

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Fakulta lesnická a dřevařská  
Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

**Analýza akustických parametrů ozvučnic  
reproduktorů na bázi dřeva**

Diplomová práce

Autor: Bc. Jan Kozel

Vedoucí práce: Ing. Vlastimil Borůvka, PhD.

2022

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jan Kozel

Dřevařské inženýrství

Název práce

**Analýza akustických parametrů ozvučnic reproduktorů na bázi dřeva**

Název anglicky

**Analysis of acoustic parameters of wood-based loudspeaker enclosures**

### Cíle práce

1. Vypracovat teoretický rozbor problematiky.
2. Stanovit a vyhodnotit akustické parametry jednotlivých druhů materiálů.
3. Stanovit a analyzovat akustické parametry ozvučnic reproduktorů z vybraných materiálů.
4. Provést marketingovou analýzu vyrobených prototypů ozvučnic (zejména z pohledu tvaru).
5. Porovnat zjištěné výsledky s dostupnými údaji v odborné literatuře.
6. Zaujmout k získaným výsledkům postoj z titulu praktického využití poznatků.

### Metodika

1. Zpracovat literární rešerši o relevantních vlastnostech dřeva a materiálech na jeho bázi, a zároveň i o oblasti zvukové techniky, tj. reproduktorech.
2. Standardizovanými postupy na statisticky významném počtu vzorků z jednotlivých druhů materiálů (dřevo – javor a bříza, materiál na bázi dřeva – MDF nebo překližka) stanovit akustické parametry, tj. akustickou konstantu, akustický vlnový odpor, logaritmický dekrement tlumení a rezonanční frekvenci.
3. Stanovit a analyzovat akustické parametry (impedanční a frekvenční charakteristiky, činitele jakosti – Qes, Qms, Qts) vyrobených prototypů ozvučnic reproduktorů z výše uvedených materiálů, a to primárně z pohledu designu, resp. vlivu tvaru (oválný, kvádrový), přičemž bude zachován stejný vnitřní objem reproduktorů a typ měniče.
4. Provést marketingovou analýzu designu (tvaru) vyrobených prototypů ozvučnic formou dotazníkové metody, přičemž v tomto případě bude nutné dodržet cca stejný vnější objem (vzhledovou velikost).
5. Zpracovat (pokud se dá, tak i statisticky) a analyzovat všechny získané údaje.
6. Výsledky interpretovat v adekvátní textové, tabelární a grafické podobě.

Harmonogram práce:

05/2020 – 12/2020: práce na literární rešerši,

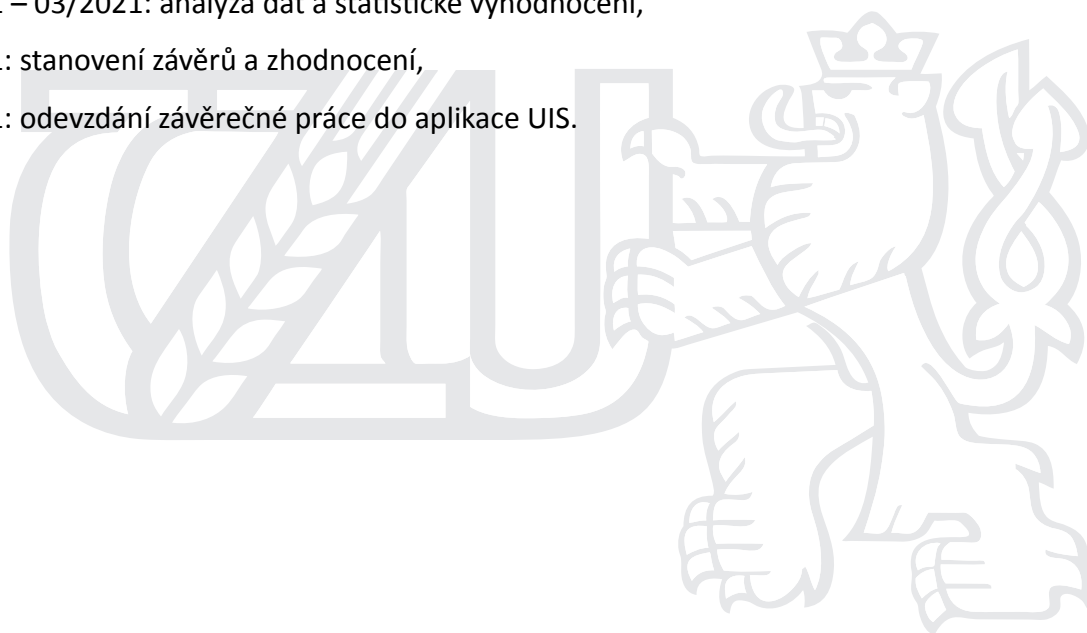
07/2020 – 10/2020: příprava materiálu,

11/2020 – 02/2021: měření a zpracování dat,

01/2021 – 03/2021: analýza dat a statistické vyhodnocení,

03/2021: stanovení závěrů a zhodnocení,

04/2021: odevzdání závěrečné práce do aplikace UIS.



## Doporučený rozsah práce

60-80 stran

## Klíčová slova

dřevo, materiály na bázi dřeva, ozvučnice reproduktoru, zvuk, akustické parametry, design

---

## Doporučené zdroje informací

- Bucur, V. Acoustics of Wood, 1st ed., Springer-Verlag, Germany, 2006. pp. 393. ISBN 3-540-26123-0
- Bucur, V. Nondestructive Characterization and Imaging of Wood, 1st ed., Springer-Verlag, Germany, 2003, pp. 354. ISBN 978-3-540-43840-3
- Everest, F. A., Pohlmann, K. C. Master Handbook of Acoustics, 5th ed., McGraw-Hill, New York, USA, 2009. pp. 510. ISBN 978-0-07-160333-1
- FAKOPP Ultrasonic Timer User's Guide. Dostupné online:  
<http://fakopp.com/docs/products/ultrasonic/UltrasonicGuide.pdf> (cit. 2020-02-20).
- Kuttruff, H. Acoustics. An introduction, Taylor & Francis, New York, USA, 2007. pp. 457. ISBN 0-203-97089-6
- Thomas, D. R. (Ed.). Handbook of Acoustics, Springer New York, USA, 2007. pp. 1182. ISBN 0-387-30425-0
- Toman, K. Reproduktry a reprosoustavy II, DEXON, 2010. s. 326. ISBN 8591459280812
- Toman, K. Reproduktry a reprosoustavy III, DEXON, 2019. s. 414. ISBN 978-80-270-5836-5
- Toman, K. Reproduktry a reprosoustavy – 1. díl, DEXON, 2001. s. 199. ISBN 8591459280805
- Tsoumis, G. Science and technology of wood structure, properties, utilization. New York: Chapman and Hall, 1991. pp. 497. ISBN 0-412-07851-1
- 

## Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FLD

## Vedoucí práce

Ing. Vlastimil Borůvka, PhD.

## Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

## Konzultant

Ing. Jan Tippner, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 2. 7. 2020

**Ing. Radek Rinn**

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 18. 10. 2020

**prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.**

Děkan

V Praze dne 27. 04. 2021



## **Čestné prohlášení**

Tímto prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Analýza akustických parametrů ozvučnic reproduktorů na bázi dřeva“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Vlastimila Borůvky, PhD. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne 1. 4. 2022

.....

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval za věnovaný čas, úsilí a pomoc při realizaci této práce Ing. Vlastimilu Borůvkovi, PhD. Stejně tak děkuji Ing. Davidu Novákovi za jeho čas při četných konzultacích. Dále bych rád poděkoval Ing. Ondřeji Šupkovi za velkou pomoc při akustickém měření a za bližší uvedení do problematiky akustiky. Na závěr i své rodině za podporu v průběhu celého studia.

## **Abstrakt**

Cílem této diplomové práce bylo posouzení, jak ovlivňují ozvučnice reproduktoru různých tvarů a materiálového provedení zvukové výstupy reprosoustav. Dalším cílem bylo vytvoření analýzy akustických vlastností použitých materiálů na výrobu ozvučnic a marketingová analýza hotových reprosoustav. Pro objasnění problematiky reproduktorových ozvučnic z materiálů na bázi dřeva byl zhotoven literární rozbor.

V praktické části je popsána výroba měřených sestav a vzorků, jejich samotné měření i následné vyhodnocení výsledků. Je zde popsáno i dotazníkové šetření marketingové analýzy. V experimentech byly porovnávány tvary ozvučnic kapky a kvádrů z masivního dřeva břízy bělokoré (*Betula pendula* Roth), javoru klenu (*Acer pseudoplatanus* L.) a MDF desky (dřevovláknitá deska se střední hustotou). Výsledky akustických vlastností byly v porovnání masivního dřeva a MDF značně rozdílné. Rezonanční frekvence, akustická konstanta i akustický vlnový odpor byly nejvyšší u březového dřeva, následovalo dřevo javorové a nejnižších hodnot dosahovala MDF. U naměřených frekvenčních charakteristik reprosoustav se projevil vliv tvaru ozvučnice, zatímco vliv materiálu nikoli. Plynulejší průběh křivky frekvenční charakteristiky byl u kvádrové ozvučnice. Zároveň se potvrdil pozitivní vliv tlumícího materiálu v ozvučnici. V dotazníkovém šetření bylo zjištěno, že je kapkový tvar ozvučnice více preferován. Celkově je také preferováno masivní dřevo a konkrétně více dřevo javorové.

**Klíčová slova:** dřevo, zvuk, materiály na bázi dřeva, ozvučnice reproduktoru, akustické vlastnosti

## **Abstract**

The aim of this diploma thesis was to assess, how the loudspeakers cabinets of various shapes and materials affect the sound outputs of loudspeakers. Part of the goals was to create an analysis of the acoustic properties of the materials used for the production of baffles and marketing analysis of finished speakers. A literary analysis was compiled to clarify the issue of loudspeaker baffles made of wood-based materials.

The practical part describes the production of measured sets and samples, their measurement and subsequent evaluation of results. A questionnaire survey of marketing analysis is also described here. The shapes of a drop and a block of solid birch (*Betula pendula* Roth), maple (*Acer pseudoplatanus* L.) and MDF board were compared. The results of acoustic properties were significantly different in comparison with solid wood and MDF. The acoustic constant and acoustic wave resistance were the highest for birch wood, followed by maple wood and the lowest values were reached by MDF. The influence of the shape of the baffle was manifested in the measurements of the frequency characteristics, but the influence of the material was not. The flow curve of the frequency response was smoother for the block baffle. The positive effect of the damping material in the baffle was also confirmed. In the questionnaire survey, there was found that the teardrop shape of the baffle is more preferred. Overall, solid wood and mainly maple in particular is also preferred.

**Keywords:** Wood, sound, wood-based materials, loudspeaker baffle, acoustic properties

# Obsah

Úvod .....	13
1 Cíl práce .....	14
2 Rozbor problematiky .....	15
2.1 Zvuk .....	15
2.2 Vztah dřeva a zvuku .....	16
2.3 Akustické vlastnosti dřeva .....	17
2.3.1 Rychlost šíření zvuku ve dřevě .....	17
2.3.2 Akustický vlnový odpor a tlumení zvuku .....	18
2.3.3 Rezonanční vlastnosti dřeva .....	19
2.3.4 Absorpce zvuku .....	19
2.4 Reprodukční jednotka a jeho charakteristiky .....	20
2.4.1 Elektromagnetický reproduktor s kuželovou membránou .....	21
2.4.2 Frekvenční charakteristika reproduktoru .....	24
2.4.3 Impedanční charakteristika reproduktoru .....	24
2.5 Ozvučnice reproduktorů .....	25
2.5.1 Účel ozvučnice .....	25
2.5.2 Typy ozvučnic .....	26
2.5.3 Konstrukce ozvučnic .....	29
2.6 Materiály pro výrobu ozvučnic .....	29
2.6.1 Materiály na bázi dřeva .....	29
2.6.2 Dřevoplasty .....	33
2.6.3 Termosety a termoplasty .....	34
2.6.4 Beton .....	36
2.7 Difrakční efekty a tvary ozvučnic .....	36
2.7.1 Tlumící materiály ozvučnic .....	42
3 Metodika .....	44

3.1	Výroba ozvučnic.....	44
3.2	Měření frekvenčních charakteristik reprosoustav.....	46
3.3	Výroba zkušebních vzorků.....	49
3.4	Měření fyzikálních a mechanických vlastností.....	50
3.4.1	Určování hustoty.....	50
3.4.2	Zjišťování rezonanční frekvence.....	51
3.4.3	Měření času průchodu ultrazvukové vlny.....	53
3.4.4	Určování statického modulu pružnosti.....	54
3.4.5	Vyhodnocení dat.....	55
3.5	Dotazníkové šetření.....	56
4	Výsledky a diskuse.....	57
4.1	Vlastnosti dřeva.....	57
4.1.1	Hustota.....	57
4.1.2	Rezonanční frekvence.....	58
4.1.3	Dynamický modul pružnosti.....	59
4.1.4	Akustický vlnový odpor.....	61
4.1.5	Akustická konstanta (konstanta vyzařování).....	63
4.1.6	Shrnutí.....	65
4.2	Akustické měření ozvučnic.....	66
4.2.1	Ozvučnice kapkovitého tvaru.....	66
4.2.2	Kvádrové ozvučnice.....	69
4.2.3	Porovnání tvarů ozvučnic.....	72
4.3	Dotazníkové šetření.....	75
4.3.1	Závěrečné vyhodnocení.....	80
5	Závěr.....	82
6	Seznam literatury a použitých zdrojů.....	84
7	Přílohy.....	91

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Veličiny kmitavého harmonického pohybu (Srový, 2013) .....	15
Obrázek 2 Útlum kmitání (Reichl a kol., 2016) .....	17
Obrázek 3 Konstrukce reproduktoru (Toman, 2010).....	21
Obrázek 4 Frekvenční charakteristika reproduktoru .....	24
Obrázek 5 Impedanční charakteristika reproduktoru (Toman, 2010).....	25
Obrázek 6 Rovinná deska (Hooper, 2018).....	27
Obrázek 7 Otevřená ozvučnice (Hooper, 2018) .....	27
Obrázek 8 Uzavřená ozvučnice (Hooper, 2018).....	28
Obrázek 9 Bassreflexová ozvučnice (Repromania, 2008).....	29
Obrázek 10 Ozvučnice z MDF (Parts Express, 2021) .....	30
Obrázek 11 Dřevotřísková deska (Böhm a kol., 2012).....	31
Obrázek 12 Překližková ozvučnice (Räästas, 2021).....	32
Obrázek 13 Ozvučnice z masivního dřeva (Baker, 2021) .....	33
Obrázek 14 Dřevoplast Symbio (Klasco, 2019) .....	34
Obrázek 15 Kompozitní materiál Maezio (Covestro, 2021).....	35
Obrázek 16 Ozvučnice z betonu (Wahrlich, 2021).....	36
Obrázek 17 Difrakce zvukové vlny ( Heissmann-Acoustics, 2015).....	37
Obrázek 18 Různé tvary ozvučnic (Olson, 1950).....	38
Obrázek 19 Vliv tvarů ozvučnic na frekvenční charakteristiku (Olson, 1950) .....	42
Obrázek 20 Výroba polotovaru ozvučnice .....	44
Obrázek 21 Soustružení kopírovacím zařízením .....	45
Obrázek 22 Kompletace kvádrových ozvučnic .....	46
Obrázek 23 Průběh měření reprosoustavy .....	48
Obrázek 24 Rezonanční frekvence materiálu .....	51
Obrázek 25 Snímací aparát rezonanční metody .....	52
Obrázek 26 Měřicí aparatura ultrazvukové vlny .....	53
Obrázek 27 Zkouška statické pevnosti .....	54

## **Seznam grafů**

Graf 1 Hustoty vybraných druhů materiálů .....	58
Graf 2 Dynamické moduly pružnosti stanovené UZ a rezonanční metodou .....	59
Graf 3 Akustické vlnové odpory u vybraných druhů materiálů .....	62
Graf 4 Akustické konstanty u vybraných druhů materiálů .....	65
Graf 5 Březová ozvučnice bez a s tlumícím materiálem .....	66
Graf 6 Javorová ozvučnice bez a s tlumícím materiálem .....	67
Graf 7 Otázka 1 .....	75
Graf 8 Otázka 2 .....	76
Graf 9 Otázka 3 .....	76
Graf 10 Otázka 4 .....	77
Graf 11 Otázka 5 .....	77
Graf 12 Otázka 6 .....	78
Graf 13 Otázka 7 .....	78
Graf 14 Otázka 8 .....	79
Graf 15 Otázka 9 .....	79

## **Seznam tabulek**

Tabulka 1 Charakteristiky reproduktorového měniče .....	49
Tabulka 2 Hustoty, základní statistické údaje .....	57
Tabulka 3 Dynamický modul pružnosti, UZ metoda, popisná statistika.....	60
Tabulka 4 Dynamický modul pružnosti, rezonanční metoda, popisná statistika.....	60
Tabulka 5 Akustický vlnový odpor stanovený UZ metodou, popisná statistika .....	63
Tabulka 6 Akustický vlnový odpor stanovený rezonanční met., popisná statistika.....	63
Tabulka 7 Akustická konstanta stanovená UZ met., popisná statistika.....	64
Tabulka 8 Akustická konstanta stanovená rezonanční met., základní popis. stat. ....	64



## Úvod

Každý z nás se denně setkává s reprodukováným zvukem, tím pádem s reproduktory a reprosoustavami. Mnoho lidí je využívá jako nepostradatelné přístroje ve svém zaměstnání v různých pracovních odvětvích. A pro mnoho dalších je poslech hudby zdrojem zábavy, bez kterého si lze jen obtížně dnešní život představit.

Součásti těchto zařízení mohou být vyrobeny z velkého množství různorodých materiálů. Pokud se budeme bavit pouze o reproduktorových skříních neboli ozvučnicích, mají významné zastoupení dřevo a materiály na jeho bázi. Zejména pak aglomerované materiály jsou často využívány pro své homogenní vlastnosti. Masivní dřevo by však nemělo být opomíjeno. Nejen z důvodu svého jedinečného vzhledu, ale i pro svůj čistě přírodní charakter, což je v dnešní době velmi důležité.

Zvukové výstupy reprosoustav mohou být ovlivněny ztvárněním ozvučnic, jak zvoleným tvarem, tak materiálem a jeho vlastnostmi. Ozvučnice známých tvarů z běžně používaných materiálů ale nemusí mít nejlepší účinky na výstupní zvuk. Právě tímto tématem se zaměřením na dřevěné materiály se diplomová práce zabývá. Vliv uvedených faktorů na výstupy reprosoustavy není rozebírán ve velkém množství vědeckých publikací, i proto je toto téma předmětem diplomové práce.

## 1 Cíl práce

Jedním z hlavních cílů této diplomové práce bylo posouzení, jak ovlivňují ozvučnice reproduktorů různých tvarů a materiálového provedení, zvukové výstupy reprosoustav. Pro shrnutí poznatků bylo nutné vytvořit literární rešerši týkající se této problematiky a s tím souvisejících vlastností dřeva a materiálů na bázi dřeva. Reproduktorové ozvučnice jsou totiž na rozdíl od nástrojových rezonančních ozvučnic jiné povahy. Neslouží k zesilování zvuku a vyzařování zvuku rezonancí, ale spíše k jeho útlumu což je potřeba objasnit.

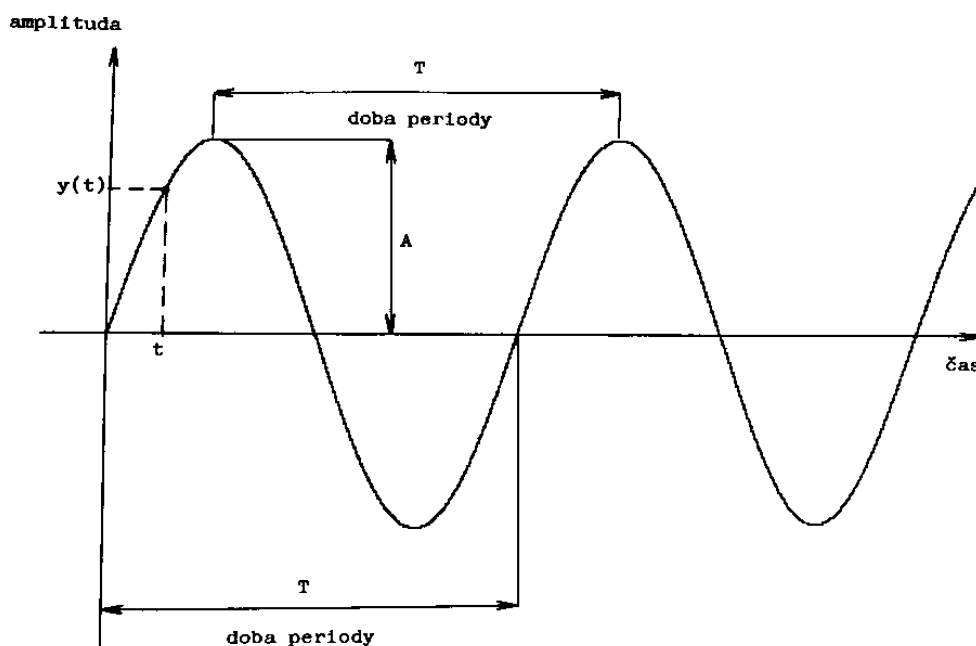
Cílem bylo nejprve porovnat vlastnosti tří materiálů, ze kterých byly ozvučnice reproduktorů vyrobeny. Jednalo se o dřevo javoru klenu (*Acer pseudoplatanus* L.), břízy bělokoré (*Betula pendula* Roth) a středně tvrdou vláknitou desku (MDF). Porovnávaly se jejich akustické parametry – akustická konstanta, akustický vlnový odpor a také vybrané pružnostní vlastnosti. Dalším cílem bylo zhodnotit a porovnat parametry vyrobených ozvučnic. Měřenými veličinami byly frekvenční charakteristiky hotových reprosoustav. Ty byly porovnávány u obou tvarů ozvučnic (kapkovitý tvar a kvádr) a také u zmiňovaných materiálů. Posledním cílem bylo vytvořit marketingovou analýzu pro zjištění preferencí mezi vyrobenými prototypy ozvučnic z hlediska tvaru, barev a použitých materiálů ozvučnic reproduktorů.

## 2 Rozbor problematiky

### 2.1 Zvuk

Zvukem je každý kmitavý pohyb hmoty v pevném, kapalném a plynném prostředí, který vnímáme sluchem jako zvukový vjem. Podmínkou vzniku tohoto vlnění jsou pružné síly. Uspořádaný kmitavý pohyb hmotných bodů, kdy body kmitají jako celek nazýváme kmitání. V případě, že jednotlivé části kmitají různě a jejich výchylky jsou také různé, jedná se o vlnění či chvění (Srový, 2013; Požgaj a kol., 1997)

Kmitání je pohyb, při kterém se hmotný bod nebo celá soustava střídavě pohybuje kolem své klidové polohy, jak je znázorněno na obrázku 1. Harmonické kmitání je periodicky se opakující děj, který lze popsat nerovnoměrným přímočarým pohybem. Harmonické kmitání je popsáno těmito základními veličinami, kterými jsou doba periody  $T$  a amplituda  $A$ . Další veličinou je frekvence  $f$ , která udává počet period za jednu sekundu (Srový, 2013).



Obrázek 1 Veličiny kmitavého harmonického pohybu (Srový, 2013)

Mechanické vlnění je zvláštním případem kmitavého pohybu v prostředí, kde jsou částice vázány pružnými vazebními silami. Dojde-li k rozkmitání jedné z nich, pak se postupně právě díky těmto silám rozkmitají také další částice, a tak se dále šíří prostředím. Vlnění se šíří rychlostí, která je závislá na fyzikálních vlastnostech

prostředí, což je využíváno u nedestruktivních zkoušek materiálů. Vlnění charakterizujeme šířením vln, kterými se přenáší zvuková energie (Syrový, 2013; Bucur, 2006).

Šíření vln můžeme popsat jejich vlnovou délkou  $\lambda$  udávanou v metrech. Tedy vzdáleností, kterou urazí za čas jedné periody. Frekvencí  $f$  v hertzech a rychlostí jeho šíření  $c$  v jednotkách  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , která bude podrobněji rozebírána v následující kapitole věnující se šíření zvuku ve dřevě. Vztah těchto veličin je vyjádřen v následující rovnici a vyplývá z ní, že rychlost šíření zvuku je závislá jeho vlnové délky a frekvence (Požgaj a kol., 1997).

$$c = f \cdot \lambda$$

Posledním zmíněným parametrem je hladina akustického tlaku. Je používána častěji než samotná hlasitost. Tato veličina je bezrozměrná a je měřítkem zvukové energie vyzařované ze zdroje zvuku. Vyjadřuje se v decibelech (dB). (Toman, 2010; Paret a kol., 2017).

## 2.2 Vztah dřeva a zvuku

Akustika dělí obecně zvuk z hlediska frekvence na infrazvuk (o 20 Hz), slyšitelný zvuk (20 Hz - 20 kHz) a ultrazvuk (420 kHz). Dále se dělí i podle prostředí, ve kterém se zvuk šíří. Prvním typem je aeroakustika (přenos vzduchem), dále podvodní akustika a poslední je akustika v pevném prostředí. Nejběžněji používanou klasifikací v oblasti dřeva a materiálů na bázi dřeva je akustika v pevném prostředí v rozsahu slyšitelných a ultrazvukových kmitočtů (Roohnia, 2016)

Reakce dřeva na budící síly (vlnění) může být různá. Amplituda vzniklých vibrací závisí na frekvenci působící síly. Ke chvění dochází při každé budící frekvenci, ale u rezonanční frekvence nastává maximální výchylka, příp. rychlost kmitání. Záleží také na utlumení soustavy (Syrový, 2013). Když tedy dřevo reaguje na budící síly maximální amplitudou, jedná se o rezonanční frekvence neboli vlastní frekvence dřeva. Ve dřevě a podobných materiálech lze rozlišovat podle jejich vzniku a šíření tři druhy frekvencí. Jedná se o rezonanční vibrace:

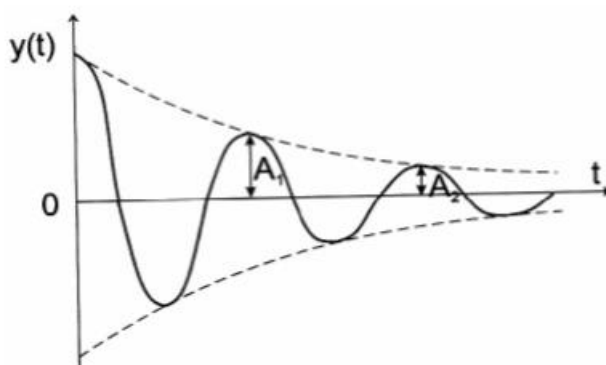
- podélné vyvolané axiálními silami, díky kterým lze určovat elastické konstanty dřeva, rychlost šíření v tomto směru a logaritmický dekrement tlumení,
- příčné, které se nejčastěji vyskytuje při namáhání dynamického charakteru u konstrukčních prvků, jako jsou nosníky a další,

- torzní, které je také možné použít na zjišťování modulů pružnosti dřeva (Požgaj a kol., 1997).

Jakmile se budící síly přestanou působit, dochází k postupnému snižování amplitud a dřevo se vrátí do původního stavu. U volných vibrací se snížení amplitud dvou po sobě jdoucích cyklů vyjadřuje pomocí logaritmického dekrementu tlumení. Ten se značí  $\Lambda$ , je bezrozměrný a jeho výpočet probíhá podle vzorce

$$\Lambda = \ln \frac{A_1}{A_2},$$

Kde  $A_1$  a  $A_2$  jsou amplitudy dvou po sobě následujících cyklů. Jak ukazuje následující obrázek 2 (Požgaj a kol., 1997).



Obrázek 2 Útlum kmitání (Reichl a kol., 2016)

## 2.3 Akustické vlastnosti dřeva

Akustické vlastnosti dřeva jsou nejvíce zřejmé při poslechu tónu a čistoty dřevěných nástrojů, jako jsou housle, klavír, xylofon nebo kytara. Méně známou roli hrají akustické vlastnosti při snižování přenosu zvuku. Přitom jde také o velmi významné parametry, které lze pozorovat a hlavně využít při minimalizování přenosu zvuku z jedné místnosti do druhé nebo u protihlukových bariér silnic, oddělení jednotlivých prostředí a podobně. Zvukové vlny se také používají k hodnocení pevnostních vlastností dřeva, k hodnocení procesních proměnných během výroby a k zjišťování anatomických vlastností dřeva (Roohnia, 2016).

### 2.3.1 Rychlost šíření zvuku ve dřevě

Hodnota rychlosti průchodu zvukové vlny dřevem je důležitou informací, kterou lze využít k určení mnoha vlastností dřeva (Roohnia, 2016). Tato veličina ale může být ovlivněna řadou faktorů, jak bylo popsáno mnoha autory. Gerhards (1982) shrnul, že rychlost vln se mění s odklonem vláken, vlhkostí, teplotou, frekvencí vln a amplitudou. Bylo také prokázáno, že rychlost koreluje s moduly pružnosti a hustotou. Tyto vztahy

jsou základem pro stanovení pevnostních charakteristik a je jim věnována největší pozornost (Bucur, 2006).

Jak již bylo popsáno v předchozích kapitolách, vlnění se šíří v závislosti na fyzikálních vlastnostech prostředí. Podle Bucura (2006) mezi jednotlivými druhy dřevin ale nejsou tak velké rozdíly rychlostí. Požgaj a kol. (1997) uvádí, že rychlost závisí také na okamžitých podmínkách, jako je teplota, tlak a vlhkost prostředí. Rychlost šíření zvukových vln je možné vypočítat ze vztahu

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

E zde znamená Youngův modul pružnosti [MPa],  
 $\rho$  je hustota dřeva [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ].

