



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ**

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

**KONSTRUKCE MOBILNÍHO AKUSTICKÉHO ŠTÍTU**

ENGINEERING DESIGN OF THE MOBILE ACOUSTIC SHIELDING

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Artem Rakhmatullin

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

doc. Ing. Milan Klapka, Ph.D.

BRNO 2020



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav konstruování  
Student: **Artem Rakhmatullin**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Milan Klapka, Ph.D.**  
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Konstrukce mobilního akustického štítu

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Při měření akustických vlastností strojů a zařízení je často třeba řešit odstínění nežádoucích zdrojů hluku z okolí. Jednou z možností je zlepšení prostředí pro měření pomocí variabilních prvků s akustickou izolací, které sníží hluk z okolí. Takové řešení je vhodné zejména pro měření in-situ, kdy není možné sledovaný objekt přesunout do ideálního prostředí akustické komory.

Typ práce: vývojová – konstrukční

### **Cíle bakalářské práce:**

Hlavním cílem je konstrukční návrh mobilního prvku pro odstínění nežádoucích zdrojů hluku s těmito parametry: max. hmotnost 15 kg, variabilita sestavení prvků, mobilní, cena prvku do 2000 Kč.

Dílčí cíle bakalářské práce:

- analýza možností akustického stínění,
- návrh možných variant řešení,
- ověření funkce prvku simulací nebo experimentálně.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<http://ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske-studium-ukonceni/>

**Seznam doporučené literatury:**

MIŠUN, Vojtěch. Vibration and noise. 2nd ed., V Akademickém nakl. CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-3060-5.

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS. Konstrukce strojních součástí. Editor Martin Hartl, Miloš Vlk. Brno: VUTIUUM, 2010, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

.....  
prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.  
ředitel ústavu

.....  
doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se věnuje problému zlepšení prostředí pro měření pomocí variabilních prvků s akustickou izolací. Cílem bylo navrhnout několik variant akustických krytí a vybrat nejlepší podle určitých požadavků popsanych v práci. Vypočítali jsme konkrétní teoretický odhad útlumu z hodnot uvedených od různých výrobců. Navrhnutá konstrukce může být použita pro odstínění nežádoucích zdrojů hluku z okolí.

## KLÍČOVÁ SLOVA

akustika, odstranění hluku, hluk, mobilní

## ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the problem of improving the environment for measurement using variable elements with acoustic insulation. The aim was to design several variants of acoustic shields and choose the best according to the specific requirements described in the work. We have calculated a specific theoretical estimate of attenuation from values reported from different manufacturers. The designed structure can be used to shield unwanted sources of ambient noise.

## KEYWORDS

acoustics, noise removal, noise, mobile



## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

RAKHMATULLIN, Artem. *Konstrukce mobilního akustického štítu*. Brno, 2020, 53 s.  
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování.  
Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Milan Klapka, Ph.D.



## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu své bakalářské práce panu doc. Ing. Milanu Klapkovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky, čas a trpělivost, které mi věnoval v průběhu vzniku této práce. Rád bych také poděkoval svým příbuzným, kteří mi studium umožnili a podporovali během něho.

## PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, pod odborným vedením doc. Ing. Milana Klapky, Ph.D. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....

Podpis autora



# OBSAH

<b>1 ÚVOD</b>	<b>13</b>
<b>2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ</b>	<b>14</b>
2.1 Metody boje proti hluku	14
2.1.1 Pasivní metody snižování hluku	15
2.1.2 Komerčně dostupné protihlukové zábrany	16
2.2 Fyzikální vlastnosti zvuku	17
2.2.1 Akustické vlastnosti zvuku v uzavřeném prostoru	17
2.2.2 Akustický tlak	18
2.2.3 Rychlost šíření zvuku	18
2.2.4 Odraz zvuku	19
2.2.5 Absorpce zvuku	20
2.2.6 Vzduchová neprůzvučnost	21
2.2.7 Útlum zvuku	21
2.3 Přehled materiálů	22
<b>3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE</b>	<b>30</b>
3.1 Analýza problému	30
3.2 Cíl práce	30
<b>4 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ</b>	<b>31</b>
4.1 Návrh konstrukce	31
4.2 Princip práce štítu	32
4.3 Třídění a porovnání materiálů	33
4.4 Sestavení variant pro řešení problému	34
4.4.1 Varianta 1	35
4.4.2 Varianta 2	36
4.4.3 Varianta 3	37
4.4.4 Varianta 4	38
4.5 Výběr varianty	38
<b>5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ</b>	<b>39</b>
5.1 Montáž konstrukce	39
5.2 Variabilní prvek a pomůcky	41
5.3 Kritické uzly	44

<b>6 DISKUZE</b>	<b>45</b>
<b>7 ZÁVĚR</b>	<b>46</b>
<b>8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b>	<b>47</b>
<b>9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN</b>	<b>49</b>
<b>10 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ</b>	<b>50</b>
<b>11 SEZNAM TABULEK</b>	<b>52</b>
<b>12 SEZNAM PŘÍLOH</b>	<b>53</b>

# 1 ÚVOD

Hluk je průvodní jev pracovních procesů všech strojních zařízení – výrobních strojů, dopravních, různých domácích elektrospotřebičů atd. Hluk proto nelze z pracovního a životního prostředí zcela odstranit, lze jej pouze redukovat na přijatelnou hodnotu. Co je hluk ve své podstatě? Hluk je neuspořádané chvění různých částic, odlišujících se svou složitostí časové a spektrální struktury, a může mít nepříznivý vliv na lidský organismus. Zdrojem hluku je jakákoli změna tlaku nebo mechanických kmitů v kapalných a plynných médiích. Hluk má určitou frekvenci nebo spektrum, vyjádřené v hertzech (Hz), a intenzitu – úroveň akustického tlaku, měřenou v decibelech (dB). Pro člověka je rozsah slyšitelných zvuků v rozmezí od 16 do 20 000 Hz.

Při měření akustických vlastností strojů a zařízení je často třeba řešit odstínění nežádoucích zdrojů hluku z okolí. Jednou z možností je zlepšení prostředí pro měření pomocí variabilních prvků s akustickou izolací, které sníží hluk z okolí. Takové řešení je vhodné zejména pro měření *in-situ*, kdy není možné sledovaný objekt přesunout do ideálního prostředí, např. akustické komory. Pro snížení hladiny hluku se používají následující základní metody: odstranění příčin nebo útlum hluku u zdroje výskytu, změna směru záření, stínění hluku a snížení hluku v cestě jeho šíření. Stínění hluku spočívá ve vytvoření zvukového stínu za krytím, které se nachází mezi chráněným prostorem a zdrojem hluku.

Krytí jsou nejefektivnější pro snížení vysoko- a středněfrekvenčního hluku, ale hůř snižují nízkofrekvenční hluk, který se díky difrakčnímu efektu kolem krytí snadno ohýbá. Metoda zvukové izolace s použitím krytí spočívá v tom, že většina zvukové energie, která na něj dopadá, je pohlcena a jen malá část proniká skrz.

## 2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

### 2.1 Metody boje proti hluku

Snížování hluku různých zařízení je náročná technická disciplína. Uplatňuje se při vývoji technologických procesů, navrhování, výrobě a provozu strojů, průmyslových budov a staveb i při organizaci pracoviště, kde je potřeba přijímat veškerá nezbytná opatření ke snížení hluku, ultrazvuku a vibrací, aby hodnoty nepřesáhly přípustné meze.

V boji proti hluku a vibracím v průmyslu se kromě osobních ochranných prostředků a pomůcek používají dvě hlavní metody:

- snížení hluku v zdroji jeho vzniku – aktivní metody;
- snížení hluku v cestě jeho šíření – pasivní metody.

#### a) Aktivní metody

Proti každému druhu hluku se užívají jiné aktivní metody boje [1]:

- Hluk mechanického charakteru: výměna dílů a prvků (např. ozubená kola z oceli mohou být nahrazena plastovými, která mají větší vnitřní tření); mazání pohybových, rotačních a třecích součástí; armování součástí; stažení prvků mezi sebou; zvýšení pevnosti; přidání plasticity;
- Hluk aerodynamického charakteru: snížení frekvence otáček ventilátorů nebo přidání plasticity;
- Hluk elektromagnetického a hydrodynamického zdroje: zvýšení frekvence zdrojů energie.

#### b) Pasivní metody

Pasivní metody používáme tam, kde nelze použít některou z aktivních metod.

Mezi tyto metody patří [2]:

- Vibrační a hlukové izolace zdrojů hluku;
- Vhodné rozmístění hlučných strojů v daném prostoru;
- Haly se stěnami s vysoce pohltivými materiály;
- Využívání osobních ochranných prostředků a pomůcek (chrániče sluchu, prilby, antivibrační rukavice, obuv atd.).

V této práci se budeme přímo věnovat pasivní metodě snížení hluku, což bude detailně popsáno níže.

### 2.1.1 Pasivní metody snižování hluku

Pokud je nutné výrazně snížit energii procházejícího zvuku, používají se speciální materiály nebo konstrukce, které mají výrazně vyšší součinitel pohltivosti zvuku, tzv. absorbéry zvuku. Tyto materiály mají široké využití ve strojírenské, stavební a prostorové akustice.

Princip změny akustické energie na jiný druh energie se může realizovat těmito způsoby [2]:

- třením v struktuře pohltivého materiálu;
- periodickou změnou akustického tlaku;
- nepružnými deformacemi materiálu.

Z hlediska akustiky můžeme absorbéry zvuku rozdělit do následujících skupin: porézní, založené na rezonančním principu, a porézní s perforovanými plechy (kombinované) [3].

Porézní absorbéry jsou efektivní v rozmezí vysokých a středních frekvencí. Jako suroviny pro jejich výrobu slouží dřevěná vlákna, minerální a skleněné vaty nebo vlákna syntetická. Používají se v různých podobách, např. kartony, koberce, rohože atd.

