$A_1 \dots A_n$ je plocha těchto materiálů v charakteristickém výseku nehomogenní vrstvy m^2

V případě, že se jedná o nehomogenity prostorového charakteru, určuje se náhradní hodnota součinitele tepelné vodivosti na základě poměru objemového zastoupení jednotlivých materiálů ve vrstvě.

Popsaný způsob výpočtu je pouze orientační, přesné výsledky lze získat pouze výpočtem dvoj nebo trojrozměrného teplotního pole.

6.3 Součinitel prostupu tepla

Na povrchu stavební konstrukce, v mezní vrstvě, dochází k výměně tepla mezi konstrukcí a okolním prostředím. Tuto výměnu tepla nazýváme přestupem tepla a dochází k ní jak na vnitřním, tak i na vnějším povrchu konstrukce, takže rozlišujeme součinitel přestupu tepla na vnitřním, eventuálně na vnějším povrchu. K přestupovým jevům dochází na základě proudění vzduchu na povrchu konstrukce a sálání mezi povrchem konstrukce a okolními tělesy (stěnami, budovami apod.).

Součinitel přestupu tepla stavební konstrukce, který zahrnuje dvě složky, a sice součinitel přestupu tepla při proudění a součinitel přestupu tepla při sálání udává hustotu tepelného toku, přestupujícího ze vzduchu do konstrukce (nebo i v opačném směru) při jednotkovém rozdílu teplot.

V tepelně technických výpočtech se používá převrácená hodnota součinitele přestupu tepla, nazývaná odpor při přestupu tepla, takže:

$$R_{si} = \frac{1}{h_{si}}, R_{se} = \frac{1}{h_{se}} \quad (25)$$

kde je:

R_{si}	odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	$\text{m}^2 \text{K W}^{-1}$
R_{se}	odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	$\text{m}^2 \text{K W}^{-1}$
h_{si}	součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$
h_{se}	součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce	$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$

Další veličinou, která souvisí s prostupem tepla konstrukcí, je odpor při prostupu tepla R_T , který se pro jednovrstvou konstrukci určí ze vztahu:

$$R_T = R_{si} + R + R_{se} \quad (26)$$

případně pro vícevrstvou konstrukci ze vztahu:

$$R_T = R_{si} + \sum_{j=1}^{j=n} R_j + R_{se} \quad (27)$$

Reciprokou hodnotou odporu při prostupu tepla je součinitel prostupu tepla, pro který má obrácenou hodnotu.

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (28)$$

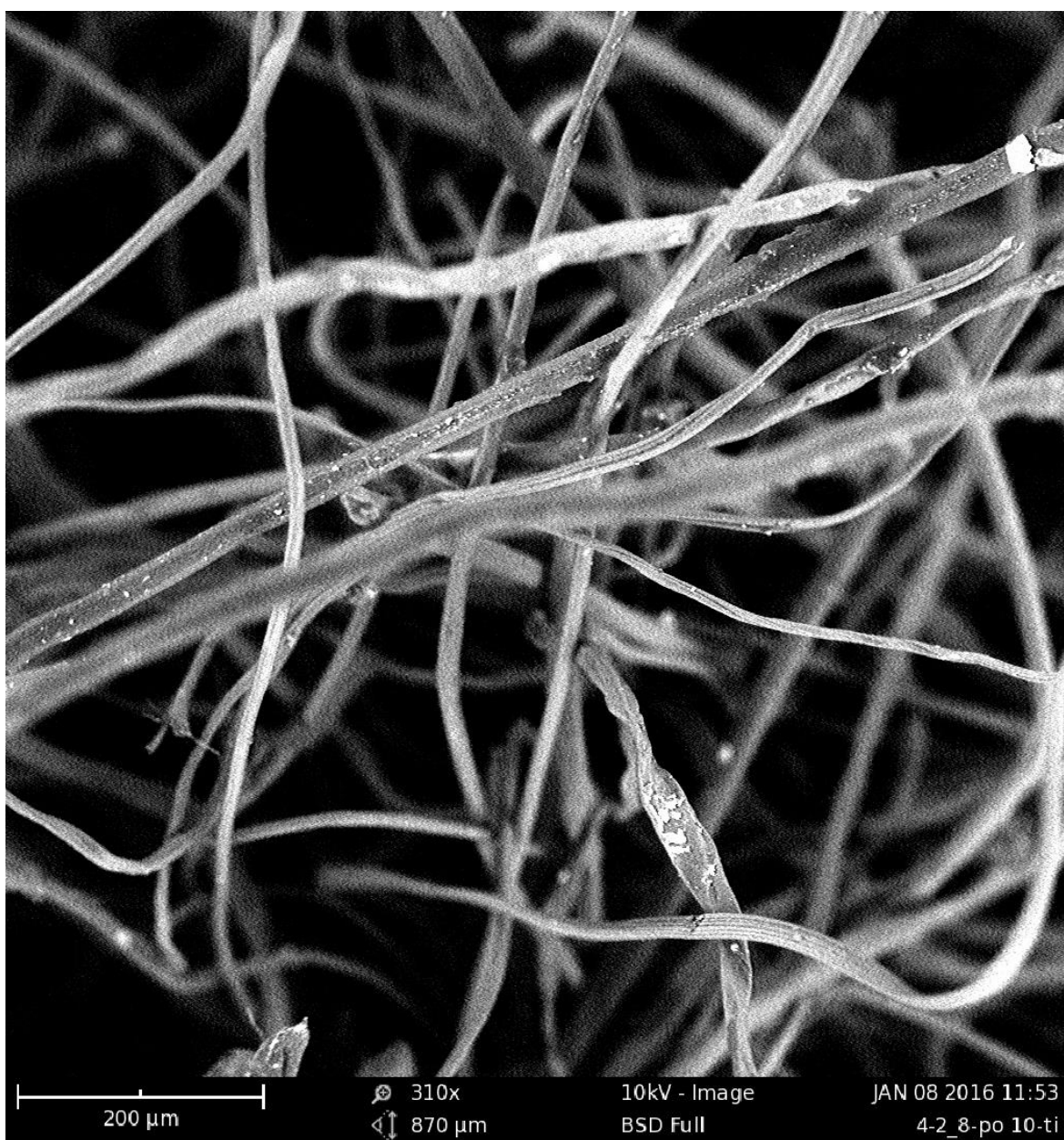
[6]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

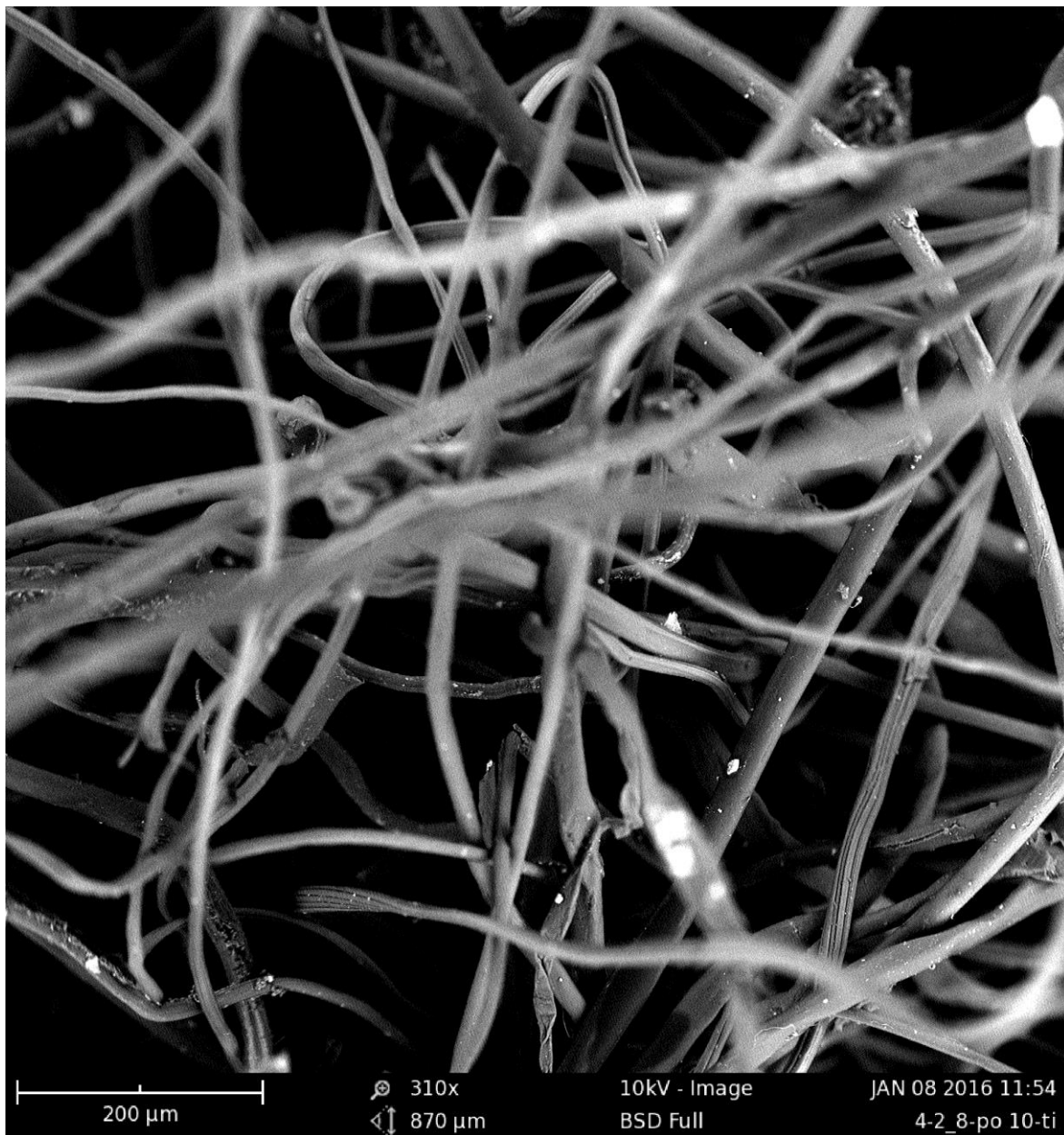
7 ANALÝZA VLÁKNITOSTI ELEKTRONOVÝM MIKROSKOPEM

K účelům praktické části bakalářské práce byly připraveny vzorky materiálu Black Wool pro analýzu elektronovým mikroskopem Phenom Pro. Na následujících obrázcích je zachycena mikrostruktura tohoto textilního materiálu. Skenování vzorku muselo probíhat přiměřenou rychlostí, jelikož energie z urychlených elektronů byla příliš velká a vzorek se postupem času tepelně degradoval.

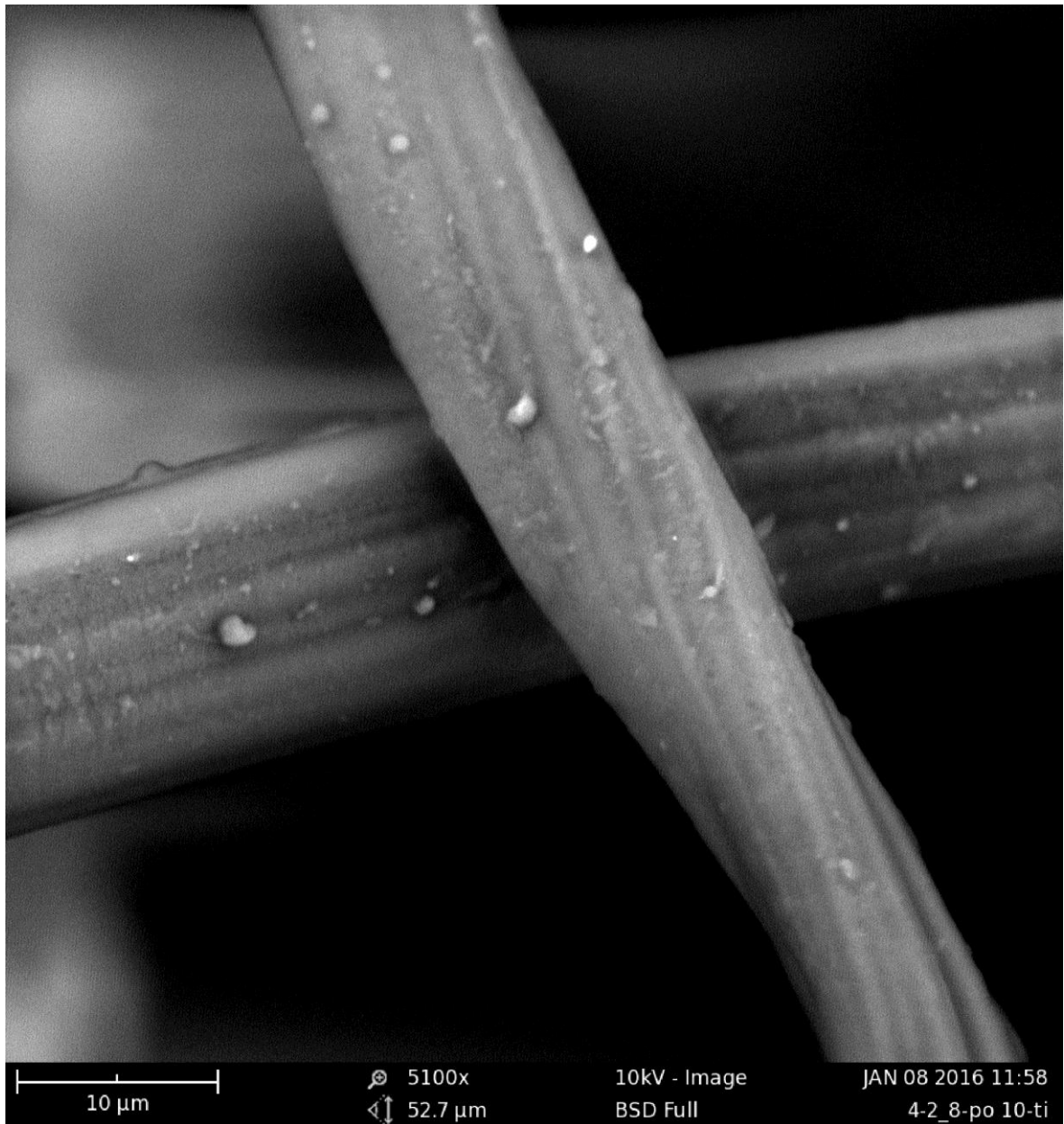
7.1 Ukázky fotek ze Skenovacího elektronového mikroskopu (SEM)



Obr. 13. Vlákňitost vzorku, zvětšení 310x



Obr. 14. Vlákňitost vzorku, zvětšení 310x



Obr. 15. Vlákňitost vzorku, zvětšení 5100x



Obr. 16. Materiál Black Wool, zvětšení 13500x

7.2 Analýza DSC

Na základě analýzy DSC vzorku polyamidového a polyesterového kordu obsahující i zbytky pryže byl potvrzen výskyt obou polymerů PET a PA v jednotlivých složkách recyklátu. Podle kvalitativního vyhodnocení směsi PET s $T_m = 257\text{ °C}$ v prvním ohřevu a $T_m = 251,8\text{ °C}$ v druhém ohřevu a PA s $T_m = 222\text{ °C}$ resp. $T_m = 219,5\text{ °C}$.