Hodnota rychlosti šíření zvuku u dřeva ve směru vláken je srovnatelná s kovy. Jak je ale známo, dřevo je anizotropní materiál, a proto i rychlost šíření zvuku dosahuje v různých anatomických směrech různých hodnot (Matovič, 1993). Zjištěný orientační poměr uvádí Požgaj a kol. (1997) a vypadá následovně:

$$c_{\parallel} : c_r : c_t = 15 : 5 : 3,$$

$c_{\parallel}$  – znamená rychlost ve směru vláken,

$c_r$  – rychlost napříč vlákny v radiálním směru,

$c_t$  – rychlost napříč vlákny v tangenciálním směru.

### 2.3.2 Akustický vlnový odpor a tlumení zvuku

Odpor prostředí proti rovinné zvukové vlně je označován jako akustický vlnový odpor. Jde tedy o vnitřní tření vyvolané tělesem, které je u dřeva větší než u kovů.

Tato veličina je ovlivněna nejvíce hustotou a rychlostí šíření zvuku (Horáček, 2008).

Při prostupu materiálem (dřevem) se u zvukové vlny mění frekvence, kvůli jejímu rozptýlení o strukturu materiálu a tím dochází k postupné ztrátě (utlumení) části vyzařované vlny (vysoké frekvence). Útlum vlny ve dřevě je v příčném směru asi o řád větší než ve směru podélném (Beal, 2002).

K tlumení dochází dvěma způsoby, a to vnitřním třením materiálu a vyzařováním zvuku. U tlumení vyzařováním zvuku závisí ve velké míře na poměru rychlosti šíření zvuku a hustoty materiálu. Například u hudebních nástrojů, konkrétně rezonančních desek pian, je žádoucí nízké tlumení vnitřním tlumením. A vysoké tlumení způsobené

vyzařováním zvuku (Požgaj a kol., 1997). U reproduktorových ozvučnic je podle Tomana (2010) potřeba naopak velmi vysoké vnitřní tlumení.

### 2.3.3 Rezonanční vlastnosti dřeva

Pod tímto pojmem si každý jistě představí vlastnosti rezonančního smrkového dřeva používaného k výrobě houslí či rezonančních desek dalších hudebních nástrojů.

Co znamená rezonance, bylo do jisté míry vysvětleno výše. U rezonančních částí nástrojů je rezonance schopnost dřeva při jeho vlastních frekvencích zesilovat zvuk bez jakéhokoli zkreslení (Požgaj a kol., 1997).

Tyto vlastnosti dřeva posuzujeme zjišťováním několika charakteristik, kterými je modul pružnosti, akustická konstanta, amplituda chvění při rezonanci, logaritmický dekrement tlumení, rezonanční frekvence a další (Bucur, 2006).

Akustická konstanta je ukazatelem rezonanční schopnosti dřeva. Podle dostupných zdrojů je rezonanční smrk nejlepším materiálem pro tyto účely (dosahuje hodnoty až  $12 \text{ m}^4/\text{kg}\cdot\text{s}$ ), což je jasné i podle jeho nejčastějšího využívání. Smrkové dřevo ale samozřejmě musí splňovat určité požadavky, aby mohlo být považováno za rezonanční. Optimální šířka letokruhů je mezi 1-4 mm a podíl letního dřeva je v rozmezí 5 až 20 %. Takovéto dřevo se vyskytuje u stromů rostoucích na chudé půdě bez významných pěstebních zásahů ve vyšších nadmořských výškách nebo na severních svazích. Toto dřevo se u stromů tvoří přibližně až od věku 90 let (Požgaj a kol., 1997).

Konstantu pro zjištění vhodnosti dřeva lze vypočítat dle vztahu níže.

$$K_A = \sqrt{\frac{E}{\rho^3}} \quad [\text{m}^4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}]$$

$K_A$  zde vyjadřuje konstantu vyzařování (akustická konstanta),

$E$  – dynamický modul pružnosti,

$\rho$  – hustotu dřeva.

### 2.3.4 Absorpce zvuku

Materiály na bázi dřeva mohou fungovat jako vysoce účinné akustické absorpční materiály, pokud jsou vyrobeny tak, aby využívaly jejich vláknitou a porézní povahu (Godshall a kol., 1969).

Dřevěné materiály mají schopnost absorbovat podstatnou část dopadajícího zvuku, což způsobuje zkrácení doby dozvuku a snížení hladiny akustického tlaku

(Bucur, 2006). Například překližky a dřevotřískové desky dobře absorbují zvuk v oblasti nízkých frekvencí zvukového spektra ( $<500$  Hz), jak uvádí Beranek (1960). Své opodstatnění má tedy dřevěný nábytek, který může být dobrým tlumičem zvuku oproti betonu, oceli a sklu se špatnými akustickými vlastnostmi, které bývají často používány v moderních budovách (Smardzewski a kol., 2015).

Dále se dřevěné materiály používají na obklady stěn, stropů nebo jako podlahové krytiny a u speciálních aplikací mohou být zavěšeny v prostoru místnosti. Využití dřeva jako absorpčního materiálu závisí na požadavcích prostoru místnosti, která může sloužit pro poslech řeči a hudby, jako kancelář, průmyslová budova, domácnost atd. (Cremer a kol., 1984).

Absorpce je schopnost látek pohlcovat zvukovou energii při dopadu zvukových vln na povrch látky. Mohlo by se zdát, že tato vlastnost je podobná zvukové izolaci, ale není tomu tak. Zatímco účinné absorbenty jsou lehké pórovité materiály jako např. koberce, tkaniny, plst' a další, oproti tomu izolační materiály musí být těžké a vzduchotěsné. Tato schopnost tedy také závisí na fyzikálních vlastnostech materiálu, a to zejména na jejich pórovitosti. Póry vyplněné vzduchem brání přenašení chvění hmoty, tím i zvuku. Dutiny ale nesmí být příliš velké, aby v nich nedocházelo ke vzniku rezonančního vlnění a tím naopak ke zvyšování hluku (Požgaj a kol., 1997). Účinnost absorpce zvuku a odrazu zvuku ve slyšitelném spektru dále souvisí i s povrchovou úpravou materiálu, jeho geometrií, ukotvením atd. (Beranek, 1960).

Ukazatel vyjadřující tuto schopnost materiálu se nazývá součinitel zvukové pohltivosti a je označován  $\alpha$ . Je definován jako podíl pohlcené zvukové energie a energie dopadající na určitou plochu. Z toho vyplývá, že látka pohlcující všechny zvuk má hodnotu  $\alpha=1$  a látka odrážející všechny zvuk hodnotu  $\alpha=0$  (Matovič, 1993).

## 2.4 Reprodukční a jeho charakteristiky

Reprodukční je zařízení, které přeměňuje elektrickou energii na akustickou. Pokud bychom mluvili o ideálním reproduktoru, požadovali bychom tyto vlastnosti:

- vyrovnanou charakteristiku hladiny akustického tlaku (SPL), která je frekvenčně nezávislá,
- směrovou charakteristiku bodového zářiče – tzn., kruhovou,
- konstantní, frekvenčně nezávislá impedance,
- nulové zkreslení,
- libovolná výchylka membrány,



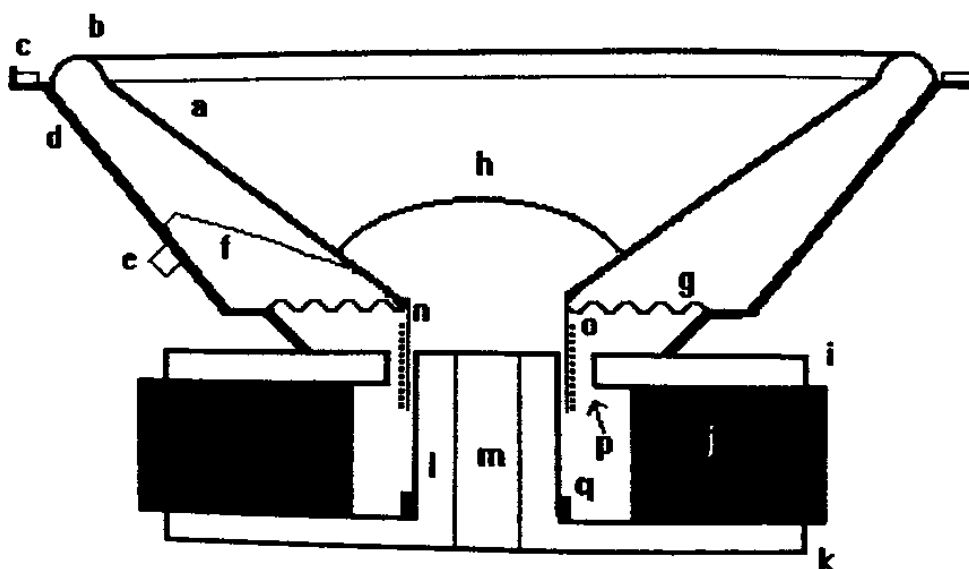
- maximální účinnost a citlivost (Toman, 2010).

Nezávisí ovšem pouze na reproduktoru, ale zejména na celkové reprosoustavě, která bývá nejslabším článkem celého ozvučovacího řetězce, tomu zde ale nebudeme věnovat větší pozornost (Newell a kol., 2007).

Existuje více tipů reproduktorů podle jeho konstrukce a principu činnosti. Zde bude popsána konstrukce elektromagnetického reproduktoru s kuželovou konstrukcí.

#### 2.4.1 Elektromagnetický reproduktor s kuželovou membránou

Tento druh je pro svou různou velikost, tvar, konstrukční materiály a výkon velice rozšířený. Všechny typy, ale odpovídají konceptu na obrázku 3. Zde jsou popsány jednotlivé části.



Obrázek 3 Konstrukce reproduktoru (Toman, 2010)

- Membrána,
- horní závěs membrány,
- těsnění,
- koš,
- terminál pro elektrické připojení,
- pružný pár elektrických přívodů ke kmitací cívice,
- středící membrána,
- těsnění proti prachu,
- horní deska,
- magnetický obvod,
- zadní deska,

- l) pólový nástavec,
- m) otvor v magnetu,
- n) kostra kmitací cívky,
- o) kmitací cívka,
- p) mezera,
- q) zkratovací prstenec (Toman, 2010).

Principem funkce reproduktoru je pístový pohyb membrány, která má tvar komolého kužele a je pouhým pláštěm zavěšeným do rámu, takzvaného koše. Pohyb membrány způsobuje zředování a zhušťování vzduchu, čímž vzniká zvuková vlna. U každého reproduktoru je základem magnet, což je v tomto případě elektromagnet. Elektrodynamický reproduktor funguje na principu silového působení na vodič s protékajícím proudem umístěným v magnetickém poli. Když proud protéká cívkou střídavě, její pohyb je také střídavý. Síla cívky působí na membránu a ta energii vyzařuje, jak již bylo popsáno (Sýkora, 1976).

Membrána by měla být maximálně tuhá, ale nesmí být příliš těžká. I přes tyto požadavky tak během jejího pohybu dochází k deformacím. Pro membrány reproduktorů se používají materiály i v závislosti na tom, o jaké reproduktory (podle frekvenčního rozsahu) se jedná. U středotónových reproduktorů se jedná o papír, textil, polyamidy a další (Toman, 2010).

To, co umožňuje pístový pohyb membrány je závěs membrány. Ten je zároveň jejím ukotvením, které je ale pružné a vymezuje tak její výchylku. Zabezpečuje také její optimální tlumení. Tento závěs bývá vyroben z gumy nebo z pěnového polyetyleny. Přičemž životnost (uchování stále stejné pružnosti) tohoto prvku je u celého reproduktoru zásadní (Newell a kol., 2007).

Koš, ve kterém je membrána zavěšena, musí být také dostatečně tuhý, jelikož dochází k pnutí, jak při používání, tak postupem času stárnutím. Bývá zhotoven z ocelového plechu, slitiny hliníku, nebo i z plastu (Toman, 2010).

Prachovka je částí, která zabraňuje pronikání nečistot ke kmitací cívce. Její velikost a tvar může být různý. Buď může být nalepena na membránu (basové reproduktory), což membránu dosti ztužuje, nebo je přilepena přímo na kmitací cívce (středotónové reproduktory) a zajišťuje tak rozšíření vysokých frekvencí. Nutná je její tuhost a odolnost vůči nečistotám (Toman, 2010).

Magnetický obvod je tvořen z horní desky, samotného magnetu, zadní desky, pólových nástavců a popřípadě otvoru v magnetu. Jeho funkce spočívá v soustředění

magnetické energie do pracovní mezery, kde se nachází kmitací cívka. Vyroben je obvykle z magneticky tvrdého feritu. Otvor je zde z důvodu odvodu tepla a jedná se tak o tzv. chladící otvor (Newell a kol., 2007).

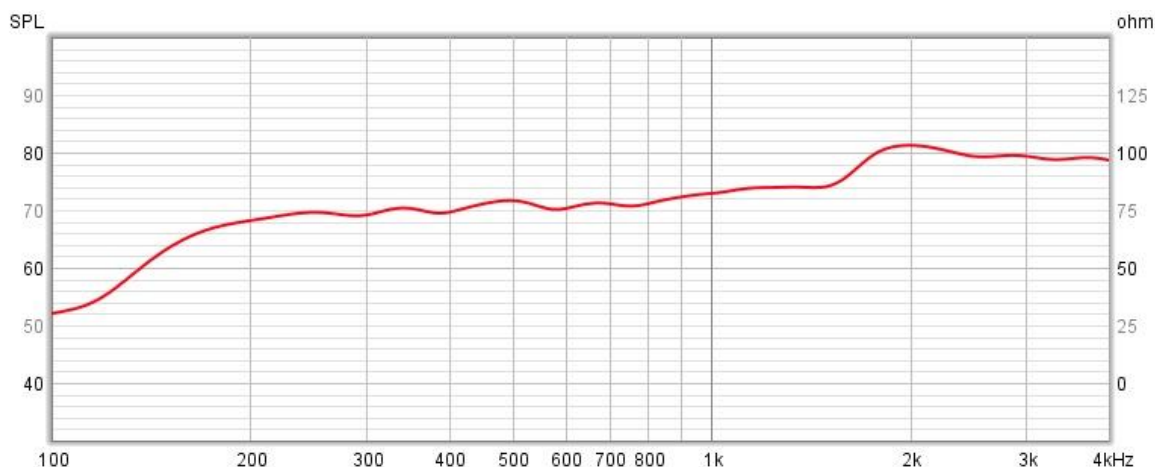
Mezera v magnetu je prostor, kterým se pohybuje cívka. Právě zde je hodnota magnetické indukce nejvyšší. Čím je indukce vyšší, tím jsou pohybové účinky na kmitací ústrojí silnější.

Kmitací cívka je spolu s magnetickým obvodem hlavním ústrojím, které pohání reproduktor. Tato cívka má vliv jak na motorické ústrojí, tak i na frekvenční charakteristiku reproduktoru. Obecně platí, že čím delší je vinutí cívky, tím je větší i maximální výchylka a tím je také reprodukováno méně vysokých kmitočtů. Nakonec je také menší účinnost u vysokých kmitočtů.

Cívka se neobejde bez takzvané kostry, na které je drát cívky navinut. Je to dosti podstatná část pro životnost a odolnost reproduktoru. Důležitý je také smalt, který drží drát na kostře. Zároveň izoluje, jelikož se cívka poměrně dosti zahřívá. (Toman, 2010).

## 2.4.2 Frekvenční charakteristika reproduktoru

Frekvenčních charakteristik reproduktoru je několik. Nejznámější je zobrazení frekvenční závislosti charakteristické závislosti v logaritmickém měřítku (obrázek 4) (Toman, 2010).



Obrázek 4 Frekvenční charakteristika reproduktoru

Graf této charakteristiky by měl být co nejhladší. To znamená, co nejmenší výskyt nerovností v průběhu celé křivky. Tomu by měla být věnována velká pozornost (D'Appolito, 2016).

Vrcholy a poklesy jsou hlavním projevem anomálií frekvenční odezvy. Odchyly jsou způsobeny rezonancemi a lze je charakterizovat střední frekvencí a činitelem  $Q$ , který je spojen s výškou a šířkou rezonance (D'Appolito, 2016).

Zvlnění křivek jsou také způsobena difrakcí zvuku o okraje ozvučnic a náhlými změnami obrysu vnitřních přepážek ozvučnic. Grafy frekvenční odezvy jsou užitečné pro identifikaci difrakce. Rezonance jsou neoddelitelnou součástí odezvy reproduktoru a budou přetrvávat ve všech úhlech mimo osu. Difrakční odezvy jsou však závislé na úhlu a mají tendenci mizet mimo osu (Olson, 1950).

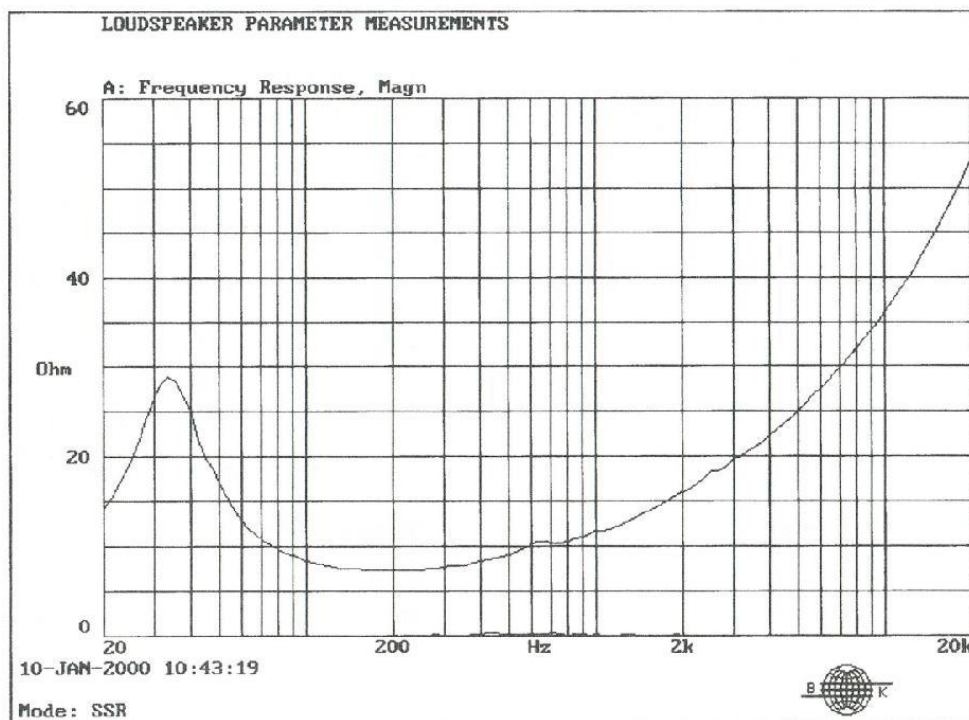
Mezi frekvenční charakteristiky patří i impedanční závislost, která bude rozebírána v další kapitole.

## 2.4.3 Impedanční charakteristika reproduktoru

První hodnota, se kterou přijdeme u reproduktoru do styku, je nominální impedance. Jedná se de facto o informativní hodnotu, matematicky nevyužitelnou. Je třeba si uvědomit, že impedance není činný odpor. Impedance reproduktoru je

frekvenčně zcela závislá a má komplexní charakter. Musíme ji tedy chápat jako komplexní číslo závislé na frekvenci (Sýkora, 1976; Toman, 2010).

Při prvním pohledu na impedanční křivku obrázku 5 vidíme, že impedance má silně induktivní charakter – se zvyšujícím se kmitočtem roste i impedance. To je způsobeno hlavně indukčností kmitací cívky. Dále je na křivce vidět vyvýšení – místo rezonance reproduktoru (Sýkora, 1976).



Obrázek 5 Impedanční charakteristika reproduktoru (Toman, 2010)

Místo za rezonancí je část, ze které se stanovuje obvykle tzv. nominální impedance reproduktoru. V tomto úseku nesmí impedance klesnout pod stanovenou nominální mez. Je to místo, z kterého výrobce stanovuje „4“, „8“ nebo „16“  $\Omega$ . To platí v případě, že se reproduktor nachází mimo ozvučnici. Pokud ho nainstalujeme do uzavřené ozvučnice, vše se mění a např. rezonance se posouvá (Toman, 2010).

## 2.5 Ozvučnice reproduktorů

### 2.5.1 Účel ozvučnice

Jak byl popsán princip funkce reproduktoru, membrána svým pohybem způsobuje zředování a zhušťování vzduchu a tím vytváří akustickou vlnu. Je ale nutné doplnit, že tato vlna nevzniká pouze na přední stranu, ale na obě strany membrány. Hlavním

účelem ozvučnice je poté oddělení přední a zadní zvukové vlny z reproduktoru neboli zamezení jevu, který se nazývá akustický zkrat. Ten nastává, když se přední i zadní vlna na jistých kmitočtech vzájemně vyruší. Ozvučnice tedy slouží jako zábrana mezi přední a zadní stranou reproduktoru a její vliv je především na nízkých kmitočtech (Sýkora, 1976; Toman, 2010).

Krom již popsané funkce, reproduktorová skříň zároveň i chrání reproduktor před mechanickým namáháním. Když je reproduktor umístěn do ozvučnice, dojde pod jistým kmitočtem ke zmenšení maximální výchylky, takže v této oblasti reproduktor vydrží více po mechanické stránce, což je způsobeno i pevným ukotvením k ozvučnici. Nebude-li tedy umístěn do ozvučnice, bude výchylka větší. Také bude mimo ni schopen předat pouze cca  $1/7$  teoretického akustického výkonu. Vestavěním je možné se teoretické maximální hodnotě přiblížit (Sýkora, 1976; Toman, 2010).

Na rozdíl od nástrojových rezonančních ozvučnic jsou ty reproduktorové jiné povahy a nejsou určeny k zesilování zvuku a vyzařování zvuku rezonancí. Hlavní funkcí je zamezení přenosu zvuku, jeho utlumení a ukotvení reproduktoru pro jeho správnou funkci (Sýkora, 1976).

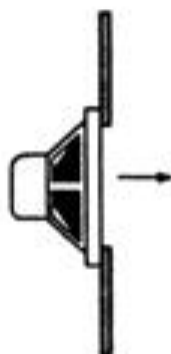
### **2.5.2 Typy ozvučnic**

Pro představu je zde uvedeno několik základních typů ozvučnic s jejich charakteristickými vlastnostmi.

#### **Rovinná deska**

Jedná se o nejjednodušší provedení ozvučnice, o které uvažujeme, jako by měla nekonečné rozměry (obrázek 6). To pochopitelně není v praxi možné a používají se ozvučnice konečných rozměrů, které fungují až od jistého kmitočtu výše (Sýkora, 1976; Toman, 2010).

Velkou výhodou je jednoduchost, čistota zvuku a nepřítomnost rezonancí vlivem stojatých vln. Nevýhodou potom komplikované umístění a špatná citlivost na nízkých kmitočtech. Využití toho konceptu můžeme ojediněle najít v nahrávacích studiích, dále posluchárnách a domácích vysoce kvalitních systémech (Newell a kol., 2007).

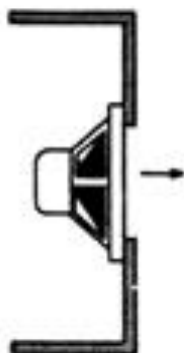


Obrázek 6 Rovinná deska (Hooper, 2018)

### Ozvučnice otevřená

Typ ozvučnice, který je často používán u kytarových komb a v minulosti byl hojně využíván u starých elektronkových televizorů a rozhlasových přijímačů. Konstrukce je uzpůsobena tak, že zadní část bedny je otevřená (obrázek 7). I zde je omezení akustického zkratu pouze částečné a závisí na hloubce ozvučnice, jejím zvyšováním zvyšujeme i činitel jakosti ozvučnice.

Frekvenční charakteristika je zde podobná jako u rovinné desky (Toman 2010).

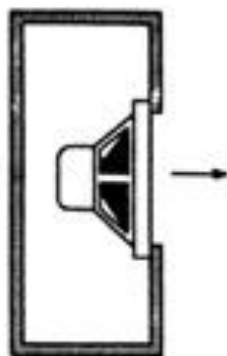


Obrázek 7 Otevřená ozvučnice (Hooper, 2018)

## Ozvučnice uzavřená

Vlnění u tohoto typu ozvučnice, na rozdíl od předchozích, zůstává uzavřeno uvnitř (obrázek 8). Vnitřní prostor tedy musí být dokonale uzavřený a stěny neprůzvučné. Z toho plyne nevýhoda, která se projevuje přeměnou mechanické energie na teplo, které snižuje účinnost reproduktoru. Tento problém se dá řešit úpravou tvaru ozvučnice, jako například u ozvučnice typu bassreflex. U takovéto reproduktorové soustavy vyzařuje zvuk pouze membrána reproduktoru a zbylé části jsou v úplném klidu (Sýkora, 1976).

Uzavřená ozvučnice je nejjednodušší typ na návrh a stavbu. Je ovšem důležité, v jakém objemu a tvaru bude reproduktor uzavřen. Platí, že čím menší bude objem ozvučnice, tím se posouvá rezonanční kmitočet výš. Čím je objem větší, tím se snižuje mechanická odolnost a tím pádem i jeho zatížitelnost. Poměrně důležitým faktem je možné snížení charakteristické citlivosti. Ta je obvykle udávána pro reproduktor, který by vyzařoval do poloprostoru. Pokud je reproduktor uzavřen, nejde o poloprostor, ale o prostor. Následkem je snížení charakteristické citlivosti o 6 dB. Pokles také není konstantní pro všechny frekvence (Toman 2010).

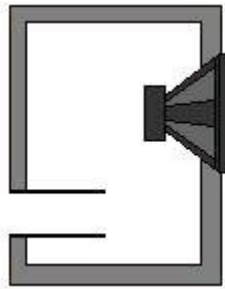


Obrázek 8 Uzavřená ozvučnice (Hooper, 2018)

## Ozvučnice typu bassreflex

Na rozdíl od uzavřeného typu má ve stěně bassreflexový nátubek, který bývá obvykle kruhového nebo obdélníkového průřezu (obrázek 9). Podstatná je výhoda větší účinnosti a obvykle převažuje nad nevýhodami, které početně převažují. K nim patří dosahování větších odchylek, což může být více mechanicky nebezpečné a příčinou většího zkreslení. Dále náročnost na těsnost reprosoustavy, problémy s nelaminárním prouděním zvuku v nátrubku i složitost návrhu a citlivost na nepřesnosti ve výpočtech a v parametrech. K výhodám patří zmenšení objemu skříně (Sýkora, 1976).





Obrázek 9 Bassreflexová ozvučnice (Repromania, 2008)

### 2.5.3 Konstrukce ozvučnic

Hlavními požadavky na ozvučnice je především jejich velká tuhost a váha. Pokud je konstrukce příliš lehká nebo nedostatečně tuhá, ozvučnice se rozvibruje spolu s budícím zdrojem. Ve většině případů jsou tuhé materiály těžké nebo drahé, proto bývají levné reproduktory zvukově méně kvalitní a dochází u nich ke zkreslování zvuku (Newell a Holland, 2007, Klasco, 2019).

Jako prevence před vznikem těchto problémů lze použít vícevrstvé konstrukce, kde vlastnosti jednotlivých vrstev jsou uzpůsobeny tak, aby nedocházelo k šíření vlnění. Další možností je použití výztuh v ozvučnici, což potlačuje rezonanční frekvence do oblastí, které mohou být snadněji utlumeny. Výztuhy také zlepšují mechanickou odolnost ozvučnice (Newell a Holland, 2007; Toman, 2010).

## 2.6 Materiály pro výrobu ozvučnic

Stejně jako u konstrukce, tak i materiál samotný by měl být tuhý, dostatečně těžký a pevný.

### 2.6.1 Materiály na bázi dřeva

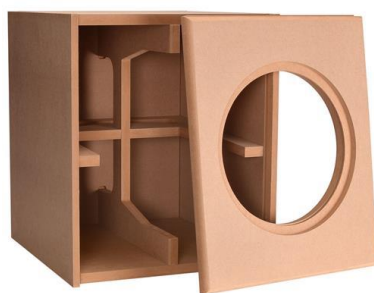
Tradičním materiálem pro výrobu ozvučnic je dřevo a jeho další podoby. Je dobře známo, že tyto materiály mohou perfektně plnit požadavky na ozvučnice (Hardwood a kol., 1977).

Bucur (2006) uvádí, že masivní dřevo a některé kompozity na bázi dřeva lze považovat za dobré akustické materiály díky jejich schopnosti absorbovat důležité množství dopadajícího zvuku za účelem snížení hladiny akustického tlaku nebo doby dozvuku v místnosti. Což je právě u tohoto typu výrobku žádoucí.

## **Dřevovláknité desky se střední hustotou – MDF**

Většina větších reprobeden je vyrobena z tohoto materiálu (obrázek 10), který má povrch dokončený pomocí různých folií. Konstrukce bývá často vytvořena pomocí takzvaného Folding systemu, který umožňuje snadné sestavení ozvučnice při výrobě a také se tím ideálně vyřeší vzniklé spoje, které by jinak mohli být problémovými místy k provedení povrchové úpravy (Klasco, 2019).

Má hustotu od 400 do 900 kg/m<sup>3</sup> (nejpoužívanější 650 kg/m<sup>3</sup>), tím pádem jsou skříňky poměrně těžké a díky tomu stabilnější. Zároveň se materiál vyznačuje velkým vnitřním tlumením a má tedy dobré akustické vlastnosti. Avšak nehodí se kvůli své hustotě pro výrobu velkých přenosných profesionálních beden. Dále je výroba různě tvarovaných a zakřivených dílců nákladná. Není vhodná pro malé reproduktory a ani závěsné reproduktory na zeď (Toman, 2010; Böhm a kol., 2012; Klasco, 2019).



*Obrázek 10 Ozvučnice z MDF (Parts Express, 2021)*

Výhodou MDF je homogenní struktura materiálu napříč celým průřezem. To usnadňuje případné profilové frézování desek, kterému se u výroby ozvučnic skoro jistě nevyhneme, jak je vidět na obrázku 10. Také povrchová úprava, která má při výrobě významnou roli, se díky tomu snáze provádí (Toman, 2010; Böhm a kol., 2012).