Tyto absorbéry se dělí na porézní s pevnou kostrou a porézně elastické materiály. V porézních absorbérech s pevnou kostrou je zvuková energie pohlcována odporem tření a viskozity vzduchu v pórech; do této skupiny patří porézní betony na bázi lehkých plniv (pemza, keramzit, expandovaný perlit atp.), vázané různými pojivy (cement, vodní sklo atp.) [4].

V porézně elastických materiálech je zvuk pohlcen nejenom v důsledku tření v pórech, ale také díky vnitřnímu tření při deformaci pružné kostry [4]. Patří sem vláknité akustické materiály na syntetických pojivech; jejich vlákna mohou být organického původu (minerální vata, azbestová a skleněná vlákna).

K základním fyzikálním charakteristikám porézních materiálů patří [2]:

- pórovitost (poréznost);
- průměr vláken;
- faktor struktury;
- odpor proti proudění;
- součinitel absorpce.

## 2.1.2 Komerčně dostupné protihlukové zábrany

Různí výrobci akustických štítů již mají vlastní hotová řešení problému. Hlavní princip, na kterém se jejich řešení zakládá, je pohlcování a odražení zvuku (např. instalují podél silnic protihlukové stěny). Takový štít se většinou skládá z perforovaného ocelového plechu s polymerovou vrstvou, uvnitř se nachází pohlcující materiál (např. minerální vata) a zezadu je ocelový plech. Nevýhoda takové konstrukce je, že je příliš těžká a nemobilní, druhá ta, že se některé vlny odrážejí nazpět do měřící techniky, a poslední, že je tento princip zaměřen na pohlcení pouze nízkofrekvenčních vln zvuků.



Obr. 2-1 Protihluková stěna

Následující řešení svým zaměřením spíše odpovídá cíli této práce. Jeho jednoduchá konstrukce, která se skládá jen z pohlcujícího materiálu a zadní desky, vypadá oproti předchozímu příkladu mobilněji a variabilněji.



Obr. 2-2 Akustický paraván

## 2.2 Fyzikální vlastnosti zvuku

Na začátku této kapitoly si vysvětlíme princip fungování zvuku. Abychom toho dosáhli, je potřeba nejprve popsat jednotlivé vlastnosti zvuku a jeho zásadní fyzikální veličiny. Z těchto hodnot lze následně odvodit vzorec teoretického útlumu zvuku. Na konci jsou pak uvedeny nejlepší materiály k řešení tohoto problému.

### 2.2.1 Akustické vlastnosti zvuku v uzavřeném prostoru

Akustickým polem se nazývá oblast pružného prostředí, které slouží jako prostředek pro přenos akustických vln. Akustické pole se vyznačuje primárně akustickým tlakem [5].

Abychom mohli zlepšit akustické podmínky, potřebujeme porozumět tomu, jak mezi sebou interagují akustické zdroje, parametry příslušného prostoru a jaké jsou jeho geometrické a akustické charakteristiky. Zdroj zvuku vytváří ve svém okolí akustické pole a závisí na mnoha faktorech [2]:

- Na umístění zdroje;
- Na tvaru vyzařovacích ploch zdroje;
- Na velikosti a tvaru prostoru;
- Na okolních plochách, překážkách;
- Na pohltivosti okolních stěn;
- Na počtu zdrojů a jejich rozmístění.

Akustika místnosti se výrazně liší od akustiky volného prostoru. Pokud se zdroj zvuku nachází v místnosti, budou se zvukové vlny šířit od zdroje zvuku, dokud nedosáhnou hranice místnosti nebo v ní umístěných bariér. Na těchto překážkách se bude část zvukové energie odrážet, část bude pohlcena a často tato energie projde i přes nosné konstrukce. V místnostech je nutné rozlišovat přímý zvuk, přicházející do konkrétního bodu bezprostředně od zdrojů, a odražený od povrchů. Zvukové pole v místnosti je tvořeno mnohonásobným odrazem zvukových vln a sčítáním energií přímých a odražených vln.

Zvukové pole vytvořené zdrojem zvuku v místnosti se tedy skládá ze dvou složek – přímého a difuzního (součtu odražených vln). Při popisu a modelování akustických polí lze použít následující pojmy: vzdálené a volné pole.

Vzdálené pole je ta část zvukového pole, v kterém se zvukový tlak mění nepřímou vzdáleností od zdroje, což odpovídá snížení o přibližné hodnotě 6 dB pro každé zdvojnásobení vzdálenosti.

Volné pole je prostředí, ve kterém se může zvuková vlna šířit ve všech směrech bez bariér nebo odrazů. [6]

### 2.2.2 Akustický tlak

Akustický tlak je definován jako střídavý tlak superponovaný barometrickému tlaku při šíření zvuku a vyjadřuje odchylky od pokojové hodnoty barometrického tlaku [7]. Akustický tlak se s časem mění a je možné ho vyjádřit vztahem:

$$p(t) = p_0 * \sin(\omega * t + \varphi) \quad (1)$$

Anebo vztahem k barometrickému tlaku  $p_b(t)$  :

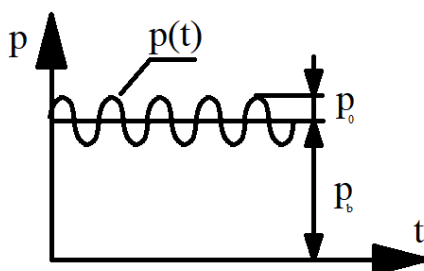
$$p(t) = p_c(t) - p_b(t) \quad (2)$$

Kde je  $p_0$  – amplituda akustického tlaku (Pa);

$\omega$  – kruhová (uhlová) frekvence akustického tlaku (rad/s);

$\varphi$  – začáteční fáze zvukového signálu (v čase  $t = 0$ );

$p_c(t)$  – celkový okamžitý tlak v sledovaném bodě prostředí (Pa).



Obr. 2-3 Průběh akustického tlaku

### 2.2.3 Rychlost šíření zvuku

Rychlost šíření zvuku je rychlost, jakou se šíří zvukový rozruch ve směru zvukového paprsku daným prostředím v metrech za sekundu. V plynném a kapalném prostředí se šíří pouze podélné vlnění [7]. U pevných materiálů vzniká nejen podélné a příčné vlnění, ale i smykové. Pro plynné prostředí můžeme rychlost šíření zvuku odvodit vztahem:

$$c = \sqrt{\frac{K * p_b}{\rho}} \quad (3)$$

Kde je  $\rho$  – hustota prostředí ( $\text{kg/m}^3$ );

$K$  – adiabatický exponent suchého vzduchu ( $K = 1,402$ ).

V pevných látkách, pro podélné:

$$c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (4)$$

V pevných látkách, pro příčné:

$$c_T = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (5)$$

Kde je  $E$  – modul pružnosti v tahu (Pa);

$G$  – modul pružnosti ve smyku (Pa).

Rychlost šíření zvuku pro různé látky uvedené tabulce.

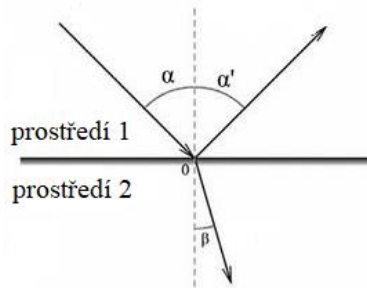
Látka	Rychlost šíření zvuku
Suchý vzduch (0 °C)	331,4
Suchý vzduch (25 °C)	346,3
Ocel (20 °C)	5000–6000
Hliník (20 °C)	5200–6400

Tab.2-1 Tabulka šíření rychlosti zvuku v různých látkách

## 2.2.4 Odraz zvuku

Odraz zvuku je návrat zvukové vlny při jejím setkaní s rozhraním rozdílu dvou médií s různou hustotou zpět do původního prostředí. Při dopadu na rozhraní rozdílu dvou homogenních médií (např. vzduch–stěna, vzduchu – vodní povrch) se rovinná zvuková vlna může částečně odrazit a částečně lomit. Zvukové vlny se tedy chovají podobně jako světelné paprsky a platí pro ně i podobný zákon. Podle zákona odrazu leží odražená vlna ve stejné rovině s dopadající vlnou a normálou na rozhraní rozdílu médií v místě dopadu, přičemž úhel odrazu  $\alpha'$  je roven úhlu dopadu  $\alpha$  [8].

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n \quad (6)$$



Obr. 2-4 Odraz zvuku

## 2.2.5 Absorpce zvuku

Absorpce zvuku je přeměna energie zvukové vlny na jiné formy energie, zejména na teplo. K určení množství absorbované energie (ta zčásti prochází přes překážku) se používá koeficient absorpce zvuku daného povrchu  $\alpha$  [9]. Součinitel absorpce se může měnit v rozmezí:  $0 < \alpha < 1$ . Např.: pokud  $\alpha = 0,6$ , tak 60 % na povrch dopadající zvukové energie bude pohlceno.

$$\alpha = \frac{\text{pohlcená energie}}{\text{dopadající energie}}$$

Absorpce je ovlivněna různými faktory, mezi nimi jsou např. drsnost nebo poréznost povrchu, na něž akustická vlna dopadá, ale mění se i s frekvencí vlnění – pro nižší frekvence je součinitel pohltivosti menší a naopak [2]. Koeficient pórovitých látek je u hladkých materiálů, jako jsou kovy, dlaždice či sklo, velmi malý. Pro některé materiály je jejich absorpce uvedena v tabulce níže.