8 MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ AKUSTICKO-IZOLAČNÍCH VLASTNOSTÍ

8.1 Příprava a rozměry vzorků

8.1.1 Příprava vzorků

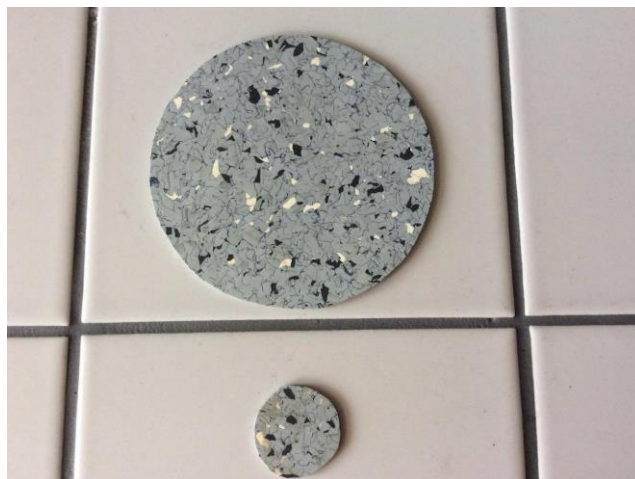
Pro měření koeficientu akustické pohltivosti byly navrženy tyto kombinace materiálů s materiálem Black Wool:

- Black Wool
- PA tkanina + Black Wool
- PP tkanina + Black Wool
- PVC + Black Wool
- Bavlněná tkanina + Black Wool
- PUR VPP 2020

Vzorky jednotlivých materiálů byly vyseknuty ocelovým nožem a bylo připraveno pět vzorků každého materiálů o průměrech 100 mm a 30 mm, o tloušťce 10 mm, 20 mm a 30 mm celkové tloušťky vrstvy. V dalším textu jsou uváděny průměrné hodnoty jednotlivých měření.



Obr. 17. Materiál Black Wool



Obr. 18. Materiál PVC



Obr. 19. Materiál bavlna



Obr. 20. Materiál PP tkanina



Obr. 21. Materiál PA tkanina



Obr. 22. Materiál PUR VPP 2020

U všech materiálů byly zkonstruovány sendvičové vrstvy a stanovena hustota jednotlivých kombinací materiálů viz Tab. 2.

Tab. 2. Hustota vzorků pro trubici o průměru 100 mm a 30 mm – samotný materiál Black Wool

Materiál	Hustota [kg.m ⁻³]
Black Wool	225,36
PA tkanina + Black Wool + PA tkanina	253,45
PP tkanina + Black Wool	230,98
PVC + Black Wool	262,3
Bavlna + Black Wool	226,55
PUR VPP 2020	5,94

Byla naměřena frekvenční závislost koeficientu akustické pohltivosti samotného materiálu Black Wool, dále všech kombinací tohoto materiálu s jinými polymerními materiály a výsledky porovnány s frekvenční závislostí koeficientu akustické pohltivosti PUR.

8.2 Zařízení pro měření frekvenční závislosti koeficientu akustické pohltivosti

8.2.1 Normalizace

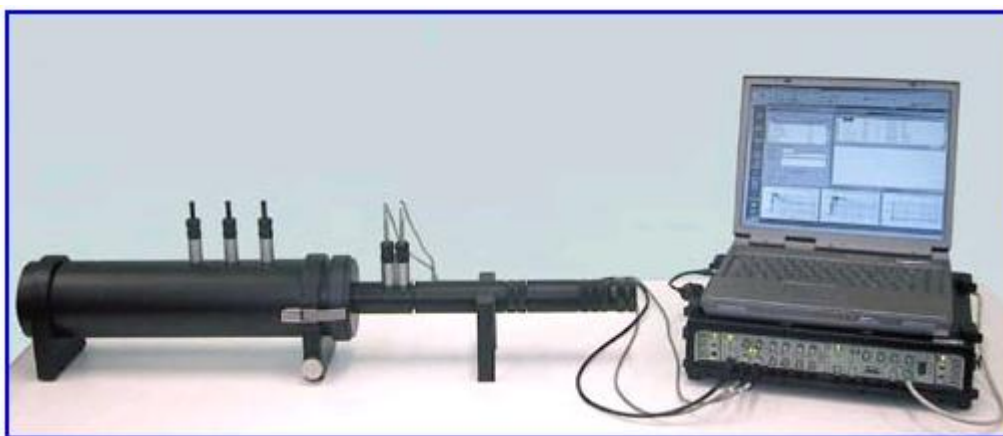
ČSN EN ISO 1996-1 obsahuje prostředí, základní veličiny a postupy pro popis a měření hluku. Jako odklad pro speciální výpočty se používá metodika uvedená např. v normách ČSN EN 11 654 – Akustika – Absorbéry (akustické materiály a konstrukce pro použití v budovách) – Hodnocení zvukové pohltivosti, a ČSN EN 12 354 Stavební akustika pro výpočet vzduchové neprůzvučnosti.

8.2.2 Měřicí zařízení

Měření bylo provedeno na zařízení firmy B&K. Jedná se dvou mikrofonomovou impedanční trubici typu 4206 (viz. Obr. 23). Ta je používána ke zjišťování koeficientu zvukové pohlti-

vosti a koeficientu zvukové odrazivosti pro vzorky uvedených poloměrů. Skládá se ze dvou trubic o průměru 100 a 30 mm umožňující měření ve frekvenčním rozsahu od 0 do 6400 Hz. Pro samotnou analýzu využívá tříkanálový PULSE multianalyzátor Brüel&Kjaer typ 3560-B-030 (viz. Obr. 24). Jedná se o přenosný přístroj umožňující zpracování a analýzu signálů v reálném čase ve frekvenčním rozsahu od 0 Hz do 25,6 kHz. V kombinaci s dvoumikrofonovou trubicí Brüel&Kjaer 4206 se používá k měření absorpčních charakteristik materiálů.

Pomocí PULSE LabShop software jsou výsledky měření zpracovány do textového souboru ve formě tabulky, která vyjadřuje závislost koeficientu akustické pohltivosti na dané frekvenci.



Obr. 23. Měřicí zařízení B&K typu 4206



Obr. 24. Tříkanálový PULSE multianalyzátor Brüel&Kjaer typ 3560-B-030

8.3 Měření frekvenční závislosti koeficientu akustické pohltivosti vybraných materiálů

Měření koeficientu akustické pohltivosti jsme prováděli na dvou mikrofonové impedanční trubici Brüel & Kjær typ 4206 a výsledkem tohoto měření byly textové soubory obsahující naměřené závislosti. Takto získaná data byla zpracována pomocí programu Microsoft Excel 2007.

Naměřené závislosti koeficientu akustické pohltivosti na frekvenci jednotlivých měřených materiálů jsou uvedeny v přílohách (viz. Přílohy PI-PXVI).

Pro vyhodnocení akustických vlastností měřených materiálů byla uvažována frekvenční oblast 50 – 6400 Hz. Celkové výsledky maximálních hodnot koeficientu zvukové pohltivosti a koeficientu redukce hluku.

Tab. 3. Maximální hodnoty koeficientu zvukové pohltivosti a koeficientu redukce hluku pro tloušťku vzorku 30 mm

Materiál	Hustota [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	α_{max} [-]	NRC [-]
Black Wool	225,36	0,983	0,515
PA tkanina + Black Wool	253,45	0,958	0,605
PP tkanina + Black Wool	230,98	0,999	0,529
PVC + Black Wool	262,3	0,926	0,557
Bavlněná tkanina + Black Wool	226,55	0,994	0,558
PUR VPP 2020	5,94	0,983	0,255

8.4 Vyhodnocení frekvenční závislosti koeficientu akustické pohltivosti vybraných materiálů a navržených sendvičových vrstev

Na základě naměřených hodnot koeficientu zvukové lze konstatovat, že samotný materiál Black Wool – viz Příloha P I, PII – vykazuje vynikající akusticko - pohltivé vlastnosti, neboť již při tloušťce vrstvy 10 mm je pohlceno více než 50 % zvuku od frekvence 3500 Hz. Při tloušťce 30 mm dochází k pohlcení akustické energie velmi významně a to od frekvence 500 Hz 50 % dopadající energie a 85 % energie je pohlceno od frekvence 1000 Hz. Při porovnání se samostatným materiálem PUR (viz. příloha P V, P VI), který při tloušťce 10 mm v celém frekvenčním rozhraní nedosahuje více než 60 % pohlcení akustické energie.

Při tloušťce 30 mm materiál PUR v celém frekvenčním rozhraní nedosahuje více než 80 % pohltivosti. Při porovnání koeficientu redukce hluku vykazuje materiál Black wool hodno-

tu 0,515 a materiál PUR hodnotu 0,255, z čehož vyplývá, že materiál Black wool má lepší akusticko-izolační vlastnosti než PUR.

V dalších měřeních byly zkonstruovány následující sendvičové vrstvy:

- PA tkanina + Black Wool + PA tkanina
- PP tkanina + Black Wool + PP tkanina
- PVC + Black Wool + PVC
- Bavlněná tkanina + Black Wool + bavlněná tkanina

Jednotlivé naměřené frekvenční závislosti koeficientu akustické pohltivosti jsou uvedeny v přílohách P VII – P XX.

Z naměřených hodnot vyplývá, že nejlepších hodnot dosahuje sendvičová vrstva PA tkanina + Black Wool + PA tkanina, kdy u všech vrstev 10 mm, 20 mm a 30 mm bylo dosaženo již od 2.000 Hz 80% pohltivosti akustické energie a koeficient redukce hluku byl vyhodnocen na 0,605. Což je nejvyšší hodnota ze všech měřených materiálů a sendvičových vrstev.

Podobně vynikajících akusticko-izolačních vlastností dosahuje sendvičová vrstva bavlněná tkanina + Black Wool + bavlněná tkanina, která také u tloušťky vrstvy 20 mm a 30 mm vykazuje 80 % pohltivost téměř v celém frekvenčním rozhraní, ale u tloušťky vrstvy 10 mm nemá tak vynikající pohltivé vlastnosti jako PA tkanina + Black Wool + PA tkanina. Koeficient redukce hluku byl vyhodnocen na 0,558.

Další dvě navržené sendvičové vrstvy u nižších frekvencí dosahovaly poměrně dobré akustické pohltivosti, avšak sendvičová vrstva PP tkanina + Black Wool + PP tkanina vykazuje od 2000 Hz zhoršení akusticko-izolačních vlastností a to u tloušťky vrstvy 10 mm a 20 mm. Koeficient redukce hluku byl stanoven na 0,529

Nejhorší hodnoty koeficientu akustické pohltivosti vykazuje sendvičová vrstva PVC + Black Wool + PVC, kdy u všech tlouštěk vrstev dochází od frekvence 4000 Hz k výraznému zhoršení akusticko-izolačních vlastností a to až na 40 % pohlcení akustické energie. Koeficient redukce hluku byl stanoven na 0,557.

Z celkového průběhu závislosti koeficientu akustické pohltivosti na frekvenci vyplývá, že vrstva PA tkanina + Black Wool + PA tkanina má nejlepší akusticko-izolační vlastnosti. Sendvičové vrstvy obsahující PVC nebo PP vykazují větší míru odrazivosti, což je dáno

právě přítomností polymerů PVC a PP. Naopak polymer PA snižuje míru odrazivosti a lépe pohlcuje dopadající akustickou energii.

9 MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ TEPELNĚ IZOLAČNÍCH VLASTNOSTÍ SENDVIČOVÉ VRSTVY PA TKANINA + BLACK WOOL + PA TKANINA

Pro měření byla vybrána sendvičová vrstva PA tkanina + Black Wool + PA tkanina, která vykazovala nejlepší akusticko-pohltivé vlastnosti.

9.1 Matematický model měření

Pro odvození matematického modelu popisující závislost teploty měřícího válečku na čase vycházíme z následující bilance tepla.

$$-K \frac{dt}{d\tau} = \frac{S\lambda(t-t_1)}{\delta} + B(t-t_1) \quad (29)$$

kde:

K	tepelná kapacita měřícího válečku	$J.K^{-1}$
S	plocha vzorku	m^2
λ	tepelná vodivost	$W.m^{-1}.K^{-1}$
t	snímaná teplota měřícího válečku	$^{\circ}C$
t_1	teplota temperační desky 1	$^{\circ}C$
t_2	počáteční teplota měřícího válečku	$^{\circ}C$
δ	tloušťka vzorku	m
B	koeficient tepelných ztrát	$J.s^{-1}.K^{-1}$
τ	čas	s

pro B platí:

$$B = \alpha \cdot S_z \quad (30)$$

kde

α	je koeficient přestupu tepla	$W.m^{-2}.K^{-1}$
S_z	plocha, na níž dochází ke ztrátám	m^2

Pravá strana rovnice představuje tok tepla přes hmotu vzorku bloku 1 do měřicího válečku. Zde jsou započítány i ztráty tepla vzniklé přirozeným prouděním vzduchu kolem měřicího přístroje.

Levá strana rovnice představuje akumulaci tepla v měřicím válečku.

Řešením rovnice dostaneme:

$$t = t_1 - (t_1 - t_2) \cdot \exp(-(A_1 + A_2) \cdot \tau) \quad (31)$$

kde pro A_1 a A_2 platí vztahy:

$$A_1 = \frac{S\lambda}{\delta K} \quad (32)$$

$$A_2 = \frac{B}{K} \quad (33)$$

$$A_3 = A_1 + A_2 \quad (34)$$

kde parametr A_2 vyjadřuje tepelné ztráty do okolí a pro námi používanou měřicí aparaturu v daných laboratorních podmínkách $A_2 = 263 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$

Vyhodnocení se provádí podle matematického modelu:

$$t = a_1 + a_2 \cdot \exp(a_3 \cdot \tau) \quad (35)$$

a parametry a_1, a_2, a_3 se vyhodnocují nelineární regresí. Tepelná vodivost se pak získá podle plochy a tloušťky vzorku z parametru a_3 .

Obecně lze konstatovat, že měření tepelné vodivosti nestacionární metodou je vzhledem k metodám stacionárním časově méně náročné a tím se tyto metody stávají více prakticky využitelnými.

9.2 Vyhodnocení naměřených dat programem ThermaCon

Při tomto způsobu měření se napětí termočlánků převádí převodním systémem ADAM 5, který má vyšší citlivost a umožňuje přesné měření na setinu °C, což již překračuje přesnost regulace teploty na měřicím přístroji, které se provádí pomocí termostatů.

Hodnoty teploty jsou pak převáděny do osobního počítače přes komunikační port pomocí upraveného modulu Control Web 2000, který umožňuje uložení snímaných dat do virtuální paměti počítače. Po ukončení měření je možno tato data zpracovat pomocí vytvořeného programu ThermaCon a získat požadované veličiny.

Mezi hlavní výhody tohoto komplexu patří zejména výrazný komfort při měření. Předchozí způsob byl pracný, z velké části neautomatizovaný, obsahoval mnoho na sebe navazujících chyb – nízká citlivost při výstupu na liniový zapisovač, malý objem zpracovávaných dat, poškození grafického záznamu, atd.

Nyní po ukončení měření je možno datové soubory uchovávat na paměťových zařízeních, dostatečná bezpečnost je zaručena při archivaci na CD-ROM.

Program ThermaCon umožňuje automatický odhad počátečních parametrů, vyhodnocení naměřených dat nelineární regresi Gauss-Newtonovou metodou, výpočet tepelné vodivosti umožňuje data, která jsou výrazně vzdálena matematickému modulu, například vzniklá hrubou chybou v měření, vyřadit z vyhodnocení.

Vyvinutý komplex pracuje pod operačním systémem MS Windows, proto je kompatibilní se současnými dostupnými produkty firmy Microsoft. Systém také snižuje riziko chyb vzniklé při předchozím způsobu vyhodnocení.

Program ThermaCon umožňuje zpracovávat libovolně velký soubor naměřených dat a je otevřeným systémem pro další rozšíření.

Vypracovaný program lze použít i pro jiné fyzikální úlohy odpovídající matematickému modelu, například při měření teplotní vodivosti plastů podle ČSN 640142 nebo při měření teplotní vodivosti prášků a granulátů.