## **Dřevotřískové desky**

Dřevotřískové desky (DTD) jsou nejrozšířenějším a nejpopulárnějším materiálem na bázi dřeva v nábytkářském a dřevařském průmyslu. Zároveň jsou nejběžnějším materiálem k výrobě reproduktorových skříní (obrázek 11) (Toman, 2010; Böhm et al., 2012).

Oproti MDF je levnější, ale její kvalita může být různá. Nejčastěji používána je třívrstvá deska, kde středové vrstvy tvoří třísky s většími rozměry a v povrchových vrstvách jsou naopak třísky malé. To způsobuje pokles hustoty v jejím středu, který má pochopitelně vliv na obrobiteľnosť a kvalitu vzniklého povrchu bočních ploch.

Vlastnosti jednotlivých vrstev také podstatně ovlivňují tuhost a vnitřní tlumení materiálu (Toman 2010, Böhm a kol., 2012).

Jak již bylo několikrát uvedeno, cena je velmi důležitým faktorem, a to zejména u komerčních reprosoustav. Zde pak tyto desky nacházejí uplatnění v největší míře. Bohužel se jedná zvláště o desky, které představují nejnižší náklady, tím pádem často i produkty s nízkou kvalitou (Toman, 2010)



*Obrázek 11 Dřevotřísková deska (Böhm a kol., 2012)*

## Překližky

Materiál ze slepených a vzájemně pootočených dých, který se vyznačuje velmi dobrými vlastnostmi pro stavbu reproduktorů (obrázek 12). Při přijatelné hustotě jsou velmi pevné a tuhé. Pouze vnitřní tlumení není tak dobré jako u MDF. U překližovaných materiálů pochopitelně záleží, z jakých dřevin dých jsou. To se odráží jak na vlastnostech, tak i v ceně (Toman, 2010; Böhm a kol., 2012; Newell a kol., 2007).

Levnější varianty z topolu jsou poměrně lehké, ale i tak stále pevné. Problém u těchto překližek jsou prázdná místa v průřezu (často se vyskytují vypadané suky apod.), která jsou vyplněna vzduchem. Tyto vady mohou způsobovat různé rezonance a zvonivý zvuk. I přesto jsou hojně používány u skříní, které jsou často přemísťovány, a finanční rozpočet není tak velký (Toman, 2010).



Obrázek 12 Překližková ozvučnice (Räästas, 2021)

Další používaná dřevina je bříza. Březové překližky jsou jedním z nejkvalitnějších a nejtrvanlivějších materiálů všeobecně používaných pro výrobu reproduktorových ozvučnic, nejčastěji profesionálních. Ovšem zde je z dosud zmiňovaných materiálů cena opravdu nejvyšší (Toman, 2010; Böhm a kol., 2012).

## Masivní dřevo

Masivní dřevo nebo dřevo v podobě spárovek není příliš často využíváno, a to zejména z důvodu anizotropních vlastností (hustota, bobtnání, sesychání, mechanické vlastnosti) (Hardwood a kol., 1977). V případě, že by přece jen bylo použito, jsou pro tento účel použité vhodné dřeviny s vyšší hustotou dřeva (obrázek 13). Mezi používané dřeviny tedy patří javor, bříza, třešeň (Bucur, 2006).



Obrázek 13 Ozvučnice z masivního dřeva (Baker, 2021)

Dřevo bývá často použito jen na přední desky skříní jako designový prvek, a to zejména desky s vyhledávanými výraznými texturami (fládrová, očková, vlnitá, lískovcová). Tyto desky však velmi často bývají lepeny na hotovou konstrukci ozvučnic z jiných materiálů a pak nejsou jejich přímou součástí (Newell a kol., 2007).

### 2.6.2 Dřevoplasty

Ačkoli dřevoplasty patří taktéž do skupiny materiálů na bázi dřeva, je jim zde věnována samostatná kapitola.

Jedná se o materiály vzniklé smísením dřevních částic a polymeru. Dřevo může být v podobě pilin třísek nebo dřevního vlákna a může být zastoupeno v různém poměru vůči polymeru. Obvykle se podíl dřeva pohybuje mezi 40 až 80 % (Böhm a kol., 2012).

Takto vyrobená stěna ozvučnice bývá dostatečně silná a tuhá. Samozřejmě vždy záleží na požadovaném vzhledu ozvučnice a na dalších dokončovacích operacích. Z pohledu akustiky jsou vlastnosti materiálu poměrně dobré, výrobky se osvědčily, ale nespádají do produktů určených pro běžného zákazníka (Klasco, 2019).

### Symbio

Jedná se kompozit složený z čistého polypropylenu a upravenou celulózu zvané Symbio (obrázek 14), která slouží k vyztužení (obsah celulózy je 20-40 %). Po

zpracování a vyplnění formy se minimálně deformuje, takže tvar není tak náročný na dodatečné obrábění (Klasco, 2020).

Díky dobrému tváření tohoto materiálu, lze u Symbio kompozitu vytvářet složité žebrování korpusů ozvučnic a také silnější stěny. Dokonce je možné vyrábět středně silné stěny u subwooferů, které bývají nejvíce namáhány. Přitom cena materiálu je oproti běžnému polypropylenu a ABS poměrně nízká (Klasco, 2019).

Materiál je možné probarvit a jinak povrchově dokončovat. Kvalitní provedení povrchové úpravy však může stát stejně nebo více než samotný výrobek (Klasco, 2019).



*Obrázek 14 Dřevoplast Symbio (Klasco, 2019)*

### **2.6.3 Termosety a termoplasty**

Termosetické plasty a termoplasty mají velmi odlišné vlastnosti a ve spotřební elektronice mají termoplasty hlavní podíl na trhu. Termosety jsou vytvrzovány do trvale pevného stavu. Termoplasty (HIPS, ABS, PC, PP, nylon atd.) lze několikrát roztavit a ochladit a vytvořit různé tvary (Klasco, 2019; Dluhoš, 1998).

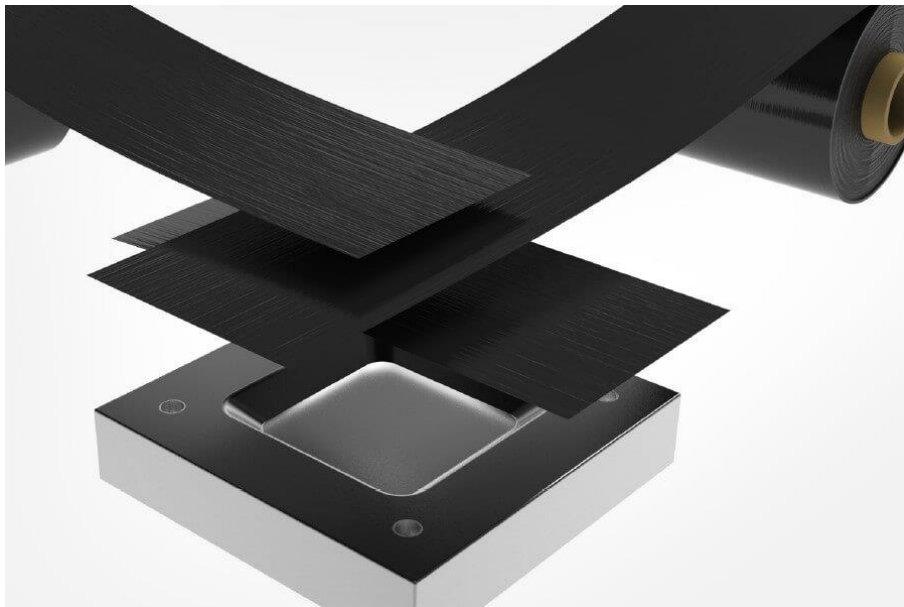
Termoplasty se obvykle zpracovávají vstřikováním do tvarových forem a mohou být také pojivem pro skelná, kevlarová, uhlíková a další vlákna. Termosety obsahují polymery, které se během procesu vytvrzování vzájemně zesítují a vytvářejí nevratnou chemickou vazbu. Proces zesítování eliminuje riziko přetavení nebo deformace produktu při aplikaci tepla (Dluhoš, 1998).

#### **Tvarově a plošně modelované termosety**

Tvarově modelované termosety lze vyrábět přímo do tvaru ozvučnic. Byly tradičně lisovány přes matrici a patrici s dobou vytvrzování delší než termoplasty. Tyto materiály nabízejí dobrý akustický výkon, částečně díky vysoké hustotě a také díky snadno vytvořitelnému žebrování ozvučnic (Klasco, 2019).

Mezi tyto materiály patří i strukturální termosetické kompozity. Například firma Industrial Dielectric vyvinula materiály Fortium a Ultrium. Fortium je kompozitní materiál na bázi skla, Ultrium kompozitní materiál na bázi uhlíkových vláken. Oba mají výjimečnou tuhost a pevnost, STC, zároveň nižší hustotu než kov. Poskytují větší konstrukční flexibilitu za nižší cenu než pokročilý kompozit (Klasco, 2019).

V dřívějších dobách byla velká snaha objevit kompozitní materiály z uhlíkových vláken pro pevné, lehké a dobře tlumené skříně. Tato konstrukce byla ovšem problematická z pohledu spojů a upevnění reproduktorového hardwarového příslušenství. Termoplastický kompozit (CFRTP) Maezio od společnosti Covestro tyto potíže vyřešil (obrázek 15). Jedná se o materiál z uhlíkových nebo skleněných vláken smíchaných s polykarbonátem (PC), termoplastickým polyurethanem (TPU) nebo jinými termoplastickými pryskyřicemi (Klasco, 2019).



*Obrázek 15 Kompozitní materiál Maezio (Covestro, 2021)*



#### 2.6.4 Beton

Jedná se o velmi těžký a tuhý materiál, což skvěle splňuje požadavky na ozvučnice. Je velmi vhodný zejména pro malé HiFi reprosoustavy (obrázek 16). Vysoká hmotnost je zároveň jeho omezením, jelikož u větších ozvučnic neúprosně roste. Opracování materiálu je také složitější než u předchozích materiálů (Toman, 2010).



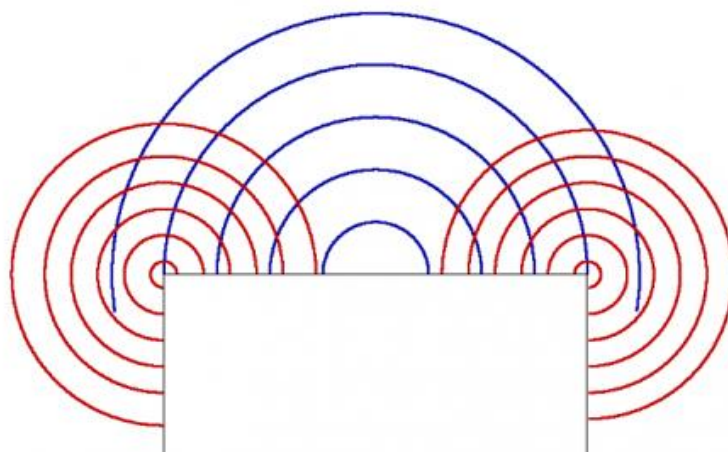
Obrázek 16 Ozvučnice z betonu (Wahrlich, 2021)

Na webu společnosti ConcreteAudio (2017) je uvedeno, že díky váze tělesa není možné, aby se takováto ozvučnice jakkoli rozvibrovala a ovlivnila zvuk reproduktoru. Zároveň je zde popsáno, že konstrukce je odlévána speciálním procesem tak, že jsou odlity všechny stěny najednou. Vnitřní prostor je navíc u této společnosti utlumen dalšími materiály. Celkově jsou vnitřní prostory navrženy tak, aby zde nevznikala žádná stojatá vlnění a reproduktor fungoval co nejlépe.

### 2.7 Difrakční efekty a tvary ozvučnic

Jedním z faktorů ovlivňující výstupní zvukové charakteristiky reproduktoru je vnější konfigurace ozvučnice. Ta ovlivňuje odezvu reproduktorového systému v důsledku difrakčních efektů způsobených různými povrchovými obrysy ozvučnice. Difrakční efekty jsou obvykle přehlíženy a anomálie v reakci jsou nespravedlivě přičítány mechanismu reproduktoru (Newell a kol., 2007).





Obrázek 17 Difrakce zvukové vlny ( Heissmann-Acoustics, 2015)

Difrakce zvukové vlny je jev, který nastává u reproduktorů v případě, že přední deska ozvučnice obsahuje ostré hrany (Unruh, 2020).

Princip je takový, že zvuková vlna vytvořená měničem reproduktoru (modře znázorněná vlna na obrázku 17) se rozptyluje z bodu měniče podél přední desky ozvučnice, dokud nedosáhne hrany ozvučnice. Na hraně se primární vlna částečně zhroutí, kvůli ztrátě podpory a dochází ke vzniku sekundárního impulsu (vlna červené barvy na obrázku 17). Šíření zvukové vlny kolem tohoto bodu je řízeno **difrakcí**. Vzniklý impuls se může rozptýlovat volně do prostoru, takže dopředu i za boční hranu. Na rozdíl od zpětně rozptýleného impulsu však bude mít dopředu rozptýlený impuls opačnou polaritu. Při měření charakteristik reproduktoru mikrofonem pak nejprve mikrofon sejme primární impuls a poté až rozptýlený sekundární impuls (Mitchell, 2021; Unruh, 2020).

Tyto dvě okolnosti – zpožděný příchod vlny a obrácená polarita – zjevně vedou k možnosti interference mezi primární vlnou a difrakční vlnou. To má za následek degradaci v kmitočtové odezvě (Unruh, 2020).

V grafu frekvenční odezvy se difrakce projevuje zvlněním křivky výraznými vrcholy a poklesy v určitých oblastech. Díky tomu lze difrakci identifikovat. Průběh křivky je totiž možné podle rozměrů ozvučnice odhadnout a zjistit, které anomálie zapříčiňují tvary ozvučnic (výpočty na základě vzdáleností hran) (D'Appolito, 2016).

Difrakční odezvy jsou závislé na úhlu a mimo hlavní osu reproduktoru se výrazně snižují (D'Appolito, 2016).

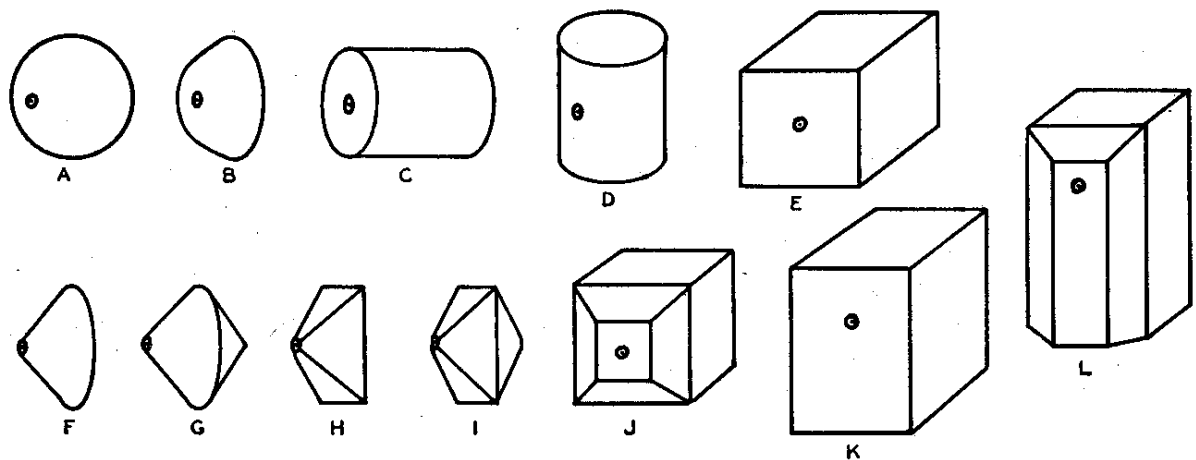
Existuje více způsobů, jak účinky difrakce zmírnit. Měnič je možné umístit mimo středovou osu, ale tím se změní pouze distribuce difrakce v časové a frekvenční oblasti.

Dalším způsobem je zaoblení hrany na čelní desce. I když je to efektivní, konstrukce se stává složitější. K co největší účinnosti musí mít zaoblení také poměrně velký poloměr. Možností je i použití absorpčního materiálu (plsti) umístěného okolo výškového reproduktoru. U středových a basových reproduktorů, není zpravidla kvůli daným frekvencím ovladatelná (Ralph, 2005).

### Tvary ozvučnic

Bucur (2006) ve své publikaci uvádí, že díky výběru tvaru objektů je možné dosáhnout některých předem stanovených cílů akustického návrhu. Tuto informaci je možné implementovat u výběru tvaru ozvučnice.

Níže jsou uvedeny různé posuzované tvary (obrázek 18) a jejich vliv na kmitočtovou charakteristiku. Tyto informace pochází z rozsáhlé studie Olsona (1950). Jeho cílem bylo představit vliv vybraných tvarů na kmitočtové odezvy reproduktoru.



Obrázek 18 Různé tvary ozvučnic (Olson, 1950)

## **Koule**

Prvním příkladem je kombinace mechanismu reproduktoru s přímým zářičem a kulové skříně (A). Frekvenční charakteristika odezvy této kombinace je znázorněna na obrázku 19, grafu 6. Je vidět, že odezva je jednotná a bez výrazných vrcholů a poklesů. To je způsobeno skutečností, že zde nejsou žádné ostré hrany nebo diskontinuity pro vyvolání difrakčních vln. Difrakční vlny jsou rovnoměrně rozděleny podle fáze a amplitudy.

## **Polokoule**

Frekvenční charakteristika odezvy mechanismu reproduktoru umístěného v polokouli (B), je zobrazena na obrázku 19, grafu 7. Prudká diskontinuita vzniká na rozhraní kulového a rovinného povrchu, kde se vytváří silně difrakční vlna. Existuje fázový rozdíl mezi primárními a difrakčními vlnami, což má za následek výrazné vrcholy a poklesy ve frekvenční charakteristice odezvy odpovídající fázovým vztahům mezi primárním a difrakčním zvukem.

## **Válec**

Frekvenční charakteristika odezvy mechanismu reproduktoru nainstalovaného ve středu jedné podstavy válce (C), je znázorněna na obrázku 19, grafu 8. Ostré ohraničení v průsečíku roviny a válcového povrchu způsobuje taktéž výraznou difrakční vlnu. Je také zajímavé poznamenat, že rozdíly odezvy jsou velmi velké, řádově 10 dB.

Mechanismus reproduktoru umístěného ve válcovém povrchu (D), má frekvenční charakteristiku znázorněnu na obrázku 19, grafu 9. Ostré ohraničení mezi válcovým a rovinným povrchem opět vytváří ohybovou vlnu. Rozdíl dráhy mezi primární a difrakční vlnou však není omezen na jedinou diskrétní vzdálenost. Proto maxima a minima odezvy nejsou tak výrazná jako u reproduktoru umístěného v podstavě. Podle očekávání hraje přední část bez hran hlavní roli.

## **Krychle**

Frekvenční charakteristika odezvy mechanismu reproduktoru umístěného ve středu jedné z čel krychle (E) je znázorněna na obrázku 19, grafu 10. Ostré ohraničení na okrajích krychle vytváří také silné difrakční vlnění.

## **Kužel**

Mechanismu reproduktoru na vrcholu kužele (F) má frekvenční charakteristiku odezvy znázorněnou na obrázku 19, grafu 11. Ostré ohraničení v základně tohoto kužele vytváří i zde difrakční vlnu.

Frekvenční charakteristika odezvy mechanismu reproduktoru namontovaného ve vrcholu dvojitého kužele (G) je znázorněna na obrázku 19, grafu 12. Ostré ohraničení v základnách kuželů vytváří difrakční vlnu. Fázové rozdíly mezi primárními a difrakčními vlnami jsou stejné jako u samostatného kužele. Výkony jednoduchého a dvojitého kužele jsou přibližně shodné.

## **Jehlan**

Frekvenční charakteristika odezvy mechanismu reproduktoru umístěná na vrcholu jehlanu (A) je znázorněna na obrázku 19, grafu 13. Ostré ohraničení v základně vytváří difrakční vlnu. Tvar křivky v grafu je podobný jako u kuželu. Stejně jako v případě kužele, nejlepší odezva nastává na poměrně vysokých frekvencích.

Axiální odezvy mechanismu reproduktoru umístěného na vrcholu dvojitého jehlanu (I) má frekvenční charakteristiku znázorněnou na obrázku 19, grafu 14. Ostré ohraničení na základně pyramidy vytváří difrakční vlnu. Fázové rozdíly mezi primárními a difrakčními vlnami jsou stejné jako u samostatného kuželu.

## **Kvádr**

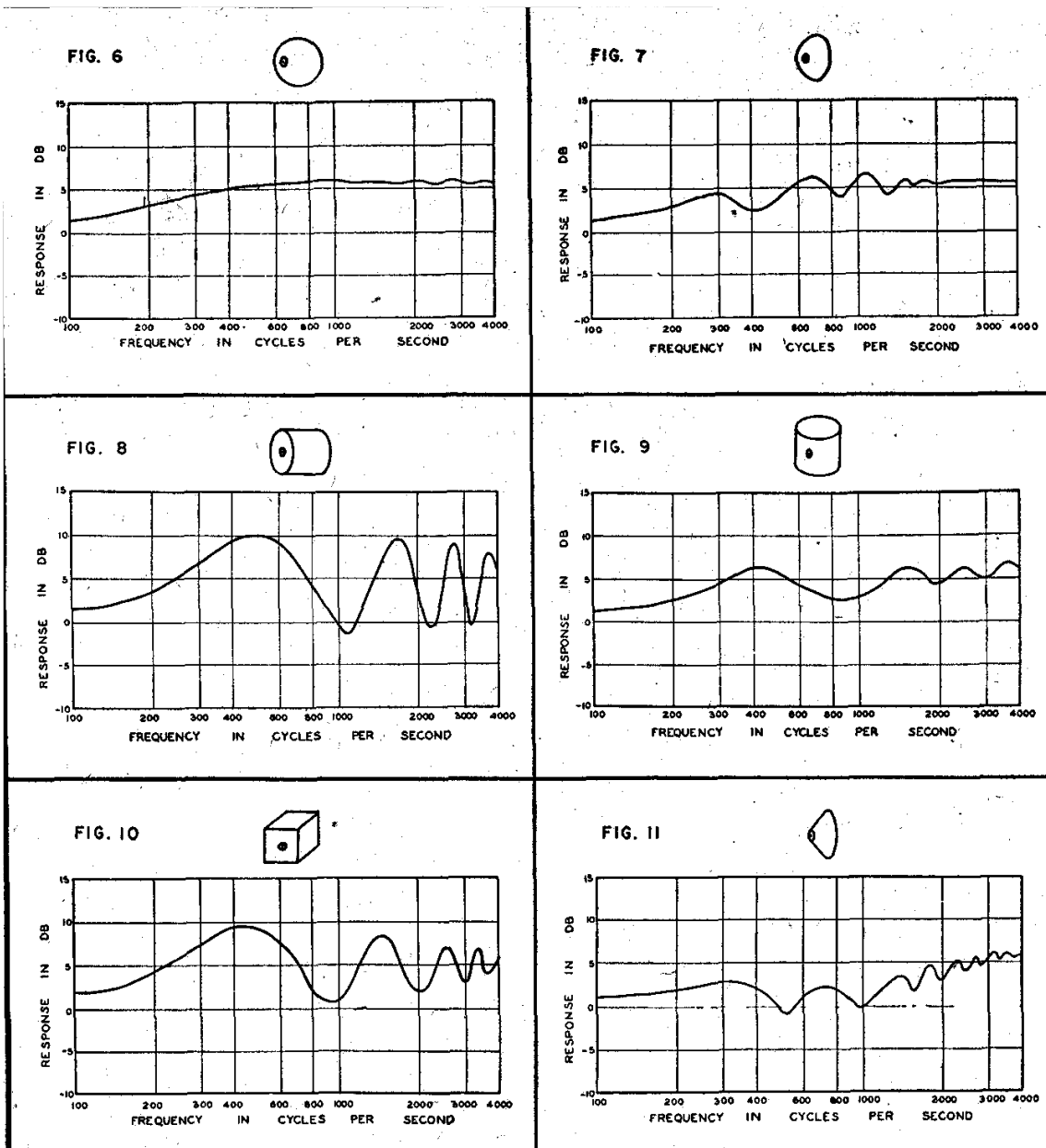
Křivka frekvenční charakteristiky odezvy na obrázku 19, grafu 16 byla získána pomocí mechanismu reproduktoru namontovaného v kvádru (K). Výrazná minima v odezvě jsou způsobena kratšími vzdálenostmi od mechanismu k hornímu a bočnímu okraji. Minimální odezva je způsobena delší vzdáleností mechanismu od spodní a vrchní hrany. Změny v odezvě v důsledku difrakčních účinků ozvučnice jsou řádově 6 až 7 dB. Frekvenční charakteristika odezvy na obr. 16 je typická pro odezvu u tohoto typu konstrukce. Tento tvar je tedy nevhodný pro použití reproduktoru s přímým zářičem kvůli velkým změnám odezvy způsobené difrakcí od ostrých hran.

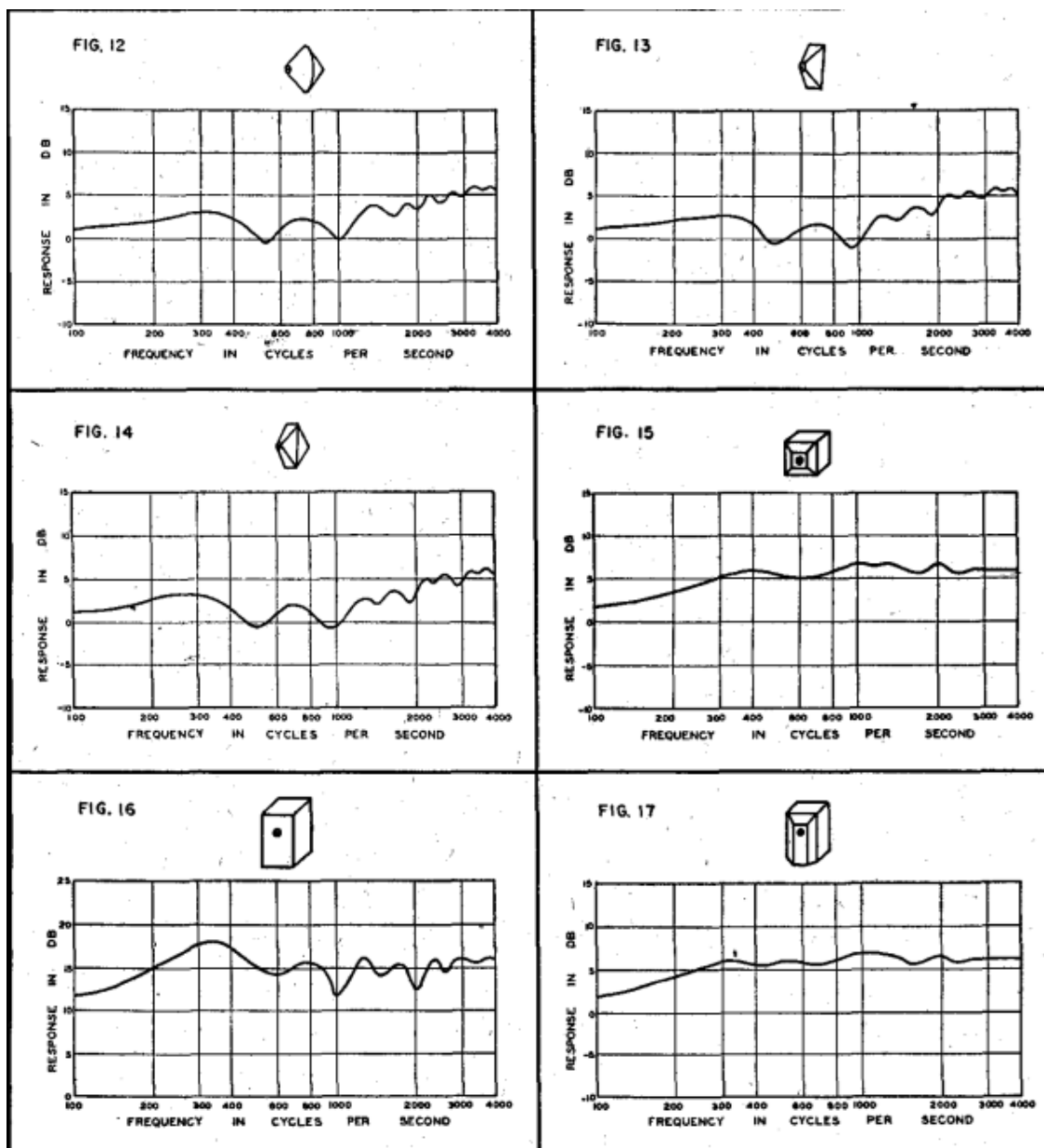
## **Modifikované tvary**

Zkrácený jehlan napojený na kvádr (J) je navržen s cílem omezit ostré hranice na přední části ozvučnice. Také vzdálenosti mechanismu od okrajů nejsou všude stejné. Kmitočtová charakteristika odezvy mechanismu reproduktoru je znázorněna na obrázku 19, grafu 15. Je vidět, že odezva je zcela jednotná a bez velkých zvlnění. To potvrzuje

myšlenku, že snížení ostrých hranic na povrchu ozvučnice a odstranění stejných délek dráhy od těchto hranic k mechanismu poskytne hladší frekvenční charakteristiky odezvy.

V posledním tvaru ozvučnice (L) byly difrakční účinky zmírněny vytvořením sražených hran povrchu a odstraněním stejných vzdáleností k mechanismu reproduktoru. Současně byla zachována praktická vnější konfigurace. Frekvenční charakteristika odezvy mechanismu reproduktoru je znázorněna na obrázku 19, grafu 17. Je vidět, že křivka odezvy je poměrně hladká.