Tab. 2-2 Tabulka součinitele absorpce  $\alpha$  pro různé materiály v různých frekvenčních pásmech

Druh materiálu	Frekvence					
	125	250	500	1000	2000	4000
Beton	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
Teracové dlaždice	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
Obkladačky, mramor, kachličky	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Neomítnutá cihlová zeď	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
Papírové tapety na stěně	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,07
Dřevěná podlaha	0,15	0,11	0,1	0,06	0,07	0,06
Okenní sklo	0,08	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02

## 2.2.6 Vzduchová neprůzvučnost

Metoda zvukoizolace, neboli zvukové neprůzvučnosti, využívá, kromě jiných způsobů snižování hluku, zvukoizolační vlastnosti pevných překážek, jako jsou stěny, příčky, zástěny [2]. Zvukovou průzvučnost, charakterizovanou součinitelem průzvučnosti  $\tau$ , je možné definovat jako poměr akustické energie procházející konstrukcí k celkové dopadající akustické energii.

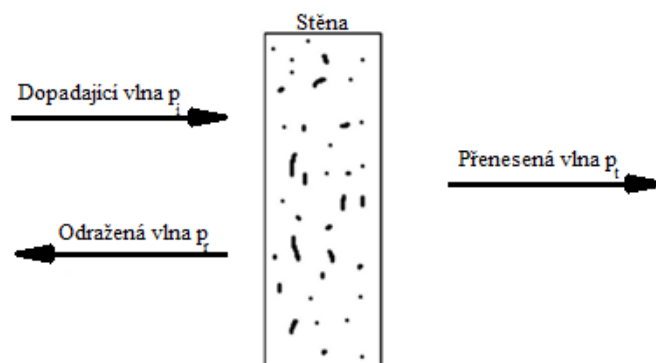
$$\tau = \frac{\text{procházející energie}}{\text{dopadající energie}} \quad (7)$$

Vzduchová neprůzvučnost je pak šíření akustické energie ze vzduchu přes stěnu znovu do vzduchu za stěnou. Vzduchová neprůzvučnost  $R$  má jednotku decibel (dB) a je závislá na součiniteli zvukové průzvučnosti  $\tau$  podle následujícího vztahu [10]:

$$R = 10 * \log \frac{1}{\tau} \quad (8)$$

## 2.2.7 Útlum zvuku

Přenos zvuku závisí převážně na hmotnosti zdi. Čím větší je hmotnost, tím méně bude zvuk přenášen. To je základ „masového zákona“, který uvádí, že při každém zdvojnásobení hmotnosti stěny se útlum zvuku (TL) navýší o 6 dB. Jedním z aspektů tohoto výsledku je, že zvýšení tuhosti a tlumení má malý vliv na zvyšování útlumu zvuku (na rozdíl od běžné mylné představy) [11].



Obr. 2-5 Schematické ukazování rozložení

Na obrázku 2-5 dopadající vlna padá zleva na hranice stěny. Tato vlna se pak rozdělí na dva komponenty – jedna část energie se přenáší, druhá část se odráží. Následující poměr ukazuje propojení mezi už známými hodnotami:

$$\frac{p_i}{p_t} = \left( 1 + \frac{m * \omega}{2 * \rho * c} \right) \quad (9)$$

Vypočet útlumu lze popsat pomocí logaritmických jednotek:

$$TL = 10 * \log_{10} \left| \frac{p_i}{p_t} \right|^2 = 10 * \log_{10} \left( 1 + \left( \frac{m * \omega}{2 * \rho * c} \right)^2 \right) \quad (10)$$

Za téměř všech praktických okolností platí:

$$\frac{m * l * \omega}{2 * \rho * c} \gg 1 \quad (11)$$

Rovnice (10) je pak:

$$TL = 20 * \log_{10} \left( \frac{m * \omega}{2 * \rho * c} \right) \quad (12)$$

S použitím známých vlastností vzduchu lze tento stav přeformulovat na:

$$TL = 20 * \log_{10} m + 20 * \log_{10} f - 42 \quad (13)$$

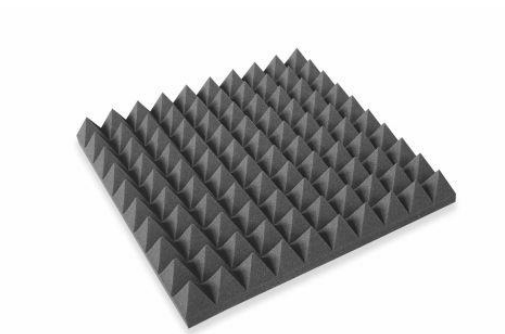
Pro zvukoizolační krytí, kde je cílem dosáhnout co nejvyšší hodnoty útlumu, platí, že celkový útlum  $TL_{\text{celk}}$  se rovná součtu hodnot jednotlivých vrstev  $TL_1$  a  $TL_2$ .

$$TL_{\text{celk}} = TL_1 + TL_2 \quad (14)$$

## 2.3 Přehled materiálů

Na trhu běžně existuje mnoho absorpčních materiálů. Ty mají odlišné vlastnosti, složení, ceny, a dokonce i technologii pohlcení zvuku. Níže jsou zmíněny ty relativně nejlepší z nich. Výrobci protihlukových materiálů většinou uvádějí buď součinitel absorpce, nebo vzduchové neprůzvučnosti, případně oba dva.

## Akustická pěna jehlan



Obr. 2-6 Akustická pěna jehlan

Vyrábí se z polyuretanové pěny nebo polyesteru. Může mít různé formy, ty se od sebe liší podle frekvence, pro kterou jsou určeny. Zde uvažovaný tvar jehlanu je určen pro pohlcování středních a vysokých frekvencí.

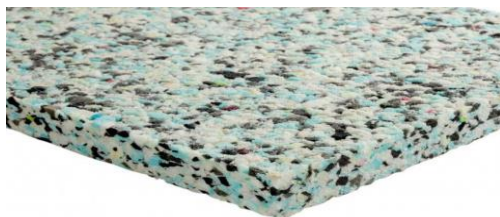
### Vlastnosti:

- **Objemová hustota:**  $50 \text{ kg/m}^3$
- **Střední součinitel absorpce:**  $\alpha = 0,38$

**Cena:** 118 Kč za rozměr desky  $500 \times 500 \times 70 \text{ mm}$ .

## Lisovaná akustická deska

Lisovaná akustická deska se vyrábí speciálním technologickým postupem, a to slisováním malých nesourodých kousků polyuretanové pěny. Tím vznikne tuhá, poměrně těžká spojitá hmota s relativně vysokou objemovou hmotností (na takový druh materiálu) [13]. Vyrábí se ve dvou tloušťkách – 30 a 50 mm.



Obr. 2-7 Lisovaná akustická deska

### Vlastnosti:

- **Objemová hustota:**  $180 \text{ kg/m}^3$
- **Střední vzduchová neprůzvučnost** při tloušťce: 30 mm – R = 16 dB  
50 mm – R = 20 dB
- **Střední součinitel absorpce:**  $\alpha = 0,85$  při tloušťce 50 mm

### Cena:

334 Kč za  $\text{m}^2$  při tloušťce 30 mm

496 Kč za  $\text{m}^2$  při tloušťce 50 mm.

### Plst

Plst je hustý netkaný textilní materiál vyrobený z plstěné srsti, který má jedinečně nízkou tepelnou vodivost a je velmi dobře prodyšný. Obvykle se vyrábí ve formě panelů, které mají, v závislosti na účelu, jinou tloušťku. Jediným přírodním materiálem, z kterého může být plst vytvořena, je srst. Pro účely neprůzvučnosti je nejlepší srst ovčí. Vlněná vlákna mají šupinatou horní vrstvu – kůžičku, díky které se mohou vzájemně spojovat pod vlivem horké vody a páry. Z toho vychází princip plstění [14].

### Comfort mat Felton



Obr. 2-8 Comfort mat Felton

### Vlastnosti:

- **Objemová hustota:**  $96,43 \text{ kg/m}^3$
- **Střední součinitel absorpce:**  $\alpha = 0,55$

**Cena:** 330 Kč za  $\text{m}^2$  při tloušťce 10 mm.

### Minerální vata

Minerální vata (příp. vlna) je izolace vyrobená z vláken minerálního původu. Většinou se používá k tepelné, protipožární a zvukové izolaci. V závislosti na typu suroviny může mít minerální vata odlišnou strukturu vláken, technologicky definovanou: horizontálně vrstvenou, vertikálně vrstvenou, vlnitou nebo prostorovou; což rozšiřuje možnosti jejího využití v různých strukturách. Vyznačuje se silnou odolností vůči vysokým teplotám a působení chemikálií. Minerální vata má také vynikající tepelně i zvukově izolační vlastnosti [15].

### Acousticwool sonet



Obr. 2-9 Acousticwool sonet

### Vlastnosti:

- **Objemová hustota:**  $48 \text{ kg/m}^3$
- **Střední odhad útlumu:**  $TL = 20,95 \text{ dB}$
- **Střední součinitel absorpce:** 0,75 při tloušťce 50 mm

**Cena:** 107 Kč při rozměru desky  $1000 \times 600 \times 50 \text{ mm}$ .

### Desky Wolf Tri

Zvukově izolační desky Wolf PhoneStar jsou založené na principu těžké hmoty v sykové podobě. Těžká hmota je v tomto případě čistý minerální křemičitý písek umístěný uvnitř volného prostoru desky, která je tvořena z vícevrstvého kartonu [16].



Obr. 2-10 Desky Wolf Tri

**Vlastnosti:**

- **Objemová hustota:**  $1350 \text{ kg/m}^3$
- **Střední odhad útlumu:**  $TL = 34,62 \text{ dB}$
- **Střední vzduchová neprůzvučnost:**  $R = 36 \text{ dB}$

**Cena:** 822,4 Kč za  $\text{m}^2$  při tloušťce 15 mm.

**Gecon Acoustic**

Dřevovláknitá akustická deska.



