

## **Bakalářská práce**

# **Akustická stěna pro interiér**

*Studijní program:*

B0414A270001 Textilní marketing

*Autor práce:*

**Lukáš Černoch**

*Vedoucí práce:*

doc. Ing. Ludmila Fridrichová, Ph.D.

Katedra hodnocení textilií

Liberec 2023



## Zadání bakalářské práce

### Akustická stěna pro interiér

*Jméno a příjmení:*

**Lukáš Černoš**

*Osobní číslo:*

T20000192

*Studijní program:*

B0414A270001 Textilní marketing

*Zadávací katedra:*

Katedra hodnocení textilií

*Akademický rok:*

2022/2023

#### Zásady pro vypracování:

1. Zmapujte stávající způsob řešení pohltivosti zvuku v interiéru. Použité metody a materiály.
2. Navrhněte panel, při jehož výrobě použijete také textilní odpad a jehož způsob výroby bude možné zvládnout svépomocí.
3. Proveďte ekonomické zhodnocení návrhu.

*Rozsah grafických prací:*  
*Rozsah pracovní zprávy:* 30-40 normostran  
*Forma zpracování práce:* tištěná/elektronická  
*Jazyk práce:* čeština

### **Seznam odborné literatury:**

ŠKVOR, Zdeněk. Akustika a elektroakustika. Praha: Academia, 2001. ISBN 978-80-200-0461-1.  
LIU, Yanping a Hong HU. Sound Absorption Behavior of Knitted Spacer Fabrics. Textile Research Journal. 2010, 80(18), 1949–1957. ISSN 00405175.

*Vedoucí práce:* doc. Ing. Ludmila Fridrichová, Ph.D.  
Katedra hodnocení textilií

*Datum zadání práce:* 17. března 2023  
*Předpokládaný termín odevzdání:* 2. června 2023

L.S.

doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.  
děkan

Ing. Roman Knížek, Ph.D., MBA  
vedoucí katedry

V Liberci dne 3. května 2023

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych zde poděkoval vedoucí práce paní doc. Ing. Ludmile Fridrichové, Ph.D. za odborné vedení, věcné rady a připomínky při zpracování práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu při studiu.

## **Anotace**

Tato bakalářská práce se zabývá vývojem akustické desky pro interiér s použitím textilního odpadu. V první části je popsán současný stav poznání problematiky pohltivosti zvuku, možná řešení eliminace hluku v interiéru pomocí akustických desek dostupných na trhu a také problematika textilního odpadu a jeho vlivu na životní prostředí. Druhá část této práce je věnována měření frekvenčního rozsahu rušivých hluků v interiéru rodinného domu, dále postupem výroby samotné akustické desky a měřením pohltivosti zvuku této desky v Alfa kabině. Výstupem z měření jsou grafické záznamy závislosti akustické pohltivosti na frekvenci zvuku. V závěru jsou diskutovány výsledky jednotlivých měření a finanční zhodnocení.

Klíčová slova: akustika, zvuk, hluk, koeficient zvukové pohltivosti, akustické materiály, alfa-kabina

This bachelor's thesis deals with the development of an acoustic panel for the interior using textile waste. The first part describes the current state of knowledge of sound absorption issues, possible solutions for eliminating noise in the interior using acoustic panels available on the market, as well as the issue of textile waste and its impact on the environment. The second part of this work is dedicated to measuring the frequency range of disturbing noises in the interior of a family house plus the production process of the acoustic panel itself and measuring the sound absorption of this panel in the Alpha Cabin. The output of the measurement includes graphical records of the dependence of acoustic absorption on sound frequency. In the conclusion, the results of individual measurements and financial evaluation are discussed.

Keywords: acoustics, sound, noise, sound absorption speaker, acoustic materials, alpha-cabin

## Obsah

Seznam použitých zkratk, značek, symbolů .....	8
Úvod .....	9
1 Teoretická část .....	10
1.1.1 ZVUK .....	10
1.1.2 ZVUKOVÁ POHLTIVOST .....	10
1.2 ZVUKOVĚPOHLTIVÉ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ .....	12
1.3 AKUSTICKÉ DESKY A MATERIÁLY .....	17
1.3.1 VYBRANÉ KOMERČNĚ VYRÁBĚNÉ AKUSTICKÉ DESKY .....	18
1.4 TEXTILNÍ ODPAD A JEHO DOPAD NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ .....	20
2 Praktická část .....	24
2.1.1 <i>Základní parametry:</i> .....	25
2.2 NÁVRH EXPERIMENTU .....	25
2.2.1 VÝROBA NOSNÉHO RÁMU .....	25
2.2.2 PROMĚŘENÍ RUŠIVÝCH HLUKŮ V PROSTORU .....	30
2.2.4 JEDNOTLIVÁ MĚŘENÍ V ALFA KABINĚ .....	35
2.3 Ekonomické zhodnocení .....	38
3 Diskuse výsledků .....	40
4 Závěr .....	43
Seznam použité literatury .....	44
Seznam příloh .....	46

## Seznam použitých zkratk, značek, symbolů

<i>symbol</i>	<i>jednotka</i>	<i>popis</i>
$\alpha$	[-]	zvuková pohltivost
I	[dB]	intenzita zvuku
dB	[-]	decibel
m	[kg]	hmotnost
KP		kvalifikační práce
f	[Hz]	frekvence zvukové vlny
mm	[mm]	milimetr
kg	[kg]	kilogram
ČR		Česká republika
Kč		korun českých
m <sup>2</sup>	[m <sup>2</sup> ]	čtvereční metr



## Úvod

V minulosti se v architektuře výstavby domů či hotelů a jiných společenských budov nekladl takový důraz na estetiku prostorů samotných, protože byl zpravidla doplněn nábytkem a vybavením, který tento prostor esteticky vyplnil a vytvořil tak patřičný design. Zároveň se tím vylepšila akustika daného prostoru a nebylo zapotřebí ji dále řešit, tedy pokud nebereme v potaz určité specifické prostory, kde se akustika řešit musela, jako jsou například divadla, kina atd. Zároveň se při řešení akustiky prostorů nijak neřešila ekologie.

V současné době je v architektuře a designu kladen důraz na jednoduchost a eleganci zároveň. Většina novodobých domů či hotelů je koncipována v tomto duchu. V prostoru je použito minimální množství nábytku a jiných dekorativních prvků. Je tedy kladen důraz na minimalismus. Jsou použity materiály, které jsou snadno udržovatelné, například dlažba, kamenný obklad, nebo jen hladké stěny. Tyto materiály mají ovšem nízkou, až nulovou zvukovou pohltivost. To má za následek vytváření ozvěny, což má za následek akustický diskomfort v dané místnosti. To znamená, že se v daném prostoru necítíte úplně komfortně, například si pustíte televizi a někdo další varnou konvici, v tu chvíli neslyšíte televizi, při mluvení více lidí se dobře neslyšíte a musíte se překřikovat aj. Řešením může být doplnění interiéru akustickými deskami, které pokud možno nenaruší původní design interiéru.

Z nabídky výrobců akustických desek můžeme vybírat různé typy a druhy. Zpravidla se jedná o sendvičové akustické desky, které se skládají z vrchní krycí desky a vnitřní výplně. Většinou jsou výplně vyrobeny ze syntetické pěny, které poměrně zatěžují životní prostředí, nebo mohou být z dřevovláknitých materiálů. Ty druhé jdou již vyráběny ekologičtějším způsobem a deklarují poměrně vysokou pohltivost. Ovšem nabízí se otázka, zda jsou uvedená data výrobce skutečně pravdivé a nejedná se pouze o marketingový tah.

Dalším motivem, který mě vedl k vytvoření této práce je řešení ekologického zpracování odpadu, tedy především textilního odpadu.

Cílem práce je navrhnout akustickou desku s použitím textilního odpadu, kterou bude možné vyrobit svépomocí s co nejnižšími náklady. Panel bude vyroben z běžně dostupných materiálů, bude možné jej vyrábět svépomocí v rozměrech odpovídajících potřebám daného konkrétního prostoru.

# 1 Teoretická část

## 1.1. AKUSTIKA

V této kapitole se seznámíme se základními pojmy, které jsou potřeba uvést k přiblížení řešení problematiky této bakalářské práce.

Akustika je vědní obor zabývající se zvukovým vlněním, jeho působení v různých prostorách a jeho vliv na lidský sluchový orgán.

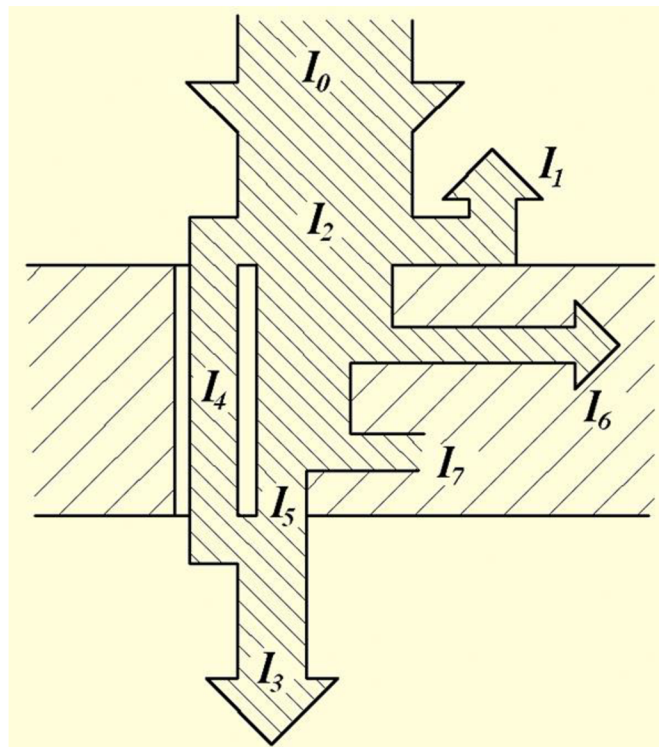
### 1.1.1 ZVUK

Jak jsme zmínili výše, zvuk je druh mechanického vlnění, při němž se kmitání šíří látkovým prostředím. Mechanické vlnění se šíří látkami všech skupenství pomocí vazebných sil působících mezi částicemi, atomy a molekulami. Prostřednictvím těchto vazeb se přenáší vlnění z jednoho bodu na druhý. Nejpřehlednější z nich je vlnivý pohyb v bodové řadě, kdy jedna její částice začne kmitat. Vznikne lineární postupná vlna. Body prostředí mohou kmitat v libovolných směrech. [1]

Mechanické vlnění pružného prostředí ve frekvenčním rozsahu 16 kmitů až 20 000 kmitů za sekundu se nazývá zvuk. [1] Mohli bychom upřesnit, že toto frekvenční pásmo vydává zvuk, který je slyšitelný pro lidský sluchový orgán.

### 1.1.2 ZVUKOVÁ POHLTIVOST

Zvuková pohltivost je schopnost daného materiálu absorbovat zvukové vlnění vyzářené nějakým zvukovým zdrojem do okolí. V praxi to znamená, že zvuková vlna dopadající na pohltivý materiál, který vytvoří zvukové vlně překážku, se částečně pohltí materiálem, částečně překážkou projde a část vlny se odrazí, což můžeme vidět na obrázku 1. Základní akustickou vlastností pohltivých materiálů je přeměna akustické energie na energii jinou, zpravidla na teplo, která je dána kmitočtovou závislostí činitele zvukové pohltivosti  $\alpha$ . [2]



Obrázek 1 Schéma rozdělení akustické energie při dopadu zvukové vlny na stěnu. [3]

- $I_0$ - Intenzita zvuku vlny dopadající na překážku
- $I_1$ - 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 prostoru
- $I_6$ - Intenzita zvuku, která je vedena ve formě chvění do ostatních částí přiléhajících konstrukcí
- $I_7$ - Intenzita zvuku přeměněná ve stěně na teplo.

Z obrázku tedy můžeme vyjádřit vztah pro činitele zvukové pohltivosti  $\alpha$ , (1):

$$\alpha = \frac{I_2}{I_0} \quad (1)$$

Princip proměny zvukové energie šířené v pevných látkách můžeme rozdělit do tří skupin, jak uvádí ve své knize Richard Nový [4] z níž jsou informace v této části kapitoly čerpány:

1. Proměny vznikající třením
  2. Proměny vznikající poklesem akustického tlaku
  3. Proměny vznikající nepružnou deformací těles
- 
1. Třením se akustická energie promění na tepelnou, jestliže se vzduch pohybuje v dostatečné blízkosti určité plochy. Čímž dochází ke tření vzduchu a pevného materiálu. Plocha, na níž dochází k tření, musí být dostatečně velká, aby se proměnilo dostatečné množství energie. Z tohoto důvodu se pro pohlcování zvuku používají porézní materiály, v nichž se zvuk šíří jemnými póry. Celková plocha pórů se násobí objemem materiálu, čímž je značně velká.
  2. K poklesu akustického tlaku dochází třením v pórech a je úměrná kvadrátu efektivní akustické rychlosti. Při šíření zvukové vlny látkou dochází ke zhuštění molekul vzduchu a zvýšení celkového tlaku. Dojde-li k snížení tlaku, sníží se i potenciální energie a energie zvukové vlny. Možností snížení akustického tlaku může být mnoho. Stlačením vzduchu dojde ke zvýšení teploty, která prostupuje dále do materiálu a okolního prostředí, nebo také do dalších částí konstrukce desky, ve které je tento porézní materiál uchycen. Snížením teploty dochází ke snížení tlaku.
  3. Proměna zvukové energie pomocí nepružné deformace probíhá u materiálů, které se vyznačují tzv. pružnou hysterezí. Jestliže stlačíme materiál s touto vlastností, Nevrátí se po působení síly do původního stavu. Z toho vyplývá, že práce vykonaná na deformaci tělesa je větší, než práce vykonaná pružným materiálem při návratu do původního stavu. Tento rozdíl představuje úbytek zvukové energie, který je zapříčiněn činitelem vnitřního tlumení zvuku v materiálu.

## 1.2 ZVUKOVĚPOHLTIVÉ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ

Různé druhy a uspořádání materiálů a konstrukcí použitých pro pohlcování zvuku slouží ve vnitřních prostorech k úpravě doby dozvuku, zvýšení srozumitelnosti a k snížení hladiny hluku v daném prostoru, kde se zdroj zvuku zpravidla nachází. To napomáhá k vytvoření akustického

komfortu vnitřních prostor a vytváří harmonické prostředí pro pobyt osob v těchto prostorech. Výběr vhodného materiálu se určuje nejen akustickými požadavky, ale také se přihlíží na hledisko estetické, hygienické, požární apod.