Vyhodnocování probíhá nelineární regresí Gauss-Newtonovou metodou v následujících krocích:

a) Odhady parametrů

Řešením tří rovnic o třech neznámých parametrech získá odhad parametrů a_1, a_2, a_3 . Data pro vyhodnocení odhadů jsou vybrána z oblasti počátečních, středních a konečných hodnot parametrů.

b) Gauss-Newtonova metoda

Iterační metoda, která na základě znalosti derivace účelové funkce podle jednotlivých parametrů určuje směr, kterým se mají měnit jednotlivé parametry, aby účelová funkce dosáhla minima, tedy aby součet čtverců odchylek mezi naměřenými daty a daty vypočtenými z matematického modulu byly minimální.

c) Ukončení vyhodnocení

Vyhodnocování je ukončeno, když hledané parametry se již nemění se zadanou požadovanou přesností.

d) Vyhodnocení reziduí

Numerické hodnoty získané při posledním iteračním kroku při invertování matic v Gauss-Newtonově metodě slouží jako základní informace statistického vyhodnocení vztahů mezi naměřenými daty a matematickým modelem. [7]

9.3 Měření a vyhodnocení koeficientu tepelné vodivosti sendvičové vrstvy PA tkanina + Black Wool + PA tkanina

Tato sendvičová vrstva byla měřena na zařízení podle Fitcha. Grafická závislost teploty na čase je uvedena v příloze P XXI. Z této závislosti byly pomocí programu ThermaCon nelineární regresí Gauss-Newtonovou metodou vyhodnoceny parametry a_1, a_2 a a_3 nutné pro výpočet tepelné vodivosti těchto materiálů.

Pomocí software ThermaCon byl vyhodnocen parametr a_3 :

$$a_3 = -0,000409 \text{ s}^{-1}$$

$$A_2 = 0,000263 \text{ s}^{-1}$$

$$K = 317,5 \text{ (J.K}^{-1}\text{)}$$

$$S = 6,362 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\delta = 5,25 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Pro výpočet koeficientu tepelné vodivosti je potřeba stanovit parametr A_1 :

$$A_1 = -a_3 - A_2 = 0,000409 - 0,000263 = 0,000146 \text{ s}^{-1} \quad (36)$$

Dále je pak možné vyhodnotit koeficient tepelné vodivosti:

$$\lambda = \frac{A_1 \cdot \delta \cdot K}{S} = \frac{0,00146 \cdot 0,00525 \cdot 317,5}{0,006362} = 0,03826 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \quad (37)$$

δ tloušťka vzorku (m)

λ tepelná vodivost ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

a_3 parametr nelineární regrese (s^{-1})

A_2 tepelné ztráty do okolí (s^{-1})

K tepelná kapacita měřícího válečku ($\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$)

S plocha měřícího válečku (m^2)

9.4 Výpočet tepelného odporu navržené sendvičové vrstvy

$$\delta = 5,25 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\lambda = 0,03826 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Hodnota tepelného odporu lze stanovit:

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,00525}{0,03826} = 0,13725 \text{ W}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K} \quad (38)$$

λ průměrná tepelná vodivost vybraného vzorku

$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

R tepelný odpor

$\text{W}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}$

δ tloušťka vzorku

m

9.5 Vyhodnocení tepelně-izolačních vlastností sendvičové vrstvy

Z uvedených výsledků vyplývá, že sendvičová vrstva PA tkanina + Black Wool + PA tkanina má kromě vynikajících akusticko-izolačních vlastností také vynikající tepelně-izolační vlastnosti – koeficient tepelné vodivosti - $\lambda = 0,03826 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ a tepelný odpor $0,13725 \text{ W}^{-1}\cdot\text{m}^2\cdot\text{K}$.

Koeficient tepelné vodivosti navržené sendvičové vrstvy je srovnatelný s typicky izolačními materiály, jako je například minerální vlna nebo extrudovaný polystyren.

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a konstrukcí sendvičové vrstvy na bázi textilního recyklovaného materiálu.

V teoretické části se zabývám základními pojmy a veličinami charakterizující zvuk a jeho šíření, dále akustickými vlastnostmi pohltivých materiálů a jejich aplikacemi v praxi. V této části jsou dále zmiňovány informace o absorpci zvuku a zvukových absorbérů, a také jsou zde popsány jednotlivé měřené materiály - recyklovaný textilní materiál Black Wool složený z PA, PET a SBR.

V praktické části této práce byla provedena mikroskopická analýza recyklovaného materiálu a DSC analýza materiálu Black Wool. Také byla měřena a vyhodnocena frekvenční závislost koeficientu akustické pohltivosti samotného materiálu Black Wool a materiálu PUR, kdy bylo konstatováno, že materiál Black Wool má lepší akusticko-izolační vlastnosti než PUR.

Byly zde navrženy sendvičové vrstvy recyklovaného materiálu s materiály: PA tkanina, PP tkanina, PVC a bavlněná tkanina a u těchto sendvičových vrstev byly naměřeny frekvenční závislosti koeficientu akustické pohltivosti a byl vyhodnocen koeficient redukce hluku. Z celkového průběhu závislosti koeficientu akustické pohltivosti na frekvenci vyplývá, že vrstva PA tkanina + Black Wool + PA tkanina má nejlepší akusticko-izolační vlastnosti. Sendvičové vrstvy obsahující PVC nebo PP vykazují větší míru odrazivosti, což je dáno právě přítomností polymerů PVC a PP. Naopak polymer PA snižuje míru odrazivosti a lépe pohlcuje dopadající akustickou energii.

Pro měření koeficientu tepelné vodivosti byla z těchto důvodů vybrána sendvičová vrstva PA tkanina + Black Wool + PA tkanina. U této vrstvy byla naměřena závislost teploty na čase, která byla dále zpracována programem ThermaCon, který umožňuje automatický odhad počátečních parametrů, vyhodnocení naměřených dat nelineární regreseí Gauss-Newtonovou metodou.

Z výsledků vyplývá, že sendvičová vrstva PA tkanina + Black Wool + PA tkanina má kromě vynikajících akusticko-izolačních vlastností také vynikající tepelně-izolační vlastnosti, neboť koeficient tepelné vodivosti navržené sendvičové vrstvy je srovnatelný s typicky izolačními materiály jako je například minerální vlna nebo extrudovaný polystyren.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] VAŇKOVÁ M. a kol.: Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí, část I. Učební texty vysokých škol. VUT Brno (1995), 1-144, 1. vydání ISBN 80-214-0695-X.
- [2] VAŇKOVÁ M. a kol.: Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí, část II. Učební texty vysokých škol. VUT Brno (1996), 1-164, 1. vydání ISBN 80-214-0818-9.
- [3] ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE. [online]. 2010 [2016-05-02]. Dostupné u WWW:< http://old.vscht.cz/nmr/mol_model_bioinfo/lekce/mikroskopie.pdf >. http://old.vscht.cz/nmr/mol_model_bioinfo/lekce/mikroskopie.pdf
- [4] DUCHÁČEK V: Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití. VŠCHT Praha, 3.vydání, 2011, 276 s., ISBN: 9788070807880
- [5] MLEZIVA J: Polymery – výroba, struktura, vlastnosti a použití. Praha, Sobotáles, 1. vydání, 1993, 525 s., (ISBN: 8090157041)
- [6] KULHÁNEK F. : Stavební fyzika II. Stavební tepelná technika, ČVUT Praha 2006, (ISBN 80-01-03408-9).
- [7] FOJTŮ D. : Vyhodnocení měření tepelné vodivosti. Diplomová práce FT UTB 2002, 64 stran.
- [8] FAHY F: Foundations of Engineering Acoustics. Učební texty vysokých škol. VUT Brno (1996), 1-164, 1. vydání (ISBN 0-12-247665-4).

Internetové odkazy:

- [8] B2B – internetové stránky informačního serveru zabývající se průmyslovou výrobou [online], [cit. 2016-05-02] Dostupné z WWW: < <http://ebuying.com.tw/> >
- [9] Bakalářská práce: Závislost akustické pohltivosti na tloušťce vrstvy vybraných textilních materiálů [online], [cit. 2016-05-02]. Dostupné z WWW: <http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/14420/ko%C5%99enkov%C3%A1_2010_bp.pdf?sequence=1>

- [10] WIKIPEDIE: STYRENE-BUTHADIENE, [online], [cit. 2016-05-02]. Dostupné z WWW: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Styrene-butadiene>>
- [11] WIKIPEDIA: POLYETHYLENTEREFTALÁT, [online], [cit. 2016-05-02]. Dostupné z WWW: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/Polyethylentereftal%C3%A1t>>
- [12] WIKIPEDIA: POLYAMIDOVÉ VLÁKNA, [online], [cit. 2016-05-02]. Dostupné z WWW: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Polyamidov%C3%A1_vl%C3%A1kna>
- [13] DIPLOMOVÁ PRÁCE: NÁVRH SENDVIČOVÉ VRSTVY MATERIÁLŮ S OPTIMÁLNÍ AKUSTICKOU POHLTIVOSTÍ PRO INTERIÉRNÍ APLIKACE [online], [cit. 2016-05-02]. Dostupné z WWW:<digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/15437/kováč_2011_dp.pdf?sequence=1>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

λ	vlnová délka	m
c	fázová rychlost	ms^{-1}
T	Perioda	s
f	kmitočet	s^{-1}
K	modul objemové pružnosti	Pa
P	Objemová hmotnost prostředí	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
P_s	celkový statický tlak	Pa
κ	Poissonova konstanta	
M	kilomolová hmotnost plynu	$\text{kg}\cdot\text{kmol}^{-1}$
ρ	objemová hmotnost plynného prostředí	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
R	univerzální plynová konstanta	$\text{J kmol}^{-1} \text{K}^{-1}$
T	absolutní teplota	K
Z_s	měrná akustická impedance materiálu	Pa s m^{-1}
p	akustický tlak	Pa
v	akustická rychlost	m s^{-1}
r	reálná složka měrné akustické impedance nazývaná též měrný akustický odpor nebo činný odpor	Pa s m^{-1}
x	imaginární měrné akustické impedance, někdy zvaná měrná akustická reaktance	Pa s m^{-1}
R	odpor proti proudění vzduchu	Pa s m^{-3}
Δp	Rozdíl akustického tlaku před a za vrstvou akustického materiálu	Pa
q	Objemová rychlost vzduchu proudícího do vrstvy	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
u	rychlost proudění vzduchu do vrstvy	m s^{-1}
S	velikost plochy kolmé na směr proudění	m^2

R_{si}	odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	$m^2 K W^{-1}$
R_{se}	při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	$m^2 K W^{-1}$
h_{si}	součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	$W m^{-2} K^{-1}$
h_{se}	součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce	$W m^{-2} K^{-1}$

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Kulová vlnoplocha.....	13
Obr. 2. Rovinná vlnoplocha.....	13
Obr. 3. Jednorozměrná válcová vlnoplocha.....	14
Obr. 4. Dvojarozměrná válcová vlnoplocha.....	14
Obr. 6. a) Celosíťovaná pěna,zvětšení 14x b) Parciálně síťovaná na, zvětšení 14x, c) Skelné vlákno, zvětšení 14x, d) Minerální vlna, zvětšení 14x.....	26
Obr. 7. Strukturní vzorec Nylon 6	28
Obr. 8. Strukturní vzorec Nylon 66	29
Obr. 9. Strukturní vzorec PET	30
Obr. 10. Strukturní vzorec SBR.....	32
Obr. 11. Skenovací elektronový mikroskop	34
Obr. 12. Schéma konstrukce pro odvození tepelného odporu	36
Obr. 13. Vlákňitost vzorku, zvětšení 310x	43
Obr. 14. Vlákňitost vzorku, zvětšení 310x	44
Obr. 15. Vlákňitost vzorku, zvětšení 5100x	45
Obr. 16. Materiál Black Wool, zvětšení 13500x	46
Obr. 17. Materiál Black Wool	47
Obr. 18. Materiál PVC.....	48
Obr. 19. Materiál bavlna	48
Obr. 20. Materiál PP tkanina	48
Obr. 21. Materiál PA tkanina.....	49
Obr. 22. Materiál PUR VPP 2020.....	49
Obr. 23. Měřicí zařízení B&K typu 4206	51
Obr. 24. Tříkanálový PULSE multianalyzátor Brüel&Kjaer typ 3560-B-030.....	52

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Tepelný odpor uzavřených vzduchových vrstev dle ČSN EN ISO 6946[1]	39
Tab. 2. Hustota vzorků pro trubici o průměru 100 mm a 30 mm – samotný materiál Black Wool.....	50
Tab. 3. Maximální hodnoty koeficientu zvukové pohltivosti a koeficientu redukce hluku pro tloušťku vzorku 30 mm.....	53

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - MATERIÁL BLACK WOOL – 50 – 6400 HZ

PŘÍLOHA P II: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - MATERIÁL BLACK WOOL – 50 – 2000 HZ

PŘÍLOHA P III: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - MATERIÁL PUR VPP 2020 – 50 – 6400 HZ

PŘÍLOHA P IV: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI – MATERIÁL PUR VPP 2020 – 50 – 2000 HZ

PŘÍLOHA P V: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - MATERIÁL BLACKWOOL a MATERIÁL PUR VPP 2020 – 50 – 6400 HZ

PŘÍLOHA P VI: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI – MATERIÁL BLACKWOOL a MATERIÁL PUR VPP 2020 – 50 – 2000 HZ

PŘÍLOHA P VII: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - MATERIÁL POLYAMIDOVÁ TKANINA + BLACK WOOL + POLYAMIDOVÁ TKANINA – 50 – 6400 HZ

PŘÍLOHA P VIII: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - MATERIÁL POLYAMIDOVÁ TKANINA + BLACK WOOL + POLYAMIDOVÁ TKANINA – 50 – 2000 HZ

PŘÍLOHA P IX: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - MATERIÁL POLYPROPYLENOVÁ TKANINA + BLACK WOOL + POLYPROPYLENOVÁ TKANINA – 50 – 6400 HZ

PŘÍLOHA P X: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - MATERIÁL POLYPROPYLENOVÁ TKANINA + BLACK WOOL + POLYPROPYLENOVÁ TKANINA – 50 – 2000 HZ

PŘÍLOHA P XI: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - MATERIÁL BAVLNĚNÁ TKANINA + BLACK WOOL + BAVLNĚNÁ TKANINA – 50 – 6400 HZ

PŘÍLOHA P XII: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - MATERIÁL BAVLNĚNÁ TKANINA + BLACK WOOL + BAVLNĚNÁ TKANINA – 50 – 2000 HZ

PŘÍLOHA P XIII: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - MATERIÁL PVC + BLACK WOOL + PVC – 50 – 6400 HZ

PŘÍLOHA P XIV: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - MATERIÁL PVC + BLACK WOOL + PVC – 50 – 2000 HZ

PŘÍLOHA P XV: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - KOMBINACE MATERIÁLU BLACK WOOL PŘI TLOUŠŤCE MATERIÁLU 10 MM– 50 – 6400 HZ

PŘÍLOHA P XVI: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - KOMBINACE MATERIÁLU BLACK WOOL PŘI TLOUŠŤCE MATERIÁLU 10 MM– 50 – 2000 HZ

PŘÍLOHA P XVII: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - KOMBINACE MATERIÁLU BLACK WOOL PŘI TLOUŠŤCE MATERIÁLU 20 MM– 50 – 6400 HZ