Obrázek 19 Vliv tvarů ozvučnic na frekvenční charakteristiku (Olson, 1950)

### 2.7.1 Tlumící materiály ozvučnic

Ozvučnice bývají vyplněny materiály pohlcující zvuk, kvůli potlačení vzniku stojatého vlnění, které může uvnitř ozvučnice vznikat. Dochází k tomu tím způsobem, že se vlna odrazí od stěny ozvučnice a ta se skládá s vlnou o stejné amplitudě i frekvenci, ale opačnou orientací. Stojaté vlnění může výrazně ovlivnit kmitočtovou odezvu reproduktoru (Newell, a další, 2007).

Používají se k tomu různé materiály s vysokým činitelem pohltivosti. To jsou zejména vláknité a pórovité materiály (vaty, vlny, pěny). Jejich použití ale ovlivňuje i další parametry reproduktoru. Přidáním tlumení se zdánlivě zvýší objem ozvučnice a

její poddajnost. Bohužel může kvůli těmto materiálům docházet k zabarvení zvuku (Toman, 2010).

Při nízkých frekvencích tyto materiály přispívají k jejich tlumení jen málo. Neefektivita tlumení na nízkých frekvencích je způsobena faktem, že všechny tlumící materiál malé frakce je umístěn ve stejné vzdálenosti na vnitřních stěnách ozvučnice. A bez pohybu vzduchu nebo materiálu není šance na pohlcení nebo rozptýlení akustické vlny nízké frekvence (Bauer, 1953).

Tlumení pomocí elektroniky vyžaduje použití nízkoimpedančního zesilovače. Když tento druh zdroje není k dispozici a systém není doplněn o jiný druh tlumení, výstup může být výrazně nespolehlivý. Další možností je návrh vysoce věrného systému, kde jsou často prováděny pokusy o zlepšení tlumení snížením impedance zesilovače na hodnotu blížíící se nule (Bauer, 1953).

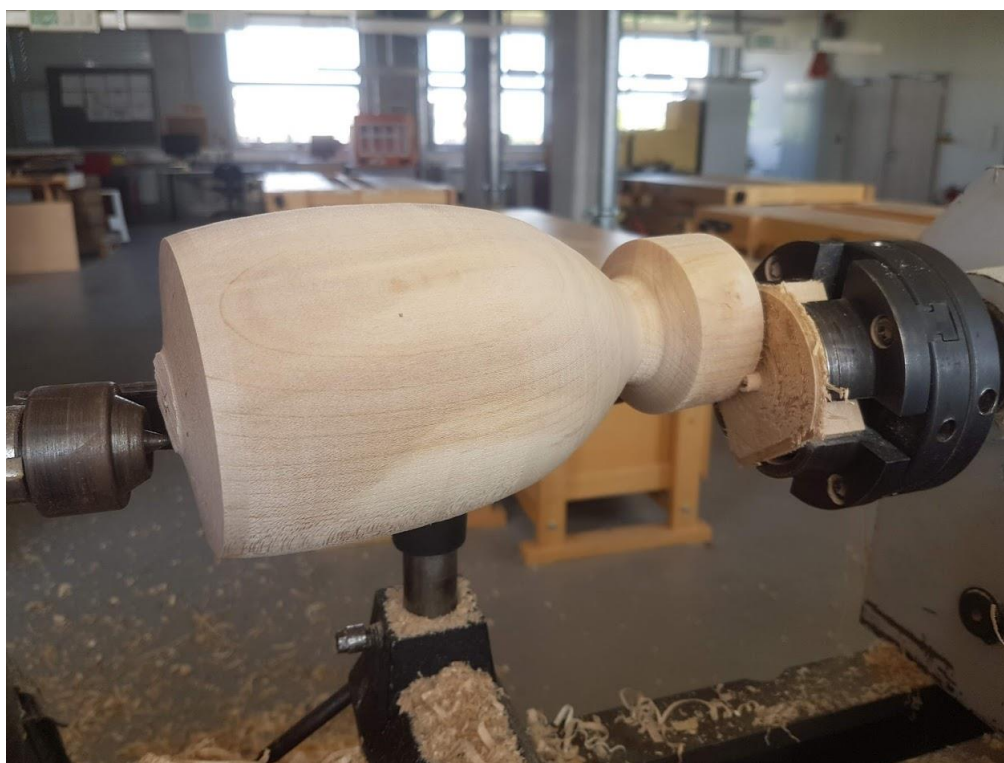
## 3 Metodika

### 3.1 Výroba ozvučnic

#### Oválné ozvučnice

Výroba ozvučnic inovovaného tvaru byla poměrně složitá a nebylo pro ni možné využít standardní technologické postupy. Bylo použito dřevo břízy bělokoré (*Betula pendula*) a javoru kleny (*Acer pseudoplatanus*). Od každé dřeviny byly vyrobeny tři prototypy. Výkresová dokumentace ozvučnice je uvedena v příloze 1.

Nejprve byly z kmenů vybrány potřebné části a ty vyřezány kmenovou pásovou pilou. Jednalo se o hranoly s rozměry 120x120x220 mm. V této podobě byly poprvé obrobena ručním soustružením (obrázek 20) s určitými nadmírami na sesychání (cca 10 mm), protože vlhkost vstupního materiálu byla vyšší, než 30 %. Tento krok je důležitý pro urychlení vysoušení polotovarů, které probíhalo pouze přirozeným způsobem. Díky odsoustružení vnitřní části, nedocházelo ke vzniku trhlin od napětí při sesychání, které se mělo kam uvolnit a došlo pouze ke tvarovým změnám polotovarů. Prvotní obrábění se samozřejmě provádělo snáze u vlhkého dřeva.



Obrázek 20 Výroba polotovaru ozvučnice



Poté se tyto polotovary nechaly nejdříve vysušit v zastřešeném venkovním skladu řeziva po dobu nejméně dvou týdnů, následně se přesunuly do vnitřních prostorů, kde se



Obrázek 21 Soustružení kopírovacím zařízením

vlhkost po čase (znovu alespoň dva týdny) ustálila přibližně na hodnotě 7 % a bylo možné provést finální obrobení.

Soustružení tentokrát probíhalo pomocí kopírovacího zařízení (obrázek 21) a speciálních nástrojů na vyhloubení vnitřků. To bylo nezbytné, kvůli dodržení shodných vnitřních objemů u všech ozvučnic. Bylo podstatné pomocí šablon vyrobit stejný vnější tvar, aby bylo možné posoudit možný vliv difrakce. Povrch byl broušen a povrchově upraven nátěrem Tvrdý voskový olej od výrobce Osmo. Nakonec bylo nutné samotné ozvučnice zkompletovat s reproduktory pomocí šroubů a závitových vložek.

### **Kvádrové ozvučnice**

Na tyto ozvučnice bylo znovu použito březové a javorové dřevo, navíc také MDF deska. Rozměry kvádrů byly stanoveny takto – čtvercový půdorys má hranu dlouhou 99 mm a výška byla 150 mm. A to z toho důvodu, aby byl vnitřní objem shodný s oválnými ozvučnicemi a byly tak porovnatelné. Tloušťka materiálu byla 18 mm. Řešení celé konstrukce je uvedeno ve výkresové dokumentaci v příloze 2. Od každé dřeviny byl vyroben jeden prototyp a dva prototypy z MDF.

Postup výroby byl o poznání jednodušší. Kulatina se také nejprve podélně dělila pásovou pilou na deskové řezivo. Prkna poté byla proložena a několik měsíců se přirozeně vysoušela ve venkovním skladu v areálu ČZU. Následně byla přesunuta do truhlářské dílny, kde se jejich vlhkost ustálila zhruba na 7 % po době asi dvou týdnů. Zde už byla prkna rozřezána a ohoblována na potřebné rozměry. Samotné spoje ozvučnice byly provedeny na pokos, s tím, že čelní a zadní deska byla vsazena do



Obrázek 22 Kompletace kvádrových ozvučnic

polodrážky (obrázek 22). Otvory pro usazení měniče se frézovaly pomocí CNC obráběcího centra. Povrch byl před povrchovou úpravou broušen a poté se u dřevěných prototypů opět aplikoval zvolený tvrdý voskový olej. U ozvučnic z MDF byl v jednom případě ponechán vzhled surové desky s nátěrem tvrdovosku a druhý totožný model byl dokončen pomocí černé barvy.

Snímky kompletních reproduktorů jsou zobrazeny v příloze 3 a 4.

### **3.2 Měření frekvenčních charakteristik reprosoustav**

#### **Měřicí metoda**

Existuje mnoho metod pro přímé nebo nepřímé měření frekvenčních charakteristik. Některé metody vyžadují specifické vybavení (např. bezodrazovou místnost) nebo mají určitá omezení. Velmi rozšířenou a dostupnou metodou získání

frekvenční charakteristiky je její výpočet pomocí Fourierovy transformace z impulsové odezvy reprosoustavy.

Impulsová odezva je odezva soustavy, která musí být časově invariantní, na nekonečně krátký puls s nekonečnou amplitudou. Impulsová odezva soustavu plně charakterizuje a Fourierovou transformací lze získat přenosovou funkci soustavy – frekvenční charakteristiku. Vzhledem k tomu, že praktická realizace nekonečně krátkého a vysokého pulsu není možná, existuje řada metod, jak lze impulsovou odezvu získat.

Pro měření impulsové odezvy reprosoustavy byla použita metoda přelad'ovaného harmonického signálu (neboli „přelad'ovaný sinus“ či „Sine Sweep“) v softwaru REW – room acoustics and audio analysis software. Soustava je buzena harmonickým signálem, jehož frekvence se v čase zvyšuje (v našem případě exponenciálně) a odezva soustavy je zaznamenávána. Následně lze impulsovou odezvu získat filtrací inverzním filtrem vstupního signálu, nebo dělením ve spektrální oblasti (s omezeními). Výhodnou vlastností této metody je např. oddělitelnost harmonického zkreslení.

### **Měřicí řetězec a uspořádání měření**

Jelikož získaná impulsová odezva charakterizuje celou soustavu, je třeba specifikovat celý měřicí řetězec a případné další vlivy, které lze potom méně či více eliminovat. Měřicí řetězec pro měření byl následující:

- Záznam
  - notebook se softwarem REW v.5.20
  - zvuková karta RME Fireface UC
  - mikrofonní kabel (symetrické vedení)
  - měřicí mikrofón Earthworks M23
- Reprodukce
  - notebook se softwarem REW v.5.20
  - zvuková karta RME Fireface UC
  - nesymetrický kabel
  - zesilovač GHXAMP TPA3116 (uvažovaný pro budoucí použití s reprosoustavami)
  - reproduktorový kabel
  - měřená reprosoustava.

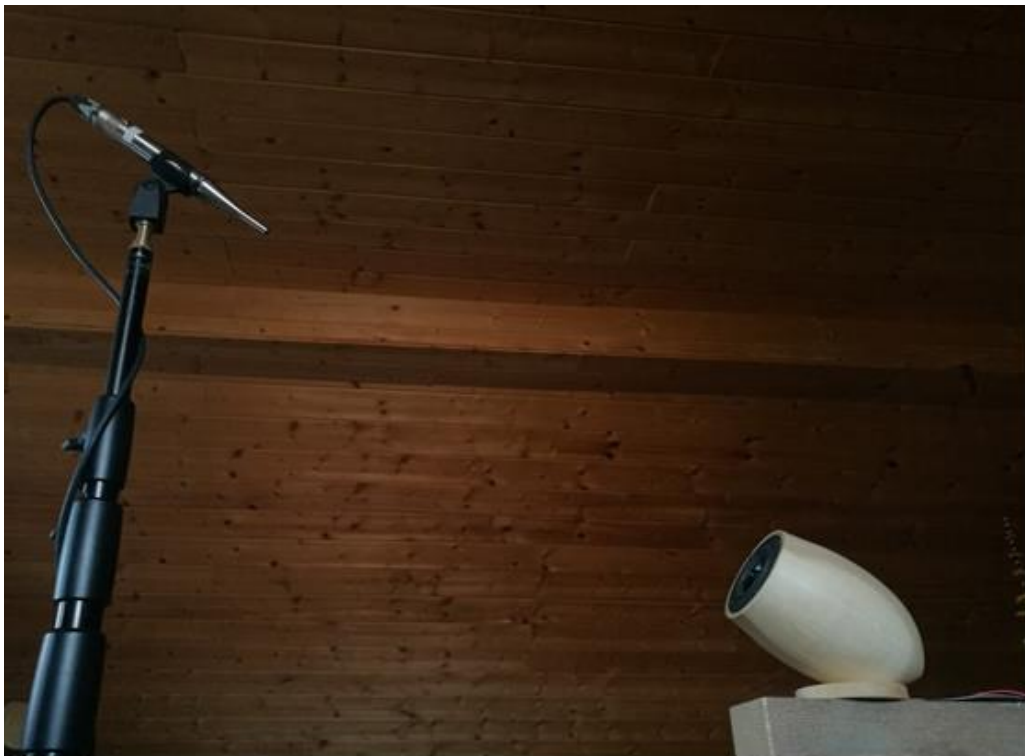
Kromě uvedených zařízení se v impulsové odezvě projeví i vliv prostoru, ve kterém bylo měření provedeno.

Notebook a kabely s krátkou délkou vnáší do měření minimální chybu, přenosová funkce zvukové karty byla kompenzována kalibrační karty, stejně tak frekvenční charakteristika měřicího mikrofону byla kompenzována kalibrační křivkou. Zbývají tedy 3 prvky, které se zásadněji projeví do výsledné odezvy – reprosoustava, místnost a zesilovač.

Zesilovač a jeho nastavení se mezi měřeními neměnilo. Navíc je uvažováno s jeho budoucím užitím s touto reprosoustavou, proto je jeho zařazení v řetězci žádoucí. Vliv místnosti bohužel nebylo možné zcela odstranit. Navzdory snaze se nacházely nejbližší odrazivé povrchy cca 1,5 m (3 m pro odraz) daleko. V případě ořezu impulsové odezvy po tak krátkém časovém úseku (cca 8 ms) má přenosová funkce impulsové odezvy na nižších frekvencích velmi nízké rozlišení, proto se vliv místnosti na získané frekvenční charakteristice projevuje. Nicméně z hlediska relativního srovnávání jednotlivých vzorků nemá žádný vliv.

Měření bylo provedeno se vzorkovací frekvencí 192 kHz a hloubkou 16 bitů. Délka sweepu byla zvolena na 2,7 s, což je s rezervou delší než doba dozvuku místnosti, která by mohla negativně ovlivnit měření. Pro každé měření byl sweep čtyřikrát opakován. Časová reference byla zajištěna zpětnovazebním propojením zvukové karty.

Reprosoustava byla umístěna ve výšce asi 1,5m a mikron se nacházel ve vzdálenosti 0,5 m od reprosoustavy (obrázek 23).



Obrázek 23 Průběh měření reprosoustavy

## Měření impedančních charakteristik reprosoustav

Impedance je komplexní veličina, která popisuje frekvenčně závislý zdánlivý odpor a informaci o fázi. U analýzy reprosoustav tak lze výhodně užít např. pro pozorování vlastních rezonancí.

Pro měření impedanční charakteristiky byl rovněž použit software REW s měřicím přípravkem s přesným rezistorem 100  $\Omega$ , na který byl software nastaven. Následně je buzena soustava opět přeladovaným harmonickým signálem, a ze zaznamenaného signálu je na základě změny amplitudy se znalostí odporu referenčního rezistoru dopočítávána impedance.

## Charakteristiky měniče

Měnič, který byl použit pro měření charakteristik jednotlivých ozvučnic, byl pokaždé stejný, aby byly výsledky porovnatelné. Jednalo se konkrétně o měnič Dayton RS 75-4. Charakteristiky měniče jsou popsány v tabulce 1 níže.

Tabulka 1 Charakteristiky reproduktorového měniče

Impedance	4 $\Omega$	Sd	12 cm <sup>2</sup>
Re	3,1 $\Omega$	Vd	1,31 cm <sup>3</sup>
Le	0,72 mH	BL	2,01 Tm
Fs	177 Hz	Vas	0,14 l
Qms	5,76	Xmax	1,1 mm
Qes	0,97	VC Diameter	16 mm
Qts	0,83	SPL	85,2 dB
Mms	1,1 g	RMS Power Handling	15 W
Cms	0,72 mm/N	Usable Frequency Range	170–20000 Hz

## 3.3 Výroba zkušebních vzorků

Vzorky byly odebrány ze stejných materiálů, z kterých byly vyráběny ozvučnice. Jednalo se tedy o břízu bělokorou (*Betula pendula* Roth), javor klen (*Acer pseudoplatanus* L.) a MDF desku. Zkušební tělíska byla vyřezávána ze stejných kmenů, které se použily na výrobu ozvučnic.

Stejně jako u ozvučnic, nejprve byla nařezána prkna tloušťky 30 mm a uskladněna ve venkovním skladu řeziva ČZU. Zde po dobu asi tří měsíců přirozeně schla na vlhkost 15-17 %. Poté byla přemístěna do truhlárny, kde svou vlhkost snížila asi na 7 %. Tam se prkna nejprve rozřezala na délku. Délka vzorků byla 600 a 300 mm. Proto se prkna rozřezala na sdružený přířez o rozměru 930 mm, tak aby se do něj umístily oba potřebné vzorky a byla tak zajištěna jejich paralelnost. Přířezy se rozmítaly na laťky o šířce asi 25

mm, které se následně srovnávaly na rovinné frézce a poté se sjednotily v tloušťkovací frézce. Poslední výrobní operací bylo délkové zkracování na přesný rozměr.

Nakonec byly hotové vzorky umístěny do klimatizační komory, ve které byla nastavena relativní vlhkost vzduchu na hodnotě  $65\pm 5\%$  a teplota  $20\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ . Tělesa se zde klimatizovala tak dlouho, dokud nebyla jejich vlhkost ustálena v celém průřezu každého vzorku a tím se dostala do rovnovážného vlhkostního stavu.

Všechna tělesa (vzorky) byla označena kódem. První číslo kódu značí pozici prkna od dřene. V případě, že se jednalo o delší prkno, (u břízy) tak další číslice značí pořadí vzorku v délce prkna. Další je označení strany prkna písmenem L či P. A nakonec číslice označující pořadí vzorků od okraje prkna (kůry) ke středu (dřeni). V případě MDF desky byly vzorky označeny pouze číselně jejich pořadím.

Vzorky obsahující vady (dřen, suky, zárost, trhliny) byly vyřazeny a do vyhodnocení se nezahrnovaly.

### **3.4 Měření fyzikálních a mechanických vlastností**

U zkoumaných materiálů bylo hlavním cílem stanovit akustické parametry, a to konkrétně rezonanční frekvenci, akustickou konstantu, akustický vlnový odpor. S tím byla měřena i rychlost šíření zvuku podél vláken. Zároveň byla pro zjištění těchto hodnot určována hustota vzorků, dynamický modul pružnosti, navíc i statický modul pružnosti a ohybová pevnost.

#### **3.4.1 Určování hustoty**

Stanovení hustoty bylo podstatné pro další výpočty. Měření probíhalo na již klimatizovaných tělesech. Nejprve byly naměřeny příčné rozměry elektronickým posuvným měřítkem s přesností na 0,01 mm a s rozlišováním radiálního a tangenciálního směru, kvůli následujícím zkouškám. Dále se měřila délka vzorků pouze pomocí pevného měřidla s přesností 1 mm. Z těchto rozměrů byl vypočten objem. Poté se tělesa zvažila na laboratorních vahách s přesností 0,01 g. Naměřené a vypočtené hodnoty byly zadány do vzorce

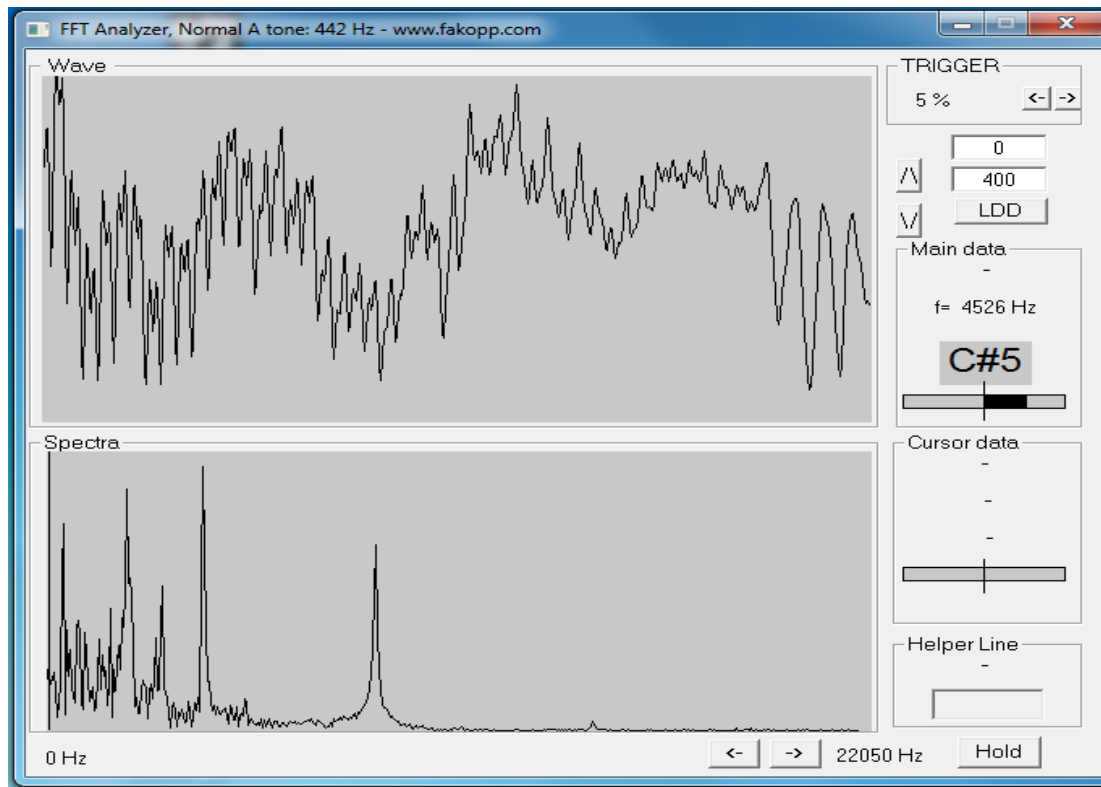
$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$$

Kde  $m_w$  je hmotnost při vlhkosti  $w$  [kg], a  $V_w$  je objem dřeva při stejné vlhkosti [ $\text{m}^3$ ] (ČSN 490108).



### 3.4.2 Zjišťování rezonanční frekvence

Princip je založen na zjišťování frekvence kmitů, které prochází tělesem za jednotku času. Ačkoli tato metoda je určena pro masivní dřevo, bylo jí použito i u vzorků MDF.



Obrázek 24 Rezonanční frekvence materiálu

Tyto pokusy probíhaly na tělesech o délce 0,6 m, čímž byly splněny požadavky na jejich minimální délku 0,5 m nebo i minimálně pětinašobek šířky. Délka  $l$  v metrech byla využita pro výpočet předpokládané frekvence podle vzorce

$$f = \frac{2500}{l} [\text{Hz}]$$

Každé zkušební těleso bylo při měření uloženo na tlumících podložkách, aby signál nebyl nijak ovlivněn. Vzdálenost podložky od čela vzorku byla 132 mm, jelikož měla splňovat předepsanou hodnotu 0,22  $l$ . Snímací aparát tvořil mikrofon (Behringer ECM 8000) propojen se zesilovačem (Steinberg UR22 MK2), který byl dále napojen na notebook s potřebným softwarem (Fast Fourier Vibration analyzer) (obrázek 25). Úderným předmětem bylo ocelové kladívko, které iniciovalo vznik vlnění. Hmotnost kladívka musela odpovídat hodnotě 0,5-5% hmotnosti zkoušeného vzorku. Před úderem se snímací mikrofon umístil těsně k jedné čelní ploše vzorku tak, aby se ho nedotýkal. Do druhé čelní plochy se udeřilo. Hodnota frekvence se měla pohybovat u masivního dřeva v rozmezí 20 % od hodnoty získané z předešlého vzorce. Tato hodnota se zobrazí

v softwaru na notebooku (obrázek 24), ale je zobrazena pouze do zachycení dalšího signálu, který může být velmi slabý. Proto se zpravidla udeřilo do tělesa vícekrát, aby bylo jasné, která hodnota je správná. Měření prováděli dva lidé, jeden zajišťoval údery, druhý odečítal a přepisoval hodnoty (Fakopp Enterprise Bt., 2019).



Obrázek 25 Snímací aparát rezonanční metody

Z naměřených hodnot bylo možné vypočítat rychlost šíření akustické vlny  $c$  ve dřevě v podélném směru podle vzorce

$$c = 2 \cdot l \cdot f \left[ m \cdot s^{-1} \right].$$

Kde

$l$  – je délka tělesa [m],

$f$  – rezonanční frekvence [Hz].

Další veličinou vypočitatelnou na základě zjištění rychlosti zvuku je akustický vlnový odpor  $Z$  počítaný podle vzorce

$$Z = \rho \cdot c \left[ kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1} \right].$$

$\rho$  – je i zde hustota materiálu [ $kg \cdot m^{-3}$ ],

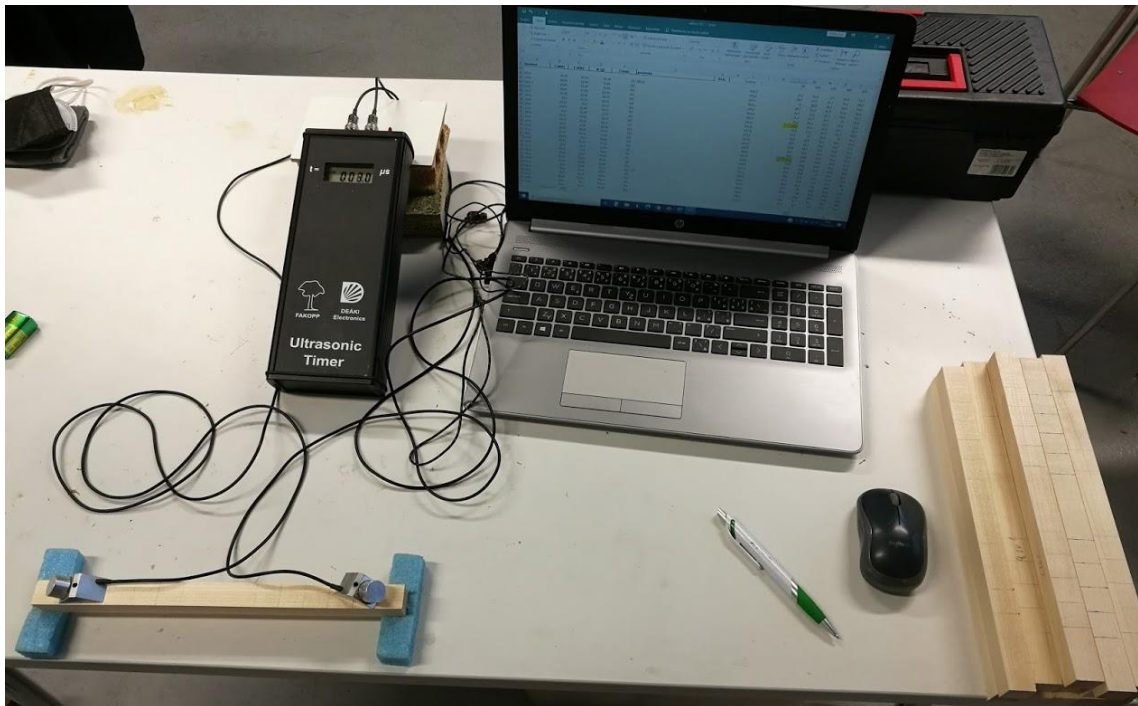
$c$  – rychlost šíření zvuku [ $m \cdot s^{-1}$ ].



### 3.4.3 Měření času průchodu ultrazvukové vlny

Jak z názvu vyplývá, byl měřen čas průchodu vln tělesem v různých vzdálenostech. Zkouška proběhla na tělesech o rozměrech 20 x 20 x 300 mm (h x b x l). Jako měřicí soustava zde byl použit přístroj FAKOPP Ultrasonic Timer. Ten se skládá ze dvou piezoelektrických sond a samotného přístroje (obrázek 26). Sondy jsou ručně přikládány k povrchu tělesa. Ze nich je iniciován ultrazvukový impulz a tím se spustí měření času. Vlna musí projít skrze materiál do druhé sondy a tím se měření času zastaví. Hodnota se poté zobrazí na přístrojovém displeji a je zapsána (Fakopp Enterprise Bt., 2019).

Vzdálenosti měření byly 60, 100, 140, 180 a 220 mm. Na každý vzorek byly narysovány v těchto místech značky, aby sondy byly přikládány co nejpřesněji.



Obrázek 26 Měřicí aparatura ultrazvukové vlny

K výpočtu rychlosti šíření vlny ve dřevě byla použita pouze vzdálenost 140 mm. Zbývající časy byly využity k výpočtu korekce. Z těchto parametrů již bylo možné získat hodnotu dynamického modulu pružnosti  $E$  podle vzorce

$$E = c^2 \cdot \rho [Pa]$$

Jelikož již byla známa hodnota dynamického modulu pružnosti, bylo možné zjistit hodnotu akustické konstanty  $K_A$ , kterou lze vyjádřit vzorcem

$$K_A = \sqrt{\frac{E}{\rho^3}} [m^4 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}], \text{ kde}$$

$E$  je dynamický modul pružnosti [MPa],

$\rho$  hustota materiálu [ $kg \cdot m^{-3}$ ].

#### 3.4.4 Určování statického modulu pružnosti

Tato zkouška probíhala podle normy ČSN 49 0116. Určenými tělesy jsou hranolky o rozměrech 20 x 20 x 300 mm. Jednalo se o stejné vzorky, které byly použity na předchozí měření průchodu UZ vlny.