Obr. 2-11 Gecon Acoustic

**Vlastnosti:**

- **Objemová hustota:**  $750 \text{ kg/m}^3$
- **Střední vzduchová neprůzvučnost** při tloušťce 10 mm:  $R = 33 \text{ dB}$

**Cena:** 603,75 Kč za  $\text{m}^2$  při tloušťce 10 mm. [17]

## ISOPLAAT

Isoplaat (ISOPLAAT) je značka koncernu Skano, jehož sortiment zahrnuje měkké dřevovláknité desky pro různé aplikace. Všechny desky jsou vyrobeny finskou technologií „wet method“. Ve výrobním procesu se štěpky z jehličnatého dřeva navlhčují, aby se uvolnil lignin, a výsledná směs se poté umístí do takzvaného „koberce“ zhutněného horkým lisem tak, že lignin „lepí“ vlákna a suší se. Současně se do kompozice nepřidávají žádné chemické nečistoty, pryskyřice ani lepidlo. Díky tomu je deska velice pevná a časem se nerozvrství [18].



Obr. 2-12 ISOPLAAT

### Vlastnosti:

- **Objemová hustota:**  $230 \text{ kg/m}^3$
- **Střední odhad útlumu:**  $TL = 21,95 \text{ dB}$
- **Střední vzduchová neprůzvučnost:**  $R = 23 \text{ dB}$

**Cena:** 270 Kč při rozměru desky  $2700 \times 1200 \times 12 \text{ mm}$ .

## SOLOLIT

Sololit je tvrdá dřevovláknitá deska, která se vyrábí zplstněním rozvlákněné lignocelulózní hmoty mokrou cestou [19].



Obr. 2-13 SOLOLIT

**Vlastnosti:**

- **Objemová hustota:**  $250 \text{ kg/m}^3$
- **Střední součinitel absorpce:**  $\alpha = 0,09$

**Cena:** 65,4 Kč při rozměru desky  $2750 \times 1220 \times 5 \text{ mm}$ .

**Hliníková sendvičová deska**

Obr. 2-14 Hliníkový plech

**Vlastnosti:**

- **Objemová hustota:**  $2680 \text{ kg/m}^3$
- **Střední součinitel absorpce:**  $\alpha = 0,61$

**Cena:** 765 Kč za plech  $2 \times 2000 \times 1000 \text{ mm}$ .

## **DTD surová**

Třívrstvá oboustranně broušená dřevotřísková deska.



Obr. 2-15 DTD surová

**Objemová hustota:**  $653 \text{ kg/m}^3$

**Cena:** 168 Kč při rozměru desky  $2000 \times 1350 \times 22 \text{ mm}$ .

## 3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

### 3.1 Analýza problému

V určitých případech je třeba zlepšit akustické prostředí pro měření hluku, a to zejména v podmínkách mimo laboratoř. Toho se dá dosáhnout různými prostředky, které jsou popsány v rešerši. Aby bylo možné měření mimo akustickou zkušebnu realizovat, je nutné navrhnout vhodné mobilní akustické stínění. Další problém vyvstává z toho, že, jak si můžeme všimnout, výrobce uvádějí dva různé koeficienty (případně i oba): součinitel absorpce ( $\alpha$ ) a/nebo stupeň vzduchové neprůzvučnosti (R). Abychom mohli porovnat akustické vlastnosti materiálů mezi sebou, bylo potřeba převést materiály na společný koeficient. Takovým řešením je útlum zvuku (TL), který byl popsán v kapitole 2.2.7.

### 3.2 Cíl práce

Hlavním cílem práce je konstrukční návrh mobilního zařízení pro odstínění nežádoucích zdrojů hluku s těmito parametry:

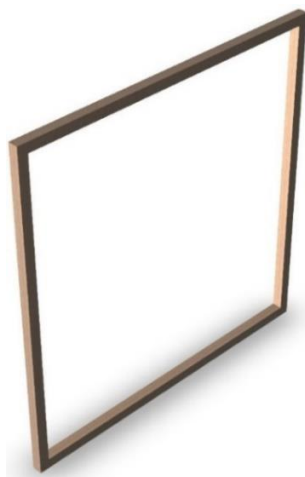
- max. hmotnost 15 kg
- variabilita sestavení komponentů
- mobilita
- cena do 2 000 Kč.

## 4 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

### 4.1 Návrh konstrukce

Pro odstínění hluku v jeho původním prostředí jsme navrhli řešení složené z protihlukových materiálů. Níže popsany koncept má dané rozměry 1 m × 1 m, jen tloušťka se liší v rozmezí 50–142 mm. Navržená konstrukce akustického krytí se skládá ze tří hlavních částí:

- a) Rám – slouží jako základ celé konstrukce, je vyroben z DTD surové dřevotřískové desky;



Obr. 4-1 Rám

- b) Absorpční deska – slouží jako hlavní absorpční prvek, je umístěná uvnitř rámu;



Obr. 4-2 Absorpční deska

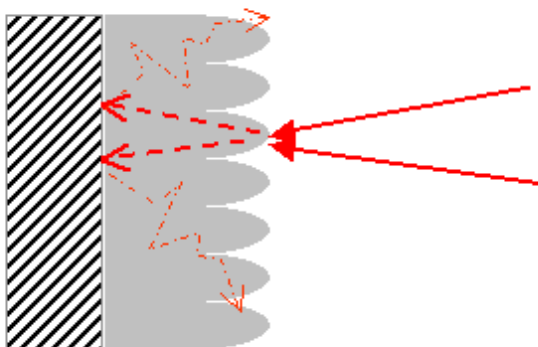
c) Zadní deska – montuje se k rámu, na ni je přilepen absorpční materiál;



Obr. 4-3 Zadní deska

## 4.2 Princip práce štítu

Konstrukce funguje na jednoduchém principu. Zvuková vlna nejprve projde přes absorpční desku. Díky struktuře materiálů se proudící zvuk uzamkne (respektive bude pohlcen a rozptýlen), nicméně určité množství přes ni projde. Zvuk narazí do zadní desky a odrazí se od ní zpět. Při odrazu se opět zachytí do struktury absorpční desky.



Obr. 4-4 Princip práce akustického štítu

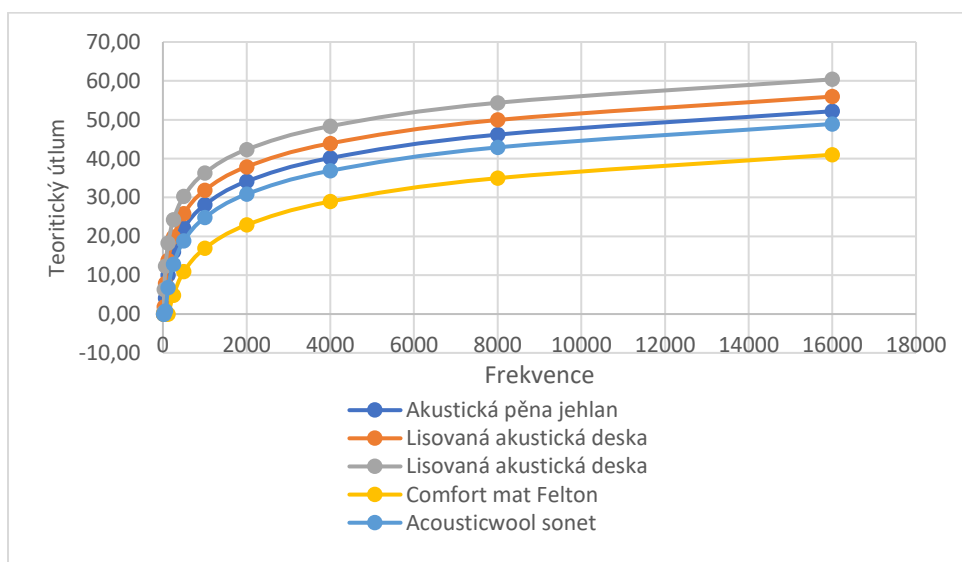
## 4.3 Třídění a porovnání materiálů

Všechny materiály, popsané v kapitole 2.3, je potřeba rozdělit do dvou skupin, a to na ty, které jsou vhodné pro absorpční desku, a ty, které se hodí pro desku zadní. Pro porovnání akustických vlastností všech materiálů byl proveden výpočet teoretického útlumu (TL) podle vzorce 13, v oktávovém pásmu od 16 do 16 000 Hz. Pokud nám při výpočtu TL vyjde záporná hodnota, předpokládáme, že útlum bude nulový. Pro výpočet hmotnosti absorpčních desek byly zvolené rozměry 0,956 m × 0,956 m × tloušťka materiálu.