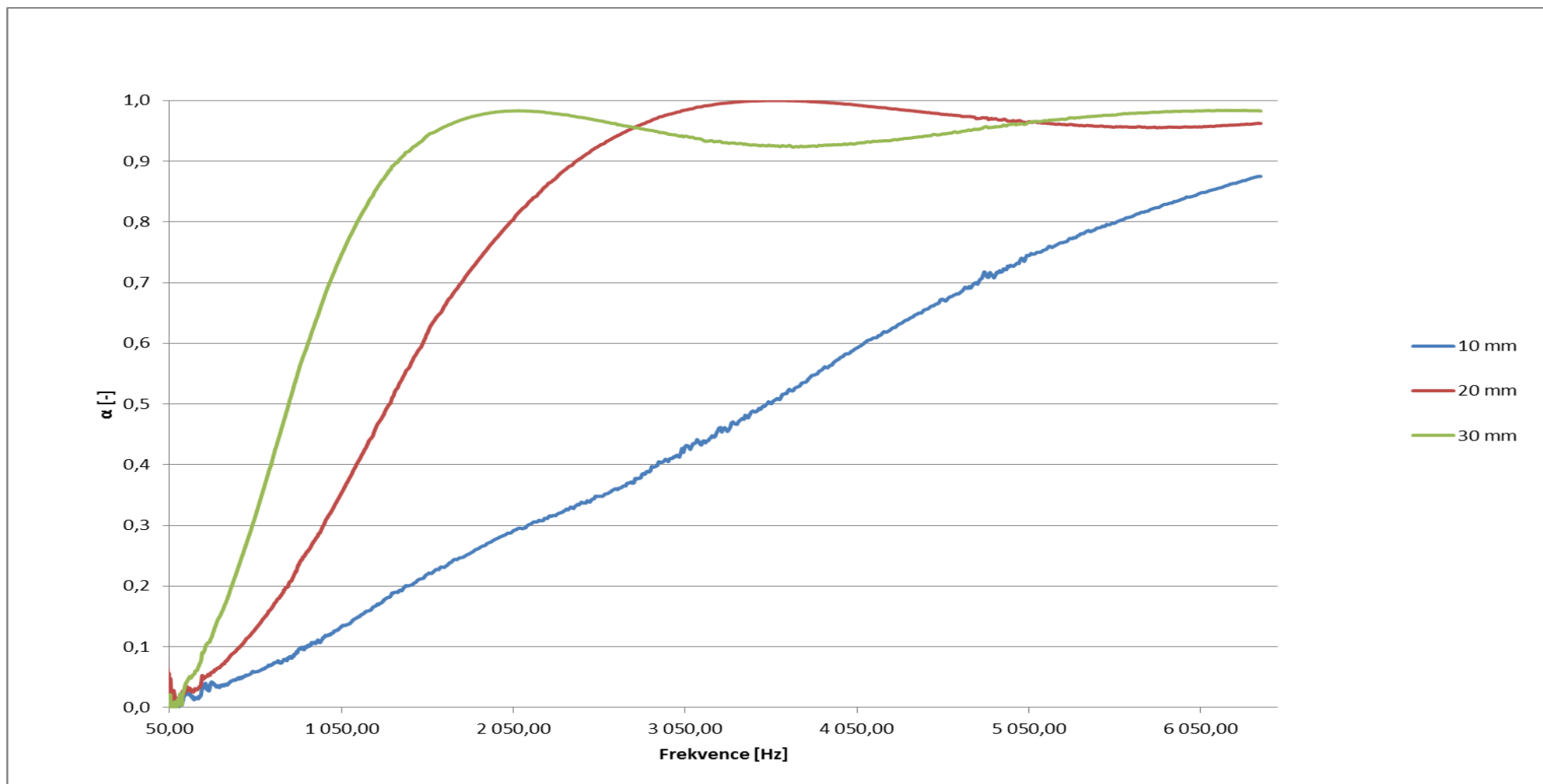
PŘÍLOHA P XVIII: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - KOMBINACE MATERIÁLU BLACK WOOL PŘI TLOUŠŤCE MATERIÁLU 20 MM– 50 – 2000 HZ

PŘÍLOHA P XIX: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - KOMBINACE MATERIÁLU BLACK WOOL PŘI TLOUŠŤCE MATERIÁLU 30 MM– 50 – 6400 HZ

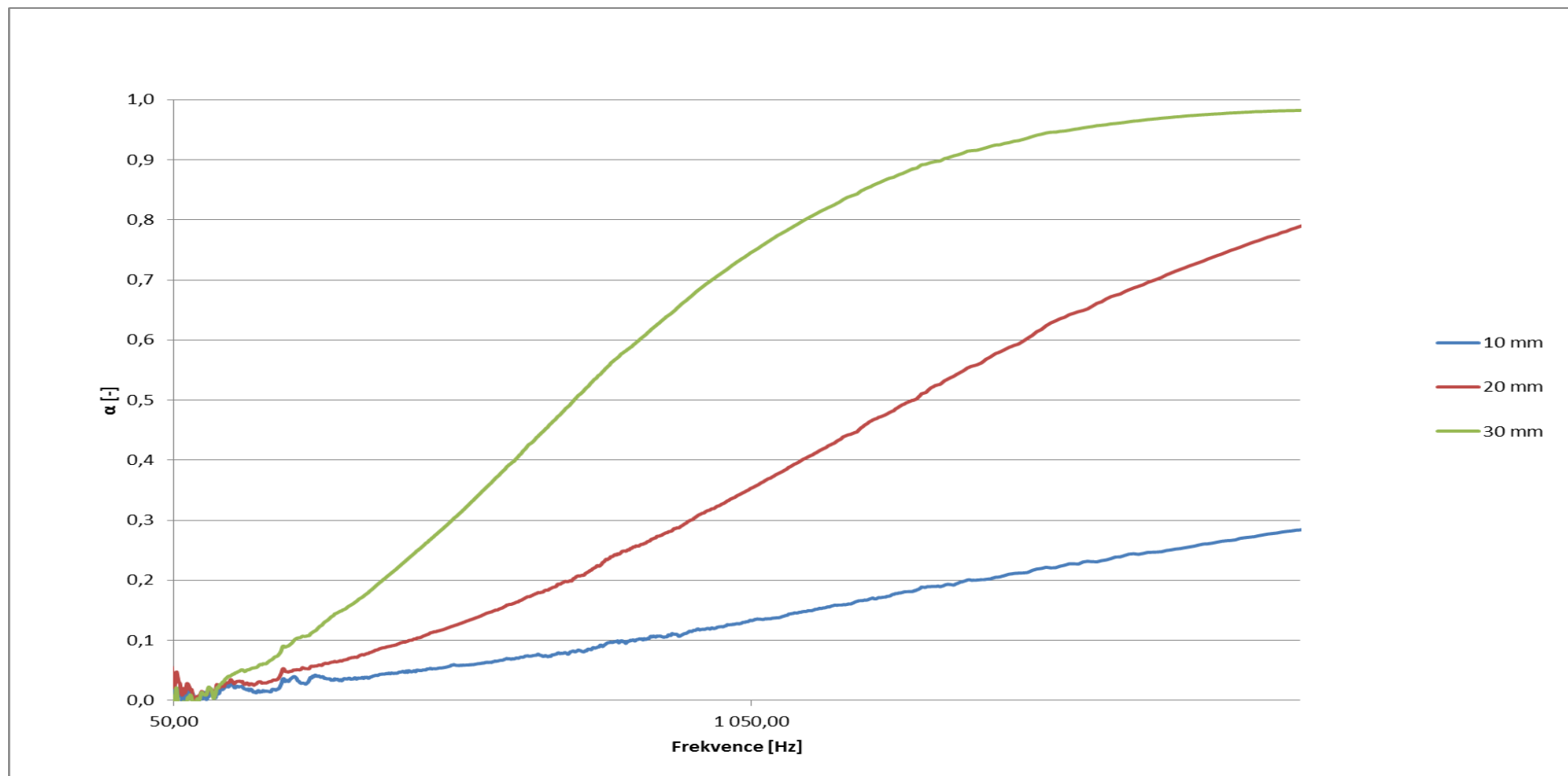
PŘÍLOHA P XX: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - KOMBINACE MATERIÁLU BLACK WOOL PŘI TLOUŠŤCE MATERIÁLU 30 MM– 50 – 2000 HZ

PŘÍLOHA P XXI: ZÁVISLOST TEPLoty NA ČASE - OCHLAZOVÁNÍ - MATERIÁL POLYAMIDOVÁ TKANINA + BLACK WOOL + POLYAMIDOVÁ TKANINA

PŘÍLOHA P I: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - MATERIÁL BLACK WOOL – 50 – 6400 HZ

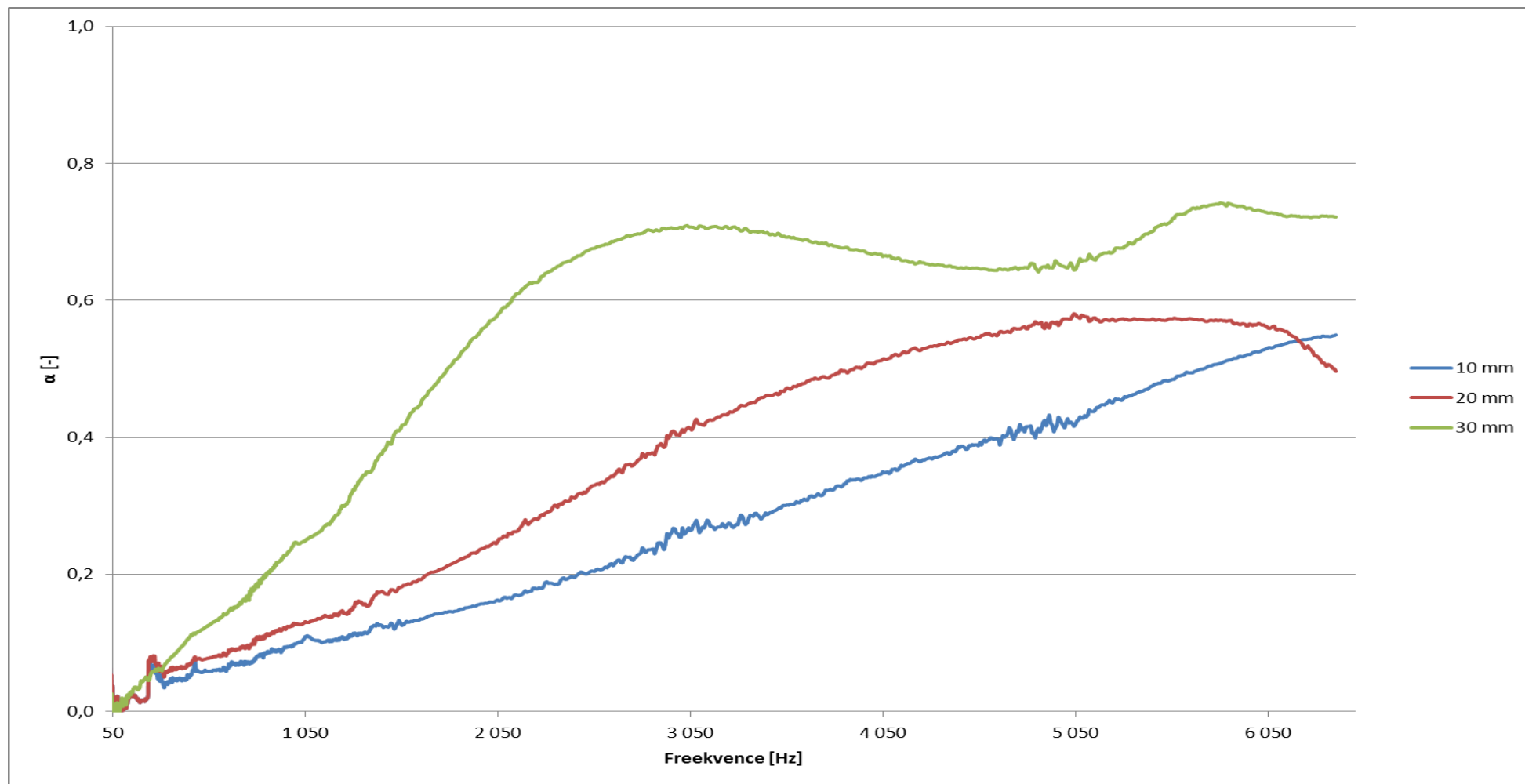


**PŘÍLOHA P II: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - MATERIÁL
BLACK WOOL – 50 – 2000 HZ**

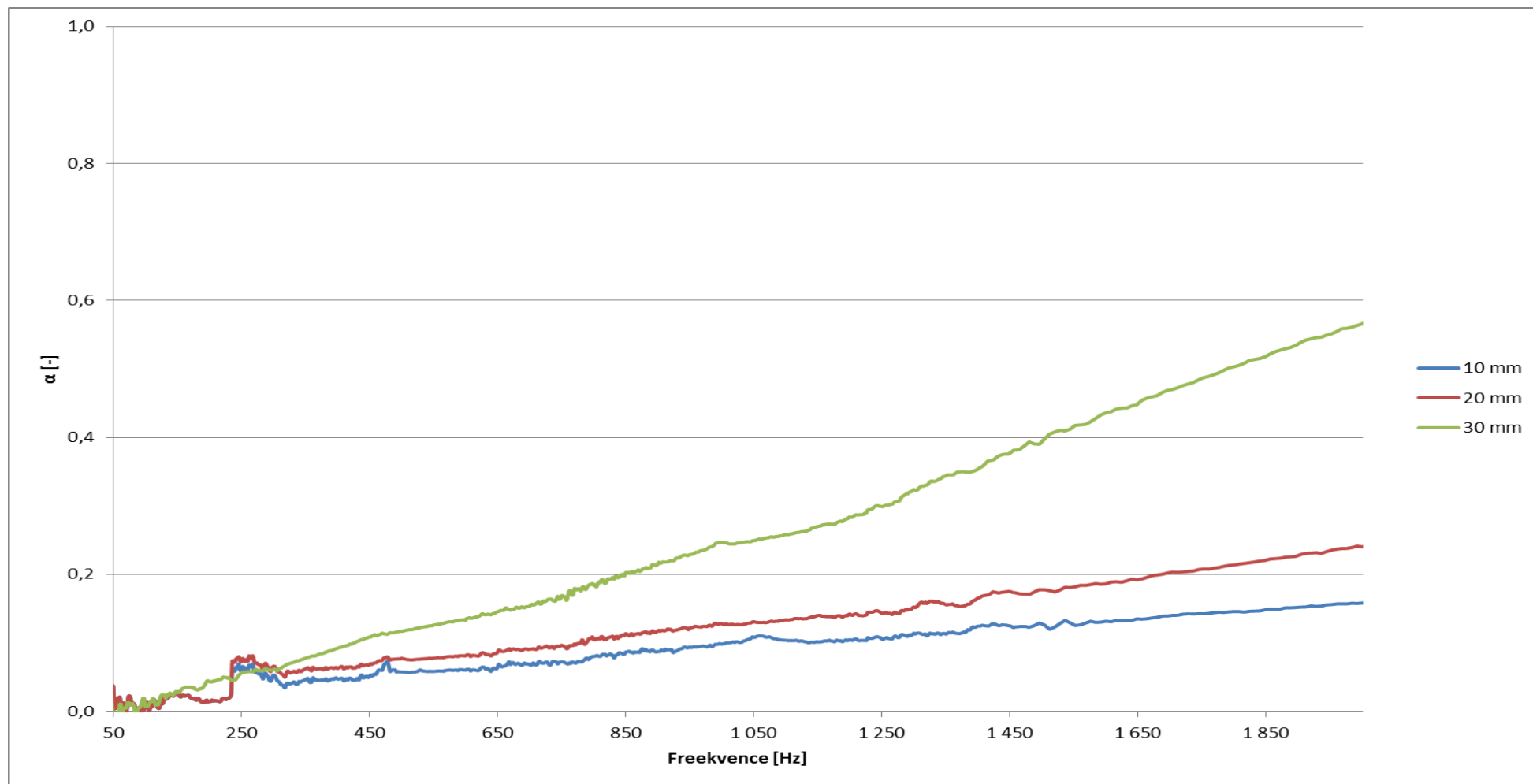


PŘÍLOHA P III: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - MATERIÁL PUR