Obrázek 27 Zkouška statické pevnosti

Těleso bylo volně položeno na dvou podporách vzdálených od sebe osově 240 mm. Působilo na něj zatížení dvěma dalšími body vzdálenými od podpor z každé strany 60 mm, od sebe tedy byly vzdáleny 120 mm (obrázek 27).

Mezi dvěma body, kterými se těleso zatěžuje, vzniká zóna čistého ohybu. Ohybová síla musí směřovat kolmo na radiální plochu, v tangenciálním směru. Zatěžování probíhá rovnoměrnou rychlostí do porušení tělesa (asi 1,5 minuty) a tím výraznému poklesu jeho pevnosti. Stroj je propojen pomocí softwaru s počítačem, který po ukončení zkoušky zobrazí požadované výstupy. Výstupy byly hodnoty zatížení a

deformace při počátku a konci lineární části grafu zobrazujícího zatížení a deformaci (průhyb). Přístroj tedy musí být vybaven průtahoměrem.

Výsledky byly dosazeny do vzorce

$$E = \frac{11 \cdot \Delta F \cdot l}{64 \cdot b \cdot h^3 \cdot \Delta f} [MPa], \text{ kde}$$

$l$  – vzdálenost mezi středy podpěr [ $mm$ ],

$b$  – šířka tělesa [ $mm$ ],

$h$  – výška tělesa [ $mm$ ],

$\Delta F$  – rozdíl mezi silami ( $F_2 - F_1$ ) [ $N$ ],

$\Delta f$  – rozdíl průhybu ( $a_2 - a_1$ ) [ $mm$ ],

Jako doplňkovou veličinou byla určena z dat ke statickému modulu pružnosti i ohybová pevnost dřeva. Vyhodnocení dat probíhalo pomocí vzorce pro pevnost

$$\sigma_{max} = \frac{3 \cdot F \cdot l_0}{4 \cdot b \cdot h^2} [MPa], \text{ kde}$$

$F$  – síla zatížení [ $N$ ],

$l_0$  – vzdálenost mezi podpěrami [ $mm$ ],

$b$  – šířka tělesa [ $mm$ ],

$h$  – výška tělesa [ $mm$ ] (Požgaj a kol., 1997).

### 3.4.5 Vyhodnocení dat

Výsledné hodnoty jednotlivých zkoumaných veličin byly zpracovány v tabelární a grafické podobě. Pro grafické vyjádření byl použit program STATISTICA 13 (TIBCO Software Inc., Palo Alto, CA, USA). V tomto softwaru byla použita jednofaktorová analýza rozptylu, která byla upotřebena především pro trendové vyjádření zkoumaných veličin. Dále byl tento program (STATISTICA 13) použit pro základní popisnou statistiku. Získané hodnoty poté byly upraveny v programu MS EXCEL (Microsoft Corporation, USA). Při zpracování jednotlivých statistických analýz byla použita hladina významnosti  $\alpha = 0,05$  %. Hodnoty vybraných vlastností byly porovnány s dostupnou literaturou.

### 3.5 Dotazníkové šetření

Ke zjištění, jakým způsobem je vnímán tvar a materiál ozvučnice bylo použito dotazníkové šetření. Tento dotazník byl vytvořen přes platformu Formuláře Google, kde proběhlo i automatické vyhodnocení jednotlivých odpovědí. Vyhodnocení bylo vždy pouze zjištěním počtu hlasujících u dané otázky pro určitou variantu a podílem hlasujících v procentech. Graficky byly výsledky u každé otázky znázorněny výsečovým grafem.

Dotazník byl proveden v období 19 – 23. 4. 2021. Respondenti byli osloveni přes sociální síť Facebook, email a Whatsapp aplikaci. Šlo o okolí přátel a také skupin na Facebooku. Těmi byly skupiny Dřevaři ČZU a skupina Soustružíme dřevo.

Dotazník obsahoval devět otázek, které jsou níže vypsány. V příloze 4 je celý formulář zobrazen.

1. Pohlaví.
2. Je Vaše vzdělání, zaměstnání nebo volnočasová aktivita spojena s dřevařským oborem?
3. Který tvar se Vám více líbí?
4. Která dřevina ozvučnice kapkovitého tvaru se Vám více líbí?
5. Který materiál preferujete?
6. Jaká úprava povrchu MDF se Vám více líbí?
7. Která z dřevin kvádrových ozvučnic se Vám více líbí?
8. Který materiál kvádrových ozvučnic se Vám líbí nejvíce?
9. Ozvučnice kapkovitého tvaru je složitější a nákladnější na výrobu než kvádrová ozvučnice. Jaké procentuální navýšení ceny byste u ní byli schopni akceptovat?

## 4 Výsledky a diskuse

### 4.1 Vlastnosti dřeva

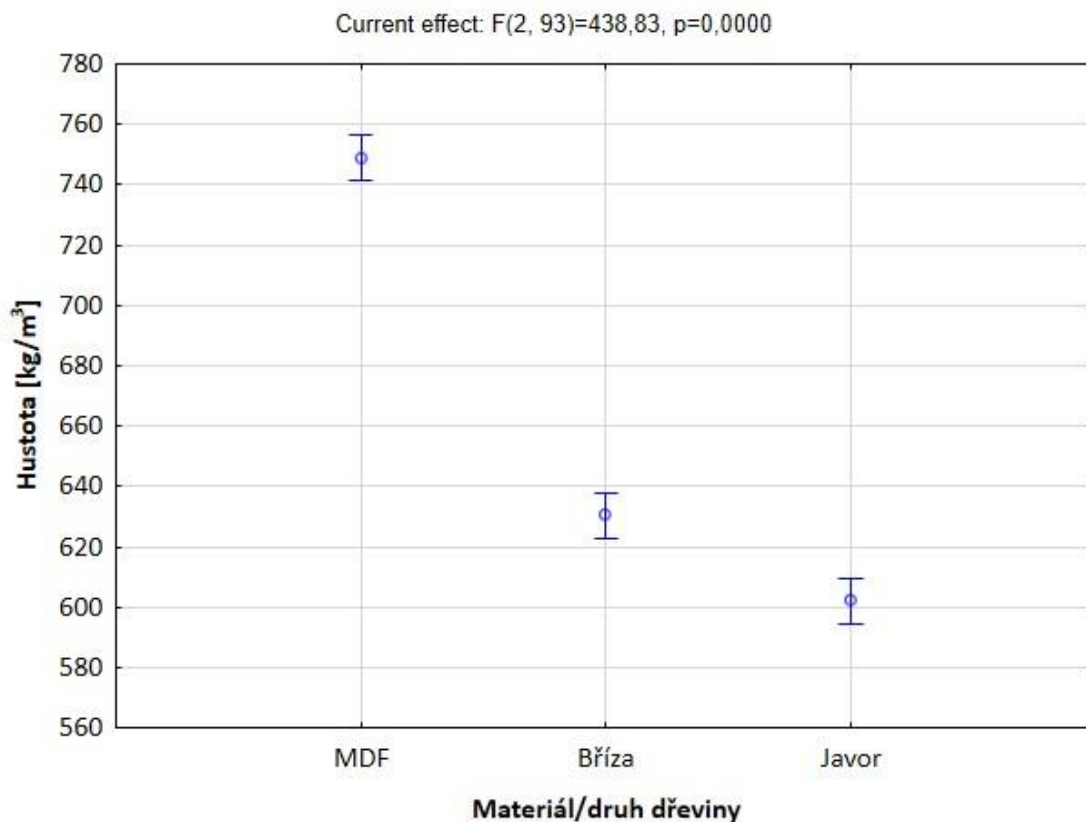
V této části jsou výsledky vyhodnoceny v tabelární a grafické podobě. Ke zpracování těchto výsledků došlo pomocí softwarového vybavení, které je popsáno v kapitole 4.4.

#### 4.1.1 Hustota

Na grafu 1 jsou vyobrazeny zjištěné hustoty jednotlivých zkoumaných materiálů. Jedná se o dřevovláknitou desku se střední hustotou (MDF) a dřeva dvou vybraných dřevin. Graf je také doplněn základní popisnou statistikou (tabulka 2). U dřevovláknité desky se střední hustotou byla zaznamenána průměrná hustota  $749 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . To zhruba odpovídá hustotě výrobce DDL, který uvádí na svém webu přibližnou hustotu desky  $770 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . U tohoto materiálu byla také zaznamenána nejnižší míra variability (tabulka 2), což je zapříčiněno výrobním procesem, při kterém dochází k vytvoření homogenní dřevní směsi. Tím se do značné míry eliminuje i anizotropie samotného dřeva, které slouží jako vstupní materiál. Hustota dřeva je značně proměnlivá (Zobel a Buijtenen, 1989) a závislá na mnoha faktorech (Tsoumis, 1991). U březového dřeva byla zjištěna průměrná hustota  $730 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a u dřeva javoru  $602 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Tyto zjištěné hustoty u dřev zkoumaných dřevin se shodují s rozmezím hustot, které ve svých publikacích uvádějí někteří autoři (Tsoumis, 1991; Wageführ, 2000; Ross et al., 2010).

Tabulka 2 Hustoty, základní statistické údaje

Hustota [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]						
Materiál/druh dřeviny	Počet vzorků	Průměr	Minimum	Maximum	Směrodatná odchylka	Variační koeficient [%]
MDF	32	749	734	758	7	1,0
Bříza	32	630	557	671	31	4,9
Javor	32	602	577	631	18	3,0



Graf 1 Hustoty vybraných druhů materiálů

#### 4.1.2 Rezonanční frekvence

Tato experimentálně zjištěná frekvence byla naměřena nejvyšší u březového dřeva, kde průměrně dosahovala hodnoty 4464 Hz, u javorového dřeva 3386 Hz a u MDF to bylo 1767 Hz (tabulka 3). Výsledky jsou u dřevin poměrně dost rozdílné. U MDF se nižší hodnota dala očekávat kvůli vnitřní struktuře desky (uspořádání vláken). K ověření a porovnání naměřených hodnot nebyla nalezena podobná data.

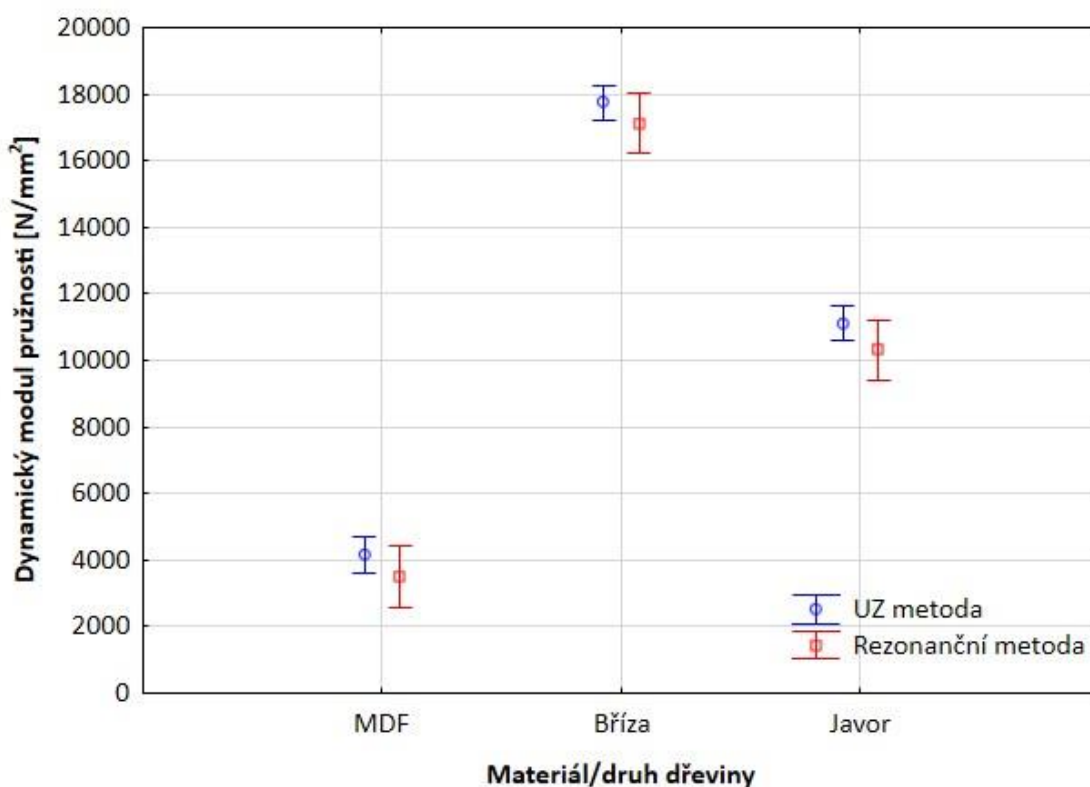
Tabulka 3 Rezonanční frekvence

Rezonanční frekvence [Hz]						
Materiál/druh dřeviny	Počet vzorků	Průměr	Minimum	Maximum	Směrodatná odchylka	Variační koeficient [%]
MDF	40	1807	1767	1829	12,84	0,7
Bříza	42	4464	3760	4635	178,79	4,0
Javor	38	3386	2990	3559	138,33	4,1

### 4.1.3 Dynamický modul pružnosti

Z uvedeného grafu 2 je patrné, že nejvyšších hodnot dynamického modulu pružnosti dosahovalo březové dřevo. To jak v případě ultrazvukové metody, kdy dosahovalo střední hodnoty dynamického modulu pružnosti 17 737 MPa, tak i v případě rezonanční metody, kdy dosahovalo střední hodnoty 17 132 MPa. K podobným hodnotám dynamických modulů pružnosti došel ve své práci i Borůvka a kol. (2020). Březové dřevo také vykazovalo u hodnot dynamického modulu pružnosti značnou variabilitu, a to v případě obou metod (tabulka 4 a 5). U javorového dřeva byla opět zaznamenána vyšší střední hodnota v případě použití ultrazvukové metody a to 11 116 MPa a při použití rezonanční metody byla o něco nižší a to 10 307 MPa. Podobný trend v rozdílech středních hodnot dynamických modulů pružnosti byl zaznamenán i u MDF, kde činil 4 157 MPa za použití UZ metody a 3 508 MPa při použití rezonanční metody.

Největší rozdíl středních hodnot dynamického modulu pružnosti byl zaznamenán



Graf 2 Dynamické moduly pružnosti u vybraných materiálu, stanovené ultrazvukovou a rezonanční metodou

u MDF, a to 18,5 %, menší rozdíl byl zaznamenán u dřeva javoru (7,8 %) a téměř zanedbatelný rozdíl u březového dřeva (3,5 %). Někteří autoři také uvádějí (Holeček a kol., 2016; Borůvka a kol., 2020; Dinwoodie, 2000), že hodnoty dynamického modulu

pružnosti jsou oproti hodnotám modulu pružnosti při statickém ohybu značně nadhodnoceny, a to až v řádech desítek procent. Na základě těchto poznatků byla zkušební tělesa podrobena zkoušce stanovení modulu pružnosti při statickém ohybu (ČSN 49 0116).

Tabulka 4 Dynamický modul pružnosti, ultrazvuková metoda, základní popisná statistika

Dynamický modul pružnosti stanovený ultrazvukovou metodou [N/mm <sup>2</sup> ]						
Materiál/druh dřeviny	Počet platných	Průměr	Minimum	Maximum	Směrodatná odchylka	Variační koeficient [%]
MDF	32	4157	3870	4538	138	3,3
Bříza	32	17737	12955	23953	2475	14,0
Javor	32	11116	8029	12484	860	7,7

Tabulka 5 Dynamický modul pružnosti, rezonanční metoda, základní popisná statistika

Dynamický modul pružnosti stanovený rezonanční metodou [N/mm <sup>2</sup> ]						
Materiál/druh dřeviny	Počet platných	Průměr	Minimum	Maximum	Směrodatná odchylka	Variační koeficient [%]
MDF	32	3508	3349	3612	70	2,0
Bříza	32	17132	3480	20333	4135	24,1
Javor	32	10307	7538	19474	1879	18,2

Z výsledků modulu pružnosti ve statickém ohybu (příloha 5 a 6) je patrné, že nejvyšší průměrné hodnoty vykazovalo také březové dřevo, a to 13 854 MPa, nižší střední hodnoty vykazovalo javorové dřevo 9 773 MPa a nejnižších hodnot MDF s 3 088 MPa. Všechny zjištěné hodnoty modulů pružnosti ve statickém ohybu se shodují s rozmezím hodnot, které ve svých publikacích uvádějí někteří autoři (Tsoumis, 1991; Wageführ, 2000; Ross et al., 2010; Bodig a Jayne, 1982, Cai et al., 2010).

Při porovnání středních hodnot statického (příloha 6) a dynamického modulu pružnosti (tabulky 3 a 4) je patrné, že nejvíce byla nadhodnocena průměrná hodnota dynamického modulu pružnosti oproti statickému u MDF. Ta byla stanovena ultrazvukovou metodou a byla nadhodnocena o 34,6 %, a však u hodnot zjištěných rezonanční metodou byl tento rozdíl podstatně menší (13,6 %). U březového dřeva byl dynamický modul pružnosti proti statickému nadhodnocen méně, a to o 28 % v případě ultrazvukové metody a 23,7 % v případě metody rezonanční. Nejmenší rozdíly byly pozorovány u javorového dřeva, a to 13,7 % při použití UZ metody a 5,5 % u metody rezonanční.



Při stanovení statického modulu pružnosti bylo možné ze získaných dat vypočítat pevnost v ohybu při statickém čtyřbodovém zatížení. Stanovení této vlastnosti nebylo cílem této diplomové práce, proto jsou výsledky uvedeny pouze v přílohách (příloha 7 a 8).

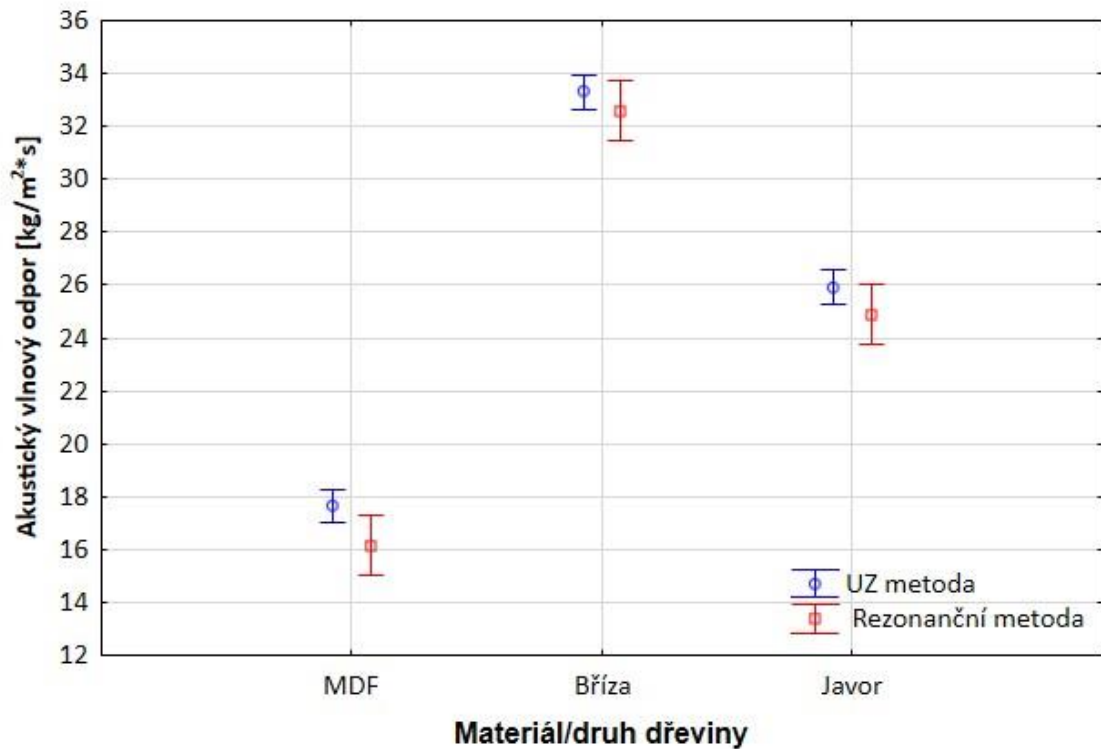
Průměrné hodnoty statické pevnosti v ohybu se shodují s rozmezím hodnot, které ve svých pracích uvádějí někteří autoři Ross et al., 2010; Bodig a Jayne, 1982 a Cai et al., 2010.

#### 4.1.4 Akustický vlnový odpor

Šíření zvuku je závislé na prostředí, ve kterém dochází k tomuto jevu. Na základě tohoto faktu lze vztah mezi zvukem a prostředím využít u nedestruktivních metod zkoušení různých materiálů (Bucur a Timell, 2006). Rychlost zvuku ve dřevě s rostoucím odklonem jeho dřevních vláken klesá, přičemž k maximálnímu útlumu této vlny dochází při odklonu dřevních vláken od axiální osy v rozpětí 45-60° (Beal, 2002).

Materiál lze také charakterizovat odporem proti zvukové vlně, který může být jeden ze základních ukazatelů při volbě materiálu potřebného do akustických zařízení, kde je tato veličina sledována. Zároveň materiál ovlivňuje výsledný přenášející se zvuk, který přenosovou soustavou nebude pohlcen (Požgaj a kol., 1993; Bucur, 2003). Kvůli těmto skutečnostem byl vypočten z hustoty a rychlosti šíření zvukové vlny akustický vlnový odpor.

Z grafu 3 je patrné, že nejvyšších hodnot akustického vlnového odporu dosahuje opět březové dřevo. A to u obou metod, kterými byla tato veličina zjišťována. U ultrazvukové metody dosahovalo březové dřevo střední hodnoty akustického odporu  $33,3 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s} \cdot 10^{-5}$  a u rezonanční metody  $32,6 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s} \cdot 10^{-5}$ . Z grafu 3 a tabulek 6 a 7 je patrné, že rozdíly ve středních hodnotách akustického vlnového odporu stanovených oběma metodami jsou u jednotlivých materiálů zanedbatelné. Ne však mezi jednotlivými materiály. U javorového dřeva byly střední hodnoty akustického odporu v obou případech menší a to  $25,9 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s} \cdot 10^{-5}$  u UZ metody a  $24,9 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s} \cdot 10^{-5}$  u rezonanční metody. Nejnižších hodnot dosahovala MDF ( $12,6$  a  $16,2 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s} \cdot 10^{-5}$ ).



Graf 3 Akustické vlnové odpory u vybraných druhů materiálů

Největší míru variability vykazovalo březové dřevo (8,8 %) a nejmenší MDF (1,9 %). Zjištěné hodnoty akustického vlnového odporu se v porovnání s hodnotami dostupnými v literatuře přibližují nejvíce v případě javoru. Pro toto porovnání byla použita pouze podobná dřevina stavbou – buk, listnatá dřevina s kruhovitě pórovitou stavbou. Buk ve své publikaci uvádí Požgaj a kol. (1993) s hodnotou akustického vlnového odporu  $22 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s} \cdot 10^{-5}$ .

Tyto experimentálně zjištěné hodnoty však ukazují akustický vlnový odpor pouze v podélném směru. V ozvučnici ale nastává i ve směru příčném a také v různých kombinacích. Již v literárním rozboru bylo zmíněno, že v příčném směru může být u masivního dřeva vlnový odpor až o řád vyšší.

Tabulka 6 Akustický vlnový odpor stanovený ultrazvukovou metodou, základní popisná statistika

Akustický vlnový odpor stanovený ultrazvukovou metodou [ $\text{kg/m}^2\cdot\text{s}$ ] $\cdot 10^{-5}$						
Materiál/druh dřeviny	Počet platných	Průměr	Minimum	Maximum	Směrodatná odchylka	Variační koeficient [%]
MDF	32	17,6	16,9	18,5	0,3	1,9
Bříza	32	33,3	26,7	39,3	2,9	8,8
Javor	32	25,9	22,1	27,6	1,2	4,8

Tabulka 7 Akustický vlnový odpor stanovený rezonanční metodou, základní popisná statistika

Akustický vlnový odpor stanovený rezonanční metodou [ $\text{kg/m}^2\cdot\text{s}$ ] $\cdot 10^{-5}$						
Materiál/druh dřeviny	Počet platných	Průměr	Minimum	Maximum	Směrodatná odchylka	Variační koeficient [%]
MDF	32	16,2	15,8	16,5	0,2	1,4
Bříza	32	32,6	16,0	36,7	5,1	15,6
Javor	32	24,9	21,0	35,7	2,4	9,5

#### 4.1.5 Akustická konstanta (konstanta vyzařování)

Přenosovou soustavou je částečně zvuk pohlcen a částečně se vyzařuje do okolí. Vyzařovaná zvuková energie je v přenosových soustavách žádanou částí energie. Aby se co nejvíce energie odevzdalo vzduchu, musí být ztráty v přenosové soustavě co nejmenší a koeficient vyzařování co největší (Požgaj a kol., 1993). To platí u hudebních nástrojů, ale u reproduktorových ozvučnic je vyzařování nežádoucí. U ozvučnice se totiž nejedná o přenosovou soustavu (Sýkora, 1976).

U této veličiny platí, že čím větší je její hodnota, tím lepší jsou rezonanční vlastnosti (Požgaj a kol., 1997). Pro ozvučnice reproduktoru je tedy hodnota ideálně co nejnižší.

Z grafu 4 vyplývá, že nejvyšších středních hodnot akustické konstanty dosahovalo při obou měřeních březové dřevo, a to  $8,5 \text{ m}^4/\text{kg}\cdot\text{s}$  při UZ metodě (tabulka 8) a  $8,1 \text{ m}^4/\text{kg}\cdot\text{s}$  při rezonanční metodě (tabulka 9) u obou metod byla také zaznamenána největší míra variability. Požgaj a kol. (1993) ve své práci uvádí u dřeva této dřeviny o něco nižší hodnotu, a to  $7,5 \text{ m}^4/\text{kg}\cdot\text{s}$ . V případě javoru byly zjištěny hodnoty  $7,1$  a  $6,8 \text{ m}^4/\text{kg}\cdot\text{s}$ , což jsou hodnoty vyšší, než ve své práci zaznamenal Požgaj a kol. (1993), který v případě javorového dřeva uvádí hodnotu  $5,8 \text{ m}^4/\text{kg}\cdot\text{s}$ . Nejnižší střední hodnoty

s nejnižší mírou variability byly zaznamenány u MDF, a to 3,1 m<sup>4</sup>/kg\*s v případě UZ metody a 2,9 v případě rezonanční metody.

Ačkoli masivní dřevo dosahuje vyšších hodnot než MDF, tak pro reproduktorové ozvučnice je právě MDF lepším materiálem. Důvodem je menší vyzařování zvuku, který by mohl ovlivnit výstupní frekvenční charakteristiky reprosoustavy. Otázkou je, do jaké míry bude tento rozdíl pozorovatelný na frekvenčních charakteristikách.

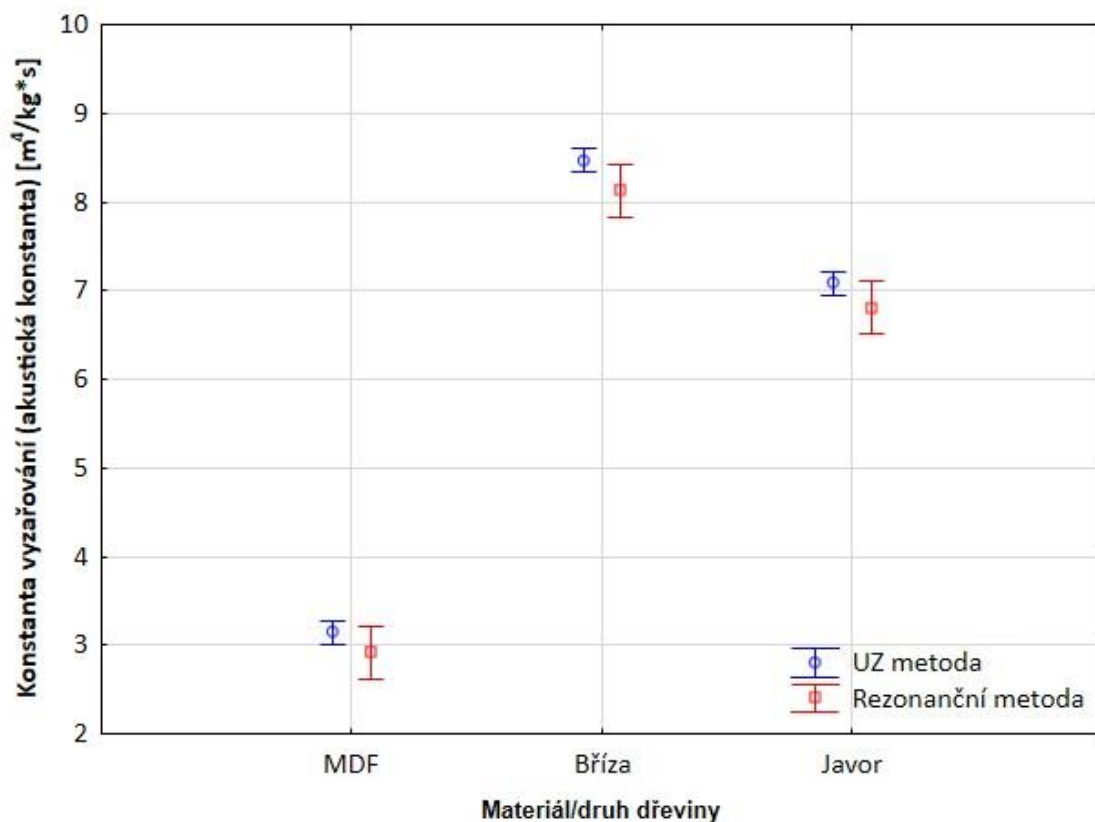
Pro přehled všech zkoumaných vlastností byla vytvořena souhrnná tabulka, která je uvedena v přílohách (příloha 9).