### a) Materiály pro absorpční desku

Materiál	Tloušťka [mm]	f [Hz]	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Akustická pěna jehlan	70	TL [dB]	0,00	0,00	4,09	10,04	16,06	22,08	28,10	34,12	40,14	46,16	52,18
Lisovaná akustická deska	30	TL [dB]	0,00	1,83	7,85	13,80	19,82	25,85	31,87	37,89	43,91	49,93	55,95
Lisovaná akustická deska	50	TL [dB]	0,39	6,27	12,29	18,24	24,26	30,28	36,30	42,32	48,34	54,36	60,39
Comfort Mat Felton	10	TL [dB]	0,00	0,00	0,00	0,00	4,86	10,88	16,90	22,92	28,94	34,96	40,98
AcousticWool Sonet	50	TL [dB]	0,00	0,00	0,81	6,76	12,78	18,80	24,82	30,84	36,86	42,88	48,90

Tabulka 4-1 Porovnání materiálů pro absorpční desku ve frekvenčním pásmu



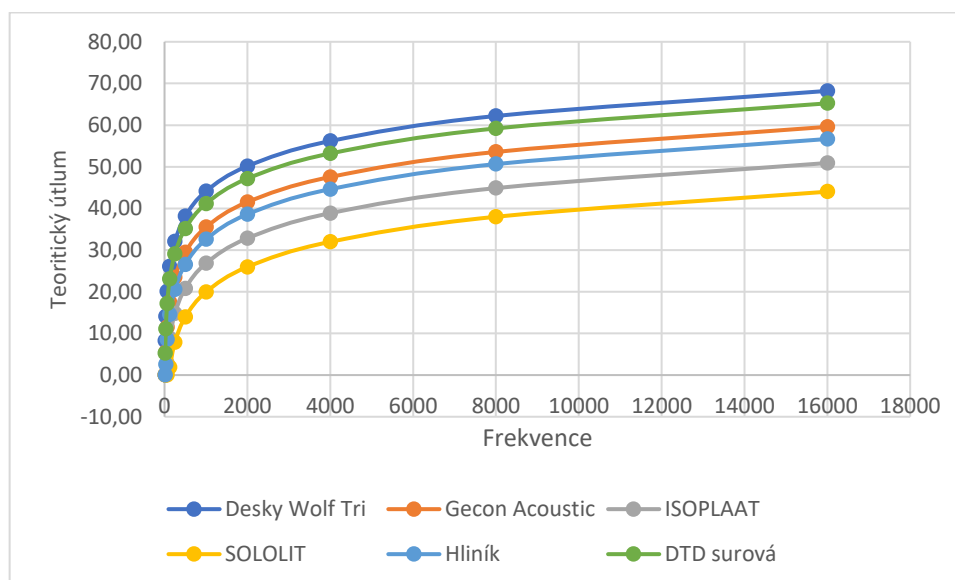
Graf 4-1 Porovnání materiálů pro absorpční desku ve frekvenčním pásmu

Pro výpočet hmotnosti zadních desek byly zvolené rozměry 1 m × 1 m × tloušťka materiálu.

#### b) Materiály pro zadní desku

Materiál	Tloušťka [mm]	f [Hz]	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Desky Wolf Tri	15	TL [dB]	8,21	14,09	20,12	26,07	32,09	38,11	44,13	50,15	56,17	62,19	68,21
Gecon Acoustic	10	TL [dB]	0,00	5,47	11,49	17,44	23,46	29,48	35,50	41,52	47,54	53,56	59,58
ISOPLAAT	12	TL [dB]	0,00	0,00	2,80	8,76	14,78	20,80	26,82	32,84	38,86	44,88	50,90
SOLOLIT	5	TL [dB]	0,00	0,00	0,00	1,88	7,90	13,92	19,94	25,96	31,98	38,00	44,02
Hliník	2	TL [dB]	0,00	2,55	8,57	14,52	20,54	26,56	32,58	38,60	44,62	50,65	56,67
DTD surová	22	TL [dB]	5,23	11,11	17,13	23,08	29,11	35,13	41,15	47,17	53,19	59,21	65,23

Tabulka 4-2 Porovnání materiálů pro zadní desku ve frekvenčním pásmu



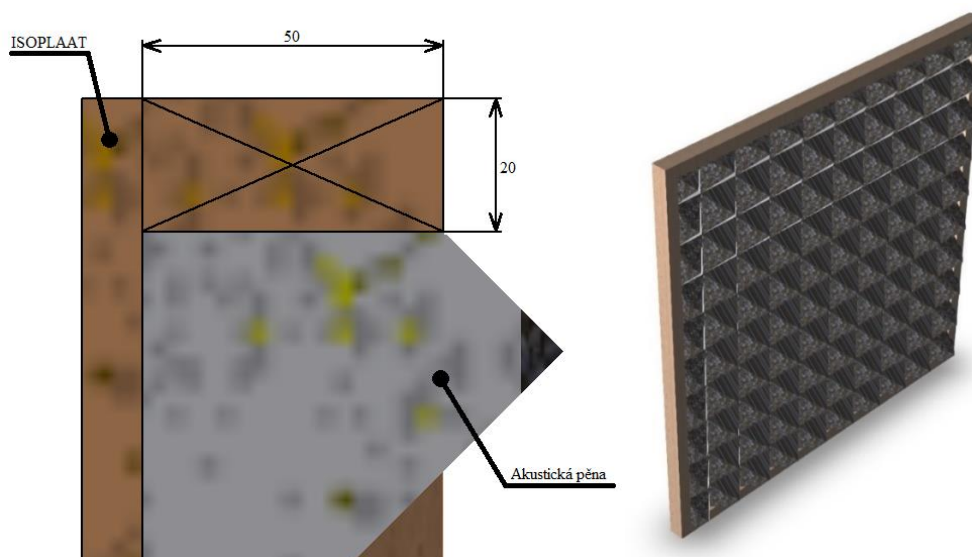
Graf 4-2 Porovnání materiálů pro zadní desku ve frekvenčním pásmu

## 4.4 Sestavení variant pro řešení problému

Pro všechny materiály, které uvádíme pro odstínění hladiny hluku, jsme navrhli čtyři různé varianty akustického krytí. Pro porovnání všech variant byl spočítán teoretický útlum  $TL_{celk}$  podle vzorce 14. Pro výpočet hmotnosti celé konstrukce u různých variant byly zvoleny různé rozměry nosníků rámu.

#### 4.4.1 Varianta 1

Materiálem první varianty pro pohlcení hluku je akustického pěna. Pro zadní desku byl vybrán materiál ISOPLAAT.



Obr. 4-5 Varianta 1

Vlastnosti konstrukce:

- Hmotnost: 7,3653 kg
- Cena: 910 Kč

Teoretický útlumu  $TL_{\text{celk}}$ :

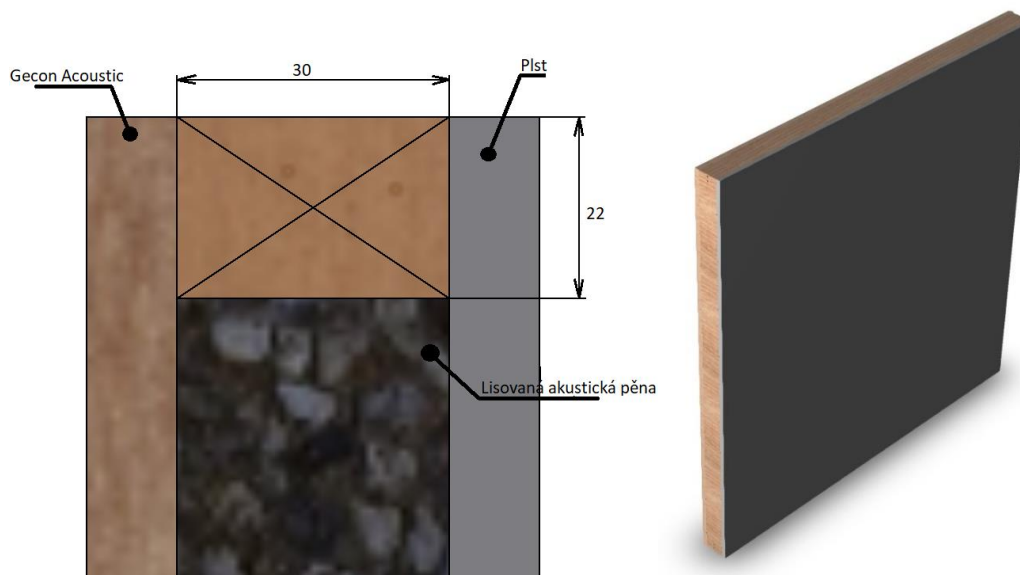
f [Hz]	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
TL [dB]	0,00	0,00	6,89	18,79	30,84	42,88	54,92	66,96	79,00	91,04	103,08

Tabulka 4-3 Teoretického útlumu zvuku Varianty 1

Střední teoretický útlum  $TL_{\text{celk}} = 44,95$  dB.

#### 4.4.2 Varianta 2

V druhém návrhu byla jako absorpční materiál zvolena lisovaná akustická pěna tloušťky 30 mm, materiál pro zadní desku Gecon Acoustic. K rámu je ale navíc přes absorpční materiál připevněna plst. Díky tomu, že jsou zde dvě vrstvy absorbéru, má tato varianta ohromný teoretický útlum vůči hmotnosti.



Obr. 4-6 Varianta 2

Vlastnosti konstrukce:

- Hmotnost: 14,25 kg
- Cena: 1435,75 Kč

Teoretický útlumu  $TL_{celk}$ :

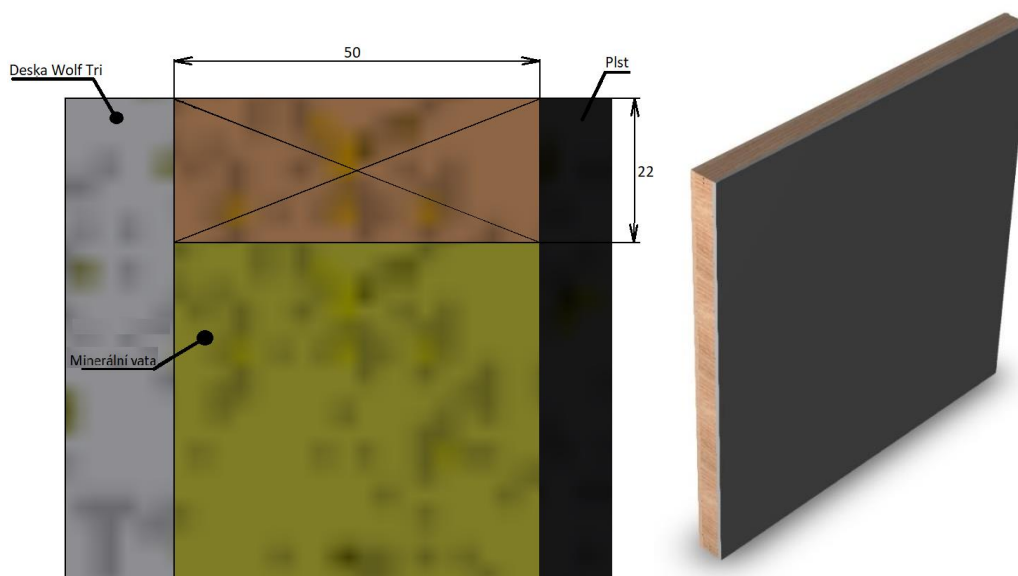
f [Hz]	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
TL [dB]	0,00	7,30	19,34	31,24	48,15	66,21	84,27	102,33	120,39	138,46	156,52

Tabulka 4-4 Teoretického útlumu zvuku Varianty 2

Střední teoretický útlum  $TL_{celk} = 70,38$  dB.