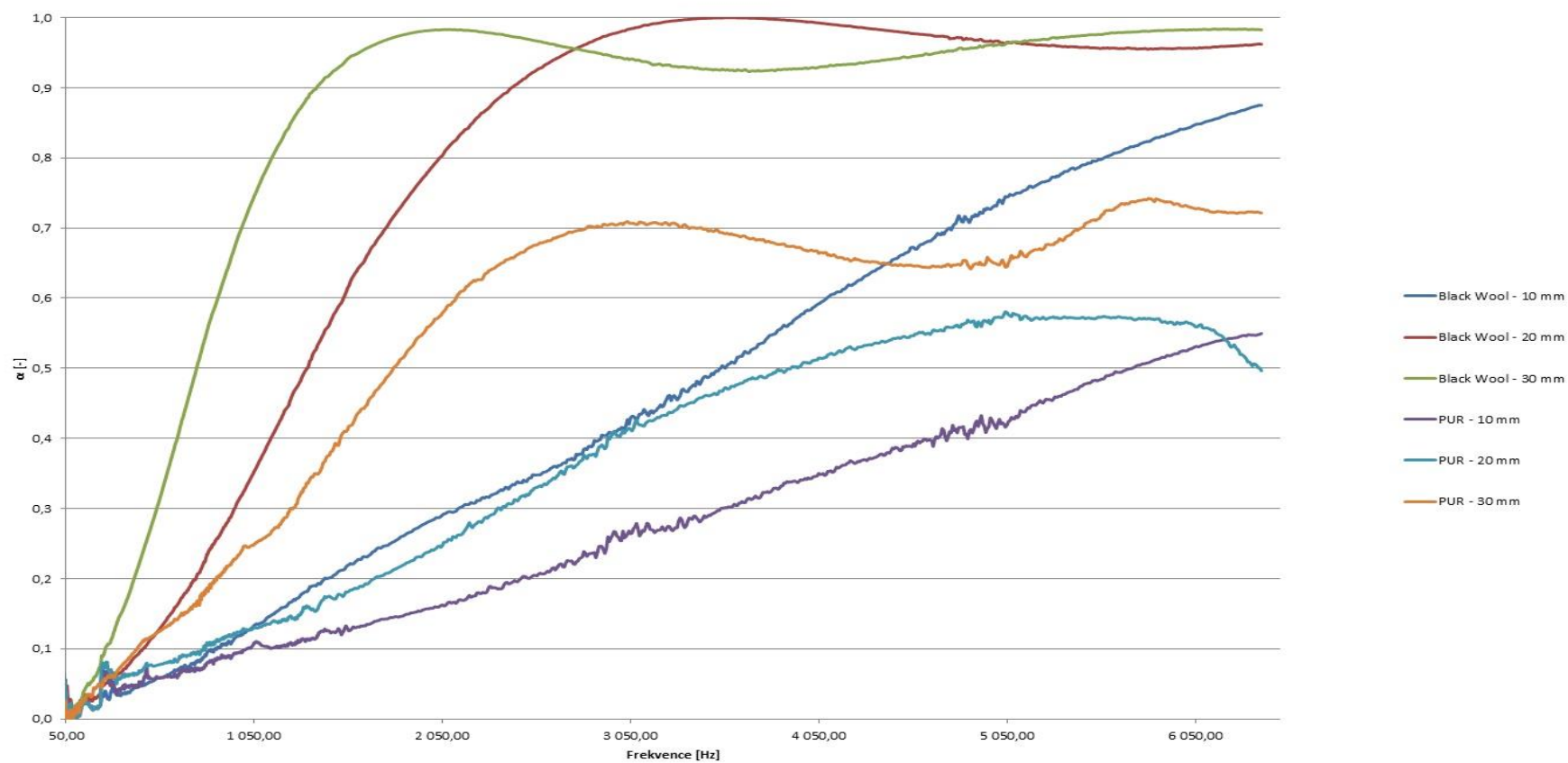
VPP 2020 – 50 – 6400 HZ



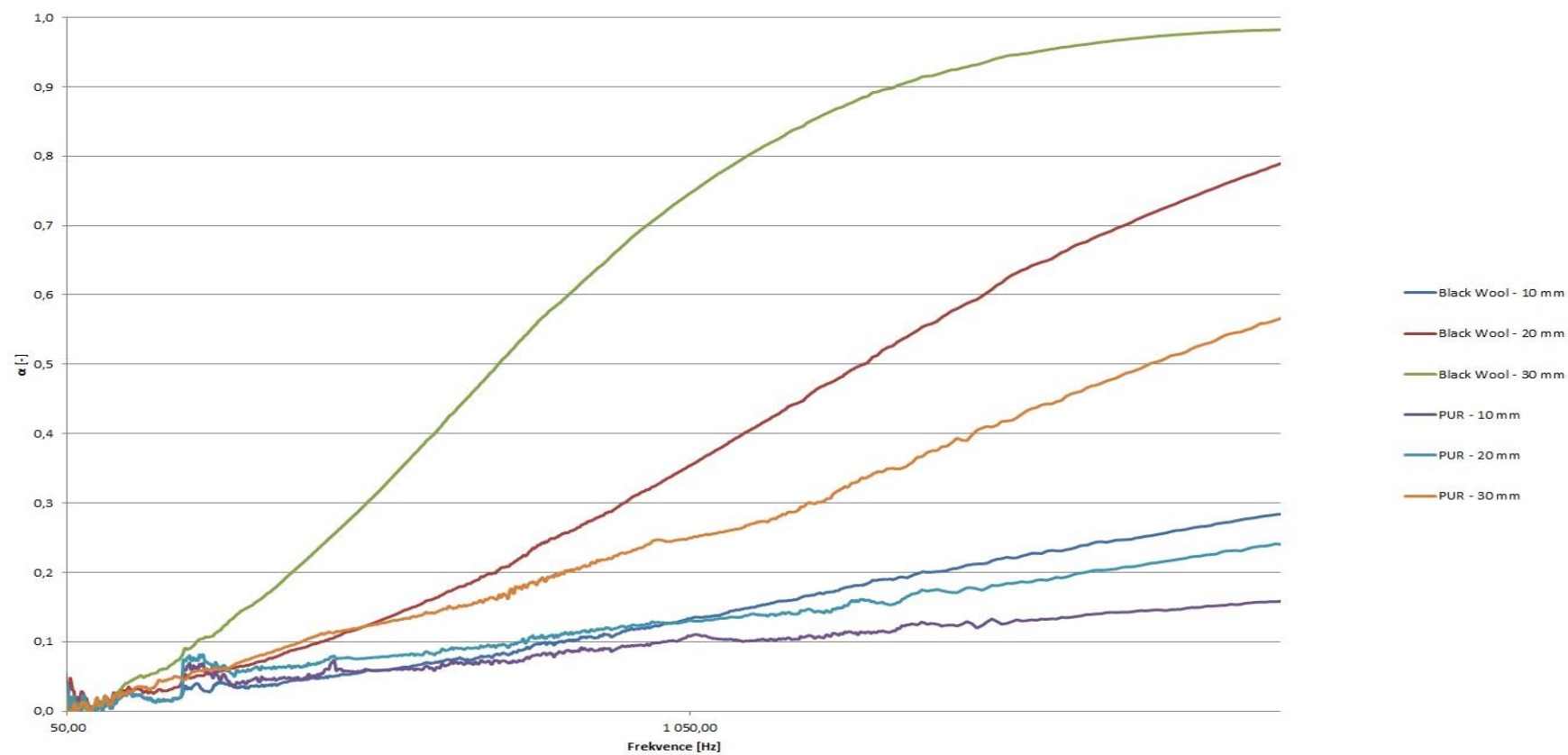
PŘÍLOHA P IV: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI – MATERIÁL PUR
VPP 2020 – 50 – 2000 HZ



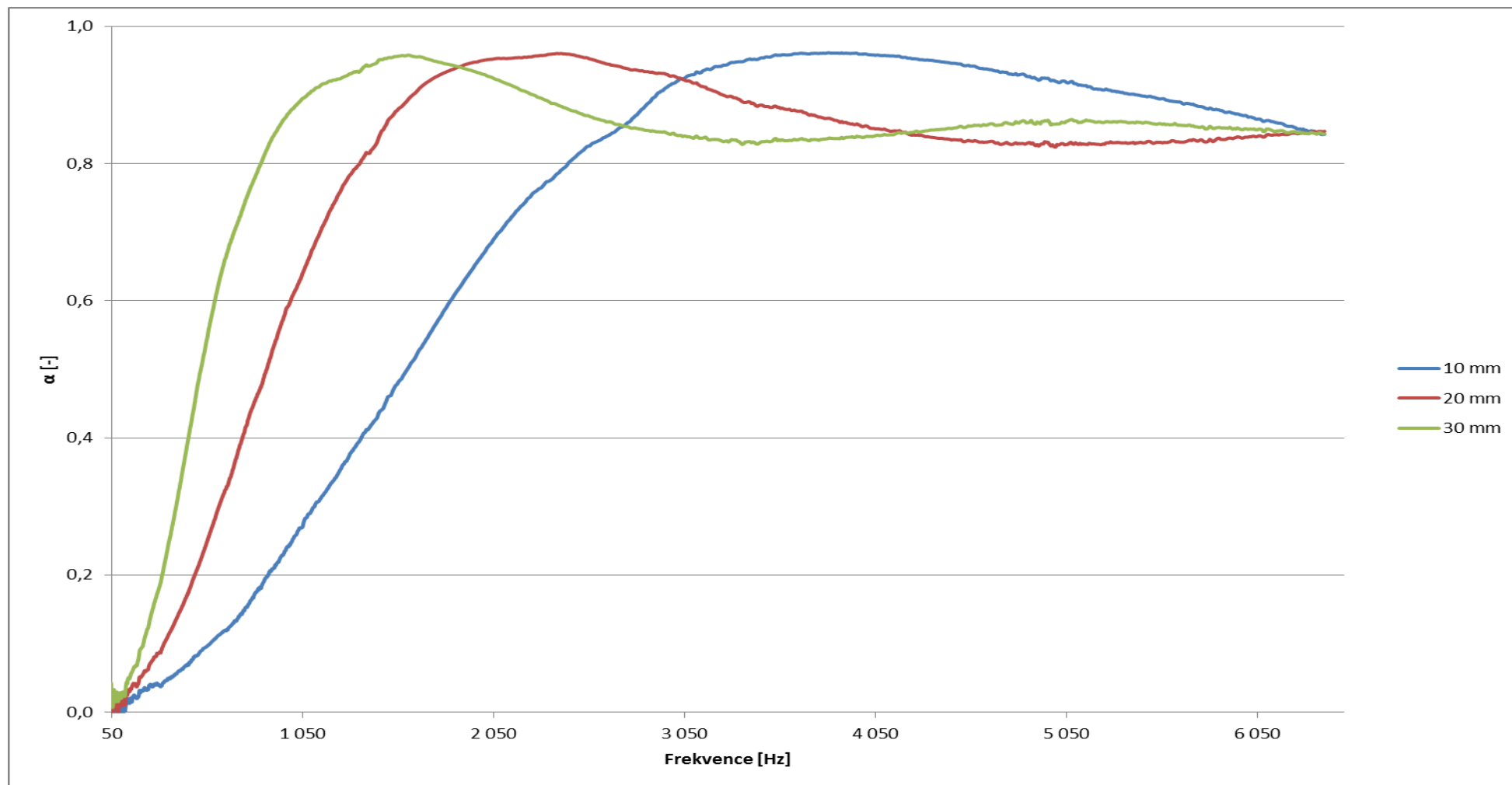
PŘÍLOHA P V: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - MATERIÁL BLACKWOOL A MATERIÁL PUR VPP 2020 – 50 – 6400 HZ



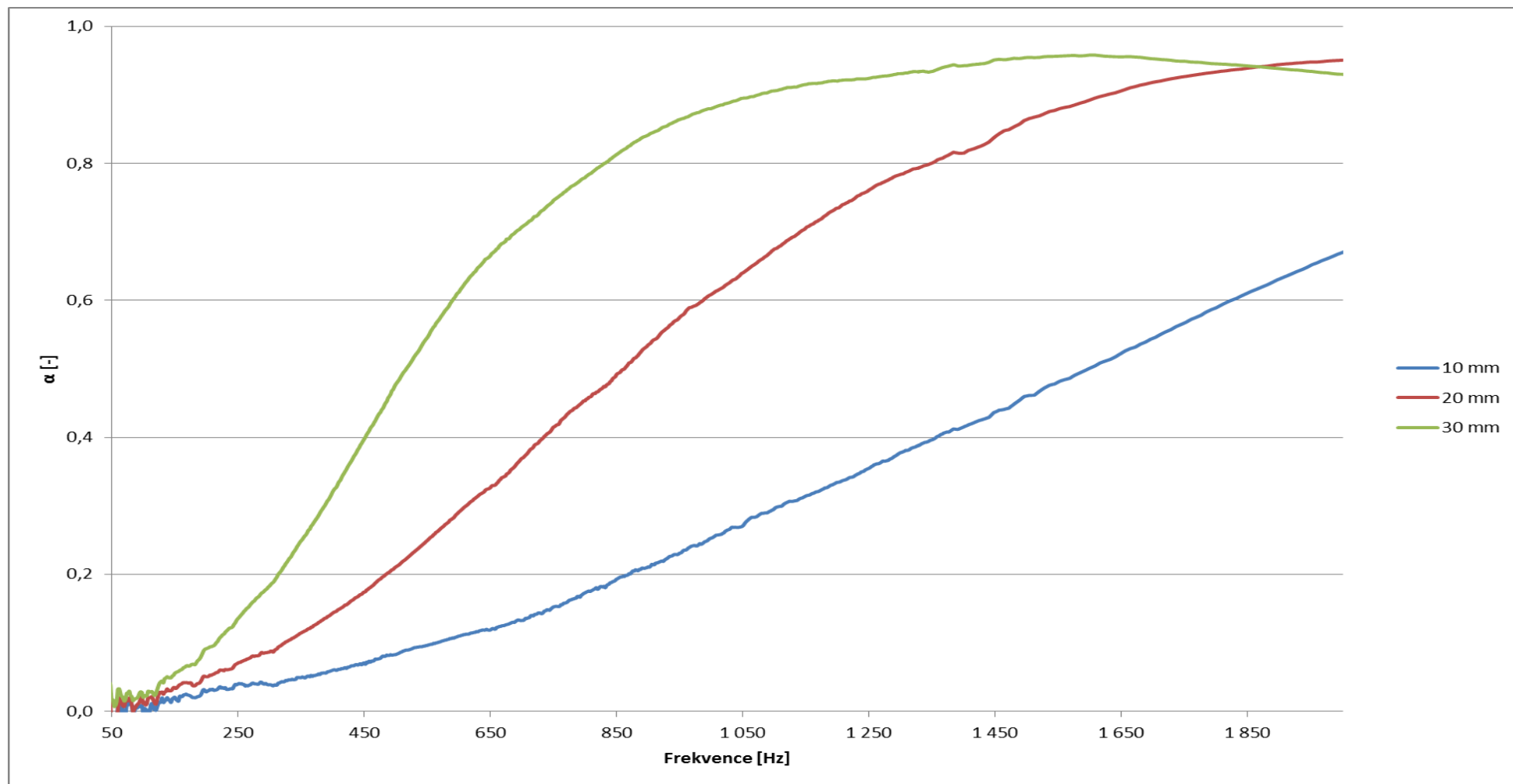
PŘÍLOHA P VI: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI – MATERIÁL BLACKWOOL A MATERIÁL PUR VPP 2020 – 50 – 2000 HZ