Zvukově pohltivé vlastnosti materiálů určuje číselný koeficient zvukové pohltivosti  $\alpha$ , který je závislý na frekvenci a také na směru dopadu zvukové vlny. Pro kolmý dopad zvukové vlny se číselný koeficient pohltivosti označuje  $\alpha_N$  a nabývá hodnoty 0 až 1. Číselný koeficient pohltivosti pro všesměrový dopad zvuku se označuje  $\alpha_s$  a zjišťuje se v dozvukové komoře. Vlivem ohybových jevů na okrajích vzorku může být ekvivalentní plocha vzorku větší než vlastní plocha vzorku a číselný koeficient pohltivosti  $\alpha_s$  pak může dosáhnout i vyšších hodnot než 1. [5]

V naší práci budeme pracovat pouze s číselným koeficientem pohltivosti pro všesměrový dopad zvuku, a proto ho zde pro naše potřeby budeme značit obecným označením číselného koeficientu pohltivosti, tedy  $\alpha$ .

Jak také zmínil ve své práci Aleš Šaman, z hlediska vlastností materiálů používaných pro pohlcování zvuku můžeme tyto materiály rozdělit do dvou skupin dle charakteristiky způsobu pohlcování a to na:

### **Porézní materiály**

Pod pojmem porézní materiál máme v oblasti akustiky obvykle na mysli pevnou látku, v jejímž objemu jsou malé dutinky vyplněné vzduchem. Poměr objemu těchto dutinek v látce k celkovému objemu látky je dostatečně velký a činí asi 80 až 99 % celkového objemu. Porézní materiál tvořící akustický prvek má buď strukturu tvořenou z vláken, nebo strukturu ztužené pěny. Jestliže má materiál dobře pohlcovat zvuk, musí být její póry navzájem propojeny, aby se zvuk mohl materiálem šířit dále a zvuková vlna tak postupně mohla snižovat svou intenzitu vlivem tření a odrazení o stěny pórů. Póry nemusí být propojeny u materiálů, jejichž kostra je velmi poddajná, elastická, takže zvuk do ní z pórů snadno přechází. Příkladem takových materiálů mohou být zpeňované měkké plastické materiály (akustické pěny), nebo vlákněná rovinata. [5]

Tyto materiály mají nízký koeficient zvukové neprůzvučnosti, to znamená, že nezlepšují zvukoizolační vlastnosti konstrukcí, ale vysokým koeficientem zvukové pohltivosti přispívají ke snížení hladiny hlukových ruchů v interiéru. Energie dopadající na materiál je částečně pohlcena, částečně odražena a částečně prochází skrz materiál. Při odrazu zvukové vlny od porézního materiálu zároveň dochází ke snížení amplitudy této vlny. [6]

### Tenké kmitající membrány

Pod pojmem tenká kmitající membrána si můžeme představit tenkou desku nebo fólii, nejlépe porézní, jejíž tuhost v ohybu je velmi malá a která je upevněná na tuhém rámu v určité vzdálenosti od pevné stěny. Pohltivost těchto útvarů je dána přeměnou akustické energie na energii kinetickou a tím je dosaženo rezonančního efektu membrány. Membrána disponuje určitou hmotností  $m$  o konstantní plošné hmotnosti [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ]. Vzduchový polštář vytváří pružinu, jejíž tuhost je  $k$  [ $\text{N}/\text{m}$ ]. Prostor mezi membránou a zadní pevnou stěnou je zpravidla vhodně vyplněn porézním materiálem, který utlumí kmitání částic vzduchu v tomto prostoru a tím i celou soustavu. Obvykle je volena membrána z takového materiálu, aby její ohybová tuhost byla ve srovnání s tuhostí vzduchového polštáře mnohem menší. Na základě toho se pak vliv upevnění membrány na okraji prakticky neprojeví a membrána se bude pohybovat jako celek podobně jako se pohybuje kmitající píšť.[7]

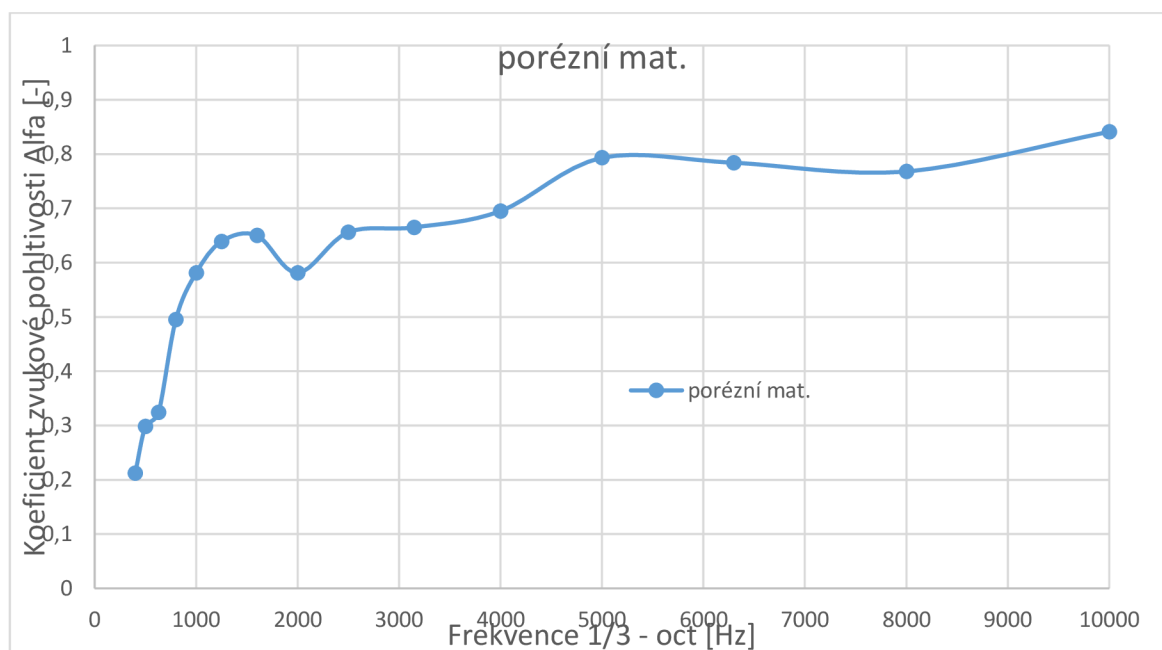
Dále se můžeme v odborných člancích a odborných pracích dočíst další poznatky. Například jak uvádí ve své práci Klára Kalinová, testováním a výzkumem bylo zjištěno, že porézní materiál pohlcuje zvuk převážně a hlavně v oblasti vyšších frekvencí, kdy v nepravidelných pórech dochází k přeměně energie zvukových vln na energii tepelnou v důsledku tření mezi jednotlivými póry a vláknými strukturami. Se zvyšující se tloušťkou porézního materiálu se zvyšuje činitel zvukové pohltivosti a zároveň se maxima činitele zvukové pohltivosti posouvají směrem k nižším frekvencím. V případě nutnosti tlumení zvuku o nižších frekvencích nejsou tyto porézní materiály účinné, jelikož jejich účinek se snižující se frekvencí rapidně klesá a to z toho důvodu, že se proces přeměny tepla vlivem tření stává v nižších frekvencích izotermický. [6] [8]V podstatě se zastaví. Jak můžeme vidět na obrázku 2.

Naproti tomu akustické prvky založené na principu rezonance, tedy například tenké kmitající membrány pohlcují akustickou energii nižších zvukových frekvencí. Ovšem tedy v poměrně úzkém pásmu. Znamená to tedy, že od rezonančního kmitočtu směrem k vyšším kmitočtům hodnoty činitele zvukové pohltivosti rychle klesají. Tento akustický prvek tedy nemá širokopásmový účinek. [6] To nám zobrazuje obrázek 3.

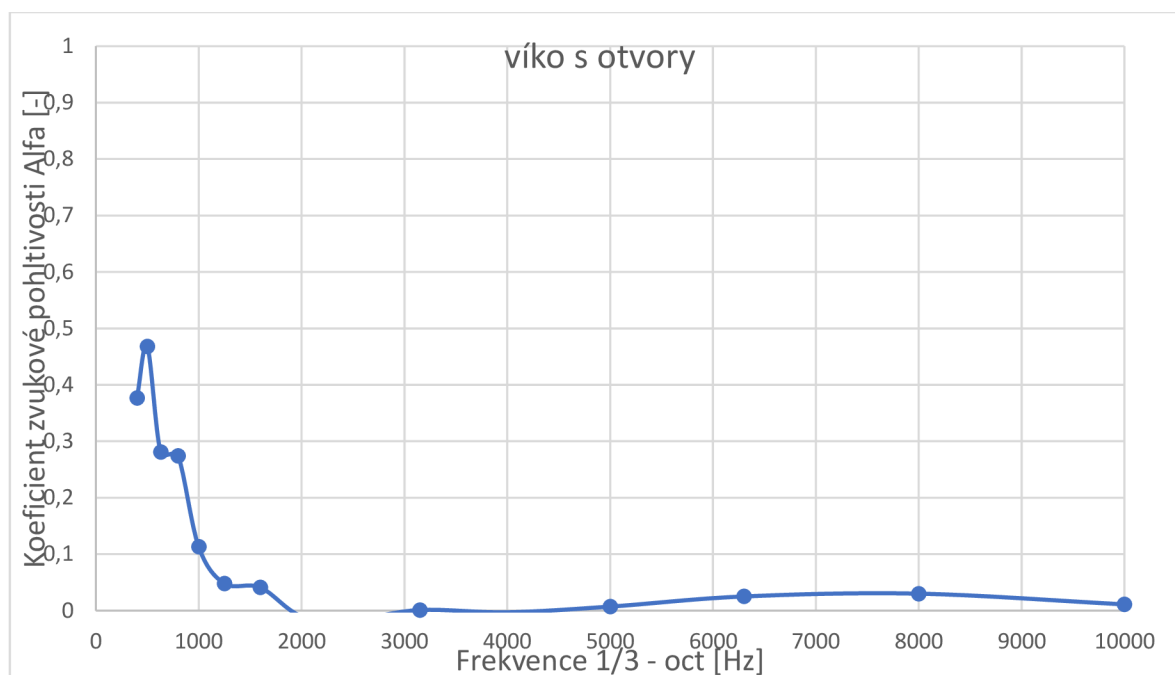
Rovněž zde můžeme zmínit poznatek z práce paní Kalinové, která uvádí, že použijeme-li tuhou desku namísto membrány tak není možno výrazně ovlivňovat akustickou impedanci použitím vložených porézních materiálů ve vzduchovém polštáři uvnitř akustického prvku. Je to způsobeno tím, že mechanické ztráty třením v uložení desky jsou obvykle větší než u vloženého

materiálu. I přesto se do vzduchového polštáře tento materiál vkládá. [6] Ovšem už se zde neuvádí, zda se jedná o tuhou desku s póry, tedy otvory pro prostup zvuku za tuto desku do porézního materiálu, nebo o desku plnou, bez pórů.

V oblasti vývoje membránových rezonátorů byla provedena řada výzkumů. Jako jedna z nejslibnějších alternativ materiálů pro pohlcování zvuku jsou mikroperforované desky s průměrem otvorů pod jeden milimetr (0,5 – 1 mm). Také textilie, jak netkané, tkané, či pletené v poslední době přitahují v tomto výzkumu pozornost kvůli jejím nízkým nákladům na výrobu a také s ohledem na nízký dopad na životní prostředí, uvažujeme-li hlavně o přírodních materiálech (vlna, kapok), ideálně z místních zdrojů čímž se sníží emise způsobené dopravou. U netkaných textilií bylo provedeno nejvíce výzkumů, avšak navzdory jejich slibným vlastnostem pohlcování zvuku a jejich nízkým nákladům je těžké vyrobit texturovaný povrch s esteticky příjemným vzhledem. Proto jsou netkaná vláknitá rouna zpravidla překryta tkaninou. Ovšem i u tkanin bylo rovněž provedena řada výzkumů, například vlivu plošné hmotnosti a poréznosti na absorpci zvukové frekvence. [8] [9]



Obrázek 2 graf akustické pohltivosti porézního materiálu



Obrázek 3 graf akustické pohltivosti desky jako rezonátoru

S touto problematikou se také částečně zabývá paní Kořenková ve své bakalářské práci, kde zkoumá u vybraných materiálů a jejich různé tloušťce pohltivost zvuku těchto materiálů. Měření provádí pomocí dvou mikrofonové impedanční trubice. I když se ovšem plně nedá opřít o její výzkum, ale i tak zde stojí zato zmínit některé její výsledky měření, konkrétně u manšestru. *Z pohledu tloušťky vrstvy materiálu lze tedy konstatovat, že materiál Manšestr vykazuje nejlepší akusticko-izolační vlastnosti ve frekvenčním spektru od 250-2000 Hz, což je pro lidský sluch nejvýznamnější oblast. Při pohledu na celou frekvenční oblast (Přílohy PIII a PIV) je u materiálu Manšestr patrné, že při pohlcování akustické energie se nemění výrazně závislost koeficientu akustické energie na frekvenci podle počtu vrstev, ale rozhodujícím faktorem je morfologie povrchu tohoto materiálu.* [10] Zajímavé je také zjištění, že manšestr vykazuje stejné, nebo dokonce o něco lepší zvukově pohltivé vlastnosti pokud je měření prováděno z rubní strany, minimálně v první vrstvě tohoto materiálu. [10] Viz tabulka 1.

Ovšem toto měření nebylo potvrzeno opakovaným měřením. Nicméně z hlediska snadnějšího ošetřování by toto mohlo být dobré řešení, jelikož je rubní strana hladší. Z tohoto hlediska jsme se rozhodli v našem vývoji akustické desky tento materiál vyzkoušet jako vrchní krycí vrstvu, která bude zároveň tvořit kmitající rezonátor a částečně i porézní materiál.



Tabulka 1 Hodnoty měřených materiálů [10]

Materiál	Počet vrstev	$\alpha_{\max}$ [-]
Manšestr líc	1	0,390
Manšestr líc	2	0,537
Manšestr líc	3	0,696
Manšestr rub	1	0,5
Manšestr rub	2	0,594
Manšestr rub	3	0,705

Z výše uvedeného je patrné, že textilní materiál je z hlediska své konstrukce, struktury a velké porozitě jednoznačně jedním z nejlepších materiálů pro pohlcování zvukové energie a její přeměnu na energii jinou. Nevýhodou zde může být hořlavost textilních vláken a náchylnost na znečištění prachovými částicemi. To lze však odstranit pomocí dalších úprav, pokud to bude zapotřebí. K výhodám tohoto materiálů můžeme připočítat další přidanou hodnotu a tou je termoizolační vlastnost textilního materiálu.