### 4.4.3 Varianta 3

Třetí návrh konstrukce vypadá podobně. Absorpční materiál umístěný uvnitř rámu je minerální vata, před rámem je opět plst. Jako zadní deska byla zvolena akustická deska Desky Wolf Tri.



Obr.4-7 Varianta 3

Parametry konstrukce:

- Hmotnost: 24,8 kg
- Cena: 1534,4 Kč

Teoretický útlum  $TL_{\text{celk}}$ :

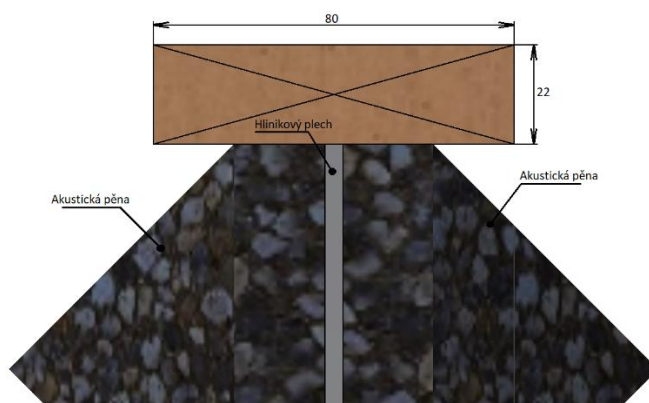
f [Hz]	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
TL [dB]	8,21	14,09	20,92	32,83	49,73	67,79	85,85	103,92	121,98	140,04	158,10

Tabulka 4-5 teoretického útlumu zvuku Varianty 3

Střední teoretický útlum  $TL_{\text{celk}} = 73,04$  dB.

#### 4.4.4 Varianta 4

Posledním návrh konstrukce má z obou stran připevněnou akustickou pěnu. Díky tomu je tato varianta vhodná pro případy, kdy od sebe potřebujeme odstínit různé zdroje hluku. Uprostřed krytí se nachází hliníkový plech.



Obr.4-8 Varianta 4

Parametry konstrukce:

- Hmotnost: 18,85 kg
- Cena: 1877 Kč

Teoretický útlum  $TL_{celk}$ :

f [Hz]	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
TL [dB]	0,00	2,55	16,74	34,60	52,66	70,72	88,78	106,84	124,91	142,97	161,03

Tabulka 4-6 teoretického útlumu zvuku Varianty 4

Střední teoretický útlum  $TL_{celk} = 72,9$  dB.

#### 4.5 Výběr varianty

Kvůli nízkým hodnotám teoretického útlumu nám odpadá varianta 1. Ta je vhodná spíš pro případy, kdy jsme silně limitováni hmotností a cenou. Z hlediska poměru ceny a teoretického útlumu hluku je nejlepší volbou variant 4. Jak už ale bylo řečeno, ta se primárně hodí pro odstraňování různých zdrojů hluku; na rozdíl od variant 2 a 3, které jsou určené k jednostrannému pohlcování. Existuje tak větší pravděpodobnost, že budou odražené vlny zcela pohlceny a do měřicího přístroje se jich vrátí více než u varianty 4. Z toho důvodu vybíráme mezi variantami 2 a 3. Bohužel má 3. návrh, přestože disponuje nejvyšší hodnotou teoretického útlumu, příliš velkou hmotnost. Nejvhodnějším řešením se tak jeví varianta 2.

## 5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Náš vybraný koncept se skládá z následujících částí a materiálů:

- rám, který se skládá ze čtyř nosníků (ze surové dřevotřískové desky), každý nosník má rozměr  $1 \times 0,03 \times 0,022$  m, celá konstrukce rámu se váží 0,84 kg;
- zadní deska z materiálu Gecon Acoustic, deska o rozměrech  $1 \times 1 \times 0,01$  m váží 7,5 kg;
- absorpční deska z lisované akustické desky o hmotnosti 4,94 kg a rozměrech  $0,956 \times 0,956 \times 0,03$  m;
- plst o rozměrech  $1 \times 1 \times 0,01$  m a hmotnosti 0,97 kg, připevněná na přední část štítu.

Když se znovu podíváme na tabulku 4-4 (u varianty 2), můžeme si všimnout, že štít dobře tlumí zvuk středních a vysokých frekvencí. To bylo pochopitelně možné předpokládat, a to díky porézním vlastnostem absorbéru, jak bylo uvedeno v kapitole 2.1.1.

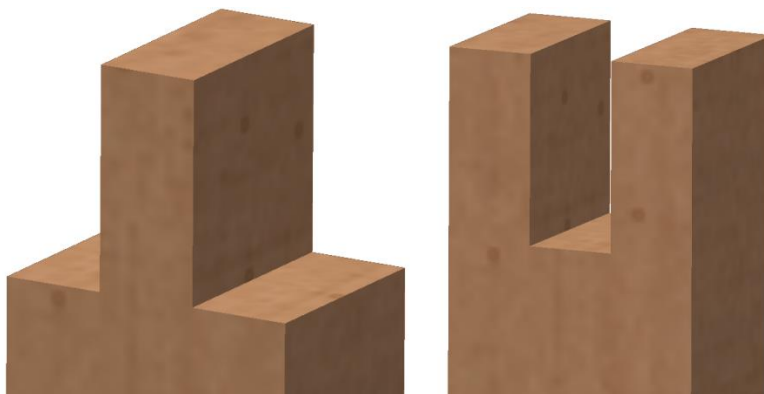
Následující část této kapitoly se zabývá vysvětlením, jak probíhá montáž celého prvku, a návrhem různých pomůcek pro snadnější manipulaci se štítem.

### 5.1 Montáž konstrukce

Pro montáž konstrukce je nutné připravit si výše popsané části konstrukce.

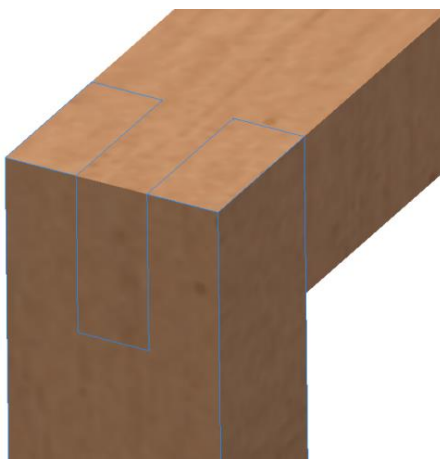
Pro štít byl navržen následující postup montáže:

1. Nejprve je potřeba seříznout konce nosníků; vrchní a spodní nosník podle obr. 5-1 vlevo, boční podle obr. 5-1 vpravo.



Obr. 5-1 Seříznutí nosníků

2. Seříznuté nosníky spojíme dohromady.



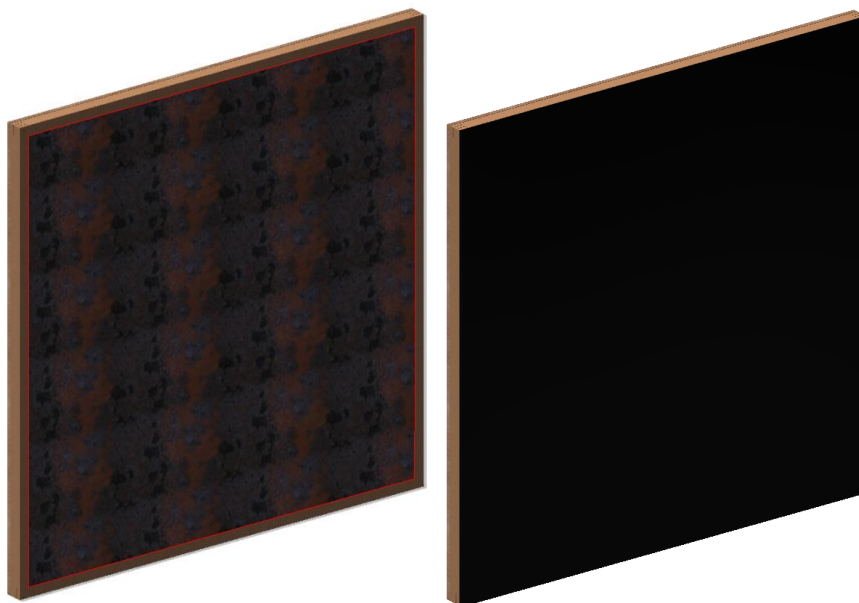
Obr. 5-2 Spojování nosníků mezi sebou

3. K sestavě nosníků (rámu) s pomocí osmi šroubů o průměru 3,8 mm a délkou 32 mm přišroubujeme desku Gecon Acoustic.



Obr. 5-3 Přiděláné Gecon Acoustic k rámu

4. Do sestavené konstrukce umístíme lisovanou akustickou desku. Následně je třeba pečlivě oddělit antiadhezní kryt a přiložit materiál k oblepovanému povrchu.