Tabulka 8 Akustická konstanta stanovená UZ metodou, základní popisná statistika

Konstanta vyzařování stanovená ultrazvukovou metodou [m <sup>4</sup> /kg*s]						
Materiál/druh dřeviny	Počet platných	Průměr	Minimum	Maximum	Směrodatná odchylka	Variační koeficient [%]
MDF	32	3,1	3,0	3,3	0,1	1,7
Bříza	32	8,5	7,6	9,8	0,5	6,5
Javor	32	7,1	6,0	7,8	0,4	5,1

Tabulka 9 Akustická konstanta stanovená rezonanční metodou, základní popisná statistika

Konstanta vyzařování stanovená rezonanční metodou [m <sup>4</sup> /kg*s]						
Materiál/druh dřeviny	Počet platných	Průměr	Minimum	Maximum	Směrodatná odchylka	Variační koeficient [%]
MDF	32	2,9	2,9	3,0	0,0	0,9
Bříza	32	8,1	2,9	8,9	1,4	17,2
Javor	32	6,8	6,1	8,4	0,3	5,1



Graf 4 Akustické konstanty u vybraných druhů materiálů

#### 4.1.6 Shrnutí

Zjišťování akustických parametrů bylo prováděno pomocí dvou různých měřících metod. První z nich je rezonanční metoda a druhou je ultrazvuková metoda. Výsledky ultrazvukové metody jsou oproti rezonanční metodě u všech veličin mírně nadhodnoceny.

Průměrná naměřená rezonanční frekvence byla u březového dřeva 4464 Hz, u javorového dřeva 3386 Hz a u MDF to bylo 1767 Hz.

Nejvyšší hodnotu průměrného akustického vlnového odporu z posuzovaných materiálů má bříza, a to  $33,3 \text{ kg/m}^2\text{s} \cdot 10^{-5}$ . Na druhém místě je dřevo javoru s průměrnou hodnotou  $25,9 \text{ kg/m}^2\text{s} \cdot 10^{-5}$ . Nejnižší průměrnou hodnotu má MDF deska, a to  $16,2 \text{ kg/m}^2\text{s} \cdot 10^{-5}$ . Tyto hodnoty jsou zjištěny ultrazvukovou metodou ve směru vláken. Rozdíl mezi MDF a masivním dřevem je předvídatelný kvůli struktuře MDF.

Akustická konstanta březového dřeva dosahuje průměrné hodnoty  $8,5 \text{ m}^4/\text{kg}\cdot\text{s}$ , u javorového dřeva to bylo  $7,1 \text{ m}^4/\text{kg}\cdot\text{s}$  a u MDF  $3,1 \text{ m}^4/\text{kg}\cdot\text{s}$ . Rozložení výsledků je tedy velmi podobné předchozí veličině. I zde je uvedena pouze ultrazvuková metoda.

Z pružnostních vlastností byl u naměřených hodnot vyhodnocen dynamický modul pružnosti, který u březového dřeva dosahuje průměrné hodnoty 17 737 MPa. Javorové dřevu má hodnotu 11 116 MPa a MDF 4 157 MPa. Znovu bylo měřeno ultrazvukem. Proto jsou také hodnoty vyšší.

Dále byl vyhodnocován i statický modul pružnosti a ohybová pevnost. Nebyly však předmětem této práce, a proto je najdeme v přílohách.

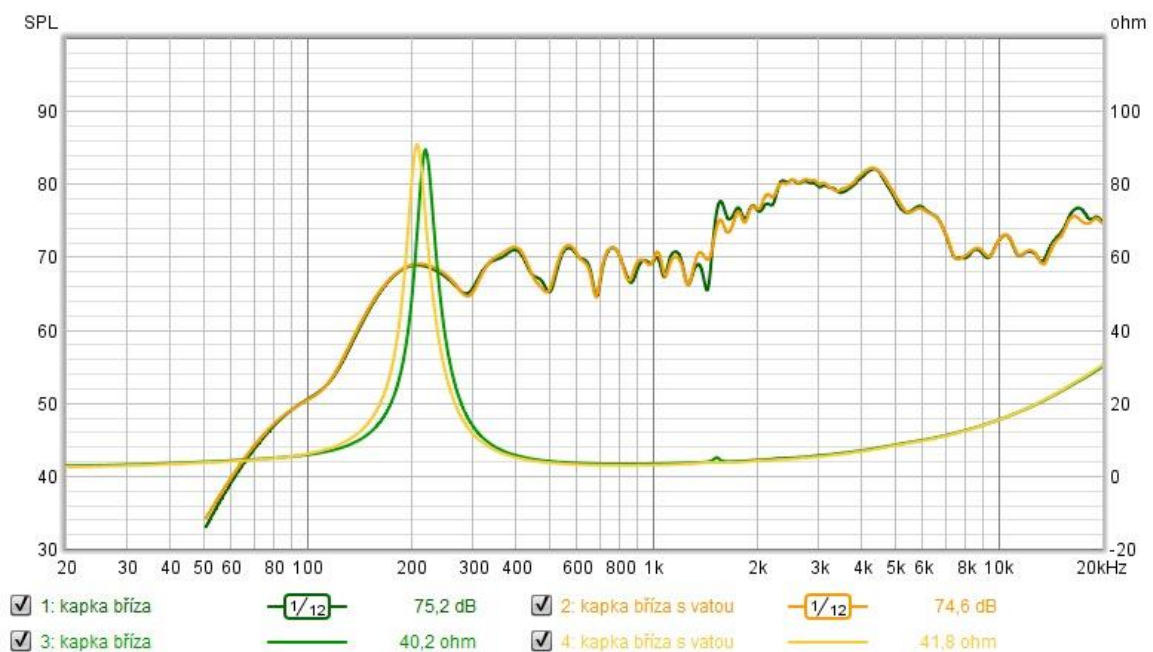
Masivní dřevu sice dosahuje ve většině vlastnostech vyšších hodnot než MDF, ale u ozvučnic požadujeme vysokou hmotnost, tuhost a tlumení zvuku. Takže si některé vlastnosti musíme interpretovat obráceně, a právě MDF lepší materiálem, což potvrzují autoři Toman (2010), Newell a kol. (2007) a Sýkora (1976). Otázkou zůstává, do jaké míry se vlastnosti projeví u měření celých sestav.

## 4.2 Akustické měření ozvučnic

Výstupem měření akustických parametrů jsou grafy zobrazující frekvenční a impedanční charakteristiky reproduktoru vsazeného do různých typů ozvučnic. Oblasti všech grafů jsou určeny rozsahem frekvence 20–20 000 Hz. Hladina akustického tlaku je zobrazována v rozmezí 30–100 dB a impedance mezi hodnotami -20 až 120 Ω. Pro větší přehled jsou křivky vyhlazeny hodnotou 1/12.

### 4.2.1 Ozvučnice kapkovitého tvaru

Nejprve byly vyhodnoceny rozdíly mezi ozvučnicemi kapkovitého tvaru dvou dřevin bez tlumícího materiálu a s tlumícím materiálem.

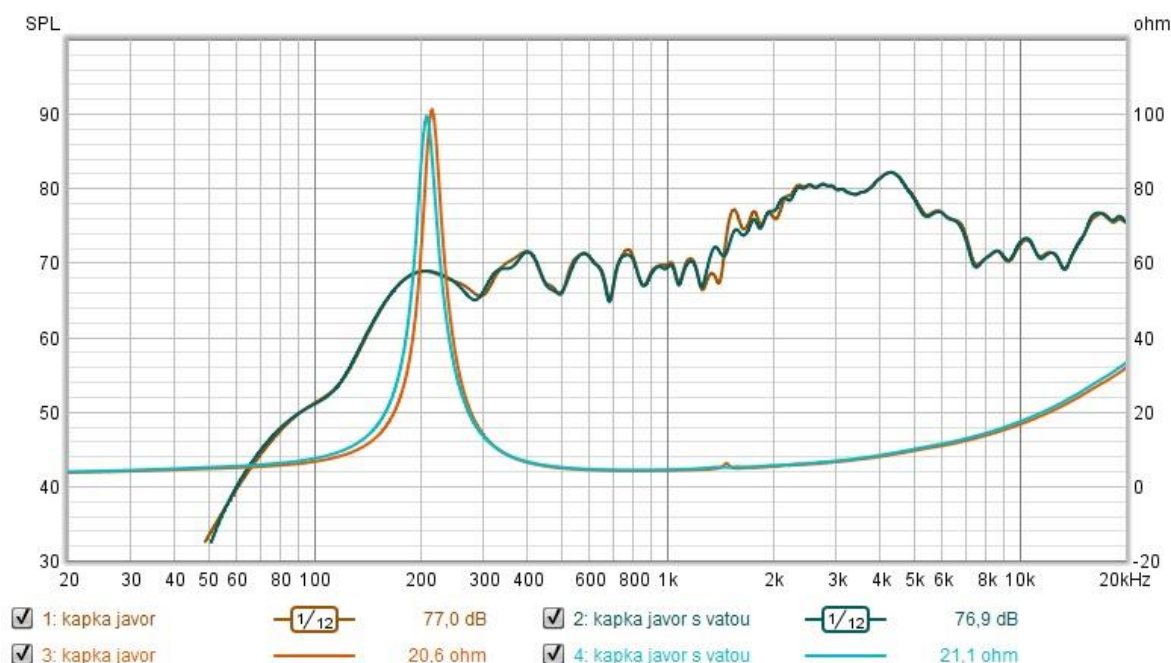


Graf 5 Březová ozvučnice bez a s tlumícím materiálem

Na grafu 5 zobrazujícím výsledky pro březovou ozvučnici je vidět změna průběhu frekvenční křivky v určitých oblastech. Jedná se zejména o výchyly kolem frekvence 1500 Hz, kde je patrný vliv tlumícího materiálu, díky kterému má frekvenční křivka plynulejší průběh. Výchyly jsou způsobeny rezonancí zadní vlny v ozvučnici. Díky tlumící vatě je tato rezonance zmírněna asi o 2 dB. Krom větší odchylky u neutlumené ozvučnice nejsou patrné výraznější rozdíly v křivce.

Impedanční křivka zobrazuje ve spodní části, tedy kromě hlavní výchyly způsobené reproduktorem, také zvlnění způsobené rezonancí ozvučnice. Nachází se na stejné frekvenci jako u frekvenční charakteristiky. Pomocí tlumícího materiálu je značně eliminována, a proto je viditelná zejména u křivky zobrazující neutlumenou ozvučnici. Rozdíly v hlavní výchylce porovnávaných prototypů mohou být způsobeny chybou měření.

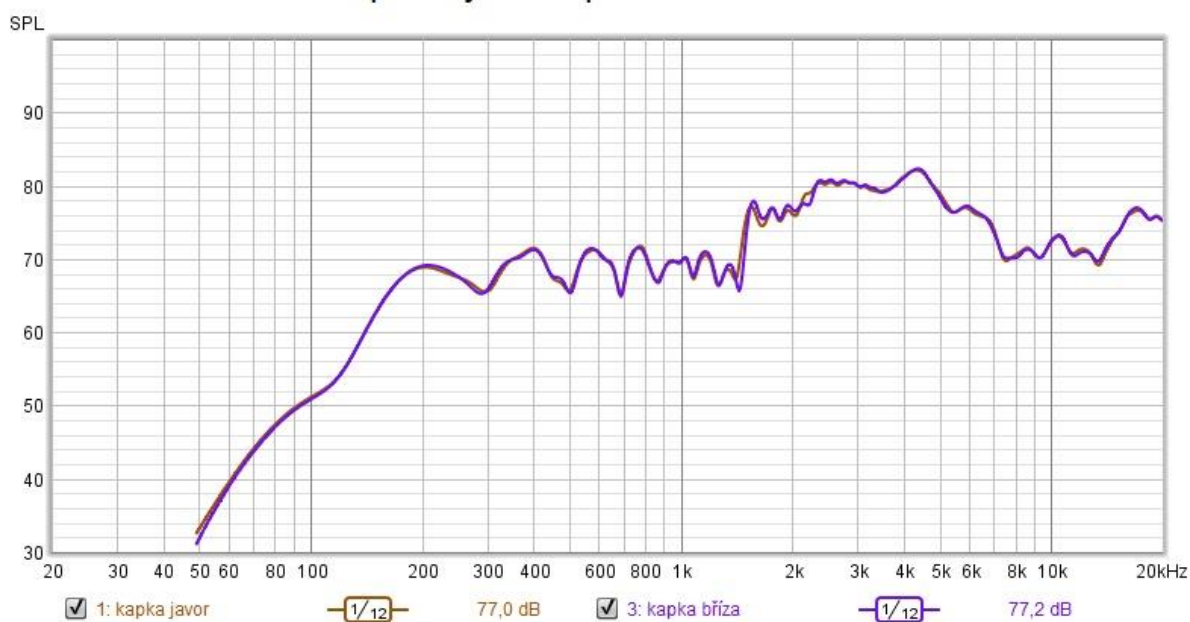
U ozvučnice z javorového dřeva na grafu 6 je evidentní stejný trend jako u březového dřeva. Nejvýraznější změny se odehrávají v části grafu s rezonanční frekvencí ozvučnice, kde je po přidání tlumící vaty viditelné snížení výchyly znovu cca o 2 dB a uhlazení křivky. To samé platí pro impedanční charakteristiku, kde se také objevil vrcholek rezonance ozvučnice. Ten byl ale téměř odstraněn díky utlumení.



Graf 6 Javorová ozvučnice bez a s tlumícím materiálem

Dále se porovnávaly frekvenční charakteristiky reproduktoru s ozvučnicemi kapkovitého tvaru z obou dřevin. Do toho porovnání již nebyla zahrnuta impedanční charakteristika z důvodů minimálních pozorovatelných změn.

## Kapkový tvar - porovnání dřevin



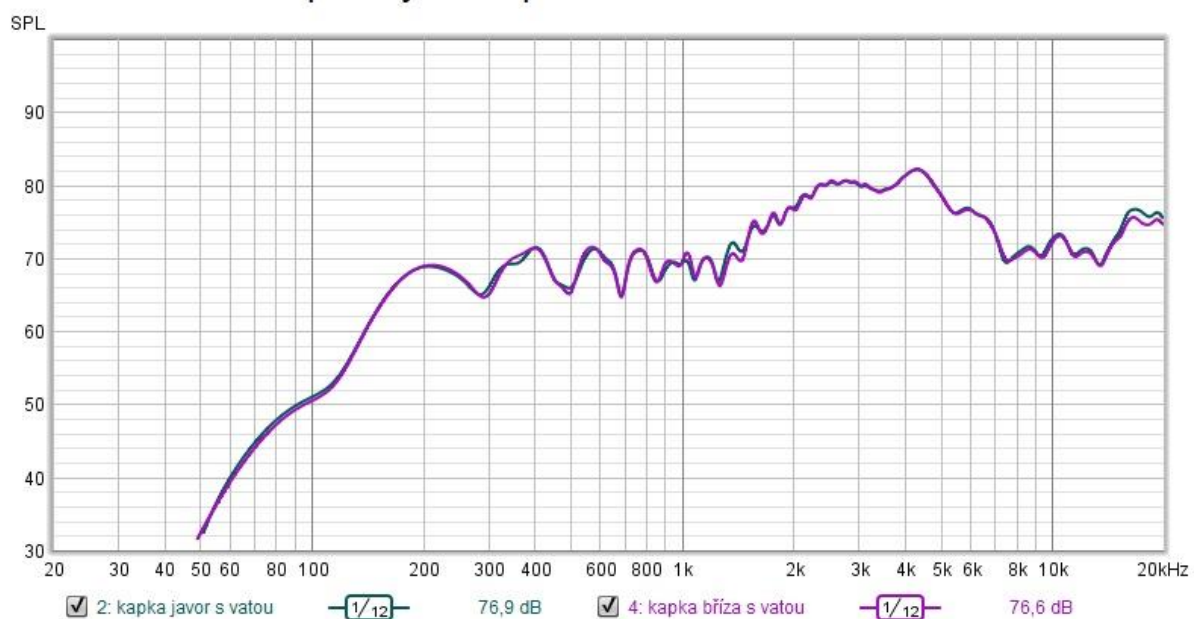
Graf 7 Ozvučnice kapkovitého tvaru – porovnání dřevin

Frekvenční charakteristiky jednotlivých dřevin na grafu 7 vykazují velmi malý rozdíl. Drobné odchylky, které se vyskytují v některých částech grafu 7, mohou být způsobeny například minimálními rozdíly ve vnitřním objemu ozvučnic. Různý průběh křivky na úrovni cca 1500 Hz nemusí tedy znamenat jen odlišné chování jednotlivých dřevin, ale mohou být pouze nedokonalostí výroby nebo měření. Jedná se však o nepatrnou změnu.

Se shodným závěrem lze popsat i graf 8 porovnávající frekvenční křivku stejných tvarů ozvučnic a dřevin jako v předchozím případě, pouze doplněnými o vnitřní tlumící materiál. Na grafu není pozorovatelná větší odchylka křivek. Malé změny nejspíše nejsou způsobeny vlastnostmi materiálu.



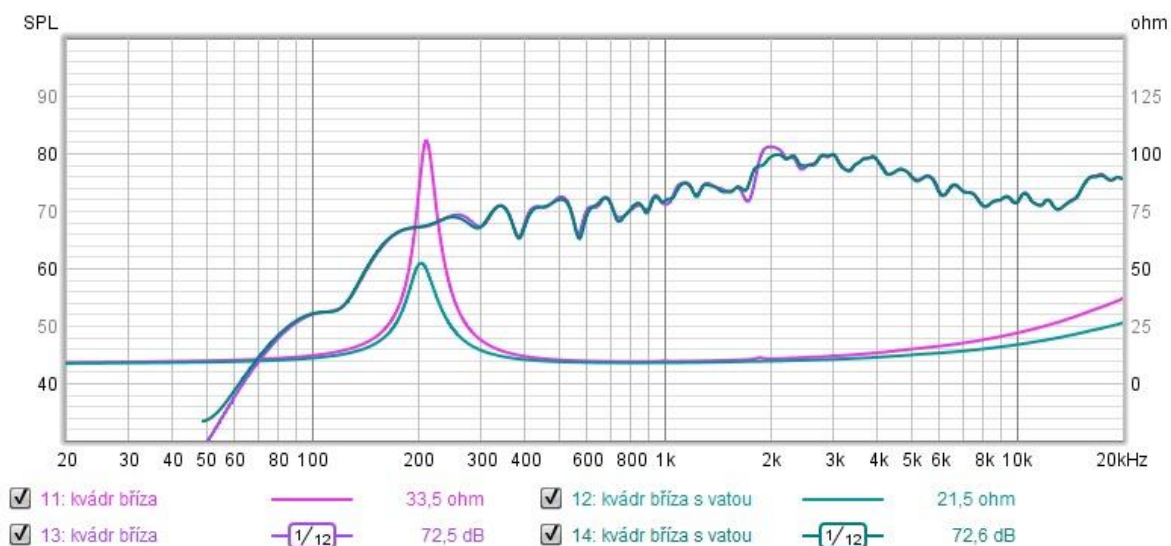
## Kapkový tvar - porovnání dřevin s vatou



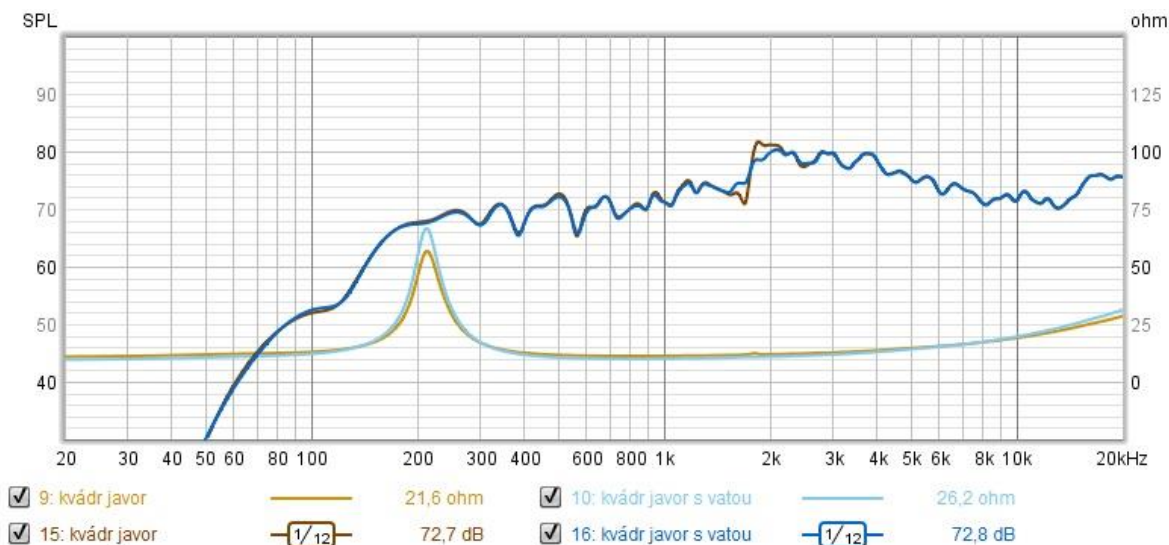
Graf 8 Ozvučnice kapkovitého tvaru – porovnání dřevin s použitím vnitřního tlumicího materiálu

### 4.2.2 Kvádrové ozvučnice

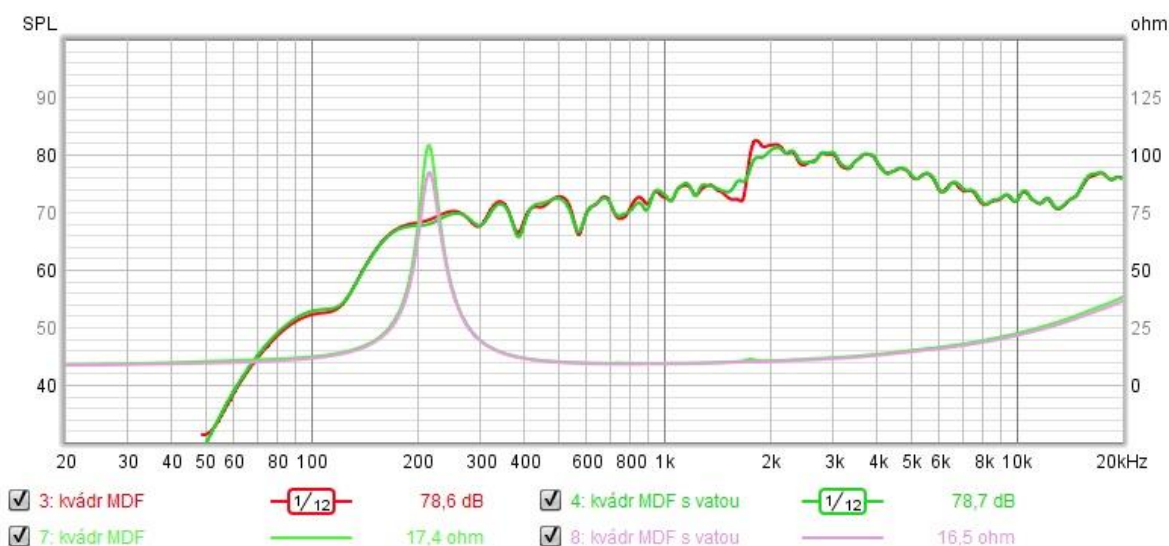
Tak jako u kapkovitého tvaru jsou nejprve vyhodnoceny rozdíly u ozvučnic neutlumených a utlumených. Poté následuje porovnání použitých materiálů.



Graf 9 Březová ozvučnice bez a s tlumícím materiálem



Graf 10 Javorová ozvučnice bez a s tlumicím materiálem



Graf 11 Ozvučnice z MDF bez a s tlumicím materiálem

Na těchto třech grafech (9, 10 a 11) jsou zobrazeny frekvenční charakteristiky kvádrových ozvučnic z břízy, javoru a MDF.

Křivky průběhu frekvenční charakteristiky jsou ve všech případech zvlněny ve frekvenční oblasti okolo hodnoty 1700 Hz, kde se projevil vliv ozvučnice. I v tomto případě se jedná o rezonanci zadní vlny v ozvučnici. Po přidání tlumícího materiálu jsou výchylky u všech ozvučnic potlačeny a sníženy o 2 až 4 dB.

Impedanční křivky obsahující rezonanci samotného reproduktoru jsou v jistých případech mírně odlišné. Nejvíce je to zřetelné u březové ozvučnice na grafu 9, kde je mezi vrcholky rezonance reproduktoru výrazný rozdíl. Tento posun není způsoben vlivem ozvučnice (jde opravdu o vlastnost měniče reproduktoru), ale nejspíše

nastavením či nepřesností měřicí techniky. Dále jsou zde viditelné mírné výstupky křivky neutlumených ozvučnic kolem oblasti 1700 Hz na všech třech grafech. Jde o totožnou příčinu vzniku jako u frekvenční výchylky ve stejné části grafu. I zde bylo možné vrcholky eliminovat použitím tlumení.

### Kvadr - porovnání materiálů



Graf 12 Ozvučnice tvaru kvádrů – porovnání dřevin

### Kvadr - porovnání materiálů s vatou



Graf 13 Ozvučnice tvaru kvádrů – porovnání dřevin s použitím vnitřního tlumicího materiálu

Další dvojice grafů (12 a 13) porovnává frekvenční charakteristiky reproduktoru s různými kvádrovými ozvučnicemi.

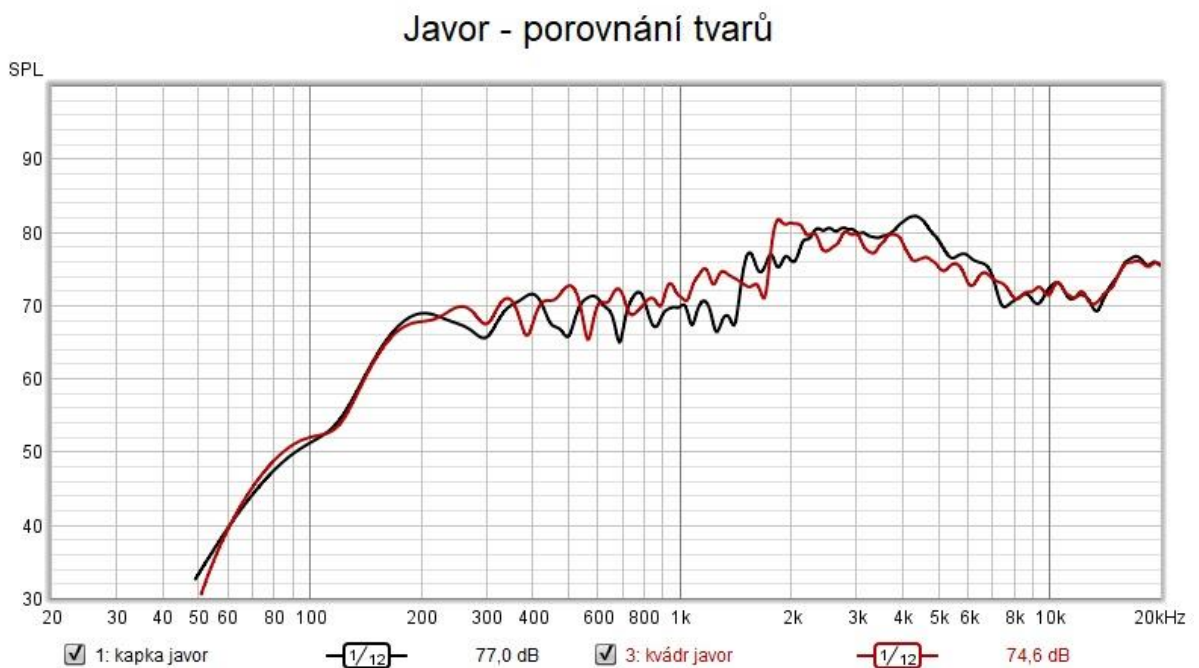
U ozvučnic bez tlumicího materiálu jsou patrné určité rozdíly v průchodu křivek oblastí 1700 Hz. Frekvence výchylky u ozvučnice z břízy je posunuta oproti ozvučnici z MDF a javoru asi o 80 Hz. Není jasné, čím by tento posun mohl být způsoben, když

další dvě křivky ozvučnic se pohybují zhruba na stejné úrovni. Očekávaný rozdíl mezi vlastnostmi masivního dřeva a MDF každopádně není pozorovatelný, a proto lze konstatovat, že materiály jsou srovnatelné.

Po přidání tlumení se průběh frekvenční charakteristiky změní tak, jak již bylo znázorněno dříve. Dojde tak k jistému uhlazení křivky. Rozdíly mezi materiály zůstávají nepatrné a utlumením se ještě snižují.