Dále můžeme říci, že pro naše účely, tedy vytvoření zvukové izolace pro interiéry, kde je pravděpodobné, že zdroje nepříjemného hluku se budou pohybovat v rozmezí 100 Hz až 4 000 Hz bude zapotřebí využít kombinaci dvou způsobů pohlcování zvukové energie. To znamená jak využití porézního materiálu, tak zároveň kmitající membrány v podobě děrované desky, nebo napnuté textilie.

### 1.3 AKUSTICKÉ DESKY A MATERIÁLY

V současnosti nabízené akustické materiály, tedy především akustické desky jsou vyráběny z různých materiálů. Nejčastěji se jedná o desky z akustické pěny, nebo sendvičové desky.

Akustické pěny jsou nejčastěji vyráběny z polyuretanu. Jejich výhodou je relativně nízká hmotnost, vysoká zvuková pohltivost. Mezi nevýhody můžeme zařadit, vysokou hořlavost, ekologickou zátěž při výrobě, ale i při likvidaci. Dále můžeme zmínit špatnou udržovatelnost a omyvatelnost, tato desky se více hodí do nahrávacích studií, nežli do interiérů domů či hotelů z hlediska jejich údržby, ale mohou být využity jako menší estetické prvky, například jako obrazy, nebo jiné designové prvky. Další nevýhodou je i relativně vysoká pořizovací cena.

Sendvičové desky jsou na tom z pohledu ekologie mnohem lépe. Většinou se jedná o konstrukci tvořenou z několika vrstev materiálu, jejíž hlavní složkou je dřevo, pro pohlcení akustické energie je zpravidla použit nějaký dřevovláknitý materiál, ale může být použit také papírový

karton, nebo písek. Vrchní materiál bývá dřevěný s povrchovou úpravou a k prostupu zvuku do spodních vrstev desky dochází vytvořenými otvory ve vrchní desce, nebo drážkami. Výhodou je výborná omyvatelnost, výroba a likvidace tolik nezatěžuje životní prostředí (hlavním materiálem je dřevo). Nevýhodou může být vysoká cena.

### 1.3.1 VYBRANÉ KOMERČNĚ VYRÁBĚNÉ AKUSTICKÉ DESKY

V této části se seznámíme s některými komerčními výrobci akustických desek a jejich výrobky, které v dnešní době nabízejí na trhu, jejich konstrukcemi, složením a vlastnostmi.

V současné době je na Českém trhu velký výběr akustických desek od různých výrobců a různého materiálového složení. Navíc většina výrobců nabízí široký sortiment akustických desek. My si zde pro naše účely vybereme pouze dva různé náhodně vybrané výrobce, kteří vyrábí desky podobným způsobem a z podobných materiálů, které jsou použity v naší práci vývoje akustické desky. Jedná se tedy o výrobce sendvičových desek, které jsou tvořené většinou z pevné perforované vrchní desky a vnitřního dřevovláknitého, případně podobného materiálu. Z dostupných technických tabulek výrobce pak porovnáme hodnoty pohltivosti, ceny a ekologického dopadu s námi vyvíjenou akustickou deskou. Pro naše účely tedy byly náhodně vybrány tyto výrobky dvou výrobců na trhu:

#### AKUSTICKÁ MIKROPERFOROVANÁ DÝHOVANÁ DESKA INOIS MICRO

Výše uvedená akustická deska je nabízena firmou Fornier ze Slovenska. Její cena zjištěna na základě telefonického hovoru s panem Matějem Žákovským dne 16. 2. 2023 začíná, dle použitých materiálů (jak vrchní desky, tak i materiálů v struktuře desky), na částce 130 euro za metr čtvereční. Nejmenší nabízený rozměr desky je 1100x2200mm. Což je 2,42 metrů čtverečních, tedy přibližně 314 euro. Vzhledem k vysokým nákladům na nákup akustické desky a jejím následným znehodnocením za účelem měření jsme se rozhodli zde uvést pouze tabulkové hodnoty výrobce, které jsou zobrazeny na obrázku číslo 4. Uvedené hodnoty nám poslouží pro porovnání výsledků našich experimentů.

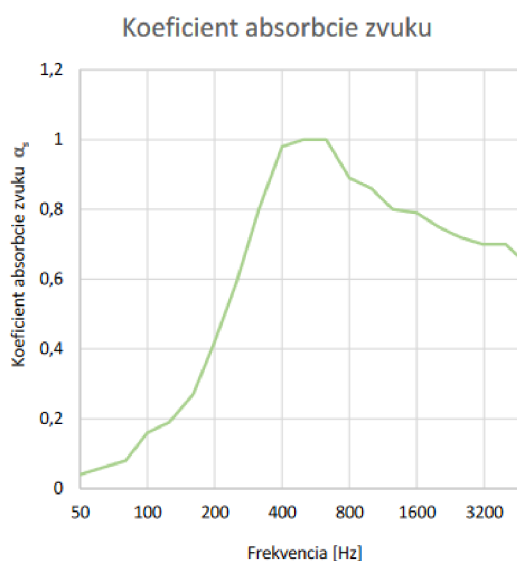
Jedná se o vysoce kvalitní akustickou desku splňující i ty nejvyšší požadavky pro ochranu před hlukem ve spojení s přirozeným vzhledem dřeva. Materiál se vyrábí z různých formátů MDF desek. Ze zadní strany MDF desky si pod nalisovanou akustickou fólií můžete vybírat z různých rastrů vrtaných děr. Na přední stranu desky se lisuje přírodní dýha, která je děrovaná tzv. mikro perforací s rastrem 2.5 / 2.5 / 0.5mm, díky čemuž nezasahuje do celkového vzhledu deskového

materiálu. INOIS® MICRO proto vyniká nejen akustickou pohltivostí zvuku, ale i přirozeným vzhledem dřeva s viditelnou neopakovatelnou strukturou, jak uvádí výrobce. [11]

**VÝSLEDKY MERANIA ÚROVNE ABSORPCIE ZVUKU Rám 30mm + minerálna vlna 30mm**

Opis a meranie absorpcie zvuku vo zvukových miestnostiach. Metóda skúšania v súlade s STN EN ISO 354: 2004.  
 Skúšobné teleso: nosné otvory INOIS® MICRO 17 mm, dierovanie nosnej dosky 8/8/7 mm, s akustickou textíliou na ráme 30 mm a na zadnej strane 30 mm hrubým izolačným materiálom.

Frekvencia [Hz]	Koeficient absorpcie zvuku $\alpha_{si}$ [-]
50	0,04
63	0,06
80	0,08
100	0,16
125	0,19
160	0,27
200	0,42
250	0,59
315	0,8
400	0,98
500	1
630	1
800	0,89
1000	0,86
1250	0,8
1600	0,79
2000	0,75
2500	0,72
3150	0,7
4000	0,7
5000	0,64
$\alpha_w$	0,80
NRC	0,8



Obrázek 4 Výsledky měření pohltivosti zvuku desky Inios Micro [12]

**AKUSTICKÁ DESKA MERILYNE 8/25**

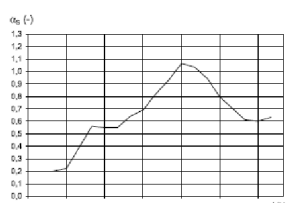
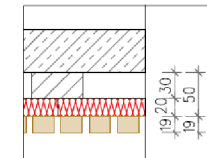
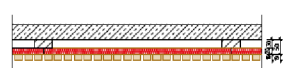
Výše uvedená akustická deska je nabízena firmou Novatop. Firma vyrábí několik druhů akustických panelů, tyto akustické panely vyrábí z třívrstvé masivní desky (SWP), kterou dále na CNC strojích perforují do různých profilů. Tvar a podíl perforované plochy se u jednotlivých profilů liší. Základní cena panelů za metr čtvereční dle internetových stránek firmy (<https://novatop-system.cz/cenik-acoustic/>) ke dni 6. 4. 2023 začíná na částce 2 533 korun. Základní rozměr nabízené desky pak činí 625mmx2500mm.

Námi vybraný panel navíc disponuje dvou centimetrovou vrstvou tepelně zvukové izolace Steico flex vyrobené z dřevovláknitého rouna, což se rozměry přibližuje našemu vyvíjenému

vzorku akustického panelu. Tento panel deklaruje dle dostupných materiálů tzv. vyváženým činitelem zvukové pohltivosti  $\alpha_w$  0,75, jak znázorňuje obrázek číslo 5 níže. [13] [14]

## NOVATOP ACOUSTIC DIAGRAMY ZKOUŠEK

OBSAH

Číslo /profil	Skladba	Celková tloušťka [mm]	Dutý prostor	Plášťová hmotnost [kg/m <sup>2</sup> ]	Diagram	Řez
3.1 PROFIL MERILYNE 8/25	Vzduchová mezera [30 mm]	40	50	12,8		
	Příčný hranol [21 mm]					
	Steico Therm SD [20 mm]					
	SWP s perforací [19 mm]					
	Vážený činitel zvukové pohltivosti [ $\alpha_w$ ]			0,75		
	Třída pohltivosti			C	Číslo protokolu 311/12	

Obrázek 5 Diagram profilu Merilyne 8/25 [15]

### 1.4 TEXTILNÍ ODPAD A JEHO DOPAD NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

V této kapitole se blíže seznámíme s materiálem použitým v našem experimentu.

Jak již bylo zmíněno v úvodu, jedním z hlavních materiálů použitých pro výrobu akustického panelu je textilní odpad, který se již dnes jeví jako problematický pro další zpracování a hledají se další možné cesty jeho využití, neboť je ho přebytek. To, že bude použit, by mělo mít za následek snížení nákladů na výrobu akustické desky, ale zároveň také snížení ekologické zátěže na životní prostředí. A to nejen pro samotný výrobek, ale také pro celý textilní průmysl, i když jen částečně, v menší míře.

Dle článku o odpadech z ledna 2022 zde můžeme uvést fakt, že textilní odpady z českých domácností za poslední dekádu narostly desetinásobně. Průměrná spotřeba textilních výrobků na osobu v celosvětovém měřítku byla v roce 1950 kolem 3,7 kg, v roce 2016 se však zvýšila až na 13 kg. Což znamená, že pochopitelně postupně výrazně naroste počet textilních odpadů. V současnosti se celosvětově odhaduje roční množství textilních odpadů přibližně na více než

83 milionů tun. Jenom v rámci Evropské Unie vzniká ročně přibližně kolem 16 milionů tun opotřebovaných textilií, z čehož je pouze 15–20 % sebráno za účelem recyklace a pouhé 1 % skutečně recyklováno. V České republice situaci mapuje společný projekt Ústavu chemických procesů AV ČR, CENIA a VUT Brno. První výsledky zatím ukazují, že textil z komunálního odpadu končí většinou na recyklaci, zatímco průmyslový odpad se paradoxně nejčastěji skládá a spaluje.[16]

Dále se zde uvádí, že vysoký nárůst textilních odpadů způsobila rostoucí životní úroveň obyvatel, ale hlavně fenomén tzv. rychlé módy. Rychlá móda je marketingový model některých textilních firem (například H&M), ve kterém se produkuje textil s krátkou životností a cenovou dostupností, takže životního cyklu takového produktu je necelý rok.[16]

K redistribuci odpadního textilu v ČR slouží speciální kontejnery. V Praze jsou nejznámější oranžové kontejnery od firmy Potex. Ta spravuje více než 600 kontejnerů po celé ČR. V roce 2019 se v nich vybralo 2 750 tun textilu, přičemž pouze 0,1 tun bylo darováno na charitativní účely, což je 3,6%. Až 85% oblečení z těchto kontejnerů skončí na skládce. Stejně je to s oblečením, které se nepodaří prodat v secondhandech, nebo které sesbírají řetězce rychlé módy do krabic s nápisy jako například „*Zachraňme spolu planetu*“. [17]

Dalším problémem s tříděným sběrem textilu v ČR je, že v současnosti není, povinnost je legislativně zakotvena až od roku 2025, a to v souvislosti s novým odpadovým zákonem, který vstoupil v platnost od 1. ledna roku 2021. V současné době je sběr většiny textilu řešen v režimu prevence vzniku odpadu pomocí charitativních organizací či dalších soukromých subjektů, jako již výše zmíněná firma Patex. Podobný systém funguje také v sousedních státech, jako je Rakousko nebo Německo, avšak oproti ČR je rozdíl v kvalitě vytríděného materiálu mnohem vyšší. Uvádí se zde, že v těchto státech je celý systém ziskový. Kromě charitativních sběrů pak je v současné době druhým hlavním tokem směsný komunální odpad. [16]

Z výše uvedeného můžeme konstatovat, že v ČR je přehled o textilních odpadech pouze minimální a to sice z vybraných kontejnerů pro textil, z nichž 85% skončí na skládce, či ve spalovně. Proč použité oblečení končí na skládkách a neuplatní se dál? Většina z nás daruje oblečení s úmyslem pomoci lidem v nouzi. Věříme totiž v mýtus o nedostatku oblečení. Stále máme pocit, že oblečení komu darovat. V současné době však rychlá móda vyrábí oblečení takovou rychlostí, že v některých regionech už o další oblečení není zájem. Téměř vždy se

oblečení z Evropy nebo Severní Ameriky posílá do Afriky. Tam se však lidem v nouzi nerozdává, ale dál se prodává. To však neznamená, že toto oblečení neskončí na skládce. Mnoho nepoužitého nekvalitního textilního odpadu se tam vyhazuje a neekologicky pálí. Společnosti za to však nepřebírají zodpovědnost. Oblečení, které skončí na skládce je obrovským problémem. Spousty oděvů se totiž vyrábí ze směsových materiálů, které se nedokážou úplně rozložit, např. polyester, elastan atd. Kromě toho je zde problém, že kdybychom chtěli tento textil recyklovat a znovu použít, tak nemáme v současné době takovou technologii, která by dokázala eliminovat směsovou textilií na jednotlivá vlákna. Obrovským problémem dnešní doby začínají být tzv. sendvičové textilie s membránou, např. goretex, nebo většina softshell oblečení. Kromě této skutečnosti textilie na skládkách při rozkladu vypouštějí do ovzduší, vody a půdy různé chemikálie. A to je i jeden z důvodů proč je textilní průmysl stále jedním z nejvíce znečišťujících průmyslů.[16], [17], [18]