Obr. 5-4 Umístění lisované akustické desky do konstrukce a připojení plsti k rámu

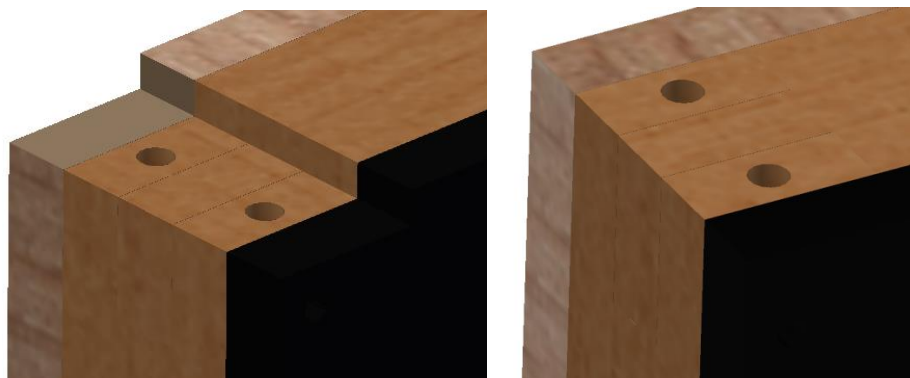
Součet veškerých nákladů na materiál a spotřebovanou práci (výrobu a montáž) činí 1640 Kč. Výsledná váha je 14,27 kg.

## 5.2 Variabilní prvek a pomůcky

Další cílem této práce bylo vytvořit prvek tak, aby mohl být variabilní. Ne vždy nám totiž na pokrytí zdroje hluku bude stačit rovný akustický štít o ploše 1 m<sup>2</sup>. Zdroj může zaprvé tyto rozměry přesahovat, nebo zadruhé může hluk přicházet z různých směrů. Proto potřebujeme pro krytí navrhnout i různé pomůcky. První z těchto navržených pomůcek nám umožní spojit několik krytů dohromady, druhá je jakési nohy či stojan, s jejichž pomocí bude na podlaze postavený prvek stabilnější.

### Díl spojka

Tento díl slouží k spojení a stabilizaci desek krytí mezi sebou. Nejdříve je třeba vyříznout z obou vrchních rohů malý kus rámu štítu do hloubky 5 mm (obr. 5-8 vlevo) a poté vyvrtat dvě díry o průměru 5 mm a hloubce 20 mm; nejen v horních a dolních nosnících, ale i bočních.



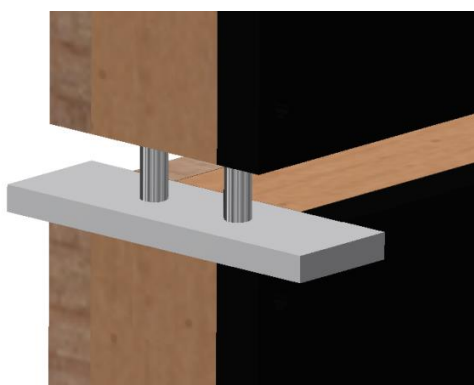
Obr. 5-5 Odebrání a provrtání děr v horních a dolních nosnících rámu

Do vyříznutého prostoru umístíme ocelový plech o rozměrech  $70 \times 22 \times 5$  mm s otvory průměru 5 mm a do těchto otvorů vložíme ocelové spojovací kolíky (průměru 4,9 mm a délky 40 mm), které vyčnívají jak shora, tak zespoda. Ty potom zasuneme do již vytvořených otvorů v rámu. Pro snadnější demontáž je plech z každé strany o 10 mm delší než kryt.



Obr. 5-6 Montáž pomůcek

Na tyto ocelové kolíky vložíme další akustický štít. Tím získáme dvoumetrovou konstrukci štítů. V závěrečné příloze jsou v tabulce znázorněny různé případy připojení konstrukce.



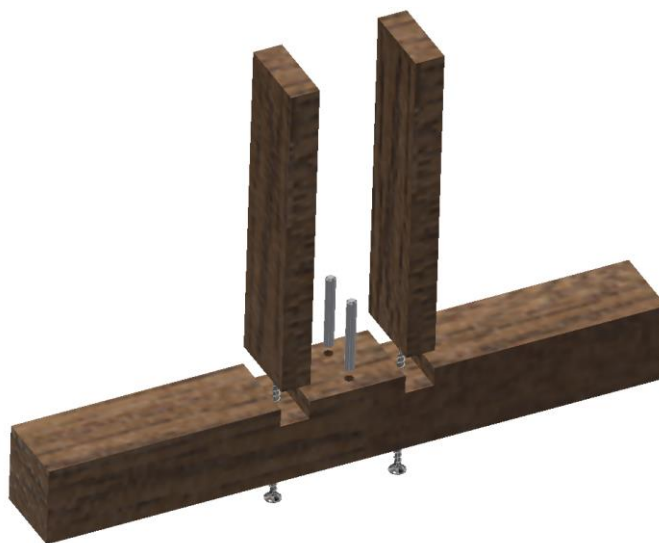
Obr. 5-7 Vkládání dalšího štítu

Náklady na výrobu spojovacích kolíků činí 60 Kč za kus, za desku 250 Kč.

## Díl nohy

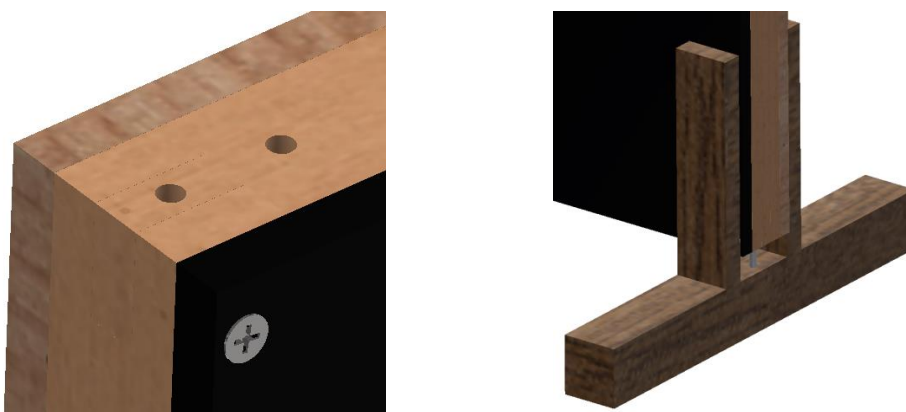
Jak je z názvu patrné, slouží tento díl k umístění štítu na zem. Z toho je zřejmé, že slouží pro připojení štítů pouze v jeho spodní části.

Konstrukce nohou se skládá z dlouhého nosníku o rozměrech  $322 \times 42 \times 40$  mm. Do něj vyřízneme dvě prohlubně, kam vložíme dva menší nosníky (ty budou sloužit jako držák štítu). Všechny nosníky jsou z borovicového dřeva. Tyto díly spojíme šrouby s průměrem 3,8 a délkou 70 mm. Následně do dlouhého nosníku vyvrtáme díry o průměru 5 a délce 25 mm; do nich nakonec vložíme spojovací kolíky průměru 4,9 a délky 40 mm.



Obr. 5-8 Montáž dílu nohy

Abychom mohli umístit štít na tyto nohy, je potřeba do dolní části rámu vyvrtat dvě díry o průměru 5 a délce 15 mm. Do těchto děr zasuneme spojovací ocelové kolíky.



Obr. 5-9 Provrtání děr v dolním nosníku rámu a připojení nohou ke štítu

Tuto pomůcku můžeme využívat jako spodní spojku dvou vedle sebe stojících štítů. V příloze na závěr jsou v tabulce uvedené různé případy pro připojení štítů.



Obr. 5-10 Spojování mezi dvěma štíty

Celková cena za materiál a práci na výrobě dílu činí 332 Kč.

### 5.3 Kritické uzly

V příloze práce je uvedena kalkulace na bezpečnost konstrukce v kritických uzlech. Nejnebezpečnější uzly se nachází v dolním okraji rámu. Ověřili jsme si, že pokud nasadíme ještě jeden štít, konstrukce to vydrží. Provedli jsme tedy výpočet, s jakou maximální silou můžeme na štít působit, pokud ho budeme chtít přemístit. Hodnota činí 1056 N.

## 6 DISKUZE

Určit konkrétní předpoklady efektivity je tou nejdůležitější součástí projektování protihlukových opatření. Jedním z nástrojů takových opatření jsou akustické štíty. Ty vytvářejí zónu s akustickým stínem. Proto, abychom mohli vytvořit efekt bariéry, která nedovoluje hlukovým vlnám pronikat dál, musíme pro ochranu před hlukem tyto štíty umisťovat níž, než kam tento stín sahá.

Nejlépe se s tímto úkolem dovedou vypořádat materiály s porézni strukturou, obzvlášť u středních a vysokých frekvencí, což umožňuje především odpor tření a viskozita vzduchu v pórech. Na efektivitu práce u těchto materiálů tak mají vliv zejména vlastnosti jako je pórovitost, průměr vláken, faktor struktury atd. Obzvlášť dobře funguje lisovaná akustická deska v kombinaci s plstí.

Výrobci běžně uvádějí dva různé koeficienty (případně a i oba): součinitel absorpce a/nebo stupeň vzduchové neprůzvučnosti. Abychom mohli porovnat akustické vlastnosti materiálů mezi sebou, bylo potřeba tyto výrobci udávané koeficienty převést na koeficient společný. Takovým koeficientem je útlum zvuku (TL). Hlavní výhodou takového řešení je, že jeho vzorec je prostý. Potřebujeme znát pouze hustotu a rozměry materiálu. Navíc z tohoto vzorce dokážeme určit, jak se daný materiál bude chovat při určitých frekvencích. Vzorec sice neobsahuje jiné akustické parametry materiálu (jako jsou absorpce zvuku a vzduchová neprůzvučnost), takže na bere v úvahu, na které vzdálenosti se nachází zdroj zvuku.