#### 4.2.3 Porovnání tvarů ozvučnic

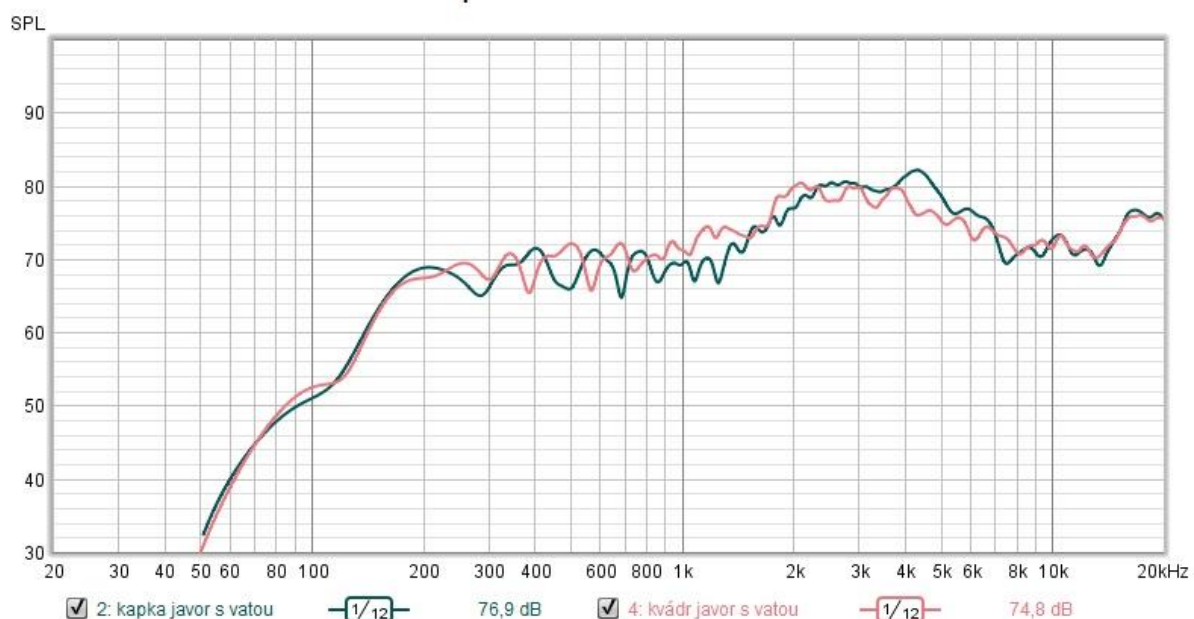
Jelikož rozdíly mezi dřevinami nejsou tak výrazné, je na následujícím grafu 14 zobrazeno porovnání u obou tvarů pouze javorové ozvučnice. V tomto případě bez vnitřního utlumení.



Graf 14 Porovnání tvarů ozvučnic z javorového dřeva

Na tomto grafu (14) jsou již rozdíly mezi křivkami dobře znatelné. Průběh se více liší od frekvence cca 400 Hz výše. Významné odlišnosti můžeme pozorovat na frekvenci mezi 1 a 2 kHz. Zde je u ozvučnice kapkovitého tvaru znatelný větší propad hladiny akustického tlaku, než má křivka kvádrové ozvučnice (asi o 6 dB). Následuje výchylka, která je u kvádrů posunuta o cca 200 Hz výše než u kapkového tvaru. Výraznější vrcholek je ještě viditelný u kapkového tvaru mezi frekvencemi 4 a 5 kHz, kde křivka vzroste asi o 4 dB oproti kvádru. Závěrem je možné napsat, že ozvučnice kvádrového tvaru bez utlumení má o něco plynulejší a vyrovnanější frekvenční odezvu než kapkovitá ozvučnice.

## Javor - porovnání tvarů s vatou

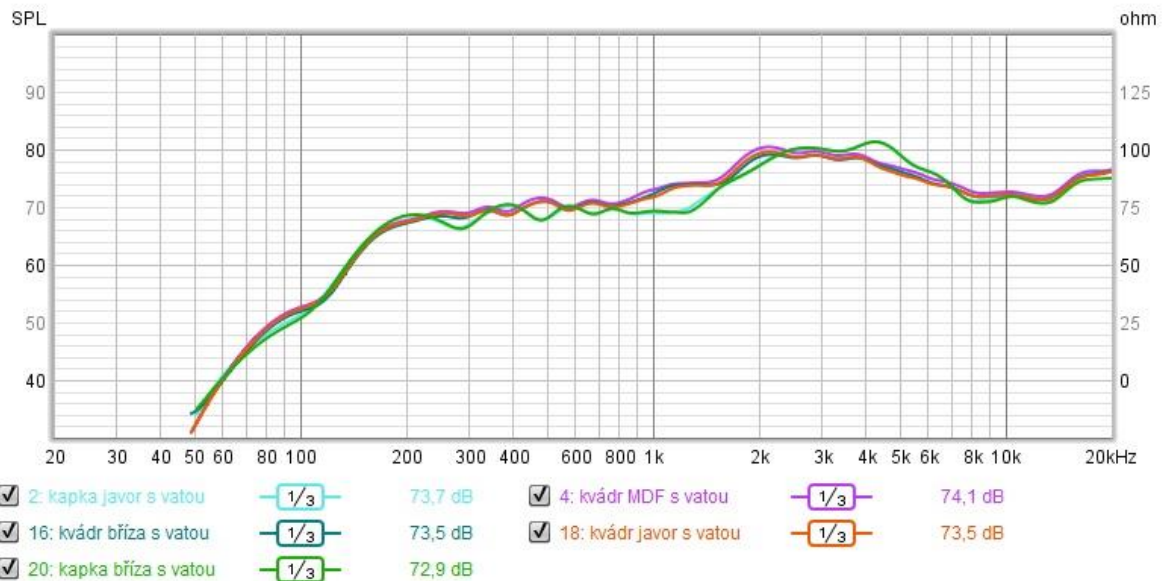


Graf 15 Porovnání tvarů ozvučnic z javorového dřeva s tlumícím materiálem

Utlumením ozvučnic se obě křivky narovnaly a výraznější propady se zmírnily, jak je vidět na grafu 15. Mezi ozvučnicemi je odchylka ve výše popisovaných částech grafu stále znatelná, ale není již tak zřetelná. Částí, která zůstala nezměněna, je vrcholek mezi 4 a 5 kHz. Jedná se pravděpodobně o vliv difrakčního efektu přední hrany kapkovité ozvučnice. I po utlumení ozvučnic tak vychází, že frekvenční odezva kvádřového tvaru je hladší. Je třeba dodat, že rozdíly ale nejsou tak výrazné a frekvenční charakteristika neobsahuje žádné výrazné propady ani u jedné křivky odezvy ozvučnic.



## Porovnání tvarů a materiálů s vatou



Graf 16 Porovnání materiálů i tvarů s tlumícím materiálem

V posledním grafu 16 jsou porovnány všechny materiály a tvary ozvučnic utlumené vatou. Pro tento graf je použito větší vyhlazení křivek frekvenční odezvy ozvučnic. Poměr vyhlazení je 1/3.

Díky této úpravě je lépe zřetelné, že kvádrovitý tvar ozvučnice má hladší a vyrovnanější frekvenční charakteristiku než tvar kapkovitý. Vnější tvar tedy ovlivňuje výstupní zvuk. Ovlivnění v těchto dvou případech není však výrazné. Svou roli také mohou hrát nepřesnosti při výrobě (nestejný vnitřní objem) a měření.

Spojitosť mezi frekvenčními charakteristikami různých tvarů ozvučnic popisovaných ve studii Olsona (1950) a výše provedenými měřeními se nepodařilo přímo najít. Tvary křivek u kvádrové ozvučnice sice do jisté míry souhlasí, ale nelze je přímo srovnávat. U kapkovitého tvaru ozvučnice není ve studii stejný tvar k porovnání. Nejbližší je asi tvar válce s reproduktorem vloženým do jedné z podstav válce, ale u toho je výstupní křivka velmi odlišná. Podle frekvenční křivky se tento tvar dá přirovnat ke kuželu nebo jehlanu a jejich modifikacím. Rozdíly křivek jsou způsobeny rozdílnou měřicí technikou, vlivem prostředí při měření a také rozměry ozvučnice. Ve studii Olsona (1950) byly použity ozvučnice výrazně větších rozměrů.

Zároveň je téměř prokazatelné, že mezi jednotlivými materiály nejsou měřitelné rozdíly i přes jejich různé akustické vlastnosti. A to ani u porovnání masivního dřeva a MDF desky, k čemuž se vyjadřuje Hardwood a kol., 1977. Ten popisuje masivní dřevo jako nespolehlivé z důvodu jeho anizotropních a variabilních vlastností. Pro zjištění

odlišného chování materiálů by nejspíše musela být ozvučnice zkonstruována z tenčích desek (v případě krychle) a také by bylo vhodné volit dřeviny s většími rozdíly v jejich fyzikálních a mechanických vlastnostech.

Jasně byl prokázán pozitivní vliv tlumícího materiálu v podobě skelné vaty. Vata ve všech případech znatelně napomohla k zabránění vzniku rezonance ozvučnice a tím zkreslení křivky v určitých pásmech. Frekvenční charakteristika je díky tomu vyrovnanější. Tento fakt popisuje v publikacích mnoho autorů, jako například Newell a další (2007), Hardwood a kol., (1977), Bauer (1953) a Shorter (1950).

### 4.3 Dotazníkové šetření

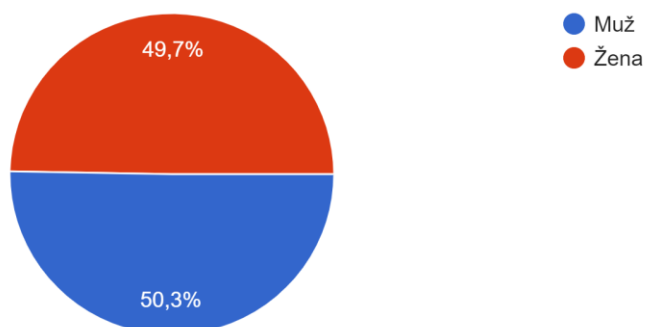
Dotazník s devíti otázkami vyplnilo 179 respondentů. Prvních osm otázek bylo povinných a poslední otázka dobrovolná. Byly zaměřeny zejména na preference mezi vyrobenými a zdokumentovanými prototypy reproduktorů. Poslední otázka se týkala ceny.

Dotazník, který je uveden v přílohách (příloha 4), obsahuje množství fotografií, zobrazující jednotlivé typy ozvučnic. Dotazovaní se díky nim mohli konkrétněji rozhodnout a snímky jim usnadnily výběr.

#### Vyhodnocení jednotlivých otázek dotazníku

##### Otázka č. 1.

Pohlaví  
179 odpovědí

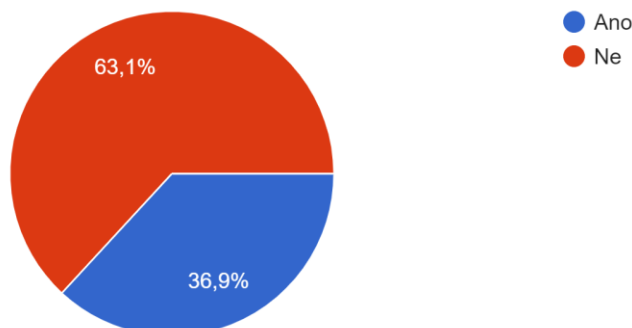


Graf 17 Otázka 1

Šetření se účastnilo 89 žen a 90 mužů. Jednalo se tedy o téměř vyrovnaný počet příslušníků obou pohlaví (graf 17).

## Otázka č. 2.

Je Vaše vzdělání, zaměstnání nebo volnočasová aktivita spojena s dřevařským oborem?  
179 odpovědí



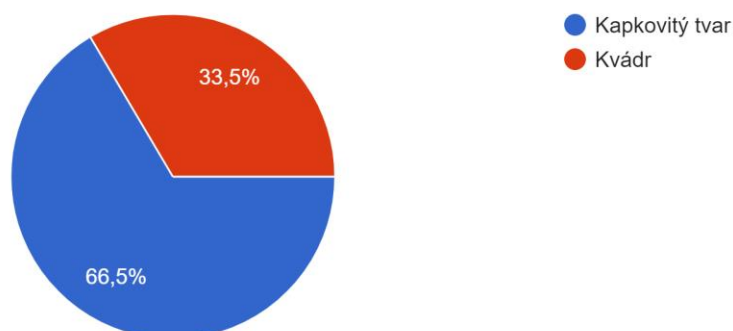
Graf 18 Otázka 2

Z celkového počtu dotázaných bylo 66 respondentů, kteří jsou vzděláni, zaměstnání nebo jinak zainteresováni v dřevařském oboru (graf 18). To je poměrně vysoký podíl, který se ale dal očekávat. A to z důvodu, že byli osloveni studenti, absolventi dřevařských škol a řemeslníci pracující se dřevem na sociálních sítích a interních skupinách.

Zbylých 113 respondentů nebylo v tomto směru nijak ovlivněno. Tím je míněno, že u této skupiny nemohli být přímo ovlivněni vzděláním, znalostmi, zkušenostmi atd., kvůli kterému by mohli upřednostňovat některé varianty.

## Otázka č. 3.

Který tvar se Vám více líbí?  
179 odpovědí



Graf 19 Otázka 3

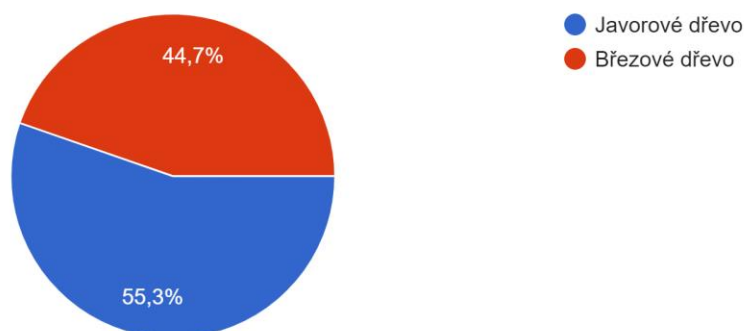


Pro kapkovitý tvar hlasovalo 119 respondentů a pro kvádr 60 (graf 19). Je tedy znatelná určitá převaha příznivců prvního tvaru, což může být způsobeno netradičním ztvárněním.

#### Otázka č. 4.

Která dřevina ozvučnice kapkovitého tvaru se Vám více líbí?

179 odpovědí



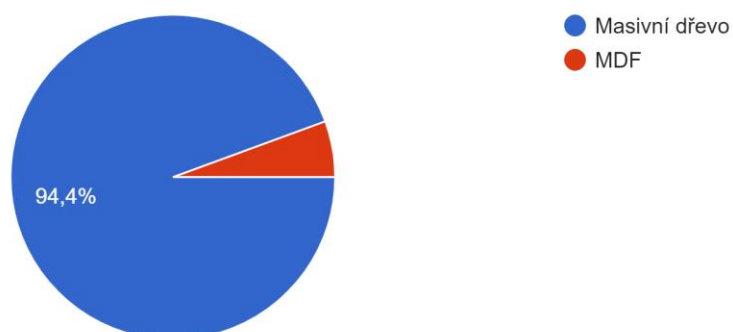
Graf 20 Otázka 4

Počet hlasů pro javorové dřevo bylo 99 a u březového dřeva se jednalo o 80 hlasů (graf 20). Javor byl tak hlasujícími upřednostněn, a to i přesto, že rozdíly textury těchto dvou dřevin jsou velmi podobné.

#### Otázka č. 5.

Který materiál preferujete?

179 odpovědí



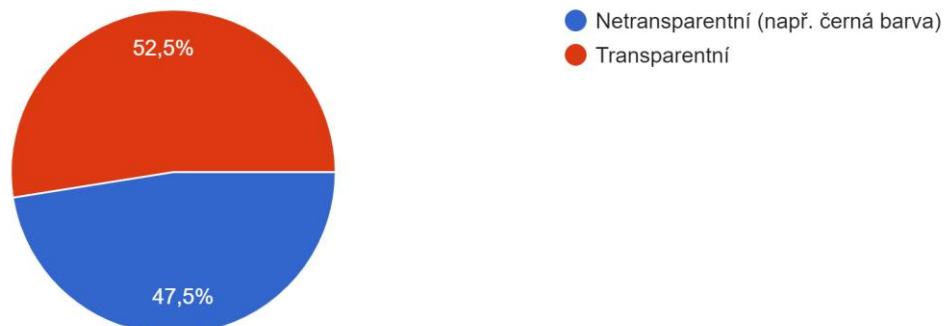
Graf 21 Otázka 5

Masivní dřevo bylo upřednostněno 169 respondenty. MDF pak pouhými 10 respondenty, což znamená pouhých 5,6 % z celkového počtu (graf 21). Zcela jasnou volbou mezi těmito materiály je tedy masivní dřevo.

### Otázka č. 6.

Jaká úprava povrchu MDF se Vám více líbí?

179 odpovědí



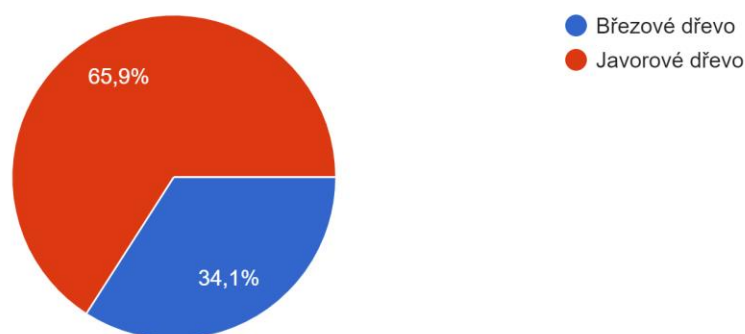
Graf 22 Otázka 6

U povrchové úpravy MDF desky byla možnost transparentní povrchové úpravy zvolena 94 oslovenými a netransparentní povrchová úprava 85 oslovenými (graf 22). Srovnání ukazuje větší preference transparentní variantě, ale výsledky jsou poměrně vyrovnané.

### Otázka č. 7.

Která z dřevin kvádrových ozvučnic se Vám více líbí?

179 odpovědí



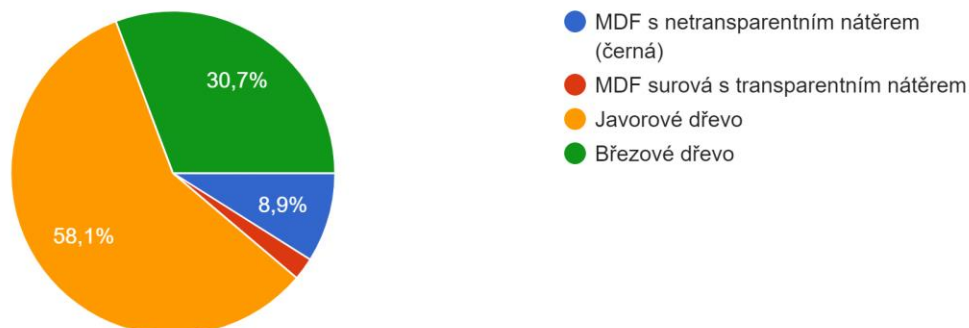
Graf 23 Otázka 7

Javorové dřevo bylo vybráno 118 hlasujícími a březové dřevo 61 hlasujícími (graf 23). Stejně jako u třetí otázky je tedy javorové dřevo preferováno, i v tomto případě je rozdíl poměrně vysoký.

## Otázka č. 8.

Který materiál kvádrových ozvučnic se vám líbí nejvíce?

179 odpovědí



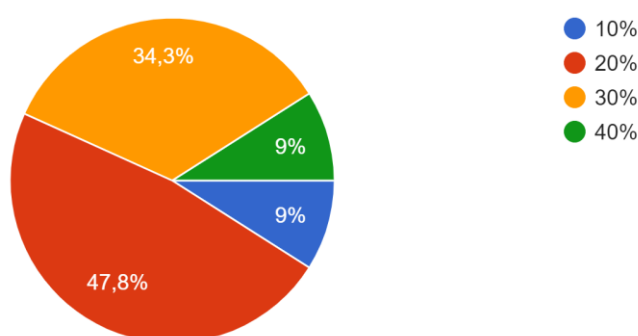
Graf 24 Otázka 8

U této otázky hlasovalo pro ozvučnici z javorového dřeva 104 respondentů. Pro ozvučnici z březového dřeva 55, pro ozvučnici z MDF s netransparentní úpravou 16 respondentů a pro transparentně upravenou MDF jen 4 respondenti (graf 24).

To souhlasí s předchozími výsledky, kde bylo preferováno masivní dřevo. U obou tvarů bylo opět upřednostněno javorové dřevo.

Ozvučnice kapkovitého tvaru je složitější a nákladnější na výrobu než kvádrová ozvučnice. Jaké procentuální navýšení ceny byste u ni byli schopni akceptovat?

178 odpovědí



Graf 25 Otázka 9

Na poslední otázku odpovědělo 178 vyplňujících (graf 25). Pro variantu navýšení ceny o 20 % hlasovalo 85 respondentů, pro navýšení o 30 % 61 respondentů. Pro možné navýšení ceny o 10 i 40 % hlasoval pak stejný počet 16 odpovídajících.

V případě určování ceny reproduktorů s kapkovitou ozvučnicí by na základě tohoto zjištění pak bylo nejspíše bylo možné navýšit cenu oproti klasickým reproduktorům. Aniž by tím byl potenciální zákazník odrazen. Je ovšem možné, že pokud by byla v dotazníku uvedena konkrétní cena, výsledky by byly poněkud odlišné.

### **Shrnutí výsledků**

Otázky byly voleny tak, aby dotazník zjistil preference mezi zkoumanými variantami reproduktorů s ozvučnicemi na bázi dřeva a zároveň nebyl příliš rozsáhlý.

V dotazníku bylo zjištěno, že kapkovitý tvar ozvučnice byl pro oslovenou skupinu více atraktivní. Použité porovnávané dřeviny nebyly svou texturou příliš odlišné a ani na přiložených snímcích nejsou rozdíly příliš znatelné. Tedy až na drobné odlišnosti jako jsou dřevné paprsky, ohraničení letokruhů, zbarvení kvůli zapaření. Přesto bylo u obou tvarů preferováno dřevo javoru. U kapkovité ozvučnice s menším a kvádrové ozvučnice větším rozdílem.

Kvádrové ozvučnice byly vyrobeny z masivního dřeva a MDF. Dotazník jasně ukázal, že respondenti upřednostňují masivní dřevo. V případě porovnání možných povrchových úprav MDF (transparentní a netransparentní) byl poměr obou variant téměř shodný. Při výběru nejvhlednějšího prototypu ze všech kvádrových ozvučnic byla nejčastěji zvolena javorová ozvučnice. Druhou variantou bylo březové dřevo s polovinou preferencí. Tento výsledek odpovídá již výše zmíněným závěrům.

Poslední otázka se týkala navýšení ceny u kapkovitého tvaru reproduktoru z důvodů vyšší náročnosti výroby. Výsledkem je, že téměř polovina respondentů by byla ochotna akceptovat navýšení ceny o 20 % a třetina respondentů o 30 %. Proto by nejspíše nemusely panovat obavy, že by tento produkt byl příliš drahý. Nicméně nebyly uvedeny konkrétní částky, o které by se mohlo jednat. Je tedy otázkou, zda by po jejich uvedení byly výsledky stejné.

#### **4.3.1 Závěrečné vyhodnocení**

Dotazníková šetření, která se zaměřují na předpokládanou úspěšnost produktu na trhu, jsou cíleny na potenciální zákazníky. Důvodem použitého dotazníkového šetření je v případě této diplomové práce výchozí zjištění, zda má z pohledu potenciálních zákazníků nějaký smysl uvažovat o významu rozdílů v preferencích zákazníků týkajících se tvarů, barev a použitých materiálů ozvučnic reproduktorů. Následně je potom upravováno výrobní portfolio tak, aby potřebám zákazníků vyhovovalo. Tento sled kroků odpovídá fázi concept testing při vývoji nového produktu a je východiskem

pro marketingovou a obchodní analýzu. To potom usnadňuje uvedení výrobku na trh. Jak uvádí Bhuiyan (2011), většině rozhodnutí o zavádění nových výrobků na trh předchází právě marketingový průzkum.

V případě řešených ozvučnic reproduktorů lze i na základě výsledků dotazníkového šetření předpokládat, že rozhodování zákazníků při výběru ozvučnic bude ovlivňovat funkčnost, cena a rovněž vzhled, který souvisí spíše s estetickým až pocitovým vnímáním výrobku. Například důležitost barvy výrobků ze dřeva, která má význam z estetického hlediska, uvádí Cademartori a kol. (2014), Santos a kol. (2014) nebo Sedlar a kol. (2019). Dokonce i jen mírná změna barvy nebo tvaru výrobku může mít inovační charakter. Podle Loučanové a kol. (2017) jsou inovace důležitým předpokladem komerčního úspěchu na trhu.

Přestože struktura použitého dotazníku poskytuje prostor pro další otázky, které by mohly být v budoucnu dále šetřeny, výsledky dotazníkového šetření poskytují výchozí informaci o tom, že má smysl se touto problematikou zabývat a potřeby cílových zákazníků následně zkoumat detailněji.

## 5 Závěr

Primárním cílem této diplomové práce bylo posoudit, jak ovlivňují ozvučnice reproduktorů různých tvarů a materiálového provedení zvukové výstupy reprosoustav.

Pro výrobu ozvučnic bylo použito dřevo javoru klen (*Acer pseudoplatanus*), břízy bělokoré (*Betula pendula*) a středně tvrdá vláknitá deska (MDF).

Zjištěnými výsledky porovnání akustických parametrů použitých materiálů bylo, že akustická konstanta je nejnižší u MDF desky, u masivního dřeva je hodnota této konstanty téměř dvojnásobná. Bříza dosáhla vyšších hodnot než javor. Stejně tak tomu bylo u akustického vlnového odporu, kde byl trend totožný. I dynamický modul pružnosti zobrazoval stejné rozložení výsledků u obou předchozích veličin. Březové dřevo mělo nejvyšší hodnotu, javorové dřevo s určitým poklesem následovalo a u MDF byly naměřeny nejnižší hodnoty. Všechny výsledné hodnoty byly srovnatelné s výsledky v dostupné literatuře.

Měření frekvenčních charakteristik reprosoustav prokázalo, že ozvučnice ve tvaru kvádrů má hladší a vyrovnanější frekvenční charakteristiku než tvar kapkovitý. Vnější tvar tedy ovlivňuje výstupní zvuk. Zároveň lze říci, že ovlivnění v těchto dvou případech není tak výrazné. Z výstupů je prokazatelné, že mezi jednotlivými materiály ozvučnic nejsou měřitelné rozdíly i přes jejich různé akustické vlastnosti. A to ani u porovnání masivního dřeva a MDF. Různé chování materiálů v ozvučnicích by bylo nejspíše pozorovatelné v případě, že by stěny ozvučnic byly tenčí a mohly se tak více projevit jejich vlastnosti. Také by mohly být použity odlišnější dřeviny v textuře i vlastnostech.

Prokazatelně byl potvrzen příznivý vliv přidání tlumícího materiálu do ozvučnice, díky kterému se zamezilo rezonanci ozvučnice. Pozorovaná výstupní křivka je díky tlumení plynulejší.

V marketingové analýze ozvučnic bylo zjištěno, že kapkovitý tvar ozvučnic byl pro oslovenou skupinu více atraktivní. Použité porovnávané dřeviny byly svou texturou velmi podobné a rozdíly u nich nejsou příliš znatelné. Přesto bylo u obou tvarů preferováno dřevo javoru. V porovnání materiálů se jasně ukázalo, že respondenti upřednostňují masivní dřevo.

Lze předpokládat, že rozhodování zákazníků při výběru ozvučnic bude ovlivňovat funkčnost, cena a rovněž vzhled, který souvisí spíše s estetickým až pocitovým

vnímáním výrobku. Výsledky dotazníkového šetření poskytují výchozí informaci o tom, že má smysl se touto problematikou zabývat a potřeby cílových zákazníků následně zkoumat detailněji.

Zcela závěrem lze konstatovat, že práce má mnoho prostoru pro další a detailnější výzkum v této oblasti.

## 6 Seznam literatury a použitých zdrojů

1. BAKER, David. *Solid wood bookshelf speakers by bekerwerks design*. [Online]. Baker, David 2014 [Citace: 8.4.2021.]. Dostupné z : <https://cz.pinterest.com/pin/276408495863249565/>.
2. BAUER, Benjamin B. Acoustic damping for loudspeakers. *Transactions of the IRE Professional Group on Audio*. 1953, vol.1, no. 3, s. 23-34.
3. BEAL, Frank C. Overview of the use of ultrasonic technologies in research on wood properties. *Wood Science and Technology* [Online]. 2002, vol. 36. no.3, s.197-212 [Citace: 8.4.2021]. Dostupné z:< <http://link.springer.com/10.1007/s00226-002-0138-4> .
4. BERANEK, Leo L. *Noise reduction*. New York : McGraw-Hill, 1960. 752 s. ISBN 9780070048324
5. BHUIYAN, Nadia. A framework for successful new product development. *Journal of Industrial Engineering and Management*. 2014, no. 4, s 746-770
6. BODIG, Jozsef, BENJAMIN Jayne. *Mechanics of wood and wood composites*. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1982. 712 s. ISBN 0-442-00822-8.
7. BORŮVKA, Vlastimil; NOVÁK, David; ŠEDIVKA, Přemysl. Comparison and Analysis of Radial and Tangential Bending of Softwood and Hardwood at Static and Dynamic Loading. *Forests* [online] 2020, no. 11. [Citace: 8.4.2021]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1999-4907/11/8/896>. DOI: 10.3390/f11080896
8. BÖHM, Martin; REISNER, Jan; BOMBA, Jan. *Materiály na bázi dřeva*. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2012. 183 s. ISBN 978-80-213-2251-6.
9. BUCUR, Voichita; TIMELL, T. E.;WIMMER Rupert, *Acoustic of wood*. Berlin. Springer – Verlag. Springer series in wood science, 2006. 393 s. ISBN 3-540-26123-0.