*Za zmínku stojí také zajímavá osobní zkušenost Silvie Žiakové: Před necelými čtyřmi lety jsem stála před jednou z největších výzev svého života. Chystala jsem se opustit svůj zaběhnutý život v Praze a přestěhovat se do vesničky Dongobesh v Tanzanii, kde jsem se měla stát dobrovolnicí v místní škole. Dva roky v Africe mě naučily mnoho. Kromě toho, že jsem například přežila měsíce bez koupě nového trendy kousku a vyzkoušela jsem si koncept minimalistického šatníku o dvou poličkách, zjistila jsem také, co přesně se děje s nepotřebným oblečením z vyspělých zemí. Bohužel to, že se nepotřebné oblečení z USA nebo Evropy dostane k potřebným lidem zdarma, je jedním z největších omylů recyklace oblečení. Velká část oblečení, které se vybírá prostřednictvím textilních kontejnerů, putuje i do afrických zemí a na první pohled se to může zdát v pořádku. Překupníci s oděvy si však na tomto koloběhu založili celkem výhodný byznys. Textil prodávají dalším obchodům a jiným překupníkům, a ten nakonec končí na místních trzích, například i v Dongobeshi, kde se z něj prodá jen velmi malá část. Zbytek se přemění na dále nevyužitelný textilní odpad, který se kupí na haldách a nakonec se na skládkách spaluje.*

*Kromě problému překupnictví a velkého množství textilního odpadu je tu ještě jedno břemeno, které africké země v otázce secondhandového oblečení sužuje. Importované použité oblečení z Evropy a USA totiž ničí jejich lokální tradiční textilní průmysl, ve kterém se snaží uživit velké množství místních lidí. Extrémně levným cenám secondhandového oblečení nejsou lokální krejčí a švadleny schopni konkurovat a častokrát tak o zakázky přicházejí. Samotná Afrika se ale brání. Například Východoafrické společenství, jehož členem je i Tanzanie, začalo před pěti*

*lety jednat o úplném zákazu importu secondhandového oblečení do roku 2019. Místo toho se rozhodli investovat do lokálního textilního průmyslu, postupně ho zefektivnit a rozvinout. I když některým zemím, jako například Rwandě, se tento záměr naplňovat daří (Rwanda dokonce mezi lety 2016–2017 12,5krát zvýšila clo na dovoz secondhandového textilu a v jeho navýšení nadále pokračuje), jiné země jako Keňa už nyní vědí, že se jim předsevzetí naplnit nepodaří. Argumentují nepřipraveností lokálního textilního trhu, který by od platnosti zákazu nebyl schopen absorbovat poptávku po oblečení. Otázkou však zůstává, zda to není jen reakce na hrozby USA – Afriky vyhrožující, že na oplátku znevýhodní dovoz afrického zboží na jejich trhy. Musím se však přiznat, že když děti v naší škole potřebovaly nové boty, náš rozpočet nám jednoduše neumožňoval kupovat je od lokálních tanzanských výrobců. Stejně jako mnoho jiných lidí v naší vesnici i my jsme se vydali na tržiště a smlouvali o cenách použitých dokonale vyčištěných bot. Někdo ty boty hodil do oranžového s vědomím, že se možná dostanou dětem v rozvojových zemích jako byly ty naše. A ony se jim nakonec i dostaly. Nebylo to však zadarmo. [17]*

Z výše uvedeného je jasné, že je nutné problematiku textilního odpadu co nejdříve řešit. Změna je nutná z obou stran, jak výrobce, tak zákazník. Lidé by měli k nákupu textilu přistupovat z rozvahou a kupovat jen to co opravdu unosí. Také myslet na to, že přírodní materiály jsou následně k přírodě šetrnější (například, oblečení ze 100% přírodních materiálů, jako je např. biobavlna, můžete klidně zkompostovat). Na druhou stranu se očekává zlepšení technologií, které by byly schopné textilní odpad zpracovávat takovým způsobem, aby nebyl nutně skladován na skládkách, nebo spalován. [16], [19]

Závěrem této kapitoly můžeme shrnout, že použitím textilní trhaniny v naší akustické desce částečně odlehčíme ekologické zátěži. Tato textilní trhanina je vyrobena ze 100% textilního odpadu z použitých oděvů. Do nákladů na jejich výrobu je nutné započítat praní a vlastní mechanické rozstřihání, či trhání. Dále zde mohou být, v případě potřeby, zahrnuty náklady na další úpravy, jako je například nehořlavá úprava. Vzhledem k tomu, že budou tyto akustické panely použity v interiérech, kde je stálá teplota a vlhkost, nepředpokládá se tedy možnost rozkladu a následnému vypouštění různých chemikálií do ovzduší.

## 2 Praktická část

### 2.1 ALFA KABINA

V této kapitole se seznámíme s přístrojem pro měření zvukové pohltivosti, který použijeme pro měření našich experimentů pro vývoj akustické stěny.

Jedná se o zařízení vyvinuté a dodané firmou RIETER, které slouží pro měření zvukové pohltivosti. Kabina vychází z normy ISO 354 (ČSN ISO354 Akustika - Měření zvukové pohltivosti v dozvukové místnosti), vychází z její metodiky a navíc odstraňuje nevýhodu potřeby vzorku velkých rozměrů. V dozvukové a-kabině je měření zvukové pohltivosti prováděno na vzorcích o rozměrech 1,0 m x 1,2 m, nebo na pohltivých výplních spojených s podkladovým materiálem (stropy automobilů, akustické obklady kapot apod.), anebo na dílech a výrobcích, které pohlcují zvuk (sedadla automobilů, nábytek apod.) [5]

Pro naši práci využijeme hlavně první variantu možnosti měření, tedy měření vzorků o rozměrech 1,0 m x 1,2 m s možnou odchylkou (+2mm, -1mm).

alfa - kabina je svými parametry koncipována hlavně pro požadavky automobilového průmyslu, ale neexistují překážky pro měření vzorků pro aplikaci ve stavebnictví, výrobě nábytku apod., měřením lze také pomoci při konstrukci strojů a ostatních výrobků ale též při vývoji nových protihlukových materiálů. [20]

Alfa – kabina vychází ze stejné normy, jako dozvuková místnost, ovšem kabina má zmenšené rozměry prostoru a tím zároveň dochází ke zmenšení vlnové délky dopadající vlny (na 1/3 oproti dozvukové místnosti). Tím se eliminuje potřeba velkého vzorku. Jediný rozměr, který se neredukuje je tloušťka zkoumaného vzorku (je tedy třeba brát v úvahu, že dochází k trojnásobnému zvětšení pohltivé plochy okrajů oproti povrchu, s čímž ovšem počítá a zohledňuje software alfa kabiny).[21]

Zvuk uvnitř kabiny produkují tři reproduktory v přesně stanovených časových intervalech. Reproktory jsou umístěné v rozích kabiny. Výstupem měření je koeficient zvukové pohltivosti  $\alpha$ . [22]



### 2.1.1 Základní parametry:

Objem a-kabiny:  $6,44 \text{ m}^3$

Rozměr standardního vzorku:  $1,0 \text{ m} \times 1,2 \text{ m}$

Plocha nestandardních vzorků:  $0,6 \text{ m}^2 - 2,4 \text{ m}^2$

Frekvenční rozsah měření:  $500 \text{ Hz} - 8 \text{ kHz}$  (oktávová analýza),  $400 \text{ Hz} - 10 \text{ kHz}$  (1/3 oktávová analýza) [20]



Obrázek 6 Alfa kabina [20]

## 2.2 NÁVRH EXPERIMENTU

V této kapitole se seznámíme s naměřenými frekvenčními rozsahy a hodnotami běžných rušivých zvuků v rodinných domech. Dále s návrhem a provedením našich experimentů vývoje akustického panelu, jeho výrobou a výsledky měření různých použitých komponent a jejich kombinací.

### 2.2.1 VÝROBA NOSNÉHO RÁMU

Pro výrobu nosného rámu pro testovaný vzorek panelu jsme se rozhodli použít běžně dostupné materiály, aby bylo možné akustický panel vyrobit svépomocí. Dalším našim požadavkem je nízký ekologický dopad na životní prostředí. Pro potřeby provádění experimentů je dále

potřeba, aby panel disponoval možností rozložitelnosti jak z důvodu výměny vnitřního materiálu (náplně), tak i výměny vrchních desek (akustických membrán). Navíc můžeme proměřit i různou výšku akusticky pohlcujícího materiálu. Z toho důvodu musíme vyrobit nosný rám ze tří oddělitelných částí.

Dalším faktorem, který je třeba zohlednit před výrobou nosného rámu je hloubka akustického panelu. Aby panel, popřípadě celá akustická stěna nezabírali mnoho prostoru, nebo příliš nevyčnívali, rozhodli jsme se pro hloubku rámu 50mm s možností snížení hloubky na polovinu, tedy 25mm.

K provedení experimentu musíme tedy zhotovit konstrukci o rozměru 1200mm x 1000mm. Tuto konstrukci jsme se rozhodli vyrobit ze dřeva. Dno konstrukce může být vyrobeno ze sololitu, nebo z tkaniny, například plátna, které napneme na dřevěnou konstrukci.

Z výše uvedených požadavků byly pro výrobu rámu zakoupeny dřevěné hranoly o rozměru 15mm x 25mm x 2000mm a z důvodu malého množství v obchodě také hranoly 25mm x 25mm x 2000mm. Jelikož se hranoly prodávají v běžné délce dvou metrů, je deska potřebná pro měření v Alfa kabině poněkud asymetrická a vznikne tak větší množství odpadu než kdybychom vyrobili rám na desku větší. Jinak řečeno, ze stejného počtu hranolů jsme reálně schopni vyrobit větší rám desky, například rám 2000 x 1000mm. V tomto rozměru nám téměř žádný odpad nevzniká.

Pro spodní nosnou desku jsme se rozhodli použít materiál sololit bílý. Deska byla nařezaná na požadovaný rozměr 1200x1000mm formátovou pilou na zakázku firmou Dřevosklad v Nové Pace. Toto zakázkové formátování desek provádí také například obchodní řetězec Hornbach, nebo Obi. Dále tři kusy sololitových desek pro výrobu vrchních desek s různými druhy otvorů. Pro měření vlivu různých druhů a rozměrů otvorů na pohlcování zvuku.

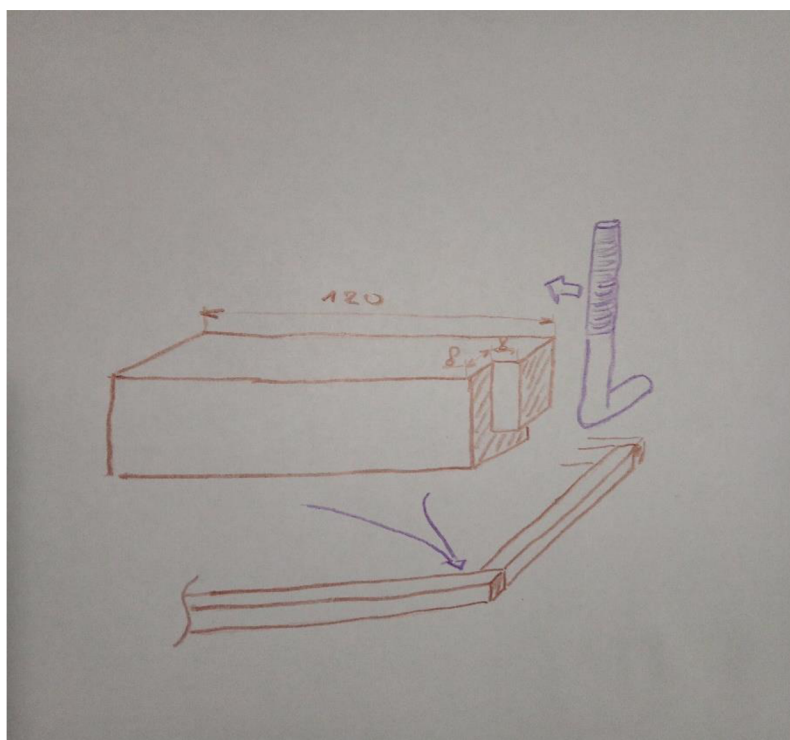
### POSTUP VÝROBY

Nejprve se tedy vytvoří základní nosný rám (konstrukce) z dřevěných hranolů, na které se potom připevní spodní nosná deska. K výrobě budeme potřebovat mimo jiné ruční pilu čepovku a pokosnici pro přesnější řezání, dále lepidlo, vrtačku (nejlépe aku pro lepší práci), křížové bity do aku vrtačky a základní sadu vrtáků (nejlépe do dřeva). Seznam dalšího použitého materiálu je uveden tabulce číslo 1.