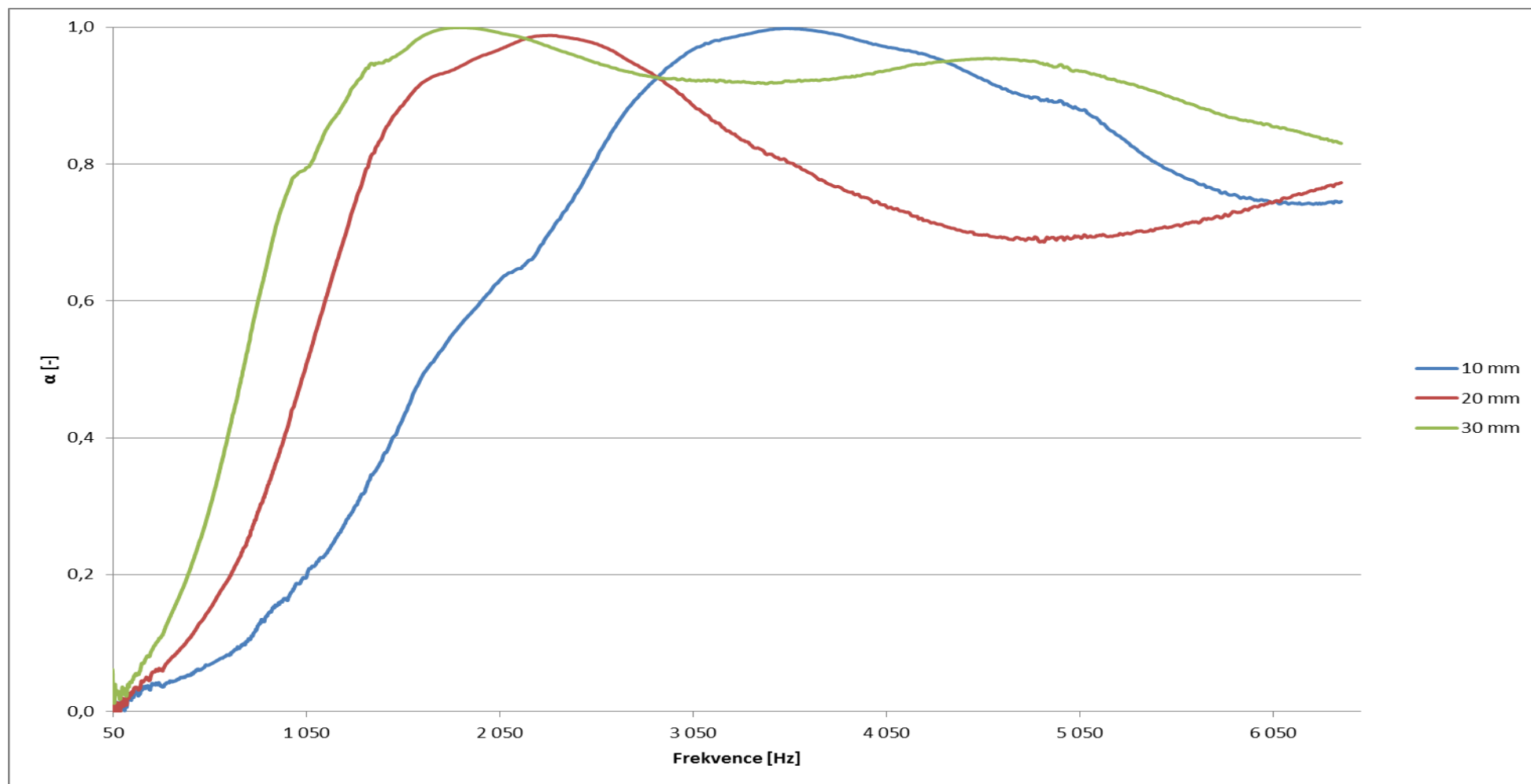
**PŘÍLOHA P VII: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - MATERIÁL
POLYAMIDOVÁ TKANINA + BLACK WOOL + POLYAMIDOVÁ TKANINA – 50 – 6400 HZ**



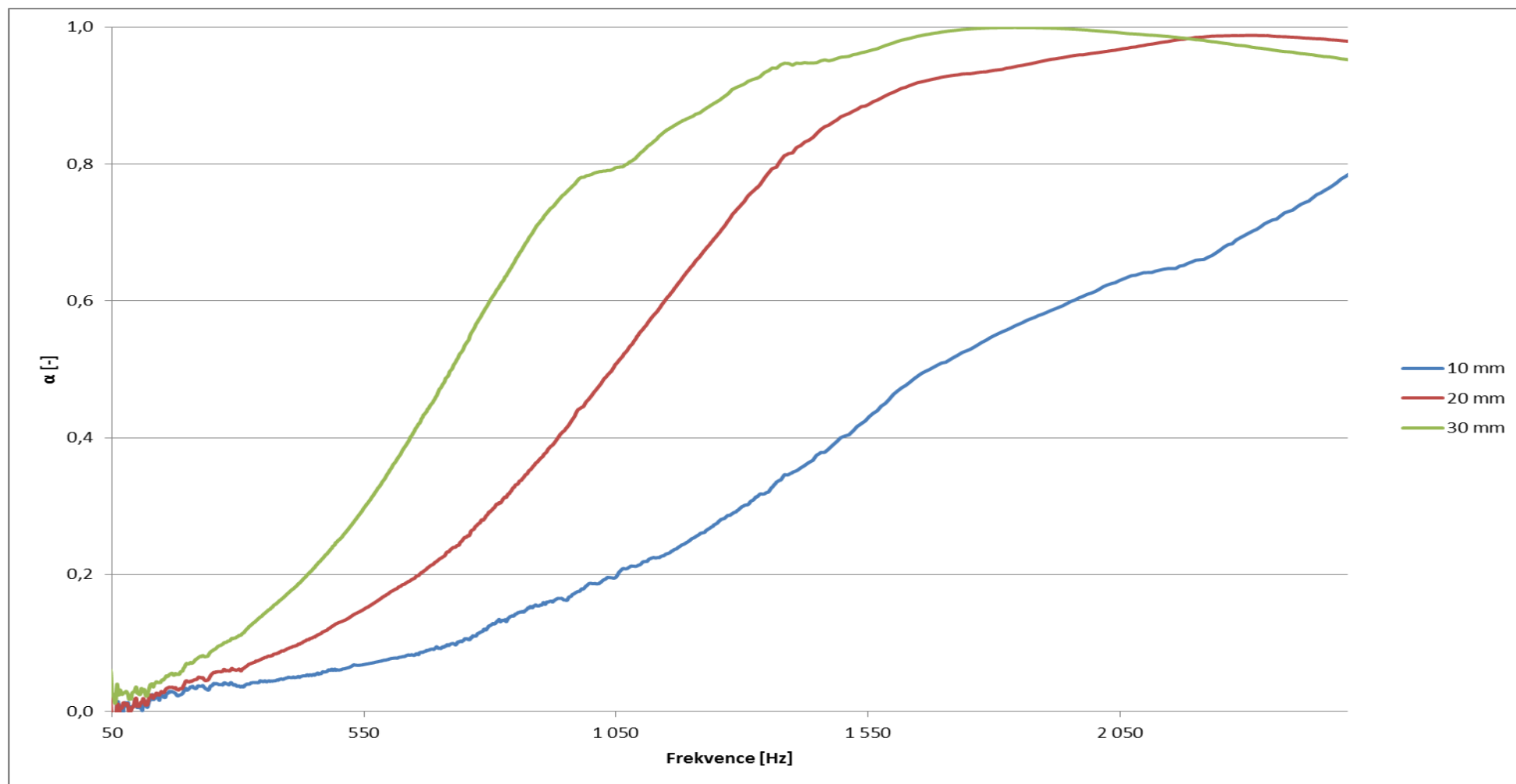
**PŘÍLOHA P VIII: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - MATERIÁL
POLYAMIDOVÁ TKANINA + BLACK WOOL + POLYAMIDOVÁ TKANINA – 50 – 2000 HZ**



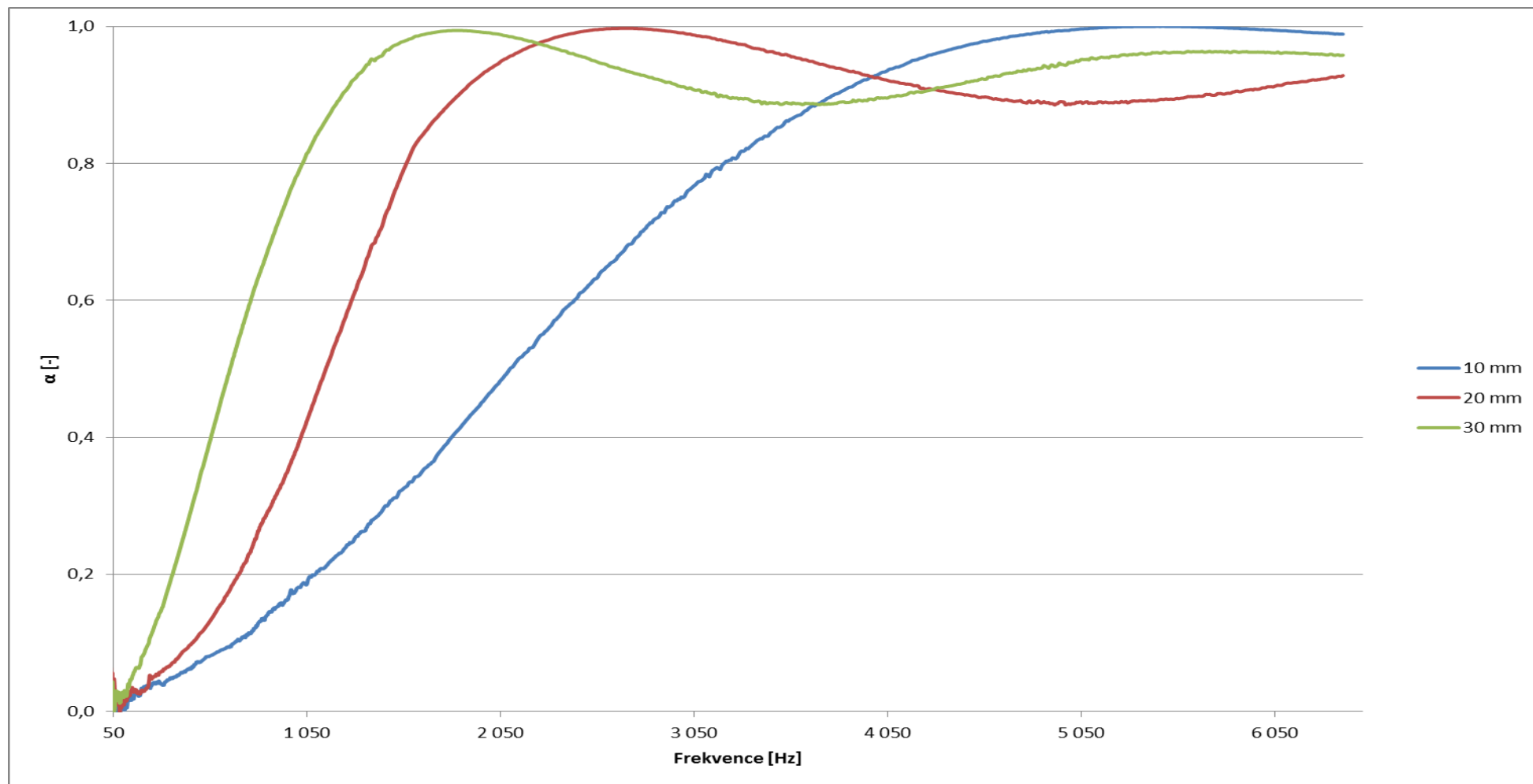
**PŘÍLOHA P IX: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - MATERIÁL
POLYPROPYLENOVÁ TKANINA + BLACK WOOL + POLYPROPYLENOVÁ TKANINA– 50 – 6400 HZ**



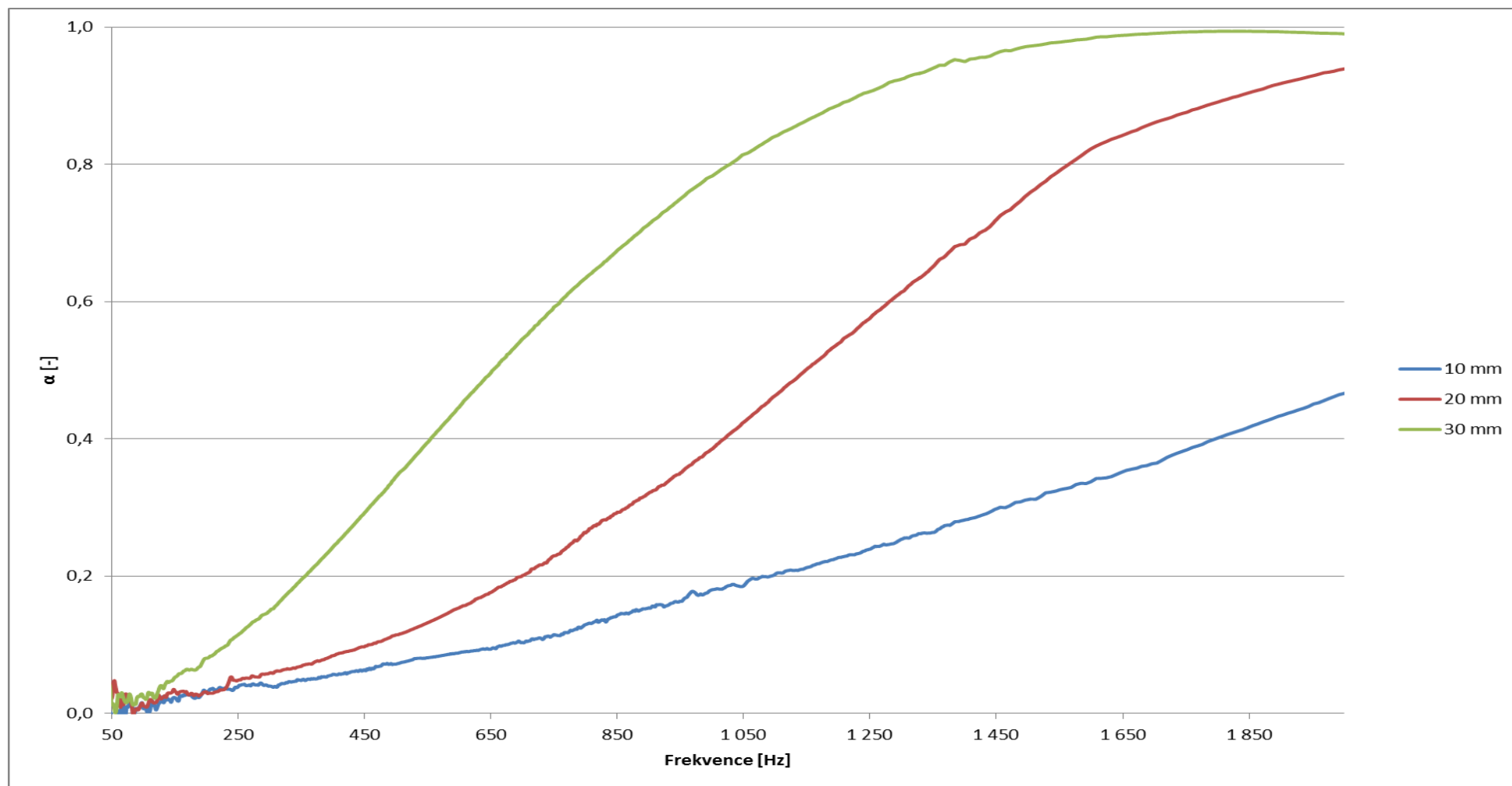
**PŘÍLOHA P X: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - MATERIÁL
POLYPROPYLENOVÁ TKANINA + BLACK WOOL + POLYPROPYLENOVÁ TKANINA – 50 – 2000 HZ**