10. CADEMARTORI, G. H. Pedro; MATTOS, D. Bruno; MISSIO, L. André, GATTO, A. Darci. Colour responses of two fast-growing hardwoods to two-step steam-heat treatments. *Materials Research*. 2014. no.17: 487-493 s.
11. CAI, Zhiyong; ROSS, J.Robert. Mechanical Properties of Wood-Based Composite Materials. *Wood Handbook*. Madison : Forest Products Laboratory, 2010. 12.1-12.12 s.
12. Concrete Audio. *Loudspeakers*. [Online] Concrete Audio, 2017. [Citace: 8. 4 2021]. Dostupné z : <https://www.concrete-audio.com/en/> .
13. Covestro. Maezio: Thermoplastic composites take lightness, performance and aesthetics to a new level. *Covestro*[Online]. 2021. [Citace: 8. 4 2022.]. Dostupné z : <https://solutions.covestro.com/en/brands/maezio> .
14. CREMER, Lothar; MÜLLER, A. Helmut. GUERNSEY, Richard M. Principles and Applications of Room Acoustics. *The Journal of the Acoustical Society of America* [Online]. 1984,vol. 74 [Citace: 8.4.2022]. Dostupné z: <<https://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.391348>> DOI: 10.1121/1.391348
15. ČSN 49 0108: Drevo. Zisťovanie hustoty. 1993.
16. ČSN 49 0115: Drevo. Zisťovanie medze pevnosti v statickom ohybe. 1979.
17. ČSN 49 0116: Drevo. Metóda zisťovania modulu pružnosti pri statickom ohybe. 1982.
18. DOS SANTOS, D.V.B.; DE MOURA, L.F., BRITO, J.O. Effect of heat treatment on color, weight loss, specific gravity and equilibrium moisture content of two low market valued tropical woods. *Wood Research* 59(2): 253-264.
19. DINWOODIE, J.M. *Timber: Its Nature and Behavior*, 2nd ed.; CRC Press: New York, NY, USA; p. 272, ISBN 978-0419235804.
20. DLUHOŠ, Jindřich. *Materiály a technologie: plasty a vybrané nekovové materiály*. 3. vyd. Ostrava: Ostravská univ., 1998. ISBN 80-7042-131-2

21. D'APPOLITO, Joseph. Testing Loudspeakers: Which Measurements Matter, Part 1. *Audioxpress*. [Online] 2016. [Citace: 8.4.2022] Dostupné z: <https://audioxpress.com/article/testing-loudspeakers-which-measurements-matter-part-1> .
22. Fakopp Bt - UltraSonic Timer. *Fakopp Localization Page* [online] 2019. Copyright © Fakopp Enterprise Bt. [Citace 1.4.2022]. Dostupné z: <https://fakopp.com/en/product/ultrasonic>>.
23. GERHARDS C. C. Longitudinal stress waves for lumber stress grading: factors affecting applications: state of the art. *Forest Products Journal (USA)*. 1982, Vol. 32. ISSN : 0015-7473
24. GODSHALL, W.D.; DAVIS, James H. Acoustical absorption properties of wood-base panel materials. *U.S.D.A. FOREST SERVICE RESEARCH PAPER* [Online]. 1969. 104. [Citace 1.4.2022]. Dostupné z: <https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplrp/fplrp104.pdf> .
25. HARDWOOD, H. D.; MATHEWS, R. Factors in the design of loudspeaker cabinets. *BBC Research Department* [Online].1977. vol. 3. [Citace 1.4.2022]. Dostupné z: [https://www.bbc.co.uk/rd/publications/rdreport\\_1977\\_03](https://www.bbc.co.uk/rd/publications/rdreport_1977_03) .
26. Heissman Acoustics. *About baffle design, edge diffraction, secondary sound sources* [Online]. Heissman Acoustic, 19. 1 2015 [Citace: 8.4.2021]. Dostupné z : <https://heissmann-acoustics.de/en/kantendiffraktion-sekundaerschallquellen-treiberanordnun/> .
27. HOOPER, Carl. TTSH, speaker baffle mod. *My Diy Blog* [Online].2006. vol. 3. [Citace 1.4.2022]. Dostupné z: <https://amazingdiy.wordpress.com/2016/08/21/ttsh-speaker-baffle-mod/>
28. HOLEČEK, Tomáš; GAŠPARÍK, Miroslav; LAGAŇA, Rastislav; BORŮVKA, Vlastimil; OBERHOFNEROVÁ, Eliška. Measuring the Modulus of Elasticity of Thermally Treated Spruce Wood using the Ultrasound and Resonance Methods. *BioResources* [online]. 2016, 12(1), 819-838 [Citace 8.4.2022]. Dostupné z: <http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/10728> DOI: 10.15376/biores.12.1.819-838. ISSN 1930-2126.

29. HORÁČEK, Petr. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I. 2.*, přeprac. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008. ISBN 978-80-7375-169-2.
30. KLASCO, Mike. Loudspeaker Enclosure Materials (Part 1). *Audioexpress*. [Online] 24. 6. 2019. [Citace: 8.4.2022]. Dostupné z: <https://audioexpress.com/article/loudspeaker-enclosure-materials-part-1>.
31. KLASCO, Mike. Loudspeaker Enclosure Materials (Part 2). *Audioexpress*. [Online] 31. 7. 2019. [Citace: 8.4.2022]. Dostupné z: <https://audioexpress.com/article/loudspeaker-enclosure-materials-part-2>.
32. KLASCO, Mike. More Developments in Loudspeaker Enclosure Materials. *Audioexpress*. [Online] 24. 6. 2020. [Citace: 8.4.2022]. Dostupné z: <https://audioexpress.com/article/more-developments-in-loudspeaker-enclosure-materials>.
33. LOUČANOVÁ, Erika; PALUŠ, Hubert; DZAIN, Michal. A course of innovations in wood processing industry within the forestry-wood chain in Slovakia: a Q methodology study to identify future orientation in the sector. *Forests* [Online]. 2017. 8(6).210 [Citace: 8.4.2022]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/317823463\\_A\\_Course\\_of\\_Innovations\\_in\\_Wood\\_Processing\\_Industry\\_within\\_the\\_Forestry-Wood\\_Chain\\_in\\_Slovakia\\_A\\_Q\\_Methodology\\_Study\\_to\\_Identify\\_Future\\_Orientation\\_in\\_the\\_Sector](https://www.researchgate.net/publication/317823463_A_Course_of_Innovations_in_Wood_Processing_Industry_within_the_Forestry-Wood_Chain_in_Slovakia_A_Q_Methodology_Study_to_Identify_Future_Orientation_in_the_Sector).
34. MATOVIČ, Anton. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva*. Brno: Vysoká škola zemědělská, 1993. 212 s. ISBN 80-7157-086-9
35. MITCHELL, J.E. *Boundary Effects and Loudspeaker Design* [Online] [Citace: 23. 4. 2021]. Dostupné z: <http://www.frazierspeakers.com/download/bounds.pdf>.
36. NEWELL, Philip; HOLLAND, Keith. *Loudspeakers : for music recording and reproduction*. Oxford : Focal Press, 2007. 400 s. ISBN: 978-0-2405-2014-8
37. 0-2405-2014-9

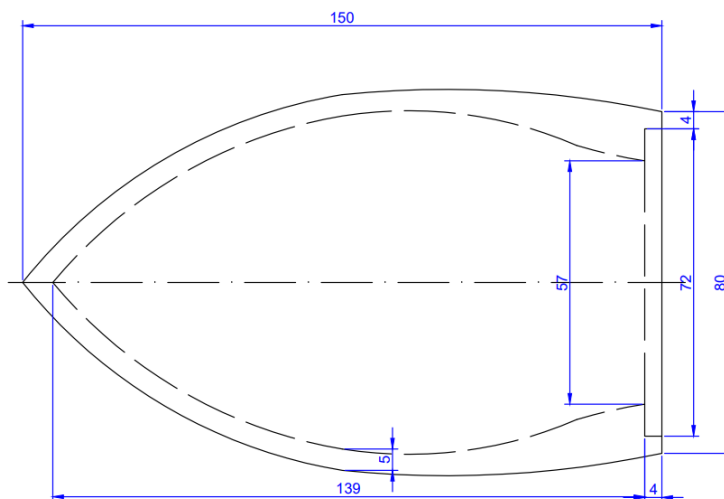
38. OLSON, Harry F. *Direct Radiator*. New York : Audio engineering society, 27. 1950. 34 – 64 s.
39. PARET, Dominique; SIBONY, Serge. *Musical techniques: frequencies and harmony*. London, UK: ISTE, 2017. Waves series. ISBN 978-1-78630-058-4.
40. Parts Express. MDF Subwoofer Cabinet. *Parts Express* [Online]. 2022.Springboro : Parts Express, 2021 [Citace: 8.4.2022]. Dostupné z: <https://www.parts-express.com/Knock-Down-MDF-2.0-ft-Subwoofer-Cabinet-for-Da-300-7081>
41. POŽGAJ, Alexander a kol. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. Bratislava : PRÍRODA, a.s., 1997. 2. vyd. 488 s. ISBN 80-07-00960-4.
42. POŽGAJ, Alexander a kol. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. Bratislava: Príroda, a.s., 1993. 485 s. ISBN 80-07-00600-1.
43. RAASTAS, Karl Martin. Plywood speaker DIY project. *Karl Martin Räästas* [Online]. Tallinn, Estonsko. 2020 [Citace: 8.4.2021]. Dostupné z: <https://karlmartin96.artstation.com/projects/58ePZz> .
44. RALPH, L. David. Diffraction Doesn't Have to be a Problem. *AudioXpress* [Online]. 2015 [Citace: 8.4.2022]. Dostupné z: <https://audioxpress.com/article/Diffraction-Doesn-t-Have-to-Be-a-Problem>
45. REICHL, Jaroslav; VŠETIČKA, Martin. Tlumené kmitání. *Encyklopedie fyziky* [Online]. Online Domain Tools. 2016 [Citace: 20.4.2021]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/162-tlumene-kmitani>
46. Repromania. Typy ozvučnic. *ReproMania.NET*[Online]. 21. 10 2008 [Citace: 20.4.2021]. Dostupné z: <http://www.repromania.net/teorie/rozdelovani-ozvucnic.php>
47. ROOHNIA, Mehran. Wood: Acoustic Properties. HASHMI, Saleem. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering* [Online]. 2016 [Citace: 20.4.2021]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/301262772> Wood Acoustic Properties

48. ROSS, Robert J. a kol. *Wood handbook: wood as an engineering material*. Edice ke stému výročí. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. 508 s. ISBN 9781484859704.
49. SEDLAR, Tomislav; ŠEFC, Bogoslav; STOJNIĆ, Srđan; JARC, Andrej; PERIĆ, Ivana; SINKOVIĆ, Tomislav. Hardness of thermally modified beech wood and hornbeam wood. *Šumarski list* [Online]. 2019. 143 (9-10). 425-433 [Citace: 20.4.2021]. ISSN 18469140. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/337016026> Hardness of thermally modified beech wood and hornbeam wood Tvrdoća toplinski modificirane bukovi ne i grabovine DOI:10.31298/sl.143.9-10.4
50. SHORTER, D.E.L. Acoustical and Electrical Damping in Closed -cabinet Loudspeakers. *Wireless World* [Online]. 1950. Vol. 11 [Citace: 20.4.2021]. Dostupné z: < <https://worldradiohistory.com/hd2/IDX-UK/Technology/Technology-All-Eras/Archive-Wireless-World-IDX/50s/Wireless-World-1950-11-IDX-2.pdf> .
51. SMARDZEWSKI, Jerzy; KAMISINSKI, Tadeusz; DZIURKA, Dorota; MIRSKI, Radoslaw; MAJEWSKI, Adam; FLACH, Artur; PILCH, Adam. Sound absorption of wood-based materials. *Holzforschung* [Online]. 2015, Sv. 4, 69 [Citace: 20.4.2021]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/270895491> Sound absorption of wood-based materials. DOI:10.1515/hf-2014-0114
52. SÝKORA, Bohumil. Stavíme reproduktorové soustavy. *Amatérské rádio- praktická elektronika*, 1976, Sv. 1-8, 98.
53. SYROVÝ, Václav. *Hudební akustika*. 3. dopl. vyd. Praha: Akademie múzických umění, 2013. 440 s. ISBN 978-80-7331-297-8.
54. TOMAN, Kamil. *Reproduktory a reprosoustavy II*. Karviná: Dexon, 2010. 326 s. ISBN 978-80-254-9510-0

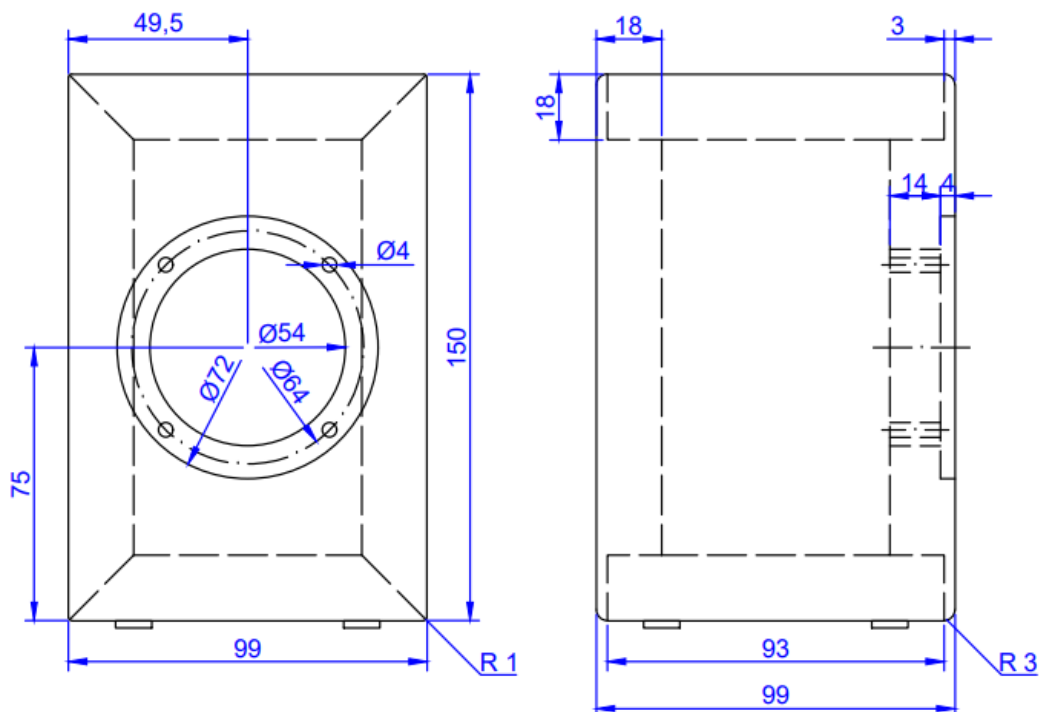
55. TSOUMIS, George T. *Science and technology of wood: Structure, Properties, Utilization*. 2. vyd. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 494 s. ISBN 0-442-23985-8.
56. UNRUH, Andrew. Understanding Cabinet Edge Diffraction. *Dave's Speaker Pages*. [Online] 2020. [Citace: 22.4.2021.] <https://www.speakerdesign.net/understand.html>.
57. WAHRLICH, Ben. Concrete Jack Speaker Offers Both Curves And Urban Finish. *GeekyGadgets* [Online]. 2021 [Citace: 22.4.2022]. Dostupné z: <https://www.geeky-gadgets.com/concrete-jack-speaker-offers-both-curves-and-urban-finish-26-11-2012/>
58. WAGENFÜHR, Rudi. *Holz atlas*. 5. vyd., Leipzig: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, 2000. 707 s. ISBN 3-446-21390-2
59. ZOBEL, Bruce J.; VAN BUIJTENE, P. N. Johannes. *Wood variation: its causes and control*. Berlin: Springer – Verlag. Springer series in wood science, 1989. 363 s. ISBN 978-3-642-74071-8.

## 7 Přílohy

### Příloha 1



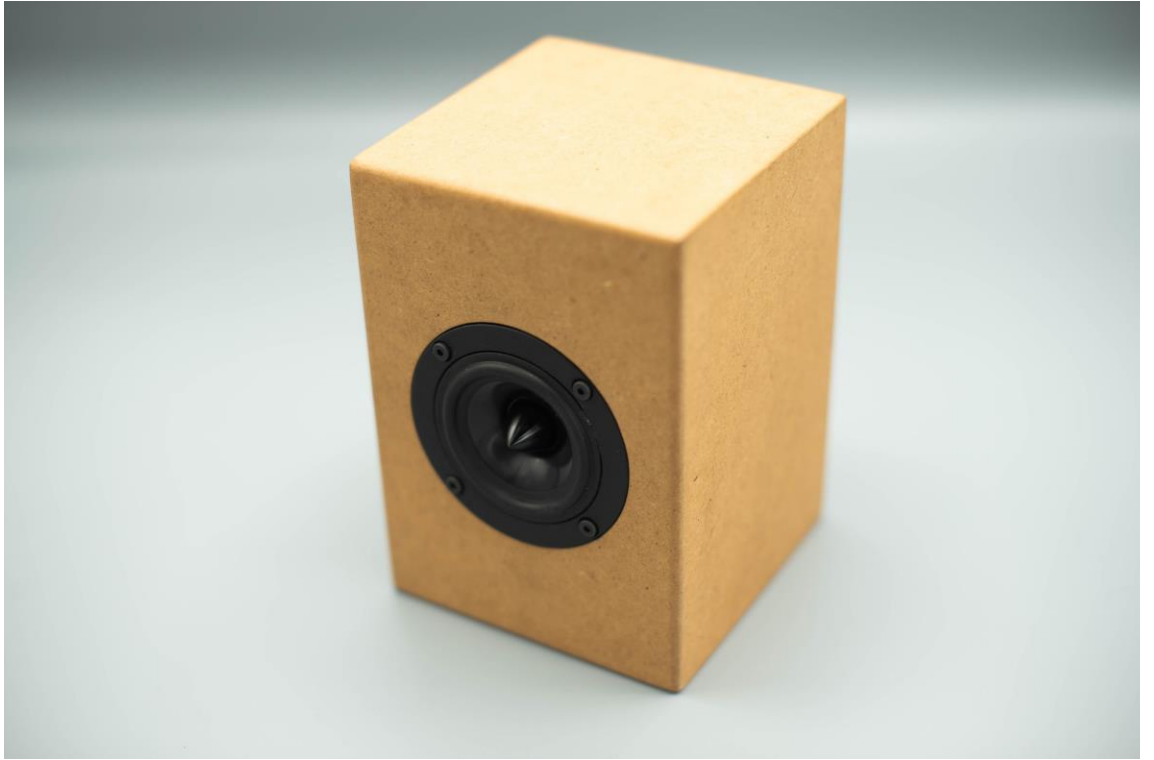
### Příloha 2



**Příloha 3**







# Diplomová práce - ozvučnice reproduktorů

Dobrý den

Rád bych Vás tímto požádal o vyplnění krátkého dotazníku týkajícího se různých ozvučnic reproduktorů ze dřeva.

Cílem je zjistit, kdo který tvar a materiál více preferuje.

K porovnání jsou zde dva tvary a tři materiály. Konkrétně jde o soustruženou ozvučnici kapkovitého tvaru vlastního návrhu a konvenční kvádrou ozvučnici. Pro výrobu bylo použito masivní dřevo břízy, javoru a středně tvrdá vlákenná deska (MDF).

Součástí diplomové práce je také analýza akustických parametrů použitých materiálů a analýza akustických parametrů reproduktoru s různými ozvučnicemi.

Děkuji za Váš čas a názor  
Jan Kozel

**\*Povinné pole**

1. Pohlaví \*

*Označte jen jednu elipsu.*

- Muž  
 Žena

2. Je Vaše vzdělání, zaměstnání nebo volnočasová aktivita spojena s dřevařským oborem? \*

*Označte jen jednu elipsu.*

- Ano  
 Ne

3. Který tvar se Vám více líbí? \*



Označte jen jednu elipsu.



Kapkový tvar



Kvádr

Javorové dřevo



Březové dřevo



## 4. Která dřevina ozvučnice kapkovitého tvaru se Vám více líbí? \*

U tohoto tvaru bylo použito pouze masivní dřevo. Vzhled textury jedné dřeviny také může být velmi variabilní.

*Označte jen jednu elipsu.*



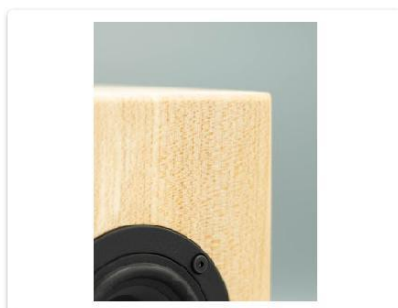
Javorové dřevo



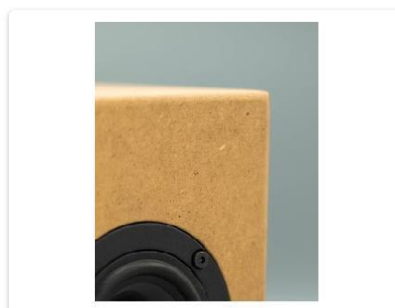
Březové dřevo

## 5. Který materiál preferujete? \*

*Označte jen jednu elipsu.*



Masivní dřevo



MDF

MDF s netransparentním nátěrem



MDF s transparentním nátěrem



6. Jaká úprava povrchu MDF se Vám více líbí? \*

*Označte jen jednu elipsu.*



Netransparentní (např. černá barva)

Transparentní

Březové dřevo



### Javorové dřevo



7. Která z dřevin kvádrových ozvučnic se Vám více líbí? \*

*Označte jen jednu elipsu.*



Březové dřevo



Javorové dřevo



8. Který materiál kvádrových ozvučnic se vám líbí nejvíce? \*



*Označte jen jednu elipsu.*

- MDF s netransparentním nátěrem (černá)
- MDF surová s transparentním nátěrem
- Javorové dřevo
- Březové dřevo

9. Ozvučnice kapkovitého tvaru je složitější a nákladnější na výrobu než kvádrová ozvučnice. Jaké procentuální navýšení ceny byste u ni byli schopni akceptovat?

*Označte jen jednu elipsu.*

- 10%
- 20%
- 30%
- 40%

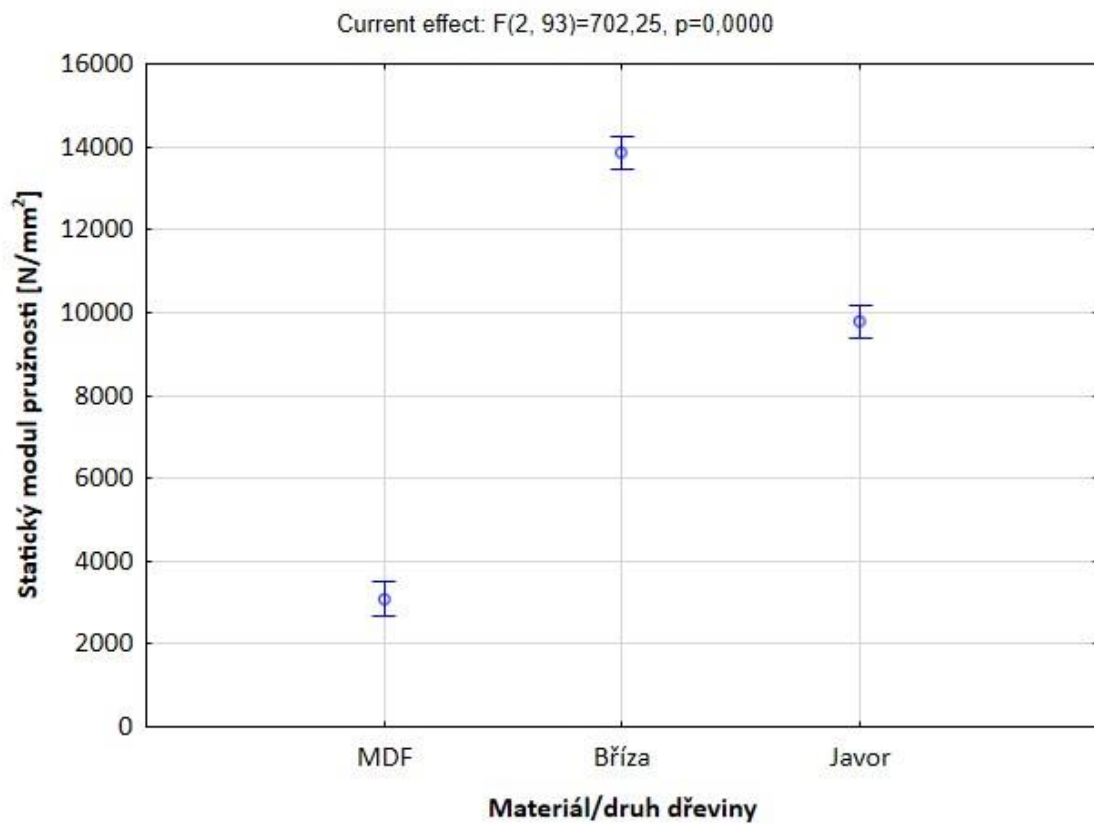
---

Obsah není vytvořen ani schválen Googlem.

Google Formuláře

## Příloha 5

Statický modul pružnosti u vybraných materiálů



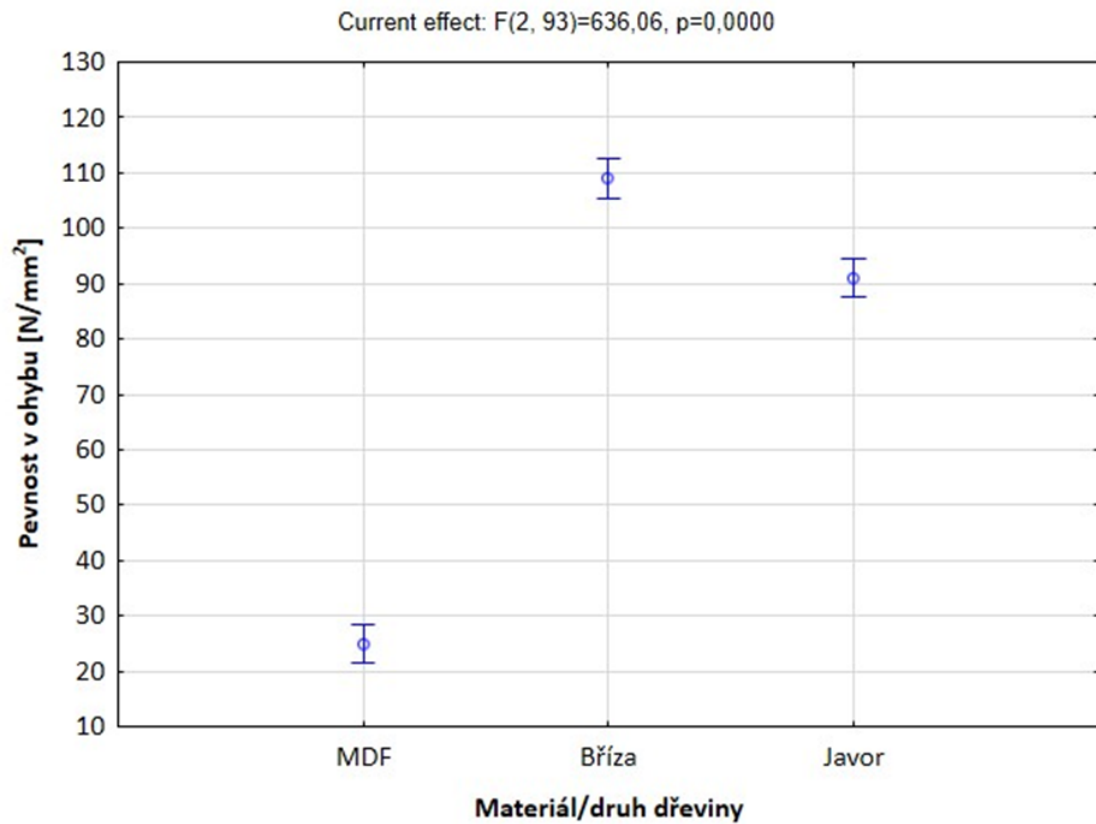
## Příloha 6

Statický modul pružnosti, základní popisná statistika

Statický modul pružnosti – [N/mm <sup>2</sup> ]						
Materiál/druh dřeviny	Počet platných	Průměr	Minimum	Maximum	Směrodatná odchylka	Variační koeficient [%]
MDF	32	3088	2961	3234	69	2,2
Bříza	32	13854	9022	17657	1700	12,3
Javor	32	9773	6618	11092	1070	10,9

## Příloha 7

Pevnosti v ohybu při statickém zatížení



## Příloha 8

Pevnost v ohybu při statickém zatížení, základní popisná statistika

Pevnost v ohybu – [N/mm <sup>2</sup> ]						
Materiál/druh dřeviny	Počet platných	Průměr	Minimum	Maximum	Směrodatná odchylka	Variační koeficient [%]
MDF	32	24,9	21,8	28,0	1,6	6,5
Bříza	32	109,0	61,4	124,1	13,9	12,8
Javor	32	91,0	73,1	107,4	9,9	10,9

## Příloha 9

Souhrnná tabulka vlastností pro vybrané materiály

Souhrnný přehled fyzikálních a mechanických vlastností vybraných dřevin $\bar{x}$ ( $\sigma$ )			
Veličina	MDF	Bříza	Javor
Hustota [ $\text{kg/m}^3$ ]	749 (7)	630 (31)	602 (18)
Dynamický modul pružnosti stanovený ultrazvukovou metodou [ $\text{N/mm}^2$ ]	4157 (138)	17737 (2475)	11116 (860)
Dynamický modul pružnosti stanovený rezonanční metodou [ $\text{N/mm}^2$ ]	3508 (70)	17132 (4135)	10307 (1879)
Akustický vlnový odpor stanovený ultrazvukovou metodou [ $\text{kg/m}^2\cdot\text{s}$ ] $\cdot 10^{-5}$	17,6 (0,3)	33,3 (2,9)	25,9 (1,2)
Akustický vlnový odpor stanovený rezonanční metodou [ $\text{kg/m}^2\cdot\text{s}$ ] $\cdot 10^{-5}$	16,2 (0,2)	32,6 (5,1)	24,9 (2,4)
Konstanta vyzařování stanovená ultrazvukovou metodou [ $\text{m}^4/\text{kg}\cdot\text{s}$ ]	3,1 (0,1)	8,5 (0,5)	7,1 (0,4)
Konstanta vyzařování stanovená rezonanční metodou [ $\text{m}^4/\text{kg}\cdot\text{s}$ ]	2,9 (0,0)	8,1 (1,4)	6,8 (0,3)
Pevnost v ohybu [ $\text{N/mm}^2$ ]	24,9 (1,6)	109,0 (13,9)	91,0 (9,9)
Statický modul pružnosti [ $\text{N/mm}^2$ ]	3088 (69)	13854 (1700)	9773 (1070)