Tabulka 2. Rozpis materiálu pro výrobu akustické desky

Materiál	Rozměr	Počet kusů
Hranol smrk	25 x 25 x 2000	4
Hranol smrk	15 x 25 x 2000	4
Sololitová deska	1200 x 1000	2
Vrut	3 x 25	20
Vrut	3 x 35	20
Skoba s metrickým závitem	M6 x 70	4
Křídlová matka s podložkou	M6	4

Výrobu nosného rámu zahájíme rozměření a zkrácením hranolu 15x25x2000 na délky dva krát 1200mm. Potom odečteme dvojnásobek průřezu hranolu, což je v tomto případě dva krát 15mm, tedy 30mm a zkrátíme hranol tři krát na rozměr  $1000 - 30 = 970\text{mm}$ . Na krajích delších hranolů si můžeme pro zjednodušení načrtnout průřez hranolu a v jeho středu vyvrtáme otvor o průměru tři milimetry pro vrut. Toto učiníme na obou koncích a ve středu hranolu, tedy ve vzdálenosti 600mm. Takto připravené hranoly k sobě volně poskládáme na desku pracovního stolu, hrany kratších hranolů natřeme lepidlem a postupně k sobě jednotlivé hranoly připevníme pomocí vrutů 3 x 35mm. Tímto vytvoříme základní rám, na který připevníme pomocí vrutů 3 x 25mm sololitovou desku. Před přiložením sololitové desky je vhodné hrany rámu, které budou přilhat k desce natřít lepidlem. Takto připravený základ desky necháme zaschnout cca 3 hodiny a mezitím můžeme vyrobit nástavný rám z hranolů 25 x 25 x 2000mm. Na jeho výrobu použijeme stejný postup jako u prvního rámu. V této chvíli máme vytvořeny dvě části desky, které je potřeba spojit tak, aby mohli být kdykoliv dle potřeby demontovány. K tomuto účelu nám poslouží skobičky s metrickým závitem M6 x 70mm, které umístíme do rohů spodní části desky. Pro jejich připevnění musíme ještě vyrobit čtyři kusy hranolků o rozměrech 15 x 25 x 120mm. Do každého z těchto hranolků vyřízneme pomocí čepovky v horní části prostor pro skobičku o rozměrech 8 x 8mm, tedy o něco větší, aby byla skobička upevněna volně a umožňovala lehký pohyb pro lepší seskládání jednotlivých dílů. Hranolky se skobičkou připevníme pomocí dvou vrutů 3 x 35mm a lepidla do rohů spodní části desky. Viz obrázek 5

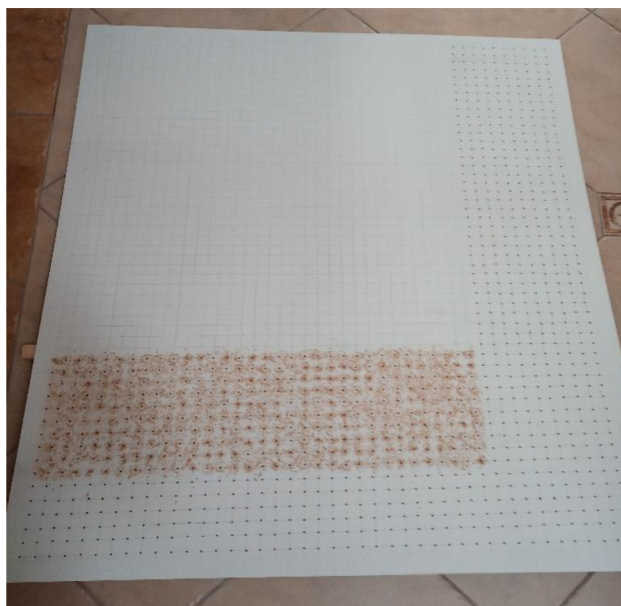


*Obrázek 7 Zobrazení tvaru rohového hranolku*

Takto připravenou spodní část desky necháme opět zaschnout alespoň tři hodiny. Poté položíme druhý rám na pevnou podložku, spodní část desky položíme na rám skobičkami směrem dolů tak, aby skobičky stály v rozích spodního rámu. Lehkým poklepáním kladivem v rozích desky (na jednotlivé skobičky) vytvoříme v rámu označení pro vyvrtání otvorů. V označených místech vyvrtáme otvory o průměru osm milimetrů tak, aby byla zabezpečena lehká vůle pro snadnější montáž a demontáž jednotlivých dílů desky. Jako poslední část vytvoříme vrchní desku s otvory. Pro účely našeho měření jsme vytvořili tři druhy. První je tvořena obdélníkovými otvory o rozměrech 2 x 120mm vyrobenými pomocí úhlové brusky a řezného kotouče, vždy ve vzdálenosti 30mm byl proveden jeden průřez, jednotlivé průřezy jsou rozvrženy šachovnicově rovnoměrně po celé desce. Viz obrázek číslo 6. Druhá je tvořena kruhovými otvory o průměru 3mm ve vzdálenosti 20mm od sebe, také rovnoměrně po celé desce. Otvory byly vytvořeny pomocí aku vrtačky a vrtáku a průměru 3mm. Viz obrázek číslo 7.



Obrázek 8 Zobrazení tvaru otvorů první desky



Obrázek 9 Zobrazení výroby druhé vrchní desky

Třetí je také tvořena stejnými kruhovými otvory jako druhá, ovšem v jiném počtu a tvaru, rozmístěna rovnoměrně ve čtvercích.

Do těchto desek také vyvrtáme otvory v rozích obdobným způsobem jako na druhém rámu. Na obrázcích číslo 8 a 9 níže jsou zobrazeny jednotlivé díly desky do které budeme vkládat porézní materiál.



Obrázek 10 Spodní a střední díl desky



Obrázek 11 Smontovaný spodní a prostřední díl

Tyto tři vyrobené části akustické desky spasujeme a sešroubujeme dohromady k sobě pomocí křídlových mitek s podložkou. Takto máme připravenou základní část akustické desky, kterou můžeme dále plnit různým pohltivým porézním materiálem. V našem případě hlavně materiálem vytvořením z textilního odpadu.

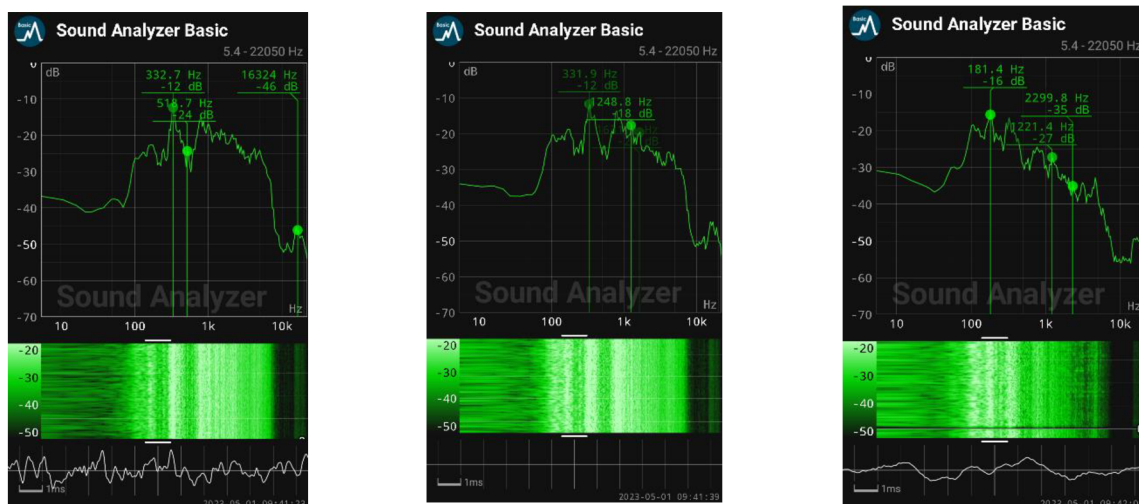
### 2.2.2 PROMĚŘENÍ RUŠIVÝCH HLUKŮ V PROSTORU

V důsledku potřeby zjištění na jaký konkrétní frekvenční rozsah potřebujeme akustickou desku vytvořit, musíme zjistit, na jakých konkrétních frekvencích působí rušivé zvuky a hluky v prostoru interiéru, které jsou nepříjemné pro lidský organizmus, nebo způsobují rušení soustředění se jiné věci, jako je například poslech televize či hudby. Jsou to převážně zvuky přístrojů běžně využívaných v domácnosti, které nám usnadňují život v domácnosti, ale vydávají přitom nepříjemný hluk. Převážně se jedná o přístroje používané v kuchyni, jako jsou například varná konvice, digestoř, mikrovlnná trouba, kávovar a jiné. Mezi další rušivé zvuky můžeme také zařadit běžnou hovorovou konverzaci, nebo televizi a nezapomeneme také na vysavač. Tyto nepříjemné hluky se ve větších místnostech mísí a způsobují nepříjemný rušivý element. Pro měření těchto nepříjemných hluků jsme použili aplikaci v mobilním telefonu, která se nazývá Sound Analyzer Basic. Tato aplikace měří míru hlasitosti jednotlivých rušivých elementů v dB a zároveň také jejich frekvenci v rozsahu 5,4 Hz – 22 050 Hz. Aplikace nám zobrazuje graf kde na ose x zobrazuje frekvenci a osa y hlasitost zvuku v dB. Stupnice dB začíná od -70 dB a končí 0, hodnoty pod -40 dB jsou brány jako pozadí. Dále aplikace zobrazuje a přesněji popisuje píky u kterých dochází k největším změnám frekvence v čase. Pro přesnost byla provedena minimálně tři měření u každého rušivého elementu v běžné domácnosti, tak aby bylo přesněji zmapováno frekvenční pásmo tohoto každého rušivého elementu.

#### **Varná konvice**

Měření bylo provedeno v průběhu ohřevu vody v nejvíce hlučných intervalech před nástupem bodu varu. Měřicí přístroj (telefon) byl umístěn 10 centimetrů od zdroje hluku (varné konvice).

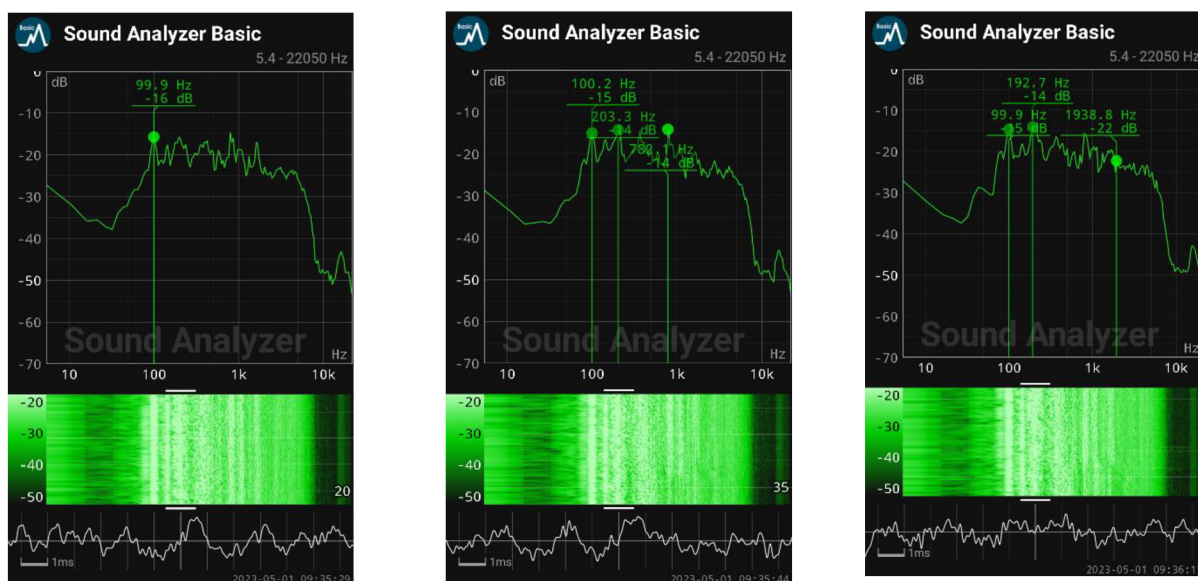
Výstupy měření přístroje jsou zobrazeny v podobě grafů na obrázcích níže.



Obrázek 12 Průběh frekvence hluku varné konvice

### Digestoř

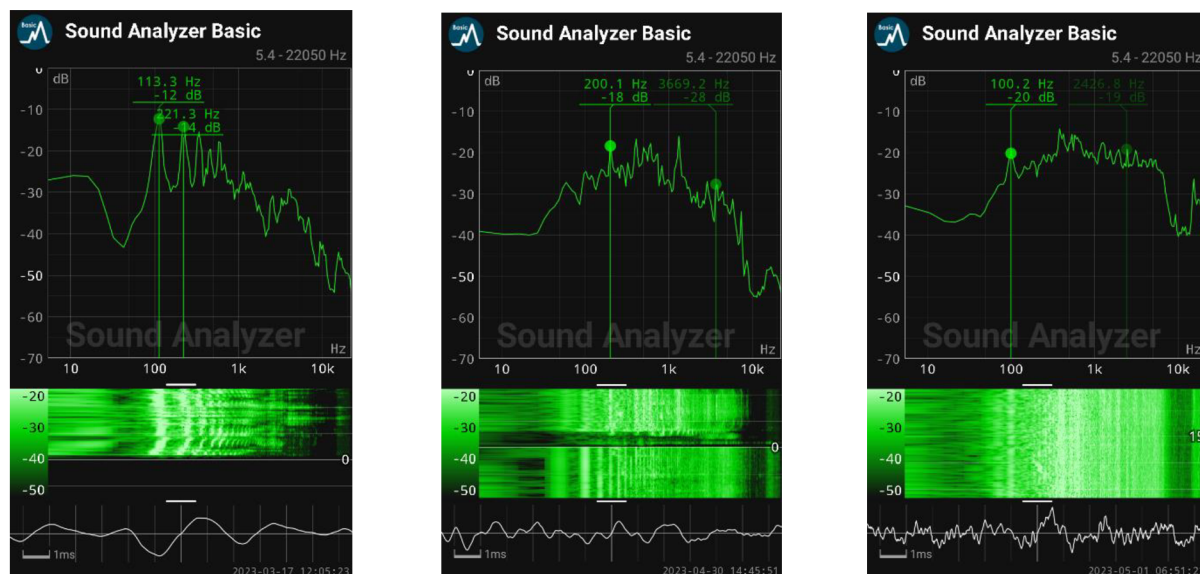
Měření bylo provedeno v průběhu spuštění digestoře na nejvyšší výkon. Měřicí přístroj (telefon) byl umístěn 15 centimetrů od zdroje hluku (digestoře).



Obrázek 13 Průběh frekvence hluku digestoře

### Kávovar

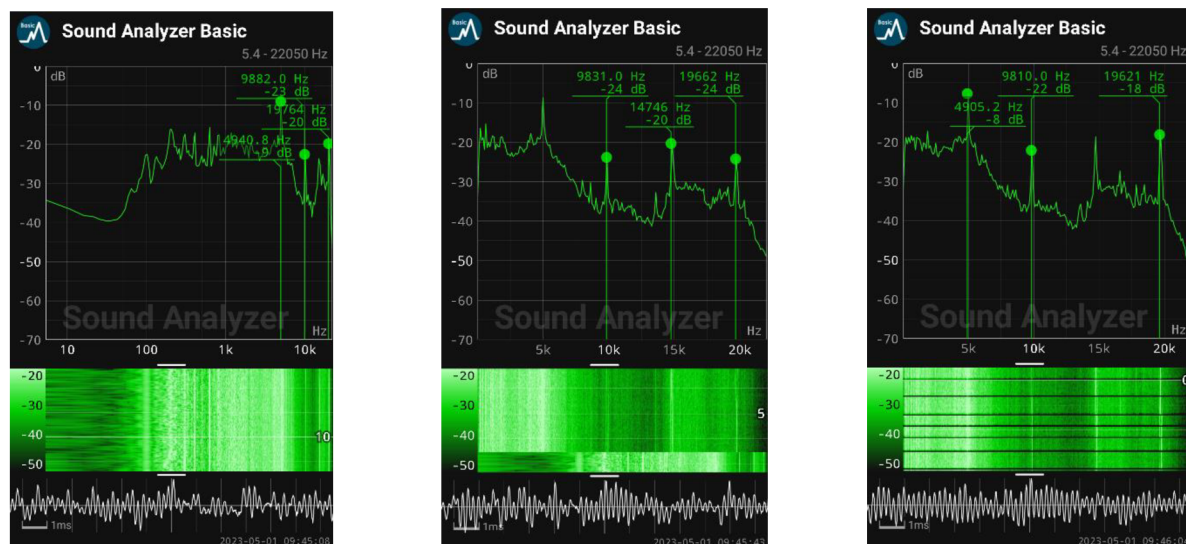
Měření bylo provedeno v průběhu přípravy kávy, tj. mletí a překapávání. Měřicí přístroj (telefon) byl umístěn 10 centimetrů od zdroje hluku (kávovaru).