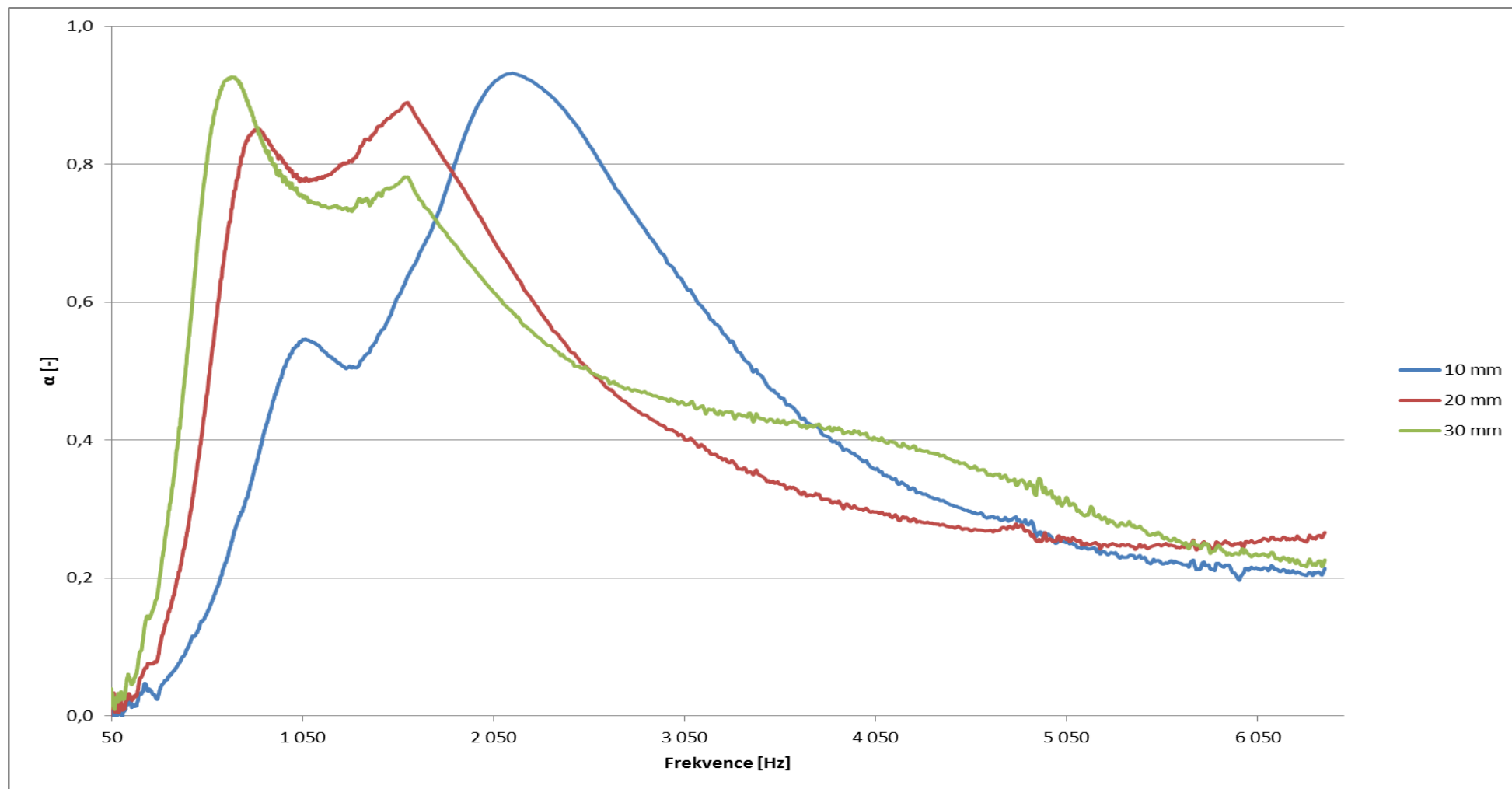
**PŘÍLOHA P XI: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - MATERIÁL
BAVLNĚNÁ TKANINA + BLACK WOOL + BAVLNĚNÁ TKANINA – 50 – 6400 HZ**



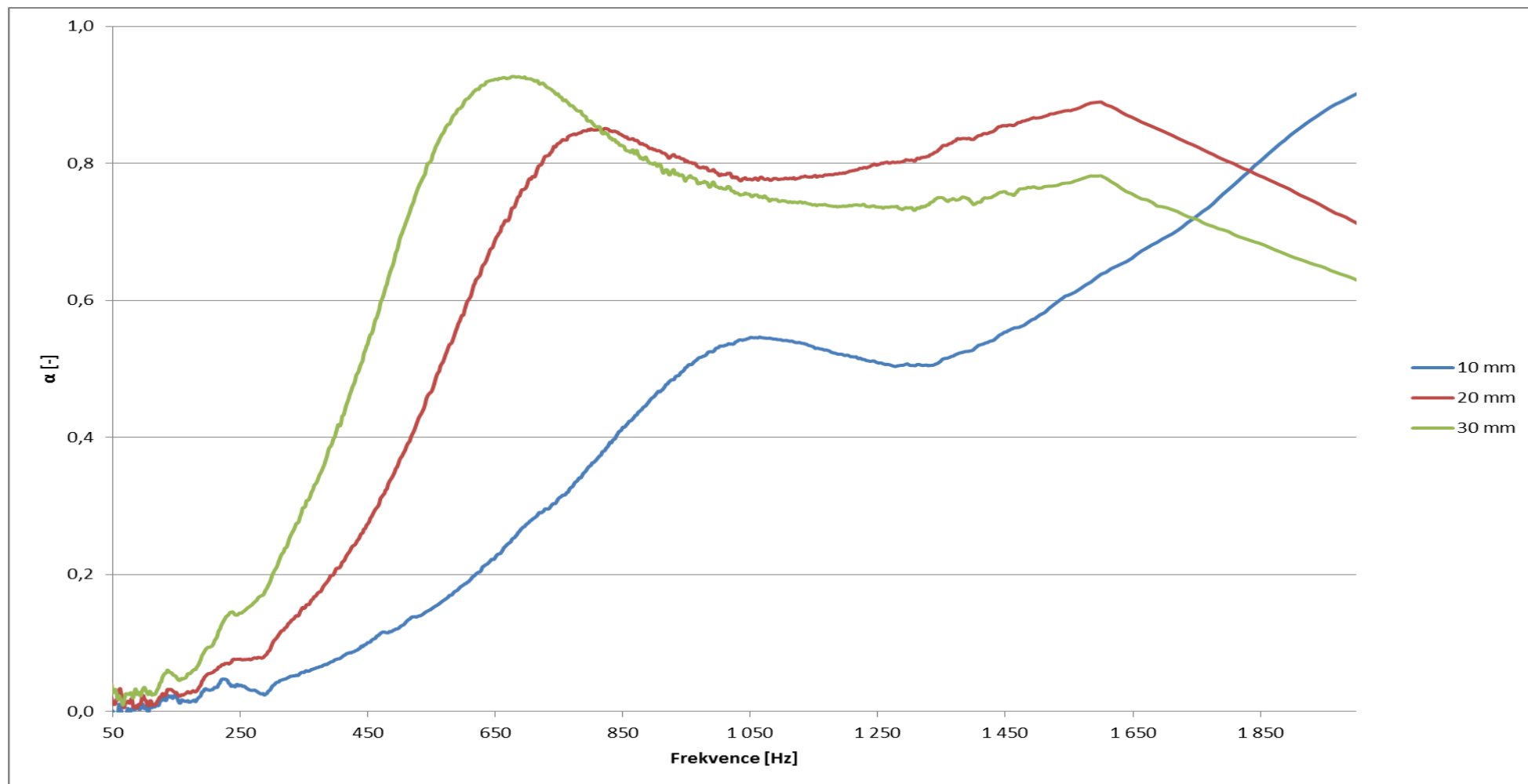
**PŘÍLOHA P XII: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - MATERIÁL
BAVLNĚNÁ TKANINA + BLACK WOOL + BAVLNĚNÁ TKANINA – 50 – 2000 HZ**



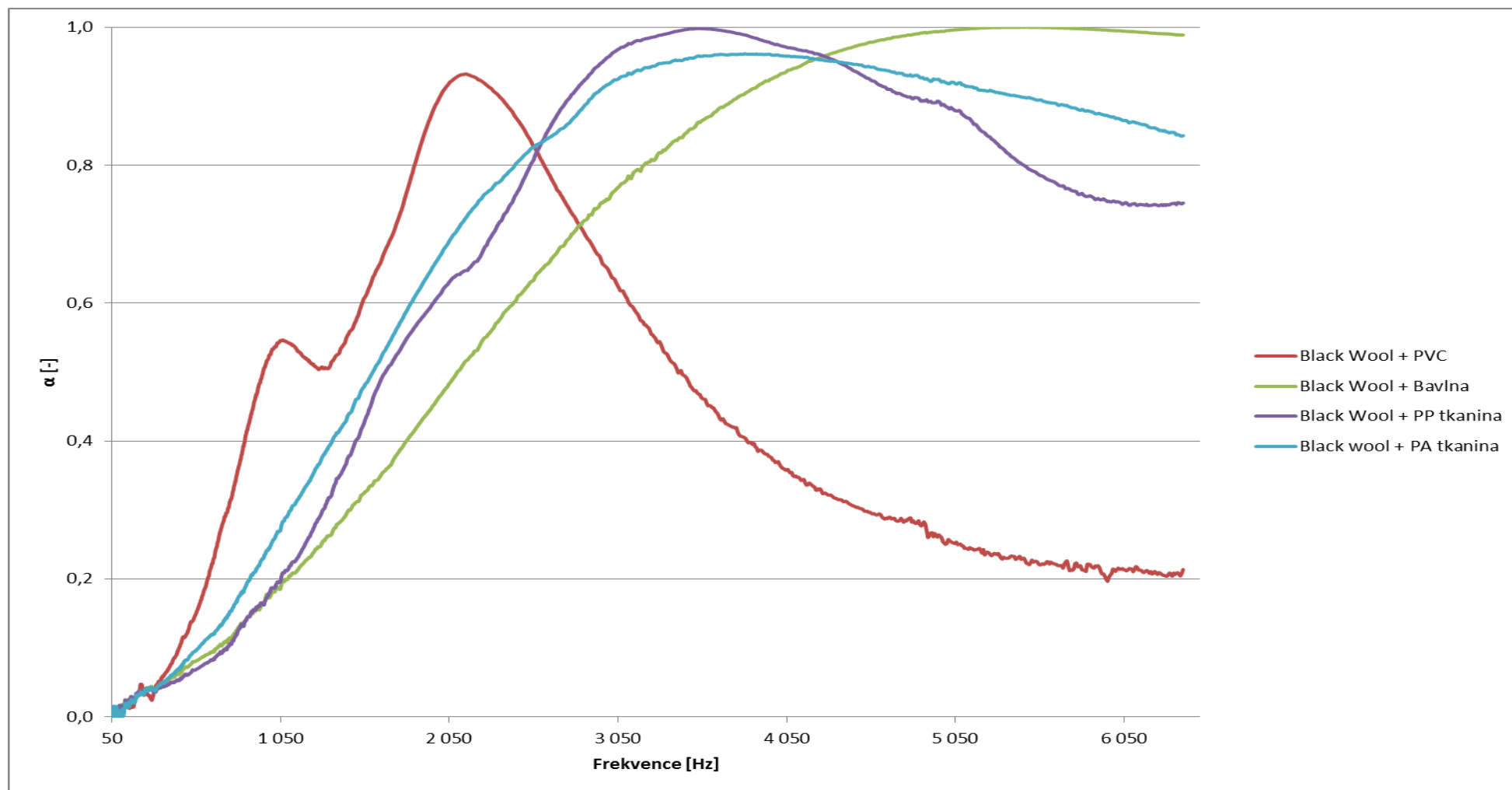
**PŘÍLOHA P XIII: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - MATERIÁL
PVC + BLACK WOOL + PVC – 50 – 6400 HZ**



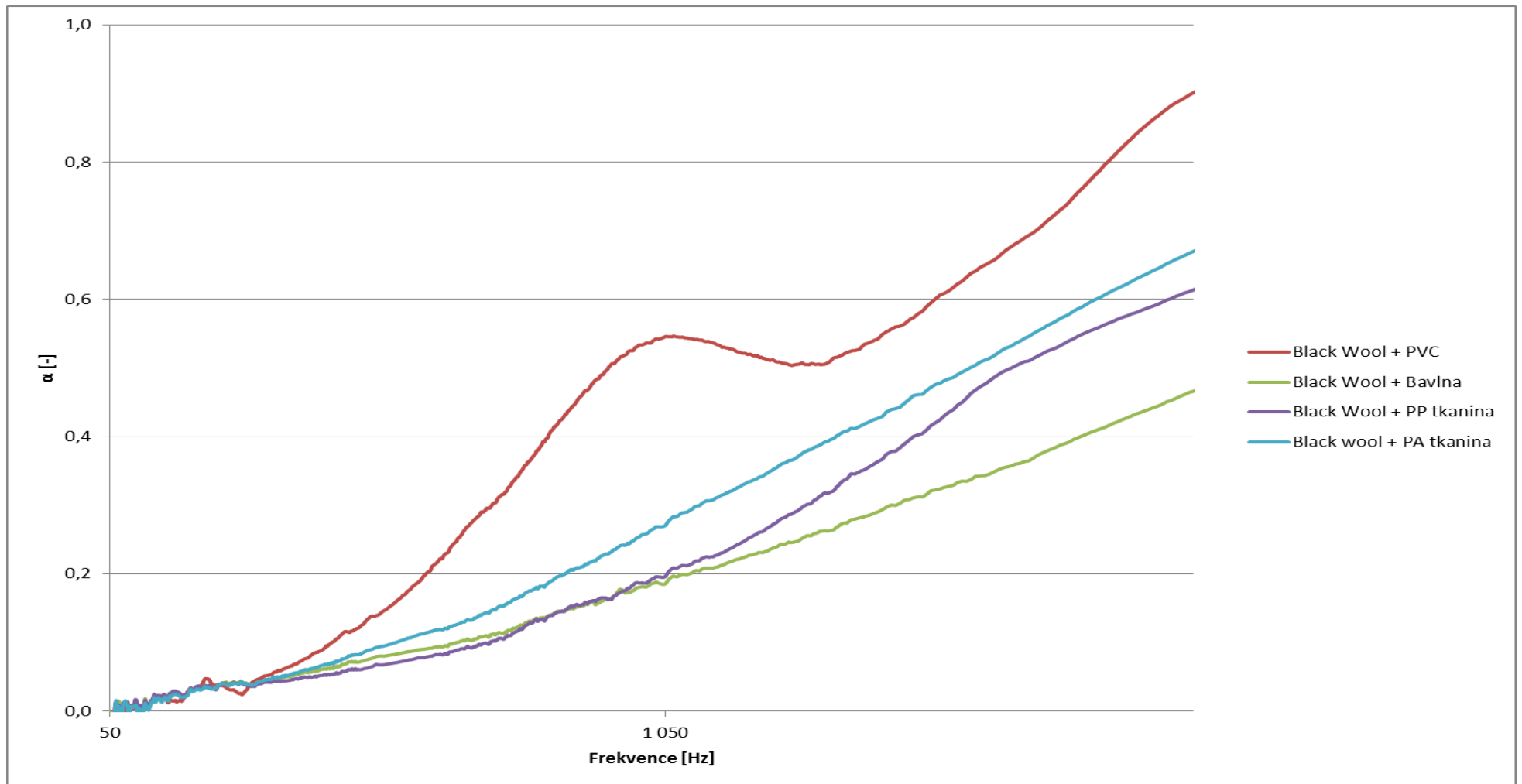
**PŘÍLOHA P XIV: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - MATERIÁL PVC
+ BLACK WOOL + PVC – 50 – 2000 HZ**