Navržená konstrukce je vypočítaná na útlum zvuku středních a vysokých frekvencí. Na začátku rešerše jsme uváděli konkrétní příklady konstrukcí protihlukových bariér, které jsou v současné době dostupné na českém trhu. Když porovnáme tyto komerční akustické štíty s naším návrhem, ony komerční v poměru cena/efektivita za tím naším zaostávají. Například akustický paraván firmy akusticka-pena.cz s cenou 5 800 Kč a rozměrech 2 × 2 m. Jestliže náš štít seskládáme na sebe tak, aby nám vyšlo stejných 2 × 2 m, zjistíme, že i když je trochu dražší, přesněji o 1240 Kč levnější, disponuje větším koeficientem útlumu, a to až o 30,8 dB. Je tedy patrné, že výsledek naší práce by se výborně uplatnil na trhu.

## 7 ZÁVĚR

Problematika snižování hluku je velice široké téma. Na začátku této práce byl vytvořen přehled základních veličin technické akustiky a fyzikální vlastnosti zvuku, vztahující se k této problematice. Následně jsme vybírali nejvhodnější, nejúčinnější materiály k tlumení hluku. A nakonec bylo sestaveno několik variant akustických štítů, které se i lišily ve svých možnostech použití.

Hlavním cílem této práce byl konstrukční návrh mobilního prvku s určitými parametry pro odstínění nežádoucích zdrojů hluku. Cíl jsme splnili, výsledná konstrukce má hmotnost 14,27 kg, cena včetně montáže je 1640 Kč, a střední teoretický útlum má hodnotu 70,38 dB. Předpokládaný útlum byl simulovaný s pomocí analytického výpočtu.

Námi navržená konstrukce je mobilní a navíc variabilní, což bylo dalším cílem práce. Štíty můžeme stavět, spojovat jak na sebe, tak i vedle sebe za použití navržených pomůcek. Nejlepšího efektu samozřejmě dosáhneme, umístíme-li konstrukci přímo před zdroj hluku.

Náš akustický štít, zaměřený na pohlcování středních a vysokých frekvencí, lze nejlépe využít v uzavřených prostorách. Díky jeho nevelké hmotnosti a ceně budou jeho nejvhodnějším místem pro využití kanceláře, studovny, tělocvičny atd.

Přítomnost rezonančního jevu vyžaduje předběžnou analýzu spektrálního stavu akustického hluku na konkrétním místě, v konkrétním prostředí, aby štít fungoval co nejlépe. Jestliže budou v takovém prostředí zdrojem hluku nízkofrekvenční vlny, náš štít nebude dostatečně užitečný. Díky neustálému výzkumu a vývoji nových materiálů a technologií je možné neustále pracovat na snižování hluku.

## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ШУМОМ И ВИБРАЦИЕЙ* [online]. [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: <https://students-library.com/library/read/37110-metody-borby-s-sumom-i-vibraciej>
- [2] MIŠUN, Vojtěch. *Vibrace a hluk*. Vyd. 2., V Akademickém nakl. CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-3060-5.
- [3] *Звукопоглощающие материалы и акустические преграды* [online]. [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: <http://www.mpal.ru/products/partition/document64.shtml>
- [4] *Звукопоглощающие материалы* [online]. [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: <https://studfile.net/preview/7254941/page:14/>
- [5] *Акустическое поле и его характеристики* [online]. [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: [http://ftemk.mpei.ac.ru/bgd/\\_private/Shum/Zvuk\\_1/1\\_B\\_a\\_pole.htm](http://ftemk.mpei.ac.ru/bgd/_private/Shum/Zvuk_1/1_B_a_pole.htm)
- [6] *Звуковое поле* [online]. [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: [https://studref.com/484921/informatika/zvukovoe\\_pole](https://studref.com/484921/informatika/zvukovoe_pole)
- [7] ŽIARAN, Stanislav. *Znižovanie kmitania a hluku v priemysle: kmitanie a akustika*. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2006. Edícia monografií. ISBN 80-227-2366-5.
- [8] *Отражение звука. Межотраслевая Интернет-система поиска и синтеза физических принципов действия преобразователей энергии* [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z:
- [9] *Zvuková absorpce* [online]. [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: <https://www.ecophon.com/cz/knowledge/akusticke-znalosti/idealni-prostor/vybr-spravne-zvukove-absorpce/>
- [10] *Pohlcování zvuku, šíření hluku ve volném a uzavřeném prostoru. Univerzita Tomáše Bati* [online].,4[cit.2020-06-10]. Dostupné z: [http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env\\_fyzika/EF\\_04.pdf](http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_04.pdf)
- [11] TURNER, J. D. a A. J. PRETLOVE. *Acoustics for Engineers*. Hong Kong: MACMILLAN EDUCATION, 1991. ISBN 0-333-52142-0.
- [12] *Acoustic foam*. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: [https://ru.qwe.wiki/wiki/Acoustic\\_foam](https://ru.qwe.wiki/wiki/Acoustic_foam)
- [13] *PROFIAKUSTIC* [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://www.profiakustic.cz/>
- [14] *Войлок технический* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.t-textil.ru/voilok.html>

- [15] *Минеральная вата* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <http://uteplenie64.ru/mineralnaya-vata/>
- [16] *Desky Wolf TRI* [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://www.potichu.cz/materialy/deskywolf/>
- [17] *Gecon Acoustic 10* [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://eshop.potichu.cz/produkt/gecon-acoustic-10-0-96m2/>
- [18] *ISOPLAAT* [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://ekoplat.ru/o-produktsii/isoplaat>
- [19] *Sololit surový* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.hornbach.cz/shop/Sololit-surovy-3-3-x-1220-x-2750-mm/4600568/artikl.html>

## 9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

$p(t)$	akustický tlak
$p_b(t)$	barometrický tlak
$\omega$	kruhová (uhlová) frekvence akustického tlaku
$\varphi$	počáteční fáze zvukového signálu
$p_c(t)$	celkový okamžitý tlak v sledovaném bodě prostředí
$c$	rychlost šíření zvuku
$\rho$	hustota
$K$	adiabatický exponent suchého vzduchu
$c_L$	rychlost šíření zvuku, podélné vlnění
$E$	modul pružnosti v tahu
$c_T$	rychlost šíření zvuku, příčné vlnění
$G$	modul pružnosti ve smyku
$\alpha$	úhel dopadající vlny
$\beta$	úhel lomené vlny
$\alpha'$	úhel odražené vlny
$\alpha$	absorpce zvuku
$\tau$	zvuková průzvučnost
$W$	akustický výkon
$R$	vzduchová neprůzvučnost
$p_i$	akustický tlak
$p_t$	akustický tlak
$p_r$	akustický tlak
$m$	hmotnost
$TL$	útlum zvuku
$f$	frekvence
$TL_{\text{celk}}$	celkový útlum

## 10 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 2-1 Protihluková stěna .....	16
Obr. 2-2 Akustický paraván .....	16
Obr. 2-3 Průběh akustického tlaku .....	18
Obr. 2-4 Odraz zvuku .....	20
Obr. 2-5 Schematické ukazování rozložení .....	21
Obr. 2-6 Akustická pěna jehlan .....	23
Obr. 2-7 Lisovaná akustická deska .....	23
Obr. 2-8 Comfort mat Felton .....	24
Obr. 2-9 Acousticwool sonet .....	25
Obr. 2-10 Desky Wolf Tri .....	26
Obr. 2-11 Gecon Acoustic .....	26
Obr. 2-12 ISOPLAAT .....	27
Obr. 2-13 SOLOLIT .....	27
Obr. 2-14 Hliníkový plech .....	28
Obr. 2-15 DTD surová .....	29
Obr. 4-1 Ram .....	31
Obr. 4-2 Absorpční deska .....	31
Obr. 4-3 Zadní deska .....	32
Obr. 4-4 Princip práce akustického štít .....	32
Graf 4-1 Porovnání materiálů pro absorpční desku ve frekvenčním pásmu .....	33
Graf 4-2 Porovnání materiálů pro zadní desku ve frekvenčním pásmu .....	34
Obr. 4-5 Varianta 1 .....	35
Obr. 4-6 Varianta 2 .....	36
Obr. 4-7 Varianta 3 .....	37
Obr. 4-8 Varianta 4 .....	38
Obr. 5-1 Seřiznutí nosníků.....	39
Obr. 5-2 Spojování nosníků mezi sebou.....	40
Obr. 5-3 Přidělání Gecon Acoustic k rámu .....	40

Obr. 5-4 Umístění lisované akustické desky do konstrukce a připojení plsti k rámu .....	41
Obr. 5-5 Odebrání a provrtání děr v horních a dolních nosnících rámu .....	42
Obr. 5-6 Montáž pomůcek .....	42
Obr. 5-7 Vkládání dalšího štítu .....	42
Obr. 5-8 Montáž dílu nohy .....	43
Obr. 5-9 Provrtání děr v dolním nosníku .....	43
Obr. 5-10 Spojování mezi dvěma štíty .....	44

## 11 SEZNAM TABULEK

Tab.2-1 Tabulka šíření rychlosti zvuku v různých látkách .....	19
Tab. 2-2 Tabulka součinitele absorpce $\alpha$ pro různé materiály v různých frekvenčních pásmech .....	20
Tabulka 4-1 Porovnání materiálů pro absorpční desku ve frekvenčním pásmu.....	33
Tabulka 4-2 Porovnání materiálů pro zadní desku ve frekvenčním pásmu .....	34
Tabulka 4-3 Teoretického útlumu zvuku Varianty 1.....	35
Tabulka 4-4 Teoretického útlumu zvuku Varianty 2.....	36
Tabulka 4-5 teoretického útlumu zvuku Varianty 3.....	37
Tabulka 4-6 teoretického útlumu zvuku Varianty 4.....	38

## 12 SEZNAM PŘÍLOH

<b>Příloha 1</b>	Výpočet bezpečnosti konstrukce
<b>Příloha 2</b>	Tabulka s různými příklady spojování
<b>Příloha 3</b>	Výkresová dokumentace