Obrázek 14 Průběh frekvence hluku kávovaru

### Vysavač

Měření bylo provedeno v průběhu spuštěného vysavače. Měřicí přístroj (telefon) byl umístěn 10 centimetrů od zdroje hluku (vysavače). Vzhledem k vysokým frekvencím vysavače musela být pro větší přehled posunuta stupnice na vyšší frekvenční rozsah.

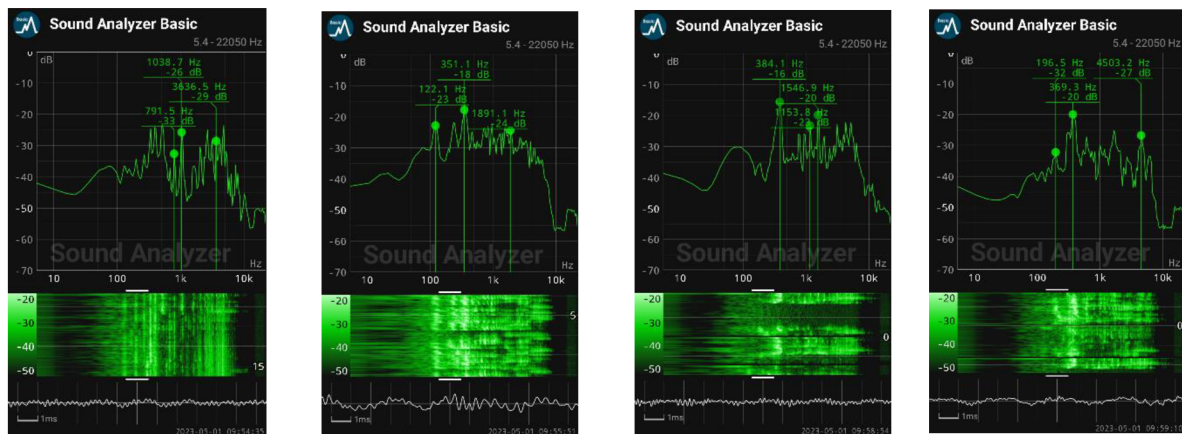


Obrázek 15 Průběh frekvence hluku vysavače

### Televize

Měření bylo provedeno v průběhu spuštěné televize na různých kanálech, zpravodajství, sport, dětská pohádka. Měřicí přístroj (telefon) byl umístěn 20 centimetrů od zdroje hluku (TV).

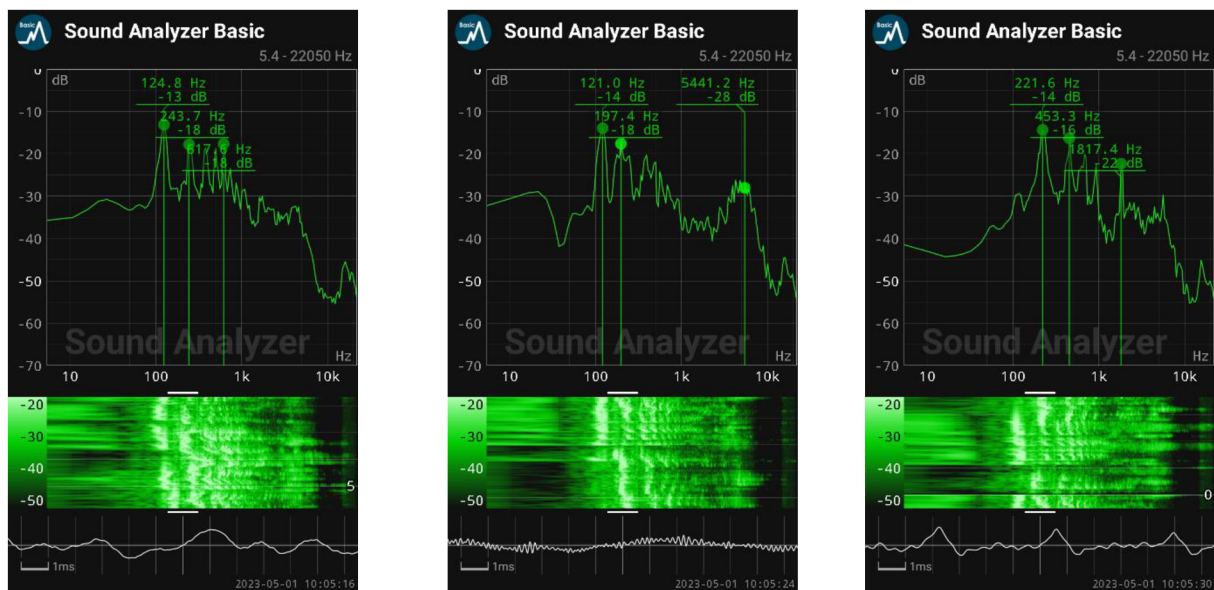




Obrázek 16 Průběh frekvence hluku televize

### Běžná konverzace

Měření bylo provedeno v průběhu konverzace dvou lidí v místnosti. Měřicí přístroj (telefon) byl umístěn přibližně 50 centimetrů od zdroje hluku (mluvících osob).



Obrázek 17 Průběh frekvence hluku běžné konverzace

Tabulka 1 Přehled frekvenčních pásem jednotlivých rušivých elementů

Zdroj hluku	Frekvenční rozsah (Hz)
Varná konvice	160 – 3 800
Digestoř	99,9 – 2 250
Kávovar	100,2 – 3 669,2
Vysavač	4 905,2 – 19 764
Televize	122,1 – 5 000
Běžná konverzace	121 – 5 442

Z přehledové tabulky lze vyčíst jednotlivá frekvenční pásma rušivých elementů. Podle jednotlivých výsledků lze konstatovat, že největší podíl hluku jednotlivých elementů se nachází ve frekvenčním rozsahu 100 – 5 000 Hz. Můžeme tedy usoudit, že potřebujeme navrhnout takovou akustickou desku, která pohltí zvuk v tomto frekvenčním rozsahu. Dále můžeme říci, že je naše zájmová frekvence vyšší, vzhledem k výsledku hlukové frekvence vysavače, ovšem zatím budeme předpokládat, že schopnost pohlcování vyšších frekvencí porézním materiálem bude podobná jako u frekvencí okolo 4 000 Hz. Budeme tedy muset vyvinout akustickou desku, která bude kombinací porézního materiálu s akustickou membránou.

### 2.2.3 RÁM, DESKA, SYPKÝ MATERIÁL

Hlavním důvodem pro provedení těchto experimentů je využití textilního odpadu jako dobrého potenciálu při výrobě akustických desek. Tímto může dojít ke snížení ekologické zátěže na životním prostředí. Využitím odpadu pro výrobu akustických desek by se mělo zároveň odrazit na snížení výrobních nákladů a tím dojít ke snížení ceny desky.

Hlavní materiál pro pohlcení akustické energie jsme použili tzv. textilní trhaninu, vyrobenou z textilního odpadu. Trhanina byla rovnoměrně rozsypana uvnitř konstrukce v tloušťce 25mm až 30mm při každém dalším měření bylo použito vždy stejné množství trhaniny. Hmotnost trhaniny celkem byla 2,6 kg. Ta byla rozdělena na dvě části o stejné hmotnosti 1,3 kg, jelikož je rám uprostřed přepažen zpevňovacím hranolem. Aby nedocházelo k sesouvání sypkého materiálu, bude v konečné fázi vývoje trhanina zabezpečena záclonovinou z osnovní pleteniny

markyzet. Ovšem, může být použita i jiná osnovní pletenina, nebo tkanina s perlinkovou vazbou. Jejím hlavním účelem je, aby propustila co nejvíce zvuku do trhaniny (díky dostatečně velkým otvorům) a zároveň zamezila sesouvání textilní trhaniny vlivem působení gravitace. Vrchní krycí desky byly vyrobeny ze sololitu s otvory, tyto desky zároveň slouží jako vrchní krycí deska a také zároveň jako akustická membrána.

#### 2.2.4 JEDNOTLIVÁ MĚŘENÍ V ALFA KABINĚ

Jak již je zmíněno výše, měření byla provedena v alfa komoře. Pro vnitřní výplň desky porózním materiálem bylo převážně použito textilní trhaniny vyrobené z textilního odpadu, dále se pak využilo kapokového rouna, které bylo rovněž rovnoměrně rozprostřeno po celé ploše desky v přibližně stejné tloušťce vrstvy, která činila tři centimetry. Ovšem jeho objemová hmotnost byla mnohem nižší než u textilní trhaniny. Grafické zobrazení výsledků měření kapoku je součástí přílohy.

Jako materiál vrchní desky se průběžně prostřídaly sololitové desky s různými druhy otvorů a také plošná textilie manšestr.

Jednotlivá měření byla prováděna postupně. Nejprve bylo zapotřebí kalibrovat alfa komoru. Vložil se tedy pouze prázdný rám. Poté bylo možné vkládat jednotlivé akustické prvky. Pro snadnější rozdělení kvůli manipulaci jsme nejprve provedli měření jednotlivých akustických membrán bez vnitřní výplně. Poté jsme vyplnily vnitřní prostor porézním materiálem. Ve většině případů se jednalo o textilní trhaninu. V první řadě proběhlo měření samostatně rovnoměrně rozloženého porézního materiálu bez vrchní desky.

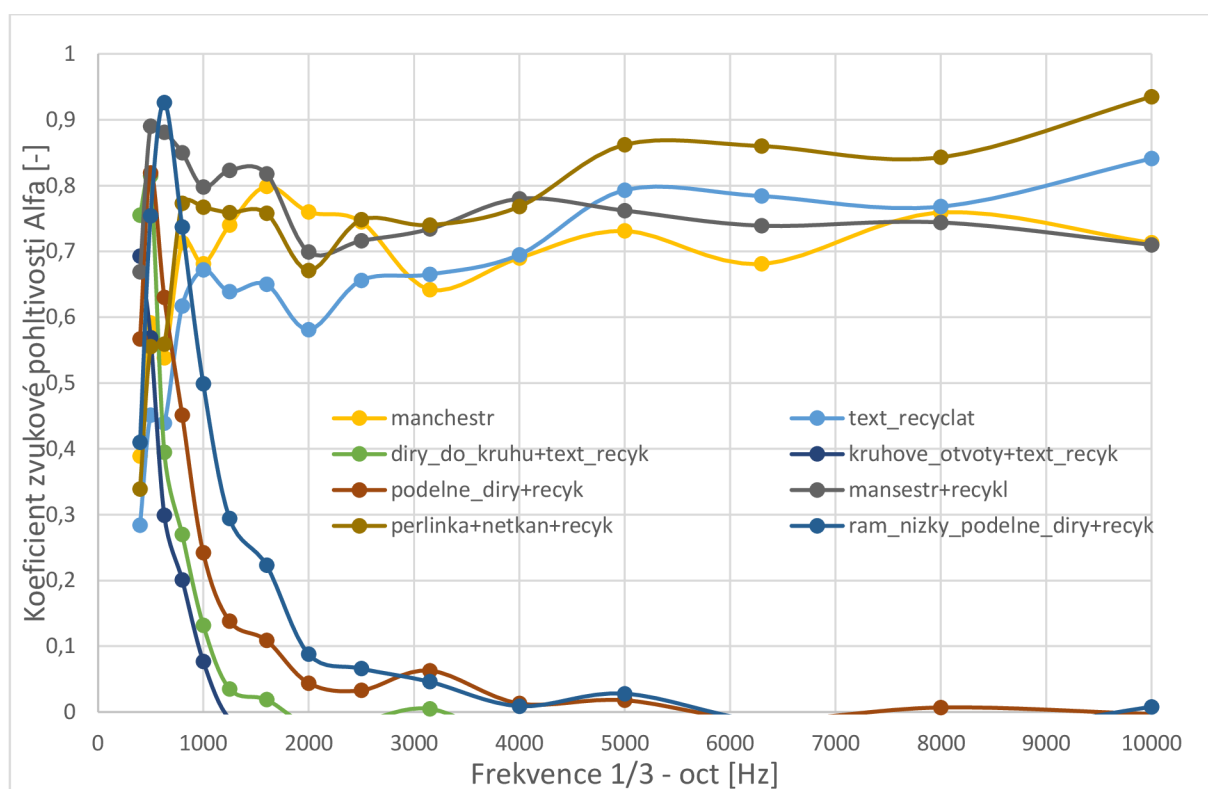


Obrázek 18 Měření vnitřního materiálu



Obrázek 19 Měření vnitřního materiálu s vrchní deskou

Potom se různě měnily připravené vrchní akustické membrány. Proběhlo také měření se sníženým rámem při stejném zaplnění textilním recyklátem, došlo tedy jeho částečnému stlačení. Průběh naměřených výsledků ukazuje graf na obrázku číslo 20 níže. Grafy jednotlivých samostatných měření jsou součástí přílohy.