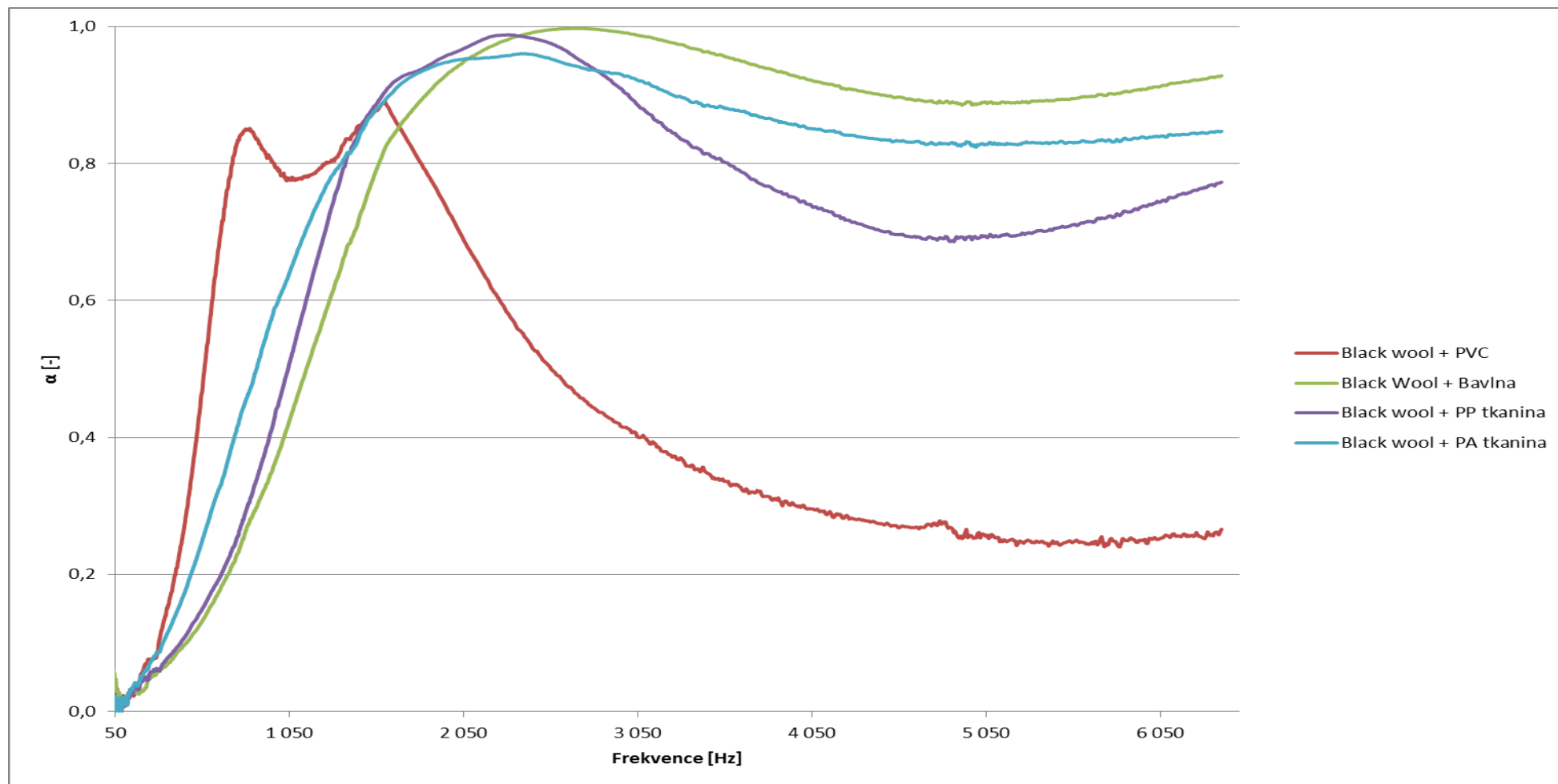
**PŘÍLOHA P XV: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - KOMBINACE
MATERIÁLU BLACK WOOL PŘI TLOUŠŤCE MATERIÁLU 10 MM- 50 – 6400 HZ**



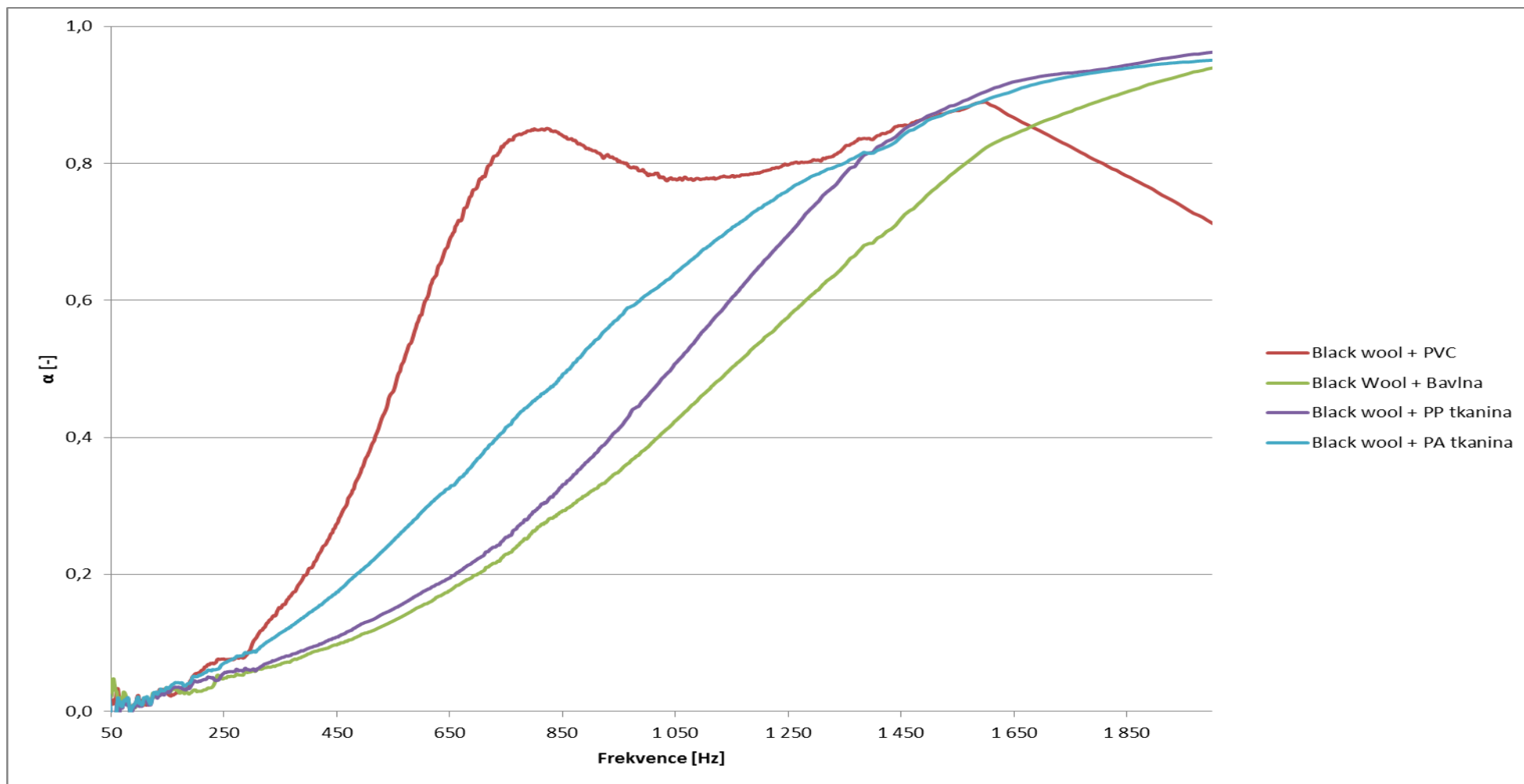
**PŘÍLOHA P XVI: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - KOMBINACE
MATERIÁLU BLACK WOOL PŘI TLOUŠŤCE MATERIÁLU 10 MM– 50 – 2000 HZ**



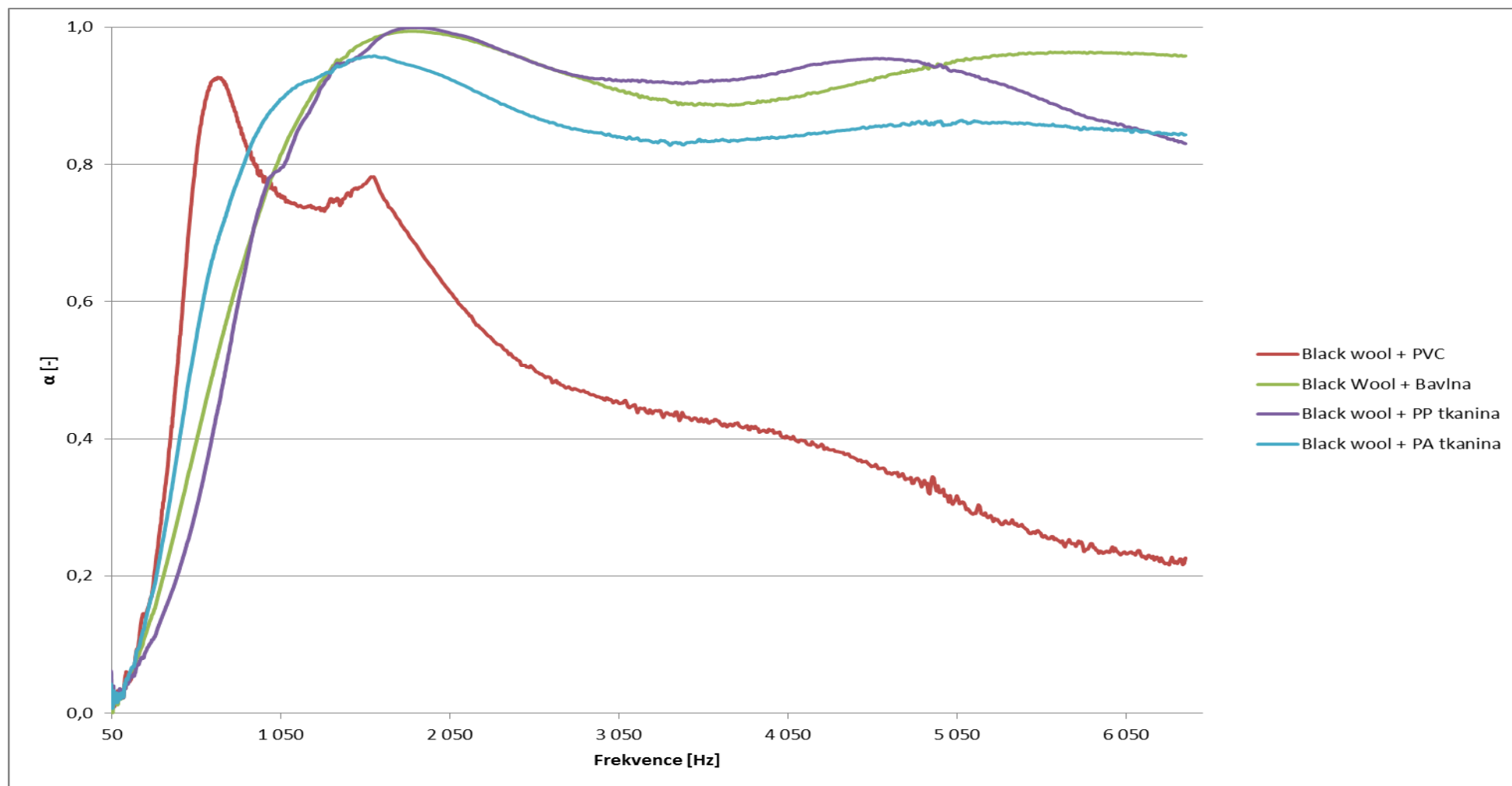
**PŘÍLOHA P XVII: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - KOMBINACE
MATERIÁLU BLACK WOOL PŘI TLOUŠŤCE MATERIÁLU 20 MM- 50 – 6400 HZ**



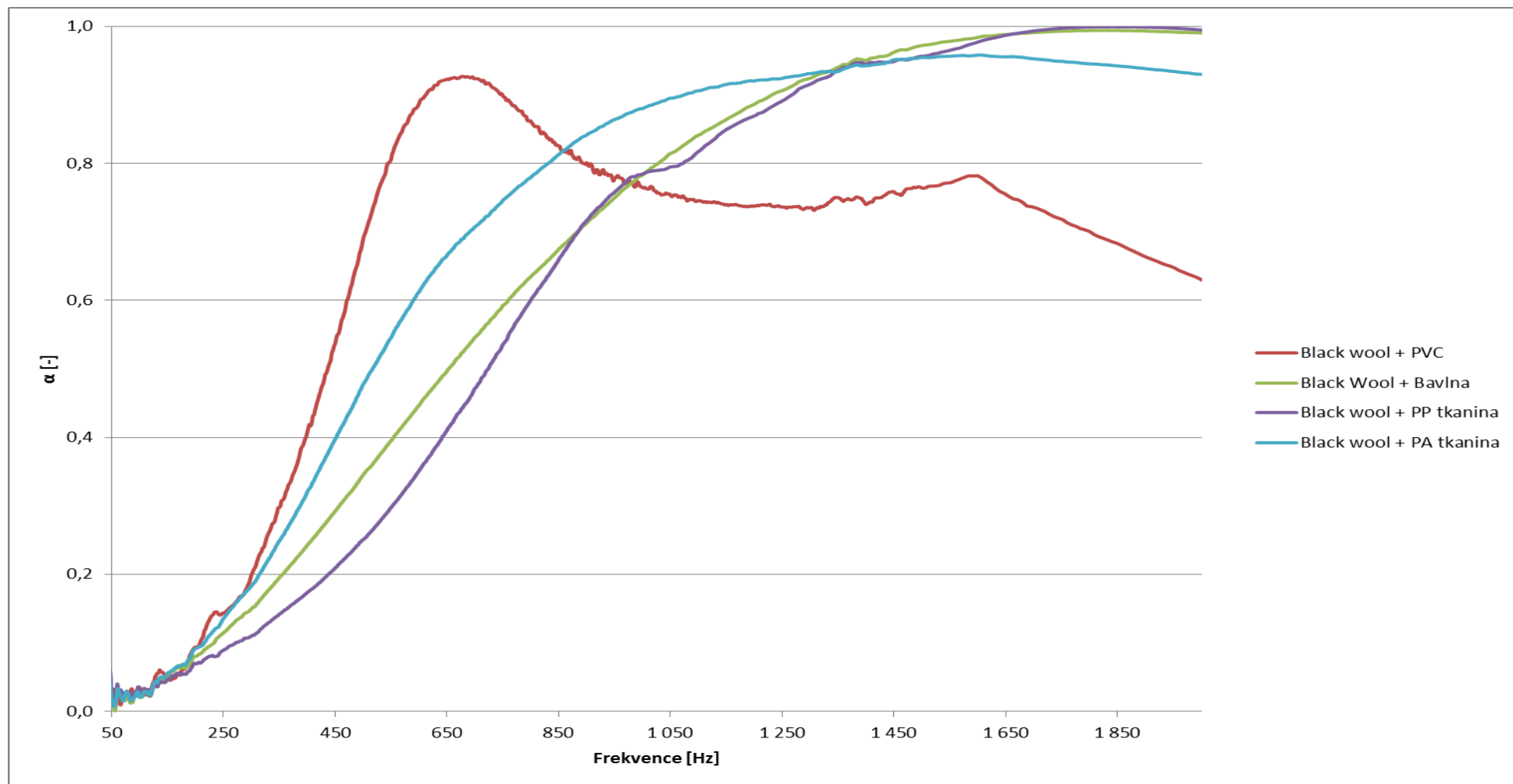
PŘÍLOHA P XVIII: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - KOMBINACE MATERIÁLU BLACK WOOL PŘI TLOUŠŤCE MATERIÁLU 20 MM- 50 – 2000 HZ



**PŘÍLOHA P XIX: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - KOMBINACE
MATERIÁLU BLACK WOOL PŘI TLOUŠŤCE MATERIÁLU 30 MM– 50 – 6400 HZ**



**PŘÍLOHA P XX: FREKVENČNÍ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI - KOMBINACE
MATERIÁLU BLACK WOOL PŘI TLOUŠŤCE MATERIÁLU 30 MM- 50 – 2000 HZ**



PŘÍLOHA P XXI: ZÁVISLOST TEPLoty NA ČASE - OCHLAZOVÁNÍ - MATERIÁL POLYAMIDOVÁ TKANINA + BLACK WOOL + POLYAMIDOVÁ TKANINA