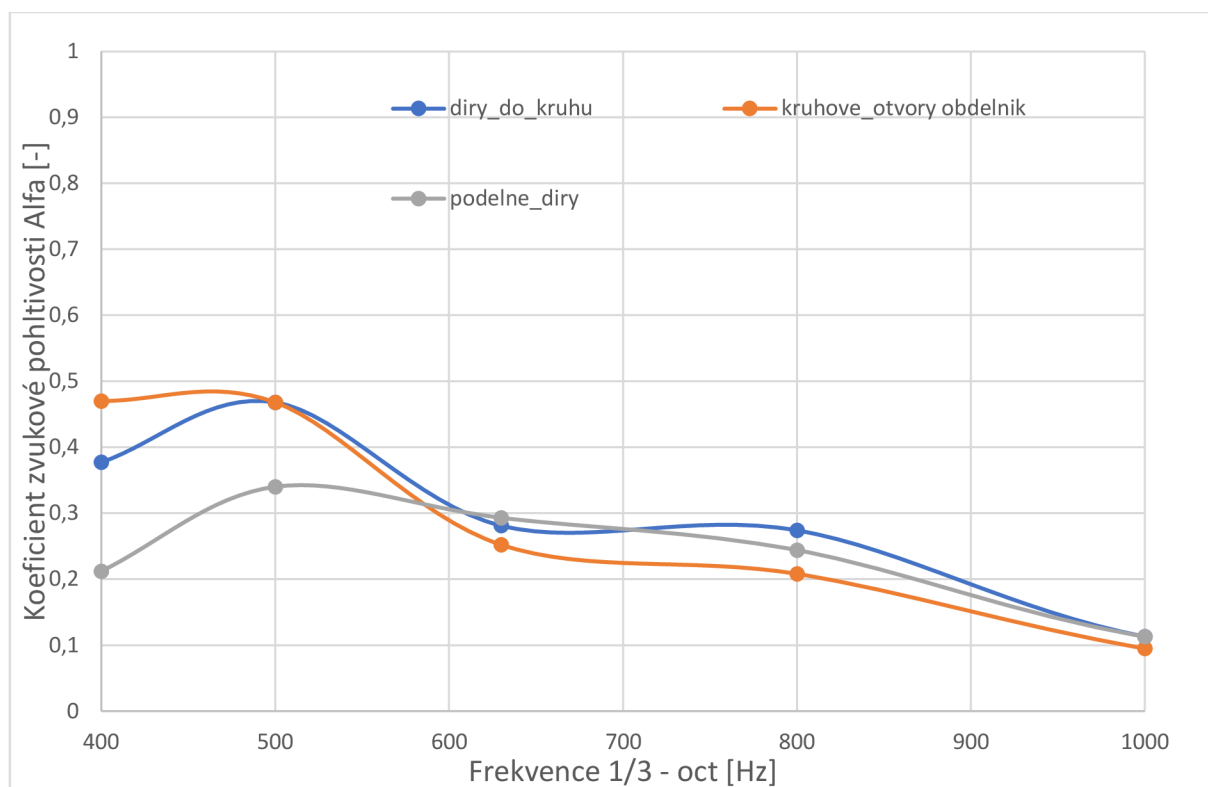
Obrázek 20 Graf průběhu jednotlivých měření

Pro lepší přehled je zde ještě uvedena tabulka číslo 3 s přesnými hodnotami zvukové pohltivosti jednotlivých materiálů ve vybraných frekvencích.

*Tabulka 3 Zvuková pohltivost materiálů ve vybraných frekvencích*

<b>Materiál / Hz</b>	<b>400</b>	<b>500</b>	<b>800</b>	<b>1000</b>	<b>1600</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>	<b>5000</b>	<b>10000</b>
Díry do kruhu	0,377	0,468	0,274	0,113	0,048	-0,01	-	0,007	0,011
Díry v ploše	0,47	0,468	0,208	0,095	0,001	0,032	-	0,026	-0,002
Podélné otvory	0,212	0,34	0,244	0,113	0,06	0,007	-	0,014	0,009
Maňsestr	0,389	0,591	0,713	0,681	0,799	0,76	0,69	0,731	0,713
Text recykl.	0,284	0,451	0,617	0,672	0,65	0,581	0,695	0,793	0,841
Díry do kruhu + text recykl.	0,755	0,815	0,27	0,132	0,019	-	-	-	-0,071
Kruhové otvory + text. recykl.	0,693	0,569	0,201	0,077	0,018	-	-	-	-0,124
Podélné díry + recykl.	0,567	0,819	0,451	0,242	0,109	0,044	0,013	0,018	-0,003
Maňsestr + recykl	0,669	0,89	0,85	0,798	0,818	0,699	0,78	0,762	0,71
Netkan +recyk	0,339	0,555	0,773	0,767	0,758	0,671	0,768	0,862	0,935
Rám nízký podélné díry +recyk	0,41	0,754	0,737	0,499	0,223	0,088	0,009	0,028	0,008

Grafické znázornění jednotlivých frekvenčních průběhů vrchních pevných desek s různými druhy otvorů jsou pro lepší přehled znázorněny v grafu na obrázku číslo 21. Z uvedeného grafu je patrná kulminace zvukové pohltivosti na frekvenčním rozsahu kolem 500 Hz v závislosti na druhu použité desky. Ovšem tato kulminace není nijak výrazná, jedná se o hodnoty pohltivosti v rozmezí  $\alpha = 3,4 - 4,7$ . Dále potom tyto hodnoty klesají ve frekvenčním rozsahu 600 – 800 Hz na hodnoty  $\alpha = 2,2 - 2,8$  a poté klesají až k nulové hodnotě.



Obrázek 21 Graf výsledků měření vrchních pevných desek s otvory

### 2.3 Ekonomické zhodnocení

V této části práce se zaměříme na cenové zhodnocení našeho návrhu a jeho porovnání s akustickými deskami komerčně vyráběnými.

Z ekonomického hlediska jsou u komerčních akustických desek do ceny zahrnuty jak náklady na výrobu, ale také se zde započítává procentuální zisk. V našem případě zde jsou zahrnuty náklady na materiál. Náklady spojené s výrobou, tedy náš čas se hodnotí spíše subjektivně a je nutno říci, že pokud bychom vyráběli větší počet těchto akustických desek najednou, pak by se časová dotace na jejich výrobu značně snížila. Je to zapříčiněno tím, že bychom například místo jednoho dřevěného hranolu uřízli tři naráz, nebo místo jedné desky provrtali tři v jednom pracovním úkonu. Z tohoto důvodu jsou cenové náklady na časovou dotaci jednoho dělníka na jednu desku poněkud zkreslené. Další subjektivní zkreslení může nastat v tom, jak se sami sebe za daný úkon oceníme. Pro přehled jsme zde určili hodnotu práce na 150 Kč za hodinu. Je zde přihlédnuto k hledisku práce pro radost a práce pro sebe. Tedy ne jako k práci, kterou nechceme dělat.

Tabulka 4 Ekonomické zhodnocení návrhu

Jednotlivé položky	Cena	Cena za 2 m <sup>2</sup>
Hranoly	1 032	1 032 Kč
Sololitové desky	204 Kč	408 Kč
Spojovací materiál	36 Kč	72 Kč
Textilní trhanina [23]	95 Kč	190 Kč
Práce (5 hodin)	750 Kč	900 Kč
Celkem za 1,2 m <sup>2</sup>	2 117 Kč	
Celkem za m <sup>2</sup>	1 764 Kč	1 301 Kč

Tabulka 2 Porovnání cen za m<sup>2</sup>

Akustická deska	Celková cena za m
MERILYNE 8/25	2 533 Kč
INOIS MICRO	130 Euro
Návrh akustické desky (při výrobě 1,2m <sup>2</sup> )	1 764 Kč
Návrh akustické desky (při výrobě 2m <sup>2</sup> a více)	1 301 Kč

Z výše uvedeného tabulkového zhodnocení můžeme konstatovat, že náš návrh je oproti komerčně vyráběným deskám na ceně za jeden metr čtvereční levnější o přibližně 1 200 Kč oproti Inois, v závislosti na měnovém kurzu eura a koruny. A dále také o 769 Kč levnější, než základní cena Merilyne. To je ovšem při ceně našeho experimentu o nestandardních rozměrech 1,2 m x 1 m. Ovšem pokud bychom volili standardizovanější rozměry a při větší výrobě, například dvou metrů, jak je uvedeno v tabulce, pak se dostaneme na cenové rozdíly vyšší. U Inois se jedná o rozdíl přibližně 1 800 Kč za metr čtvereční a u Merilyne je rozdíl 1 232 Kč za metr čtvereční. Celkové ekonomické náklady na výrobu našeho návrhu svépomocí jsou ve srovnání s komerčně vyráběnými deskami poloviční.

### 3 Diskuse výsledků

Výroba samotné desky je celkem snadná, největší podíl času byl věnován vrtání otvorů pro vytvoření porézní desky. Pokud by byl zájem tuto desku vyrábět komerčně, bylo by možné vytvořit stavebnicový systém a z jednotlivých komponent by si pak zákazník desku smontoval. Dále by bylo vhodné zhodnotit designové řešení otvorů u vrchní krycí desky pro konkrétní interiér a potřeby zákazníka. Při výrobě naší experimentální desky nebyl brán v potaz uchycovací systém.

Co se týká měření zvukové pohltivosti, tak z vygenerovaných výsledků měření v alfa komoře je patrné několik překvapujících faktů. Jedním z nich je zjištění, že plošná textilie manšestr má opravdu dobré výsledky měření pohltivosti jak samostatně, tak s použitím vnitřní výplně, při čemž dojde paradoxně ke zvýšení křivky pohltivosti v nižších frekvenčních pásmech a to zhruba od frekvence 400 Hz po frekvenci 1 600 Hz. Na úrovni 500 Hz došlo k navýšení pohltivosti z  $\alpha = 0,591$  na  $\alpha = 0,89$ . V další části průběhu pak porézní materiál napomáhá k plynulejšímu průběhu křivky v rozmezí  $\alpha = 0,7 - 0,8$ .

Dalším potvrzujícím zjištěním, které můžeme vyčíst z grafu je, že samostatný porézní materiál, v podobě textilní trhaniny, zvládne účinně pohlcovat zvuk od frekvence 800 Hz kdy tato schopnost ve frekvenci 2 000 Hz lehce klesá a posléze nabývá na původní úroveň a s rostoucí frekvencí dále roste.

Pokud se zaměříme na výsledky samotných vrchních desek, zjistíme, že jejich pohltivost je v rozmezí 400 – 600 Hz a potom postupně klesá k nule. Jejich vrchol je přibližně ve stejné frekvenci a to 500 Hz, avšak každý je trochu jiný v závislosti na tvaru otvorů. Nejvýše  $\alpha = 4,7$  u kruhových děr a nejméně  $\alpha = 3,4$  u děr podélných, viz obrázek 21. Samostatně použité pevné desky jako akustická membrána mají tedy v praxi slabý účinek a nejeví se jako vhodné pro použití pouze samostatně.

U desky s podélnými otvory s použitím vnitřní výplně porézním materiálem dojde k dvojnásobnému zvýšení maximální úrovně pohltivosti v nízkých frekvencích až na hodnotu  $\alpha = 0,819$  na 500 Hz, potom tato hladina prudce spadne a na 1 000 Hz jsme již na maximální hodnotě  $\alpha = 0,242$  a na 2 000 Hz už jen na  $\alpha = 0,044$ . Zajímavé je i to, že pokud měříme desky samostatně, je deska s podélnými otvory vyhodnocena jako nejhorší, ovšem v případě kombinace s porézní výplní textilní trhaninou se jeví jako nejlepší.



Při měření snížené výšky akustické desky na polovinu, tedy na 2,5 centimetrů, při zachování stejné náplně jsme dospěli také k zajímavému výsledku. Toto měření bylo provedeno pouze s deskou s podélnými otvory. Z průběhu křivky grafu je patrné, že snížením výšky a pravděpodobně i stlačením materiálu došlo k dalšímu zvýšení průběhu této křivky do maximální hodnoty  $\alpha = 9,26$  při šestistechtriceti Hz, ovšem k výraznému zvýšení při vyšších frekvencích nedochází. U jednoho tisíce Hz jsme na hodnotě  $\alpha = 0,499$ , což je ještě velmi dobrá hodnota, ovšem ve dvoutisících se dostáváme na hodnotu pouze  $\alpha = 0,088$ .

Můžeme tedy říci, že při kombinaci pevných děrovaných desek s porézním materiálem dochází k nárůstu pohltivosti v nízkých frekvencích (400 – 1 000 Hz), ovšem k nárůstu pohltivosti ve vyšších frekvencích nedojde. Možná příčina může být malé množství otvorů ve vrchní desce, nebo malý poměr celkové plochy všech otvorů ku ploše desky.

Dalším měřeným materiálem byla kombinace textilní trhaniny s vrchní akustickou membránou z manšestru a dále také z netkané textilie. Netkaná textilie má velmi dobré výsledky, které jsou podobné manšestru, ovšem manšestr má lepší průběh ve frekvencích 400 – 2 000 Hz, potom mají spolu hodnoty celkem vyrovnané v rozmezí 2 000 – 4 000 Hz a ve vyšších frekvencích jsou pak hodnoty lepší pro netkanou textilií.

Závěrem k našemu výzkumu můžeme říci, že použití akustické desky s pevnou vrchní deskou s otvory je vhodné pro pohlcení zvuku nižších frekvenčních pásem. Jejich výhodou je snadná údržba a omyvatelnost. Při použití desky s textilní vibrační membránou z manšestru či netkané textilie je její výhodou vysoká pohltivost zvuku ve velkém frekvenčním rozsahu. U textilních povrchů je možnost vytvoření designového prvku v podobě barvení textilie (vytvoření obrazu). Nevýhodou je horší údržba oproti pevným deskám.

Další možnost, která se nabízí, je kombinace všech zmíněných možností v celé ploše stěny.

Při porovnání výsledků s komerčně vyráběnými deskami jsme se s použitím pevných vrchních desek nedostali na hodnoty jejich úrovně pohltivosti zvuku uvedených v grafu výrobce. Pokud jsme však použili vrchní vibrační membránu z textilu, pak byli tyto výsledky lepší a vyrovnanější v širším frekvenčním pásmu. Ovšem nutno dodat, že jsme neměli možnost tyto komerčně vyráběné desky proměřit ve stejných podmínkách z důvodu vysoké pořizovací ceny.

Při porovnání finančního zhodnocení, jsme schopni se s cenou desky za jeden metr čtvereční dostat na polovinu oproti komerčně vyráběným deskám. Ovšem nebyl vzat v úvahu

přípevňovací systém. Nejspíše by se jednalo o vytvoření pera a drážky pro snadné sesazování jednotlivých dílů. To znamená, že by se celková cena zvýšila o jeden pracovní úkon.

## 4 Závěr

Cílem této práce bylo vyvinout akustickou desku pro zkvalitnění akustického komfortu interiérů moderních domů či bytů, která lze vyrobit svépomocí a bude pro její výrobu použitý textilní odpad.

V první části práce jsme zhodnotili současný stav poznání problematiky pohltivosti zvuku. Zmínili jsme základní rozdělení zvukově pohltivých materiálů na dvě skupiny a to na porézní materiál a akustické vibrační membrány. Dále jsme se zabývali některými možnostmi řešení pohlcování zvuku formou akustických desek, které jsou v současnosti nabízeny na trhu. Blíže jsme se seznámili se dvěma akustickými deskami komerčně vyráběnými od dvou výrobců. Při jejich výběru byl důraz kladen také na ekologicky šetrné výrobky. A nakonec jsme se v této části lehce dotkli problematiky textilního odpadu a jeho dopadu na životní prostředí.

Druhá část práce se zabývá jak vlastní výrobou akustické desky, tak také proměřením rušivých elementů v domácnosti pro zjištění jejich frekvenčního rozsahu a v neposlední řadě i vlastním proměřováním akustické desky se střídáním jednotlivých pohltivých materiálů. Z daných výše uvedených výsledků můžeme říci, že cíle naší práce byly splněny. Na závěr práce byly tyto výsledky porovnány s grafy některých výrobců akustických desek. Došli jsme k závěru, že pokud jsme použili porézní materiál v kombinaci s vrchní pevnou vibrační membránou (perforovanou deskou), nejsou výsledky až tak uspokojivé, jelikož jejich pohltivost je výborná pouze v nízkých frekvencích (400 – 800Hz) a potom rychle klesá. Naopak při použití vrchní vibrační membrány z tkaniny, konkrétně manšestru jsou výsledky velice dobré v širokém frekvenčním spektru (600 – 10 000Hz). Pravdou také je, že jsme neměli možnost proměřit tyto komerčně vyráběné desky ve stejných podmínkách z důvodu vysoké pořizovací ceny.

Vzhledem k tomu, že je tato problematika velmi rozsáhlá, neměli jsme dostatek prostoru a času, abychom zhodnotili všechny možnosti a kombinace různých řešení vrchních membrán a vnitřních porézních materiálů, toto zůstává předmětem dalších prací.

V poslední části bylo také provedeno ekonomické zhodnocení návrhu, kde jsme se dostali na přibližně poloviční cenu oproti vybraným komerčním akustickým deskám.

V případě možné komerční výroby, by bylo možné vytvořit stavebnicový systém a z jednotlivých komponent by si pak zákazník desku smontoval. Dále by bylo vhodné zhodnotit designové řešení otvorů u vrchní krycí desky pro konkrétní interiér a potřeby zákazníka.

## Seznam použité literatury

- [1] ŠKVOR, Zdeněk. *Akustika a elektroakustika*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2001. ISBN 978-80-200-0461-1.
- [2] POLÁČEK, Michal. *AKUSTICKÝ PRVEK Z RECYKLOVANÝCH SUROVIN* [online]. B.m., 2006 [vid. 2022-12-30]. Thesis. Technická Univerzita v Liberci. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/handle/15240/7744>
- [3] KUČERA, Miroslav. Šíření zvuku dělicími stěnami. *Šíření zvuku dělicími stěnami* [online]. [vid. 2023-01-10]. Dostupné z: <http://www.topin.cz//clanky/sireni-zvuku-delicimi-stenami-detail-4475>
- [4] NOVÝ, Richard. *Hluk a chvění*. Vyd. 2. Praha: České vysoké učení technické, 2000. ISBN 978-80-01-02246-7.
- [5] VAVERKA, Jiří. *Stavební fyzika I. Urbanistická, stavební a prostorová akustika*. Vyd. 1. Brno: VUTIUM, 1998. ISBN 978-80-214-1283-5.
- [6] KALINOVÁ, Klára. *Zvuková pohltivost vlákných materiálů s ohledem na charakteristiky struktury* [online]. B.m., 2018 [vid. 2022-12-30]. Thesis. Technická Univerzita v Liberci. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/handle/15240/38927>
- [7] ALEŠ ŠAMAN. *PARAMETRY KMITAJÍCÍCH TENKÝCH MEMBRÁN A JEJICH VLIV NA ZVUKOVÉ POHLTIVÉ VLASTNOSTI* [online]. B.m., 2010. Technická Univerzita v Liberci. Dostupné z: [https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/11186/bc\\_21085.pdf?sequence=1](https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/11186/bc_21085.pdf?sequence=1)
- [8] LIU, Yanping a Hong HU. Sound Absorption Behavior of Knitted Spacer Fabrics. *Textile Research Journal*. 2010, **80**(18), 1949–1957. ISSN 00405175.
- [9] PIEREN, Reto. Sound absorption modeling of thin woven fabrics backed by an air cavity. *Textile Research Journal*. 2012, **82**(9), 864–874. ISSN 00405175.
- [10] KOŘENKOVÁ, Martina. *Závislost akustické pohltivosti na tloušťce vrstvy*. B.m., 2010. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [11] FORNIER. Akustická mikro perforovaná dýhovaná deska INOIS® MICRO. *FORNIER* [online]. [vid. 2023-01-09]. Dostupné z: <https://www.fornier.cz/produkty/akusticke-desky/akusticka-mikro-perforovana-dyhovana-deska-inois-micro/>
- [12] FORNIER. *Charakteristika INOIS® MICRO akustických produktů* [online]. Dostupné z: <https://www.fornier.cz/produkty/akusticke-desky/akusticka-mikro-perforovana-dyhovana-deska-inois-micro/>
- [13] STEICO, Rohože. Steico izolace z dřevních vláken [online]. nedatováno. Dostupné z: [https://web.steico.com/fileadmin/steico/content/pdf/Marketing/Czech/Products/STEICOflex\\_036\\_cz\\_i.pdf](https://web.steico.com/fileadmin/steico/content/pdf/Marketing/Czech/Products/STEICOflex_036_cz_i.pdf)

- [14] NOVATOP. *NOVATOP ACOUSTIC - Novatop* [online]. [vid. 2023-01-09]. Dostupné z: <https://novatop-system.cz/produkt/novatop-acoustic/>
- [15] NOVATOP. *TD Novatop akustic* [online]. Dostupné z: [https://novatop-system.cz/wp-content/uploads/TD\\_NOVATOP\\_ACOUSTIC\\_CZ.pdf](https://novatop-system.cz/wp-content/uploads/TD_NOVATOP_ACOUSTIC_CZ.pdf)
- [16] SOLDATOVA, Anna. Časopis Odpady: Textilní odpady z domácností v Česku za poslední dekádu narostly desetinásobně | Odpady – časopis o nakládání s odpady a o životním prostředí. <https://odpady-online.cz/> [online]. 31. leden 2022 [vid. 2023-04-22]. Dostupné z: <https://odpady-online.cz/casopis-odpady-textilni-odpady-z-domacnosti-v-cesku-za-posledni-dekadu-narostly-desetinasobne/>
- [17] ŽIAKOVÁ, Silvia. Textilní odpad není sexy, ale týká se nás všech. *Slow Femme* [online]. 11. duben 2023 [vid. 2023-04-22]. Dostupné z: <https://www.slowfemme.com/magazine/textilni-odpad-neni-sexy-ale-tyka-se-nas-vsech>
- [18] RIEMLOVÁ, Martina. Keňa se topí v moři textilního odpadu. Použité oblečení slouží i jako obživa. *iDNES.cz* [online]. 28. listopad 2022 [vid. 2023-04-22]. Dostupné z: [https://www.idnes.cz/ekonomika/domaci/kena-textilni-odpad-fast-fashion-skladka-dandora.A221116\\_133240\\_ekonomika\\_rie](https://www.idnes.cz/ekonomika/domaci/kena-textilni-odpad-fast-fashion-skladka-dandora.A221116_133240_ekonomika_rie)
- [19] ŠKRDLÍKOVÁ, Marie. Vše, co jste chtěli vědět o textilním odpadu. *Zajimej.se* [online]. 5. červen 2020 [vid. 2023-04-22]. Dostupné z: <https://zajimej.se/vse-co-jste-chteli-vedet-o-textilnim-odpadu/>
- [20] NĚMEČEK, Pavel. *Měření akustické pohltivosti* [online]. [vid. 2023-01-09]. Dostupné z: <http://www.kvm.tul.cz/laboratore/laborator-technicke-diagnostiky/pohltivost>
- [21] ŠPAČEK, Jan. *Vliv tvaru performace dutinového rezonátoru na chování akustického prvku*. B.m., 2021. Technická Univerzita v Liberci.
- [22] PROCHÁZKA, Michael. *Zvukově pohltivé materiály používané v automobilech* [online]. B.m., 2012 [vid. 2022-12-30]. Thesis. Technická Univerzita v Liberci. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/handle/15240/12902>
- [23] JILANA, a.s. Trhanina na výplně - Jilana a.s. [eshop.jilana.cz](http://eshop.jilana.cz) [online]. [vid. 2023-05-20]. Dostupné z: <http://eshop.jilana.cz/trhanina-na-vyplne/>

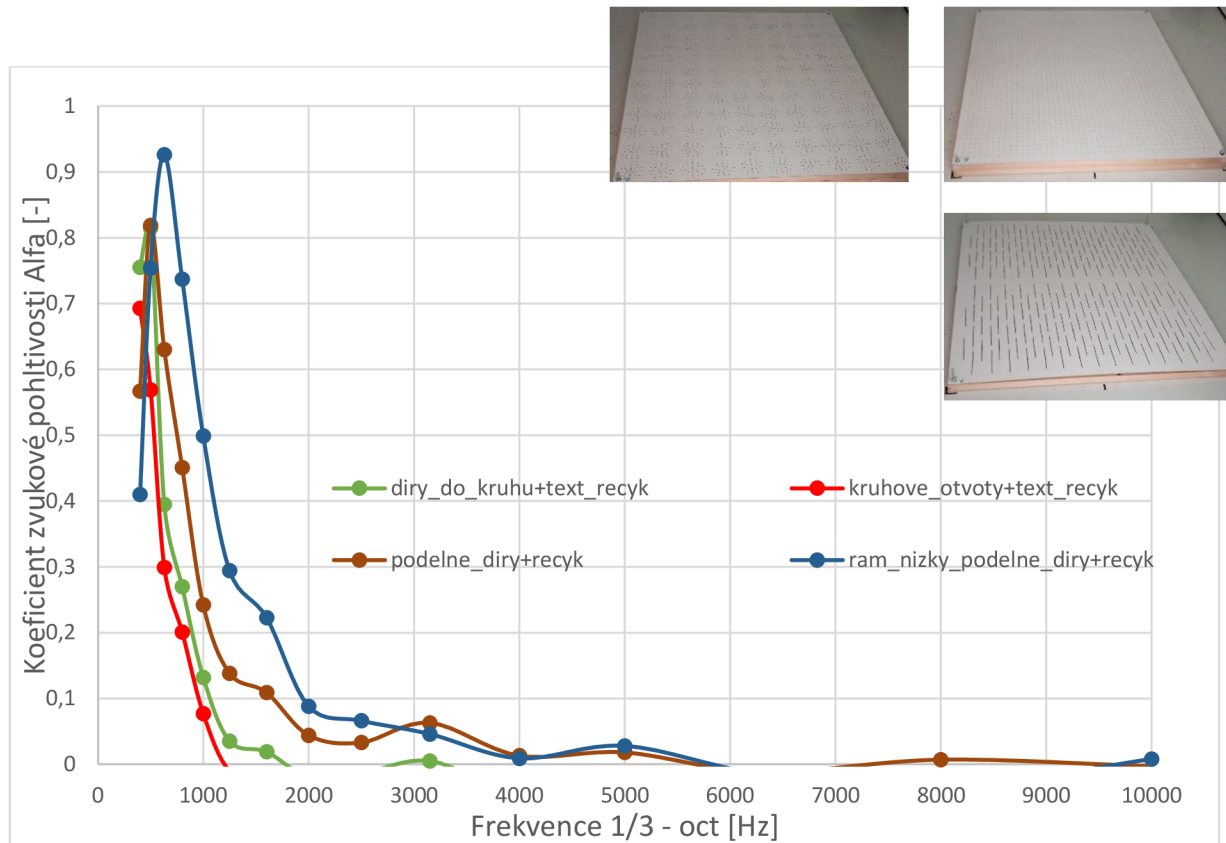
## Seznam příloh

Příloha 1 Grafická část

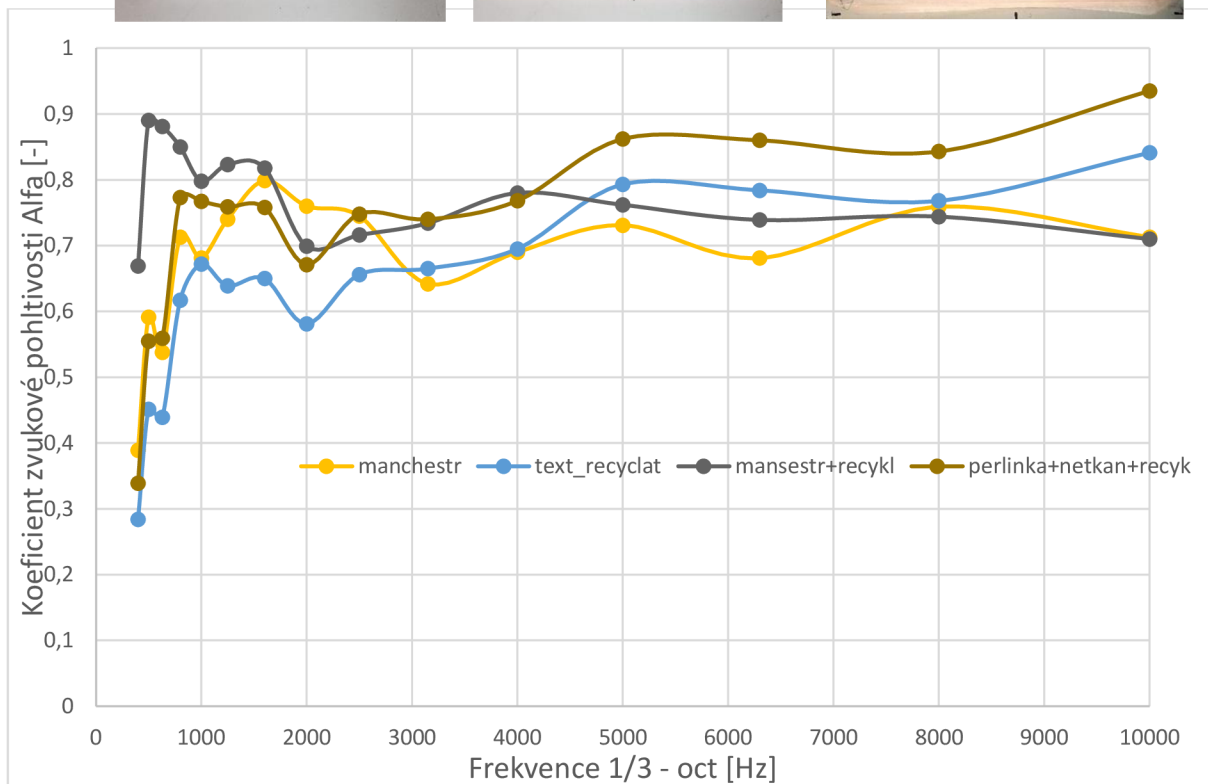
Příloha 2 Průběh měření

Příloha 3 Faktury, účtenky

Grafická část



Obrázek 1 Graf závislosti akustické pohltivosti na frekvenci zvuku měřených komponent akustické desky.



Obrázek 2 Graf závislosti akustické pohltivosti na frekvenci zvuku měřených komponent akustické desky.